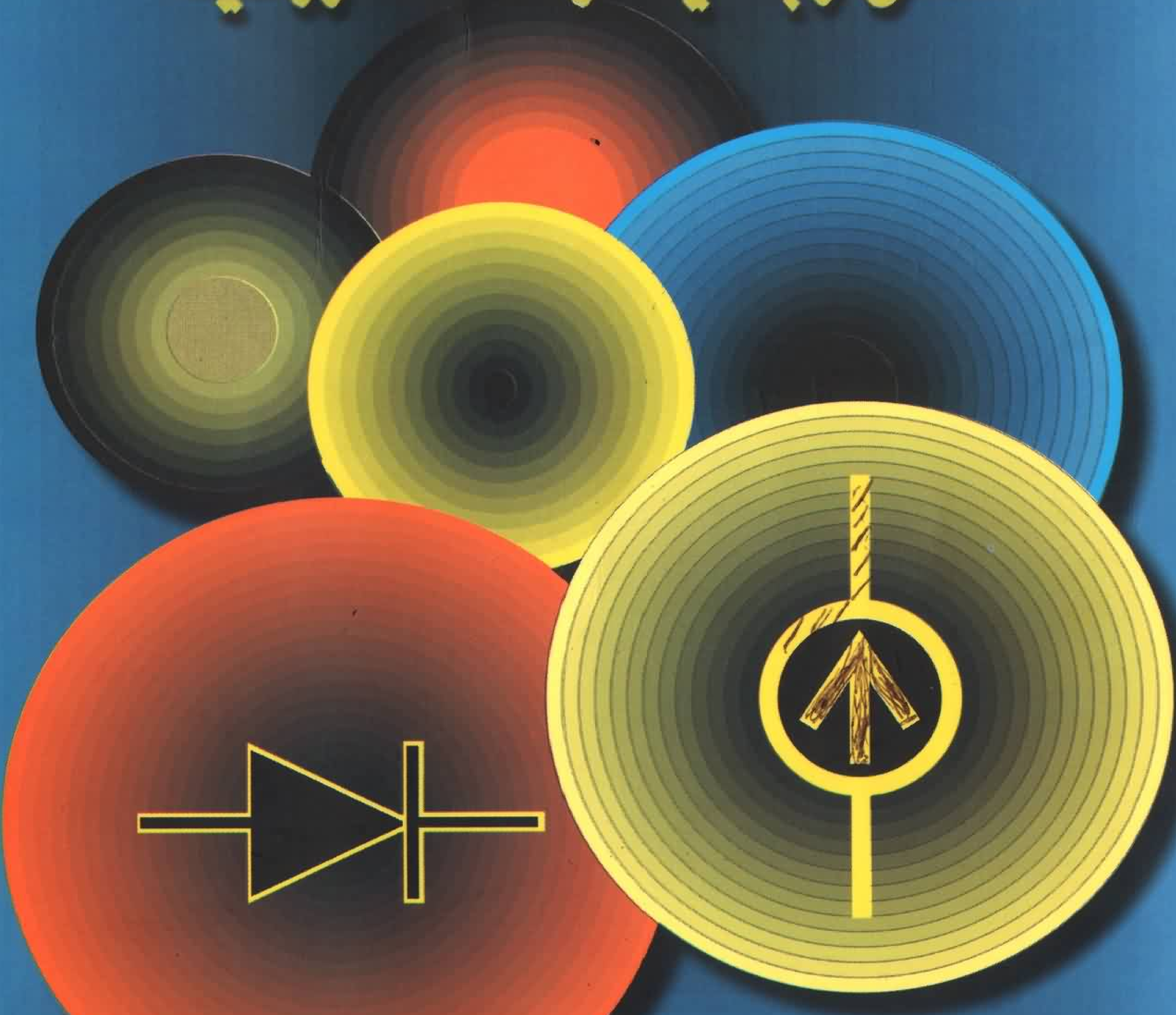
الجماهيرية العربية الليبية الشعبية الاشتراكية العظمى
المكتب الوطني للبحث والتطوير

مواد موصلة

تحليل الدوائر الكهربائية والالكترونية



تأليف:
د. عبد القادر مصباح الأمين

الجماهيرية العربية الليبية الشعبية الاشتراكية العظمى
المكتب الوطني للبحث والتطوير

الدوائر الكهربائية والإلكترونية

تأليف
د. عبد القادر مصباح الأمين

مراجعة علمية
د. رياض عمران حسين

مراجعة لغوية
أ. محمد عمران أبو ميس

الطبعة الأولى 2004
رقم الإيداع: **6232 / 2004**
دار الكتب الوطنية – بنغازي

المكتب الوطني للبحث والتطوير
ك. م 15 طريق طرابلس – قصر بن غشير
ص. ب: 80045 طرابلس – ليبيا
هاتف 43 - 022634440
بريد مصور: 34 – 022634333

الوكالة الليبية للترقيم الدولي الموحد للكتاب
دار الكتب الوطنية
بنغازي – ليبيا
هاتف: 9090509 – 9096379 – 9097074
بريد مصور 9097074
بريد الكتروني: net-lib-libya@hotmail.com

ردمك : **ISBN 9959 –818– 49– 7**

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ ويسئلونك عن الروح قل الروح من أمر ربي
وما أوتيتم من العلم إلا قليلا ﴾

صدق الله العظيم
﴿الآية (85) من سور الإسراء﴾

إهداء

إلى

والدي ووالدتي

راجياً من اللّه العلي القدير أن يمتعهما بالصحة والعافية

ليظلا زادي الذي استمد منه الدفء والعطاء

وإلى

زوجتي العزيزة

وأولادي الأحباء

مالك وأنس وأيمن

على تحملكم معي أعباء البحث والكتابة

وكان لتشجيعكم الأثر الكبير في إنجاز هذا العمل

إليكم أهديه

مع كل الحب والاعتزاز

عبد القادر

مقدمـــة

الحمد لله الذي وفقنا لإتمام هذا الجهد المتواضع، الذي يتناول عرضا لمجمل أسس الدوائر الكهربائية والإلكترونية، والذي نهدف من ورائه إلى توفير كتاب منهجي يغطي مقررات المناهج الدراسية لكليات الهندسة والعلوم والمعاهد العليا والتقنية. وقد روعي عند إعداده تقديم المعلومة بشكل مبسط ومتسلسل، حيث يبدأ كل فصل بصياغة مختصرة للتعريفات والمبادئ والقوانين الأساسية لنظريات الدوائر الكهربائية والإلكترونية، مع إعطاء العديد من الأمثلة المحلولة التي عرضت بشكل مبسط يتمكن الطالب من خلالها من تعميق فهمه للنظريات، وروعي عند اختيارها التدرج في صعوبة وشمولية الأفكار المشتملة عليها. كما وضعنا في نهاية كل فصل مجموعة من المسائل الإضافية المحلولة وغير المحلولة، واحتوى الكتاب في مجمله على ما يقرب من ثلاثمائة مثال ومسألة محلولة وغير محلولة. و ينقسم هذا الكتاب إلى جزأين رئيسين: الجزء الأول حول الدوائر الكهربائية، والجزء الثاني حول الدوائر الإلكترونية. وهو يحتوي على أحد عشر فصلاً. يتناول الفصل الأول أهم الكميات والتعريفات والقوانين الفيزيائية الأساسية للدوائر الكهربائية، مع توضيح للنظام العالمي للوحدات. والفصل الثاني يهتم بدوائر التوصيل على التوالي، وقانون كرشوف للجهد، وقانون مجزئ الجهد. أما الفصل الثالث فيتناول دوائر التوصيل على التوازي،

وقانون كرشوف للتيار، وقانون مجزئ التيار، مع إعطاء فكرة مبسطة عن تحويل المصادر. في حين أن الفصل الرابع وضع ليشمل تطبيقات دوائر التوالي والتوازي معاً. أما الفصلان الخامس والسادس فهما يهتمان بطرق ونظريات تحليل الدوائر الكهربائية بشكل مبسط. واختتم الجزء الأول في الفصل السابع بالمكثفات وتوصيلها في الدوائر الكهربائية ومن ثم شحنها وتفريغها.

يبدأ الجزء الثاني بالفصل الثامن وفيه تم إعطاء فكرة عامة عن الثنائي وتوصيله وطريقة عمله في الدوائر الإلكترونية، في حين تناولنا تطبيقات دوائر الثنائي مثل دوائر التقويم ودوائر التقليم في الفصل التاسع، أما الفصل العاشر ففيه تم إعطاء فكرة مبسطة عن ثنائي زينر وطريقة عمله وتطبيقاته كمنظم للجهد. واختتم الكتاب بالفصل الحادي عشر الذي اشتمل على فكرة مختصرة حول تصميم البوابات المنطقية باستخدام الثنائي.ولابد من أن ننوه بأن الجهد الذي بذل في هذا الكتاب على وفرته لا يساوي كثيراً إذا أخذنا في الاعتبار الهدف الذي يتوخاه وهو ملء ثغرة في المكتبة العربية، وتقديم موضوع معاصر للطالب العربي، وتعريب التعليم الجامعي. و يهمني أن أسجل هنا الدعوة إلى ضرورة إغناء المكتبة العربية بالكتب المؤلفة والمترجمة التي تنقل وتوطن المعرفة في كافة ميادين العلوم من لغات الدول الأكثر تقدما إلى اللغة العربية القادرة بدون شك على أن تتسع لهذا الهدف الكبير وتستوعبه.

ولا أدعي الكمال في هذا الكتاب فحسبي ما قيل :

(إني رأيت أنه لا يكتب إنسان كتابا في يومه إلاَ قال في غده لو غيرَ هذا لكان أحسن ولو زيد كذا لكان من المستحسن ولو قُدم هذا لكان أفضل ولو تُرك هذا لكان أجمل)

وختاما آمل أن يحقق هذا الكتاب الغرض الذي وضع من أجله ليكون عونا للطالب والأستاذ في جامعاتنا ومعاهدنا العليا، وأسأل الله أن أكون قد وفقت في هذا العمل.

ويسرني أن أقدم خالص الشكر إلى كل من ساهم في إخراج هذا العمل إلى حيز الوجود، وأخص بالشكر المهندس إحسان الشماخي على طباعة وإخراج الكتاب بالصورة التي هي بين أيديكم.

د. عبد القادر مصباح الأمين

المحتويات

الجزء الأول : الدوائر الكهربائية

الفصل الأول : الكميات الفيزيائية الأساسية في الدوائر الكهربائية

الفصل السابع: المكثفات

الجـــزء الـثـانـــي : الـدوائـــر الإلكـــترونيـــة

الـفصل الـثـــامـــن: نظريـة عمل الصمام الثنائي

الـفصل الـتـاســع: تطبيقات دوائر الثنائي

الـفصل الـعـاشـر: الثنائي زيـنـر

الفصل الحادي عشر : تصميم البوابات المنطقية باستخدام الثنائي

الفصل الأول

1.1 القياسات ووحدات القياس

1.1.1 قياس الكميات الفيزيائية

يهتم علم الفيزياء بقياس الكميات الفيزيائية مثل الأطوال،والزمن،ودرجة الحرارة، والضغط و التيار الكهربائي وغيرها.

تقـــاس كل كمية فيزيائية بوحدة قياس خاصة بها.فهناك وحدات قياس أساسية وهي التي لا يعبر عنها بدلالة وحدات قياس أخرى مثل وحدة قياس الطول (متر)،والكتلة (كيلوجـــرام)،والـــزمن (الثانـــية).وهناك وحدات قياس ثانوية وهي وحدات مشتقة من الوحدات الأساسية مثل وحدات قياس الحجم والكثافة و السرعة والعجلة.

2.1.1 النظام الدولي لوحدات القياس (SI) .

صمم النظام الدولي للوحدات ليستخدم في جميع فروع العلم والتقنية.

ففي سنة 1971 ف عند انعقاد المؤتمر العام الرابع عشر للمقاييس والأوزان تم اختيار سبع كميات فيزيائية أساسية لتكون أساس النظام الدولي للوحدات.

الجدول (1) وحدات القياس الأساسية في النظام الدولي للوحدات (SI)

ت	الكمية الفيزيائية	وحدة القياس	الرمز
1	الطول	متر	m
2	الكتلة	كيلو جرام	kg
3	الزمن	ثانية	s
4	درجة الحرارة	كلفين	K
5	شدة التيار الكهربائي	أمبير	A
6	كمية المادة	مول	mol
7	شدة الإضاءة	شمعة	cd

ومعظم وحدات القياس الثانوية يمكن اشتقاقها من الوحدات الأساسية. فعلى سبيل المثال وحدة قياس القدرة هي وات {W}و تتكون من وحدات قياس الكتلة و الطول والزمن

$$1\text{Watt}\ [W] = 1\text{kg.m}^2/\text{s}^3$$

3.1.1 مضاعفات وكسور الوحدات

فـــي القياسات الفيزيائية تكون بعض قيم الكميات الفيزيائية صغيرة جداً ،وبعضها الآخر كبيرة جداً، لذلك نستخدم معاملات العدد عشرة في قياساتنا. فمثلاً العدد:

$$3560000000m = 3.56\times10^9\,m$$

$$0.000000492s = 4.92\times10^{-7}\,s$$

الجدول (2) مضاعفات وكسور الوحدات

المعامل	10^{24}	10^{21}	10^{18}	10^{15}	10^{12}	10^9	10^6	10^3	10^2	10^1
الاسم	يوتا	زيتا	إكزا	بيتا	تيرا	فيغا	ميغا	كيلو	هكتو	ديكا
الرمز	Y	Z	E	*P*	T	G	M	k	*h*	*da*

المعامل	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}	10^{-21}	10^{-24}
الاسم	ديسي	سنتي	ميللي	مايكرو	نانو	بيكو	فمتو	اتو	زيبتو	يوكتو
الرمز	d	c	m	μ	n	p	f	a	z	y

ملاحظة :الجزء المظلل شائع الاستخدام في التطبيقات العملية.

في حساب القدرة $1.27\times10^9 W = 1.27GW$

وفي حساب الزمن $2.35\times10^{-9} s = 2.35ns$

$\because \qquad 1\min = 60\,s$

$$1\,s=\left(\frac{1}{60}\right)\min$$

∴ لتحويل دقيقتين إلى ثوان

$$2\min\ =2\min\left(\frac{60s}{1\min}\right)=120\,s$$

- حول $(20mm)$ إلى المتر

$$20\,mm\ =20\times10^{-3}\,m$$

- حول $(5mg)$ إلى الكيلوجرام

$$\begin{aligned}5\,mg\ &=5\times10^{-3}\ g\\ &=5\times10^{-3}\times10^{-3}\,k\,g\\ &=5\times10^{-6}\ kg\end{aligned}$$

4.1.1 ــ جمع ــ طرح ــ ضرب ــ قسمة الأسس

- **الجمع** : $1\times10^{n}+1\times10^{n}\ =2\times10^{n}$

1- $1\times10^{6}+1\times10^{6}\ =2\times10^{6}$

2- $1\times10^{3}+1\times10^{4}=1\times10^{3}+10\times10^{3}=11\times10^{3}$

3- $1\times10^{-6}+1\times10^{-7}\ =10\times10^{-7}+1\times10^{-7}=11\times10^{-7}$

- **الطرح** : $1\times10^{n}-1\times10^{n}\ =0$

1- $3\times10^{n}-1\times10^{n}\ =2\times10^{n}$

2- $1\times10^{6}-1\times10^{6}\ =0$

3- $4\times10^{4}-2\times10^{4}\ =2\times10^{4}$

4- $1\times10^{8}-1\times10^{6}\ =100\times10^{6}-1\times10^{6}=99\times10^{6}$

- الضرب : $(1\times10^{n})(1\times10^{m})=1\times10^{n+m}$

1- $(1\times10^{3})(1\times10^{4})=1\times10^{3+4}=1\times10^{7}$

2- $(1\times10^{-5})(1\times10^{2})=1\times10^{-5+2}=1\times10^{-3}$

- القسمة: $\frac{1}{1\times10^{n}}=1\times10^{-n}$, $\frac{1}{1\times10^{-n}}=1\times10^{n}$, $\frac{1\times10^{n}}{1\times10^{m}}=1\times10^{(n-m)}$

1- $\frac{1}{1\times10^{-3}}=1\times10^{3}$, $\frac{1}{1\times10^{6}}=1\times10^{-6}$

2- $\frac{1}{1000}=\frac{1}{1\times10^{3}}=1\times10^{-3}$

3- $\frac{1}{0.00001}=\frac{1}{1\times10^{-5}}=1\times10^{5}$

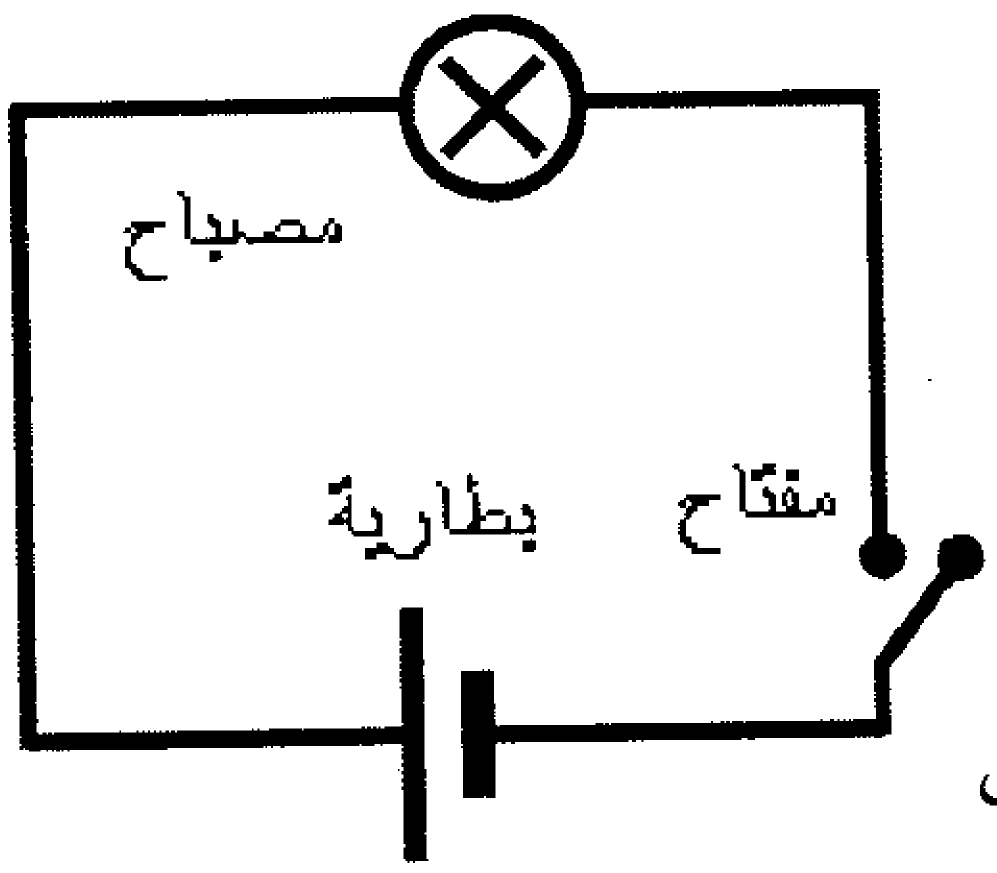
4- $\frac{1\times10^{5}}{1\times10^{2}}=1\times10^{(5-2)}=1\times10^{3}$

5- $\frac{1\times10^{3}}{1\times10^{-4}}=1\times10^{3+(+4)}=1\times10^{7}$

6- $\frac{1\times10^{-13}}{1\times10^{-9}}=(1\times10^{-13})(1\times10^{9})=1\times10^{-4}=\frac{1}{1\times10^{4}}$

2.1 التيار الكهربائي والشحنة الكهربائة Electric Current and Electric Charge

تجربة: الشكل التالي يوضح دائرة كهربائية تتكون من مصباح كهربائي ،وبطارية ،ومفتاح موصلة على التوالي.عند إغلاق المفتاح يمر التيار ويضيء المصباح،أما عند فتح المفتاح فيتم قطع التيار وبالتالي ينطفئ المصباح.



كيف يمر التيار؟

التيار المار خلال موصل هو عبارة عن إلكترونات تنساب خلال الموصل وتسمى الإلكترونات الحرة حيث يتم تحريرها من مداراتها داخل الذرة.

شدة التيار الكهربائي(I):

ينشأ التيار الكهربائي بموصل ما إذا مرت شحنة (q) خلال مقطعه في زمن قدره (t) وتكون قيمة هذا التيار الثابت

$$I[A]=\frac{q[C]}{t[s]}$$

والوحدة العملية للتيار هي الأمبير[A] وهي من الوحدات الأساسية.

الشحنة الكهربائية(q):

وحــدة قياس الشحنة الكهربائية هي الكولوم [C] ،و الكولوم هو كمية الشحنة التي تمر خلال موصل وينشأ عنها تيار قيمته أمبير واحد في زمن قدره ثانية واحدة :

$$q[C]=I[A].t[s]$$

الشحنة النوعية للإلكترون (e) :

من الثوابت الفيزيائية وهي أصغر كمية للشحنة ،وتستخدم كوحدة طبيعية لقياس الشحنة، بمعنى أن أي كمية من الشحنات تكون مضاعفاً صحيحاً لهذه الكمية وقيمتها:

$$e = 1.6021892 \times 10^{-19}\, C$$

مثال 1.1 تنساب شحنة كهربائية خلال موصل بمقدار ($0.16\ C$) في كل ($64\ ms$) . احسب التيار المار في الموصل بالأمبير.

الحــل:

$$q = I\ .t$$

$$I = \frac{q}{t} = \frac{0.16}{64 \times 10^{-3}} = 2.5A$$

مثال 2.1 احسب الزمن اللازم لمرور عدد (4×10^{16}) إلكترون خلال موصل ،إذا علمت أن التيار الكهربائي يساوي ($5mA$).

الحــل:

الشحنة = عدد الإلكترونات × الشحنة النوعية للإلكترون

$$q = n\,e$$

$$q = \left(4 \times 10^{16}\right)\left(1.602 \times 10^{-19}\right) = 0.64 \times 10^{-2}\ C = 6.4\,mC$$

$$t = \frac{q}{I} = \frac{6.4 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-3}} = 1.28\,s$$

مثال 3.1 احسب عدد الإلكترونات التي تكوِّن شحنة كهربائية مقدارها ($320\ \mu C$) .

الحل:

$$n = \frac{q}{e} = \frac{320\mu\, C}{1.6 \times 10^{-19} C} = \frac{320 \times 10^{-6}}{1.6 \times 10^{-19}} = 2 \times 10^{15}\, electrons$$

3.1 الجهد الكهربائي (Electric Potential)

فرق الجهد الكهربائي (V) بين نقطتين هو الشغل (W) أو الطاقة اللازمة لنقل شحنة كهربائية (q) بين النقطتين.ووحدة قياسه الفولت [V].

$$V\,[V] = \frac{W\,[J]}{q\,[C]}$$

$$\text{فولت} = \frac{\text{جول}}{\text{كولوم}} = \frac{\text{وات} \times \text{ثانية}}{\text{أمبير} \times \text{ثانية}} = \frac{\text{فولت} \times \text{أمبير} \times \text{ثانية}}{\text{أمبير} \times \text{ثانية}}$$

$$V = \frac{J}{C} = \frac{W.s}{A.s} = \frac{V.A.s}{A.s}$$

مثال4.1 احسب الطاقة الكهربائية اللازمة لتحريك شحنة ($50\ \mu$ C) بين نقطتين فرق الجهد بينهما ($6V$) .

الحـــل:

$$V\,[V] = \frac{W\,[J]}{q\,[C]}$$

$$W = V \times q = (6)(50 \times 10^{-6}) = 300 \times 10^{-6}\, J = 300\,\mu\, J$$

4.1 الشغل الكهربائي و الطاقة الكهربائية (Work and Energy)

هو الشغل (W) اللازم لنقل شحنة كهربائية (q) بين نقطتين في زمن (t) نتيجة لوجود فرق جهد قدره (V) .

$$W\,[J] = V\,[V].q\,[C] \quad , \quad q\,[C] = I\,[A].t\,[s] \quad \because$$

$$\therefore \quad W\,[J] = V\,[V].I\,[A]t\,[s]$$

ووحدة قياس الشغل والطاقة الجول [J].

5.1 القدرة الكهربائية (Electric Power)

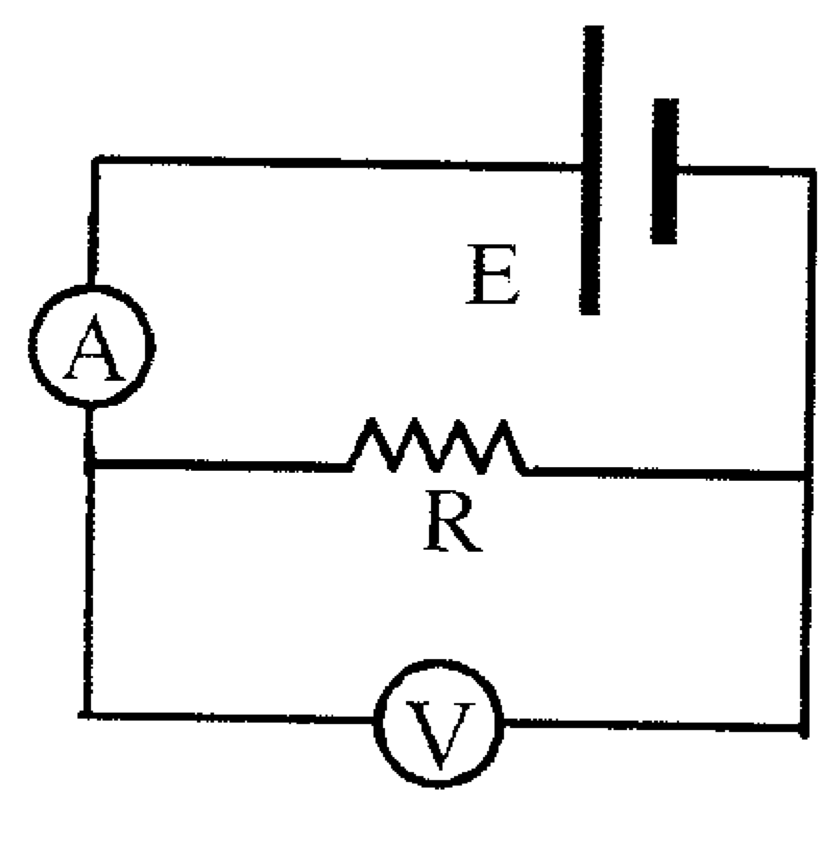
هي الشغل المبذول على وحدة الزمن ،ووحدة قياسها [W] .

$$P[W] = \frac{W[J]}{t[s]}$$

$$\because \quad P[W] = \frac{W[J]}{t[s]} = \frac{V.I.t}{t} = V.I$$

$$\therefore \quad P[W] = V[V].I[A]$$

6.1 المقاومة الكهربائية وقانون أوم (Electric Resistance and Ohm's Law)



تجربة:

في الدائرة الكهربائية بالشكل نقيس التيار المار في الدائرة بواسطة الأميتر (A) وفرق الجهد بين طرفي المقاومة بالفولتميتر (V) .إذا غيرنا شدة التيار بواسطة المقاومة المتغيرة (R_S) وسجلنا في كل مرة قراءة (V) و(I)

نجد أن العلاقة خطية عند رسم العلاقة بين التيار (I) على محور السينات وفرق الجهد (V) على محور الصادات بيانياً.فإن ميل الخط المستقيم يعطي مقداراً ثابتاً وهو المقاومة (R) .

$$\because \quad I \propto V$$

∵ I تتناسب طردياً مع V عند ثبوت درجة الحرارة فإن:

$$I = G.V$$

حيث :G ثابت التناسب ويعرف بالمواصلة الكهربائية (Conductance) ومقلوبها هي المقاومة الكهربائية R (Resistance).

$$G=\frac{1}{R} \quad , \quad R=\frac{1}{G}$$

$$\because \quad I=\frac{1}{R}V$$

$$\therefore \quad R=\frac{V}{I}$$

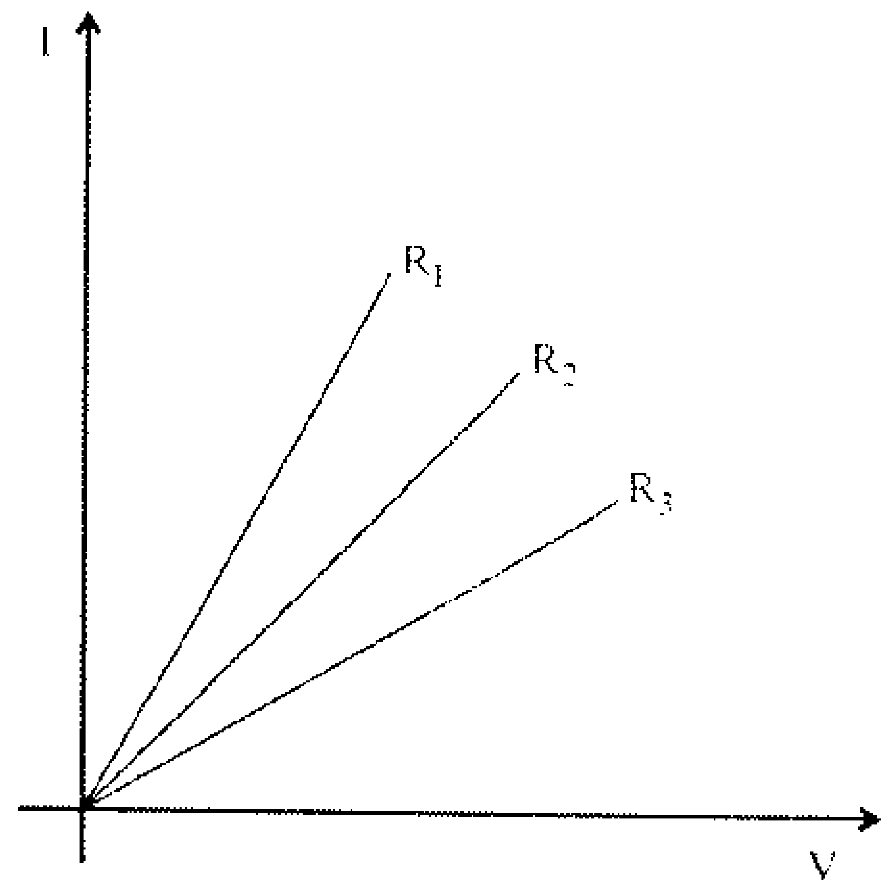
وحدة قياس المقاومة الأوم(Ω) ووحدة قياس المواصلة السيمنس (S).

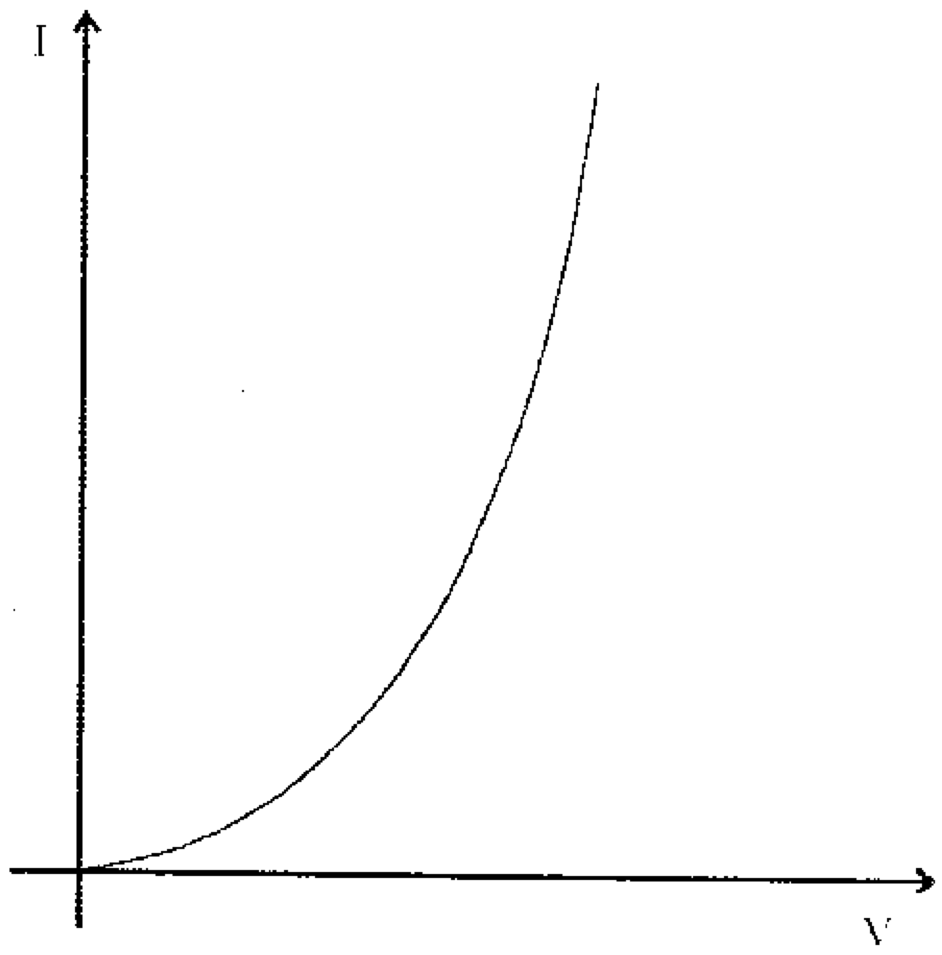
مما سبق نستنتج أنه :

1- عندما تكون العلاقة بين (V)و(I)علاقة خطية (Linear) وفيها يكون مقدار المقاومة (R) ثابتاً لا يعتمد على مقدار فرق الجهد المؤثر وذلك عند ثبوت درجة الحرارة. جميع الموصلات المعدنية تخضع لقانون أوم وتعرف هذه المواد بالمواد الآومية.

2- أما عندما تكون العلاقة بين (V)و(I) علاقة غير خطية (Non Linear) وفيها (R) متغيرة ويحدث ذلك في الموصلات غير المعدنية مثل أشباه الموصلات.

الشكل التالي يوضح الفرق في العلاقة الخطية والغير خطية بين (V)و(I) .





بما أن مقاومة الموصل تعتمد على درجة الحرارة ارتفاعاً وانخفاضاً فإن العلاقة بين شدة التيار الكهربائي (I) وفرق الجهد (V) تكون غير خطية ،والحقيقة أن التغير في درجة الحرارة يسبب تغيراً في المقاومة النوعية وفق العلاقة التالية:

$$R = R_o (1 + \alpha \Delta T)$$

$$\rho = \rho_o (1 + \alpha \Delta T)$$

حيث:(R) و(ρ) المقاومة النوعية والمقاومة عند درجة الحرارة الجديدة على التوالي.

(R_o) و(ρ_o) المقاومة النوعية والمقاومة عند درجة الحرارة المعلومة.

α : معامل المقاومة النوعية ووحدته [$1/C^o$] أو [$1/k^o$] .

ΔT: التغير في درجة الحرارة (T_2-T_1) ووحدته [C^o] أو [k^o] .

7.1 المقاومة النوعية (المقاومية) Resistivity

وهي خاصية للمادة،وتعتمد المقاومة الكهربائية للسلك الموصل على التالي:

1- نوع مادة السلك.

2- طول السلك (L) حيث تتناسب (R) طردياً مع (L).

3- مساحة مقطع السلك (A) حيث تتناسب (R) عكسياً مع (A).

$$R \propto \frac{1}{A} \quad ، \quad R \propto L \quad \because$$

ومنها
$$R \propto \frac{L}{A}$$

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

$$\boxed{\rho = R\frac{A}{L}}$$

وحدة قياس المقاومة النوعية هي (أوم.متر) $(\Omega.m)$ وفي بعض المراجع تعطى وحدة قياس المقاومة النوعية $(\Omega.mm^2/m)$.

الجدول التالي يوضح الفرق في المقاومة النوعية في الموصلات ،وأشباه الموصلات والعوازل.

المادة		المقاومة النوعية $\rho\ (\Omega.m)$ @ $20C^o$	المعامل الحراري للمقاومة النوعية $\alpha\ [1/C^o]$
موصل	الفضة	1.47×10^{-8}	0.0038
	النحاس	1.72×10^{-8}	0.00393
	الذهب	2.44×10^{-8}	0.0034
شبه موصل	الكربون	3.5×10^{-5}	−0.0005
	جرمانيوم	0.6	− 0.048
عازل	الزجاج	$10^{10} - 10^{14}$	
	مايكا	$10^{11} - 10^{15}$	

8.1 الموصلية الكهربائية (Conductivity)

هي مقلوب المقاومة النوعية وتعتبر أيضاً خاصية للمادة

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

وحدة قياس الموصلية هي

$\left(\frac{1}{\text{أوم} \quad \text{متر}} \right)$ أي $\left(\frac{1}{\Omega . m} \right)$ أو $\left(\frac{S}{m} \right)$

حيث أن السيمنس (S) هو مقلوب الأوم (Ω) .

9.1 علاقة قانون أوم بقانون القدرة.

تعرفنا في السابق على قانون أوم: $R = \frac{V}{I}$

وقانون القدرة $P = V . \bullet I$

إذاً مـــن العلاقتـــين وبمعلومـــية (V , I) أو (R , I) أو (R , V) يمكن حساب القدرة الكهربائية

$$\because \quad P = V . \bullet I \quad ، \quad V = R . \bullet I$$

$$\therefore \quad P = R . \bullet I \bullet I = R \bullet I^2$$

أو

$$P = V . \bullet I \quad ، \quad I = \frac{V}{R}$$

$$\therefore \quad P = \frac{V}{R} \bullet V = \frac{V^2}{R}$$

10.1 أمثلة متنوعة

مثال (1)

الميكرومتر ($1\ \mu m$) يطلق عليه غالباً ما يكرون:

1- كم من الميكرومتر في ($1km$)؟

2- كم من السنتمتر في ($1\mu m$)؟

الحــل :

1- $$\frac{1km}{1\mu m}=\frac{10^{3}\ m}{10^{-6}\ m}=10^{3}\times10^{6}=10^{9}$$

2- $$\frac{1\mu m}{1cm}=\frac{10^{-6}\ m}{10^{-2}\ m}=10^{-6}\times10^{2}=10^{-4}$$

مثال (2)

مصباح كهربائي مكتوب عليه ($220\ V/\ 100\ W$):

1- وضح معنى هذه الكتابة.

2- ما هي قيمة التيار الذي يسحبه هذا المصباح؟

3- ما هي مقاومة المصباح؟

الحــل :

1- معنى الكتابة أن فرق الجهد الذي يجب توصيله بالمصباح يساوي ($200\ V$)والقدرة المستهلكة تساوي ($100\ W$).

2-

$$\because \quad P=V\cdot I$$

$$\therefore \quad I=\frac{P}{V}=\frac{100}{220}=0.45\ A$$

-3

$$R=\frac{V}{I}=\frac{220}{0.45}=489\,\Omega$$

مثال (3)

سخانة كهربائية مقاومتها ($30\,\Omega$) وضعت على فرق جهد ($225\,V$)،احسب كلاً من:

1- شدة التيار و القدرة الكهربائية.

2- الطاقة الكهربائية المستهلكة عند استخدام السخانة لمدة ($20\,min$).

3- الشحنة الكهربائية التي تمر في الجهاز خلال هذا الزمن.

الحـــل :

$V = 225\,V$, $R = 30\,\Omega$, $t = 20\,min \times 60 = 1200s$

-1

$$I=\frac{V}{R}=\frac{225}{30}=7.5\,A$$

$$P=V\bullet I=(225)(7.5)=1687.5\,W$$

-2

$$W=P\bullet t=(1687.5)(1200)=2025000\ J$$

$$\therefore \qquad W=2\,M\ J$$

-3

$$q=I\bullet t=(7.5)(1200)=9000\,C=9\,k\,C$$

مثال (4)

سلك موصل طوله ($5\,m$) وقطره ($1\,mm$) تمر به شحنة كهربائية مقدارها ($90\,C$) خلال زمن قدره ($2\,min$) نتيجة لوجود فرق جهد بين طرفيه مقداره ($1.5\,V$) احسب مايلي:

1- مقاومة السلك.

2- المواصلة الكهربائية للسلك.

3- مقاوميته.

4- الموصلية الكهربائية للسلك.

الحــل :

$L = 5m,\ r = 1mm = 1\times10^{-3}\ m,\ q = 90C,\ t = 2min\times 60 = 120\ s,\ V = 1.5V$

$$\because \quad q = I \bullet t \qquad \therefore \quad I = \frac{q}{t} = \frac{90}{120} = 0.75\ A$$

1-

$$\therefore \quad R = \frac{V}{I} = \frac{1.5}{0.75} = 2\ \Omega$$

2-

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{2} = 0.5\ S$$

3-

$$\rho = R\ \frac{A}{L} = (2)\frac{\left[\pi\left(1\times10^{-3}\right)^2\right]}{5} = 3.14\times10^{-7}\ \Omega.\ m$$

مثال (5)

موصل دائري من النحاس مقاومته (5 Ω) وطوله (150 m)، احسب قطر هذا الموصل إذا علمت أن المقاومة النوعية للنحاس (1.7×10^{-8} Ω.m) .

الحــل :

$$R = 5\ \Omega\ ,\ L = 150\ m\ ,\ \rho = 1.7\times10^{-8}\ \Omega.m$$

$$\because \quad R = \rho\ \frac{L}{A} \qquad , \qquad \therefore \quad A = \rho\ \frac{L}{R}$$

$$\because \quad A = \pi\ .\ r^2 \qquad A = \left(1.7\times10^{-8}\right)\frac{(150)}{5} = 5.1\times10^{-7}\ m^2$$

$$\therefore \quad r^2 = \frac{A}{\pi} = \frac{5.1\times10^{-8}}{3.14} = 1.62\times10^{-7}\ m^2$$

$$r = 4.03\times10^{-4}\ m$$

$$d = 2\ r = (\ 2\ )(\ 4.03\times10^{-4}\ ) = 8.06\times10^{-4}\ m$$

$$d = 0.8\ mm$$

مثال (6)

سلك من النحاس طوله($5\ m$) ومقاومته عند درجة حرارة الغرفة تساوي($34.12\ \Omega$)

احسب مقاومة السلك عند درجة حرارة ($-20\ ^oC$) .

إذا علمت أن معامل المقاومة الحراري يساوي ($0.00393\ ^oC^{-1}$) .

الحـــل :

نفرض أن درجة حرارة الغرفة تساوي ($27\ ^oC$) .

$$R_{27} = R_{-20}\left[1+\alpha\left(T_{27} - T_{-20}\right)\right]$$

$$34.12 = R_{-20}\left[1+0.00393\left(27-(-20)\right)\right]$$

$$34.12 = R_{-20}\left[1+0.00393(47)\right]$$

$$R_{-20} = \frac{34.12}{[1+0.00393(47)]} = \frac{34.12}{1+0.18471}$$

$$R_{-20} = 28.8\ \Omega$$

مثال (7)

سلك طوله ($32.3m$) ومساحة مقطعه ($5\ mm^2$) ومقاومته عند درجة حرارة الصفر المئوي تساوي (120Ω) وعندما ارتفعت درجة حرارته إلى ($50\ ^oC$) أصبحت مقاومته ($144\ \Omega$) احسب كلاً من :

1- معامل المقاومة الحراري 2- المقاومة النوعية عند ($0\ ^oC$) .

الحـــل:

$$R = R_0\left[1+\alpha\left(\Delta T\right)\right]$$

$$144 = 120\left[1+\alpha\left(50-0\right)\right]$$

$$144 = 120\left[1+\alpha\, 50\right]$$

$$144 = 120 + 6000\alpha$$

$$6000\alpha = 144 - 120$$

$$6000\alpha = 24$$

$$\alpha = 0.004\ {}^{o}C^{-1}$$

$$\because \qquad \rho = R\,\frac{A}{L} \qquad , \qquad \rho_0 = R_0\,\frac{A}{L}$$

$$\therefore \qquad \rho_0 = (0.12)\,\frac{\left(5\times10^{-6}\right)}{(32.3)} = 0.0186\times10^{-3}\ \Omega.m$$

$$\rho_0 = 18.6\times10^{-6}\ \Omega.m$$

11.1 مسائل متنوعة

(1) احســب الطاقة اللازمة لتحريك شحنة قدرها ($50\ \mu C$) إذا علمت أن فرق الجهد الكهربائي يساوي ($6\ V$) .

(2)
1- احسب فرق الجهد بين نقطتين في نظام كهربائي إذا علمت أن الطاقة اللازمة ($60\ J$) لحمل شحنة كهربائية قدرها($20\ C$) بين نقطتين.
2- إذا استغرقت هذه العملية زمناً قدره ($8\ s$) فما قيمة التيار المار؟
3- احسب القدرة المستهلكة.

(3) موصــل كهربائي مساحة مقطعه على شكل مربع طول ضلعه ($2mm$) ،فإذا كان طول هذا الموصل ($12m$) ومقاومته (0.072Ω) احسب مقاومية هذا الموصل.

(4) سلك من النحاس قطره ($0.5\ cm$) وطوله ($70\ cm$) يستخدم في توصيل بطارية سيارة:
1- احسب مقاومة هذا السلك.
2- إذا كــان التــيار المار خلال السلك ($170\ A$) فما هو فرق الجهد بين طرفيه؟

(5) كم يكون قطر سلك من الألمنيوم طوله متر واحد ويمر به تيار قدره ($15A$) وفرق الجهد بين طرفيه ($0.25V$)؟

(6) اسطوانة معدنية على طولها ($2.4\ cm$) وقطرها ($2mm$) ،وعند توصيل نهايتيها بفرق جهد ($9V$) يمر خلالها تيار قدره ($2.6\ mA$) .احسب المقاومة النوعية للاسطوانة.

(7) ســلك موصل مقاومته ($1.72\ \Omega$) عند درجة حرارة ($20\ ^{o}C$) ،احسب مقاومته عند درجات الحرارة التالية:

1- $0\ ^{o}C$ 2- $100\ ^{o}C$

(8) موصل كهربائي مقاومته (150.4Ω) عند درجة حرارة ($20^{o}C$) وعند ارتفاع درجة حرارته إلى ($40\ ^{o}C$) أصبحت مقاومته ($162.4\ \Omega$) أوجد معامل المقاومة الحرارية لمادة هذا الموصل.

(9) احسب شدة التيار الكهربائي المار خلال مصباح موصل بفرق جهد ($220V$) إذا علمت أن طول فتيل المصباح ($L = 25.6\ m$) وقطره ($0.024mm$) ومصنوع من مادة التنجستن التي مقاومتها النوعية عند ($20\ ^{o}C$) هي $\rho = 0.055\ \Omega.mm^2/m$ ومعامل المقاومة الحرارية($\alpha = 4.1 \times 10^{-3}\ ^{o}C^{-1}$) وذلك في الحالتين :

1- عند بدء التشغيل حيث تكون درجة حرارة السلك ($20\ ^{o}C$) .

2-عند الإنارة حيث يكون السلك متوهجاً ودرجة حرارته ($2300\ ^{o}C$) .

3-احسب القدرة الكهربائية المستهلكة في المصباح.

(10) موصل مقاومته ($0.2\ \Omega$) ،فإذا تضاعف قطره و طوله،احسب مقدار التغير في مقاومته.

(11) سلك من النحاس طوله ($1000\ m$) تغيرت مقاومته من ($0.2\ \Omega$) إلى ($0.8\ \Omega$) مع ثبوت طوله ،احسب مقدار التغير في قطر السلك.

الفصل الثاني

1.2 أهم عناصر الدائرة الكهربائية.
2.2 التيار المباشر (المستمر) والتيار المتردد (المتعاقب).
3.2 دوائر التوالي.
4.2 توصيل المقاومات على التوالي.
5.2 توصيل مصادر الجهد على التوالي.
6.2 قانون الجهد لكر شوف.
7.2 قانون مجزئ الجهد.
8.2 مصادر الجهد والتأريض.
9.2 أمثلة محلولة.
10.2 مسائل متنوعة.

دوائر التوالي

1.2 أهم عناصر الدائرة الكهربائية.

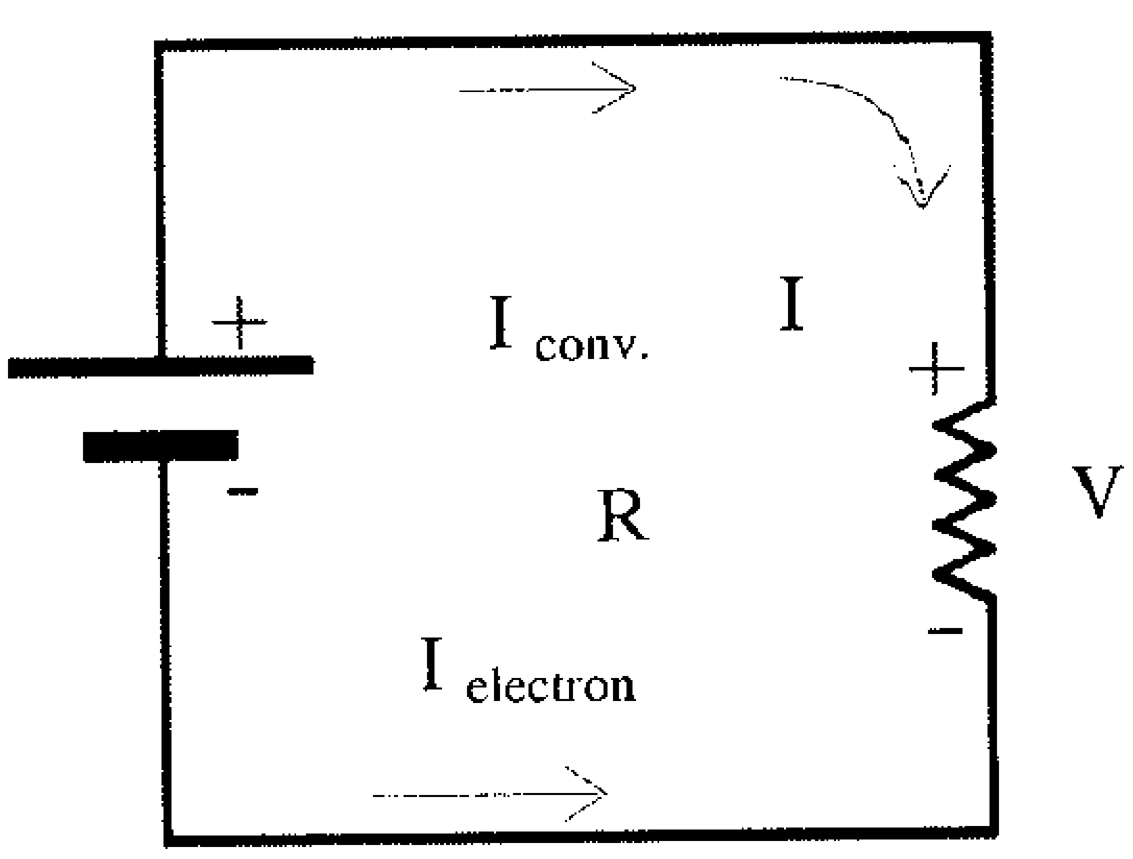
الجدول التالي يوضح بعض عناصر الدائرة الكهربائية التي سنتناولها في دراستنا لهذا الجزء من المنهج :

عنصر الدائرة		الرمز	الشكل	وحدة القياس
مقاومة	Resistance	R	‒/\/\/\/‒	Ω
مصدر الجهد (القوة الدافعة الكهربائية)	Voltage Source	E	‒|I‒	V
مصدر التيار	Current Source	I	‒(A)‒	A

2.2 التيار المباشر (المستمر) Direct Current (DC) .
التيار المتردد (المتعاقب) Alternate Current (AC) .

يوجد نوعان من التيار الكهربائي المستخدم في حياتنا العملية.النوع الأول هو التيار المستمر (DC) حيث لا تتغير فيه قيمة التيار مع الزمن.
أما النوع الثاني فهو التيار المتردد (AC) وفيه تتغير قيمة التيار مع التغير في الزمن.
في الفصول القادمة من هذا الكتاب سوف نركز على دوائر التيار المستمر.

3.2 دوائر التوالي Series Circuits



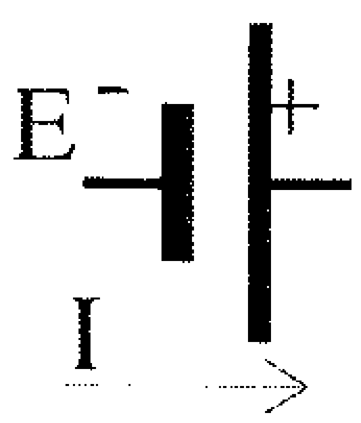
في الشكل التالي دائرة كهربائية بسيطة متكونة من مصدر جهد (بطارية) موصلة على التوالي بمقاومة بواسطة سلك موصل.
من الدائرة بالشكل نلاحظ وجود تيارين، الأول تيار الإلكترونات ($I_{electron}$) والذي يسري من القطب السالب للبطارية ،أما التيار الثاني فهو التيار الافتراضي ($I_{conventional}$) والذي يمر منطلقاً من القطب الموجب للبطارية وهو

عكس اتجاه تيار الإلكترونات.

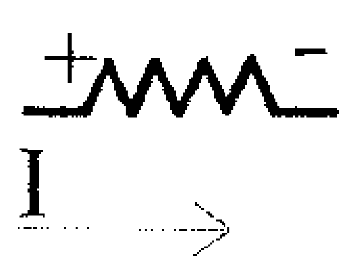
∴القطب الموجب للبطارية يجذب الإلكترونات التي تمر من خلال السلك والتي مصدرها القطب السالب.وطالما أن البطارية موصلة بالدائرة فإن قيمة التيار (DC) تظل ثابتة ولا تتغير مع الزمن.

ملاحظات هامة:

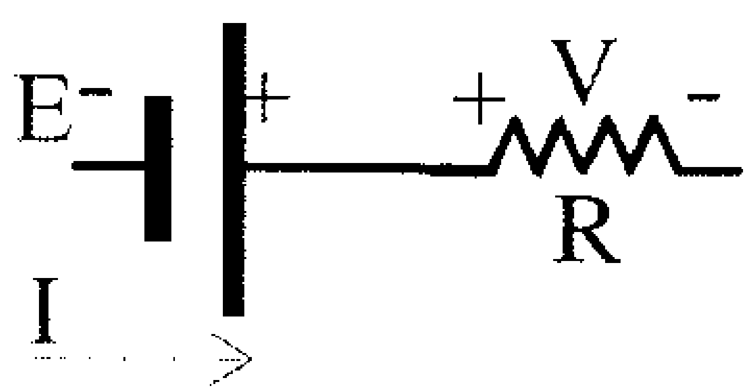
تيار الدائرة هو التيار الافتراضي.



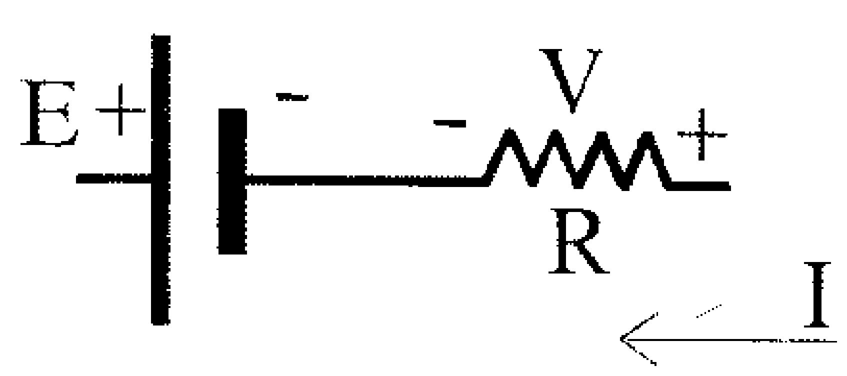
التيار يمر من مصدر الجهد من الجهد الأدنى(−) إلى الجهد الأعلى (+) .



التيار يمر خلال المقاومة من الجهد الأعلى (+) إلى الجهد الأدنى (−).



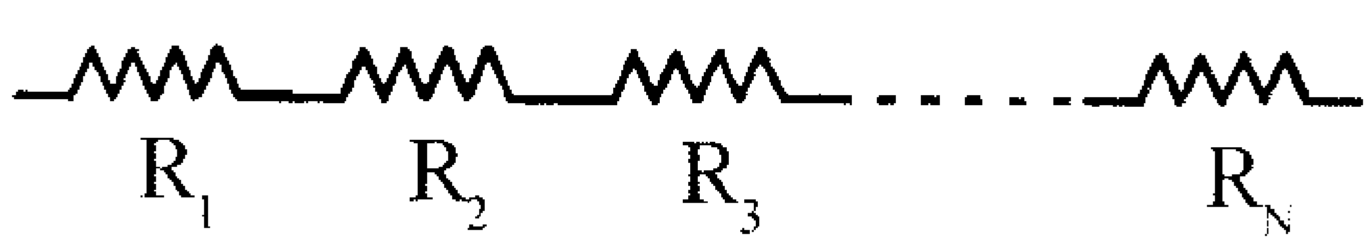
اتزان الدائرة :أي ارتفاع للجهد خلال مصدر الجهد من (−) إلى (+) يقابله انخفاض للجهد خلال المقاومة من (+)إلى (−) .



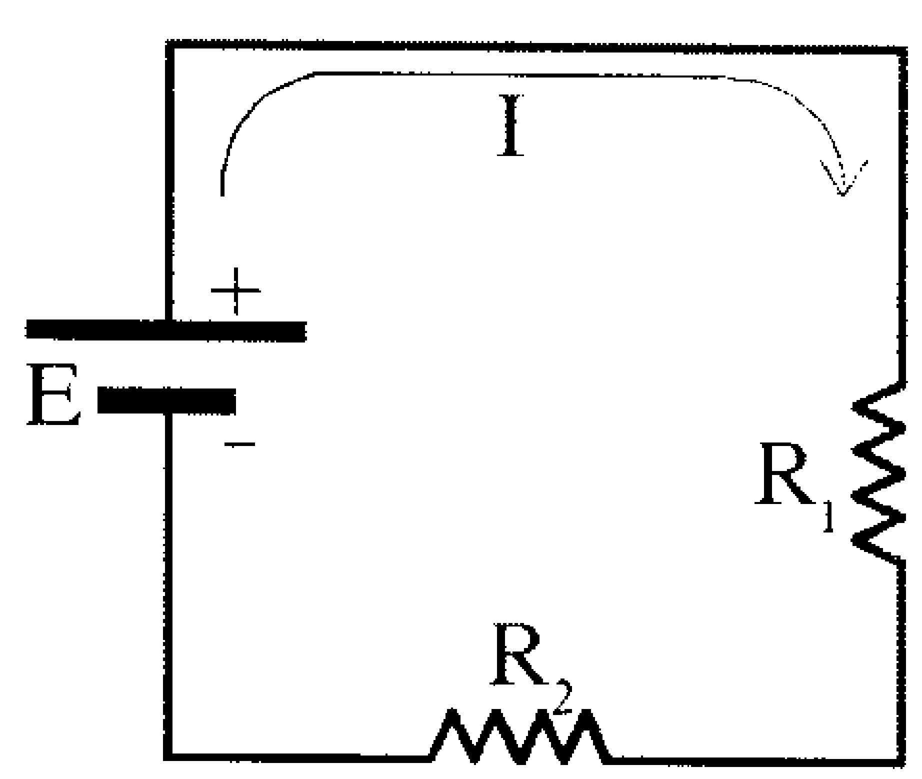
(قانون كر تشوف لاحقاً يقدم توضيحاً أكثر)

4.2 توصيل المقاومات على التوالي

المقاومة المكافئة (الكلية) لمجموع المقاومات المتصلة على التوالي



$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + ... + R_N$$



و بمعلومية قيمة المقاومة والجهد يمكن إيجاد قيمة التيار المار في الدائرة التالية حيث

$$R_T = R_1 + R_2$$

$$I = E / R_T$$

وكذلك يمكن حساب جهود المقاومة كل على حدة

$$V_1 = I R_1 \quad , \quad V_2 = I R_2$$

وبالتالي فإن القدرة المولدة من المصدر

$$P_s = P_{del.} = E I$$

والقدرة المستهلكة في المقاومات

$$P_1 = V_1 I_1 = I_1^2 R = \frac{V_1^2}{R_1}$$

$$P_2 = V_2 I_2 = I_2^2 R_2 = \frac{V_2^2}{R_2}$$

ملاحظة هامة : التيار المار في دائرة التوالي ثابت، أي أن $I = I_1 = I_2$ ،أما الجهد فهو متغير

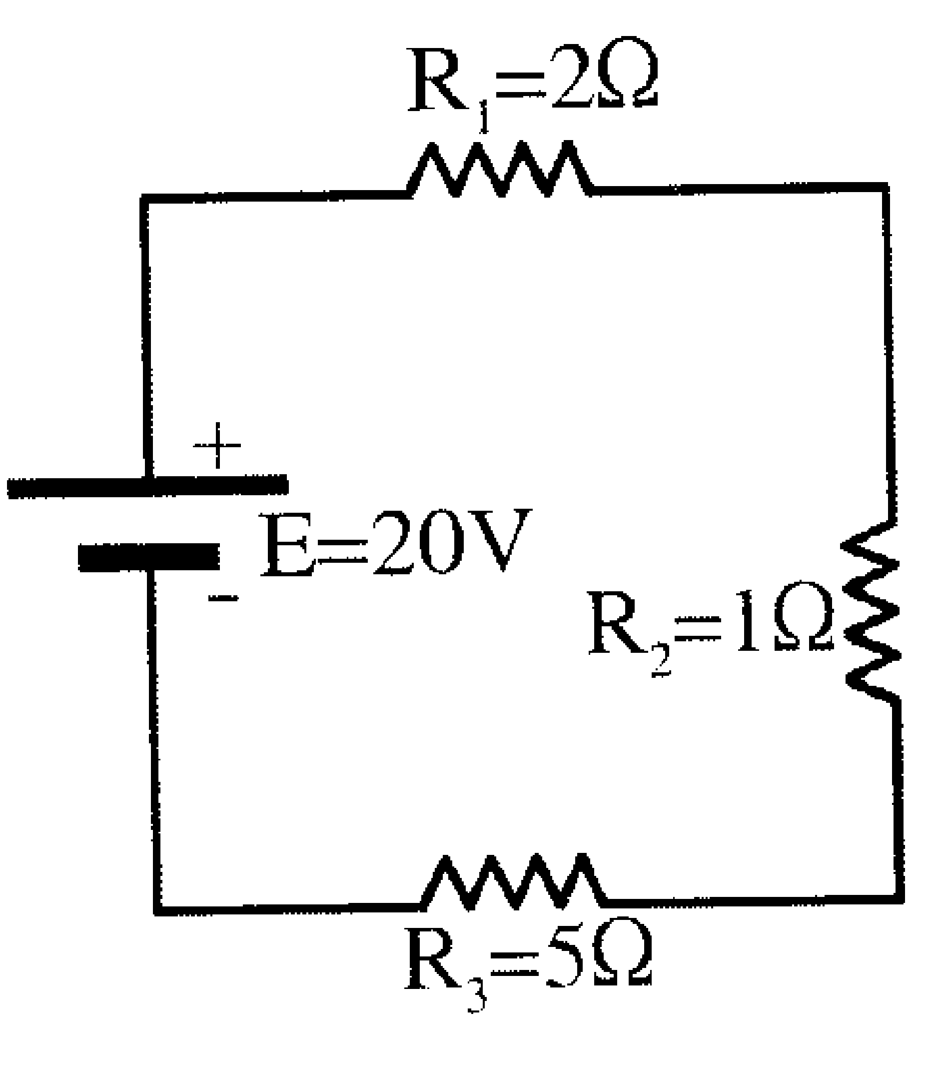
$$E \neq V_1 \neq V_2$$

قانون بقاء القدرة :

"القدرة المولدة في مصدر تساوي المجموع الجبري لقدرات (المستهلك) المقاومات المتصلة على التوالي مع المصدر"

$$P_S = P_1 + P_2 + ... + P_N$$

مثال1.2 من الدائرة بالشكل التالي أوجد :



المقاومة الكلية R_T .

التيار الكلي I .

فرق الجهد عبر كل مقاومة.

القدرة المستهلكة في كل مقاومة.

القدرة المولدة بواسطة مصدر الجهد.

الحل :

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 2 + 1 + 5 = 8\ \Omega$$

$$I = E / R_T = 20 / 8 = 2.5\ A$$

$$V_1 = I R_1 = (2.5)(2) = 5\ V$$

$$V_2 = I R_2 = (2.5)(1) = 2.5\ V$$

$$V_3 = I R_3 = (2.5)(5) = 12.5\ V$$

$$P_1 = V_1 I = (5)(2.5) = 12.5\ W$$

$$P_2 = V_2 I = (2.5)(2.5) = 6.25\ W$$

$$P3 = V_3 I = (12.5)(2.5) = 31.25\ W$$

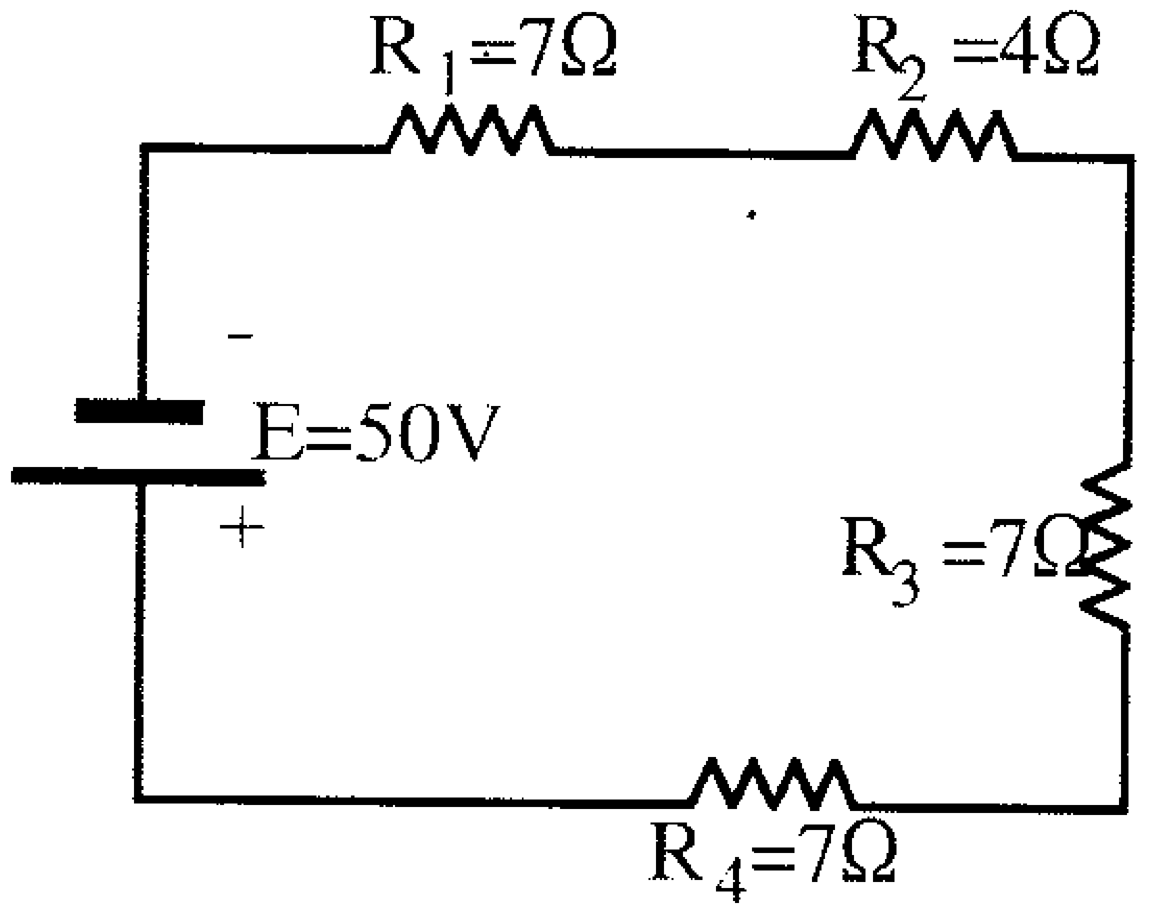
$$P_s = E I = (20)(2.5) = 50\ W$$

لتحقيق الناتج :

$$P_s = P_1 + P_2 + P_3$$

$$50 = (12.5) + (6.25) + (31.25) = 50$$

∴ القدرة المولدة من المصدر تساوي القدرة المستهلكة في المقاومات .



مثال2.2 من الدائرة في الشكل أوجد :

V_2 , I , R_T

الحـــل :

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$= 7\Omega + 4\Omega + 7\Omega + 7\Omega = 25\ \Omega$$

$$I = E / R_T = 50V / 25\Omega = 2A$$

$$V_2 = I R_2 = (2A)(4\Omega) = 8 V$$

ملاحظة : المقاومة الكلية لعدد من المقاومات المتساوية القيمة والمتصلة على التوالي تساوي عدد المقاومات N مضروبة في قيمة إحداها:

$$R_T = N R$$

في المثال السابق ثلاث مقاومات لها نفس القيمة (7Ω)

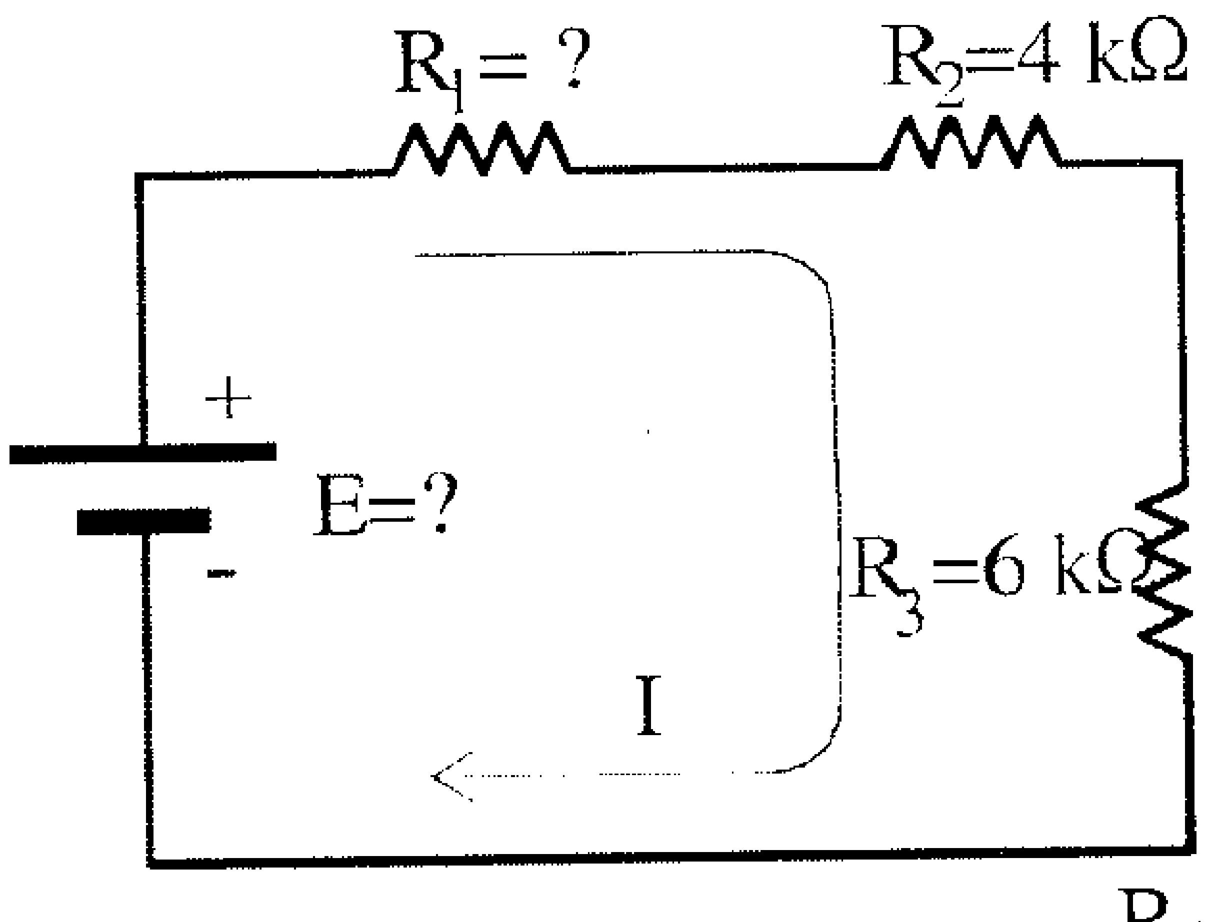
$$\therefore R_T = N R + R_2$$

$$= (3)(7\Omega) + 4\Omega = 25 \Omega$$

مثال3.2 من الدائرة بالشكل أوجد: R_1 , E

إذا علمت أن : $R_T = 12 k\Omega$

$I = 6mA$



الحــل :

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_1 = R_T - R_2 - R_3$$

$$= (12 k\Omega) - (4 k\Omega) - (6 k\Omega)$$

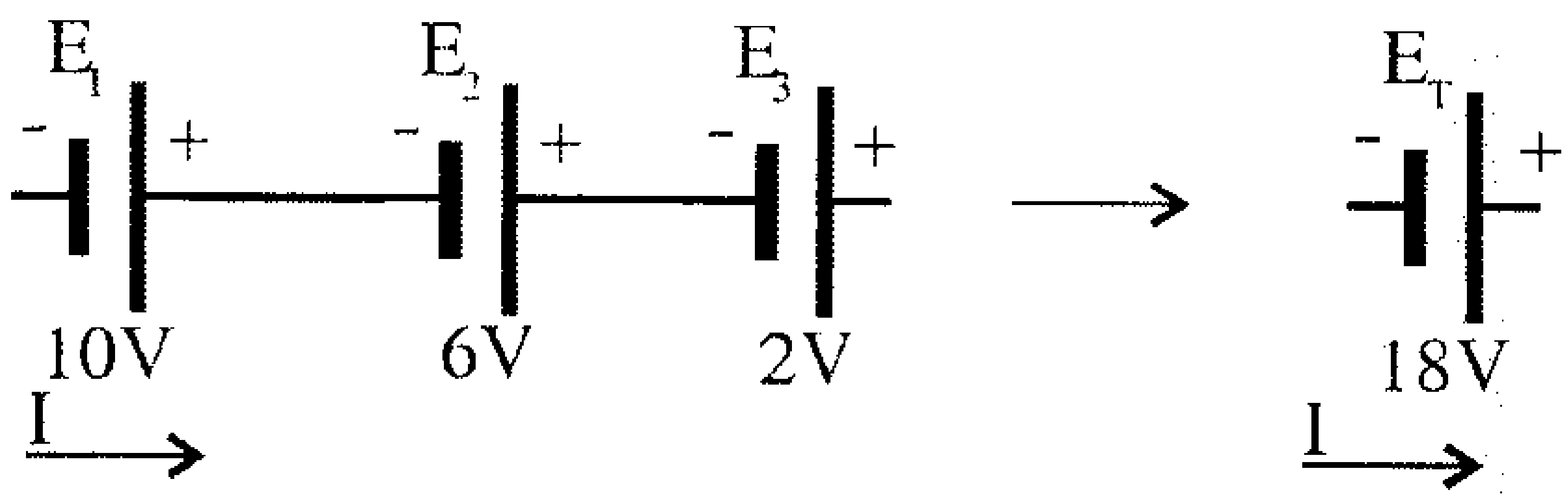
$$R_1 = 2 k\Omega.$$

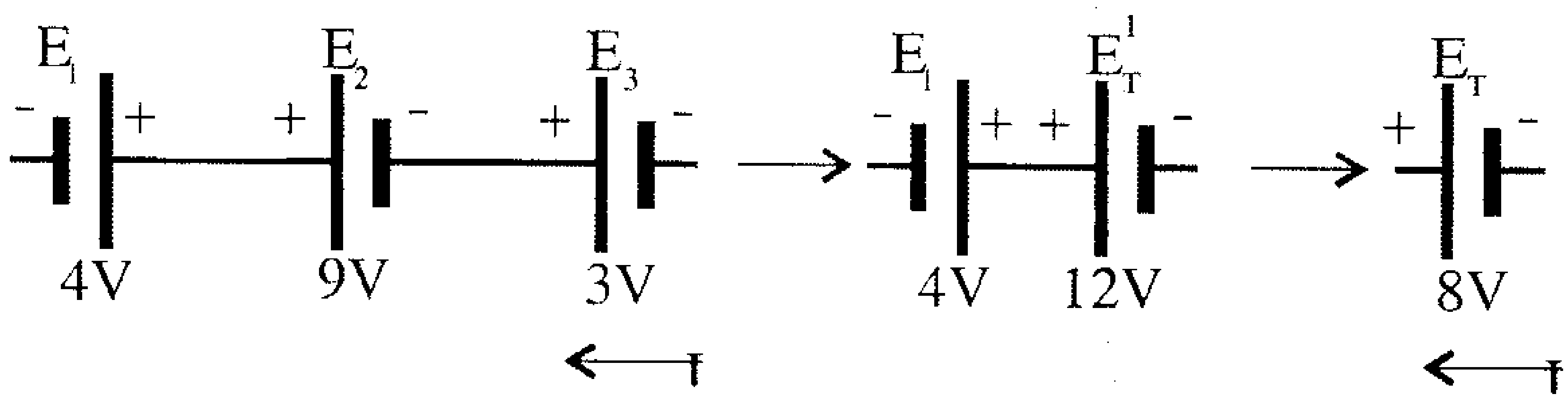
$$I = \frac{E}{R_T} \rightarrow E = I R_T = \left(6\times10^{-3}\right)\left(12\times10^{3}\right)$$

$$\therefore E = 72 V$$

5.2 توصيل مصادر الجهد على التوالي.

يمكن توصيل مصادر الجهد على التوالي كما في الأشكال التالية:





نلاحظ أن المصادر المتشابهة في القطبية تجمع والمختلفة تطرح

في الشكل الأول:

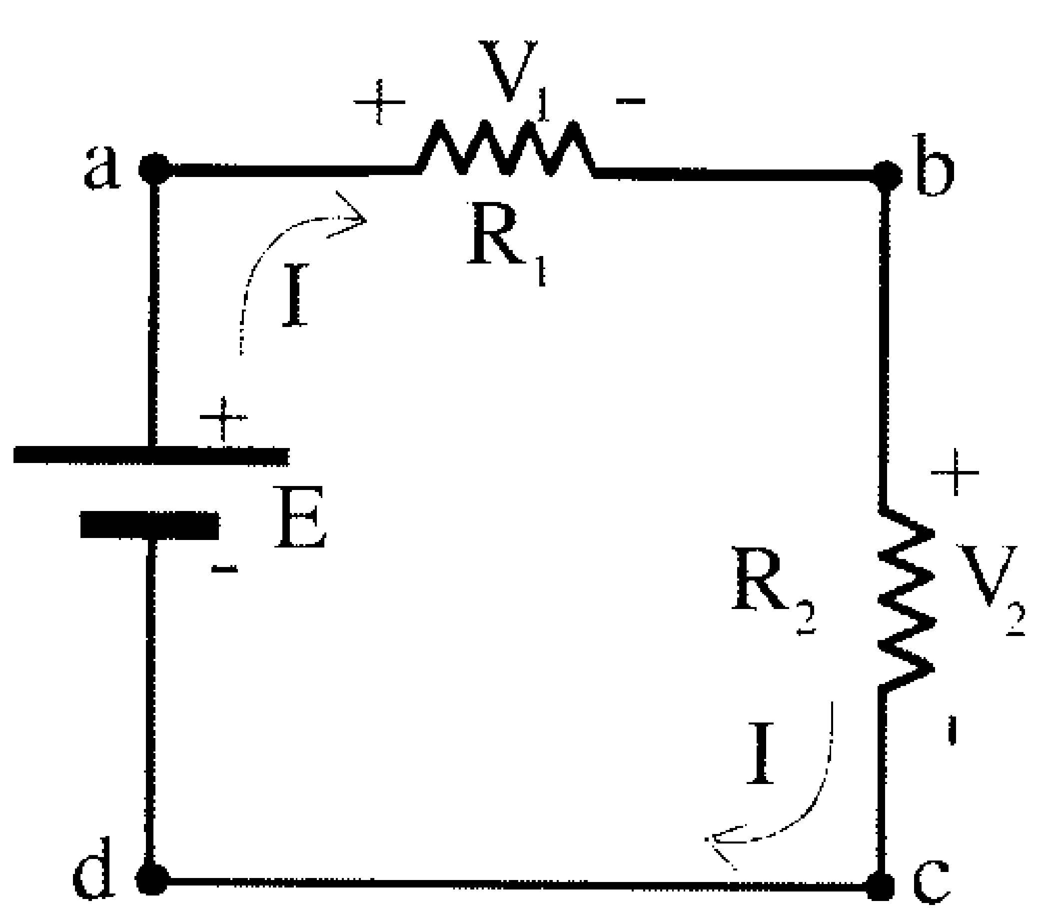
$$E_T = E_1 + E_2 + E_3 = 10\ V + 6V + 2\ V = 18\ V$$

في الشكل الثاني:

$$E_T = E_2 + E_3 - E_1 = 9\ V + 3V - 4\ V = 8\ V$$

6.2 قانون الجهد لكر شوف Kirchhoff`s Voltage Law (KVL)

" في أي مسار مغلق يكون المجموع الجبري للجهود مساوياً صفراً"



في الشكل التالي يكون المسار (a ,b ,c ,d ,a) مغلقاً وبالتالي يمكن تطبيق قانون كر شوف للجهد.

يتم جمع الجهود في الدائرة على أن تكون إشارة الخروج هي إشارة العملية الرياضية.

ويكون المسار في اتجاه واحد

فعندما تكون إشارة الخروج للجهد (+) يكون هناك ارتفاع في الجهد rise
وعندما تكون إشارة الخروج للجهد (-) يكون هناك انخفاض في الجهد drop

$$\therefore \quad \sum_{\lrcorner} V = 0$$

ومن الدائرة نطبق قانون كر شوف كالتالي:

(يكون المسار في اتجاه عقارب الساعة)

$$+E - V_1 - V_2 = 0$$

$$\sum_{\lrcorner} V_{rises} = \sum_{\lrcorner} V_{drop} \longrightarrow \quad \therefore \quad E = V_1 + V_2$$

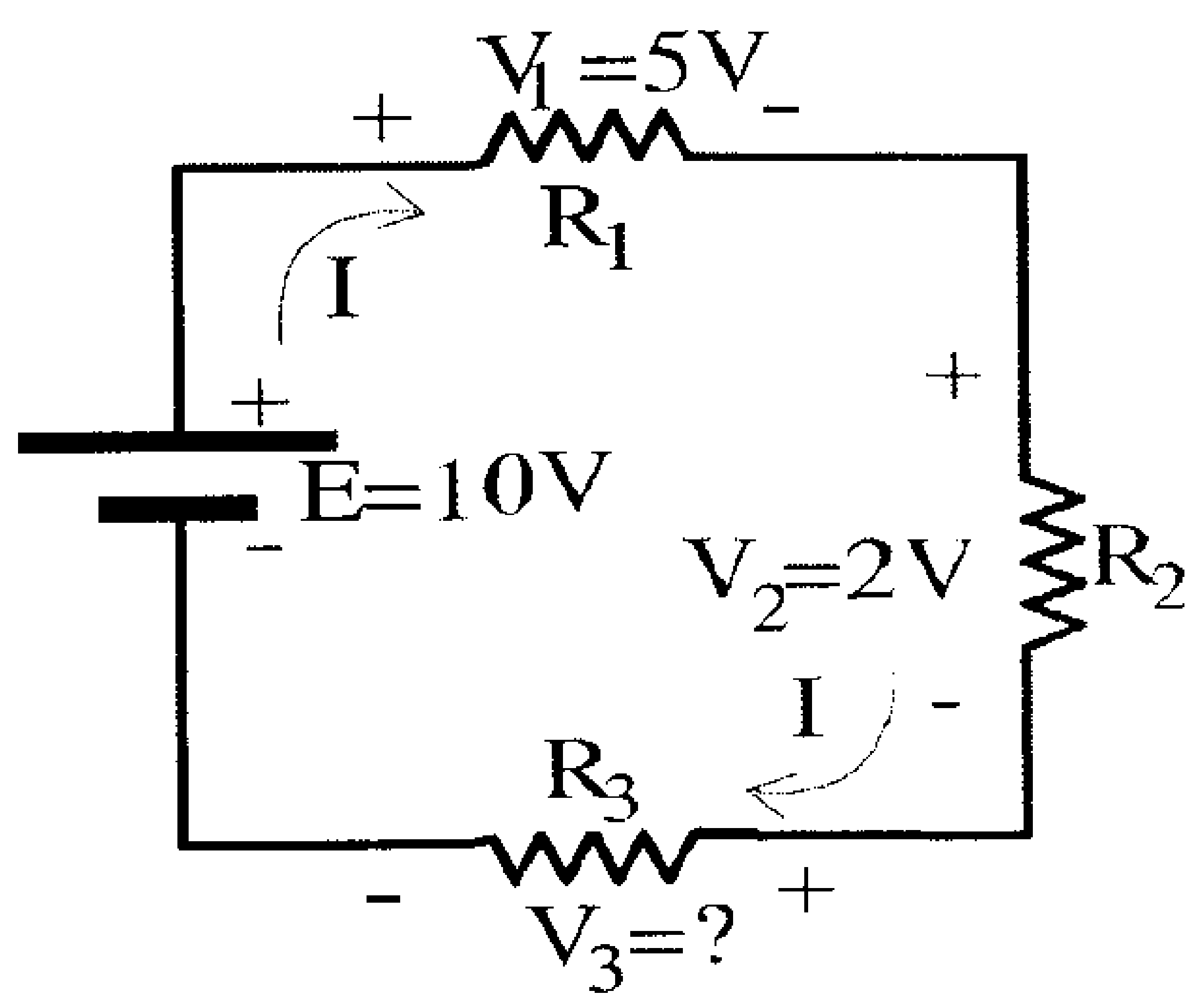
إما إذا أخذنا المسار ضد عقارب الساعة فتكون المعادلة كالتالي:

$$-E + V_1 + V_2 = 0$$

$$\therefore \; E = V_1 + V_2$$

وبالتالي نحصل على نفس النتيجة.

مثال4.2 أوجد قيمة الجهود المجهولة في الدائرة التالية:



الحــل:

نحدد اتجاه التيار وبالتالي الإشارات.

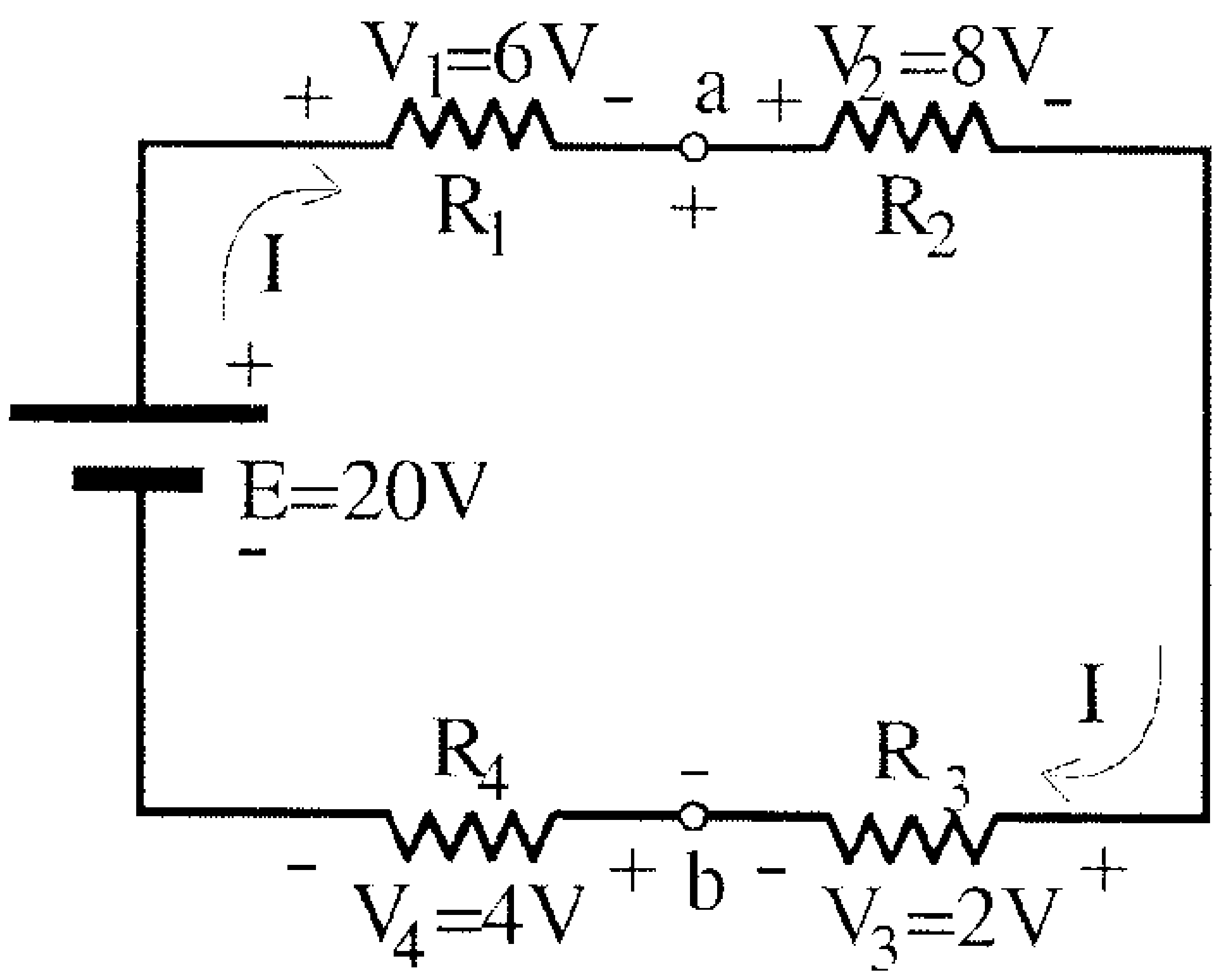
نطبق قانون كر شوف للجهد في اتجاه عقارب الساعة (مع اتجاه التيار).

$$+E - V_1 - V_2 - V_3 = 0$$

$$\therefore \quad V_3 = E - V_1 - V_2$$

$$= 10\ V - 5\ V - 2\ V = 3\ V$$

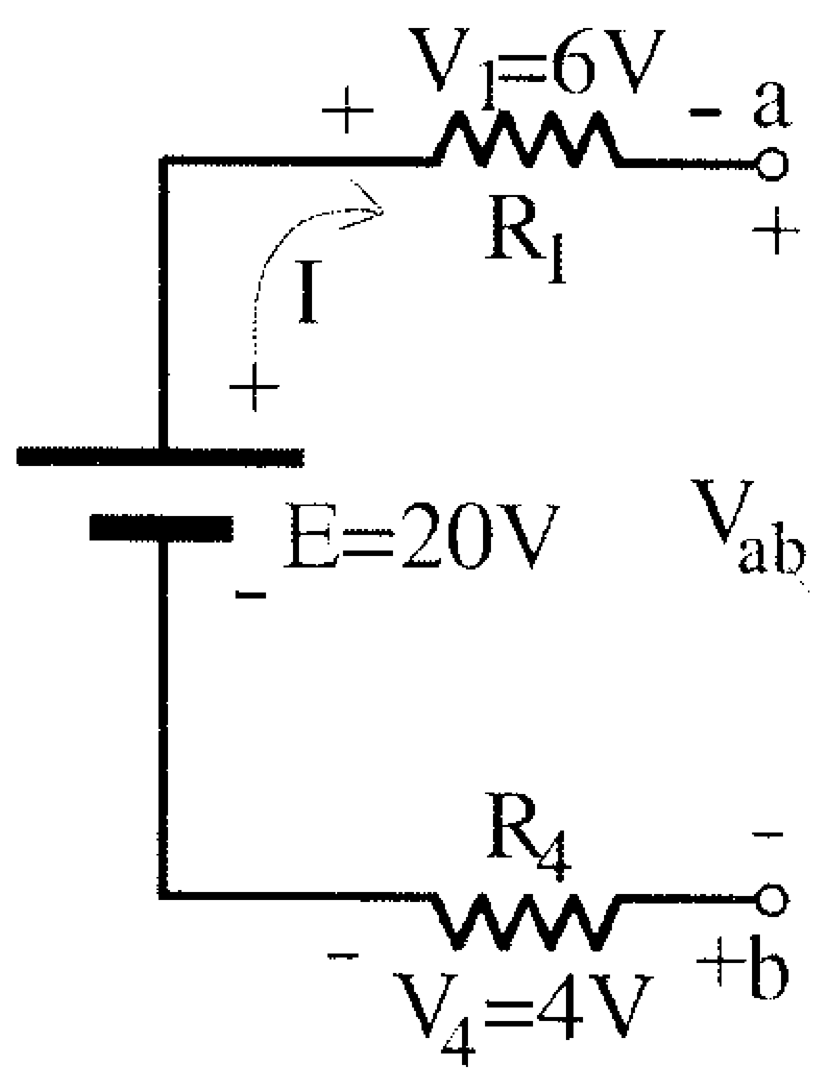
مثال5.2 أوجد قيمة الجهد ما بين النقطتين b,a (V_{ab}) في الدائرة التالية :



الحــل :

هناك طريقتان للحل :

الأولى : نطبق قانون كر شوف على الجزء الأيسر من الدائرة وفي اتجاه عقارب الساعة (الشكل التوضيحي) مسار مغلق.

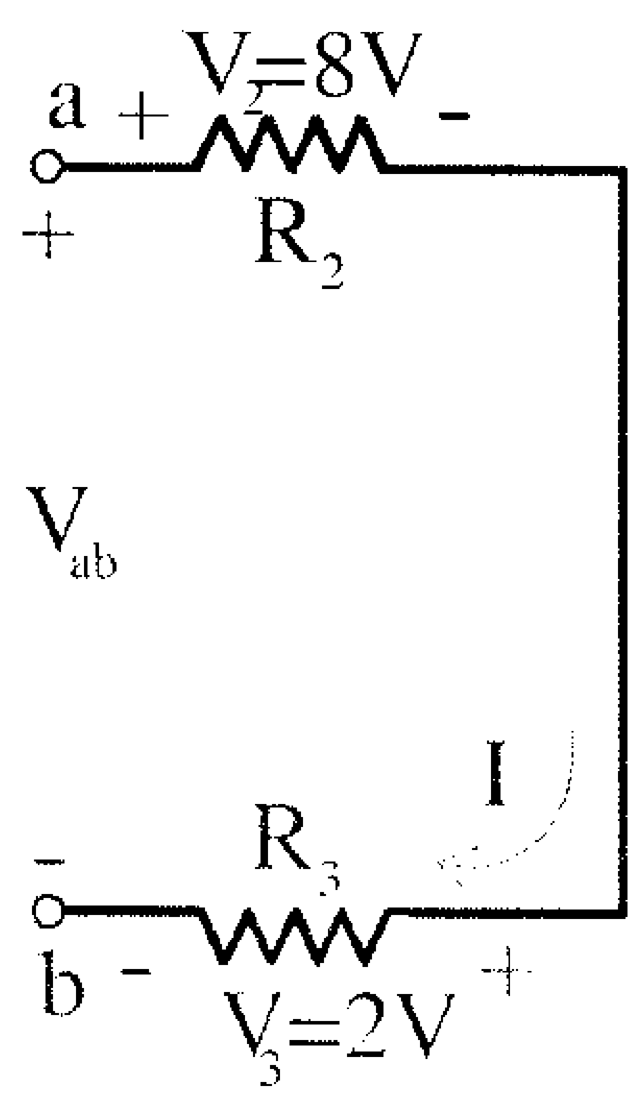


$$+E - V_1 - V_{ab} - V_4 = 0$$

$$\therefore \quad V_{ab} = E - V_1 - V_4$$

$$= 20\ V - 6\ V - 4\ V = 10V$$

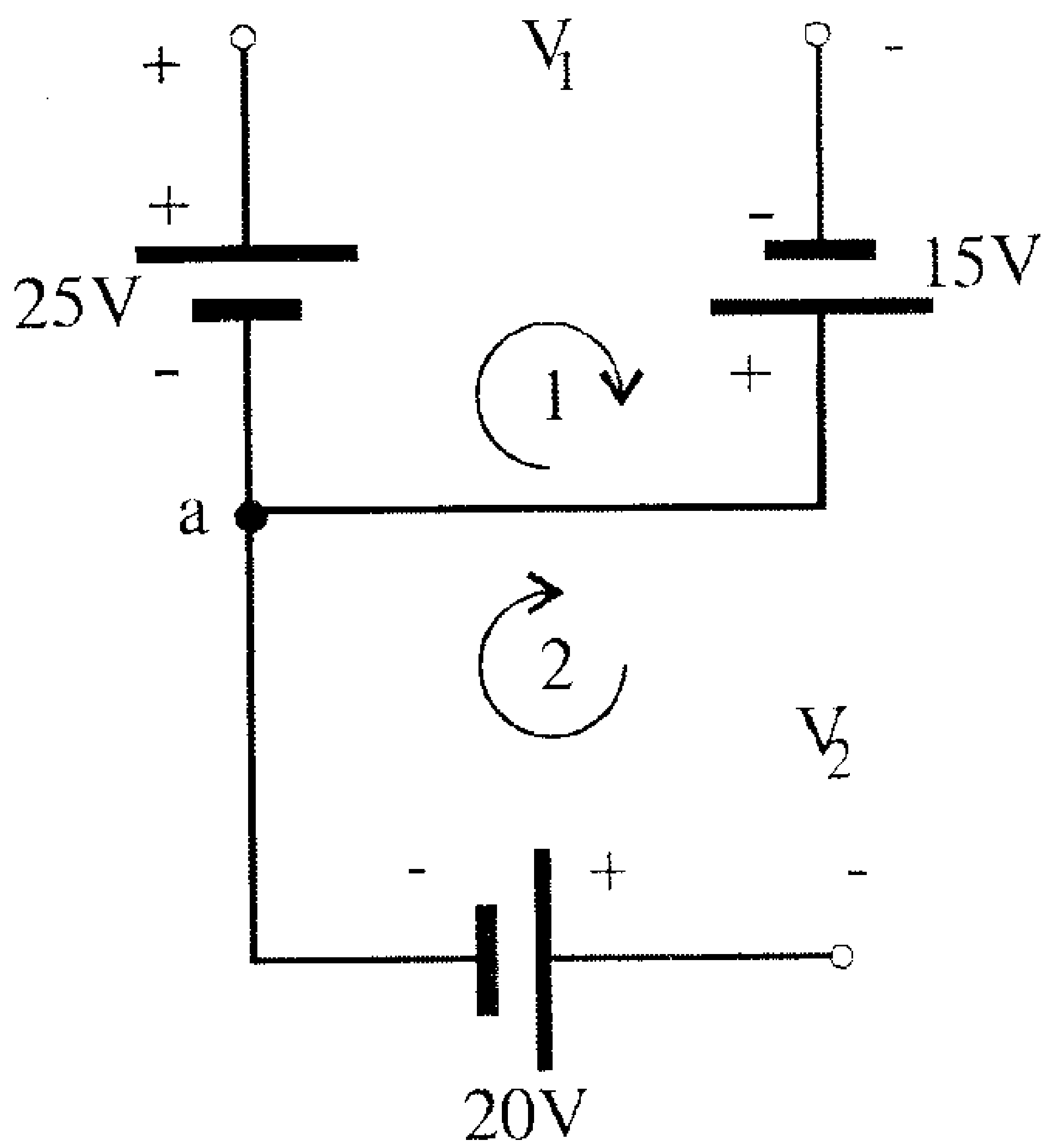
الثانية :نطبق قانون كر شوف على الجزء الأيمن من الدائرة في اتجاه عقارب الساعة وفي مسار مغلق أيضاً.



$$V_{ab} - V_2 - V_3 = 0$$

$$\therefore V_{ab} = V_2 + V_3$$

$$= 8\ V + 2\ V = 10\ V$$



مثال 6.2 من الدائرة في الشكل التالي أوجد قيمة الجهدين V_2 ,V_1

الحـــل :

المسار الأول وانطلاقاً من النقطة (a) وفي اتجاه عقارب الساعة نطبق (KVL)

$$+25V - V_1 + 15V = 0$$

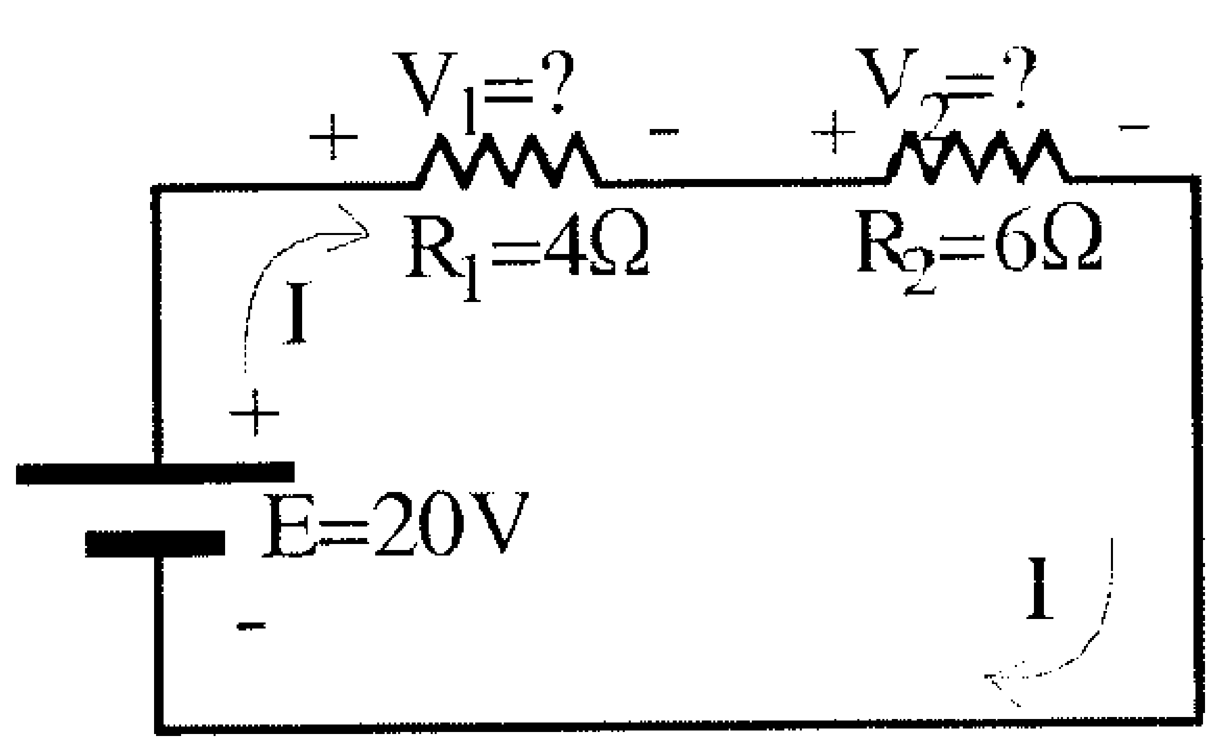
$$\therefore \quad V_1 = 40\ V$$

المسار الثاني وانطلاقاً من النقطة (a) وفي اتجاه عقارب الساعة نطبق (KVL)

$$-V_2 - 20V = 0$$

$$\therefore \ V2 = -20V$$

الإشارة السالبة للجهد ($-20\ V$) تعني أن القطبية الصحيحة لمصدر الجهد ($20\ V$) هي عكس ما هو موجود بالشكل.



مثال 7.2 للدائرة في الشكل التالي أوجد :

1. المقاومة الكلية (R_T).
2. التيار (I).
3. فرق الجهد (V_2 ,V_1) .
4. القدرة المستهلكة في المقاومة (4 Ω) و(6 Ω).
5. القدرة المولدة في مصدر الجهد.

6. قارن نتيجة الفقرتين (4 و 5).
7. أثبت صحة قانون (KVL).

الحـــل :

$$R_T = R_1 + R_2 = 4\ \Omega + 6\ \Omega = 10\ \Omega$$

$$I = E / R_T = 20\ V / 10\ \Omega = 2\ A$$

$$V_1 = I\ .\ R_1 = (\ 2A\ )\ (\ 4\ \Omega) = 8\ V$$

$$V_2 = I\ .\ R_2 = (\ 2A\ )\ (\ 6\ \Omega) = 12\ V$$

$$P_{4\Omega} = \frac{V_1^2}{R_1} = \frac{8^2}{4} = \frac{64}{4} = 16W$$

$$P_{6\Omega} = \frac{V_2^2}{R_1} = I^2 R_2 = (2^2)(6\ \ ) = 24W$$

$$P_E = E\ .I = (20V)\ (6A) = 40W$$

$$P_E = P_{4\Omega} + P_{6\Omega}$$

$$40\ W = 16\ W + 24\ W$$

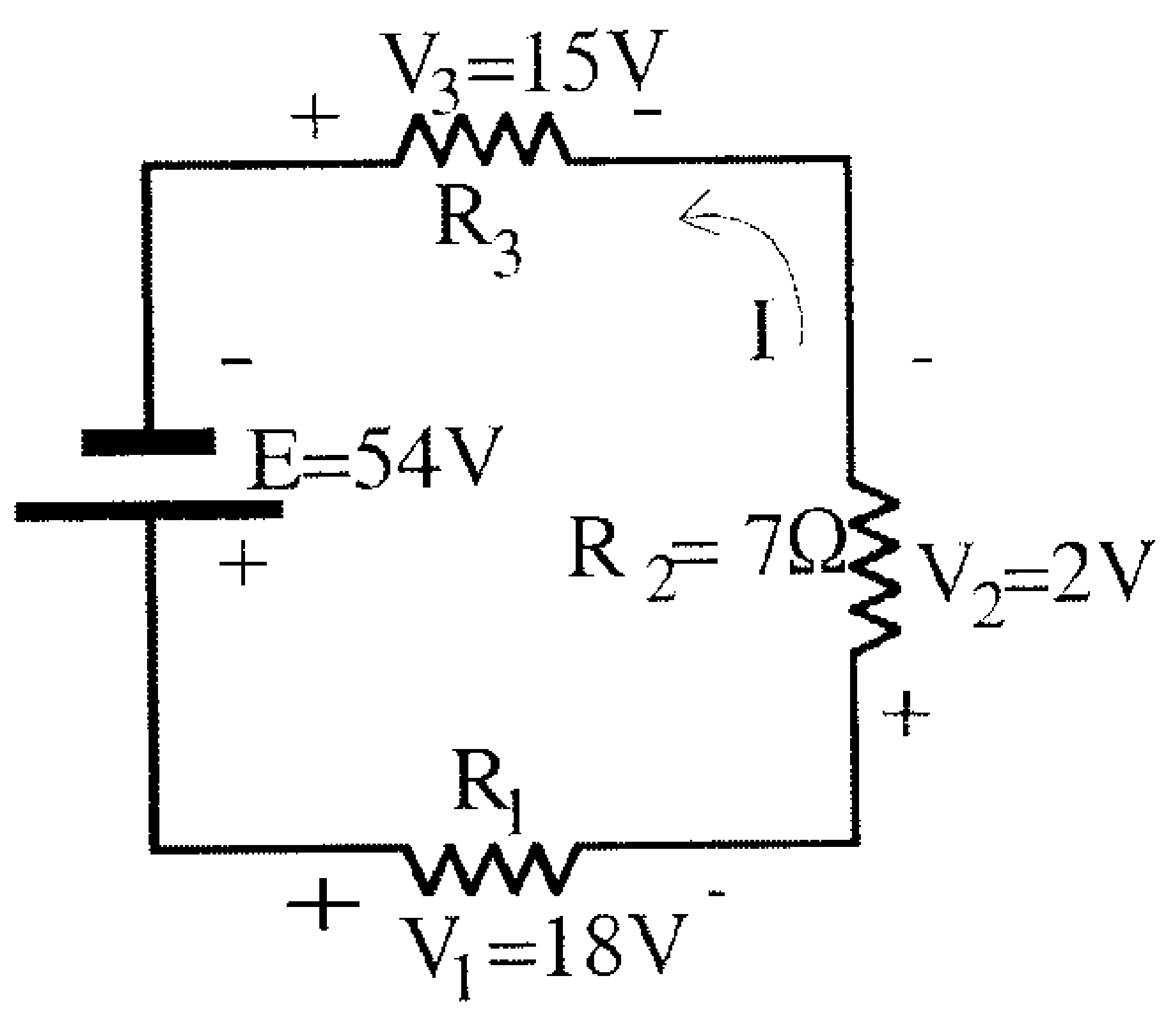
$$40\ W = 40\ W$$

$$+E - V_1 - V_2 = 0$$

$$20\ V - 8\ V - 12\ V = 0$$

$$0 = 0$$

مثال8.2 من الدائرة في الشكل التالي أوجد :



1. الجهد (V_2) باستخدام (KVL) .
2. التيار الكلي للدائرة (I) .
3. قيمة R_1 , R_3 .

الحل :

من قانون (KVL) وفي اتجاه عقارب الساعة.

$$E + V_3 + V_2 + V_1 = 0$$

$$E = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_2 = E - V_1 - V_3 = 54\ V - 18\ V - 15\ V = 21\ V$$

$$I = V_2 / R_2 = 21V / 7\ \Omega = 3\ A$$

$$R_1 = V_1 / I = 18\ V / 3\ A = 6\ \Omega$$

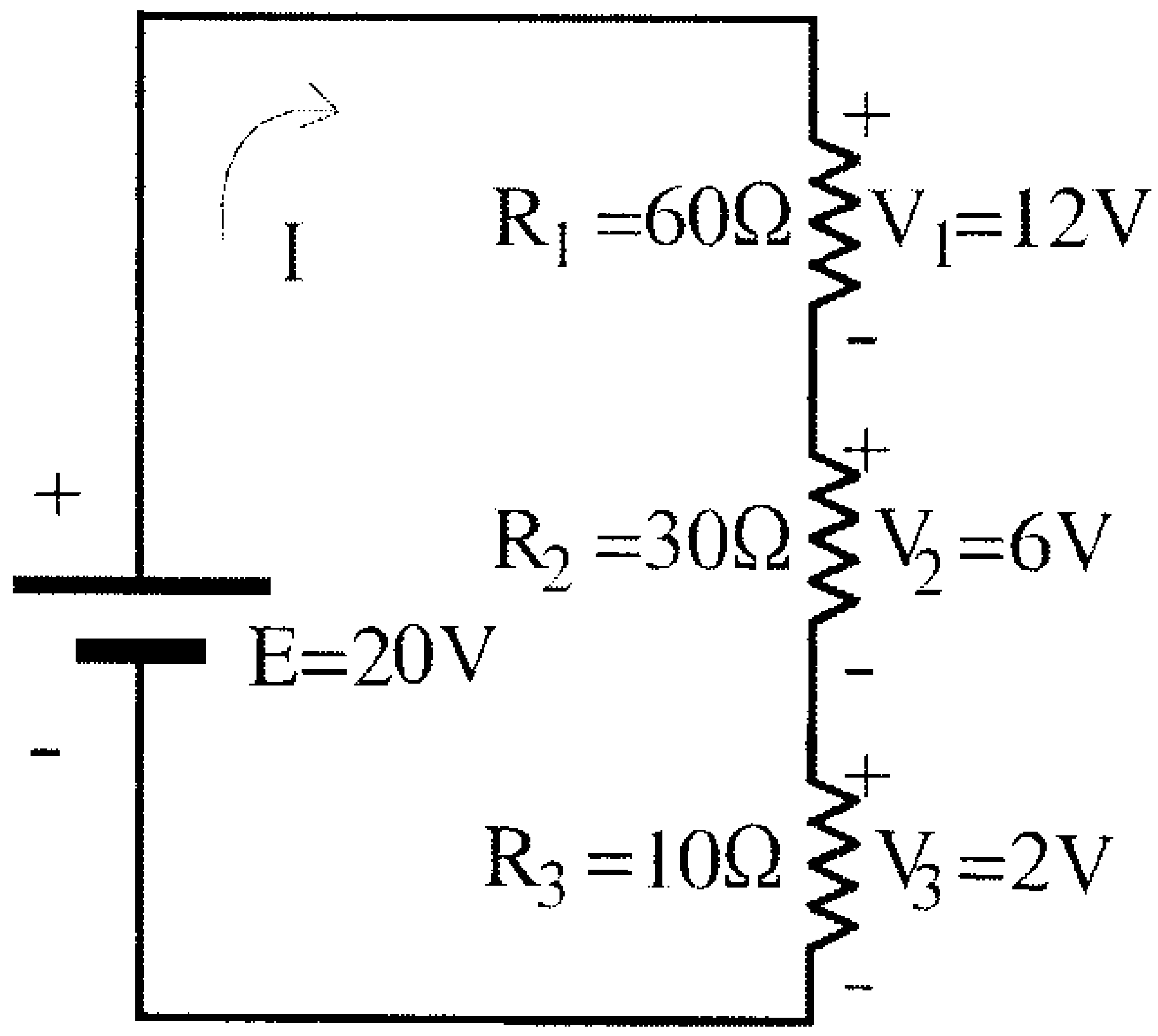
$$R_3 = V_3 / I = 15\ V / 3\ A = 5\ \Omega$$

7.2 قانون مجزئ الجهد Voltage Divider Rule (VDR)

يستخدم قانون مجزئ الجهد في دوائر التوالي

1. الجهد المؤثر على مجموعة من المقاومات في دائرة التوالي يقسم على تلك المقاومات.
2. مجموع الجهود المنخفضة خلال مقاومات دائرة التوالي يساوي الجهد المطبق.

مثال9.2 الدائرة في المثال التالي توضح طريقة استخدام قانون (VDR) .



$$V_1 = \frac{E}{R_T} \bullet R_1 = \frac{20\times 60}{100} = 12V$$

$$V_2 = \frac{E}{R_T} \bullet R_2 = \frac{20\times 30}{100} = 6\ V$$

$$V_3 = \frac{E}{R_T} \bullet R_3 = \frac{20\times 10}{100} = 2V$$

ومنها يمكن استنتاج قانون (VDR) .

استنباط قانون (VDR) :

$$\because \qquad R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$I = E / R_T$$

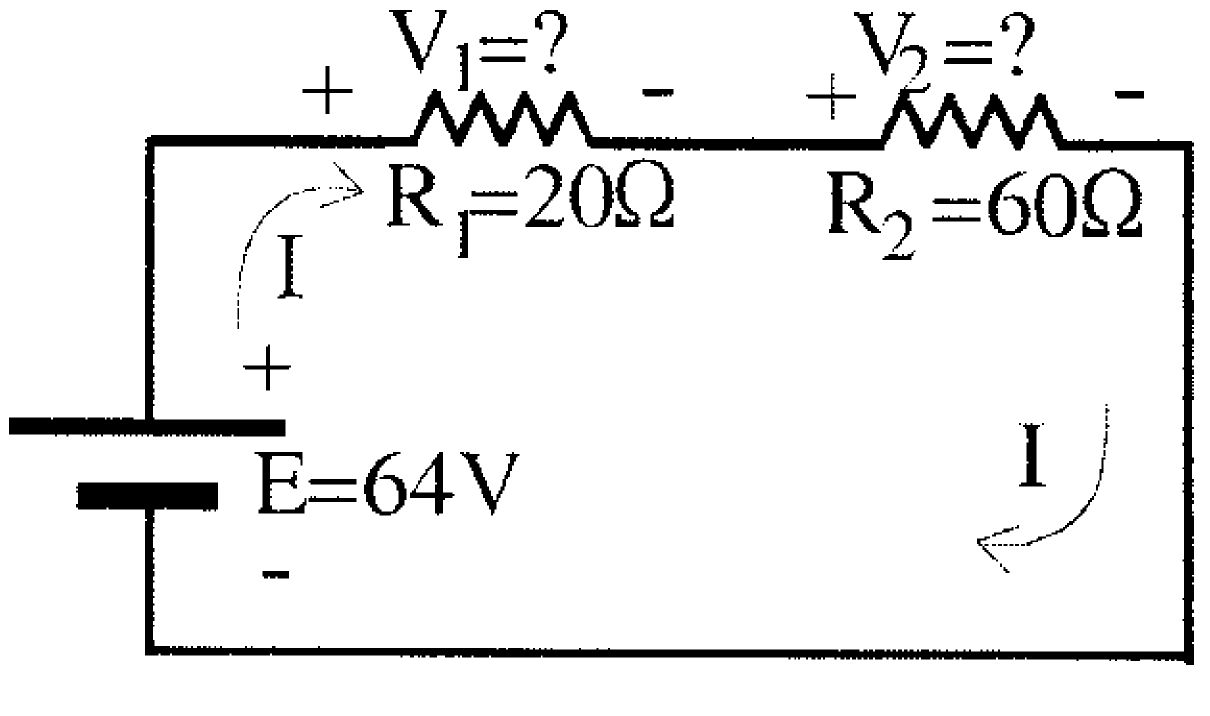
$$V_1 = I\ R_1 = (E / R_T)(R_1)$$

$$V_2 = I\ R_1 = (E / R_T)(R_2)$$

$$V_3 = I\ R_1 = (E / R_T)(R_3)$$

$$\therefore \qquad V_X = (E / R_T)(R_X)$$

مثال10.2 في الدائرة بالشكل احسب الجهد V_1 باستخدام قانون مجزئ الجهد .



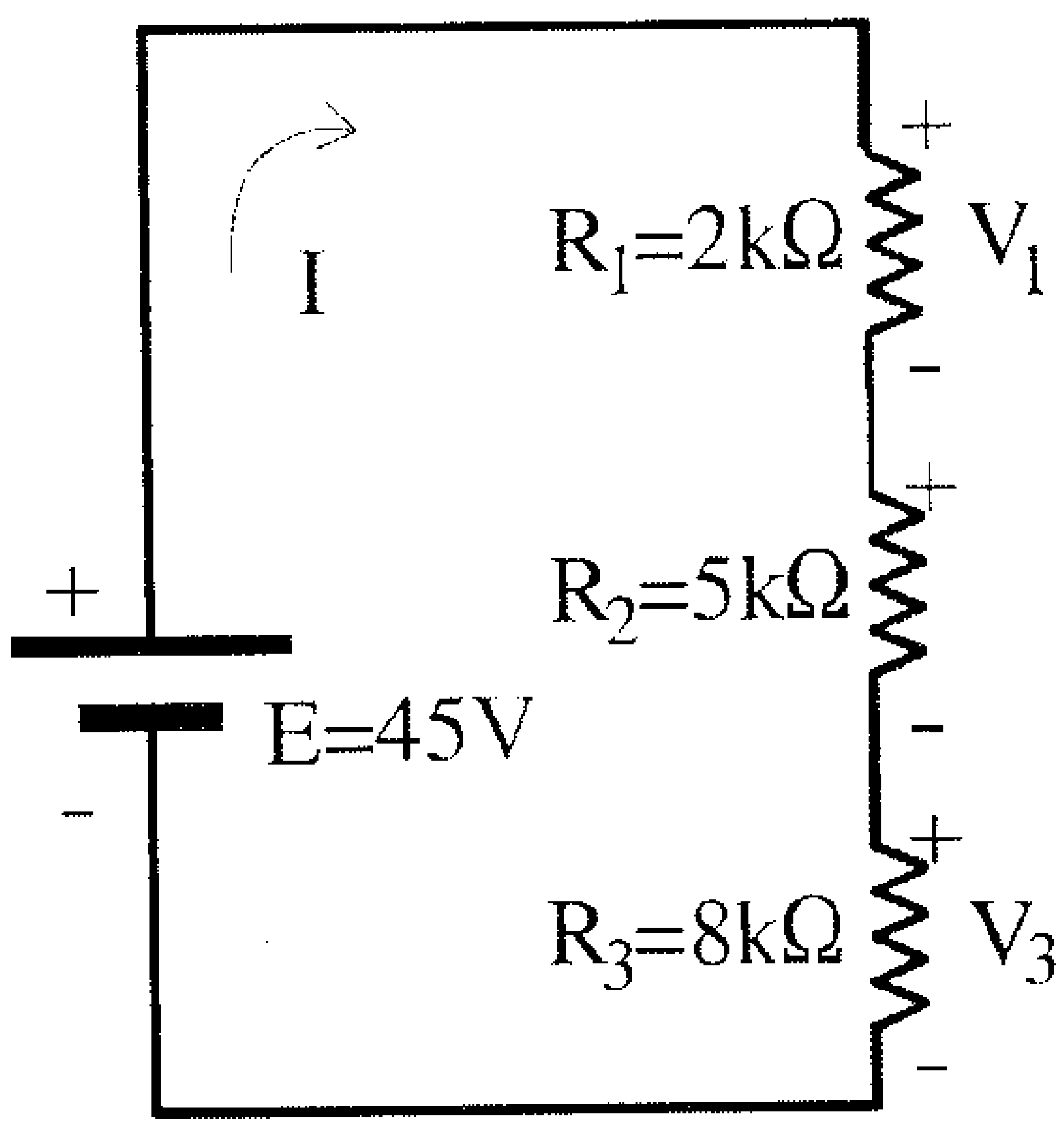
الحـــل : بالاستخدام المباشر للقانون

$$V_X = (E / R_T)(R_X)$$

$$R_T = 80\ \Omega$$

$$V_1 = \frac{E}{R_T} \bullet R_1 = \frac{64 \times 20}{80} = 16\ V$$

$\therefore$



مثال11.2 من الدائرة التالية وباستخدام (VDR)

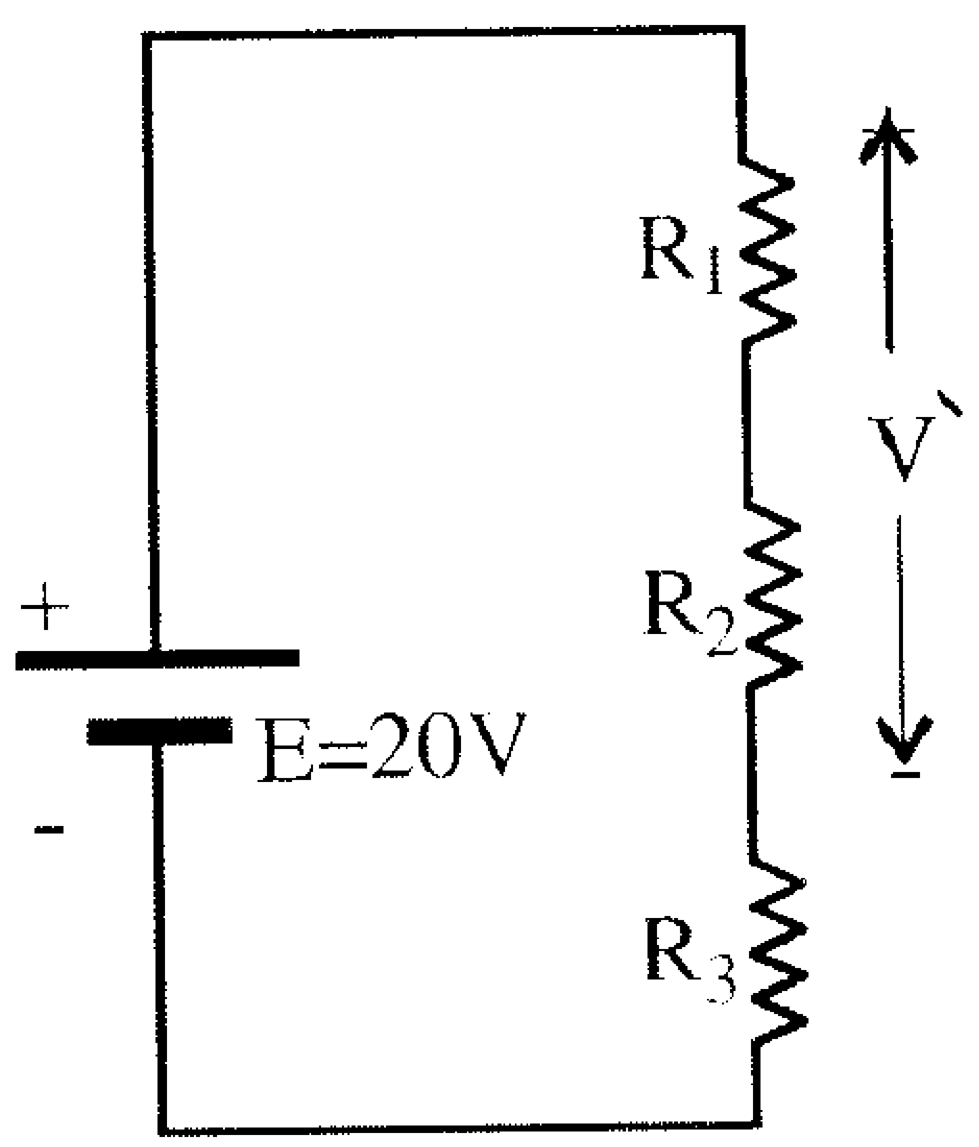
أوجد V_3 و V_1 .

الحـــل:

$R_T = 15k\Omega$

$$V_1 = \frac{E}{R_T} \bullet R_1 = \frac{45 \times 2 \times 10^3}{15 \times 10^3} = 6\ V$$

$$V_3 = \frac{E}{R_T} \bullet R_3 = \frac{45 \times 8 \times 10^3}{15 \times 10^3} = 24\ V$$



مثال12.2 من المثال السابق احسب الجهد `V باستخدام (VDR) .

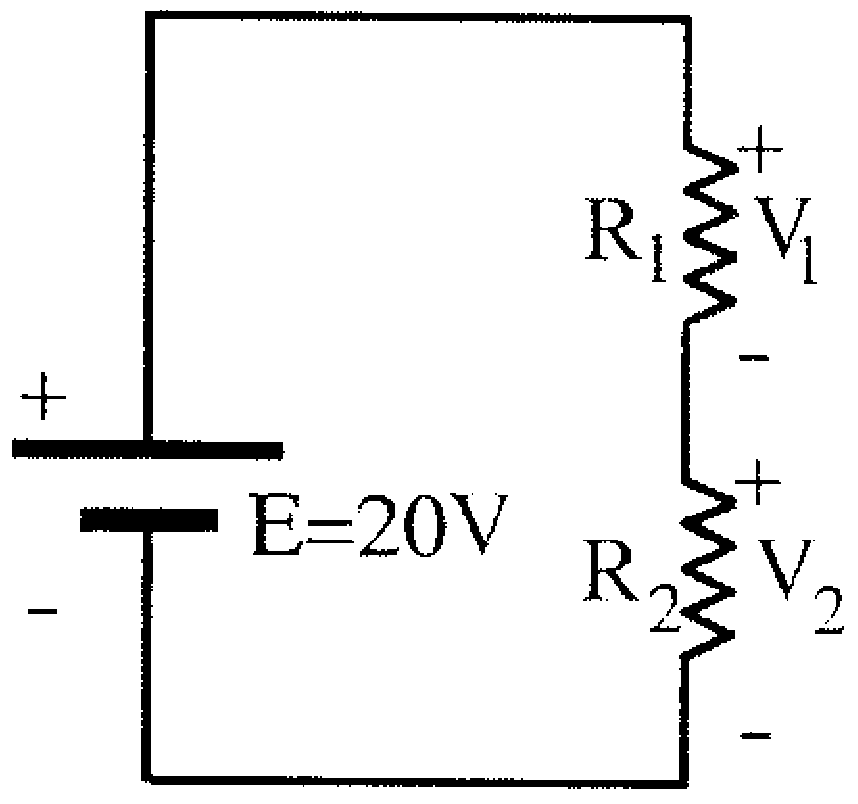
الحـــل :

الجهد `V هو جهد المقاومتين R_2 و R_1 ، إذاً يمكن اعتبارهما

$R` = R_1 + R_2 = 2k\Omega + 5k\Omega = 7k\Omega$

$$V` = \frac{E}{R_T} \bullet R` = \frac{45 \times 7 \times 10^3}{15 \times 10^3} = 21\ V \quad \therefore$$

مثال13.2 من الدائرة في الشكل التالي وباستخدام (VDR) أوجد كل من :



V_2 , V_1 , R_2 , R_1

إذا علمت أن التيار الكلي المار في الدائرة $I = 4mA$

و $V_1 = 4\ V_2$

$\because \quad I = E / R_T$

$$\therefore \quad R_T = \frac{E}{I} = \frac{20V}{4\times10^{-3}\ A} = 5\,k\Omega$$

$$\because \quad V_1 = I\,R_1$$

$$V_2 = I\,R_2$$

$$\therefore \quad V_1 = 4\ V_2$$

$$I\,R_1 = 4(I\,R_2)$$

$$\therefore \quad R_1 = 4\,R_2$$

$$R_T = R_1 + R_2$$

$$5k\Omega = 4R_2 + R_2$$

$$\therefore \quad R_2 = 1k\Omega$$

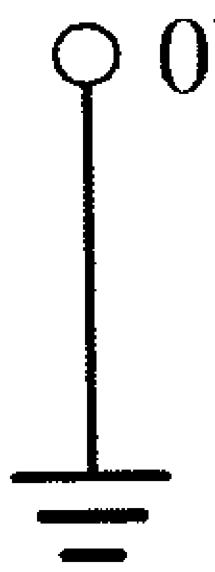
ومنها $R1 = 4\ R2 = (4)\ (1k\Omega) = 4k\Omega$

وباستخدام (VDR)

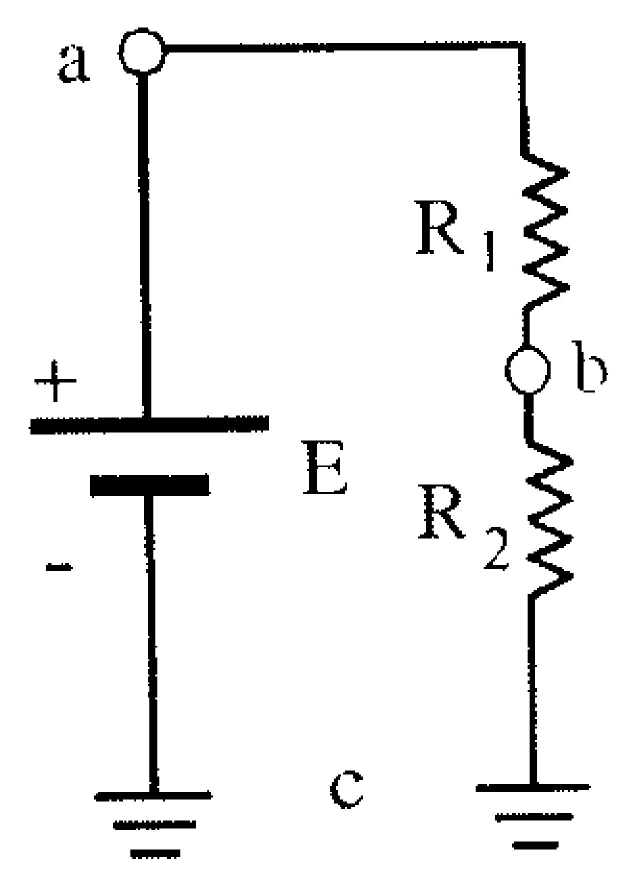
$$V_1 = \frac{E}{R_T} \bullet R_1 = \frac{20 \times 4 \times 10^3}{5 \times 10^3} = 16\ V$$

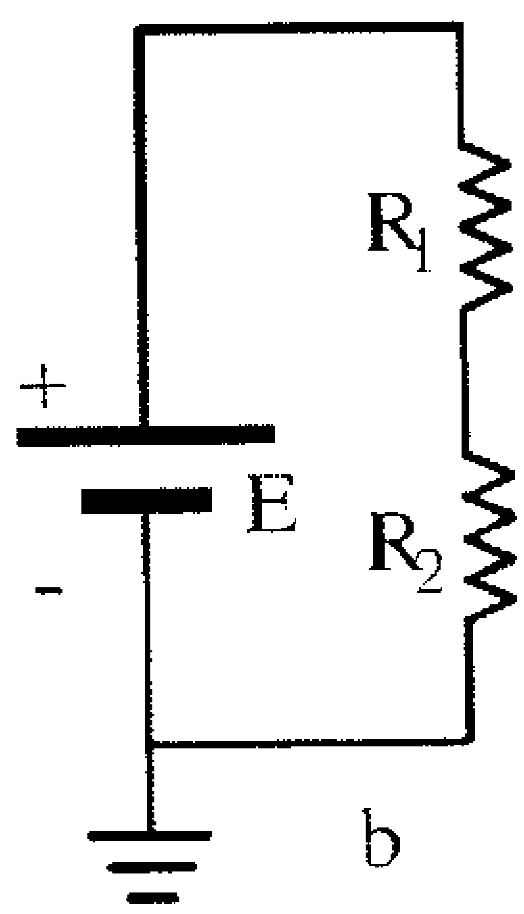
$$V_2 = \frac{E}{R_T} \bullet R_2 = \frac{20 \times 1 \times 10^3}{5 \times 10^3} = 4\ V$$

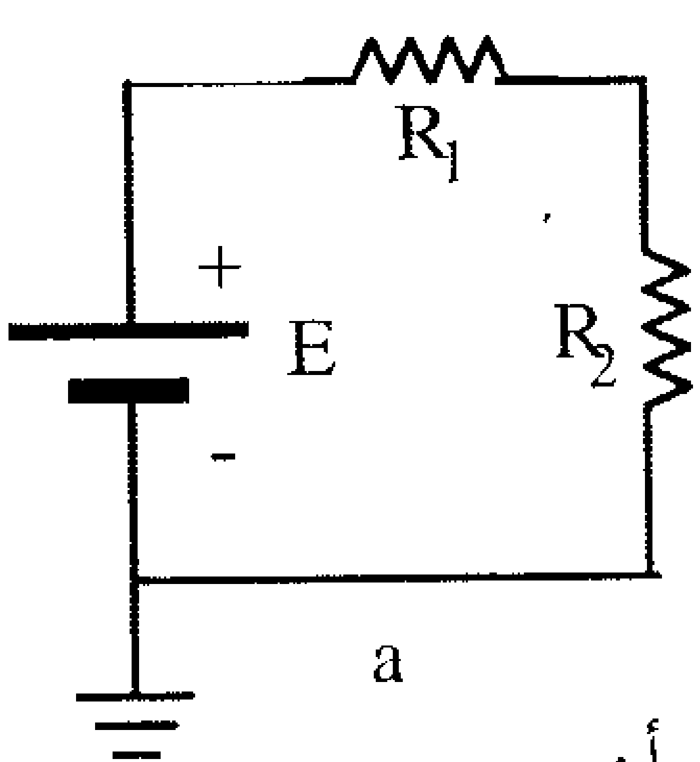
8.2 مصادر الجهد والتأريض Voltage Source and Grounding .



معظم الأجهزة الكهربائية والإلكترونية تكون مؤرضة كمرجعية ،ولأغراض السلامة. الشكل التالي يوضح كيفية رسم الأرضي في الدائرة الكهربائية حيث أن جهد الأرضي يساوي الصفر. أما الأشكال التالية فتوضح بعض الدوائر المؤرضة.



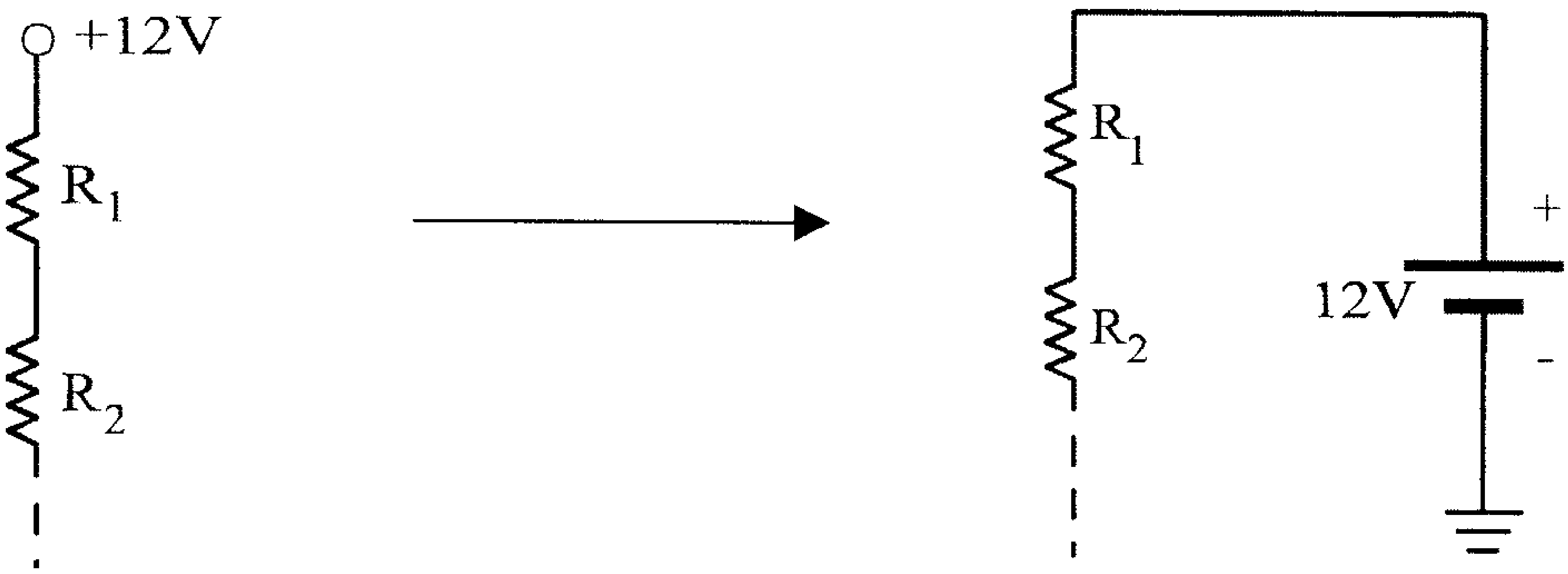




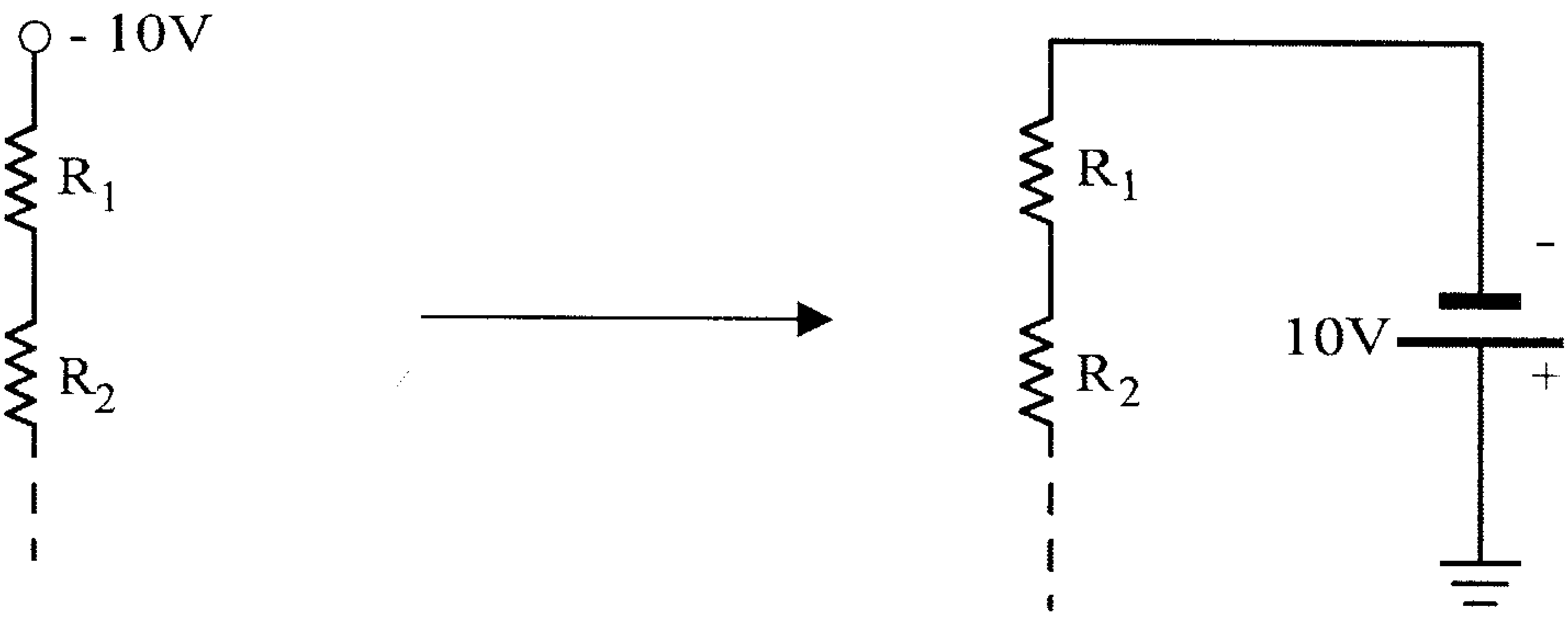
في الحالات الثلاث نلاحظ أن القطب السالب لمصدر الجهد أسفل المقاومة R_2 موصل بالأرض.

وفي الشكل (c) نلاحظ أنه لا توجد وصلة بين التأريضين في الدائرة،و مثل هذه الوصلات توضح أنه يوجد انسياب مستمر للشحنات.

في بعض الأحيان يعبر عن مصدر الجهد في الدوائر الكهربائية كما في الشكل



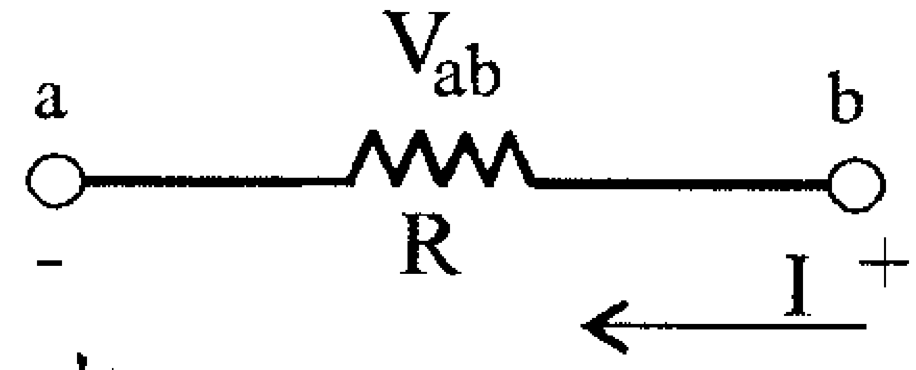
أي أن القطب الموجب لمصدر الجهد موصل بالدائرة وقطبه السالب موصل بالأرضي



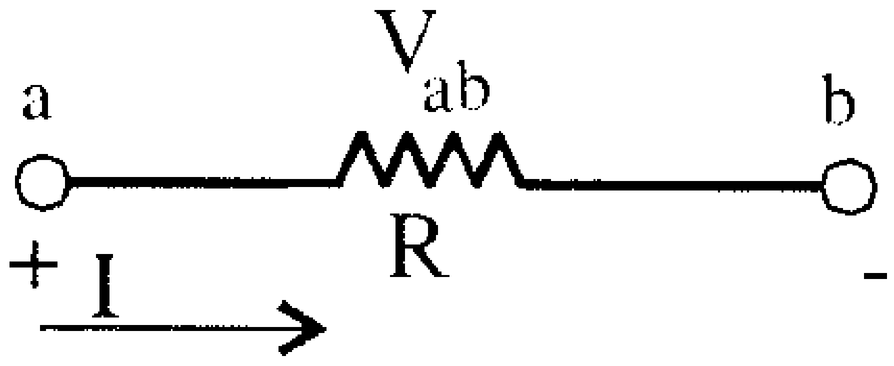
أي أن القطب الموجب لمصدر الجهد موصل بالأرضي و قطبه السالب بالدائرة

الرمز السفلي المزدوج Double Subscript Notation

الشكل (1)



الشكل (2)



يدخل التيار على المقاومة بالموجب

ويخرج منها بالسالب

يكون الجهد في الشكل (1)

V_{ab} (سالب)

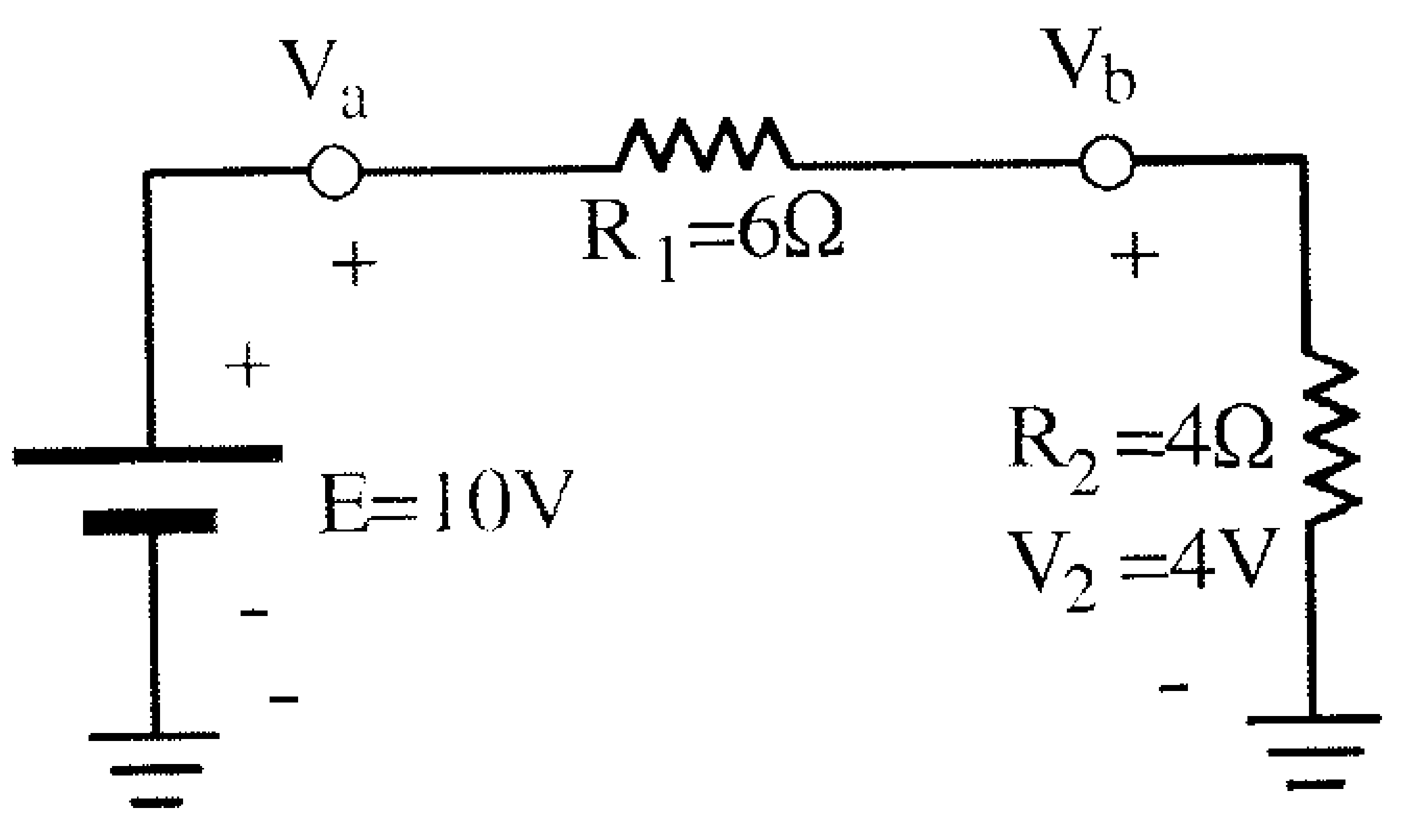
أي أن النقطة (b) أعلى جهداً من (a)

يكون الجهد في الشكل (2)

V_{ab} (موجب)

النقطة (a) أعلى جهداً من (b)

الرمز السفلي الفردي Single Subscript Notation



الجهد V_a يقرأ من النقطة(a) إلى الأرضي مروراً بمصدر الجهد E لتكون $V_a = 10V$ أما الجهد V_b فيقرأ من النقطة (b) إلى الأرضي لتكون $V_b = 4V$ مروراً بالمقاومة R_2 ولحساب الجهد

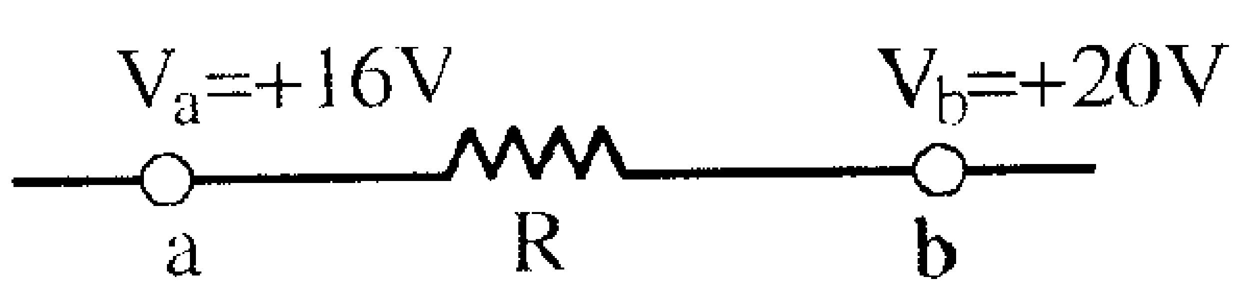
$$V_{ab} = Va - V_b = 10V - 4V = 6V$$

$\therefore$ جهد المقاومة $R_1 = 6V$

وهو الجهد ما بين النقطتين (a) و (b) ويساوي $V_{ab} = 6\ V$

مثال14.2 في الدائرة بالشكل التالي أوجد قيمة الجهد (V_{ab}).

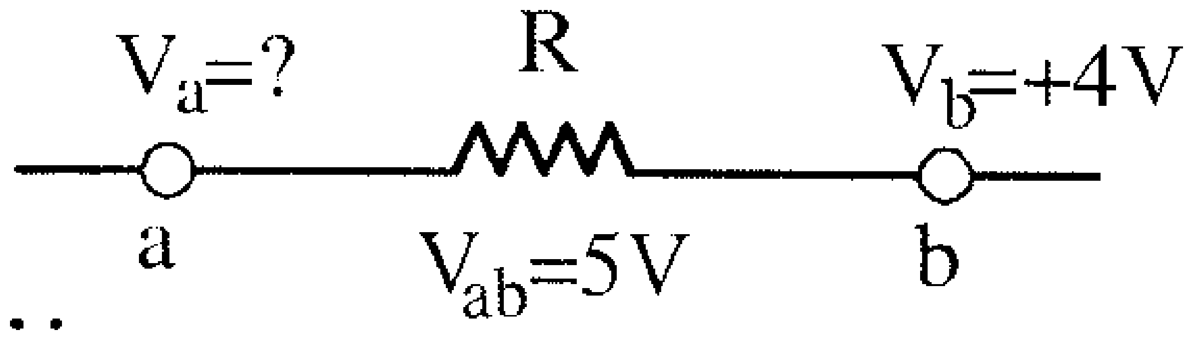
الحــل :



$\because \quad V_{ab} = V_a - V_b = 16V - 20V = -4V$

∴ الجهد بالسالب لأن جهد (b) أعلى من جهد (a)، أي أنه عند طرح الجهد الأدنى من الجهد الأعلى يكون حاصل الجهد سالباً.

مثال15.2 من الدائرة التالية أوجد قيمة الجهد (V_{ab}) .



الحـــل:

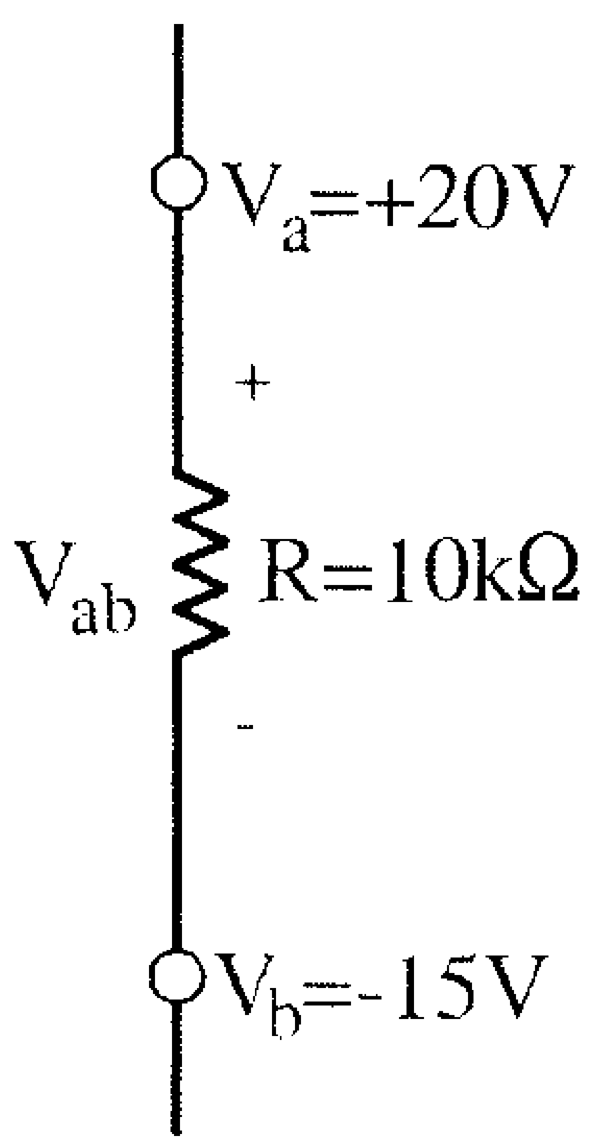
∵

$$V_{ab} = V_a - V_b$$

$$\therefore \quad V_a = V_{ab} + V_b = 5V + 4V = 9V$$

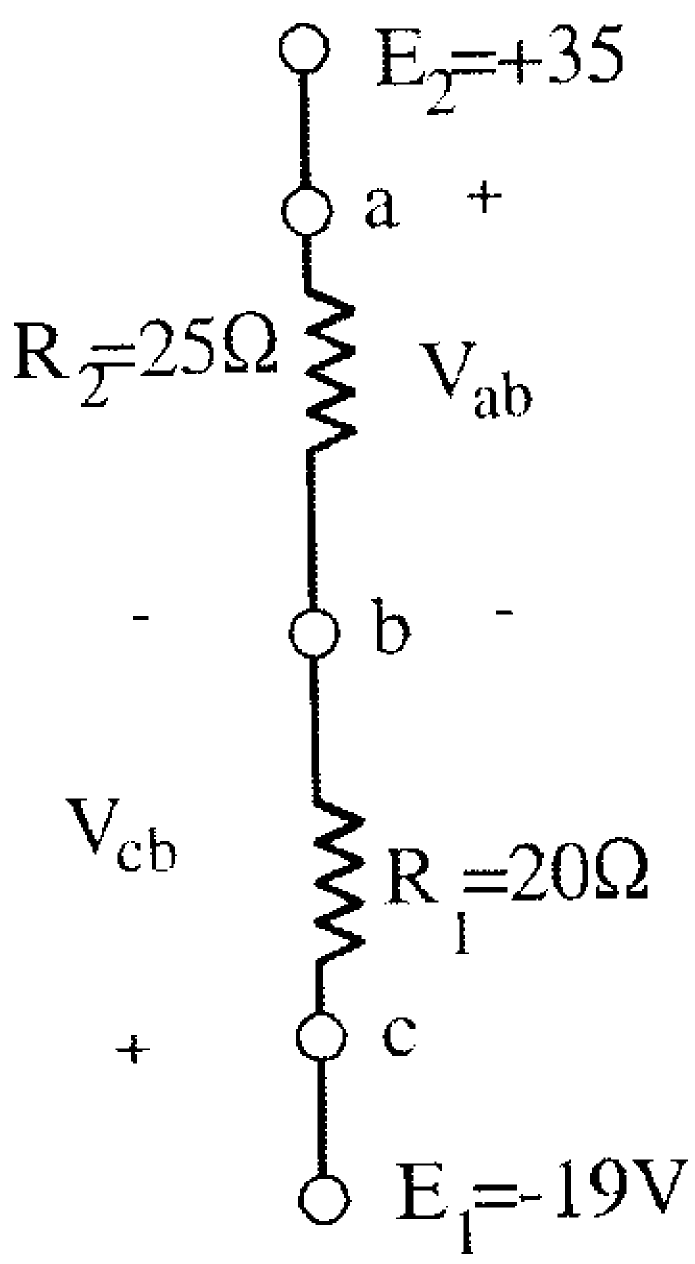
مثال16.2 أوجد قيمة الجهد (V_{ab}) من الشكل التالي:

الحـــل:



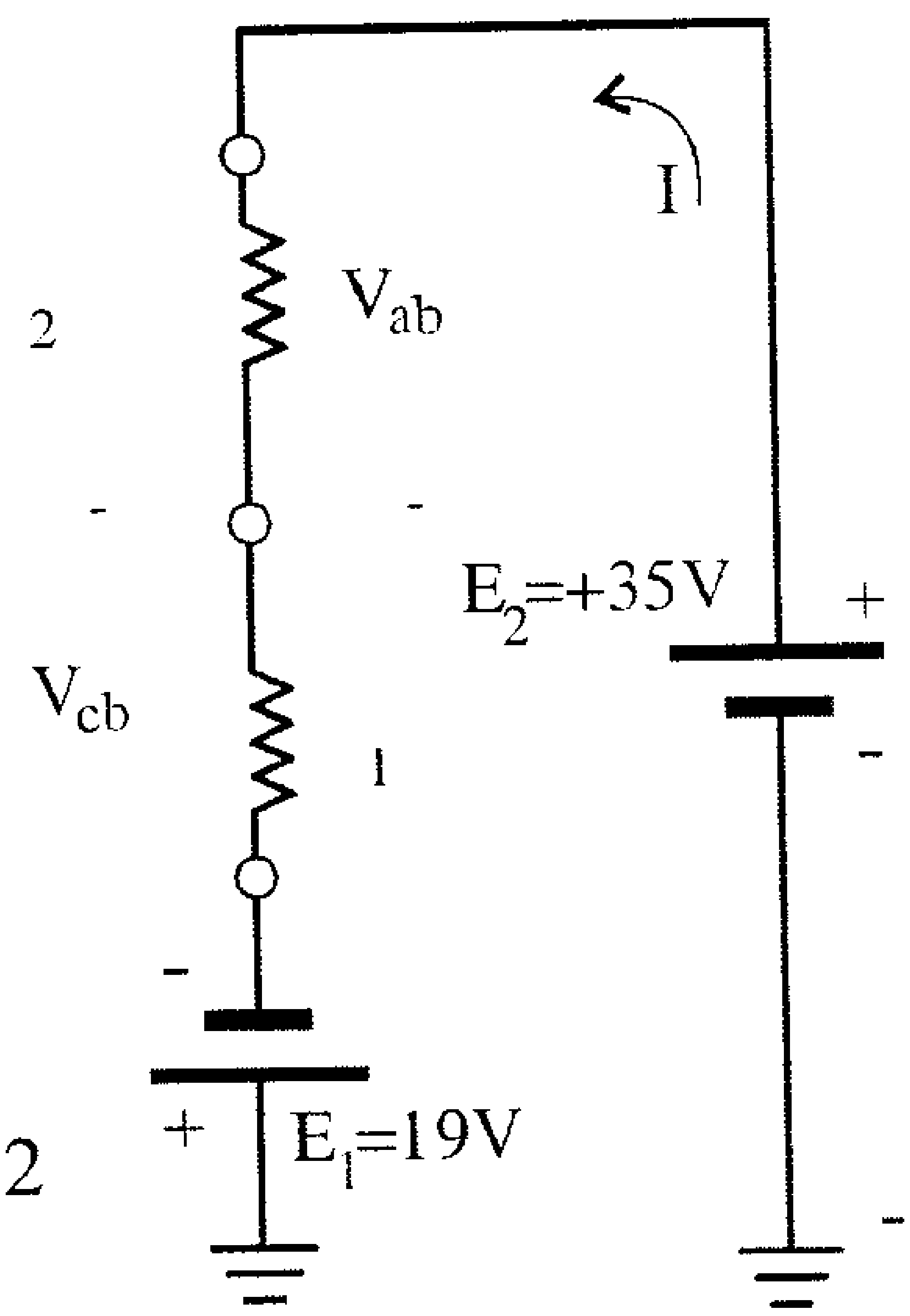
$$V_{ab} = V_a - V_b = 20V - (-15V) = 20V + 15V = 35\ V$$

مثال17.2 من الدائرة في الشكل التالي أوجد قيمة كل من: V_{ab}, V_{cb} , V_c

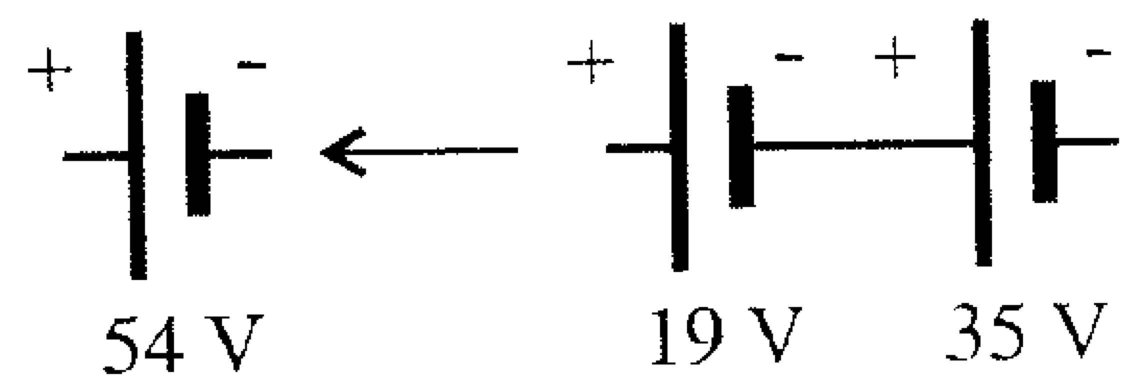


الحـــل :

يمكن إعادة رسم الدائرة كالتالي:



1- نجمع مصادر الجهد:



2- نجمع المقاومات

$$R_T = R_1 + R_2 = 45\ \Omega$$

3- نحسب التيار المار في الدائرة

$$I = E / R_T = (\ 54V / 45\ \Omega\ ) = 1.2A$$

4- حساب الجهود:

$$\therefore\ V_{ab} = V_{R2} = (\ 1.2A\ )\ (\ 25\ \ \Omega\ ) = 30V$$

$$V_{cb} = V_{R1} = -\ (\ 1.2A\ )\ (\ 20\Omega\ ) = -24\ V$$

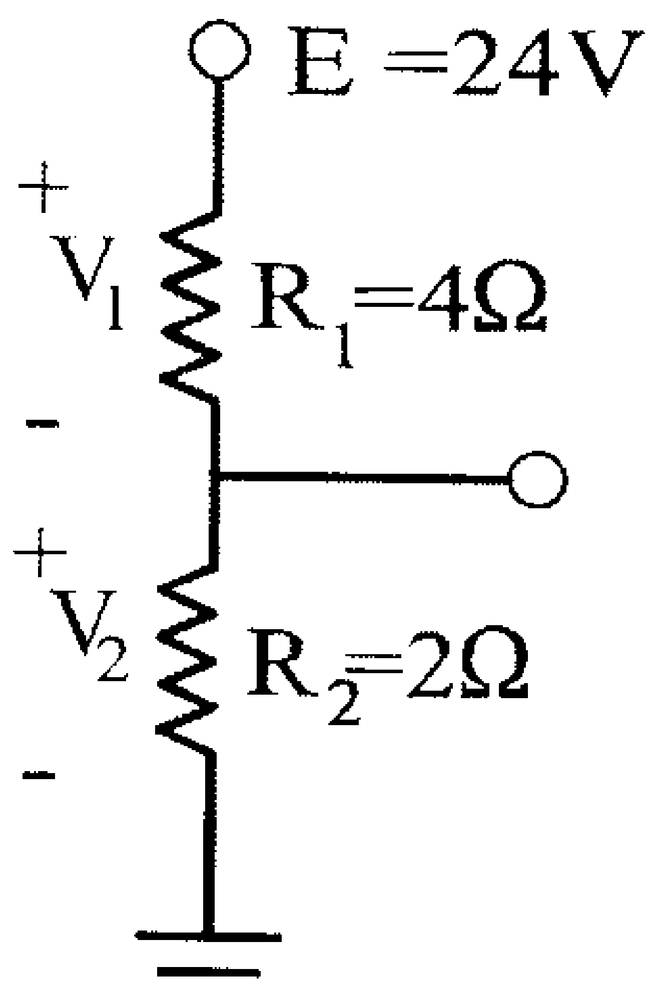
سالب لأنه عكس اتجاه التيار أي من c ⟵ b ،وفي اتجاه التيار من b ⟵ c

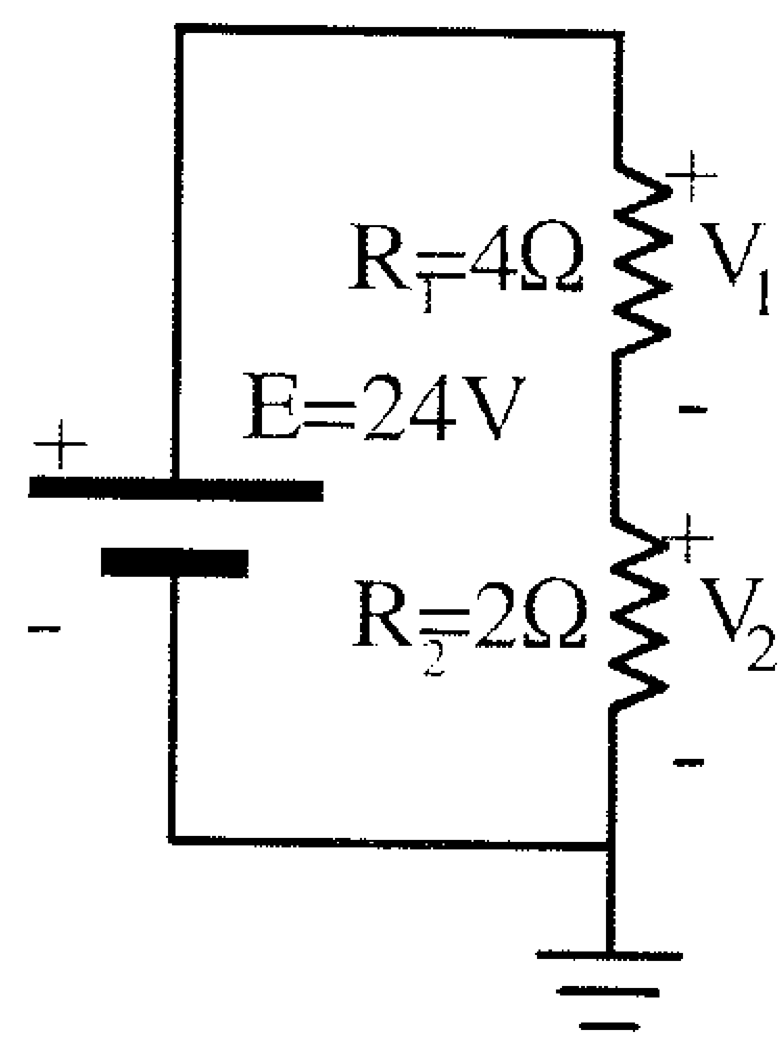
أما الجهد V_c فمن الشكل يقرأ مباشرة لأن النقطة (c) موصلة بالقطب السالب لمصدر الجهد (E_1) ومن مصدر الجهد إلى الأرضي.

$$\therefore \quad V_c = -19V$$

مثال18.2 في الشكل التالي أعد رسم الدائرة بالشكل المعتاد ثم استخدم قانون مجزئ الجهد لإيجاد: V_1 , V_2 .

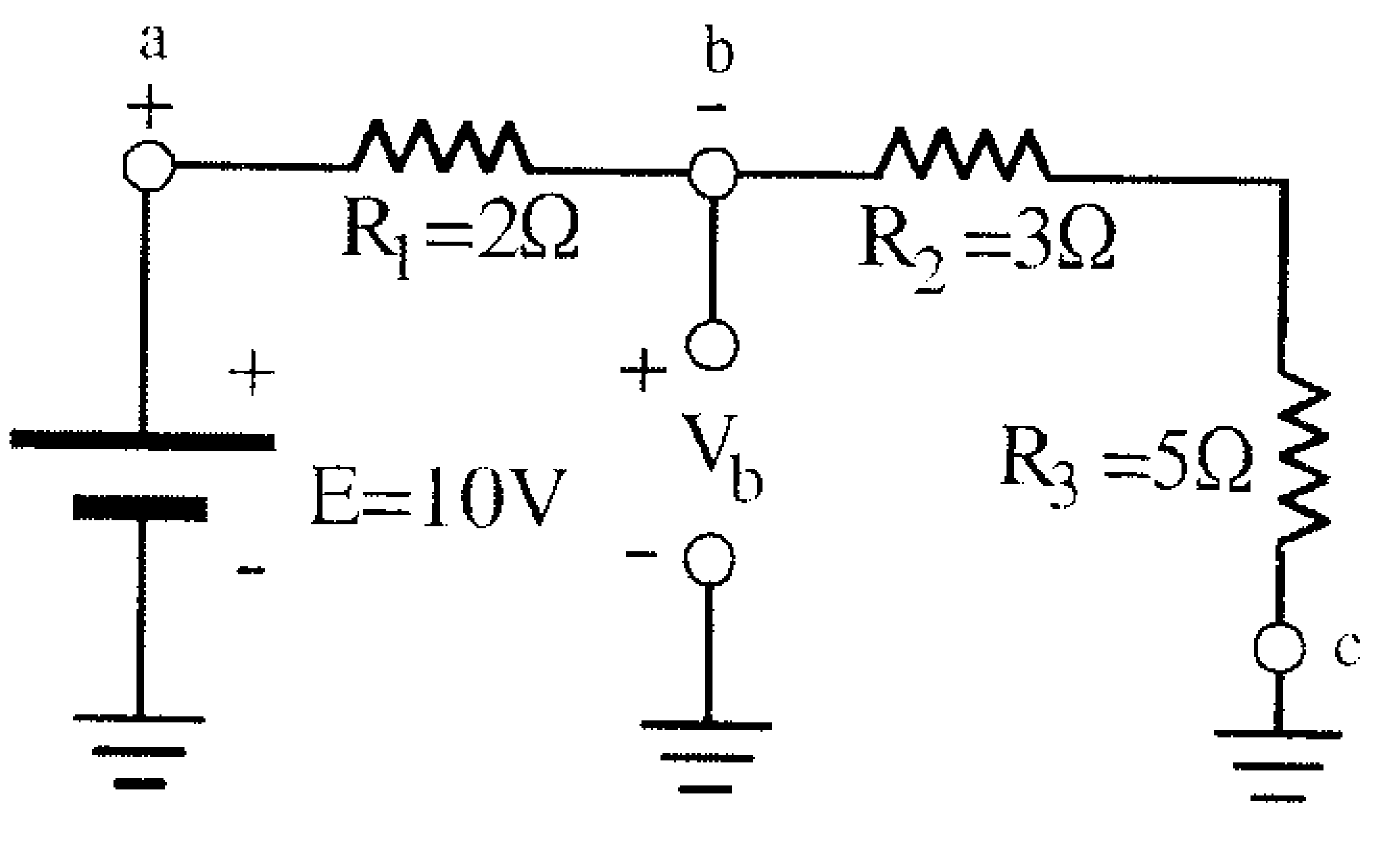
الحـــل:





$$V_1 = \frac{E R_1}{R_1 + R_2} = \frac{(24V)(4\Omega)}{4\Omega + 2\Omega} = 16V \quad ، \quad V_2 = \frac{E R_1}{R_1 + R_2} = \frac{(24V)(2\Omega)}{4\Omega + 2\Omega} = 8V$$

مثال19.2 من الدائرة التالية أوجد : V_{ab} , V_b , V_c .



الحـــل : من قانون (VDR)

$$V_{ab} = \frac{E R_1}{R_T} = \frac{(10\,V)(2\Omega)}{2\Omega + 3\Omega + 5\Omega} = 2\,V$$

$$V_b = V_{R2} + V_{R3} = \frac{E R_2}{R_T} + \frac{E R_2}{R_T}$$

$$V_b = \frac{(10V)\,(3\Omega)}{10\Omega} + \frac{(10V)\,(5\Omega)}{10\Omega} = 8V$$

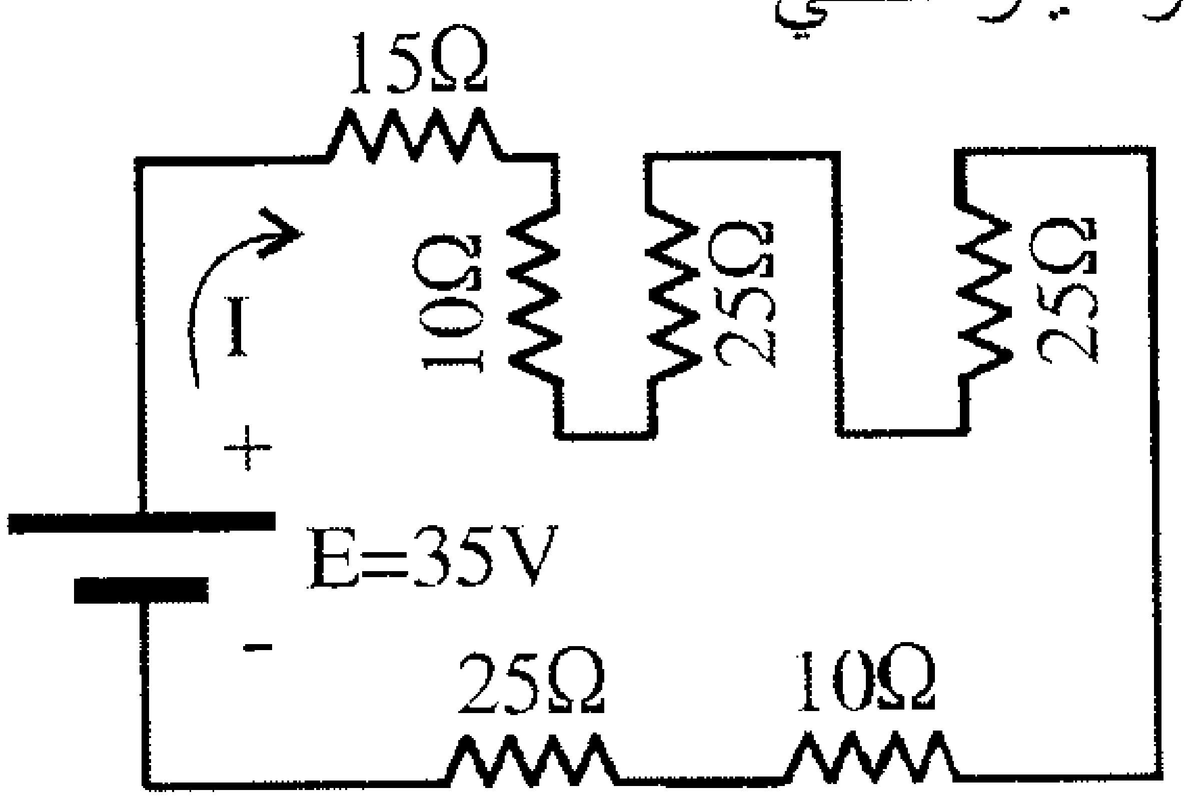
$$V_{ab} = V_a - V_b$$

$$V_b = V_a - V_{ab} = E - V_{ab} = 8V$$

من الشكل $V_c = 0\ V$

9.2 أمثلة متنوعة

(1) من الدائرة بالشكل التالي أوجد المقاومة الكلية والتيار الكلي للدائرة.



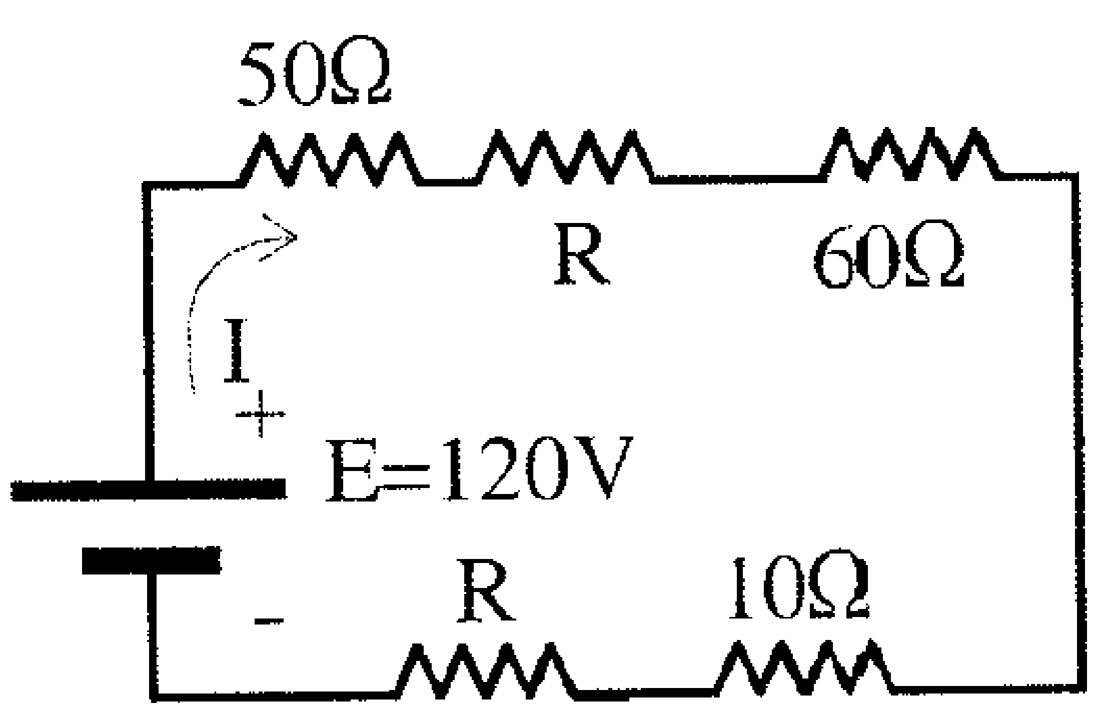
الحــل :

$$R_T = 15\Omega + 10\Omega + 25\Omega + 10\Omega + 25\Omega$$

$$= 110\Omega$$

$$I = E / R_T = 35V / 110\Omega = 0.318A$$

(2) إذا علمت أن المقاومة الكلية $(R_T = 220\Omega)$ ،من الدائرة أحسب قيمة المقاومة المجهولة (R) و التيار (I) .



الحــل:

$$R_T = 50\Omega + R + 60\Omega + 10\Omega + R =$$

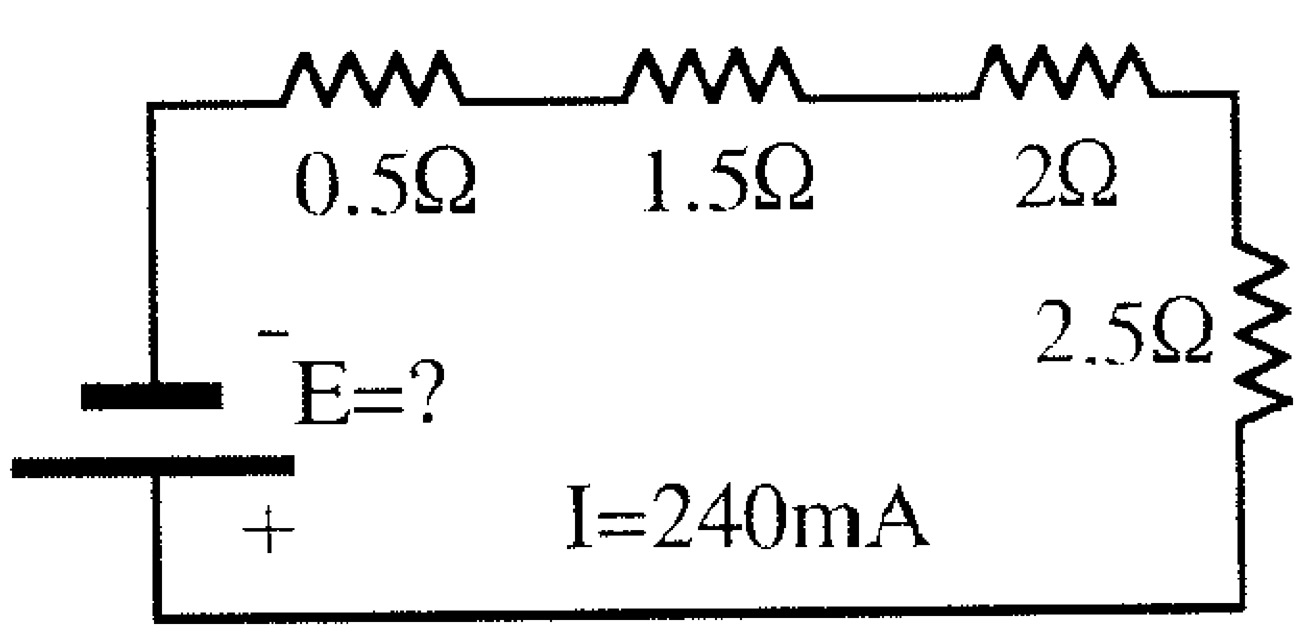
$$= 220\Omega$$

$$220\Omega = 120\Omega + 2R \longrightarrow 2R = 220\Omega - 120\ \Omega = 100\Omega$$

$$\therefore\ R = 50\Omega$$

$$I = E / R_T = 120V / 220\Omega = 0.545A$$

(3) أحسب قيمة مصدر الجهد للدائرة التالية:



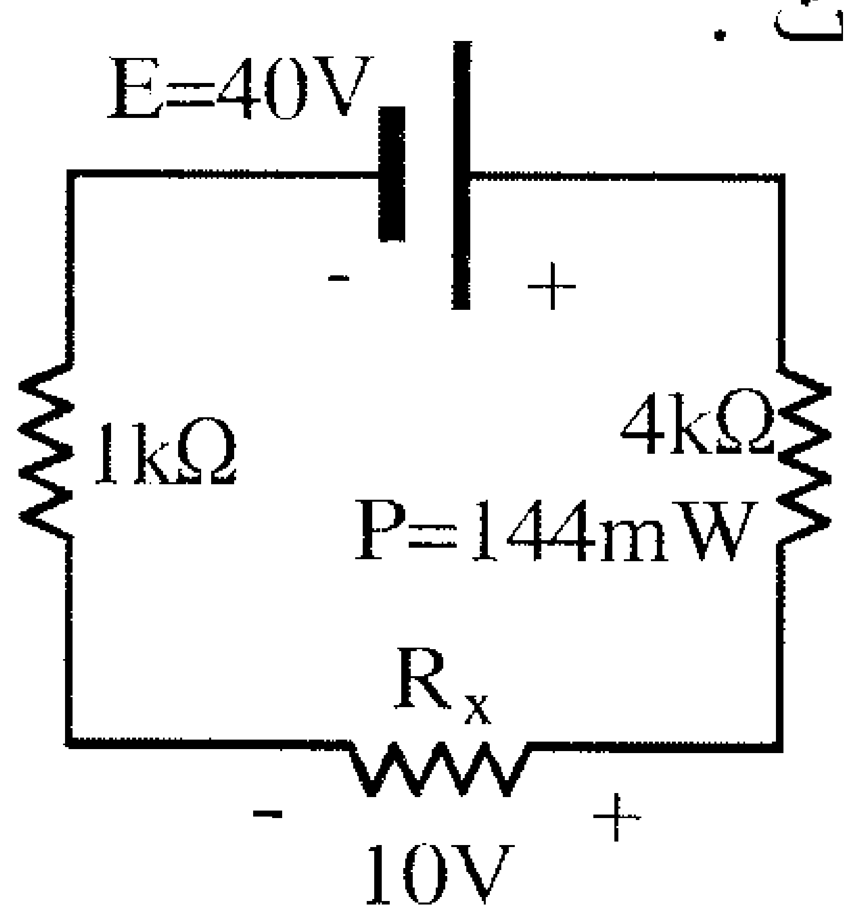
الحــل:

$$R_T = 0.5\Omega + 1.5\Omega + 2\Omega + 2.5\Omega$$
$$= 6.5\Omega$$

$$I = E / R_T$$

$$E = I\,R_T = (240\times10^{-3}\,A)(6.5\,\Omega) = 1.56\,V$$

(4) من الدائرة التالية أوجد(I) وكذلك (R_x) وجهود المقاومات .



الحـــل :

$$P = I^2 R$$

$$I^2 = \frac{P}{R} = \frac{144mW}{4k\Omega} = 36\times10^{-6}\,A^2$$

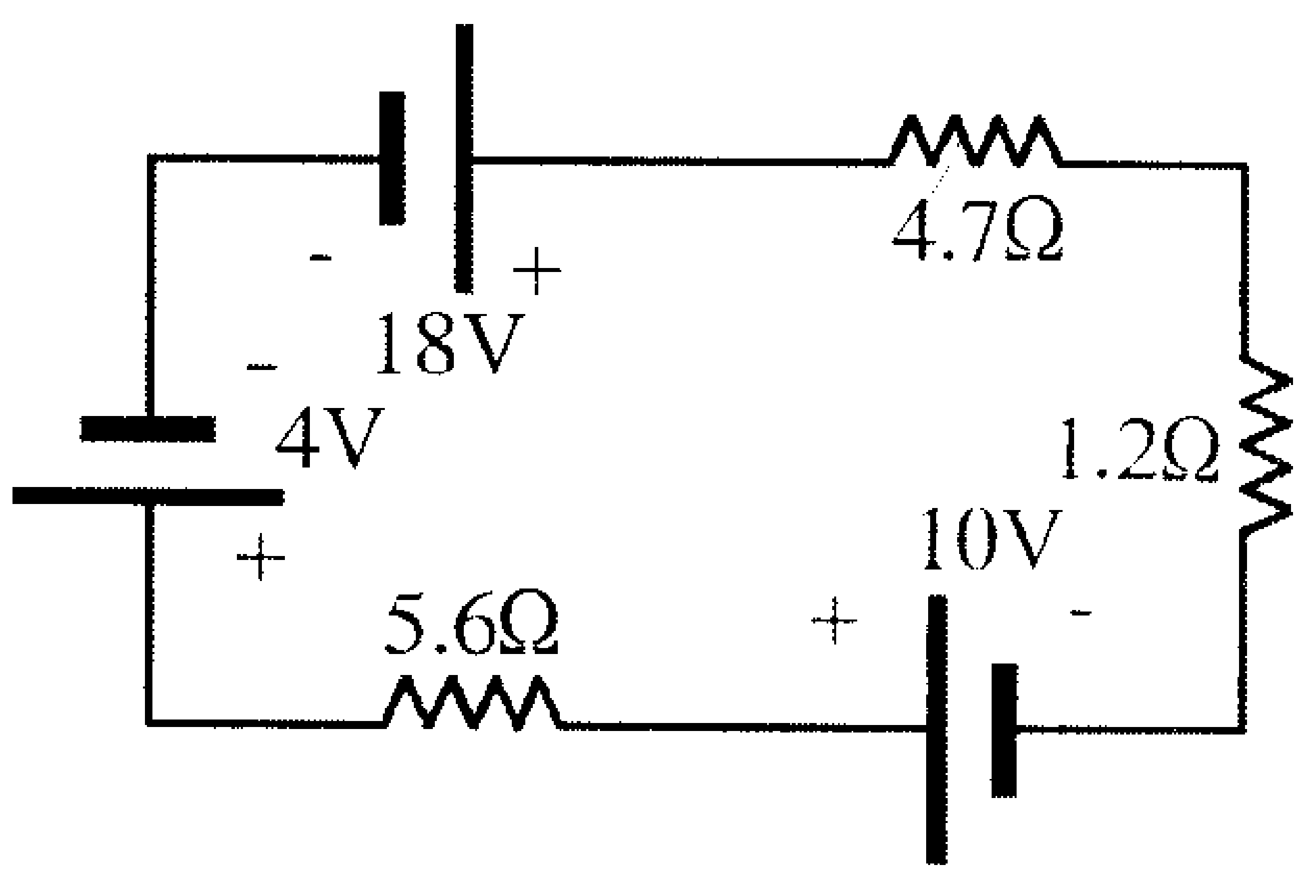
$$I = 6\times10^{-3}\,A = 6mA$$

$$R_x = 10V / 6mA = 1.67k\Omega$$

$$V_{4k\Omega} = (4k\Omega)(6mA) = 24V$$

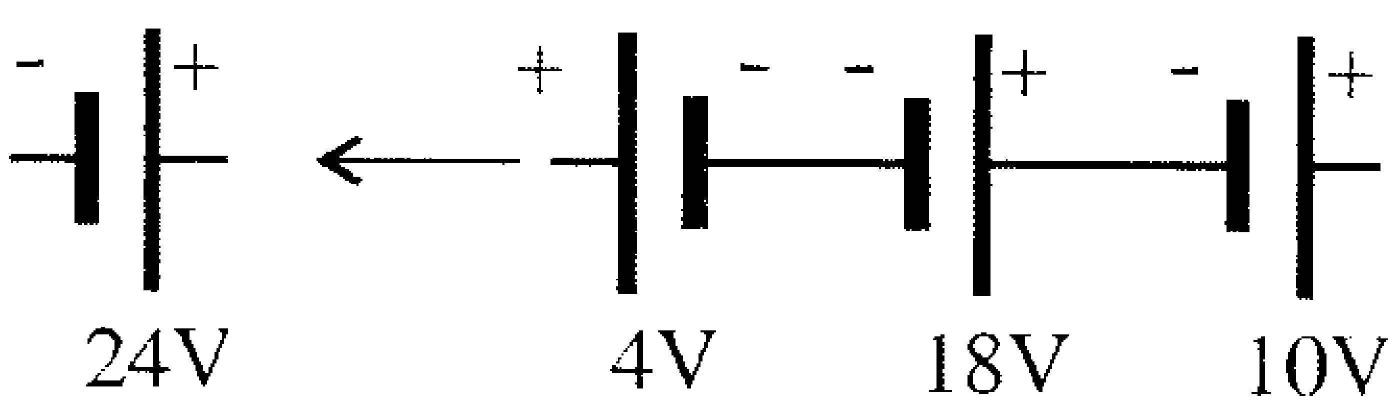
$$V_{1k\Omega} = (1k\Omega)(6mA) = 6V$$

(5) باستخدام جمع المصادر أوجد قيمة تيار الدائرة التالية:



الحـــل :

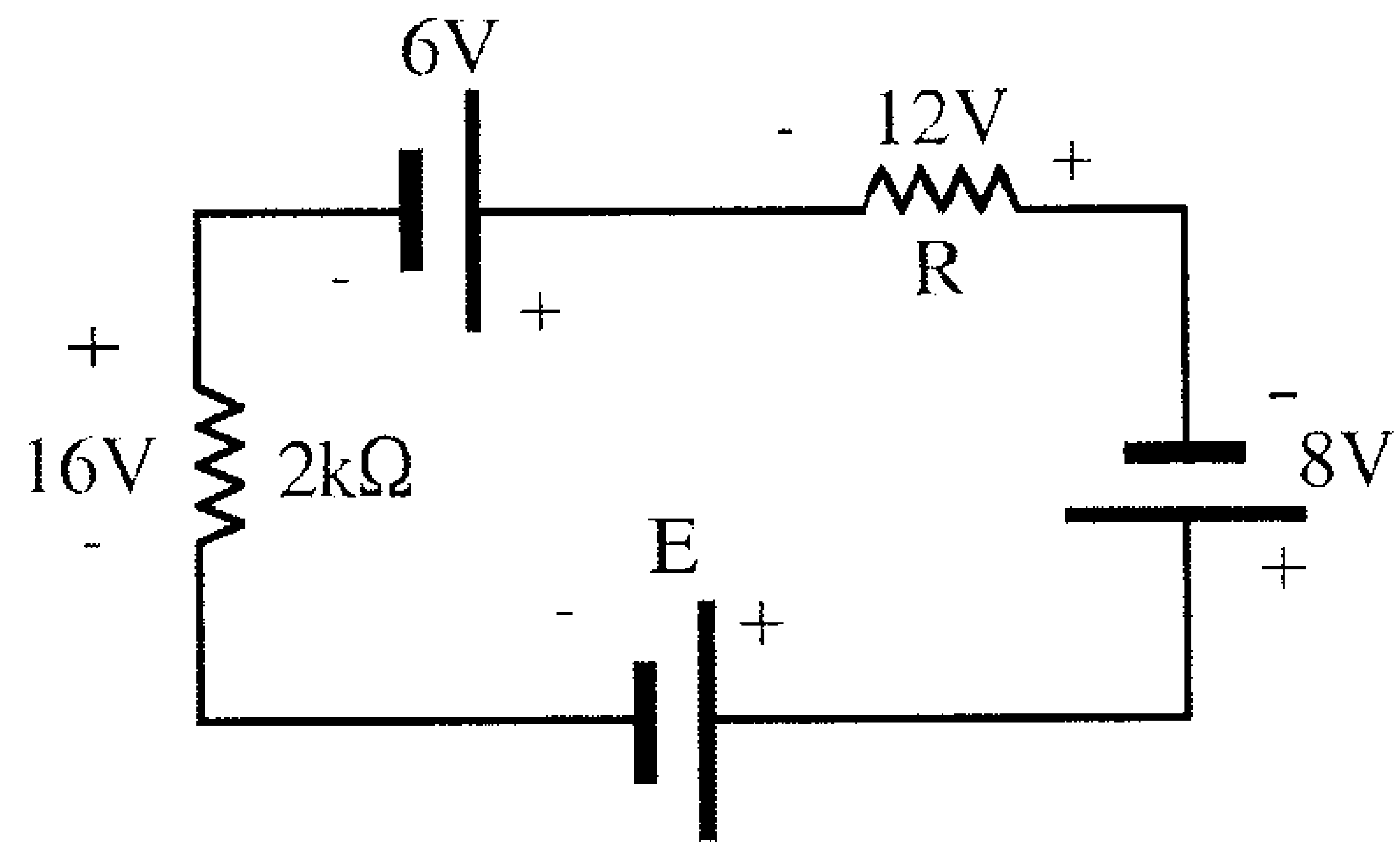
جمع المصادر



$$R_T = 4.7\Omega + 1.2\Omega + 5.6\Omega = 11.5\Omega$$

$$I = E / R_T = 24V / 11.5\Omega = 2.087A$$

(6) من الدائرة التالية أوجد قيمة جهد المصدر (E) و المقاومة (R) .



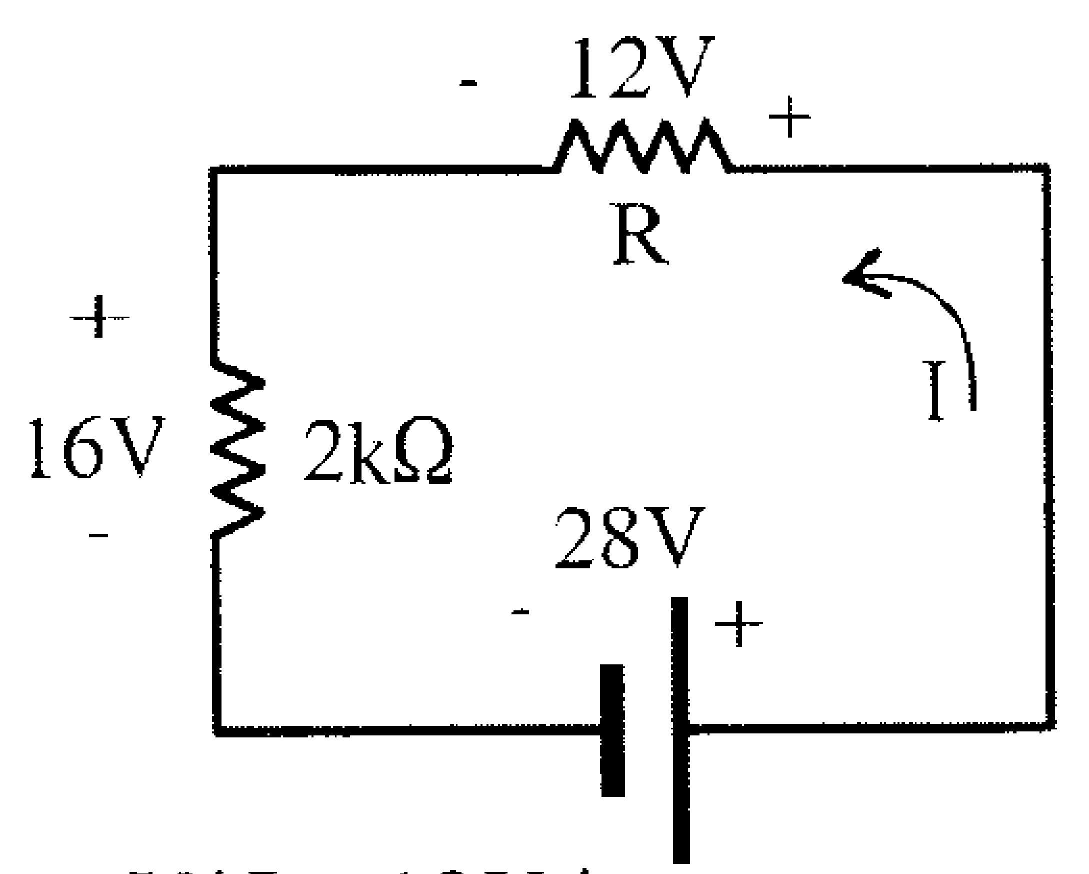
الحــل :

باستخدام قانون (KVL)

$$\sum V = 0$$

$$16\,V + 6V + 12V + 8V - E = 0$$

$$E = 42V$$



جمع المصادر :

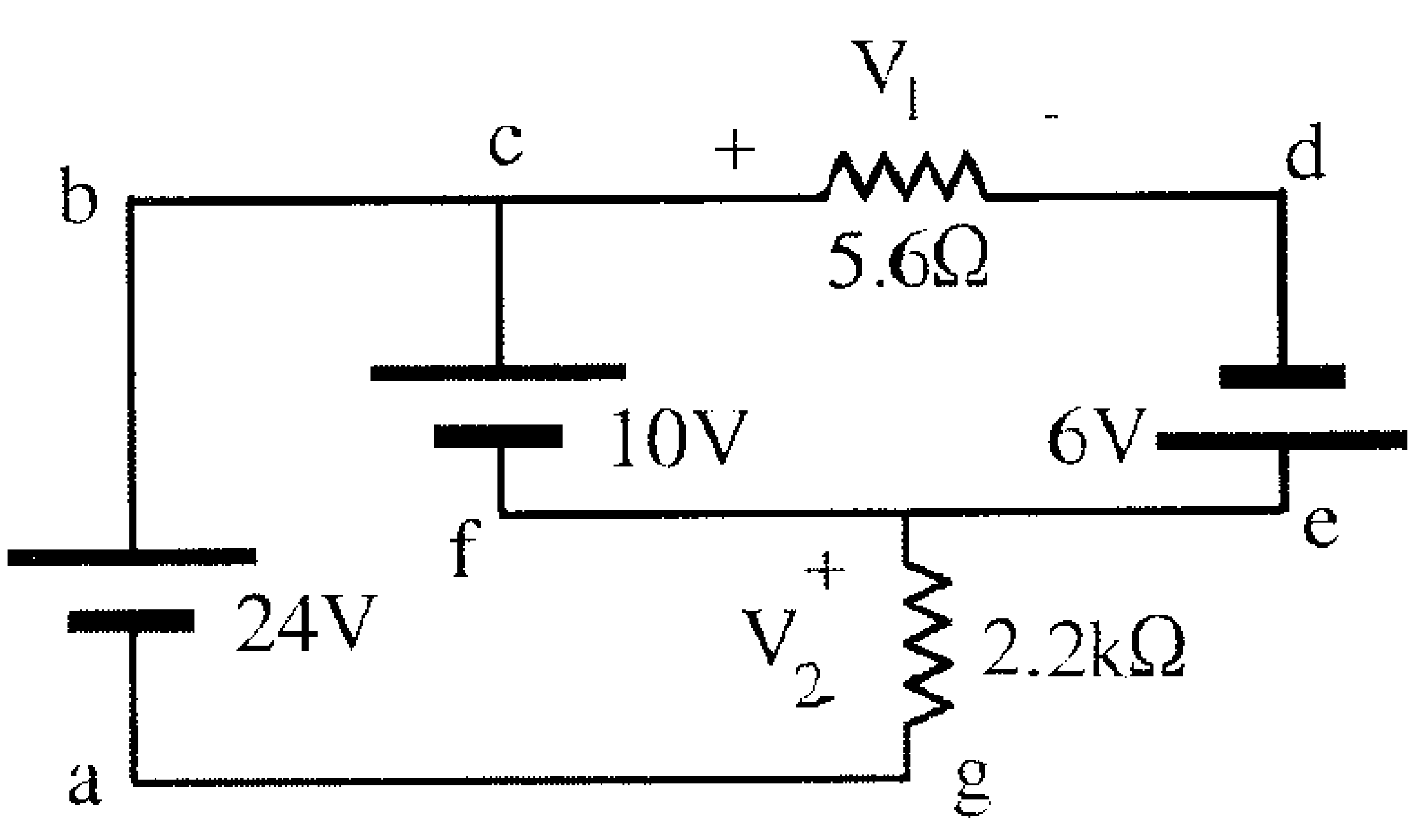
$$E_T = 42V - 8V - 6V = 28V$$

$$I = V / R = 16V / 2k\Omega = 8mA$$

وضد عقارب الساعة

$$R = V/ I = 12V / 8mA = 1.5k\Omega$$

(7) باستخدام قانون كر شوف للجهد أوجد قيمة V_2 و V_1 من الدائرة بالشكل.



الحــل :

من المسار(c d e f c) نطبق (KVL)

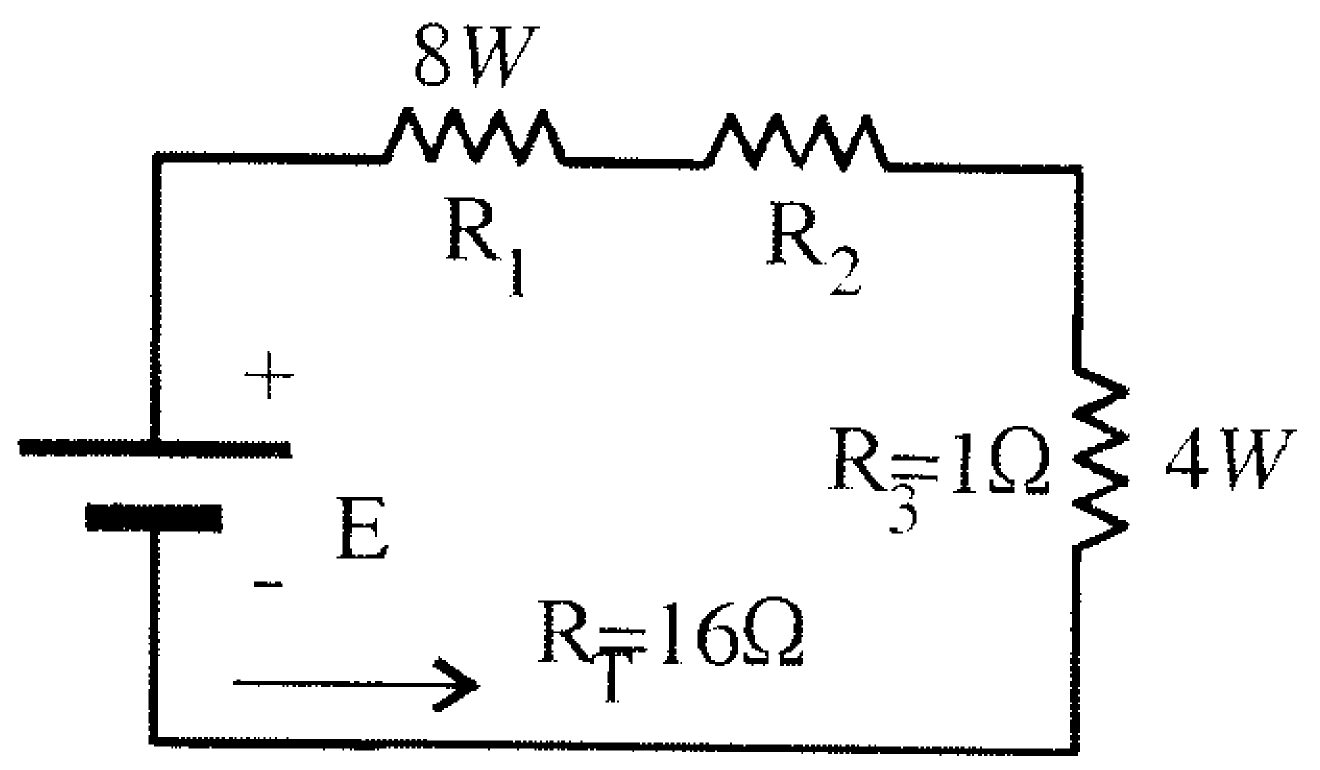
$$10V - V_1 + 6V = 0$$
$$V_1 = 16V$$

من المسار (a b c f g a)

$$24V - 10V - V_2 = 0$$

$$V_2 = 14V$$

(8) أوجد قيم كل من E , R_2 , R_1 من الدائرة التالية.



الحـــل :

$$P_3 = R_3 I^2$$

$$I^2 = P_3 / R_3 = 4W / 1\Omega = 4A^2$$

$$I = 2A$$

$$R_1 = P_1 / I^2 = 8W / 4A^2 = 2\Omega$$

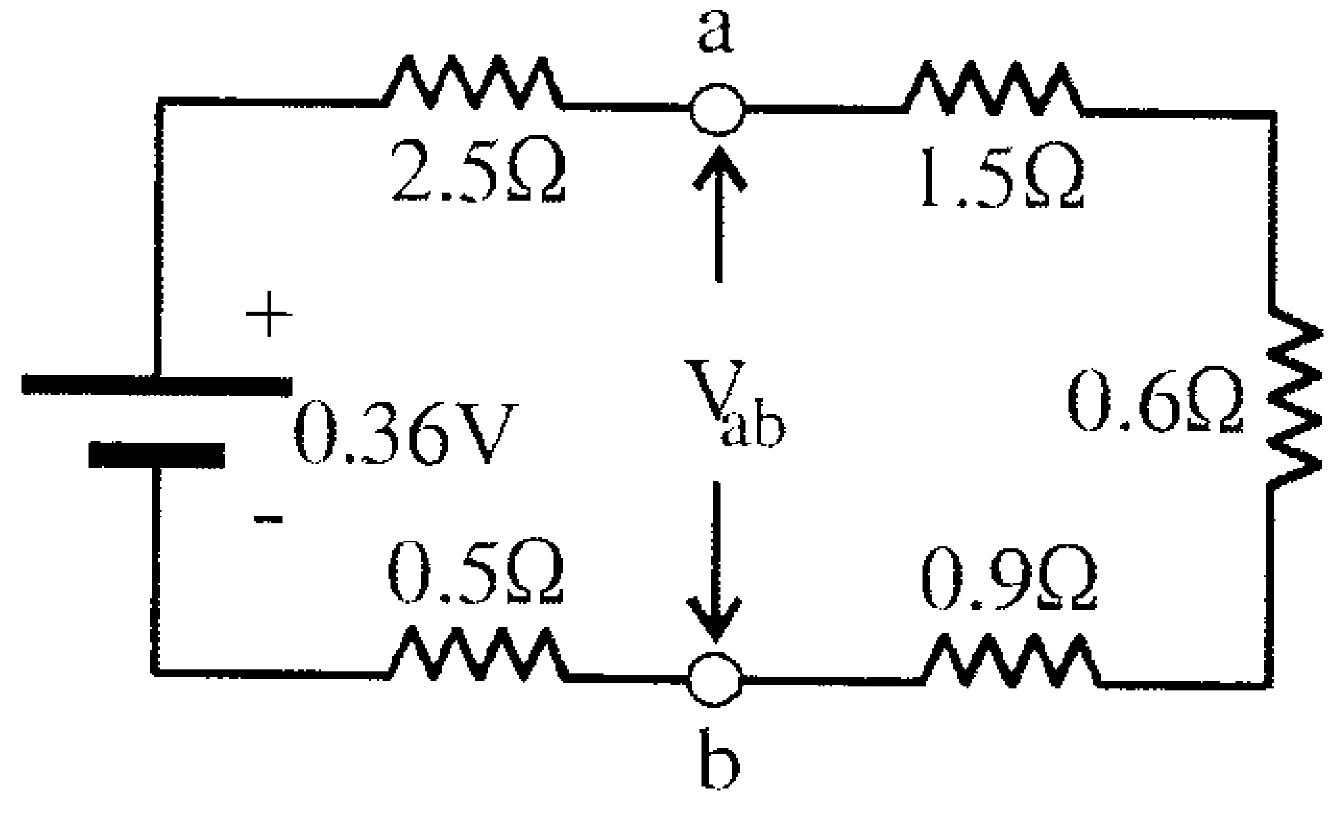
$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_2 = R_T - R_1 - R_3$$

$$R_2 = 16\Omega - 2\Omega - 1\Omega = 13\Omega$$

$$E = R_T I = (16\Omega)(2A) = 32V$$

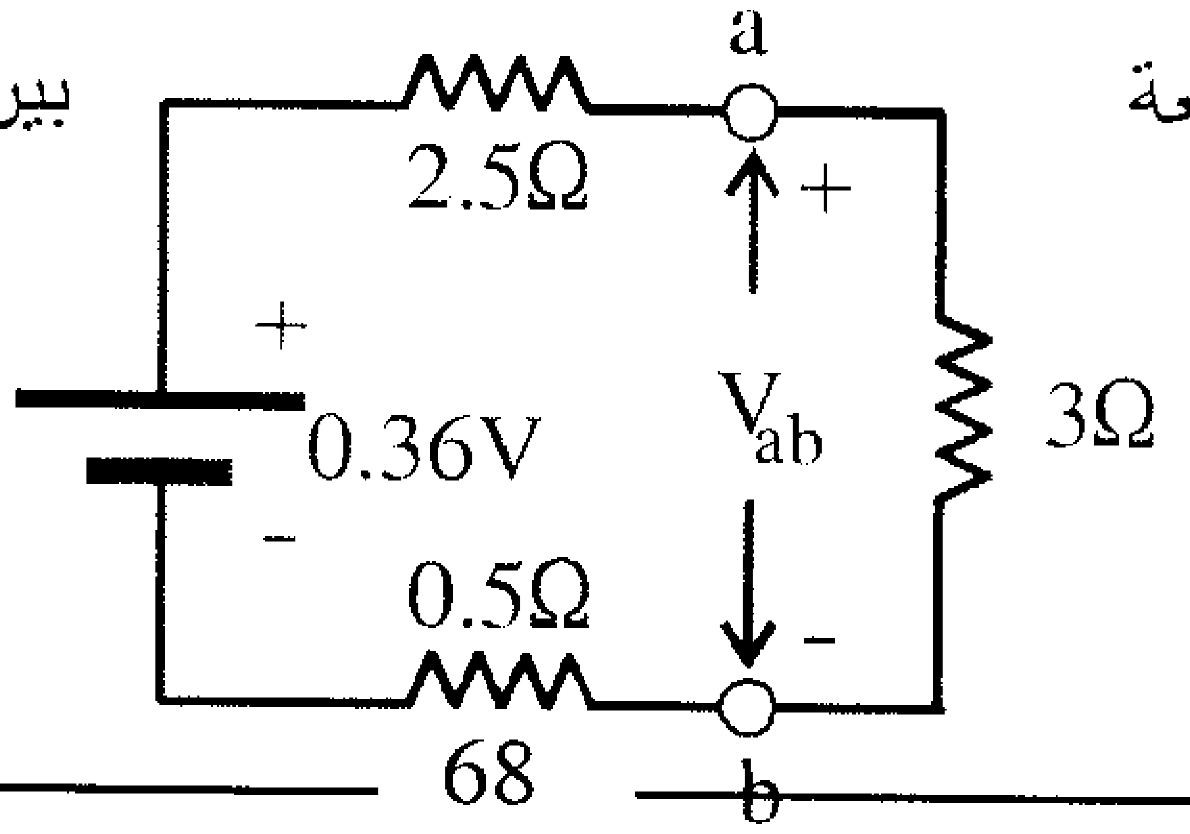
(9) باستخدام قانون مجزئ الجهد (VDR) أوجد قيمة V_{ab} وكذلك القطبية من الدائرة في الشكل التالي :



الحـــل :

مجموع المقاومات الواقعة بين النقطة(b,a)

$3\ \Omega = R_{ab}$

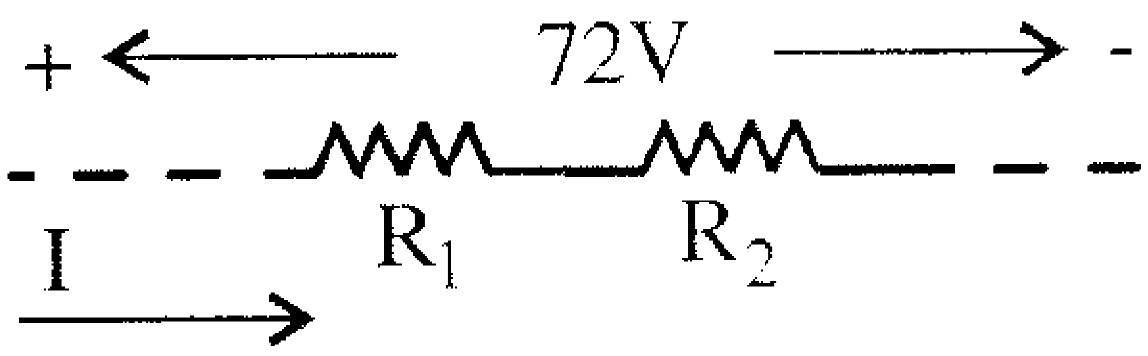


بتطبيق (VDR)

$$V_{ab}=\frac{E\,R_{ab}}{R_T}=\frac{(0.36\,V)(3\Omega)}{6\,\Omega}=0.18\,V$$

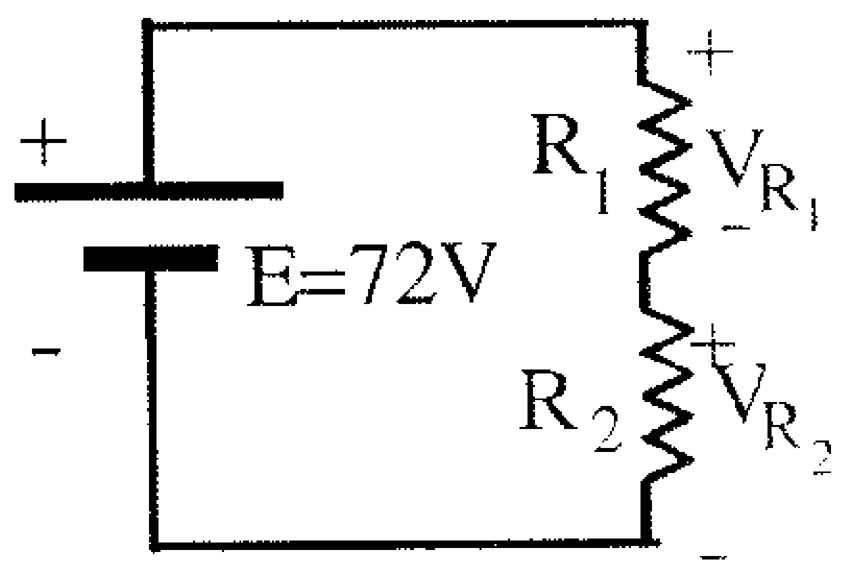
$$R_T = 2.5\Omega + 0.5\Omega + 3\Omega = 6\ \Omega$$

(10) صمم مجزئ جهد للدائرة بالشكل التالي إذا علمت أن قيمة الجهد على المقاومة R_1 يساوي خمس الجهد على المقاومة R_2 و التيار المار بالدائرة ($I = 4mA$) .



الحــل :

يمكن إعادة رسم الدائرة كالتالي:



$$E = 72E$$

$$I = 4mA$$

$$R_T = E / I = 72V / 4mA = 18k\Omega$$

$$V_{R1} = V_{R2} / 5 \longrightarrow R_1 = R_2 / 5$$

$$R_T = R_1 + R_2 = (R_2 /5) + R_2$$

بضرب المعادلة في 5

$$5R_T = R_2 + 5R_2$$

$$5R_T = 6R_2$$

$$(5)\,(18k\Omega) = 6R_2 \longrightarrow R_2 = 15k\Omega$$

ومنها $R_1 = 3k\Omega$

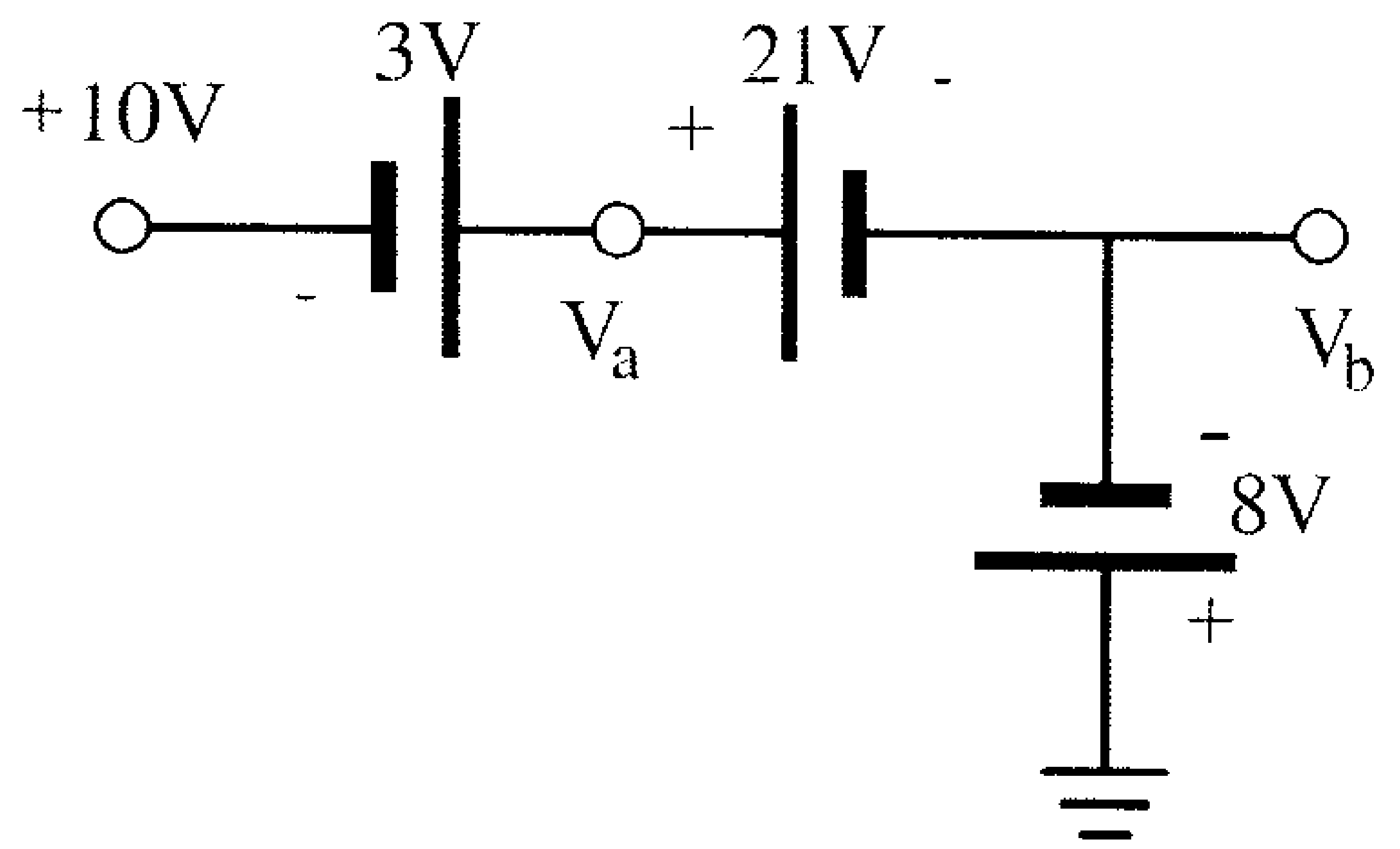
وباستخدام (VDR) يمكن إيجاد قيمة الجهد على المقاومة R_1 و R_2

$$V_{R1}=\frac{E\bullet R_1}{R_T}=\frac{(72V)(3k\Omega)}{18\,k\Omega}=12V$$

$$V_{R2} = \frac{E \bullet R_2}{R_T} = \frac{(72V)(15k\Omega)}{18k\Omega} = 60V$$

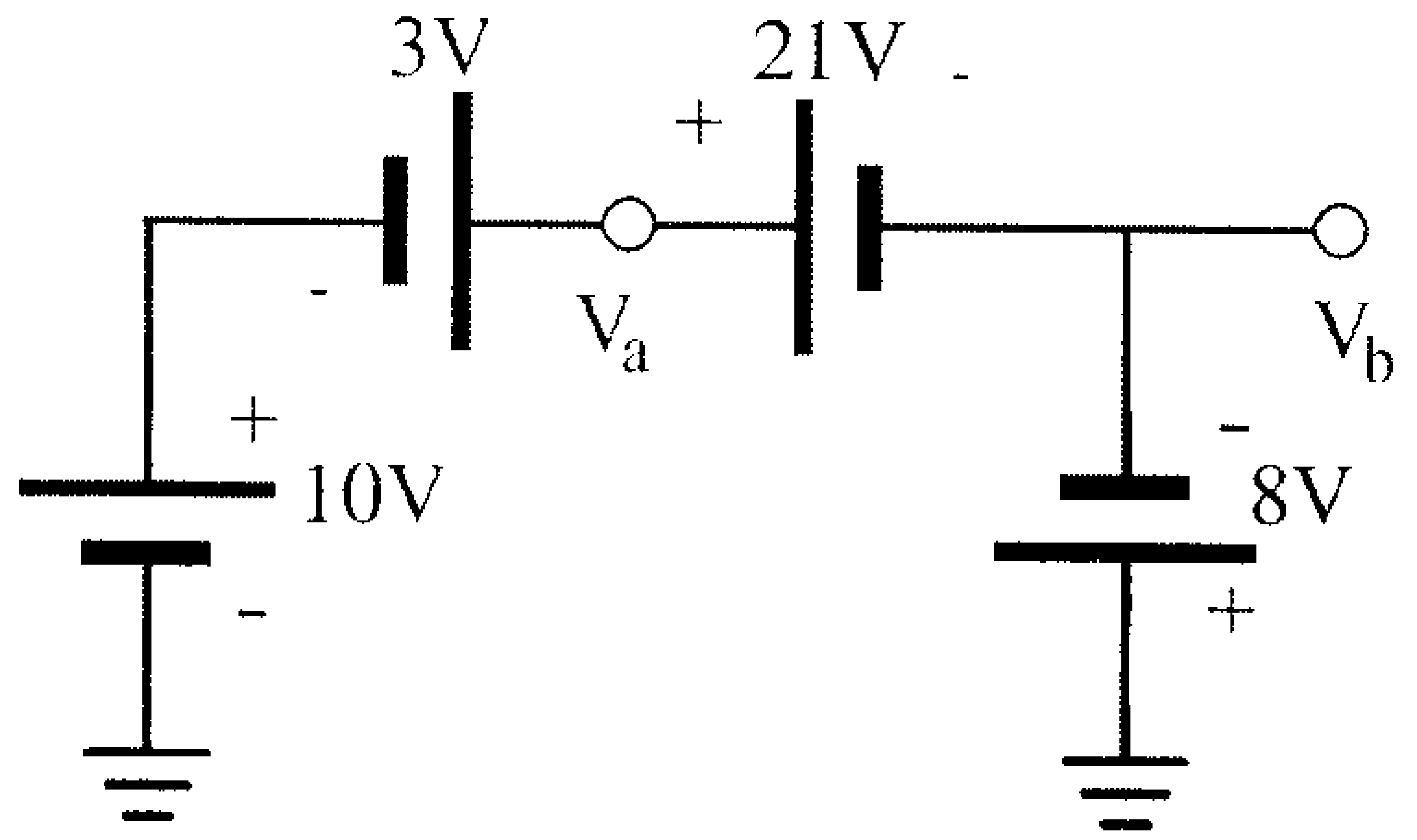
(11) من الدائرة في الشكل التالي أوجد

. V_{ab} , V_b , V_a



الحــل :

نعيد رسم الدائرة كالتالي :



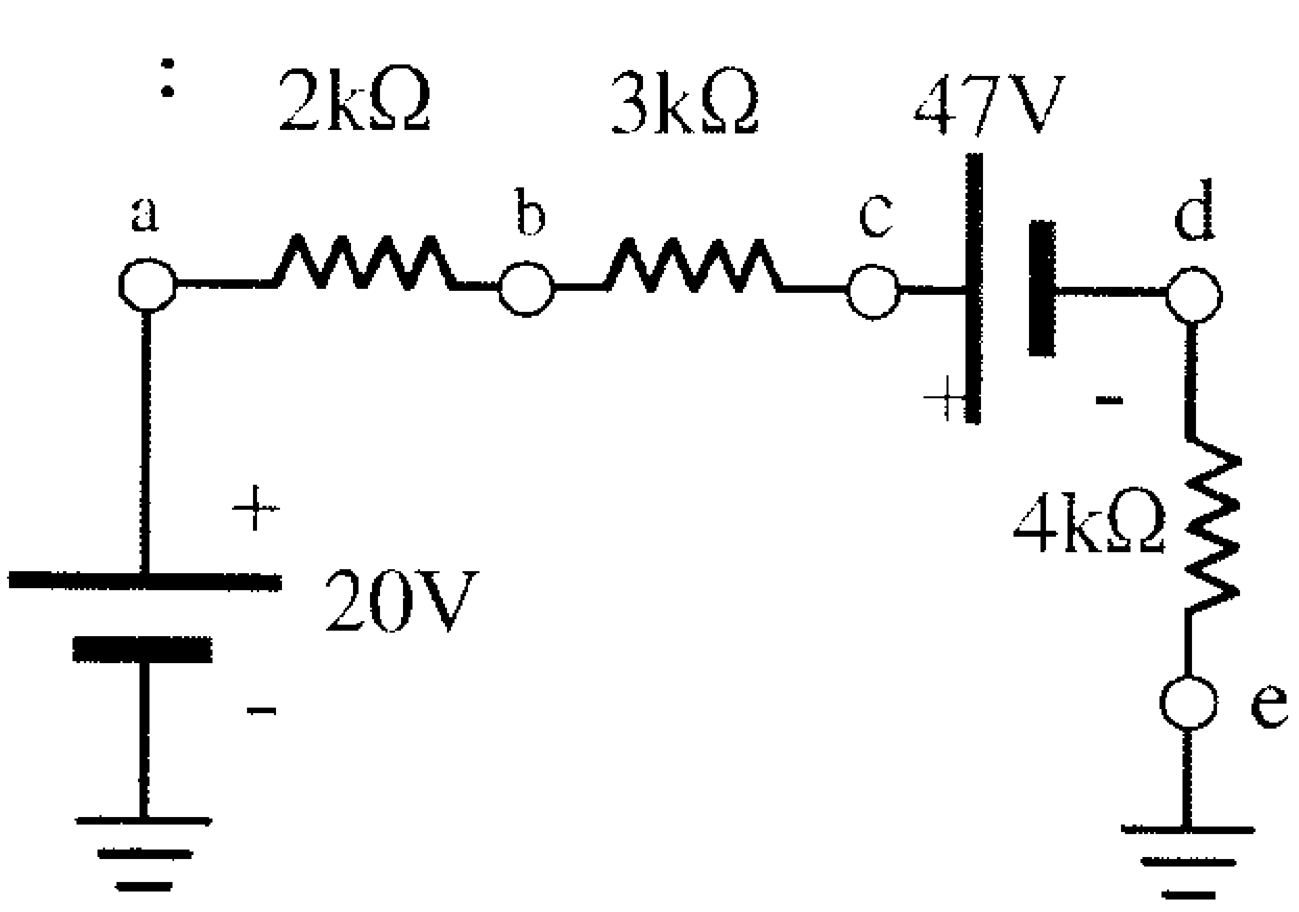
$Va = 10V + 3V = 13V$

$V_b = -8V$

$V_{ab} = V_a - V_b = 13V - (-8V) = 21V$

أو يمكن قراءة قيمة الجهد V_{ab} من الرسم مباشرة وهو $21V$.

(12) من الدائرة في الشكل التالي أوجد كلاً من :



1. V_d , V_e , V_c , V_b , V_a .
2. V_{cb} , V_{dc} , V_{ab} .
3. V_{db} , V_{ac} .

الحــل:

من الشكل مباشرة $Va = 20V$

المقاومة الكلية

$$R_T = 2k\Omega + 3k\Omega + 4k\Omega = 9k\Omega$$

جمع مصادر الجهد (الجهد الكلي)

$$E_T = 47V - 20V = 27V$$

التيار المار في الدائرة

$$I = E_T / R_T = 27V / 9k\Omega = 3mA$$

جهد V_{ab} هو الجهد على المقاومة($2k\Omega$) : $V_{ab} = -(2k\Omega)(3mA) = -6V$

$$V_b = 20V + 6V = 26V$$

جهد V_{cb} هو الجهد على المقاومة($3k\Omega$) : $V_{cb} = (3k\Omega)(3mA) = 9V$

$$V_c = 20V + 6V + 9V = 35V$$

جهد V_{dc} هو جهد المصدر ($47V$) : $V_{dc} = -47\ V$

$$V_e = 0\ V$$

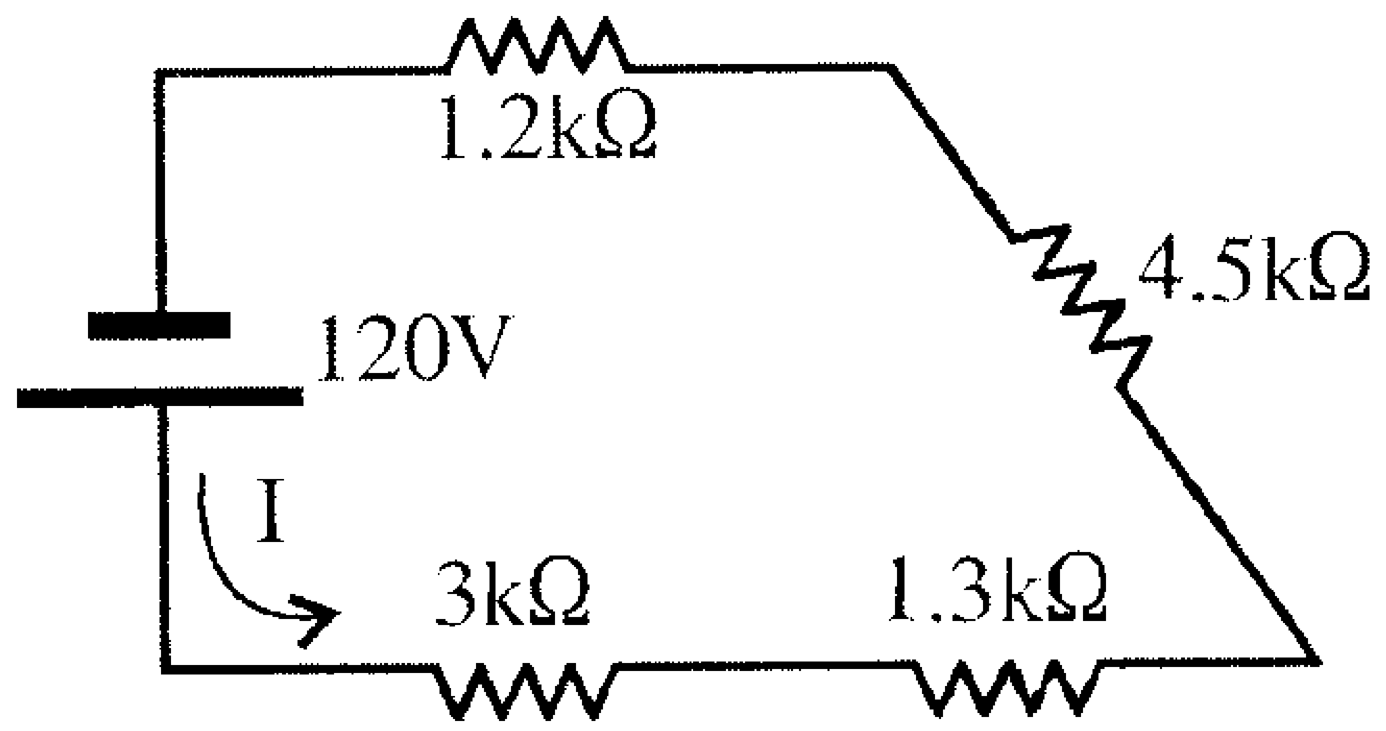
$$V_d = -47\ V + 9\ V + 6\ V + 20\ V = -12\ V$$

$$V_{ac} = -6\ V - 9\ V = -15\ V$$

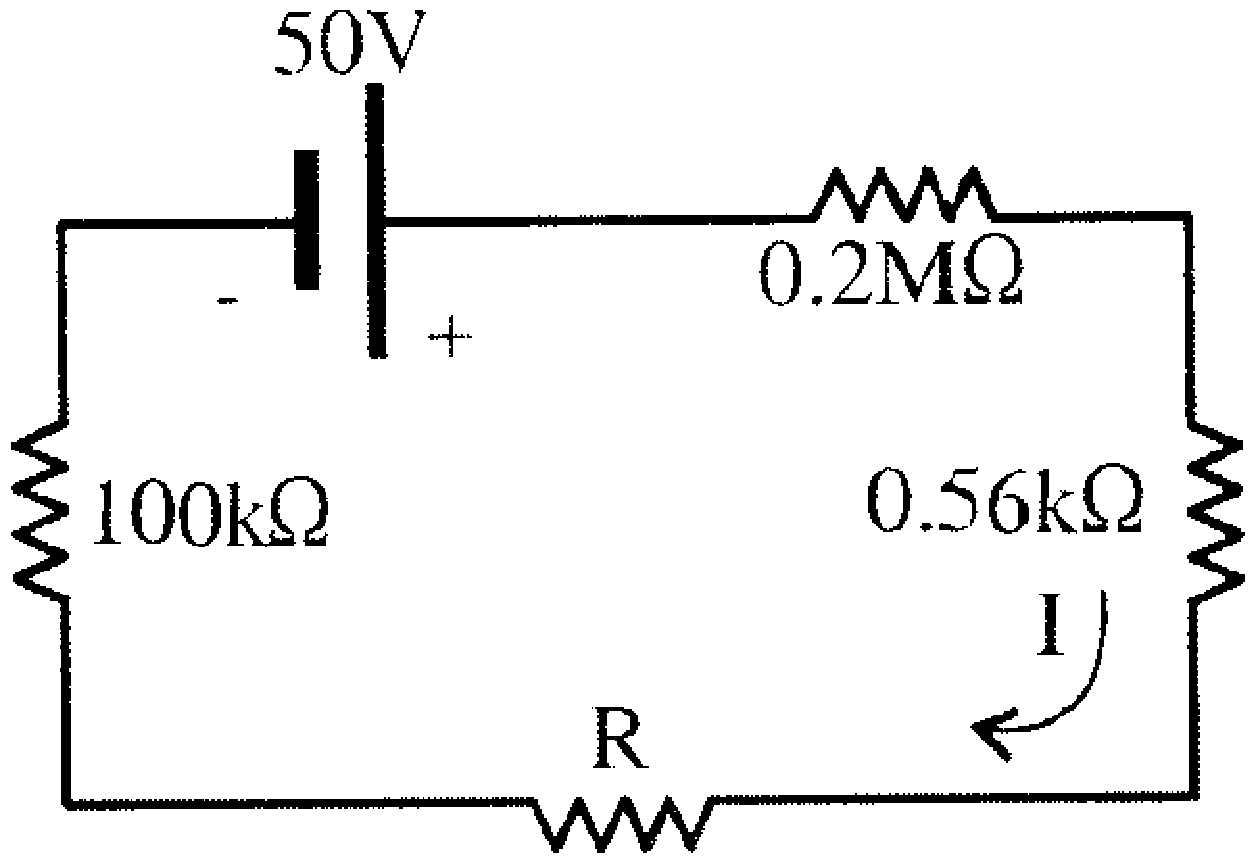
$$V_{db} = -47\ V + 9\ V = -38\ V$$

10.2 مسائل متنوعة

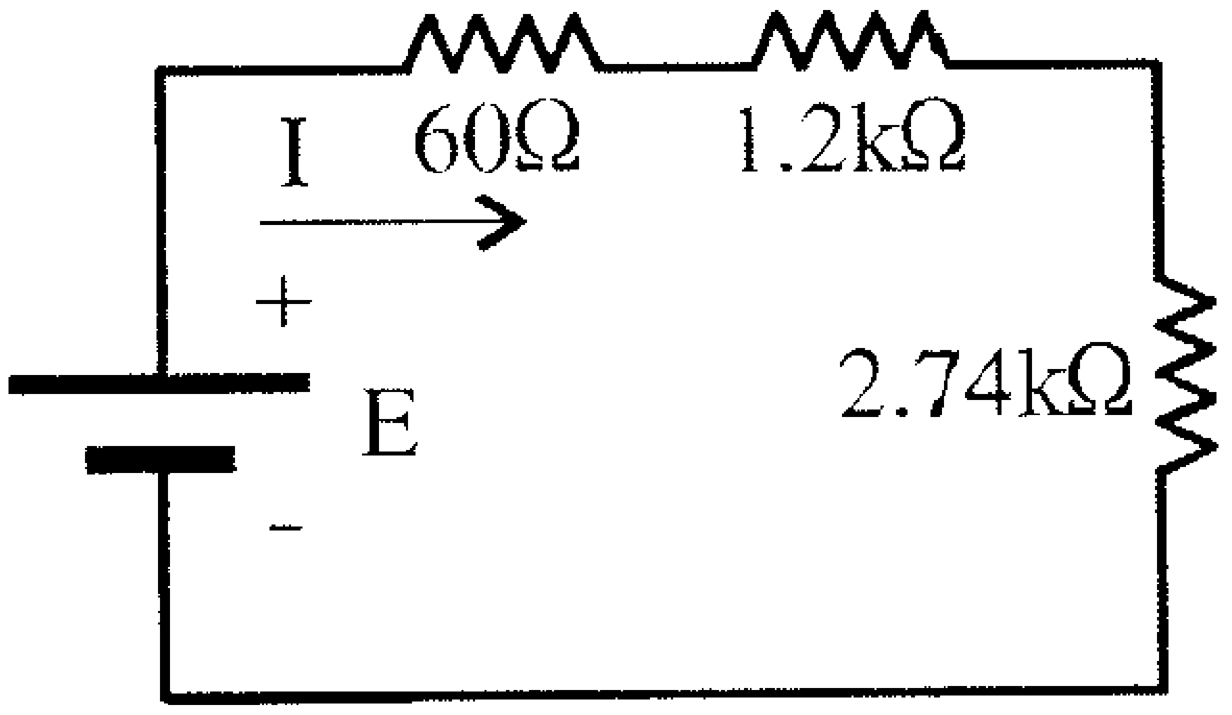
(1) من الدائرة بالشكل التالي أوجد: I , R_T .



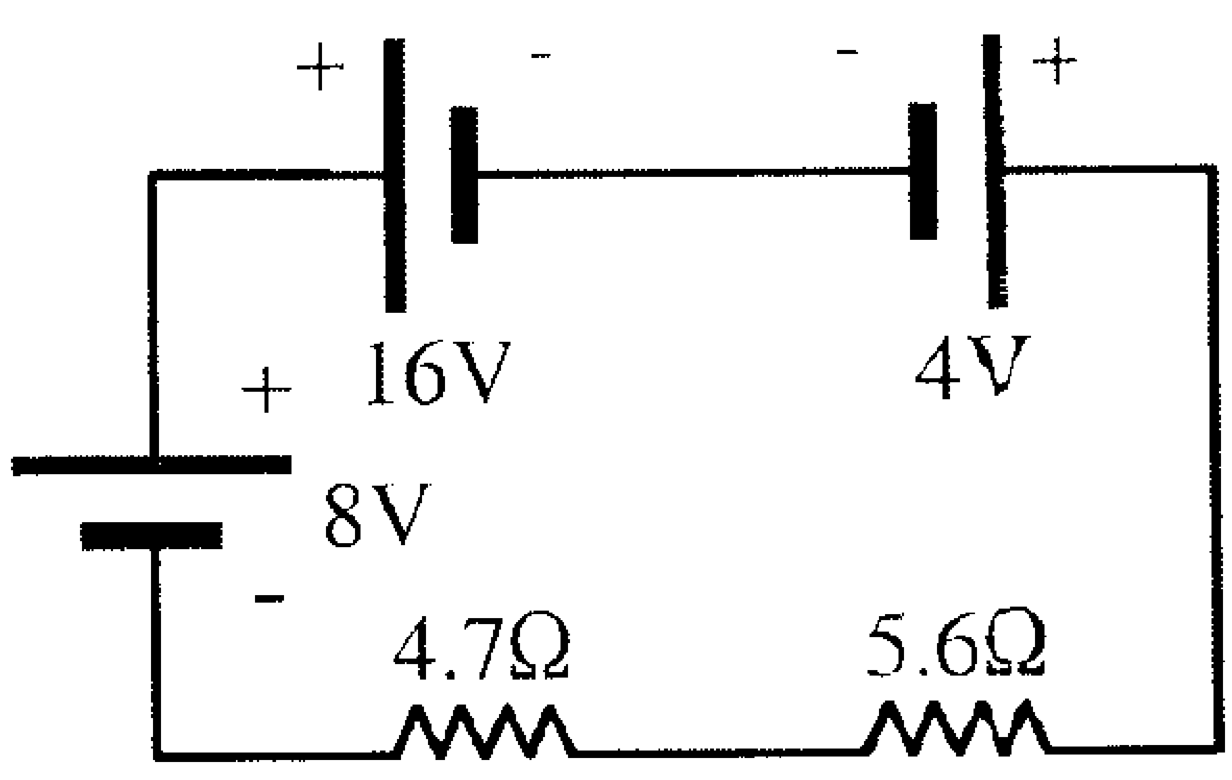
(2) من الدائرة بالشكل التالي أوجد:
قيمة المقاومة المجهولة (R) و التيار الكلي للدائرة (I) إذا علمت أن المقاومة الكلية ($R_T = 1.6\ M\Omega$) .



(3) من الدائرة بالشكل التالي أوجد :
جهد المصدر E إذا علمت أن التيار المار في الدائرة ($I = 4mA$) .



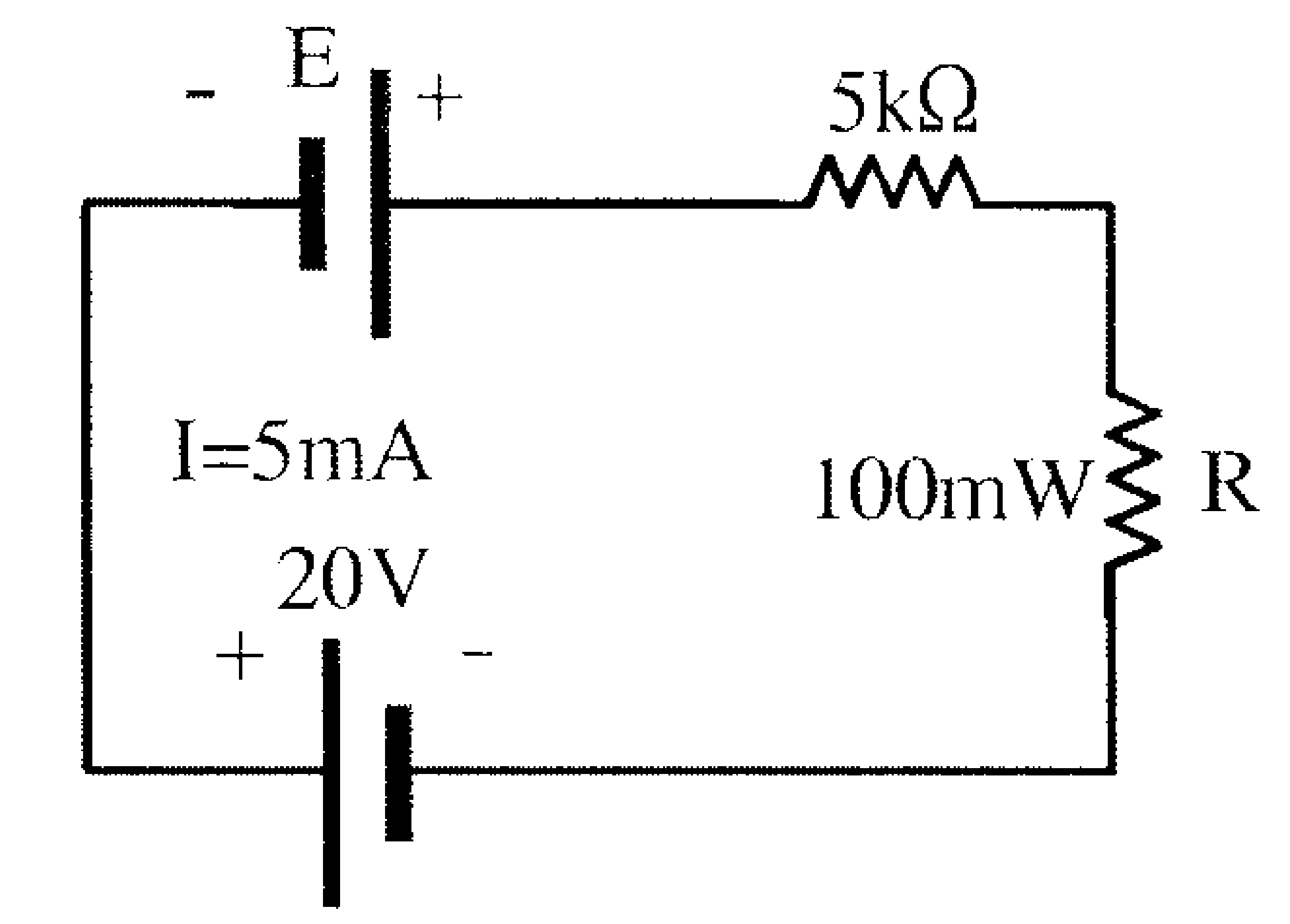
(4) من الدائرة بالشكل التالي أوجد :
التيار الكلي للدائرة (I) وحدد اتجاهه.
(اجمع مصادر الجهد أولاً).



(5) من الدائرة بالشكل التالي أوجد :

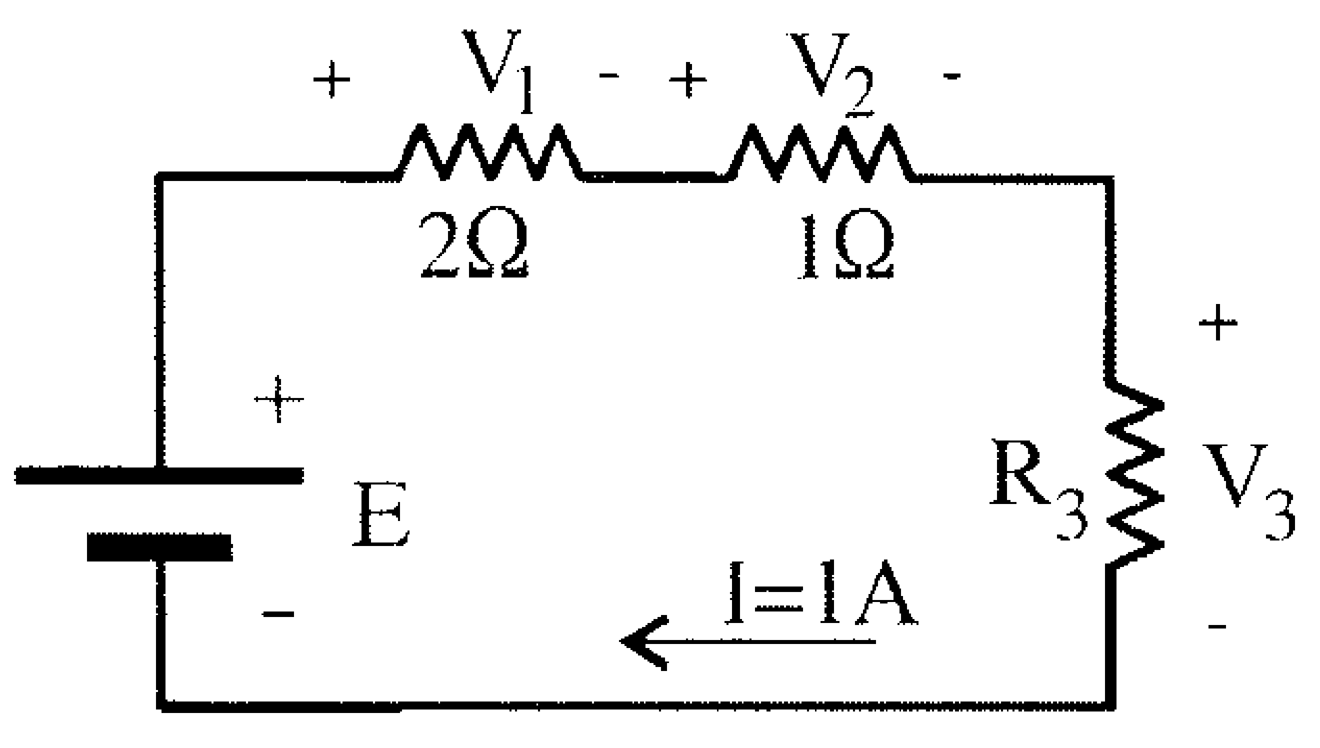
. R , E

حدد اتجاه التيار الكلي للدائرة إذا علمت أن قيمته ($I = 5mA$) .



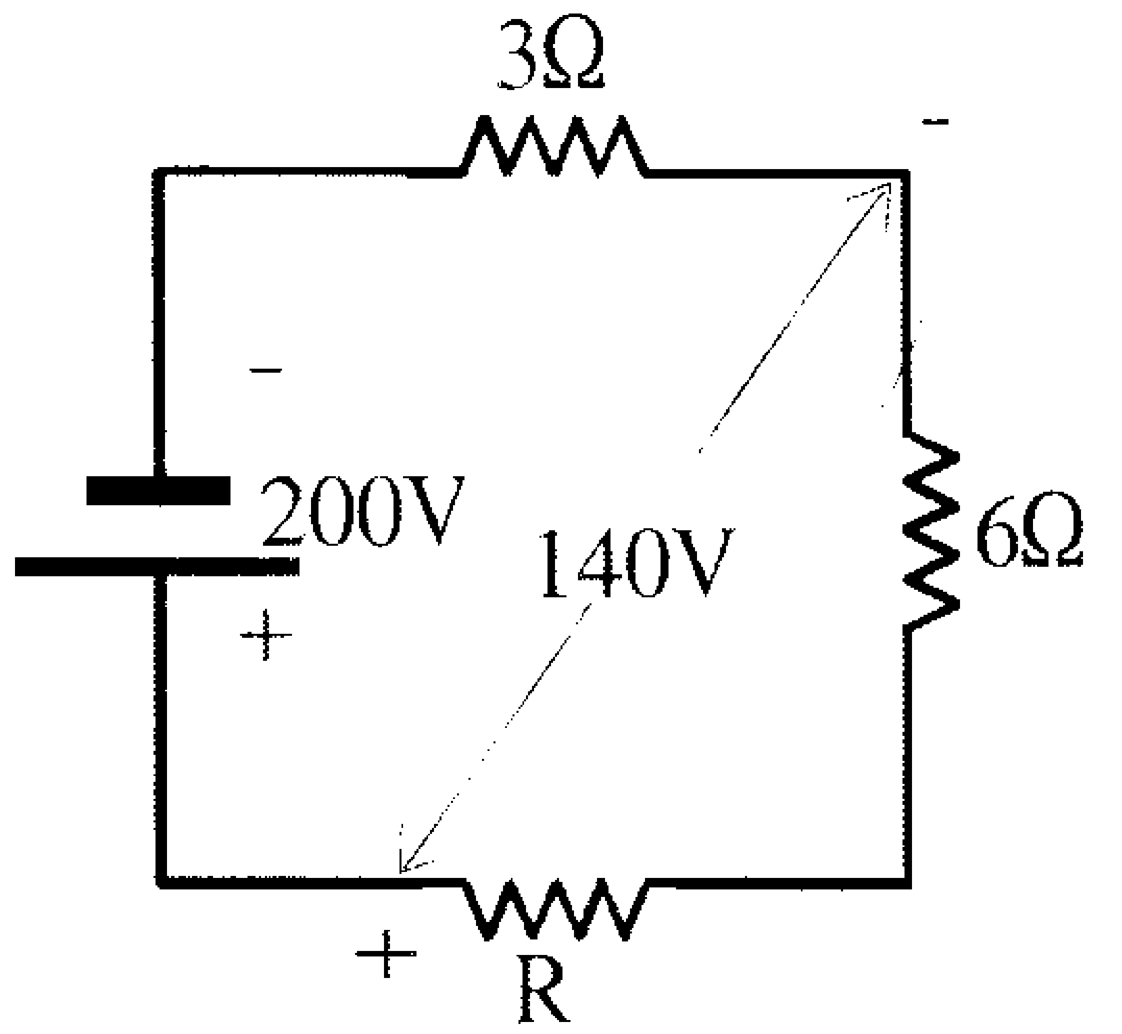
(6) من الدائرة بالشكل التالي أوجد كلاً من :

E , R_3 , V_1 , V_2 , V_3 إذا علمت أن قيمة القدرة المستهلكة في المقاومة R_3 هي ($P_3 = 21W$) والتيار المار في الدائرة ($I = 1A$) .



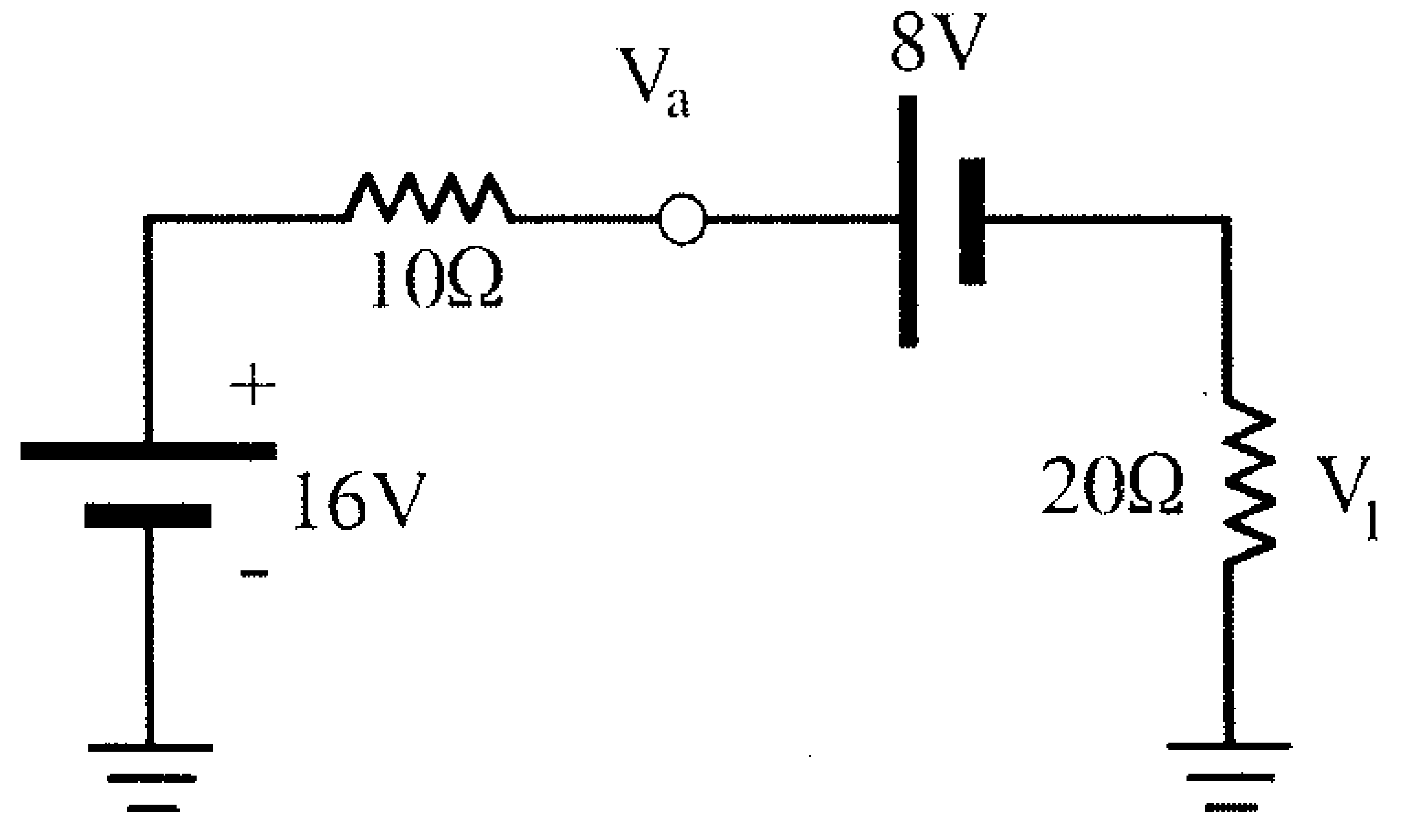
(7) من الدائرة في الشكل التالي:

أوجد قيمة المقاومة R باستخدام قانون مجزئ الجهد.



(8) من الدائرة في الشكل التالي أوجد :

. V_1 , V_a

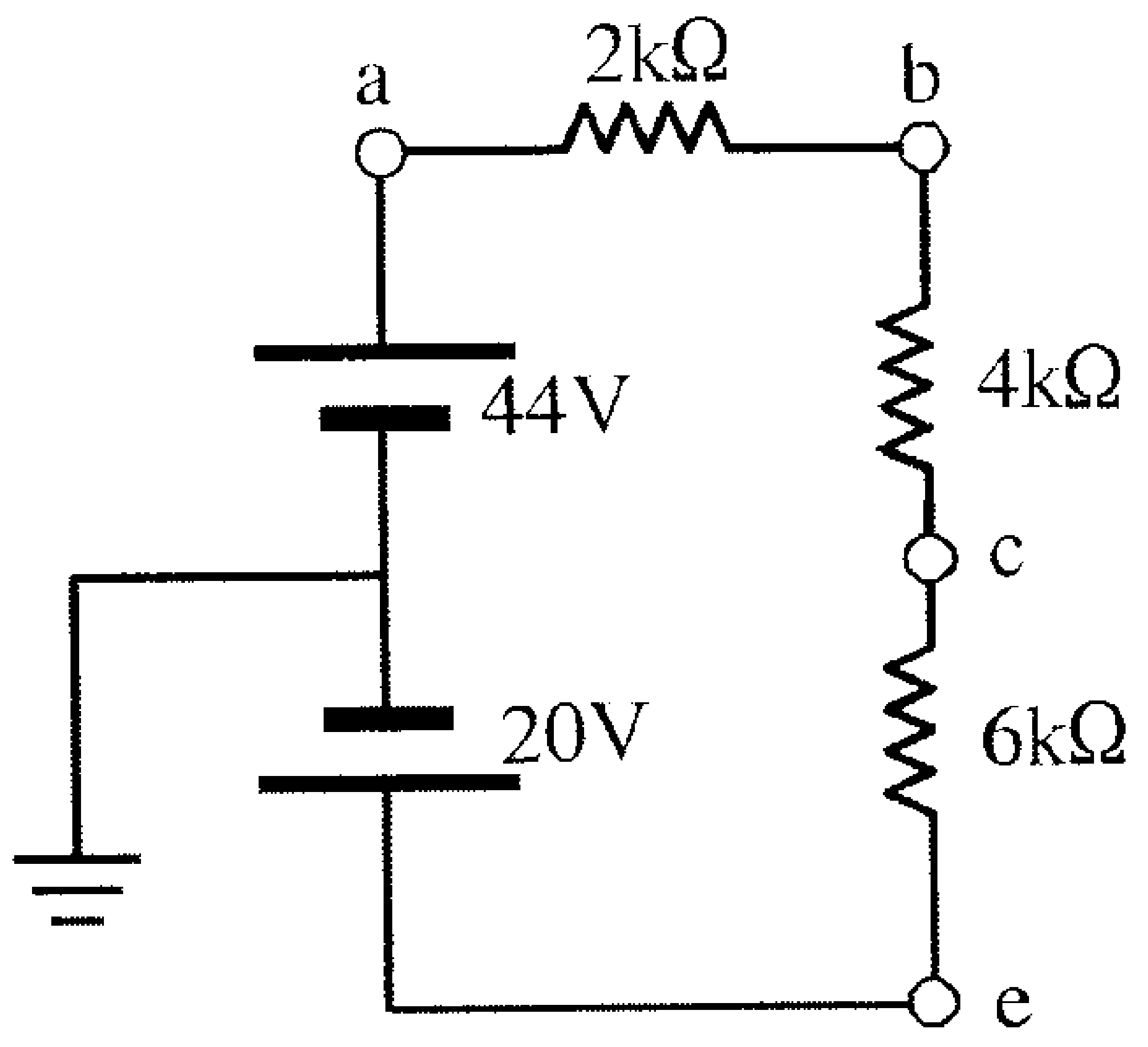


(9) من الدائرة في الشكل التالي أوجد:

. V_d ,V_c ,V_b ,V_a

.V_{cb} ,V_{cd} ,V_{ab}

. V_{ca} ,V_{ad}



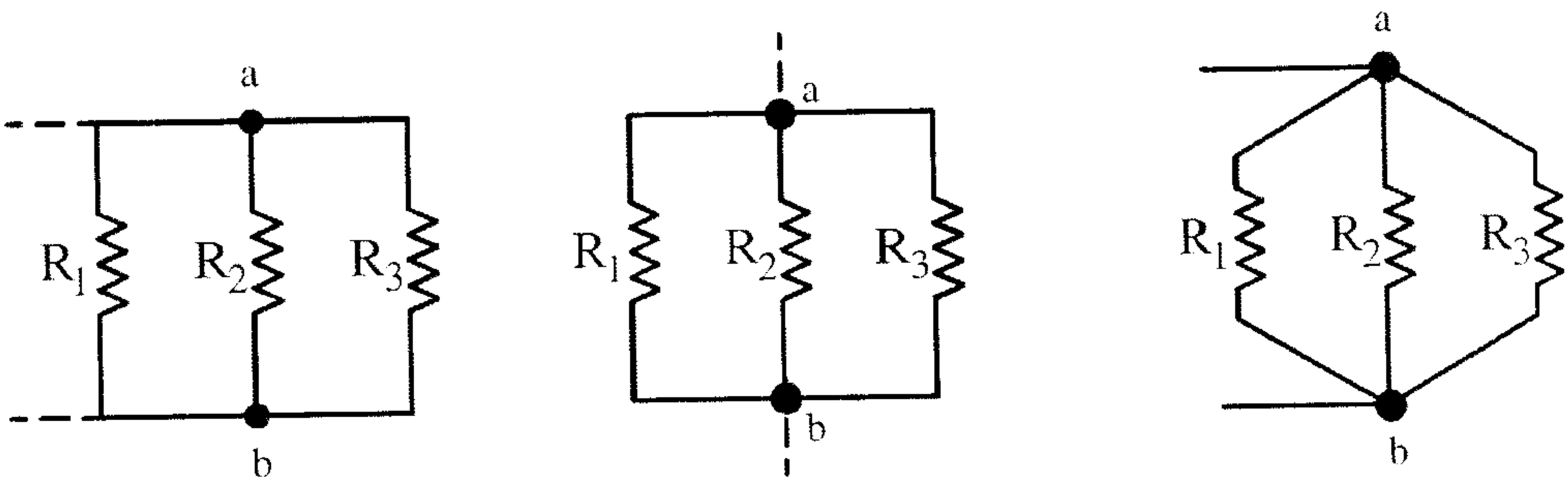
الفصل الثالث

1.3 توصيل المقاومات على التوازي.
2.3 المقاومة والمواصلة الكلية.
3.3 دوائر التوصيل على التوازي.
4.3 توصيل مصادر التيار على التوازي وتحويل المصادر.
5.3 قانون التيار لكرشوف.
6.3 قانون مجزئ التيار.
7.3 الدوائر المفتوحة والمغلقة.
8.3 أمثلة متنوعة.
9.3 مسائل متنوعة.

دوائر التوازي Parallel Circuits

1.3 توصيل المقاومات على التوازي

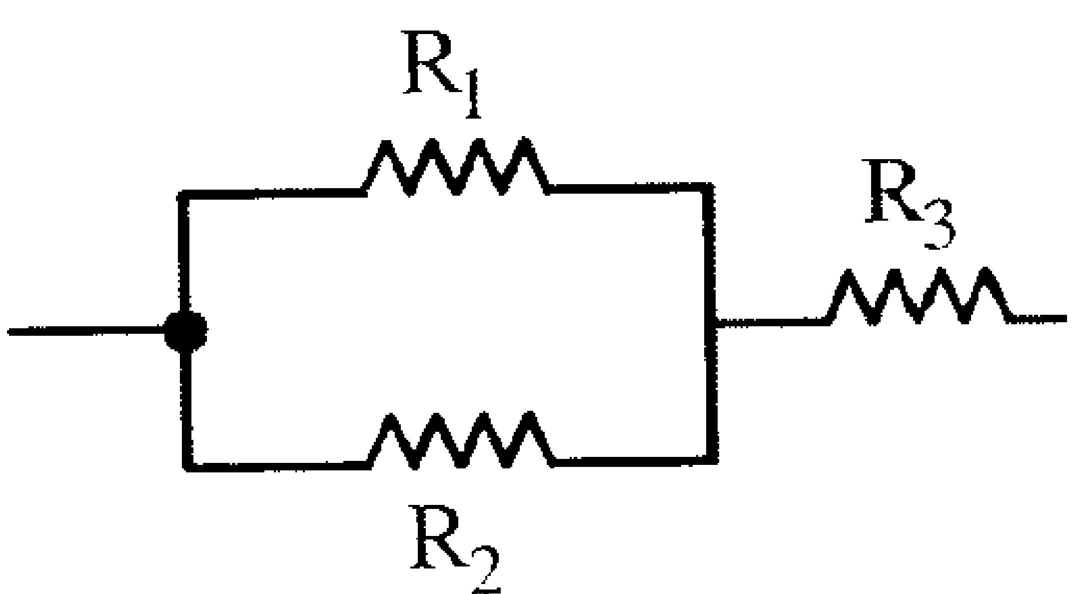
الدوائر التالية توضح كيفية توصيل المقاومات على التوازي بطرق مختلفة:



في هذه الدائرة:

R_1 موصلة على التوازي مع R_2

$R_2 \;//\; R_1$



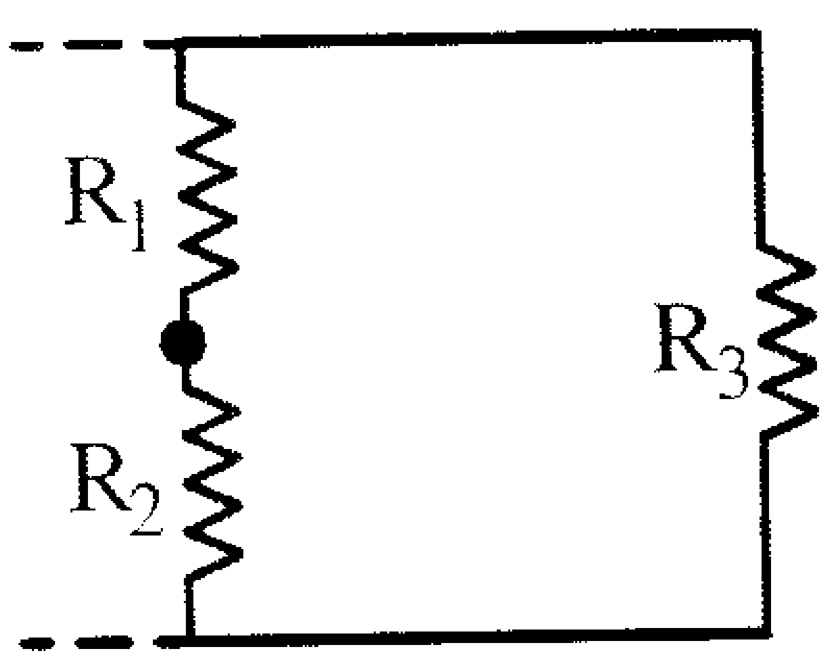
مجموع توازى R_1 // R_2 موصلة على التوالي مع R_3

في هذه الدائرة :

R_1 على التوالي مع R_2

ومجموع $R_1 + R_2$ على التوازي مع R_3

$R_3 \;//\; (R_1 + R_2)$



2.3. المقاومة والمواصلة الكلية Total Resistance and Conductance

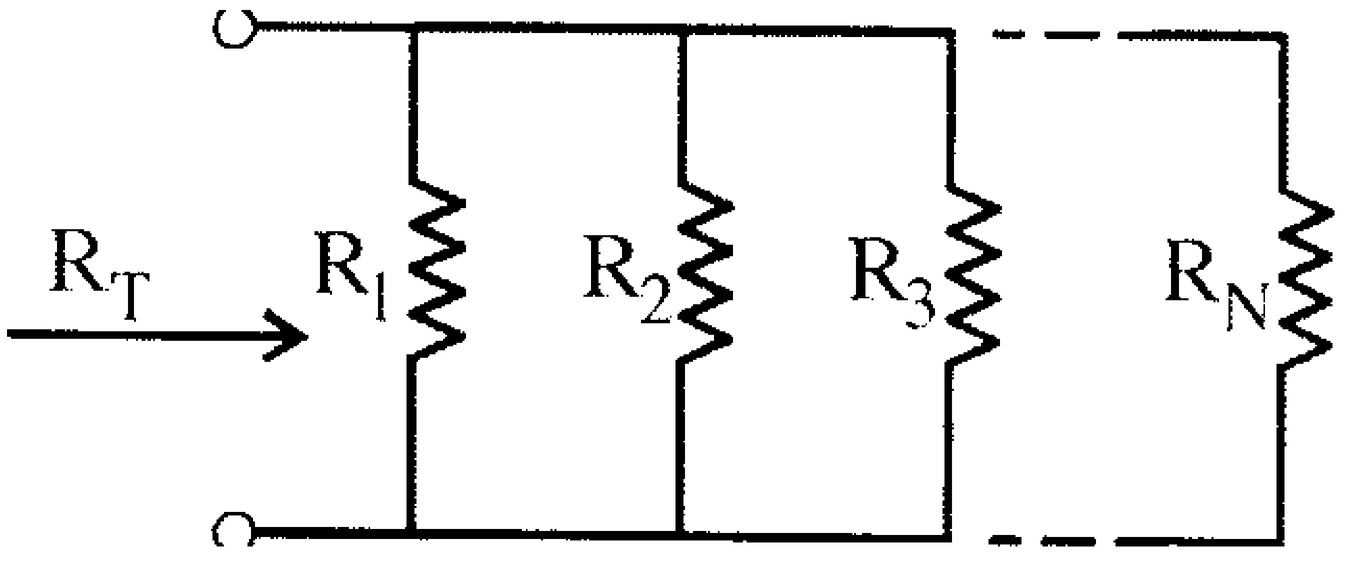
كما مرّ بنا في الفصل السابق،فإن محصلة المقاومات على التوالي هو مجموعها الجبري. أما في حالة ربط المقاومات على التوازي وبما أن المواصلة الكلية هي المجموع الجبري لكل مواصلة في دائرة التوازي أي أن:

$$G_T = G_1 + G_2 + G_3 + \dots\dots\dots\dots + G_N$$

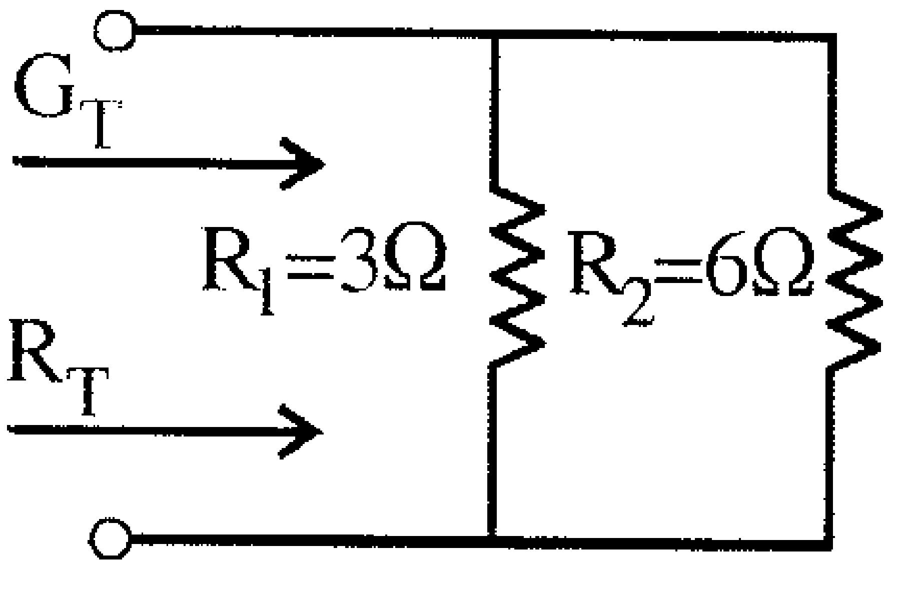
وحيث أن المواصلة هي مقلوب المقاومة $G = (1/R)$

فإن محصلة المقاومات في دائرة التوازي تكون كالتالي:

$$\frac{1}{R_T}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+......+\frac{1}{R_N}$$



مثال1.3 أوجد قيمة المقاومة الكلية (R_T) والمواصلة الكلية (G_T) للدائرة في الشكل التالي:



الحــل:

$$\frac{1}{R_T}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}=\frac{1}{3\Omega}+\frac{1}{6\Omega}=\frac{3}{6\Omega}$$

$$R_T=2\Omega$$

$$G_T=\frac{1}{R_T}=\frac{1}{2\Omega}=0.5S$$

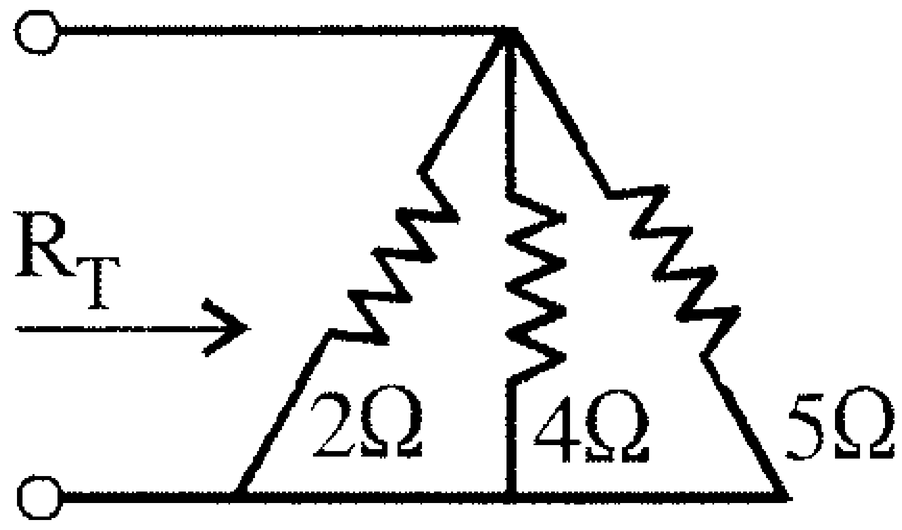
مثال2.3 إذا أضفنا مقاومة ثالثة على التوازي في الدائرة في المثال السابق قيمتها (10Ω) ما هو تأثير ذلك على المقاومة الكلية والمواصلة الكلية.

$$G_T=\frac{1}{3\Omega}+\frac{1}{6\Omega}+\frac{1}{10\Omega}=0.6S$$

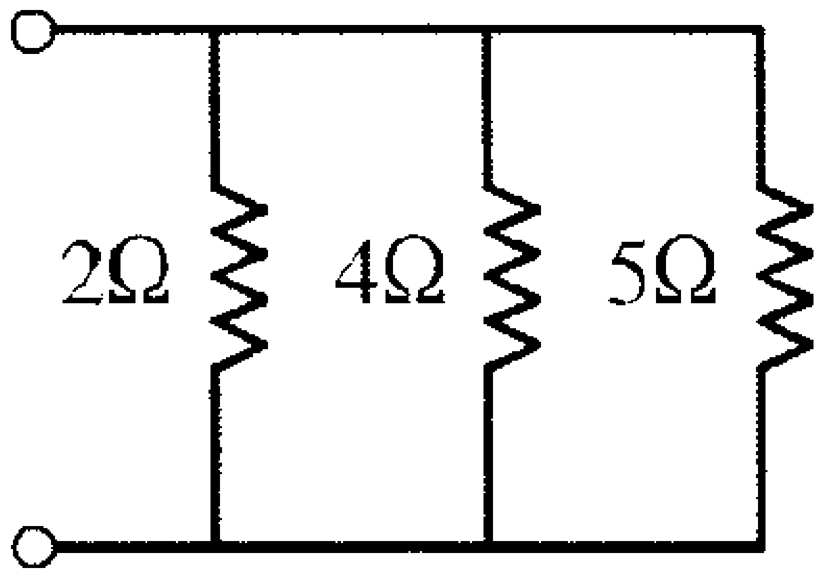
$$R_T=\frac{1}{G_T}=\frac{1}{(0.6\,S)}=1.667\Omega$$

هذه الإضافة تزيد قيمة المواصلة الكلية وتقلل قيمة المقاومة الكلية.

مثال 3.3 أوجد قيمة المقاومة الكلية للدائرة في الشكل التالي:



الحـــل:



$$\frac{1}{R_T}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}=\frac{1}{2\Omega}+\frac{1}{4\Omega}+\frac{1}{5\Omega}=\frac{19}{20}$$

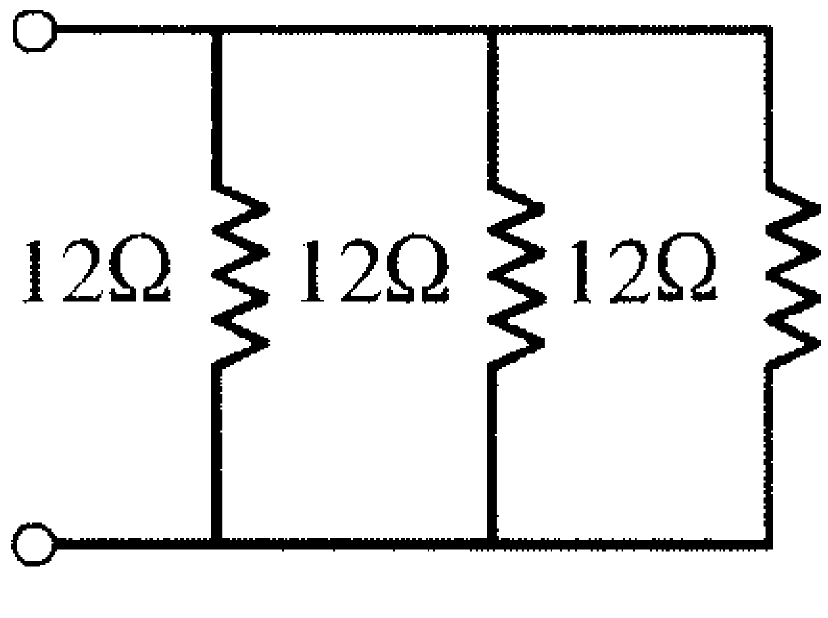
$$R_T=\frac{20}{19}=1.05\Omega$$

ملاحظة: عند تساوى قيم المقاومات الموصلة على التوازي فإن المقاومة الكلية تساوي قيمة إحداها على عددها

$$\frac{1}{R_T}=\frac{R}{N}$$

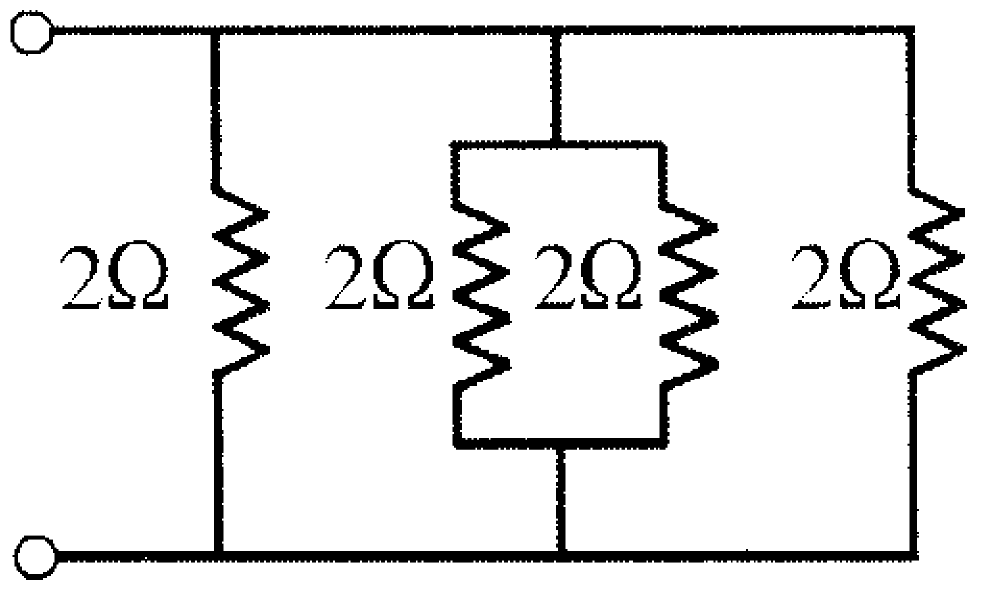
$$G_T=\frac{N}{R}$$

مثال 4.3 أحسب قيمة المقاومة الكلية للدائرة التالية:



الحـــل :

$$R_T=\frac{12\Omega}{3}=4\Omega$$



مثال5.3 أحسب قيمة المقاومة الكلية للدائرة في الشكل التالي:

الحــل :

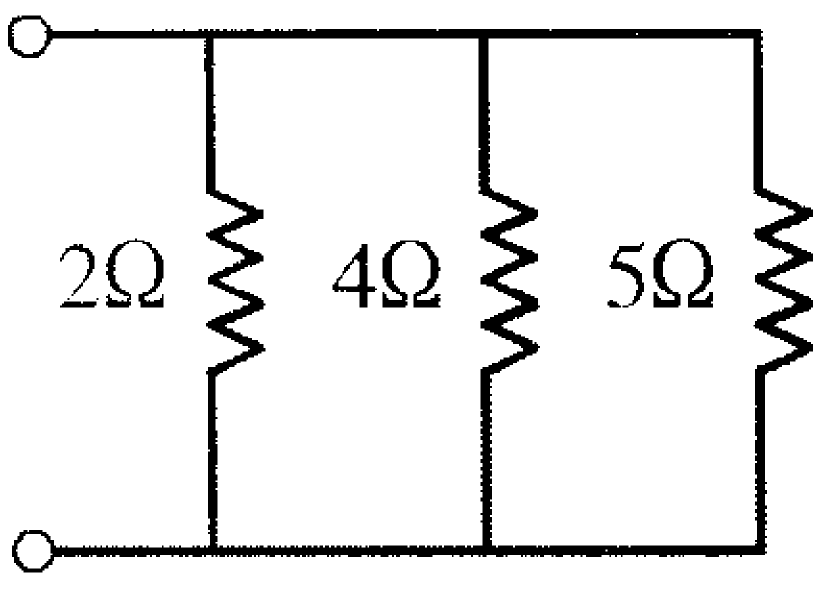
$$R_T = \frac{2\Omega}{4} = 0.5\Omega$$

ملاحظات : 1− المقاومة الكلية لمقاومتين موصلتين على التوازي تساوي :

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

2− المقاومة الكلية لثلاث مقاومات موصلة على التوازي تساوي :

$$R_T = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$



مثال6.3 أوجد المقاومة الكلية للدائرة في الشكل التالي:

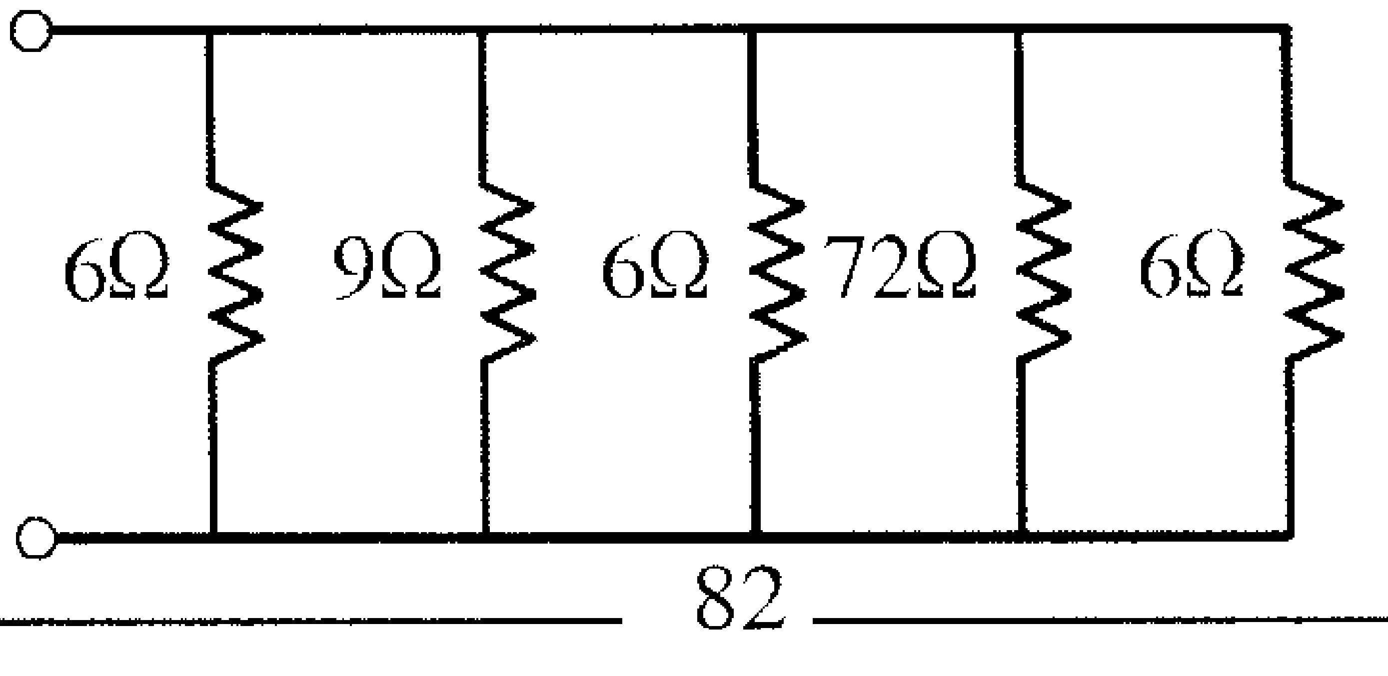
الحــل:

$$R_T = \frac{(2)(4)(5)}{(2)(4)+(2)(5)+(4)(5)}$$

$$R_T = \frac{40}{8+10+20} = \frac{40}{38}$$

$$R_T = 1.053\Omega$$

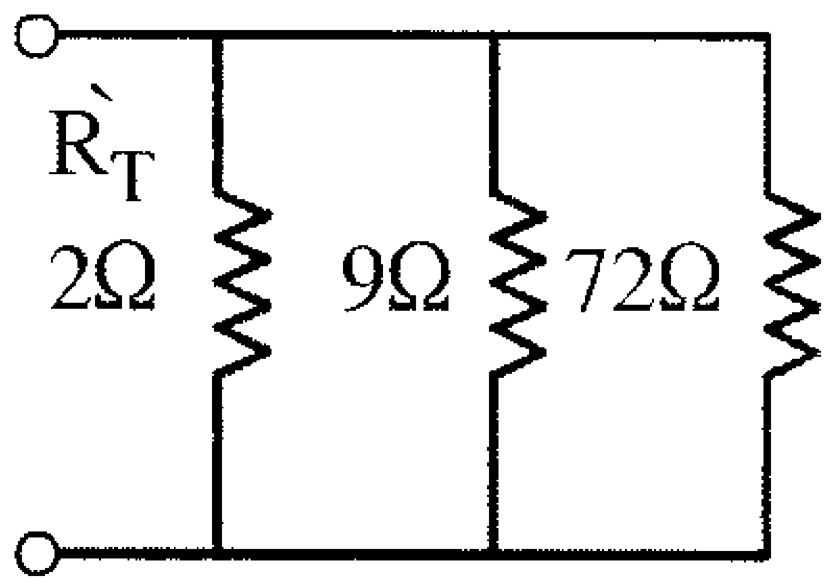
مثال7.3 أوجد المقاومة الكلية للدائرة في الشكل التالي:



الحـــل :

نأخذ محصلة المقاومات المتشابهة (6 Ω)

$$R_T^{'} = \frac{6}{3} = 2\Omega$$

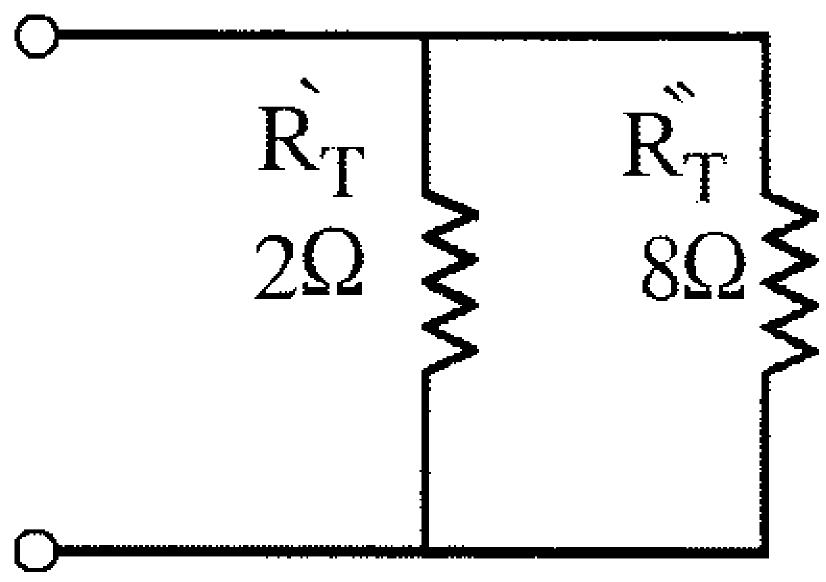


$$R_T^{''} = \frac{(9)(72)}{9+72} = \frac{648}{81}$$

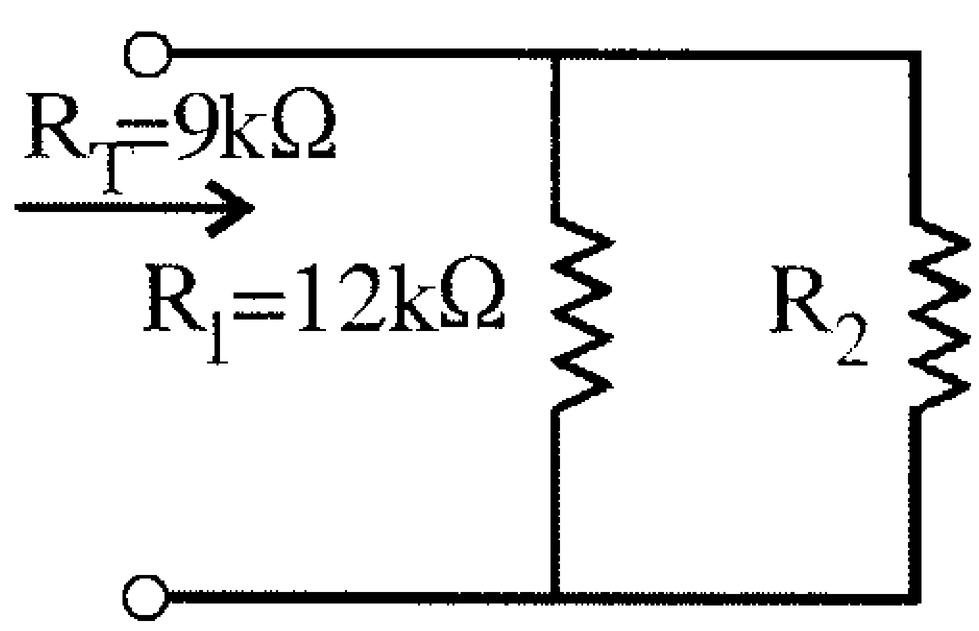
$$R_T^{''} = 8\Omega$$

لتكون محصلة المقاومة الكلية

$$R_T = \frac{(2)(8)}{2+8} = \frac{16}{10} = 1.6\Omega$$



مثال8.3 أوجد قيمة المقاومة المجهولة **(R_2)** في الدائرة التالية:



الحـــل :

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_T R_1 + R_T R_2 = R_1 R_2$$

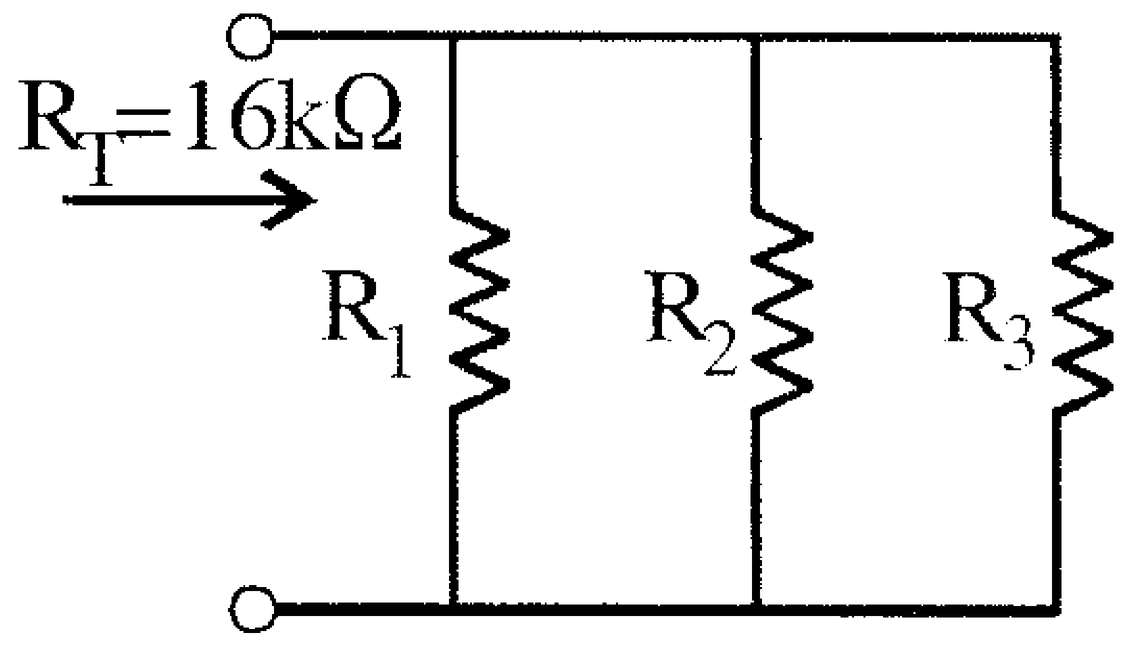
$$R_T R_1 = R_1 R_2 - R_T R_2$$

$$R_T R_1 = R_2 (R_1 - R_T)$$

$$R_2 = \frac{R_T R_1}{R_1 - R_T} = \frac{(9k)(12k)}{12k-9k} = \frac{108}{3} = 36k\Omega$$

مثال9.3 أوجد قيم المقاومات R_1 , R_2 , R_3 في الدائرة التالية:

إذا علمت أن



$$R_2 = 2R_1$$

$$R_3 = 2R_2$$

$$R_T = 16k\Omega$$

الحــل:

$$R_3 = 2(2R_1) = 4R_1$$

$$R_2 = 2R_1$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{2R_1} + \frac{1}{4R_1} = \frac{4+2+1}{4R_1} = \frac{7}{4R_1}$$

$$4R_1 = 7R_T$$

$$R_1 = \frac{7}{4}R_T = \frac{7}{4}(16k\Omega)$$

$$R_1 = 28k\Omega$$

$$R_2 = (2)(28k\Omega) = 56k\Omega$$

$$R_3 = (4)(28k\Omega) = 112k\Omega$$

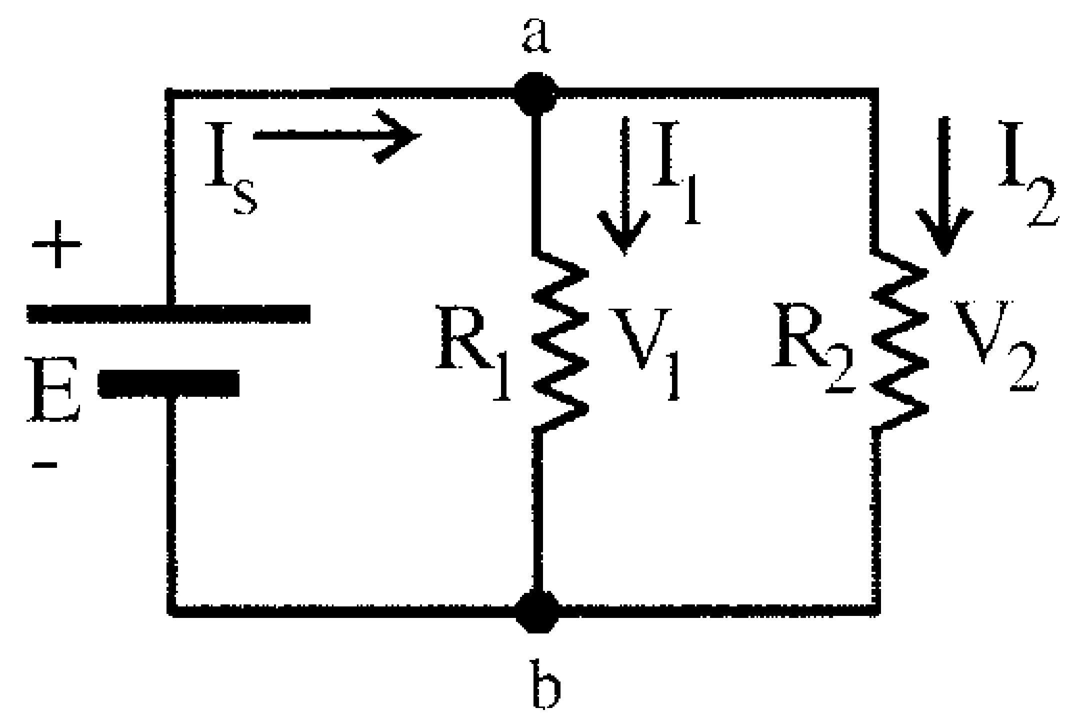
التحقيق :

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{28\Omega} + \frac{1}{56\Omega} + \frac{1}{112\Omega} = \frac{4+2+1}{112\Omega} = \frac{7}{112\Omega}$$

$$R_T = 16k\Omega$$

3.3 دوائر التوصيل على التوازي

الشكل التالي يمثل دائرة تواز في أبسط صورها،وتتكون من مقاومتين ومصدر جهد جميعها مربوطة على التوازي.



التيار يتجزأ عند العقدتين (b , a)

والمقاومة الكلية (R_T) للدائرة تحسب كالتالي:

$$\frac{1}{R_T}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$$

أو

$$R_T=\frac{R_1 R_2}{R_1+R_2}$$

تيار المصدر

$$I_s=\frac{E}{R_T}$$

بما أن المقاومتين ومصدر الجهد جميعها متصلة على التوازي فإن جهودها متساوية

$$E = V_1 = V_2$$

وباستخدام قانون أوم يمكن إيجاد تيار المقاومتين I_1 و I_2 على النحو التالي:

$$I_1=\frac{V_1}{R_1}=\frac{E}{R_1} \qquad I_2=\frac{V_2}{R_2}=\frac{E}{R_2}$$

وحيث أن المقاومة الكلية للدائرة تساوي:

$$\frac{1}{R_T}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$$

وبضرب المعادلة السابقة في قيمة مصدر الجهد E نحصل على:

$$\frac{E}{R_T}=E(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2})$$

$$\frac{E}{R_T}=\frac{E}{R_1}+\frac{E}{R_2}$$

ومن علاقة التيار السابقة نحصل على:

$$I_S = E / R_T \ , \ I_1 = E / R_1 \ , \ I_2 = E / R_2$$

$$I_S = I_1 + I_2$$

ايضاً يمكن حساب القدرة المولدة في مصدر الجهد (P_S) و القدرة المستهلكة في كل مقاومة (P_2 , P_1):

$$P_s = I_s\, E = I_s^2\, R_T = \frac{E^2}{R_T}$$

القدرة المستهلكة في المقاومة الأولى

$$P_1 = I_1\, V_1 = I_1^2\, R_1 = \frac{V_1^2}{R_1}$$

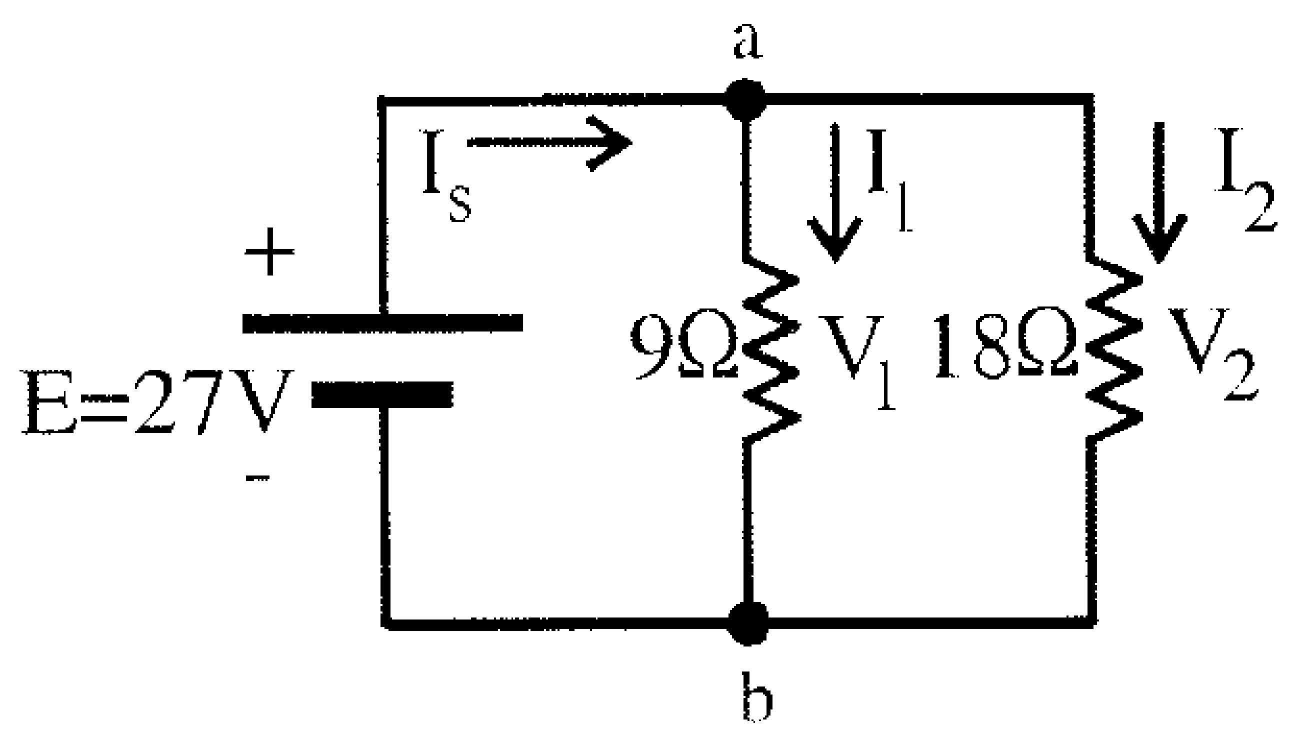
القدرة المستهلكة في المقاومة الثانية

$$P_2 = I_2\, V_2 = I_2^2\, R_2 = \frac{V_2^2}{R_2}$$

وبالتالي نحصل على:

$$P_S = P_1 + P_2$$

مثال10.3 من دائرة التوازي في الشكل التالي أوجد :



1- R_T .

2- I_S .

3- I_1, I_2 وأثبت أن $I_S = I_1 + I_2$.

4- P_S, P_1, P_2 .

قارن بين القدرة المولدة و المستهلكة.

الحـــل :

-1

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{(9)(18)}{9+18} = \frac{162}{27} = 6\Omega$$

-2

$$I_S = \frac{E}{R_T} = \frac{27\Omega}{6V} = 4.5A$$

-3

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{E}{R_1} = \frac{27}{9} = 3\text{A}$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{E}{R_2} = \frac{27}{18} = 1.5\text{ A}$$

لأن جهود دائرة التوازي متساوية ($E = V_1 = V_2 = 27V$)

$$I_S = I_1 + I_2 \quad ; \quad 4.5A = 3A + 1.5A$$
$$4.5A = 4.5A$$

-4

$$P_S = I_S E = (4.5A)(27V) = 121.5W$$

$$P_1 = I_1 V_1 = (3A)(27V) = 81W$$

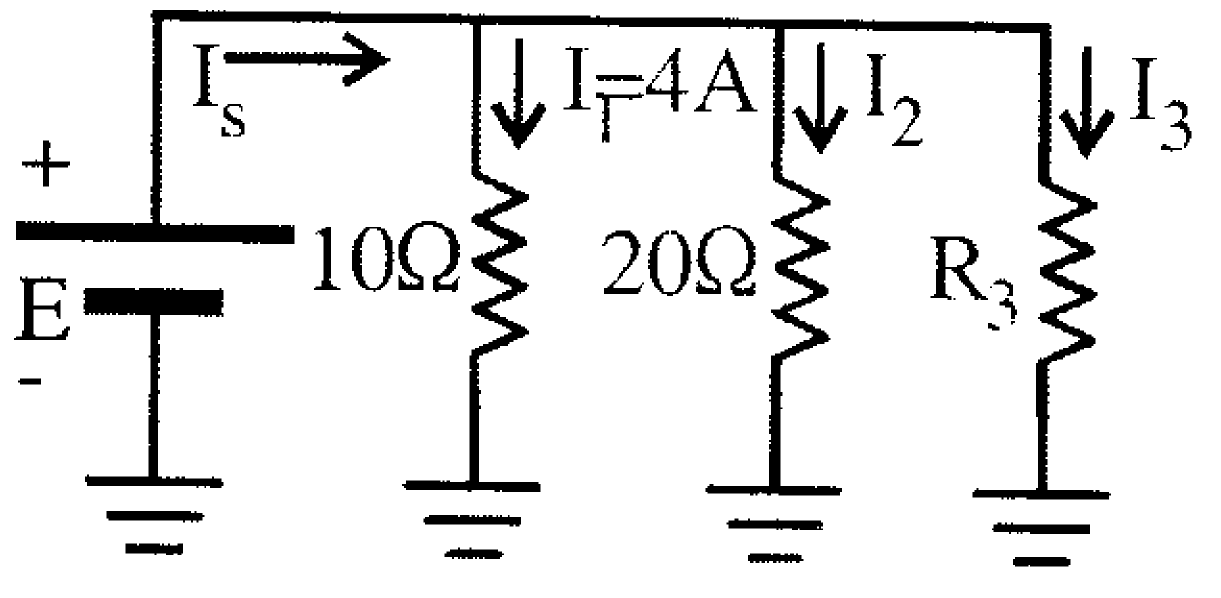
$$P_2 = I_2 V_2 = (1.5A)(27V) = 40.5W$$

-5

$$P_S = P_1 + P_2$$
$$121.5W = 81W + 40.5\ W$$
$$121.5W = 121.5W$$ إثبات

مثال 11.3 من الدائرة في الشكل التالي أوجد : $P_2 , I_2 , I_S , E , R_3$

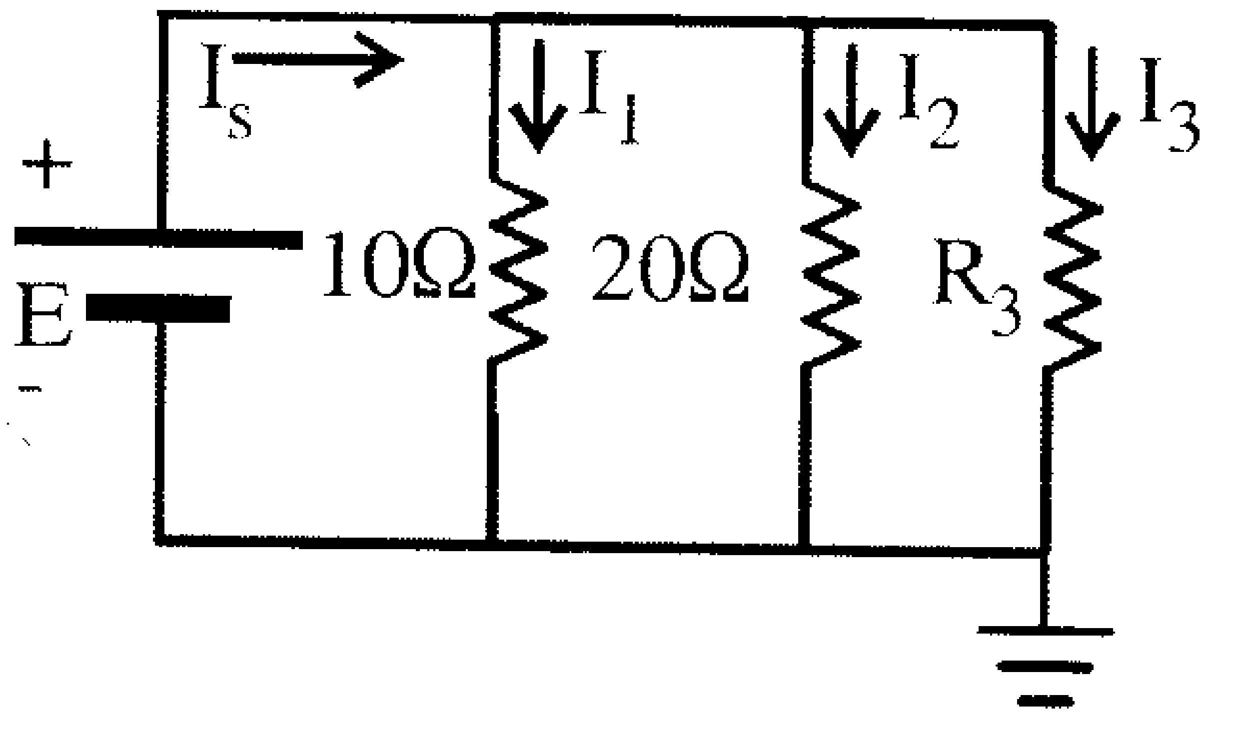
إذا علمت أن $(R_T = 4\Omega)$.



الحــل :

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{4} = \frac{1}{10} + \frac{1}{20} + \frac{1}{R_3}$$



$$\frac{1}{R_3} = \frac{1}{4} - \frac{1}{10} - \frac{1}{20} = \frac{5-2-1}{20}$$

$$\frac{1}{R_3} = \frac{2}{20} \Rightarrow R_3 = \frac{20}{2} = 10\Omega$$

$$E = V_1 = I_1 R_1 = (4\text{A})(10\Omega) = 40V$$

$$I_S = \frac{E}{R_T} = \frac{40}{4} = 10\text{ A}$$

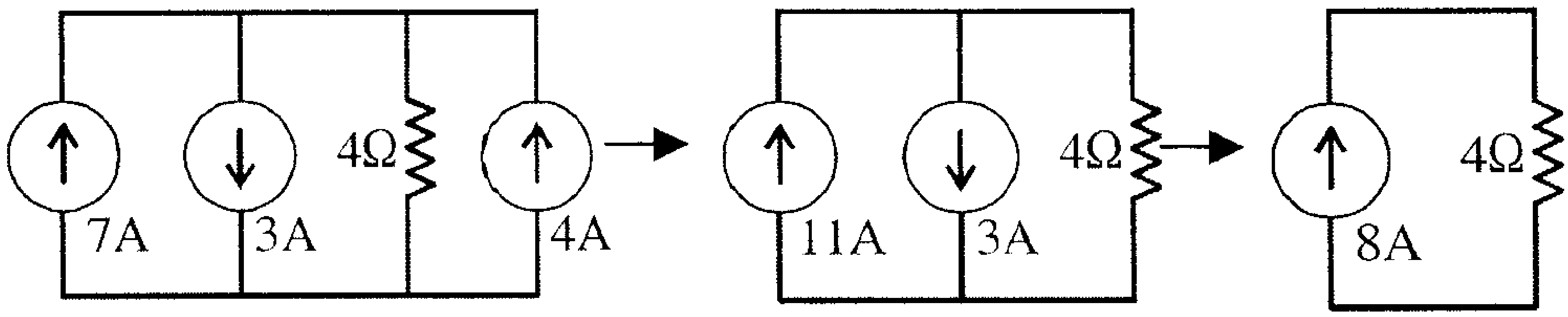
$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{40V}{20\Omega} = 2A$$

$$P_2 = I_2^2 R_2 = (2)^2 (20) = 80W$$

4.3 توصيل مصادر التيار على التوازي وتحويل المصادر

المصادر بنفس الاتجاه تجمع والمصادر مختلفة الاتجاه تطرح ونأخذ إشارة الأكبر

مثال 12.3

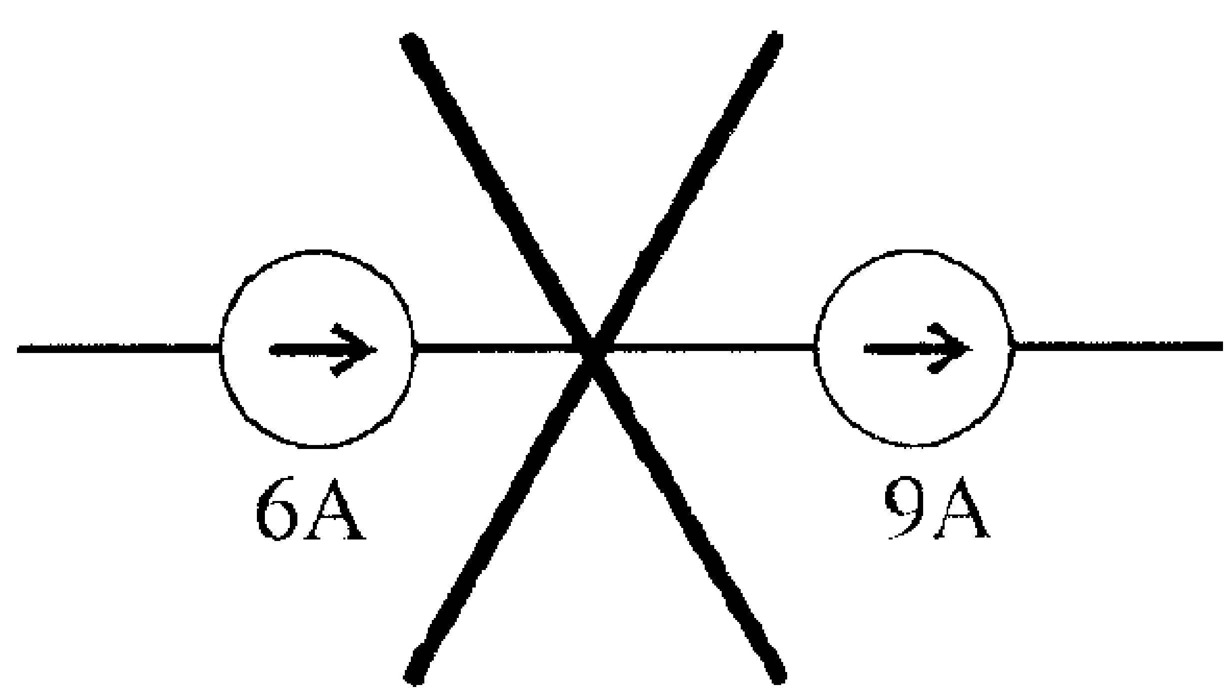


لهذا فإن التيار الكلى للدائرة

$$I_S = 7A + 4A - 3A = 11A - 3A = 8A$$

ملاحظة هامة جداً:

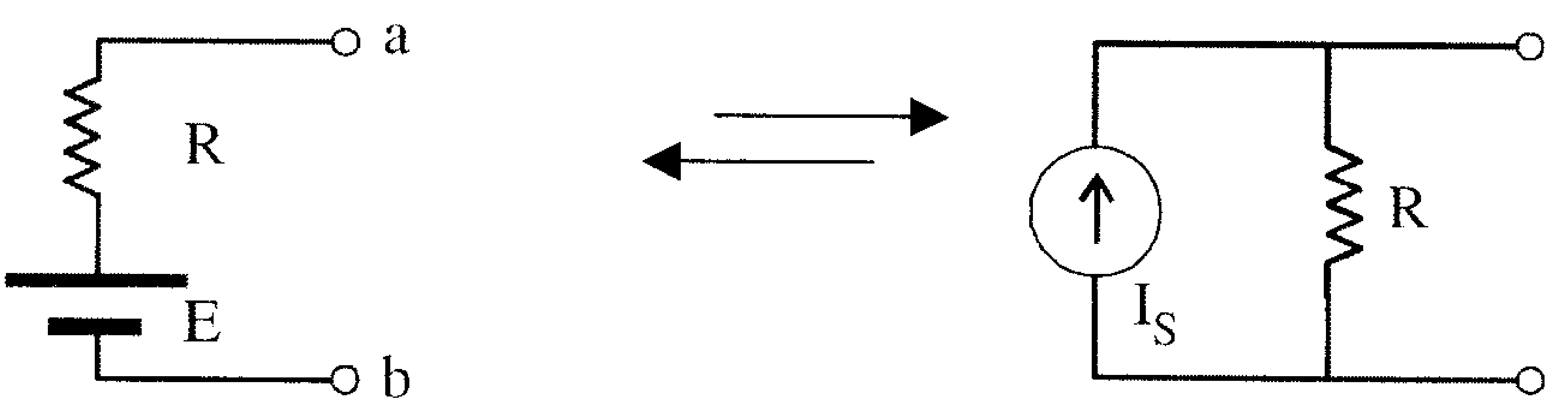
مصادر التيار ذات القيم المختلفة لايجوز توصيلها على التوالى



تحويل المصادر: يمكن تحويل مصاد ر التيار الى مصادر جهد والعكس صحيح وفق الشروط التالية:

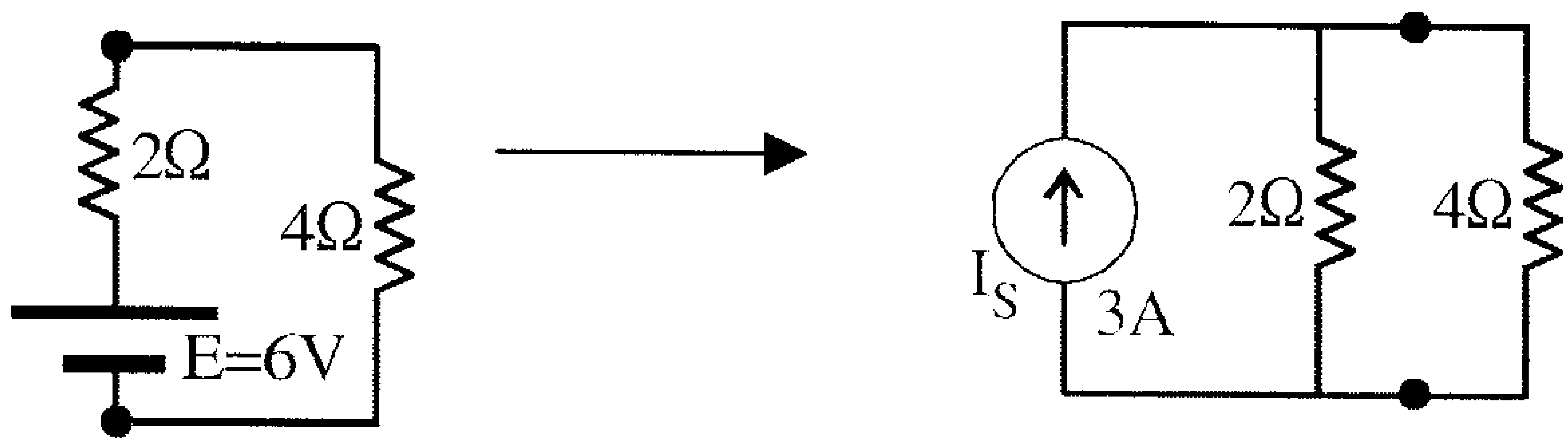
1- لتحويل مصدر جهد إلى مصدر تيار يجب أن يكون مصدر الجهد موصلاً مع مقاومة على التوالي ليتحول إلى مصدر تيار مع مقاومة على التوازي.

2- لتحويل مصدر تيار إلى مصدر جهد يجب أن يكون مصدر التيار موصلاً مع مقاومة على التوازي ليتحول إلى مصدر جهد مع مقاومة على التوالى.



$I = E / R$ $\qquad\qquad$ $E = I_S R$

مثال 13.3 حول مصدر الجهد إلى مصدر تيار في الدائرة التالية:



$$I_s = \frac{E}{R_1} = \frac{6}{2} = 3A$$

5.3 قانون التيار لكرشوف Kirchhoff's Current Law (KCL)

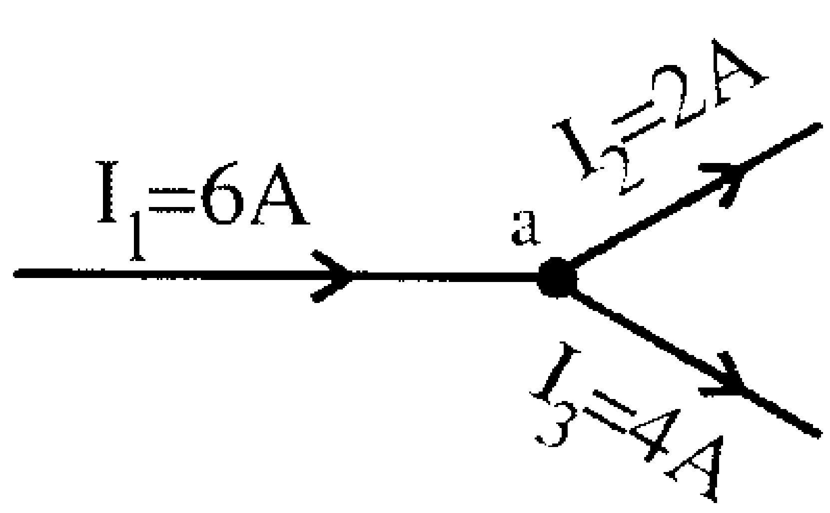
" المجموع الجبري للتيارات الداخلة إلى العقدة (نقطة التقاطع) يساوى المجموع الجبري للتيارات الخارجة منها "

ونقطة التقاطع هي نقطة تفرع التيار

$$\sum I\ leaving = \sum I\ entering$$

$$\sum I_{\text{خارجة}} = \sum I_{\text{داخلة}}$$

في الشكل التالي نلاحظ التيارات الخارجة من والداخلة إلى العقدة (a) .

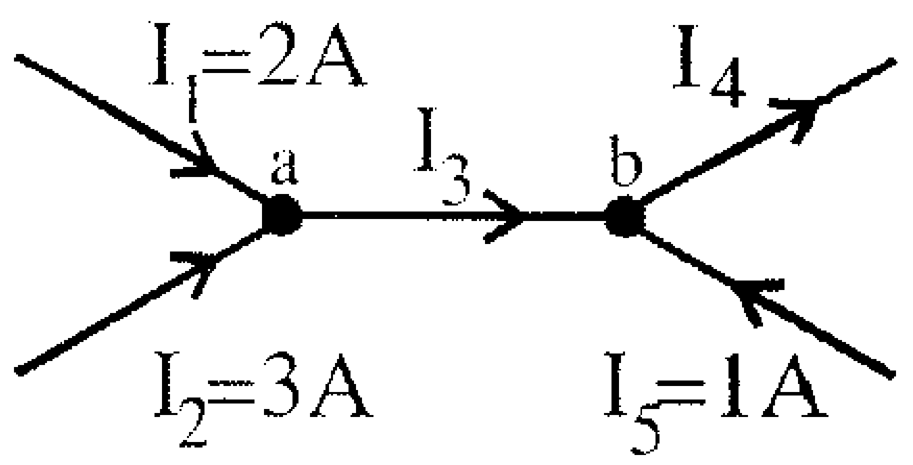


$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$6A = 2A + 4A$$

(إثبات) $$6A = 6A$$

مثال 14.3 أوجد قيمة التيارين I_3 , I_4 وذلك باستخدام (KCL)



الحـــل:

عند العقدة (a)

$$I_3 = I_1 + I_2$$

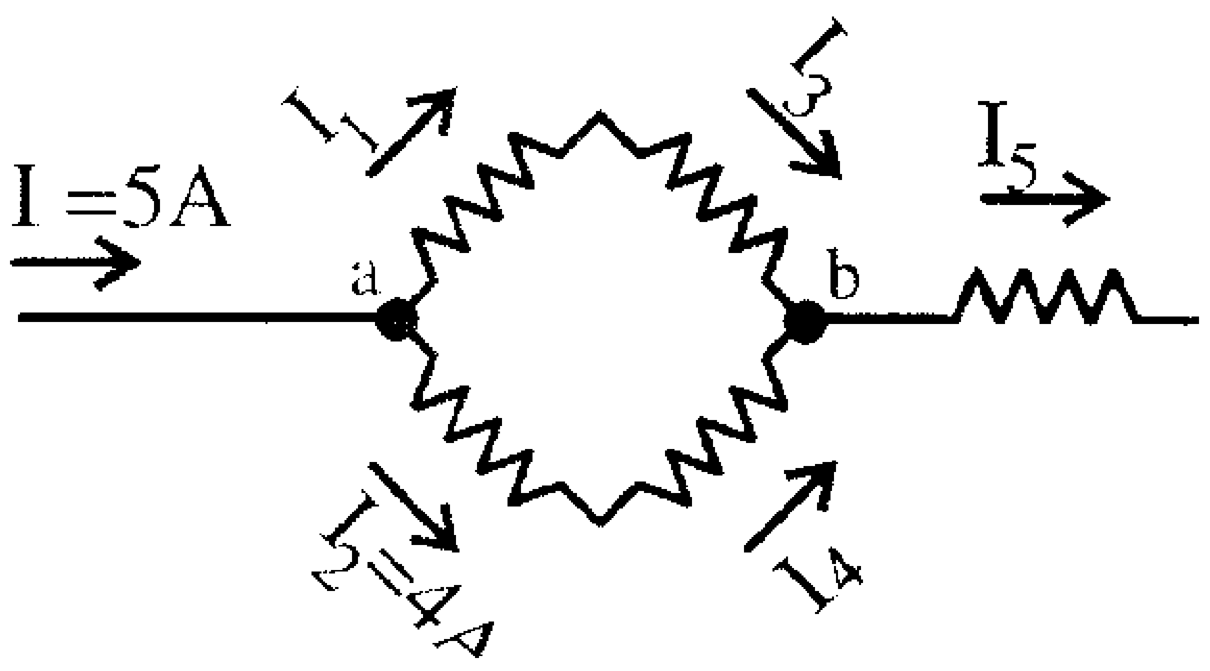
$$I_3 = 2A + 3A = 5A$$

عند العقدة (b)

$$I_4 = I_3 + I_5$$

$$I_4 = 5A + 1A = 6A$$

مثال 15.3 من الشكل التالي أوجد قيمة كل من : I_1 , I_3 , I_4 , I_5



الحل: عند العقدة (a)

$$I = I_1 + I_2$$

$$5A = I_1 + 4A$$

$$4A = 1A - I_1 = 5A \qquad \therefore$$

عند العقدة (b)

$$I_3 + I_4 = I_5$$

باعتبار أن التيار I_1 لا يتجزأ ويساوي التيار I_3

$\therefore \quad I_3 = I_1 = 1A$

وكذلك الحال بالنسبة للتيار $I_4 = I_2$

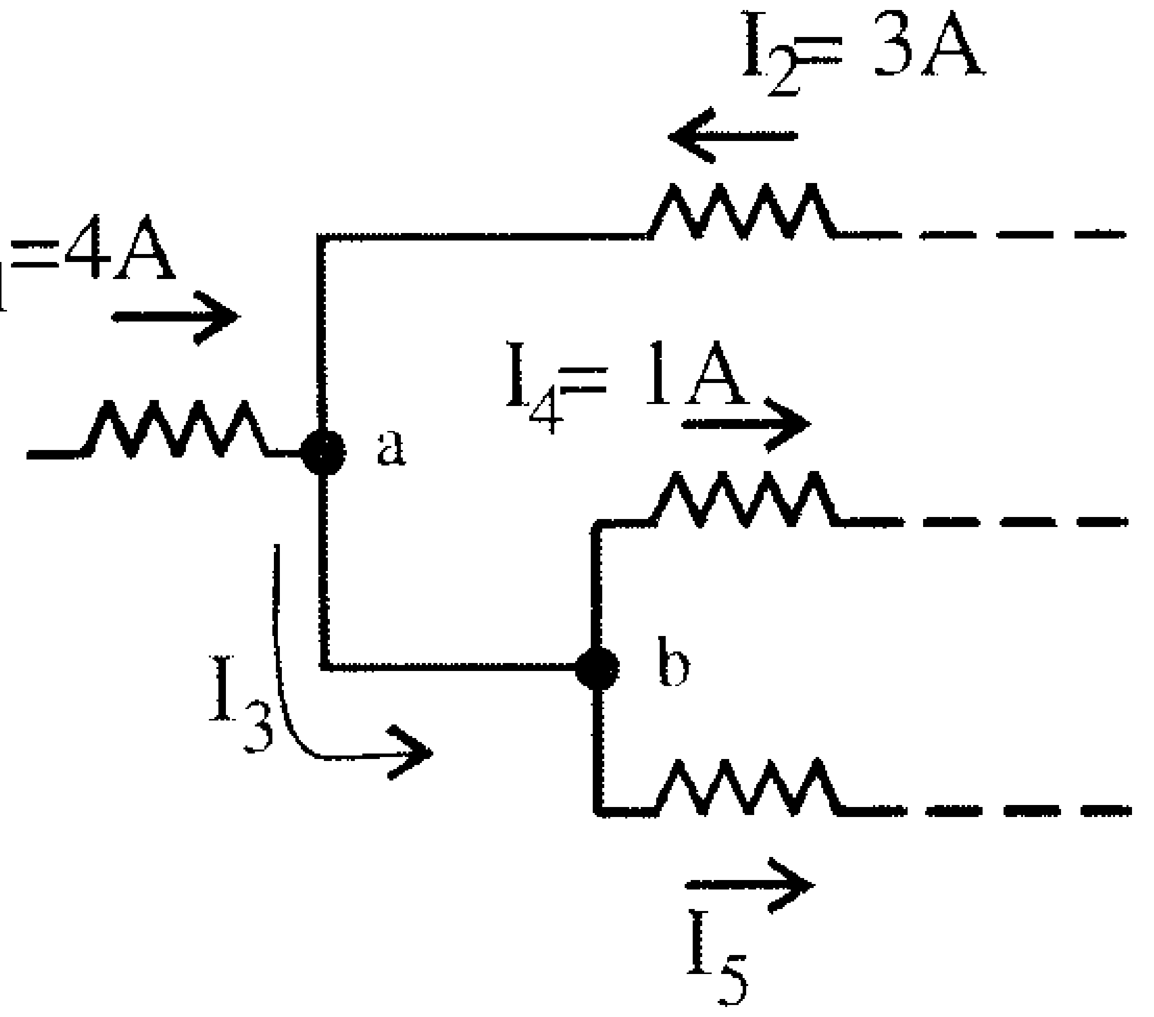
$$I_4 = I_2 = 4A$$

$$I_5 = I_3 + I_4 = 1A + 4A = 5A$$

للبرهنة على صحة النظرية فإن التيار I هو التيار الداخل إلى الدائرة وقيمته $5A$ ويساوي التيار الخارج من الدائرة I_5 وقيمه أيضا $5A$.

مثال16.3 من الدائرة بالشكل التالي أوجد: I_5 وI_3 باستخدام (KCL).

الحــل:



من العقدة (a) نستخدم (KCL)

$$I_3 = I_1 + I_2$$

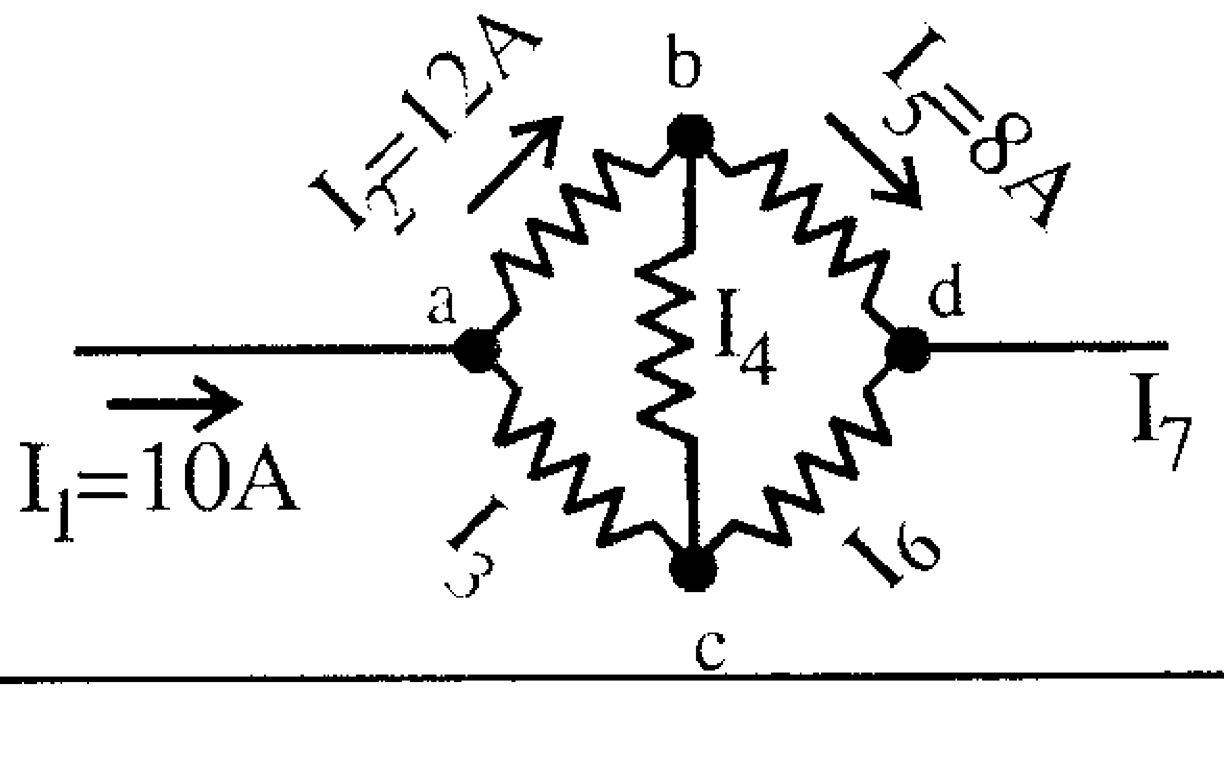
$$I_3 = 4A + 3A = 7A$$

من العقدة (b) نستخدم (KCL)

$$I_3 = I_4 + I_5$$

$$1A = 6A - I_5 = 7A$$

مثال17.3 أوجد مقدار واتجاه التيارات: I_3 , I_4 , I_6 , I_7 باستخدام (KCL)



الحــل:

التيار الداخل في البداية على الدائرة بالكامل

هو I_1 ويساوى $10A$ أما التيار الخارج من الدائرة في النهاية فهو I_7

$$I_7 = I_1 = 10A$$

من العقدة (a)

$$I_2 = I_1 + I_3$$

$$12A = 10A + I_3$$

$\therefore \quad I_3 = 12A - 10A = 2A$ (I_3 خارج من العقدة a)

من العقدة (b)

$$I_2 = I_4 + I_5$$

$$12A = I_4 + 8A$$

$\therefore \quad I_4 = 12A - 8A = 4A$ (I_4 خارج من العقدة b)

من العقدة (c)

$$I_4 = I_3 + I_6$$

$$4A = 2A + I_6$$

$\therefore \quad I_6 = 4A - 2A = 2A$ (I_6 خارج من العقدة c)

من العقدة (d)

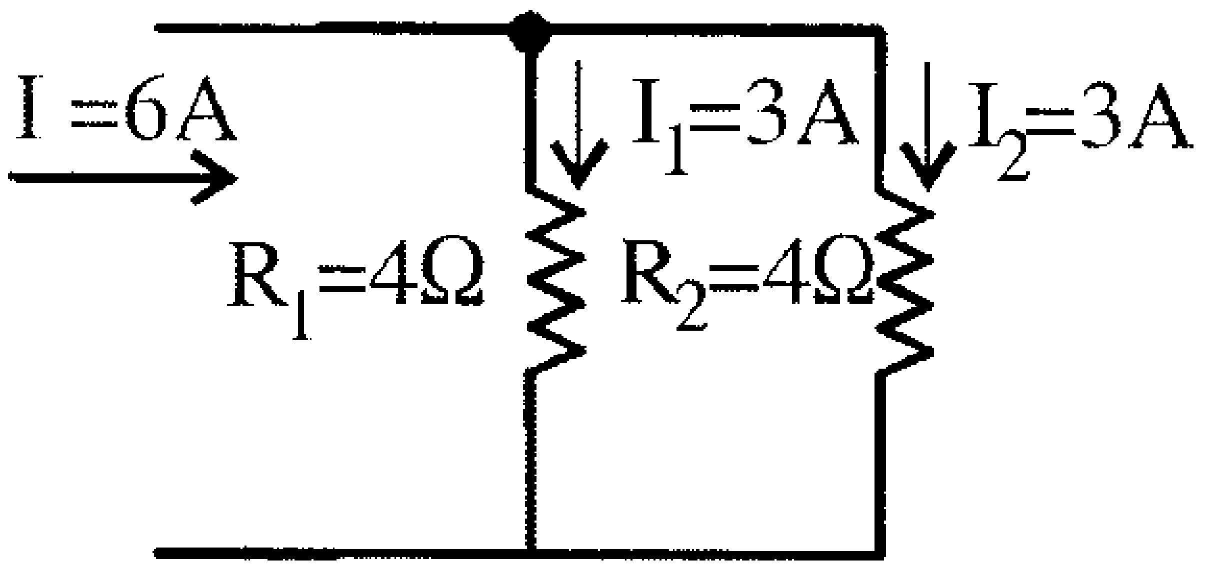
$$I_7 = I_5 + I_6$$

$$I_7 = 8A + 2A$$

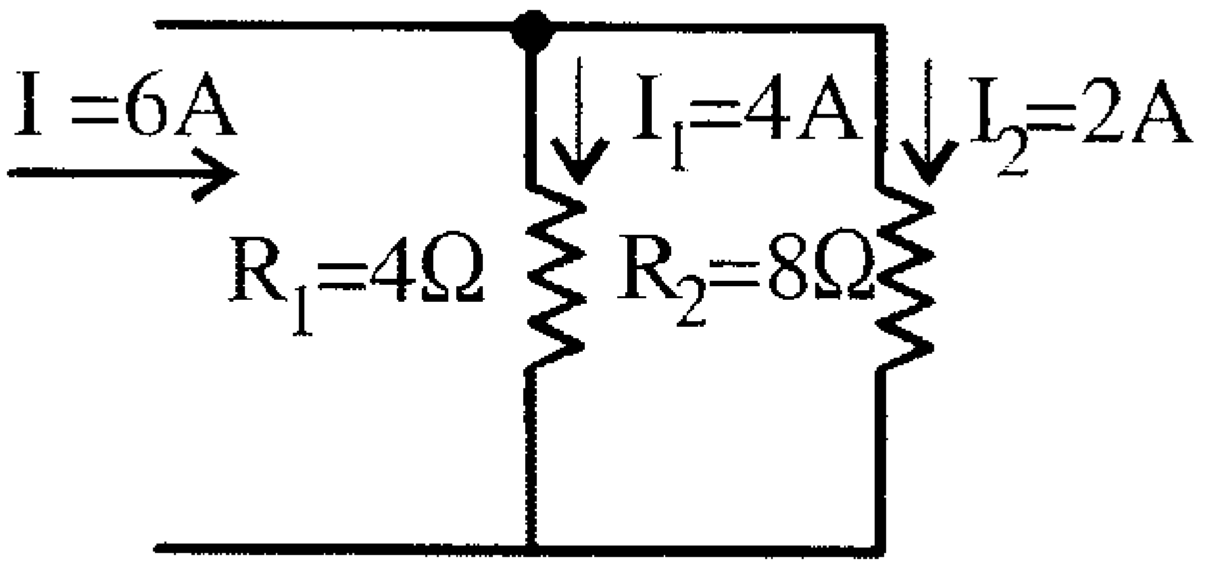
$\therefore I_7 = 10A$ (I_7 خارج من العقدة d)

6.3 قانون مجزئ التيار Current Divider Rule (CDR)

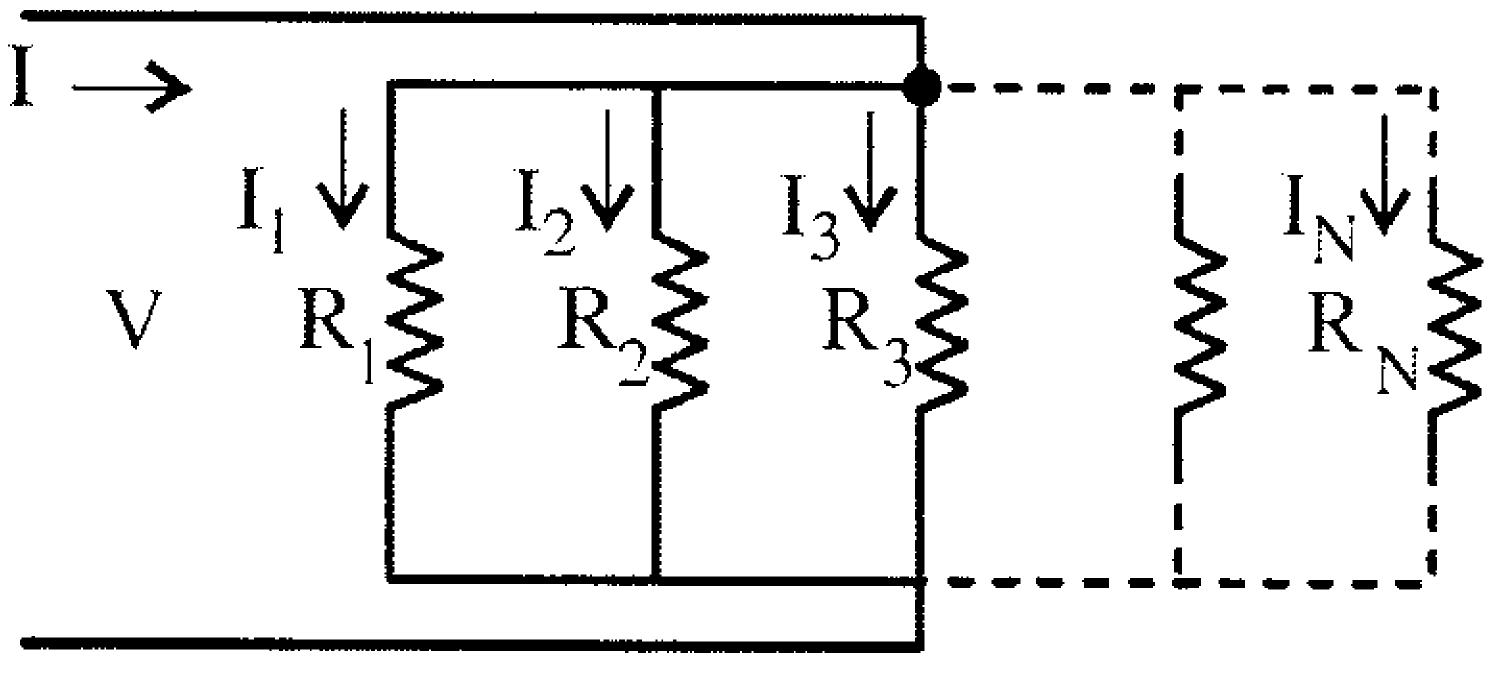
1- يتجزأ التيار المار في مقاومتين على التوازي،و تتجزأ قيمته بالتساوي على المقاومتين في حالة تساويهما في القيمة



2- أما التيار المار في مقاومتين مختلفتين فيتجزأ بحيث يكون للمقاومة الأصغر تيار أكبر، ويكون للمقاومة الأكبر قيمة تيار أصغر



في حالة مجموعة من المقاومات موصلة على التوازي



بما أن جهود دائرة التوازي متساوية

$V = V_N = V_3 = V_2 = V_1$

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{I_x R_x}{R_T}$$

حيث أن $x = 1,2,3,..N$

$$I_x = \frac{R_T}{R_x} I$$

للتيار I_1 :

$$I_1 = \frac{R_T}{R_1} I$$

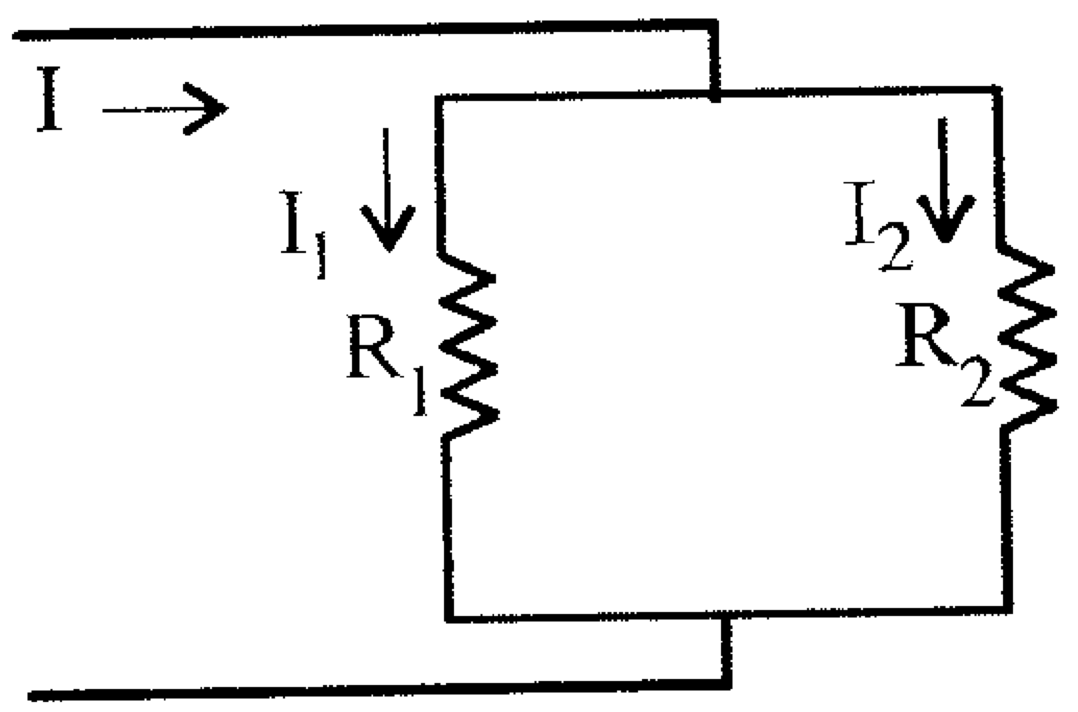
للتيار I_2 :

$$I_2 = \frac{R_T}{R_2} I$$

و هكذا إلى:

$$I_N = \frac{R_T}{R_N} I$$

في حالة مقاومتين متصلتين على التوازي



$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_1 = \frac{R_T}{R_1} I$$

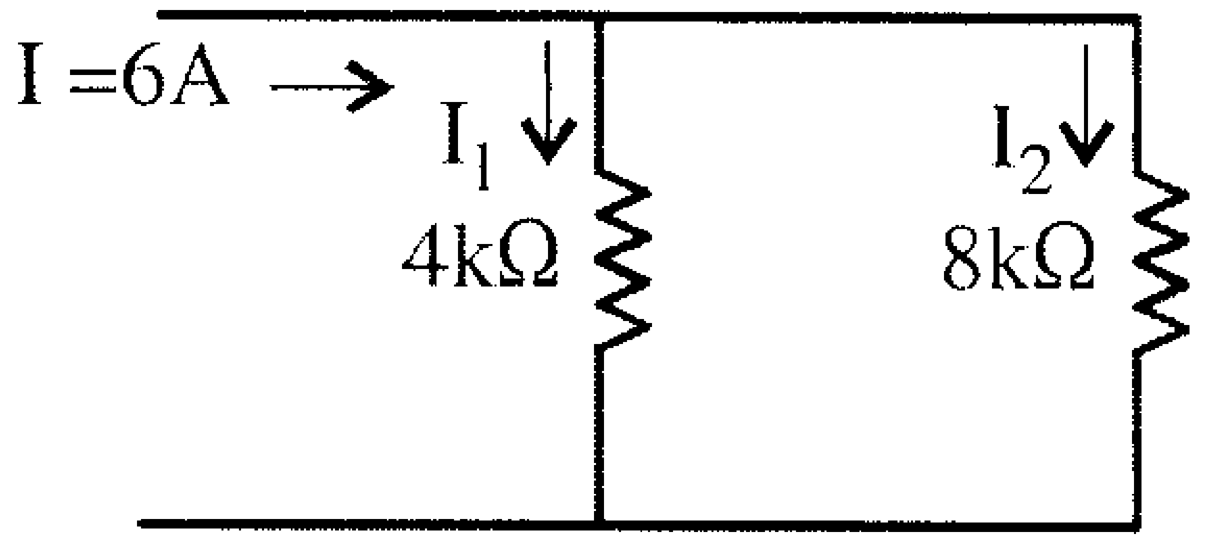
$$\therefore \quad = \frac{[(R_1 R_2) / (R_1 + R_2)]}{R_1} I$$

$$\therefore \quad I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

وبنفس الكيفية تكون قيمة I_2

$$\therefore \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

مثال18.3 أوجد قيمة التيار I_2 للدائرة التالية باستخدام (CDR) :

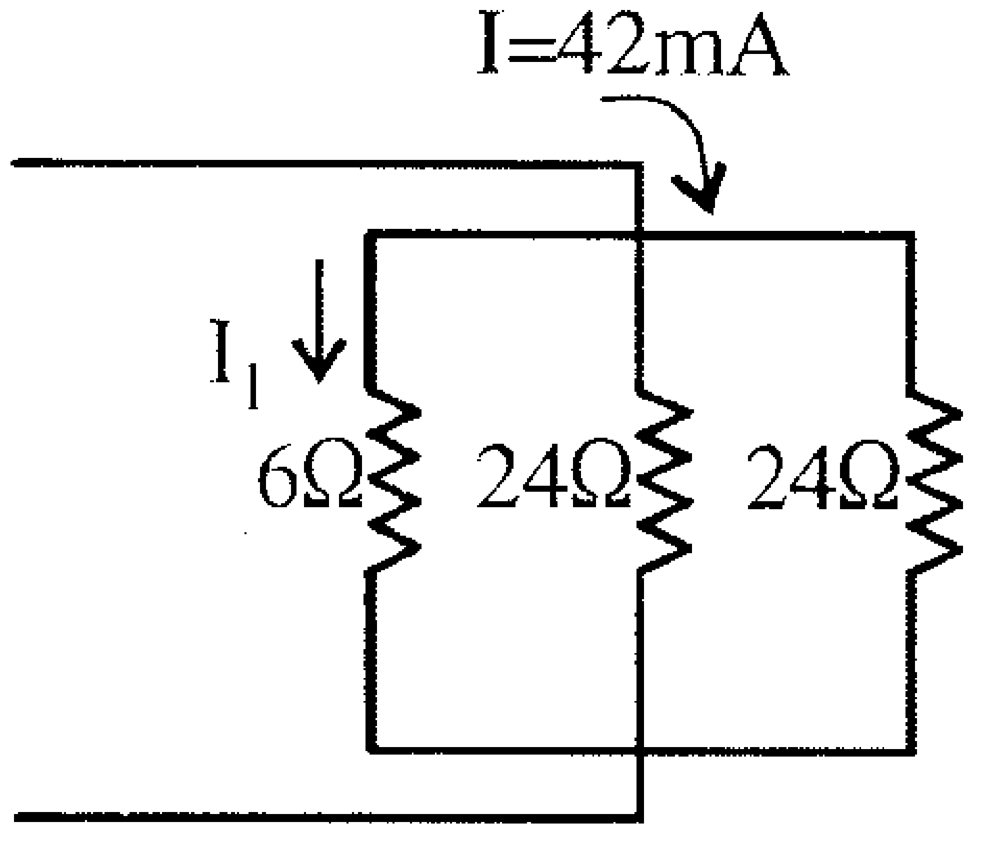


الحــل:

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I = \frac{(4k\Omega)(6A)}{4k\Omega + 8k\Omega}$$

$$I_2 = \frac{24}{12} = 2A$$

مثال19.3 أوجد قيمة التيار I_1 للدائرة بالشكل التالي :



الحــل :

نحسب قيمة المقاومة الكلية

(ملاحظة: سنستخدم العلامة // للدلالة على التوازي)

$R_T = 6\Omega \,//\, 24\Omega \,//\, 24\Omega$
$= 6\Omega \,//\, 12\Omega$

$$= \frac{6\times 12}{6+12} = \frac{72}{18}$$

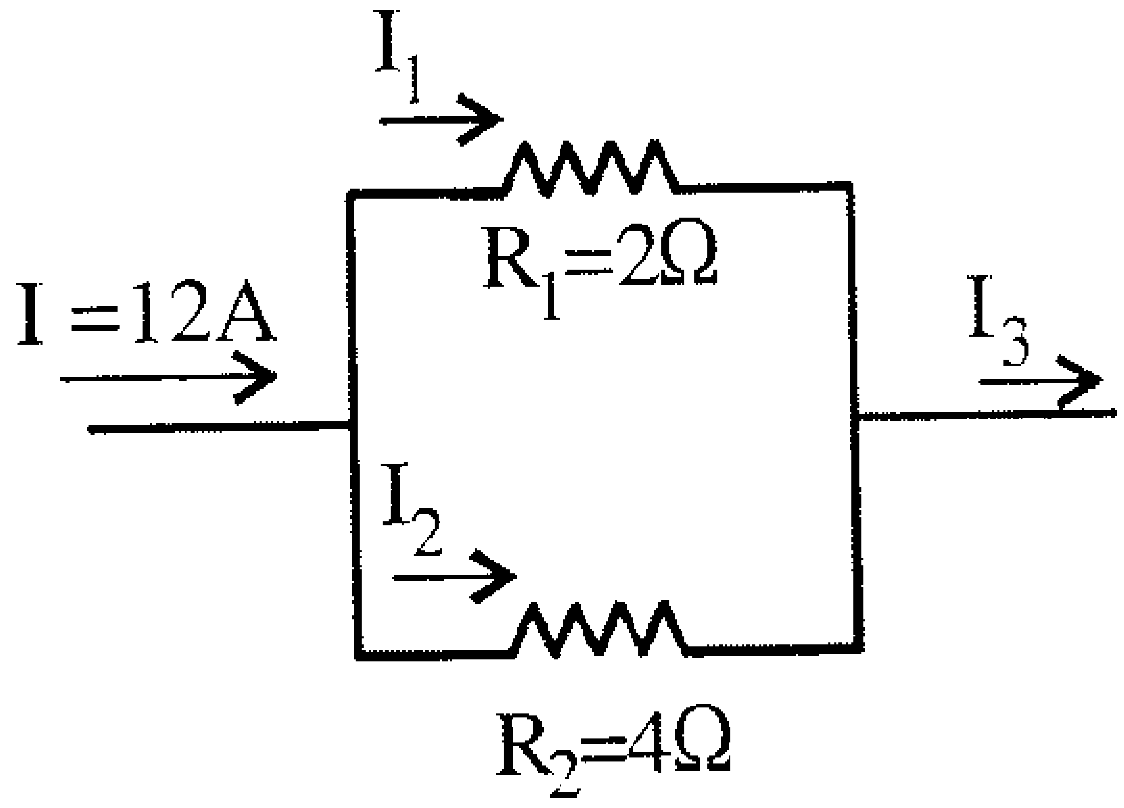
$$R_T = 4\Omega$$

نطبق قانون (CDR)

$$I_1 = \frac{R_T}{R_1} I$$

$$I_1 = \frac{(4\Omega)(42\times 10^{-3} A)}{6\Omega} = 28mA$$

مثال 20.3 من الدائرة في الشكل التالي أوجد كلاً من I_1 , I_2 , I_3 :



الحـــل :

باستخدام قانون (CDR)

$$I_1 = \frac{R_2 I}{R_1 + R_2} = \frac{(4)(12)}{2+4}$$

$$I_1 = \frac{48}{6} = 8A$$

باستخدام قانون التيار لكرشوف

$$I = I_1 + I_2$$

$$I_1 - I_2 = I$$

$$I_2 = 12A - 8A = 4A$$

أو باستخدام (CDR) يمكن إيجاد I_2

$$I_2 = \frac{R_1 I}{R_1 + R_2} = \frac{(2)(12)}{2+4} = \frac{24}{6} = 4A$$

من قانون كريشوف للتيار فإن التيار الداخل إلى الدائرة يساوى التيار الخارج منها

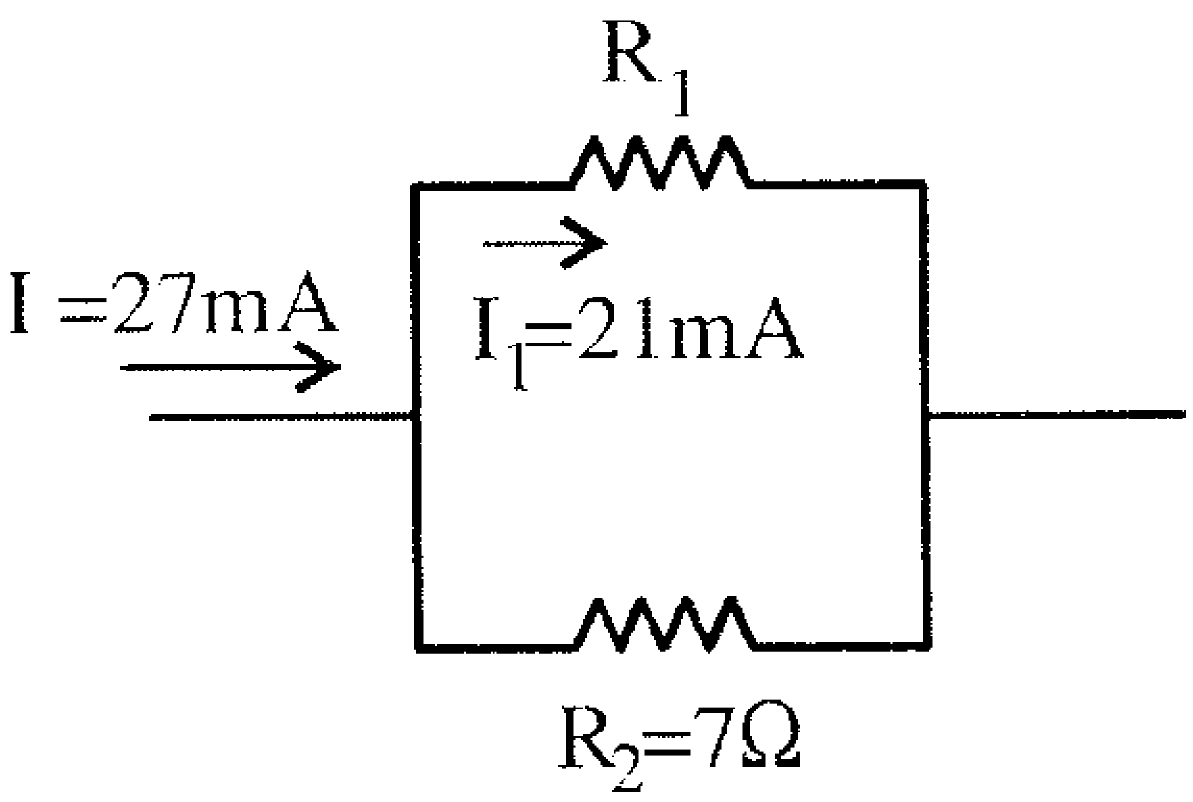
أي أن $I_3 = I = 12A$

أو مجموع التيارات الداخلة يساوى التيارات الخارجة

$$I_3 = I_1 + I_2$$

$$I_3 = 8A + 4A = 12A$$

مثال21.3 أوجد قيمة المقاومة R_1 وذلك باستخدام قانون مجزئ التيار :



الحـــل:

باستخدام قانون (CDR)

$$I_1 = \frac{R_2\, I}{R_1 + R_2}$$

بضرب الطرفين في الوسطين

$$(R_1 + R_2)\, I_1 = R_2\, I$$

$$R_1\, I_1 + R_2\, I_1 = R_2\, I$$

$$R_2\, I_1 - R_1\, I_1 = R_2\, I$$

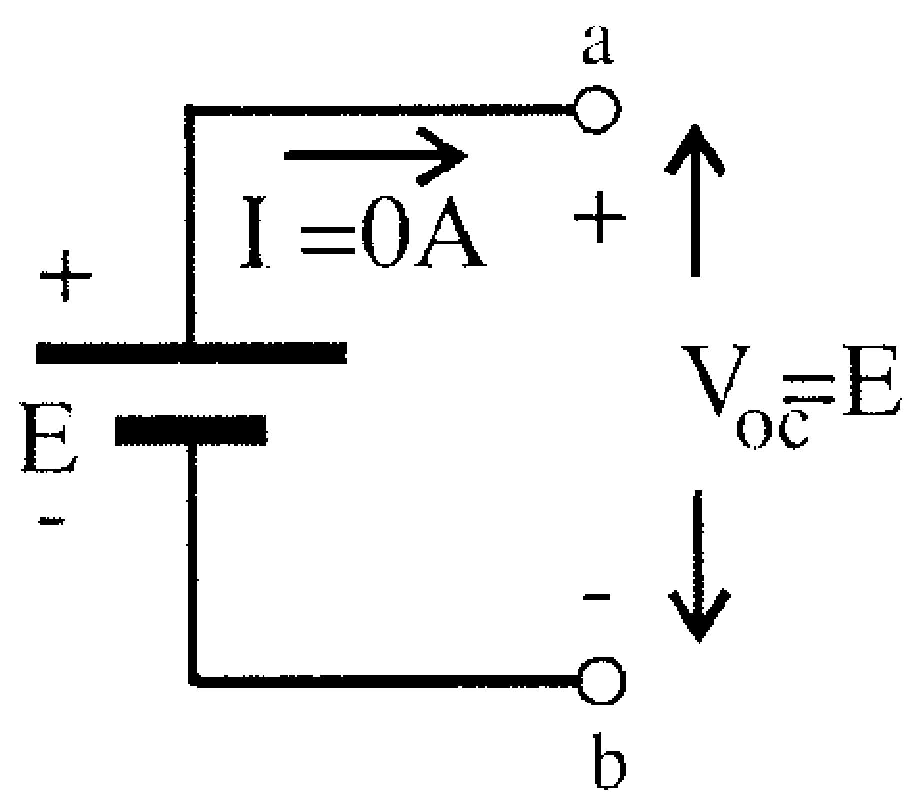
$$R_1 I_1 = R_2 (I - I_1)$$

$$\therefore\ R_1 = \frac{R_2(I - I_1)}{I_1} = \frac{7\Omega(27mA - 21mA)}{21mA}$$

$$R_1 = \frac{7\Omega(6mA)}{21mA} = \frac{42\Omega}{21} = 2\Omega$$

7.3 الدوائر المفتوحة والدوائر المغلقة Open and short Circuits

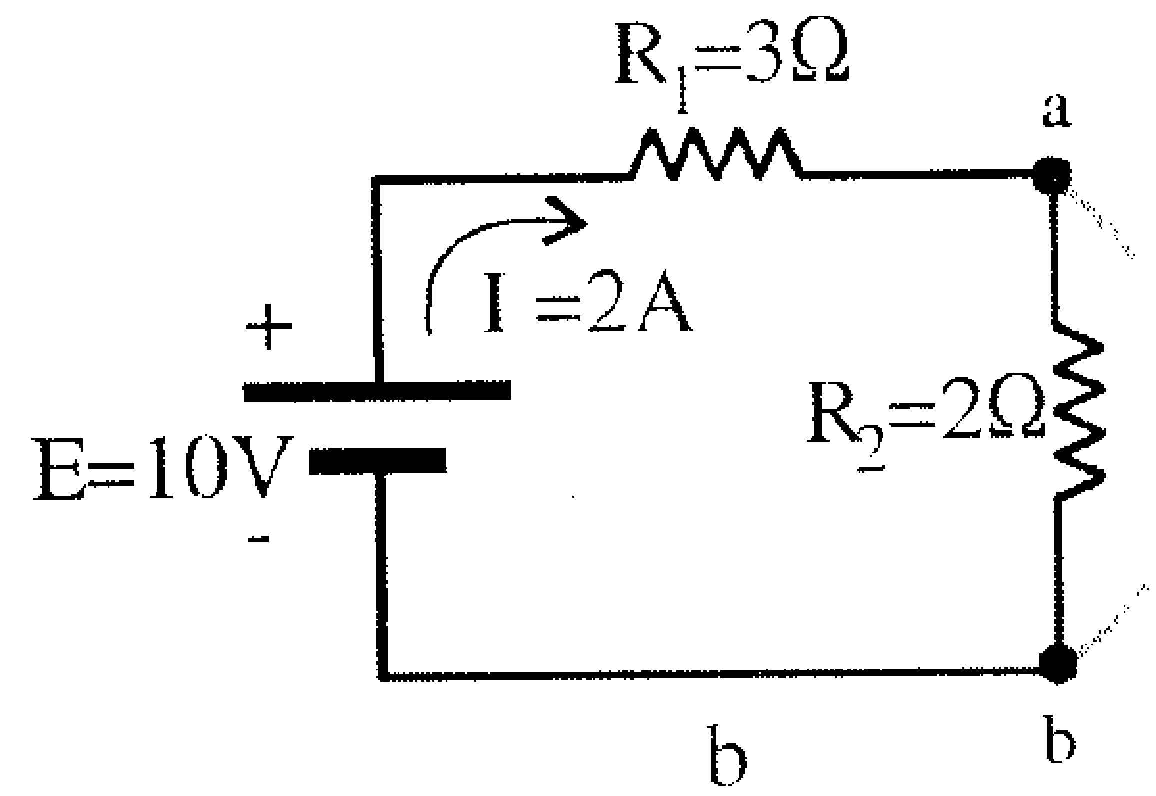
أولا: الدائرة المفتوحة (Open Circuit)

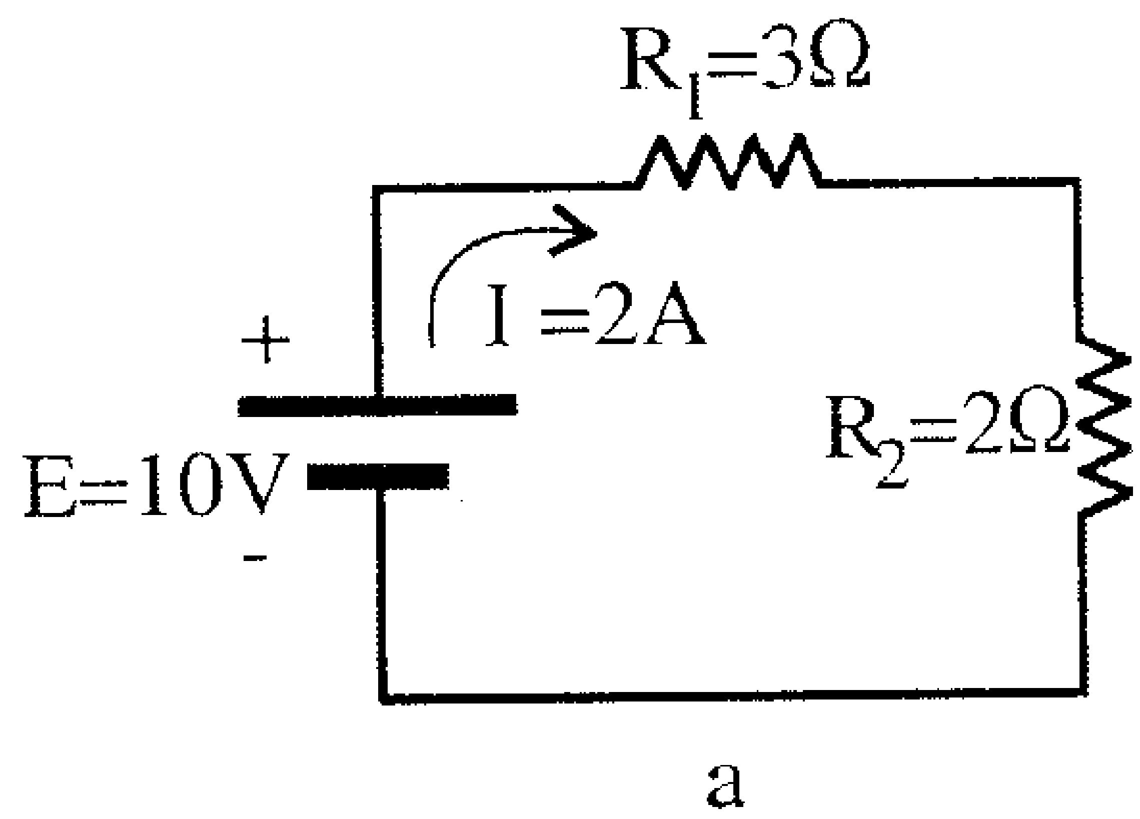


من الرسم تسمى المسافة بين النقطتين a و b الدائرة المفتوحة، فالدائرة المفتوحة لايمر بها التيار (I = 0) وجهدها يساوى جهد المصدر بالتوازي

$$V_{OC} = E \Leftarrow E // V_{OC}$$

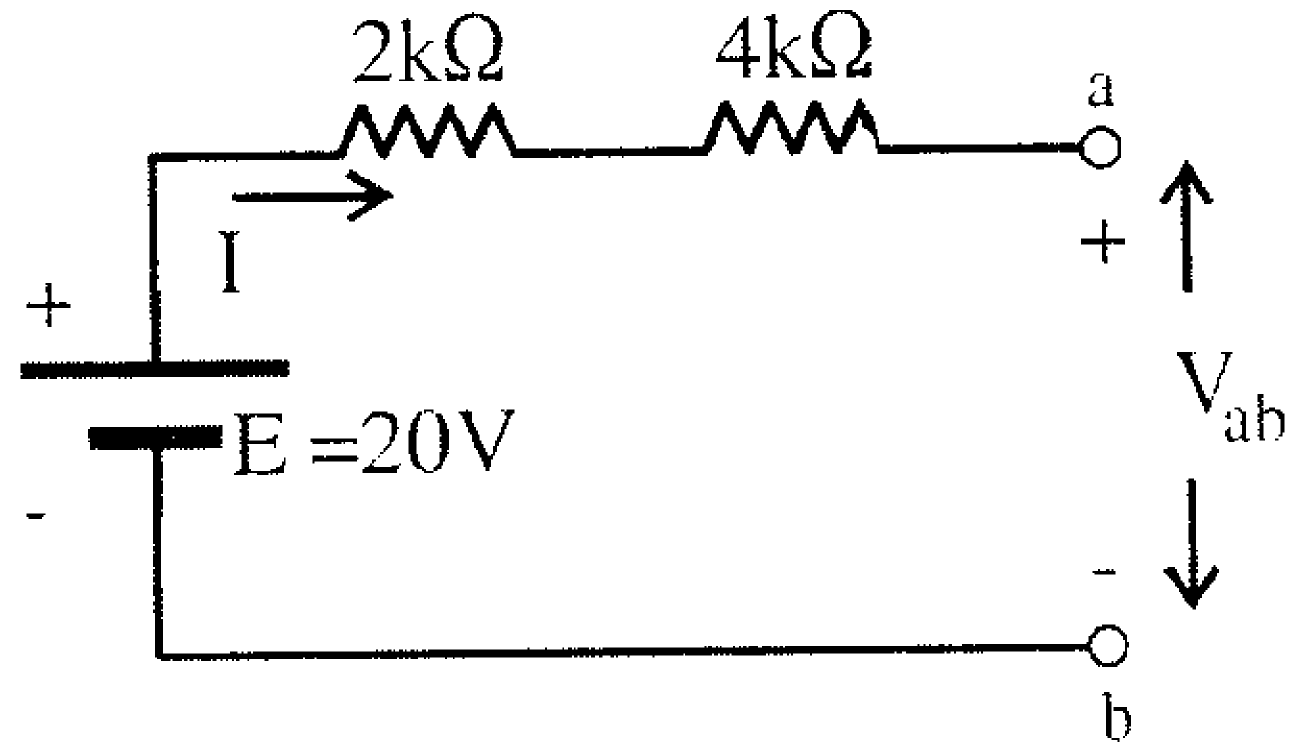
ثانيا : الدائرة المغلقة (Short Circuit)





الشكل (a) يمثل دائرة توالٍ عادية يمر التيار عبر المقاومتين (R_1, R_2) ،وفي الشكل (b) يتغير مسار التيار عند توصيل طرفي المقاومة (R_2) بسلك من النقطة (a) إلى النقطة (b).ماذا يحدث للتيار في هذه الحالة؟ التيار لا يمر عبر المقاومة (R_2) وتسمى (Short Circuit) وتيارها (I_{Rsc}) تيار (Short Circuit) يكون عالي القيمة (أي التيار المار عبر السلك b,a)، أما مقاومة (Short circuit) فتساوى ($R_{sc} = 0$).

مثال22.3 أوجد قيمة الجهد V_{ab} من الدائرة في الشكل التالي:



الحـل :

دائرة مفتوحة عند النقطتين a و b لذلك فإن

التيار لايسرى فيها $I = 0\,A$

من قانون أوم $V= R\,I$

$$V_1 = I\,R_1 = (0)(2k\Omega) = 0$$

وكذلك

$$V_2 = 0V$$

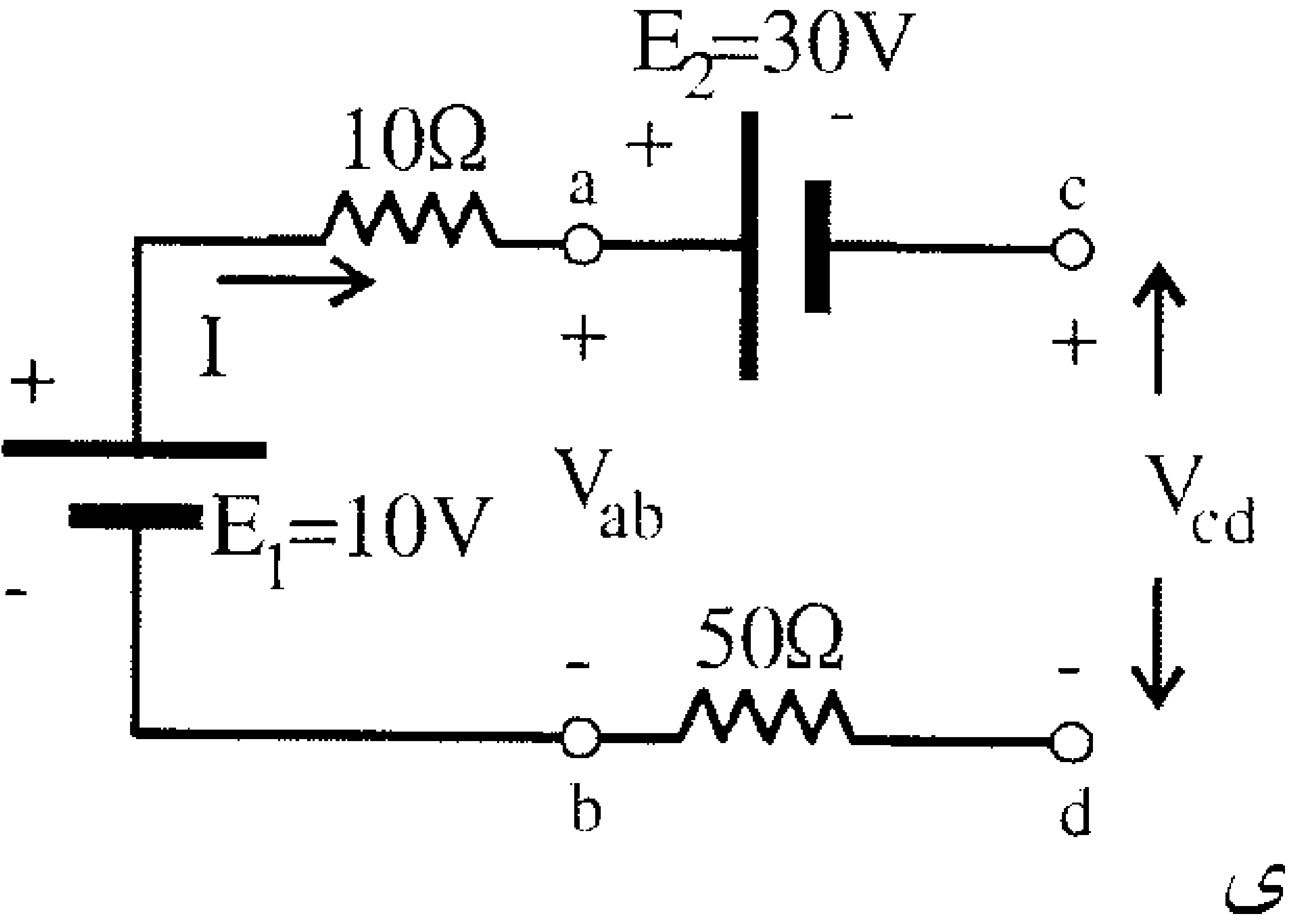
نطبق قانون كرشوف للجهد

$$E - V_1 - V_2 - V_{ab} = 0V$$

$$20V - 0V - 0V - V_{ab} = 0V$$

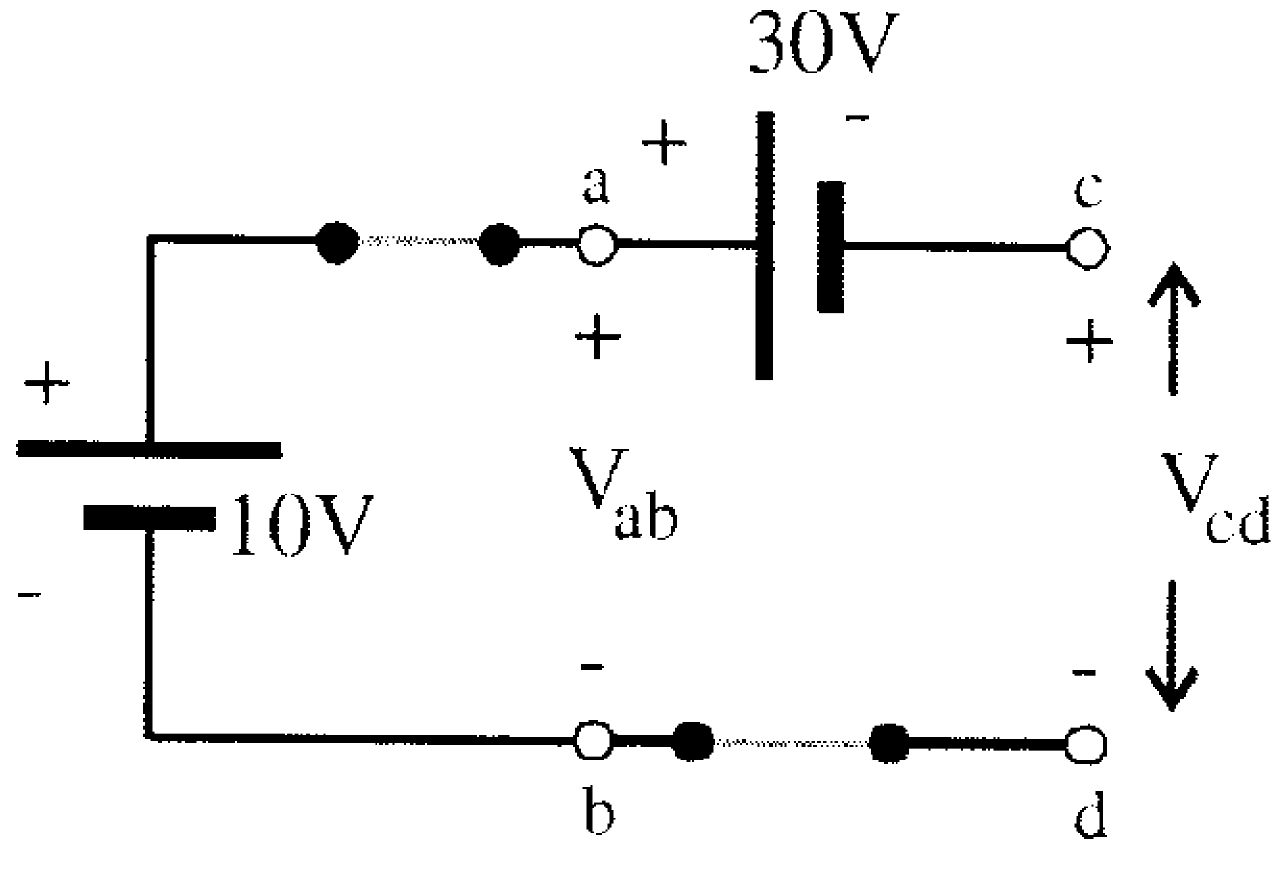
$$20V = V_{ab} \quad \Rightarrow \quad V_{ab} = E = 20V$$

مثال23.3 من الدائرة بالشكل أوجد V_{cd} و V_{ab}



الحــل:

الدائرة مفتوحة عند c و d فالتيار لايسرى فيها وبالتالي من قانون أوم $V = I\,R$ فإن جهد كل مقاومة يساوى صفراً لأن التيار يساوى صفراً ، إذاً يمكن استبدال المقاومتين بسلك وهو ما يسمى (short circuit) كما في الشكل التالي:



الجهد V_{ab} يساوى جهد المصدر E_1 بالتوازي

$$V_{ab} = E_1 = 10V$$

لإيجاد الجهد V_{cd} نستخدم قانون كريشوف للجهد

$$+E_1 - E_2 - V_{cd} = 0$$

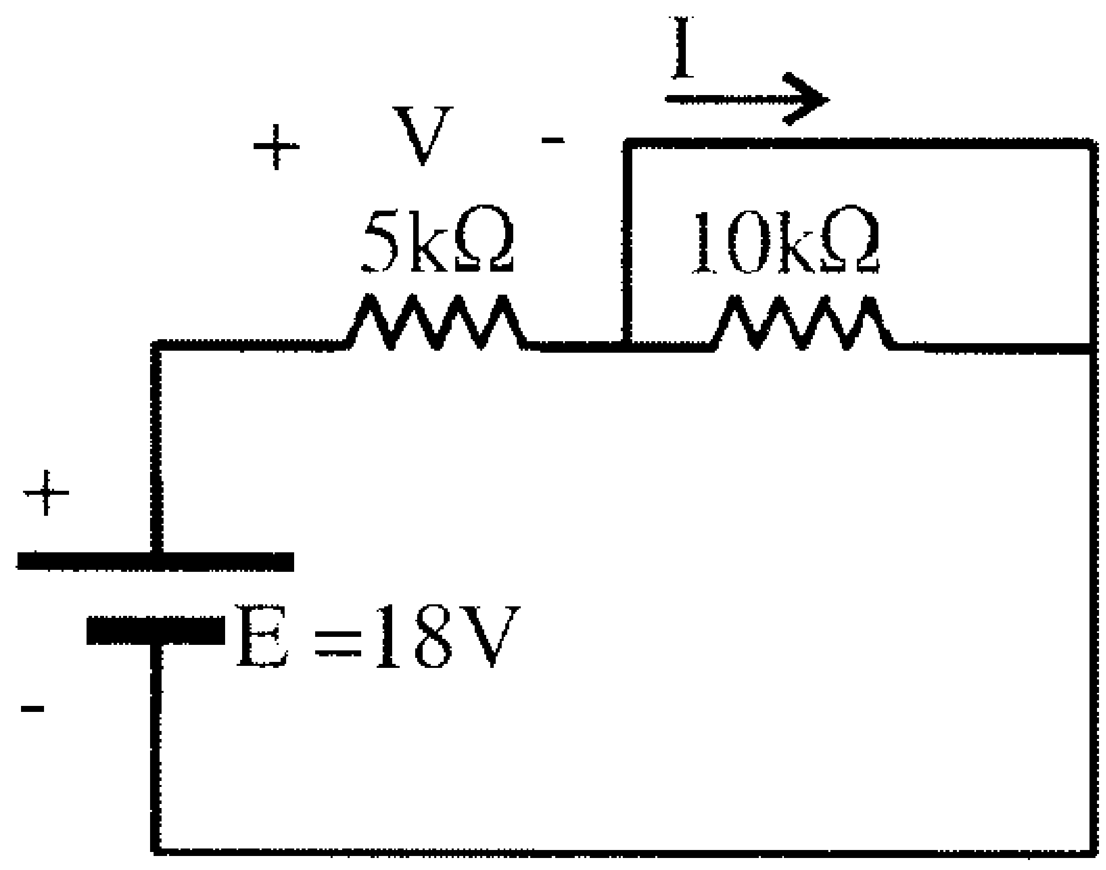
$$+V_{ab} - E_2 - V_{cd} = 0$$

$$V_{cd} = E_1 - E_2 = 10V - 30V = -20V \quad \text{أو}$$

$$V_{cd} = V_{ab} - E_2 = 10V - 30V = -20V$$

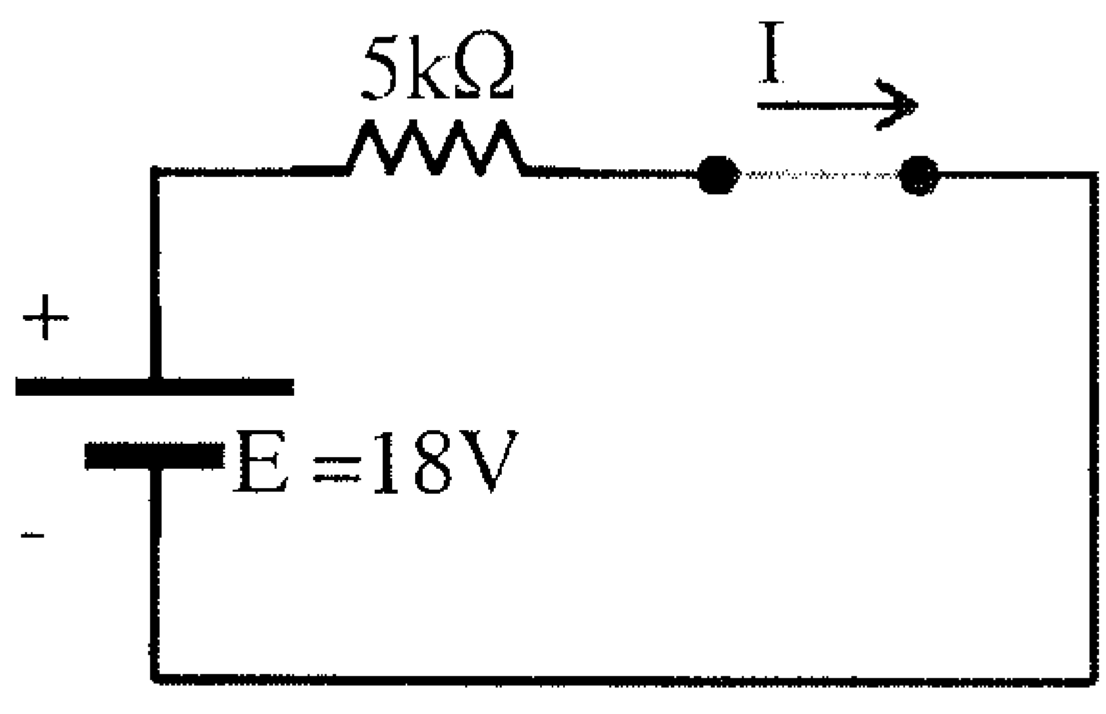
الإشارة (–) للجهد تعنى أن الأقطاب الحقيقية معكوسة .

مثال24.3 أوجد قيمة التيار (I) والجهد (V) للدائرة التالية :



الحـــل:

من الشكل نلاحظ أن المقاومة(10kΩ) (short circuit) أي لامعنى لها في الدائرة لتصبح الدائرة كالتالي:



من قانون أوم

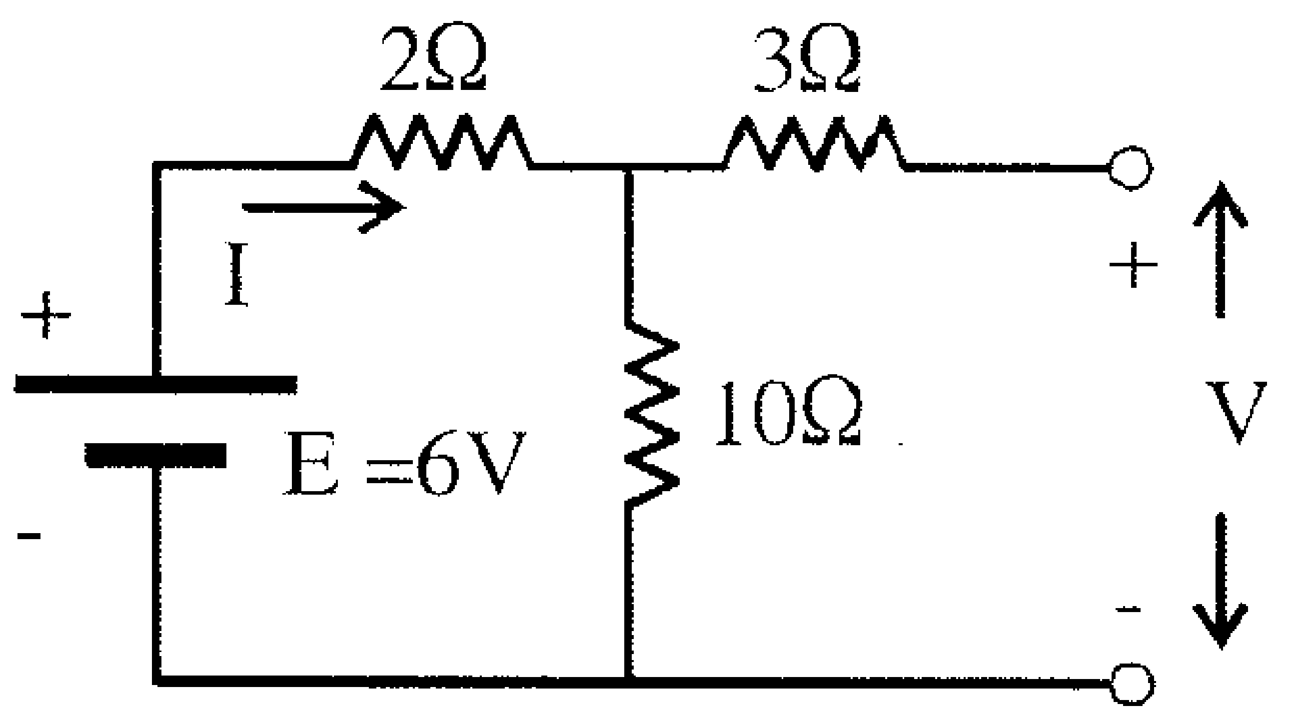
$$I = \frac{E}{R} = \frac{18V}{5k\Omega}$$

$$I = 3.6mA$$

$$V = I\,R_1 = (\ 3.6mA\ )\ (\ 5k\Omega\ ) = 18\ V$$

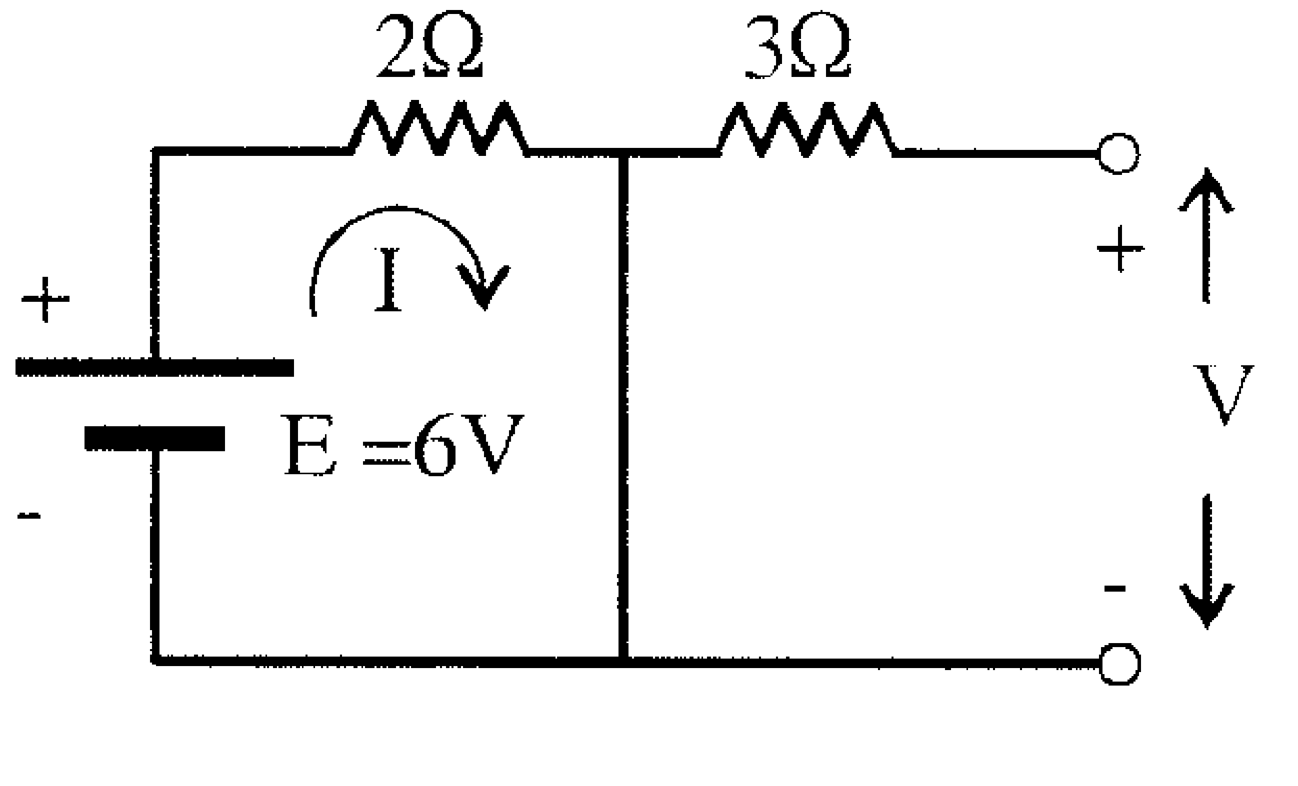
$$E = V = 18V$$

مثال *25.3* في الدائرة بالشكل التالي أوجد : I , V إذا استبدلنا المقاومة (10Ω) بدائرة مغلقة.



الحــل :

عند استبدال المقاومة 10Ω بــ(short circuit) تتغير كالتالي: التيار المار في المقاومة 3Ω يساوى صفراً لأنها دائرة مفتوحة. إذاً التيار الكلى القادم من المصدر يمر عبر الدائرة المغلقة



$$V_{3\Omega} = I\ (3\Omega) = (3\Omega)\ (0) = 0V$$

ومقاومة (short) تساوى صفراً

$$R_{Sc} = 0$$

وبالتالي جهدها

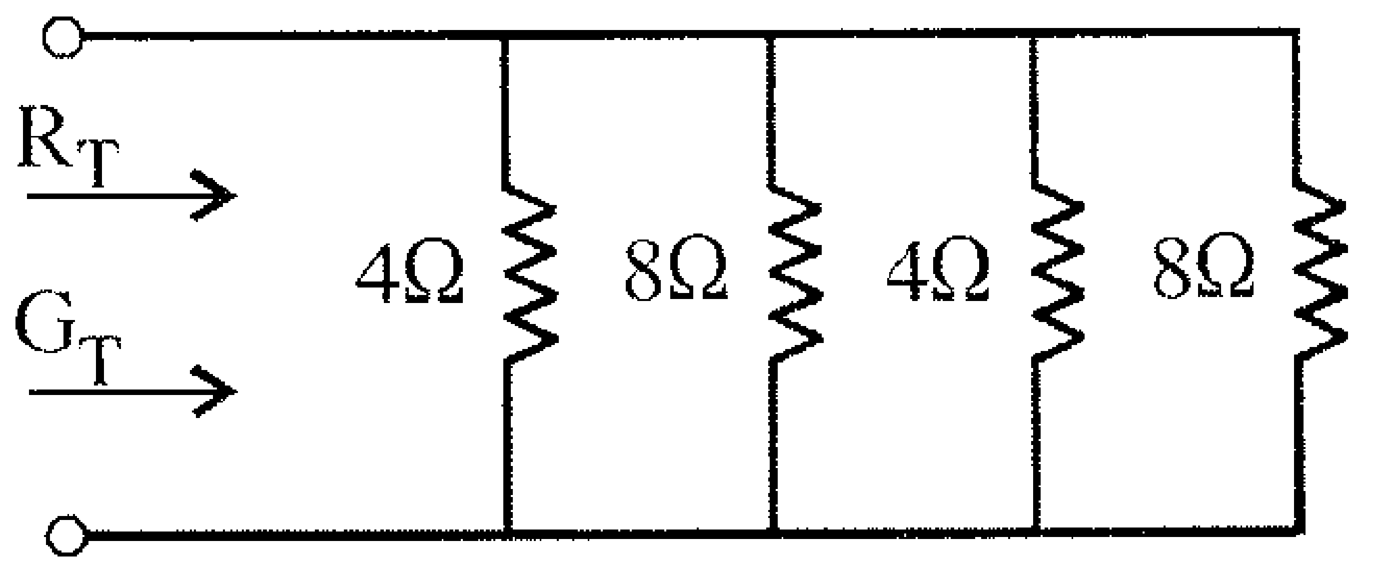
$$V_{Sc} = (R_{Sc}) (I) = (0)\, I = 0V$$

من قانون أوم

$$\because I = \frac{E}{R_1} = \frac{6V}{2\Omega} = 3A$$

8.3 أمثلة متنوعة

(1) أوجد المقاومة الكلية R_T والمواصلة الكلية G_T .



الحــل:

لإيجاد المقاومة الكلية

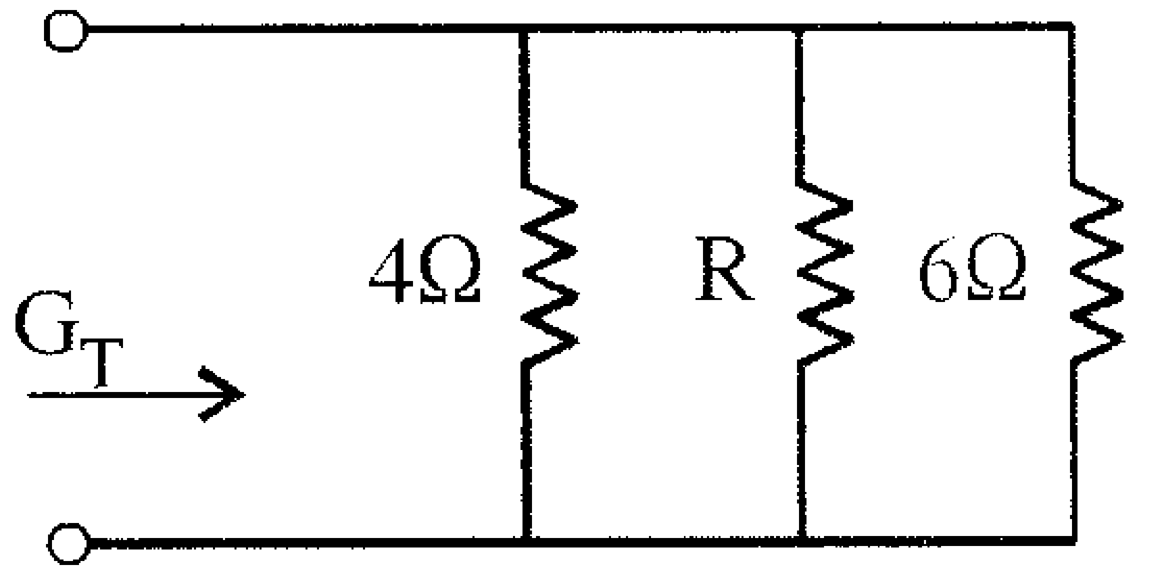
$$8\Omega \ // \ 8\Omega = 4\Omega$$

$$R_T = \frac{R}{N} = \frac{4}{3}$$

$$R_T = 1.33\Omega$$

$$G_T = 1/R_T = 0.75 \text{ S}$$

(2) بمعلومية المواصلة الكلية ($G_T = 0.55$ S) أوجد قيمة المقاومة (R).



الحل :

$$G_T = G_1 + G_2 + G_3$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

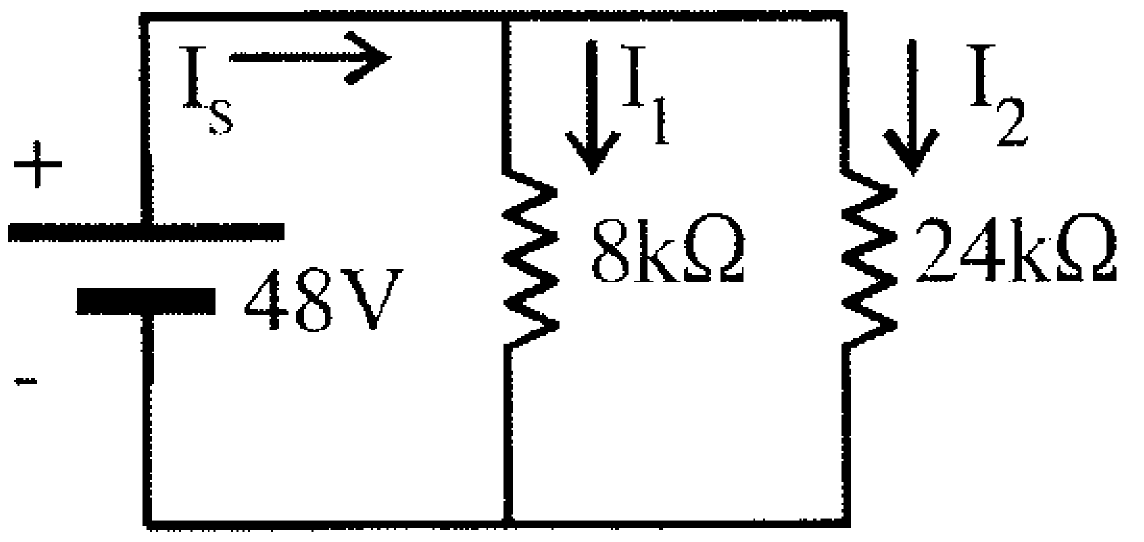
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{4\Omega} + \frac{1}{R} + \frac{1}{6\Omega}$$

$$0.55 = 0.25 + \frac{1}{R} + 0.1667$$

$$\frac{1}{R} = 0.1333$$

$$R = 7.5\Omega$$

(3) من الدائرة بالشكل أوجد:



1- R_T , G_T

2- I_s ,I_1, I_2

3- أثبت أن $I_s = I_1 + I_2$

4- أوجد القدرة المولدة من المصدر P_s والقدرة المستهلكة على المقاومتين P_1 و P_2

.

الحــل:

-1

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{(8k\Omega)(24k\Omega)}{8k\Omega + 24k\Omega} = \frac{192}{32}$$

$$R_T = 6k\Omega$$

$$G_T = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{6k\Omega} = 0.1667 mS$$

-2

$$I_S = \frac{E}{R_T} = \frac{48V}{6k\Omega} = 8\,mA$$

$$I_1 = \frac{I_S R_2}{R_1 + R_2} = \frac{(8mA)(24k\Omega)}{8k\Omega + 24k\Omega} = \frac{192}{32} = 6mA$$

$$I_2 = \frac{I_S R_1}{R_1 + R_2} = \frac{(8mA)(8k\Omega)}{8k\Omega + 24k\Omega} = \frac{64}{32} = 2mA$$

3-

$$I_S = I_1 + I_2$$

$$8mA = 6mA + 2mA$$

$$8mA = 8mA$$

4-

$$\because E = V_1 = V_2 = 48V$$

$$P_1 = E\,I_1 = (48V)\,(6mA) = 288mW$$

$$P_2 = E\,I_2 = (48V)\,(2mA) = 96mW$$

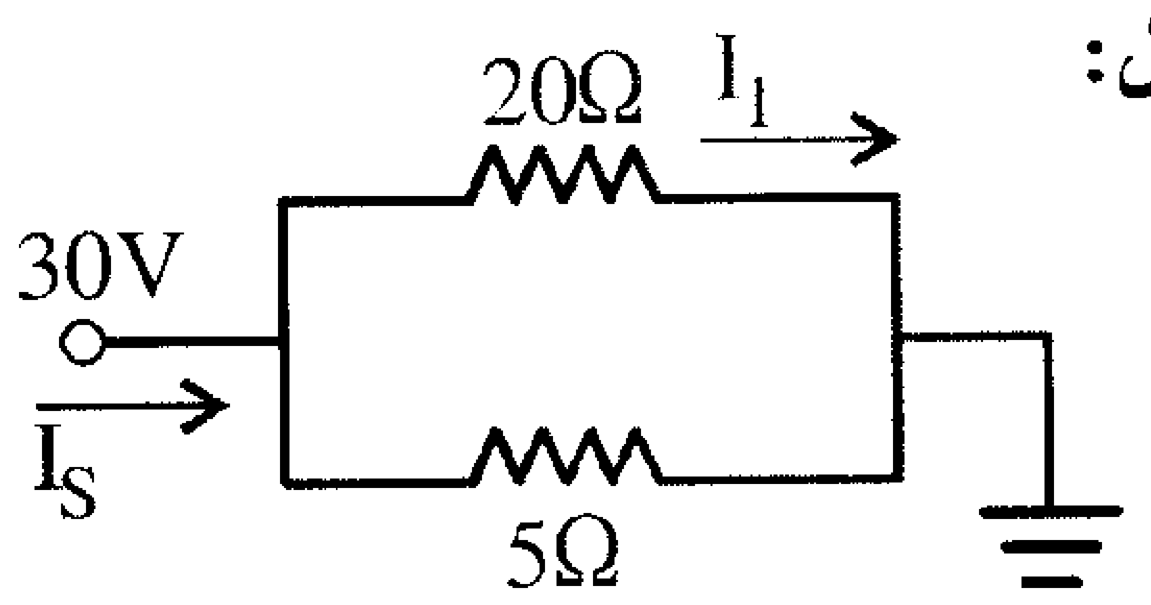
$$P_S = E\,I_S = (48V)\,(8mA) = 384mW$$

$$P_S = P_1 + P_2$$

$$384mW = 288mW + 96mW$$

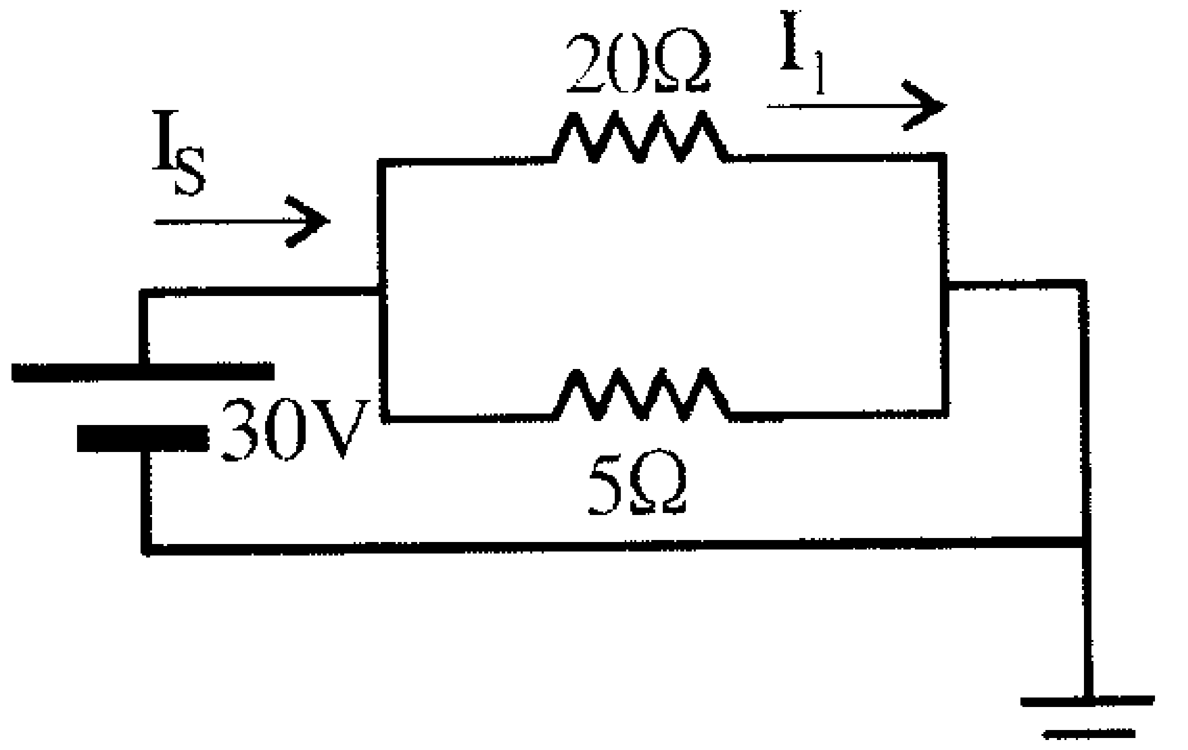
$$384mW = 384mW$$

4) أوجد قيمة التيارين I_S و I_1 من الدائرة في الشكل:



الحـــل:

نعيد رســـــم الدائرة كالتالي:



$$R_T = 20 // 5 \Rightarrow \frac{(20)(5)}{20+5} = \frac{100}{25}$$

$$R_T = 4\Omega$$

$$I_S = \frac{E}{R_T} = \frac{30}{4} = 7.5A$$

باستخدام قانون مجزئ التيار

$$I_1 = \frac{I_S R_2}{R_1 + R_2} = \frac{(7.5)(5)}{20+5}$$

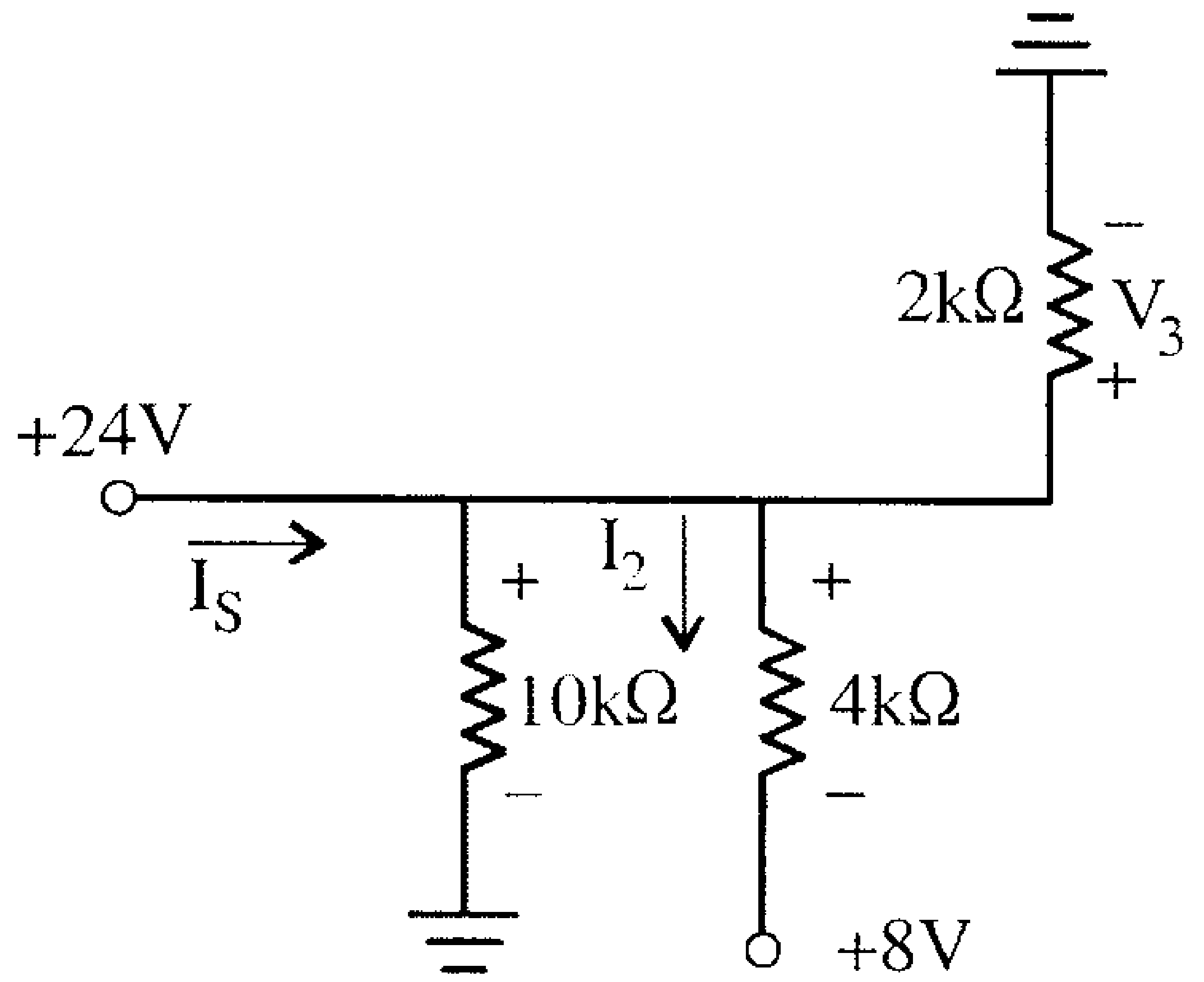
$$I_1 = \frac{37.5}{25} = 1.5A$$

(5) من الدائرة بالشكل التالي أوجد:

1- التيار I_2 .

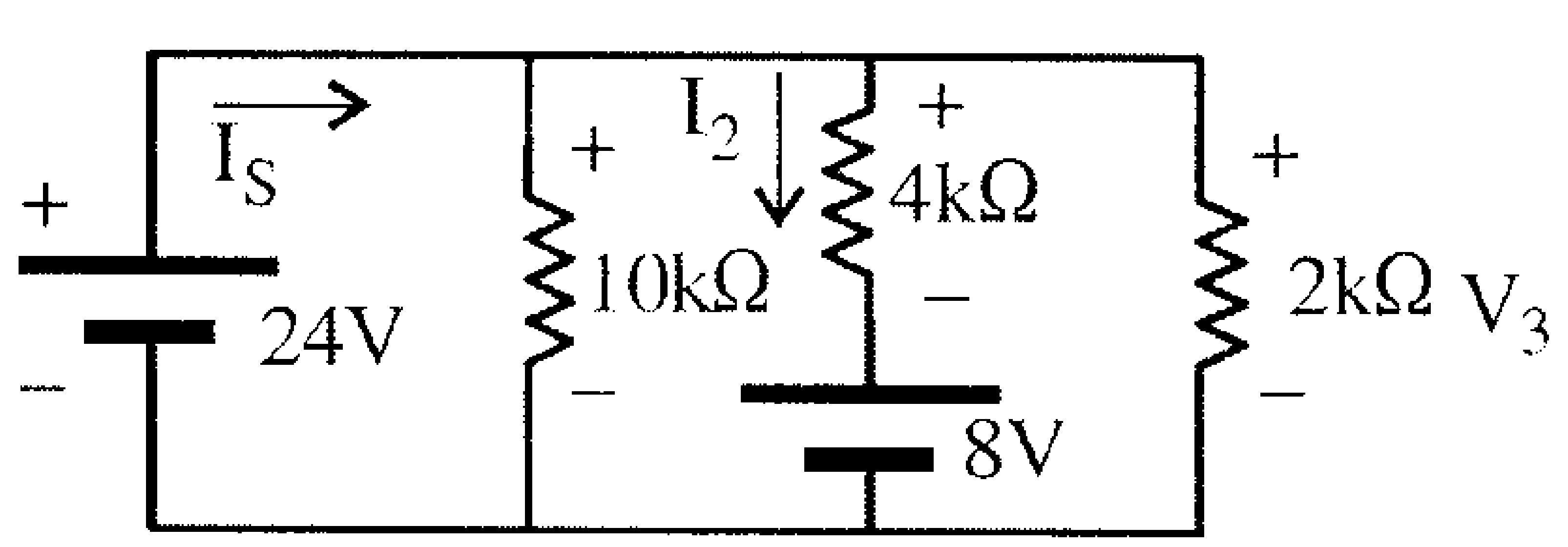
2- الجهد V_3 .

3- تيار المصدر I_S .



الحـــل :

إعادة رسم الدائرة لتسهيل الحل:



جهد المقاومة $10k\Omega$ يساوى جهد المصدر $24V$ بالتوازي.

∴ نستخدم قانون كرشوف للجهد في المسار الثاني

$$V_{10k\Omega} - V_{4k\Omega} - 8V = 0$$

$$24\ V - V_{4k\Omega} - 8V = 0$$

$$V_{4\Omega} = 16V \Rightarrow I_2 = \frac{16V}{4k\Omega} = 4mA$$

نستخدم قانون كرشوف للجهد في المسار الثالث

$$8V + 16V - V_3 = 0 \Rightarrow V_3 = 24V$$

3- لإيجاد تيار المصدر نستخدم قانون التيار لكرشوف

$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$

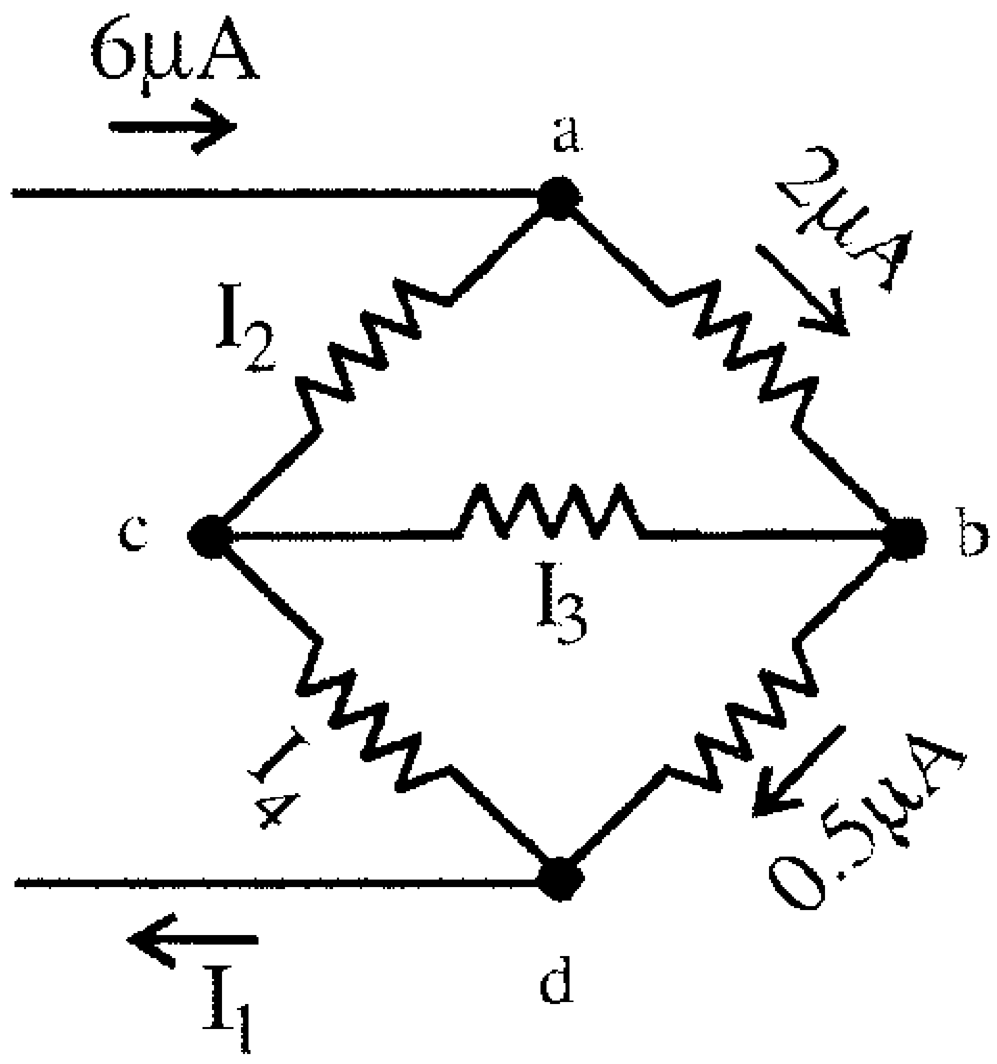
$$I_S = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I_1 = \frac{24V}{10k\Omega} = 2.4mA$$

$$I_3 = \frac{24V}{2k\Omega} = 12mA$$

$$I_2 = 4mA \longrightarrow I_S = 2.4mA + 4mA + 12mA$$

$$I_S = 18.4mA$$



(6) من الدائرة في الشكل وباستخدام (KCL) أوجد قيم التيارات المجهولة.

الحــل:

باستخدام (KCL) : عند العقدة (a)

$$6\ \mu A = 2\mu A + I_2$$

$$I_2 = 6\mu A - 2\mu A$$

$$I_2 = 4\mu A$$

عند العقدة (b)

$$2\ \mu A = 0.5\mu A + I_3$$

$$I_3 = 2\mu A - 0.5\mu A$$

$$I_3 = 1.5\mu A$$

عند العقدة (c)

$$I_4 = I_2 + I_3$$

$$= 4\mu A + 1.5\mu A$$

$$I_4 = 5.5\mu A$$

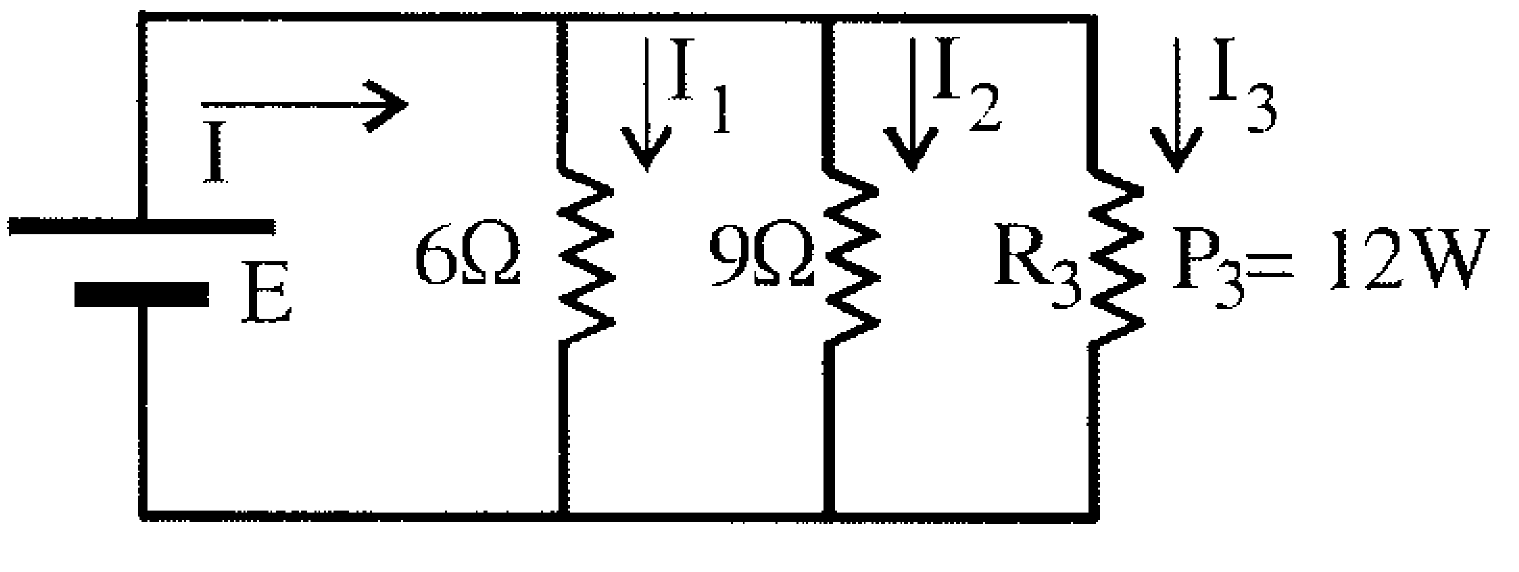
عند العقدة (d)

$$I_1 = I_4 + 0.5\mu A$$

$$= 5.5\mu A + 0.5\mu A$$

$$I_1 = 6\mu A$$

(7) في الدائرة بالشكل التالي أوجد كلاً من : (I, R_3, I_3, I_2, E) إذا علمت أن $I_1 = 2A$



الحــل :

الجهد في التوازي متساو

$$V_1 = E = (2A)(6\Omega) = 12V$$

$$E = V_1 = V_2 = V_3 = 12V$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{12V}{9\Omega} = 1.333A$$

$$\because P = \frac{V^2}{R}$$

$$P_3 = \frac{V_3^2}{R_3}$$

$$R_3 = \frac{V_3^2}{P_3} = \frac{(12)(12)}{(12)} = 12\Omega$$

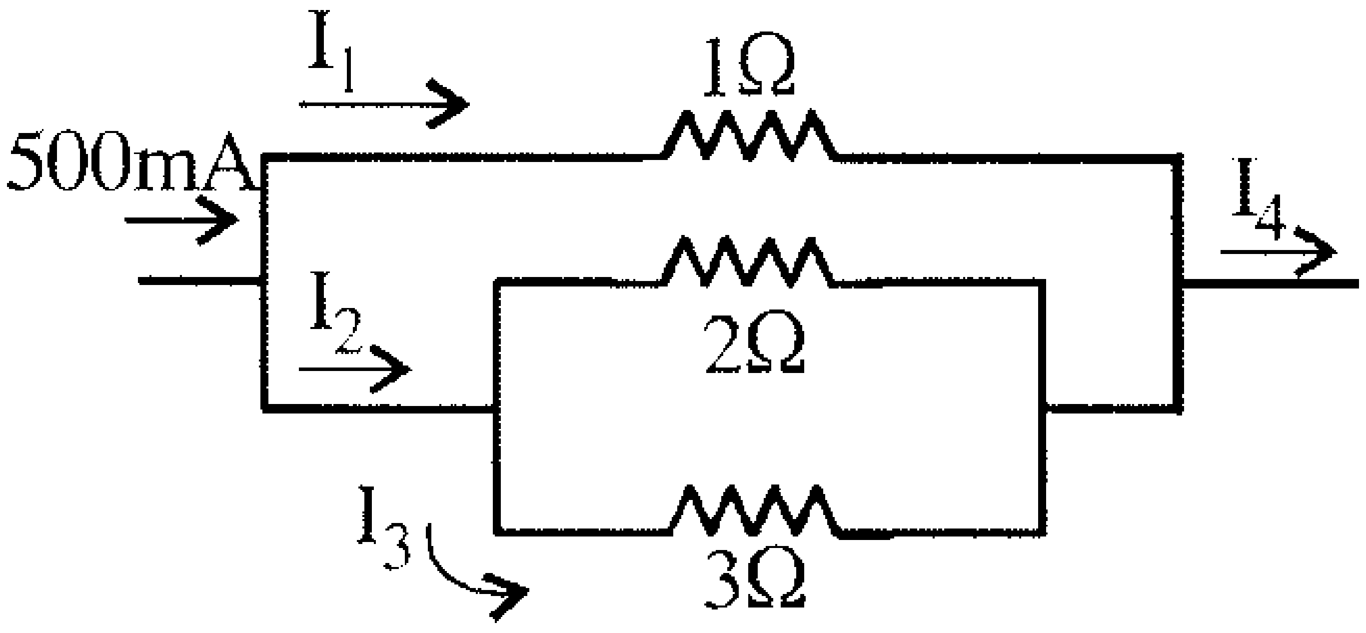
$$I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{12V}{12\Omega} = 1A$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$= 2A + 1.333A + 1A$$

$$I = 4.333A$$

(8) باستخدام قانون مجزئ التيار (CDR) أوجد: I_1 , I_2 , I_3 , I_4



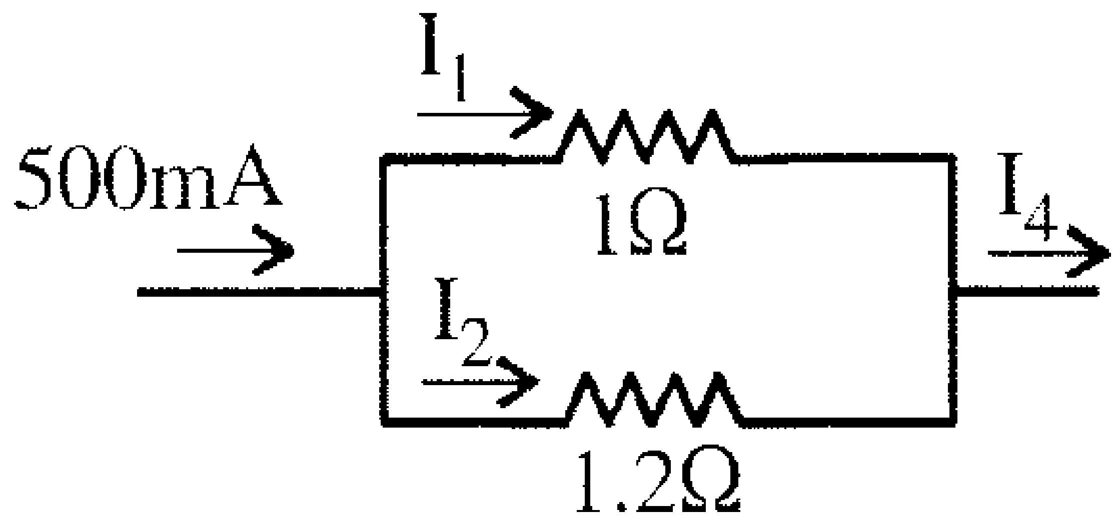
الحــل :

لإيجاد التيار I_1 , I_2 يجب تحوير الدائرة لكي نطبق قانون(CDR) المقاومة (2Ω) على التوازي مع المقاومة (3Ω)

$$2//3 \rightarrow \frac{2\times 3}{2+3} = \frac{6}{5}$$

$$=1.2\Omega$$

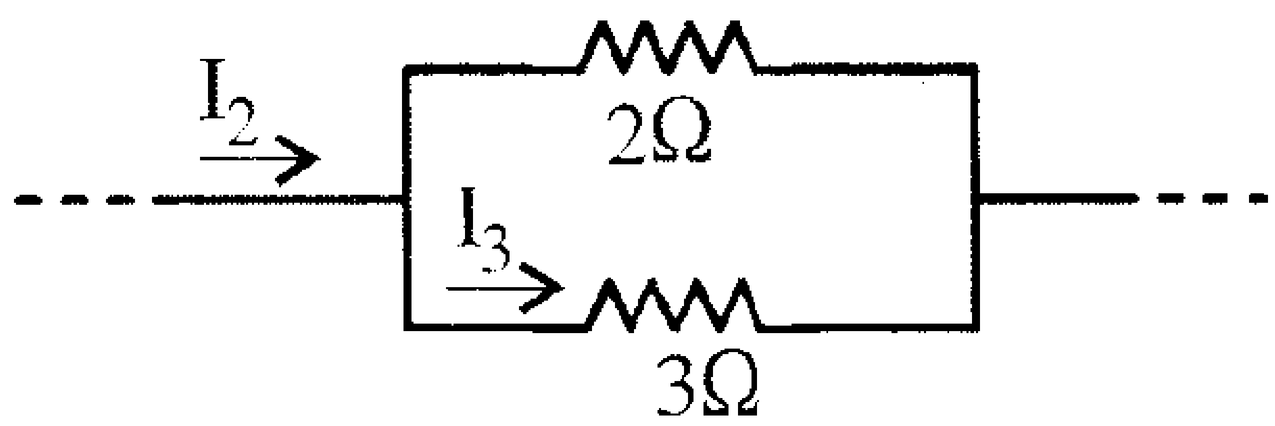
نطبق (CDR)



$$I_1 = \frac{I\,R_2}{R_1 + R_2} = \frac{(500mA)\,(1.2\Omega)}{1\Omega + 1.2\Omega} = 273mA$$

$$I_2 = \frac{I\,R_1}{R_1 + R_2} = \frac{(500mA)\,(1\Omega)}{1\Omega + 1.2\Omega} = 227mA$$

لإيجاد التيار I_3 نستخدم جزأ من الدائرة

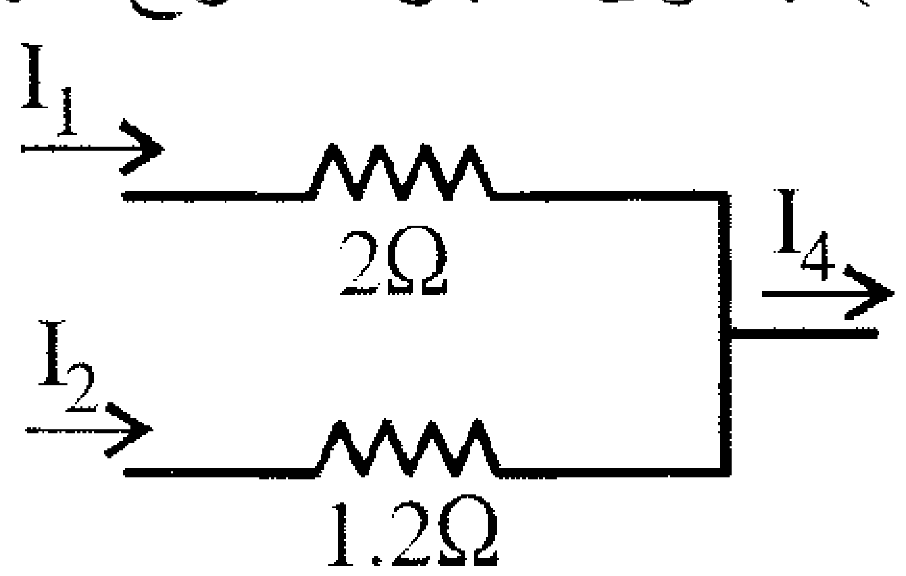


$$I_2 = 227mA$$

باستخدام قانون مجزئ الجهد :

$$I_3 = \frac{(I_2)\,(2\Omega)}{2\Omega + 3\Omega} = \frac{(227mA)\,(2\Omega)}{2\Omega + 3\Omega} = 90.8mA$$

لإيجاد I_4 مباشرة : التيار الداخل إلى الدائرة ($500mA$) يساوى التيار الخارج منها



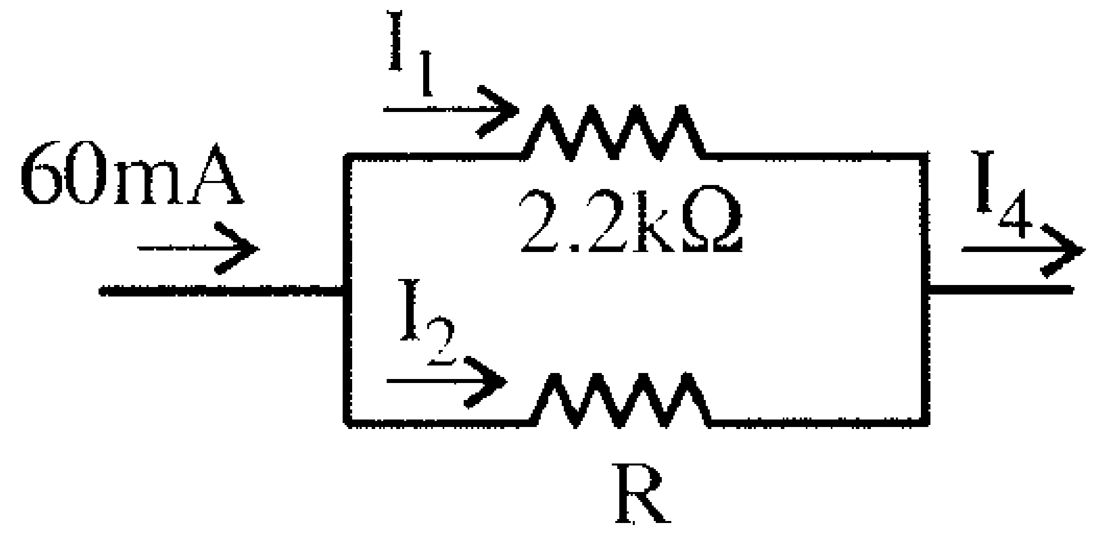
$$I_4 = 500mA$$

أو باستخدام (KCL)

$$I_4 = I_1 + I_2$$

$$= 273mA + 227mA = 500mA$$

(9) أوجد المقاومة المجهولة (R) إذا كانت $I_1 = 3I_2$



الحــل :

باستخدام (CDR)

$$I_1 = \frac{(60mA)\,(R)}{(R + 2.2k\Omega)} \longrightarrow (1)$$

$$I_2 = \frac{(60mA)(2.2k\Omega)}{(R+2.2k\Omega)} \longrightarrow \quad (2)$$

$$I_1 = 3I_2 = \frac{(60mA)(R)}{(R+2.2k\Omega)}$$

ومنها

$$I_2 = \frac{(20mA)(R)}{(R+2.2k\Omega)} \longrightarrow \quad (3)$$

وبما أن

$$I_2 = \frac{(60mA)(2.2k\Omega)}{(R+2.2k\Omega)} \longrightarrow \quad (4)$$

الطرف الأيسر متساو في المعادلتين (3) و (4) إذا نحصل على

$$\frac{(20mA)(R)}{R+2.2k\Omega} = \frac{(60mA)(2.2k\Omega)}{R+2.2k\Omega}$$

$$20\,R = (60)\,(2.2k\Omega)$$

$$R = \frac{60}{20}\,(2.2k\Omega)$$

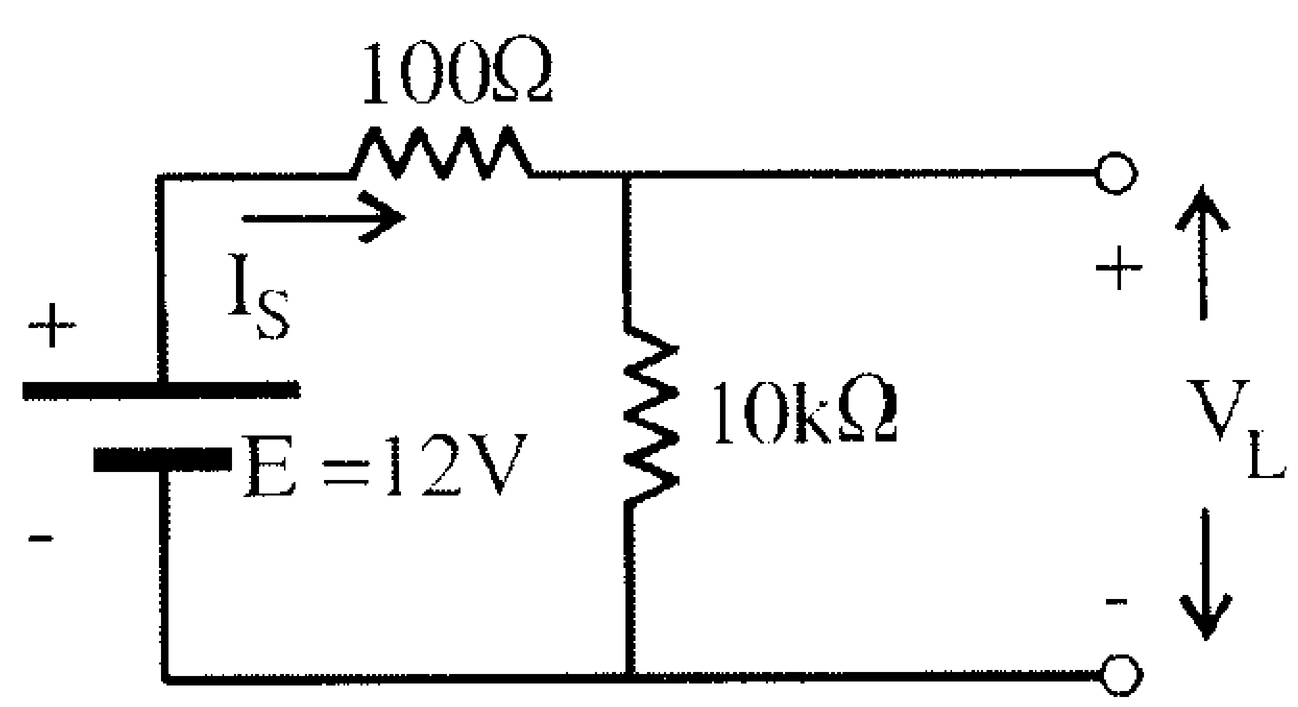
$$R = 3(2.2k\Omega) = 6.6k\Omega$$

(10) من الدائرة في الشكل التالي:

1- أوجد (I_s) و (V_L).

2- أوجد (I_s) إذا استبدلت المقاومة(R_L) بدائرة مغلقة.

3- أوجد (V_L) إذا استبدلت المقاومة (R_L)



بدائرة مفتوحة.

الحــل:

1-

$$R_T = 100\Omega + 10k\Omega$$

$$R_T = 100\Omega + 10000\Omega = 10100\Omega$$

$$I_S = \frac{E}{R_T} = \frac{12}{10100} = 1.188mA$$

$$V_L = (R_L)(I_S) = (10000\ \Omega)(1.188\times10^{-3}A)$$

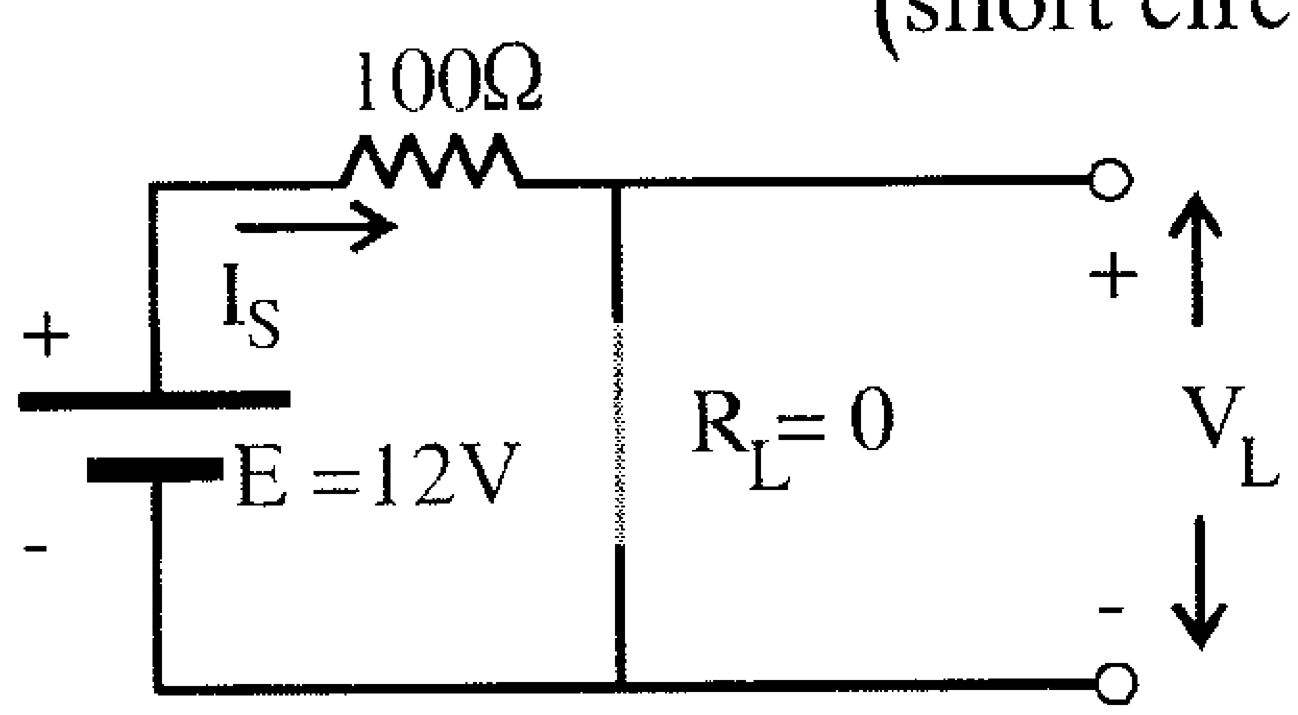
$$V_L = 11.88V$$

2- عند استبدال المقاومة R_L بدائرة مغلقة (short circuit)

تكون قيمة $R_L = 0$

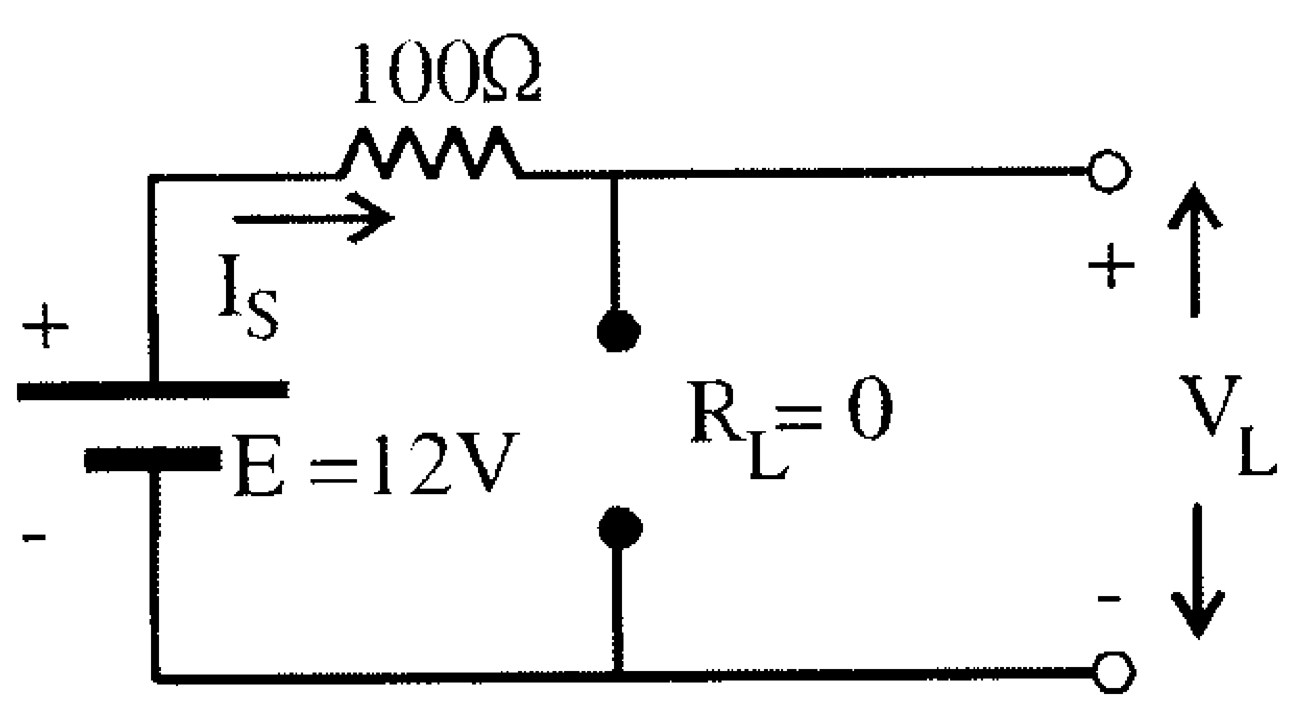
$R_T = 100\Omega$

$$I_S = \frac{E}{R_T} = \frac{12}{100} = 0.12A$$

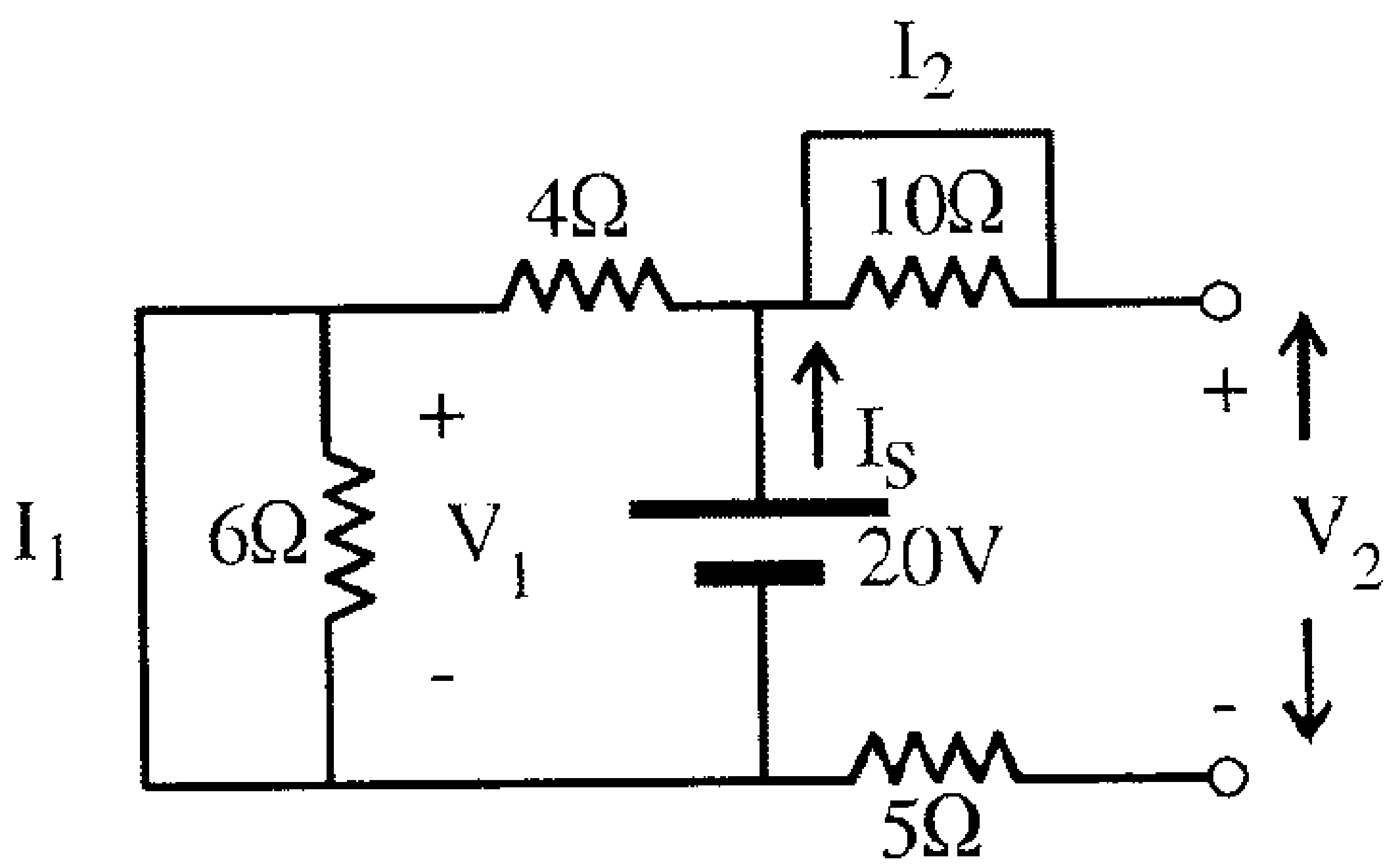


عندا استبدال المقاومة R_L بدائرة مفتوحة (open circuit) تكون كامل الدائرة مفتوحة ولايمر التيار $I_S = 0A$

$V_L = E = 12V$



(11) من الدائرة بالشكل التالي أوجد :



1- التياران I_2 و I_1 .

2- الجهود V_2وV_1 .

3- تيار المصدر I_S .

الحـــل:

1- الجزء الأيمن (على يمين مصدر الجهد) من الدائرة مفتوح فالتيار لايمر به

$I_2 = 0A$

المقاومة 6Ω لا يمر بها التيار (short circuit)، وبالتالي فإن التيار I_1 هو تيار المصدر I_S.

$$\therefore \; I_1 = I_S = \frac{E}{R_T} = \frac{20V}{4\Omega} = 5A$$

2- بما أن التيار المار في المقاومة 6Ω يساوي صفراً لذلك يكون

$$V_1 = 0$$

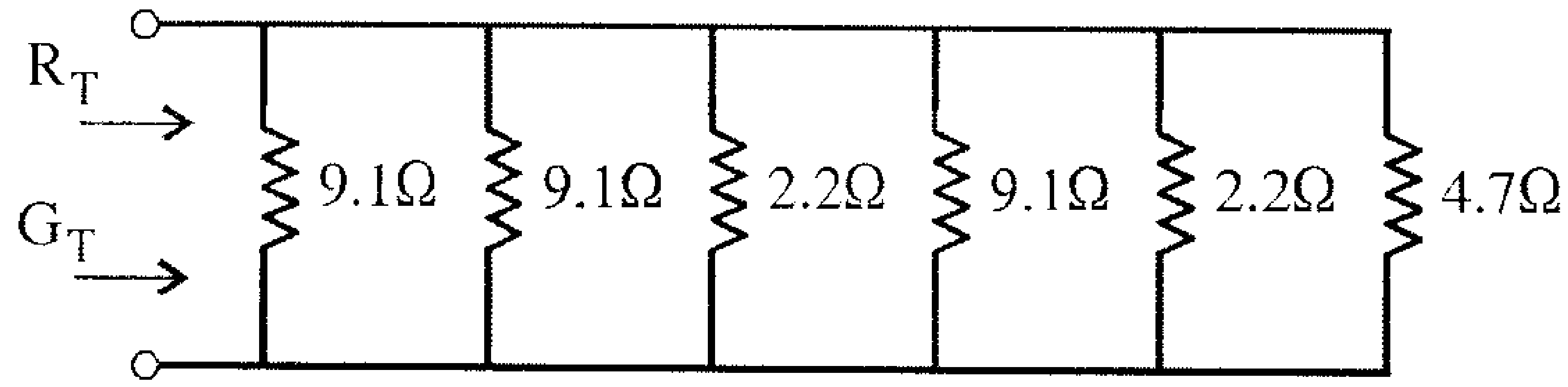
$$V_2 = E = 20V$$

3- تيار المصدر $I_S = 5A$

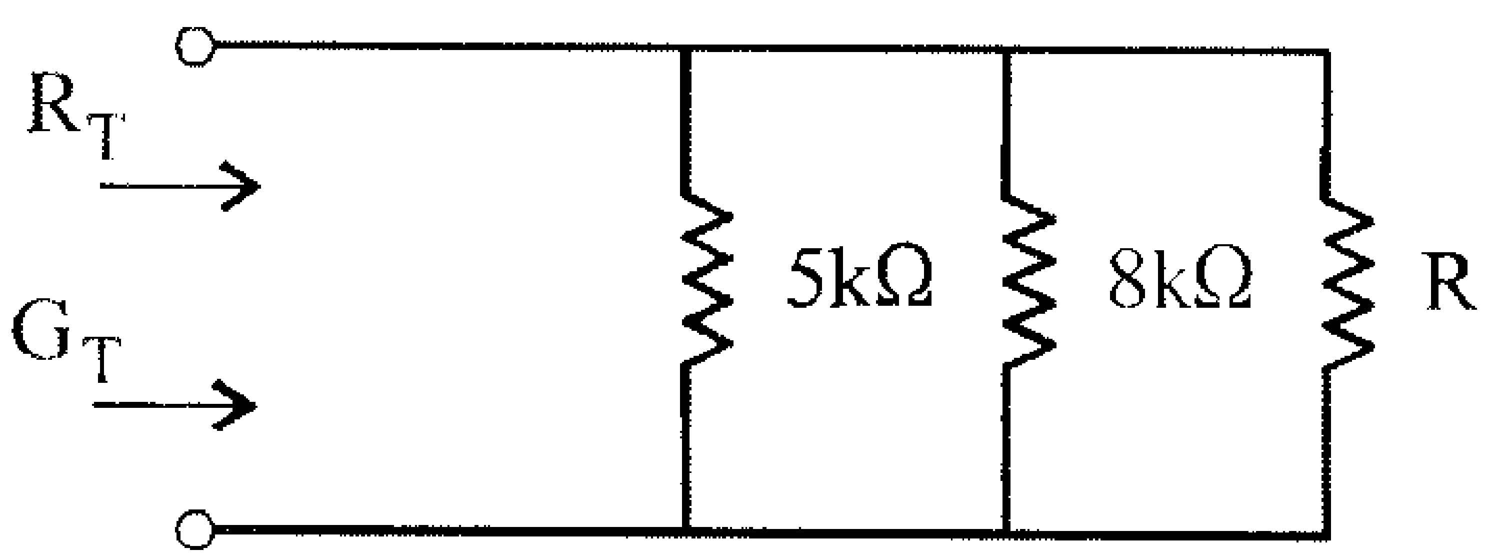
****

9.3 مسائل متنوعة

(1) أوجد R_T و G_T للدائرة بالشكل التالي:



(2) أوجد قيمة المقاومة المجهولة R إذا علمت أن ($G_T = 0.45mS$).



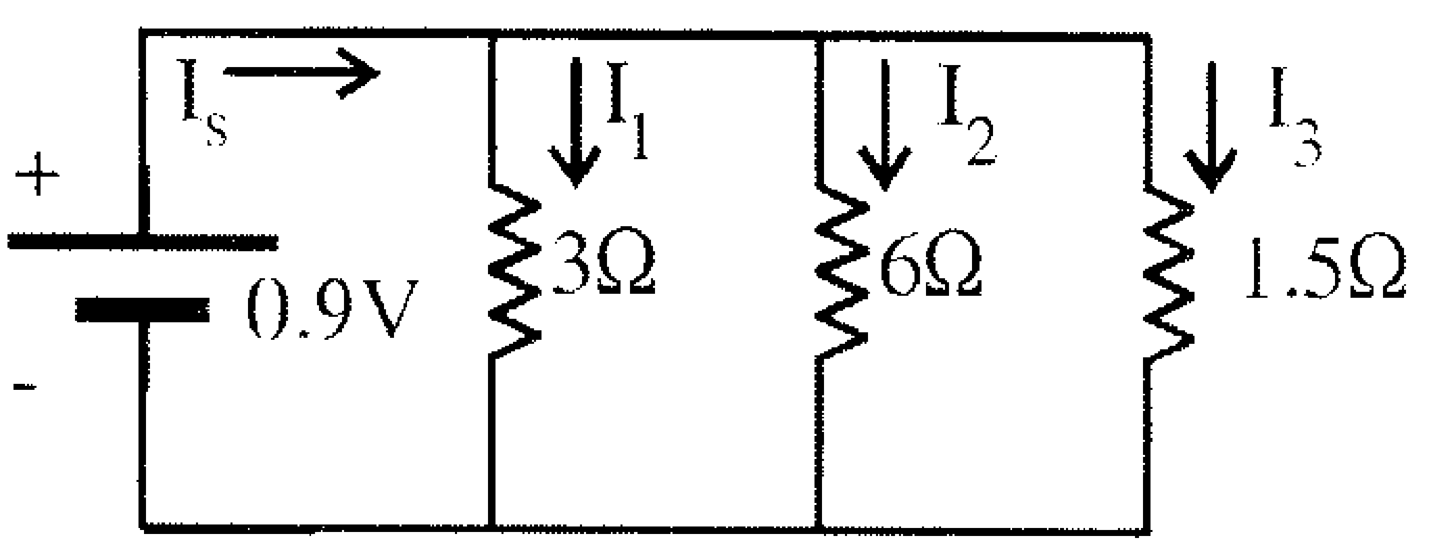
(3) للدائرة بالشكل :

1- أوجد G_T , R_T

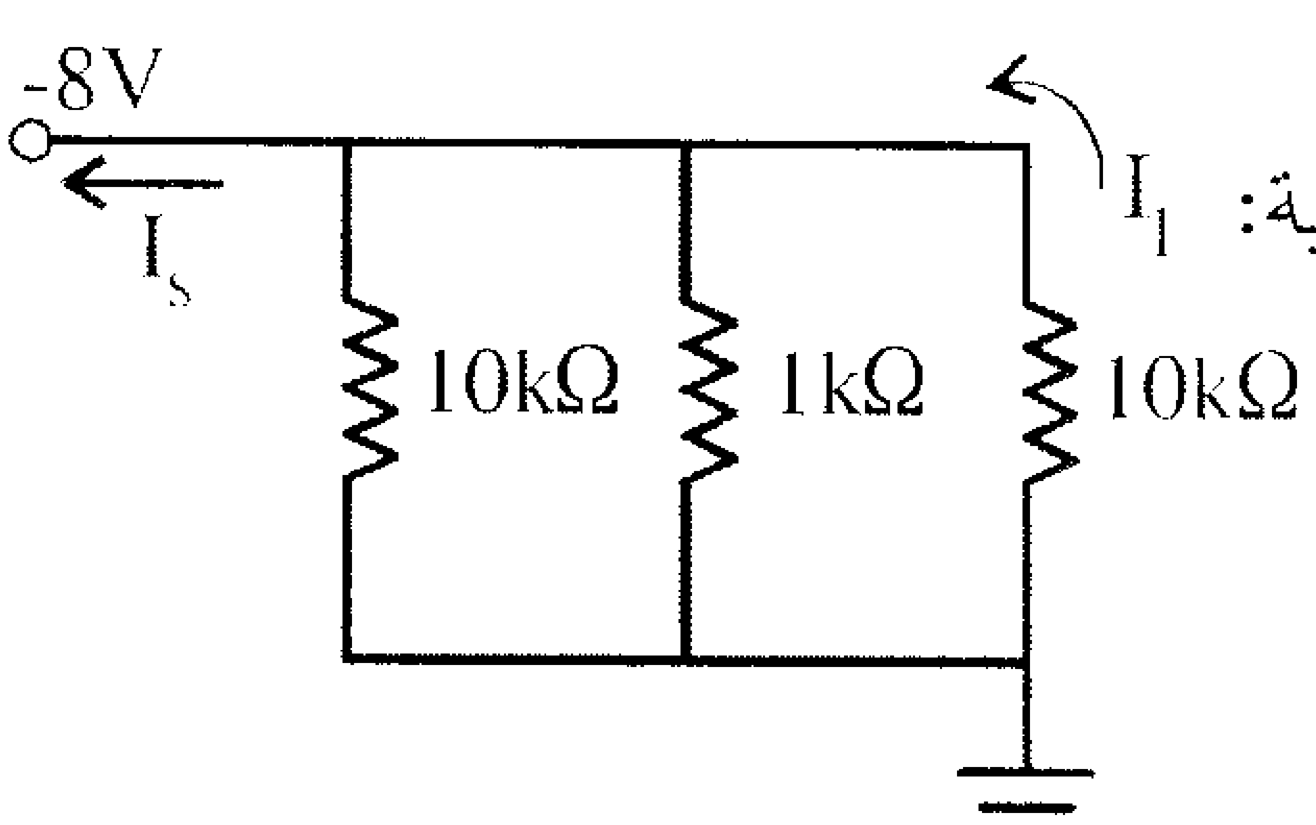
2- أوجد I_3 , I_2 , I_1, I_S

3- أثبت أن $I_S = I_1 + I_2 + I_3$

4- أوجد القدرة المستهلكة في كل مقاومة وكذلك القدرة المولدة في المصدر، وبرهن على أن $P_S = P_1 + P_2 + P_3$



(4) أوجد قيمة التيارين I_S و I_1 للدائرة التالية:

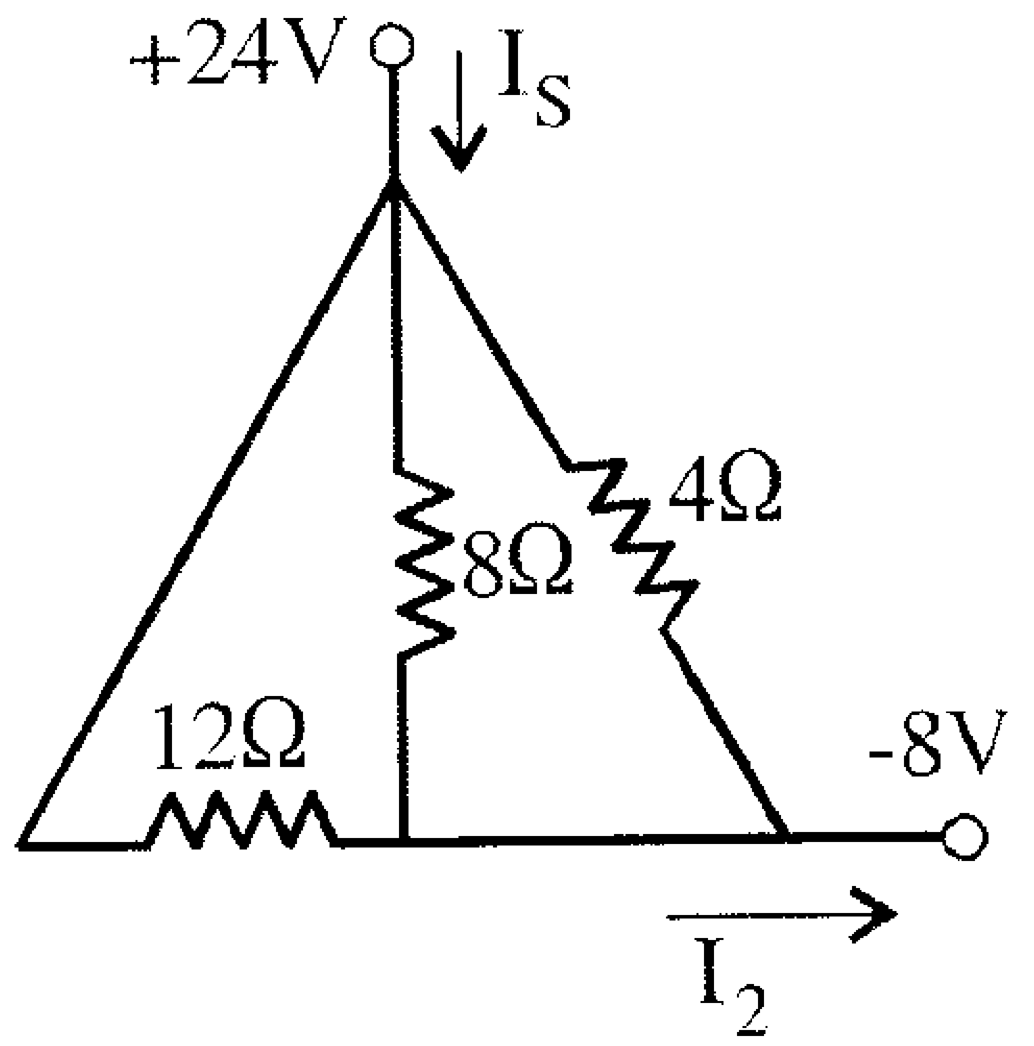


(5) من الدائرة بالشكل :

1- أوجد قيمة تيار المصدر I_S

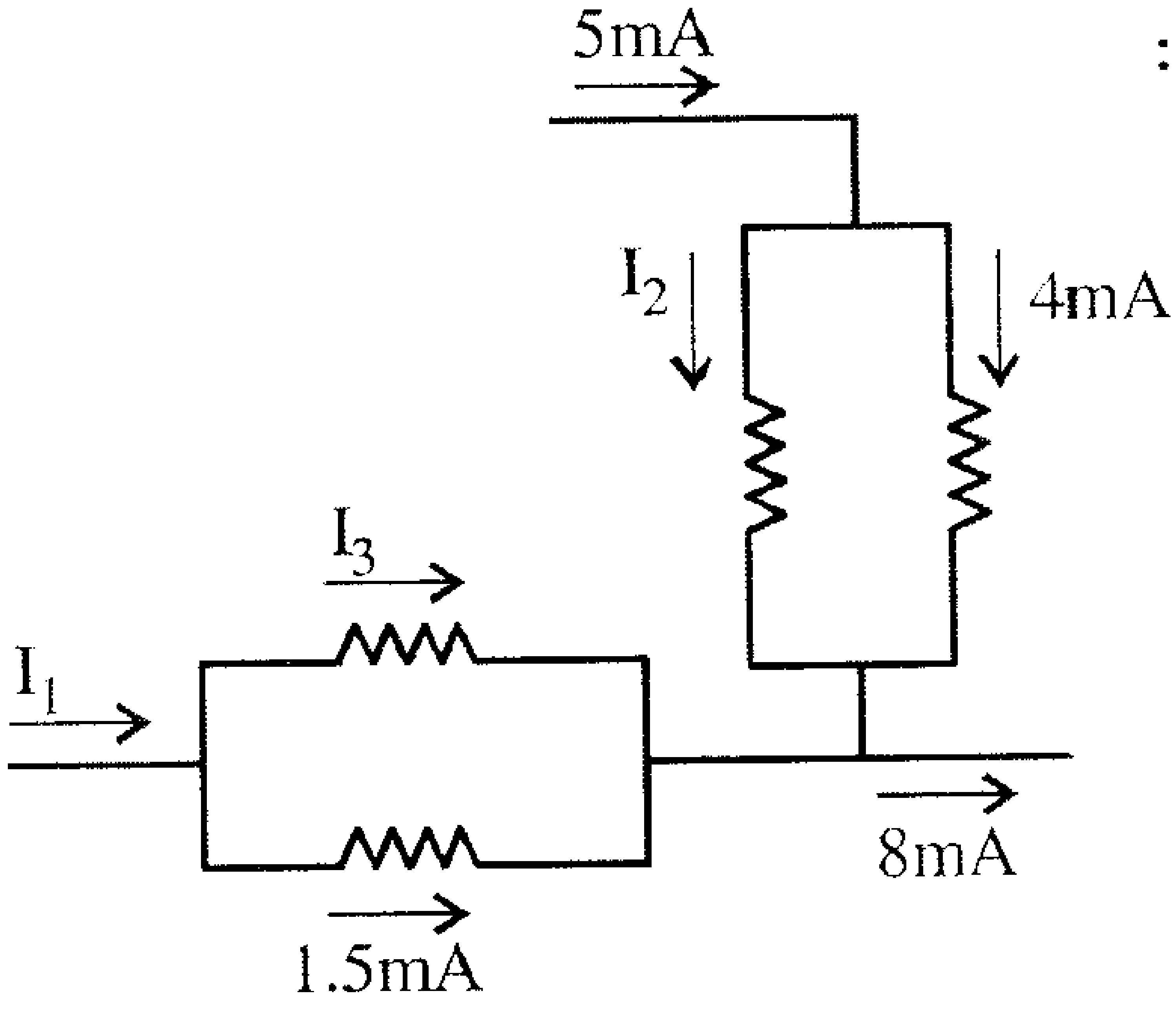
2- القدرة المستهلكة في المقاومة 4Ω

3- التيار I_2



(6) باستخدام قانون كرشوف للتيار أوجد :

I_3 , I_2 , I_1



(7) من الدائرة بالشكل أوجد :

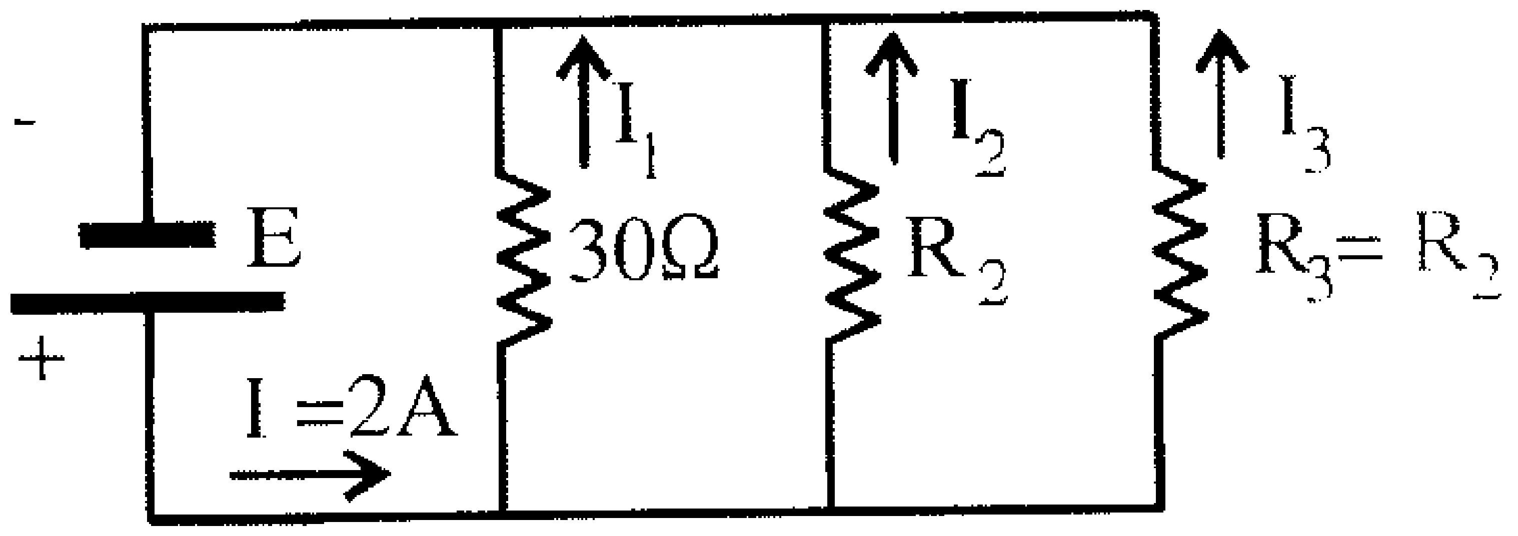
1- I_1 , E

2- I_3 , I_2

3- R_3 , R_2

4- P_2

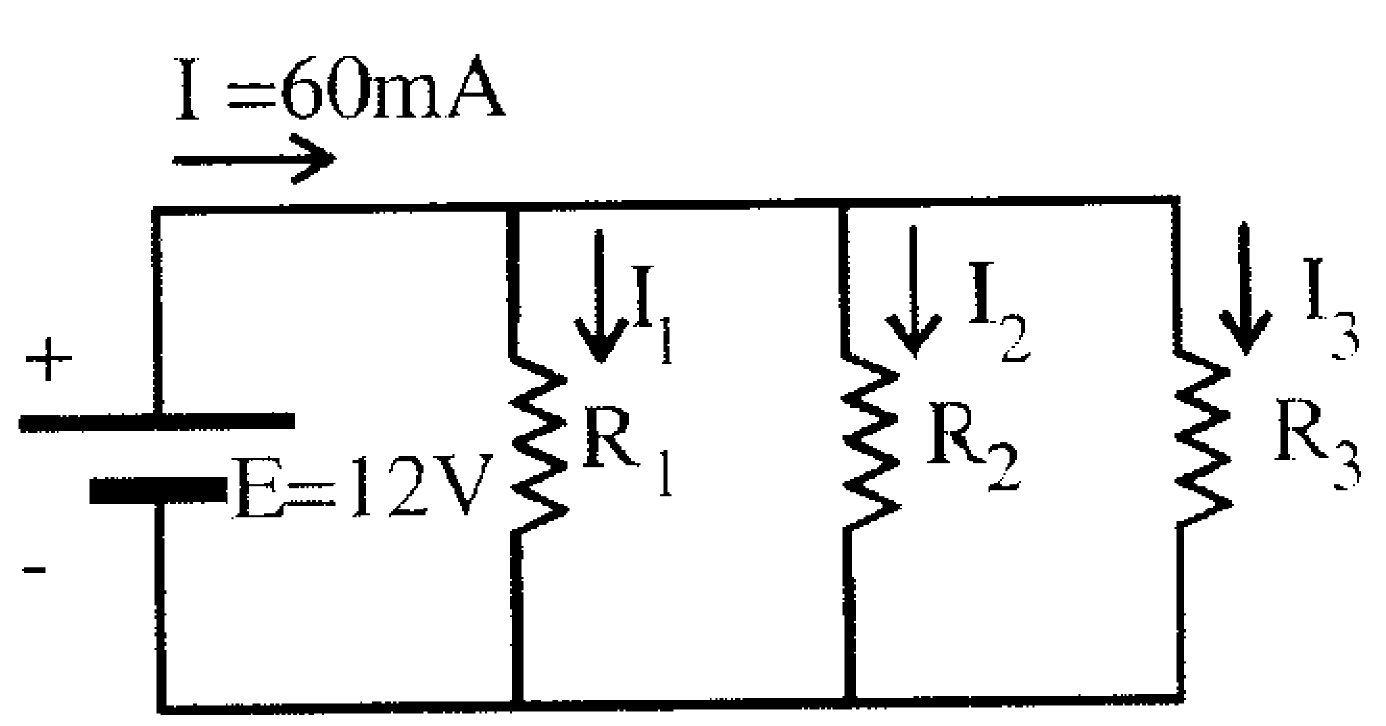
إذا علمت أن : $(P_1 = 30W)$.

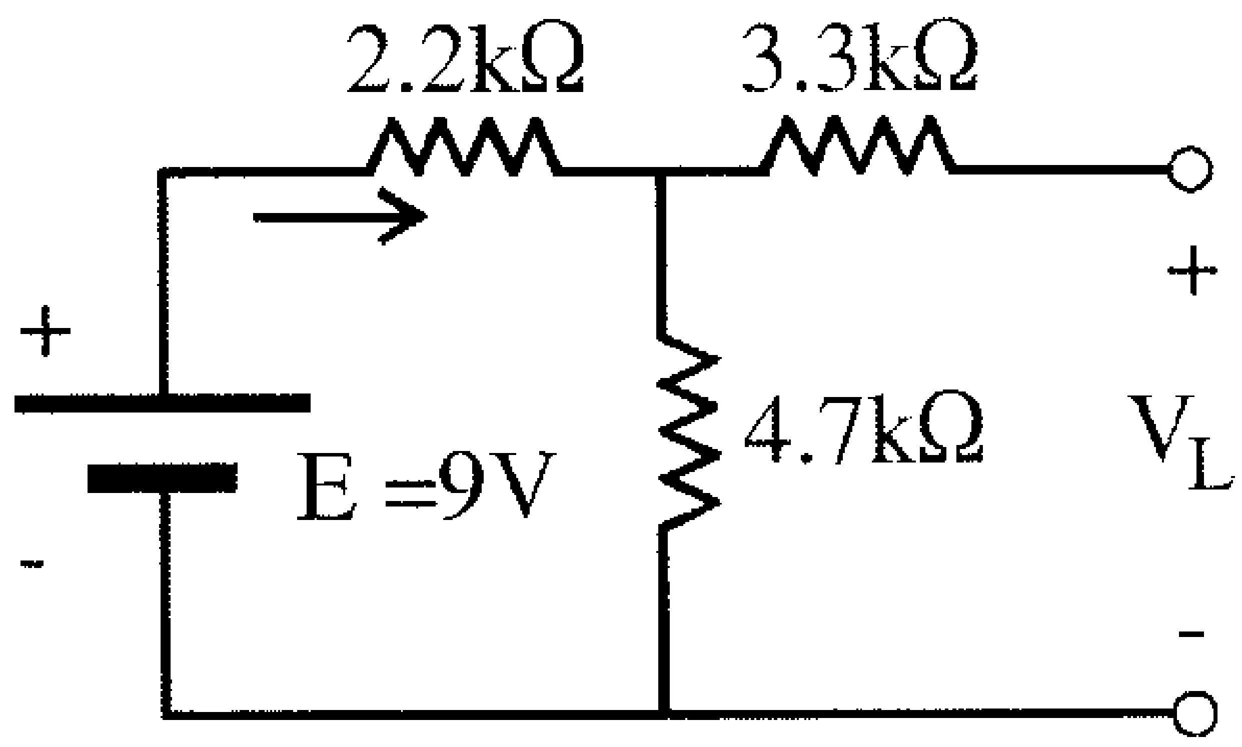


(8) من الدائرة في الشكل التالي:

أوجد قيم R_1 , R_2 , R_3 و I_1 , I_2 , I_3

إذا علمت أن: $I_3 = 3I_2$, $I_2 = 4I_1$





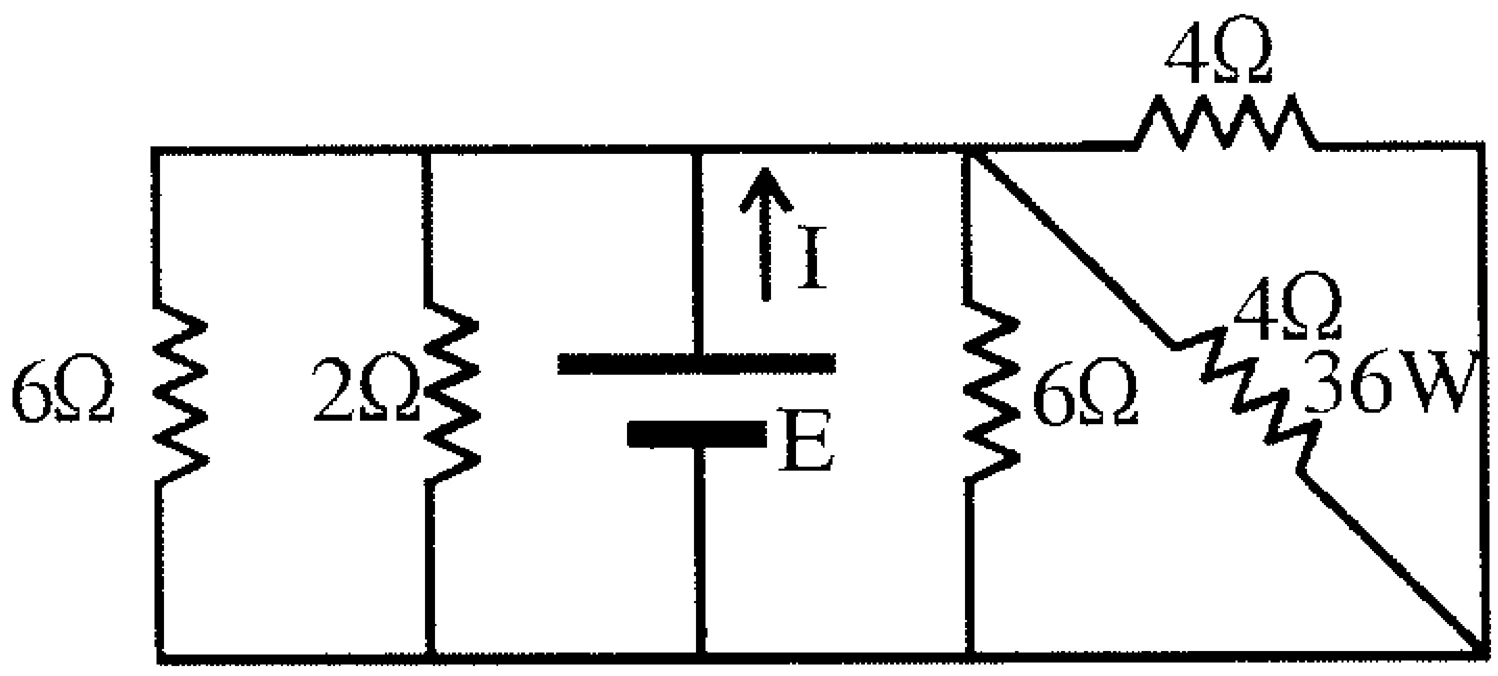
(9) من الدائرة بالشكل التالي :

1- أوجد قيمة الجهد V_L.

إذا تم إغلاق الدائرة المفتوحة عند V_L أي وضع (short circuit) احسب التيار المار I_{Sc}.

3- إذا تم استبدال المقاومة (2.2k) بـــ(short circuit) ، أوجد قيمة الجهد V_L .

(10) من الدائرة بالشكل التالي أوجد كلاً من: I و E والقـــدرة المستهلكة في المقاومة(2Ω) .



الفصل الرابع

1.4 تطبيقات دوائر التوالي والتوازي.

2.4 أمثلة متنوعة.

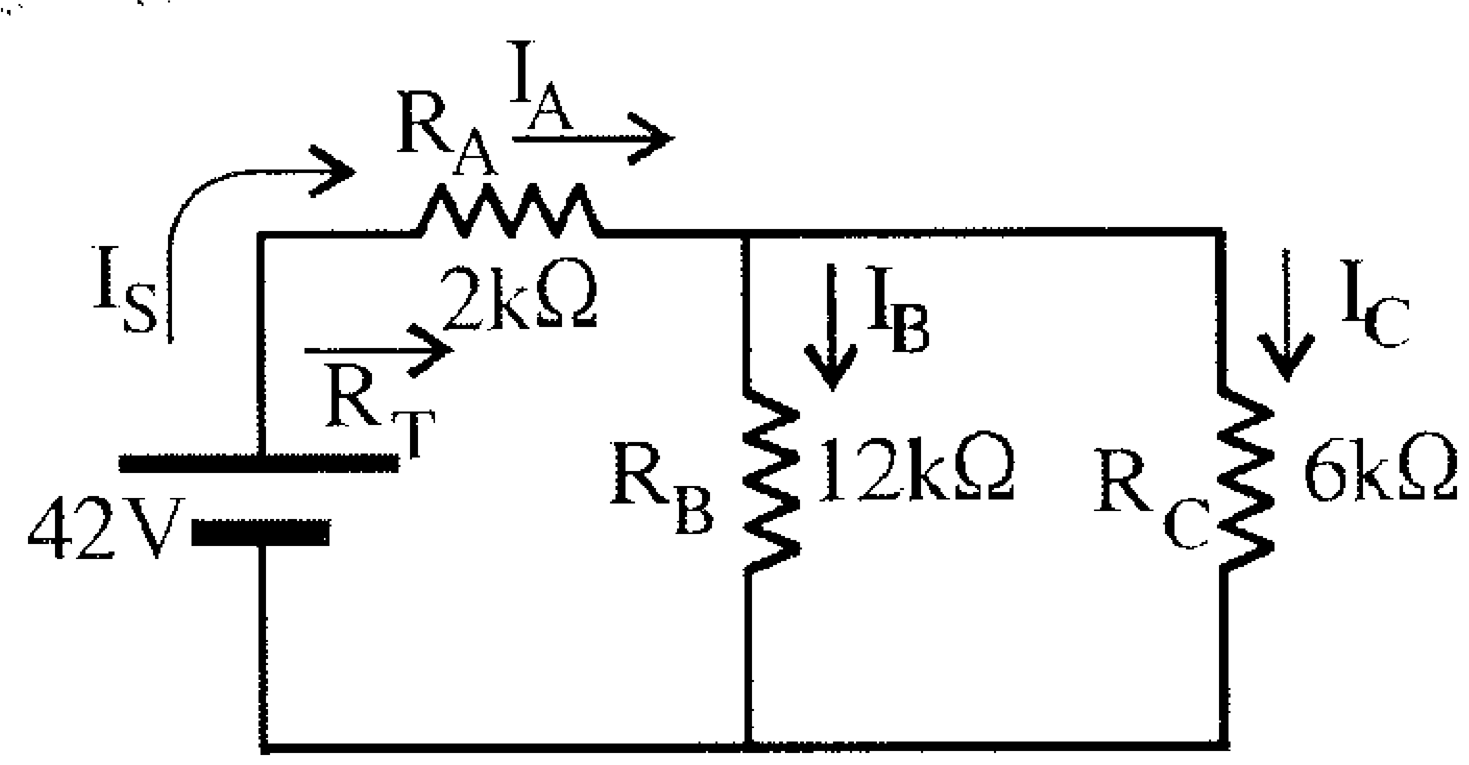
3.4 مسائل.

تطبيقات دوائر التوالي والتوازي

في هذا الفصل سوف نلقى الضوء على الدوائر الكهربائية التي تحتوى على توصيل المقاومات والمصادر على التوالي والتوازي معا.

إن الخبرة والتمرين وحدهما العاملان المساعدان للطالب والباحث كي يستطيع تحليل الدوائر المعقدة شريطة أن يكون ملما إلماما جيدا بالأساسيات من قوانين كر يشوف، وقانون مجزئ الجهد والتيار،وقانون أوم ،والقدرة ،وغيرها مما سبق دراسته في الفصول السابقة.

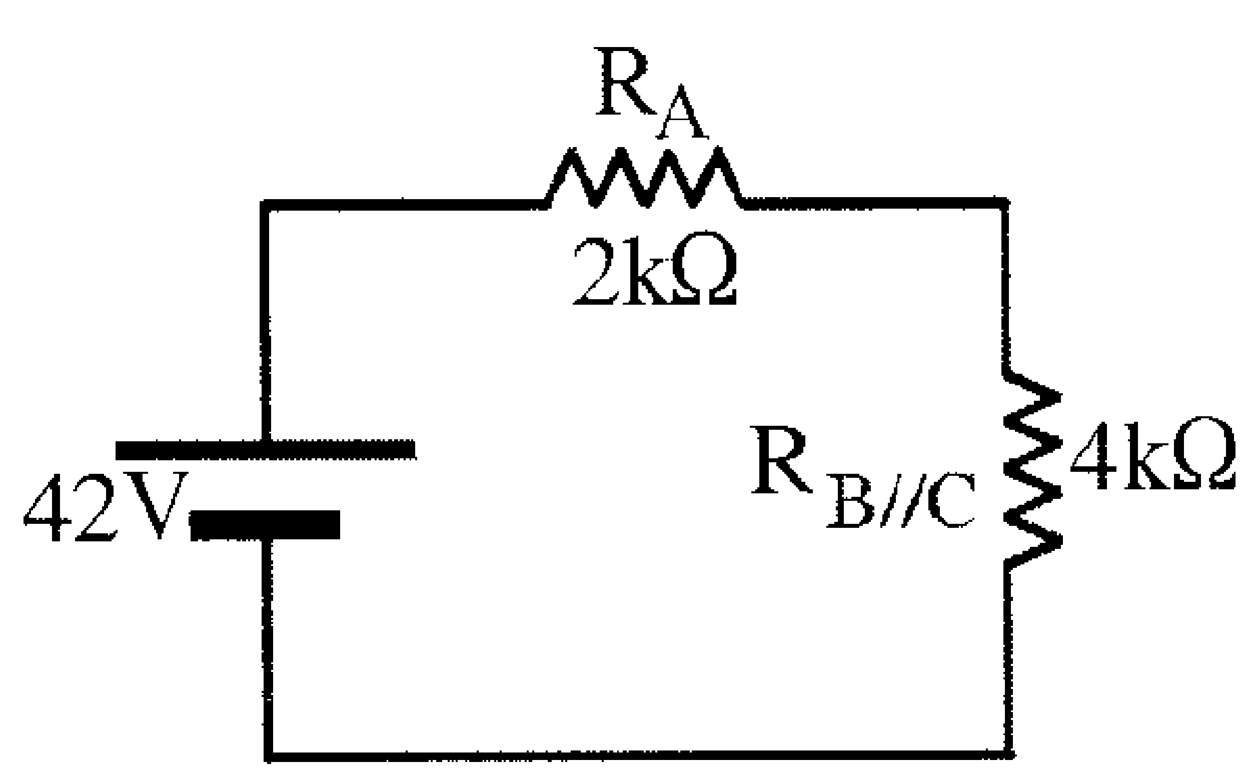
مثال1.4:



الدائرة في الشكل التالي دائرة توالٍ وتوازٍ معا،ولإيجاد المقاومة الكلية فإن

$$R_B \,//\, R_C = \frac{(12k)(6k)}{12k+6k} = 4k\Omega$$

لتصبح الدائرة دائرة توالٍ



$$\therefore\ R_T = R_A + R_{B//C}$$

$$= 2k\Omega + 4k\Omega$$

$$R_T = 6k\Omega$$

يمكن إيجاد التيار الكلى (تيار المصدر)

$$I_S = \frac{E}{R_T} = \frac{42V}{6k\Omega} = 7mA$$

بما أن التيار I_S هو نفس التيار الذي يمر في الفرع A

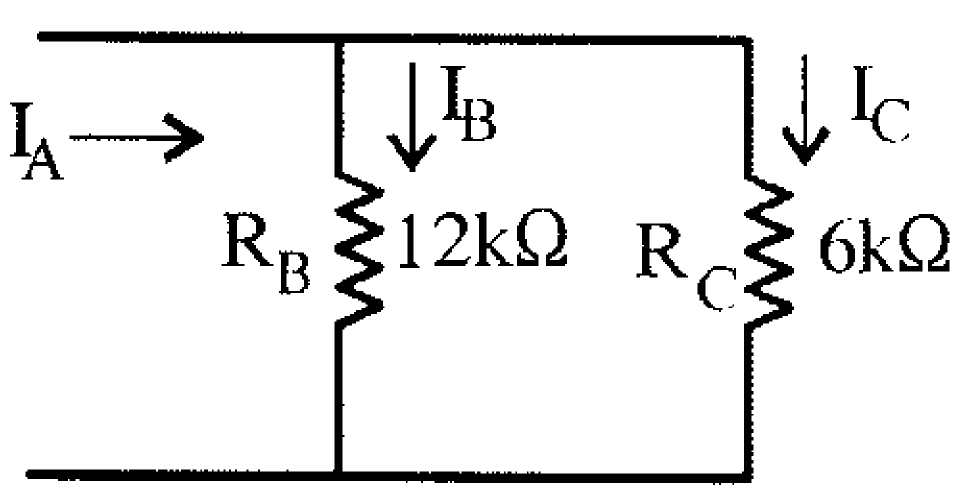
$$\therefore I_A = I_S = 7mA$$

التيار I_A يتجزأ على المقاومتين R_C , R_B

وباستخدام قانون مجزئ التيار (CDR) يمكن إيجاد I_c, I_B

$$I_B = \frac{(6k\Omega)(I_A)}{6k\Omega + 12k\Omega} = \frac{6}{18}(7mA) = 2.333mA$$

$$I_C = \frac{(12k\Omega)(I_A)}{6k\Omega + 12k\Omega} = \frac{12}{18}(7mA) = 4.667mA$$

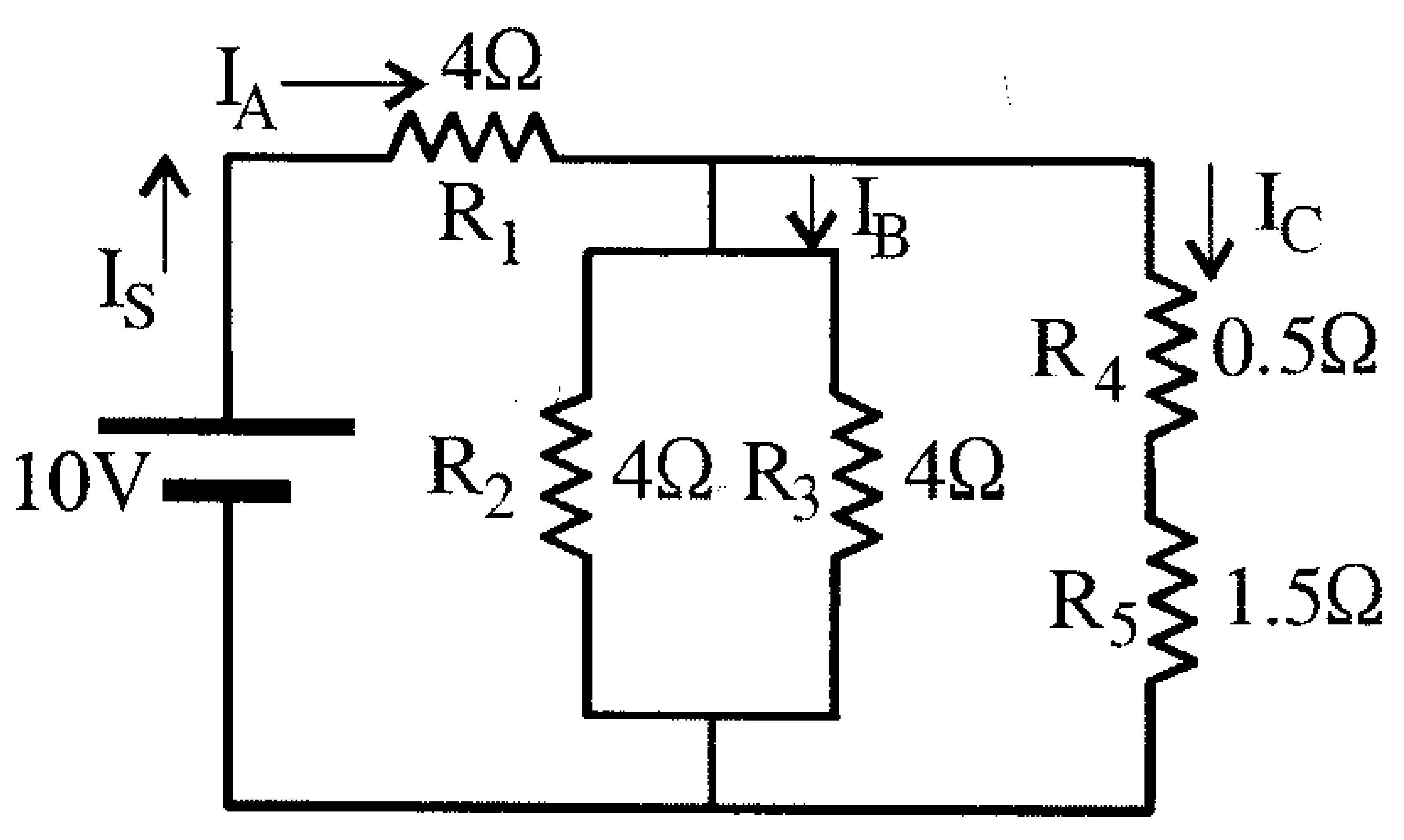


باستخدام قانون التيار لكرشوف

$$I_S = I_A = I_B + I_C$$

$$7mA = (2.333mA) + (4.667mA)$$

$$7mA = 7mA$$ (إثبات)

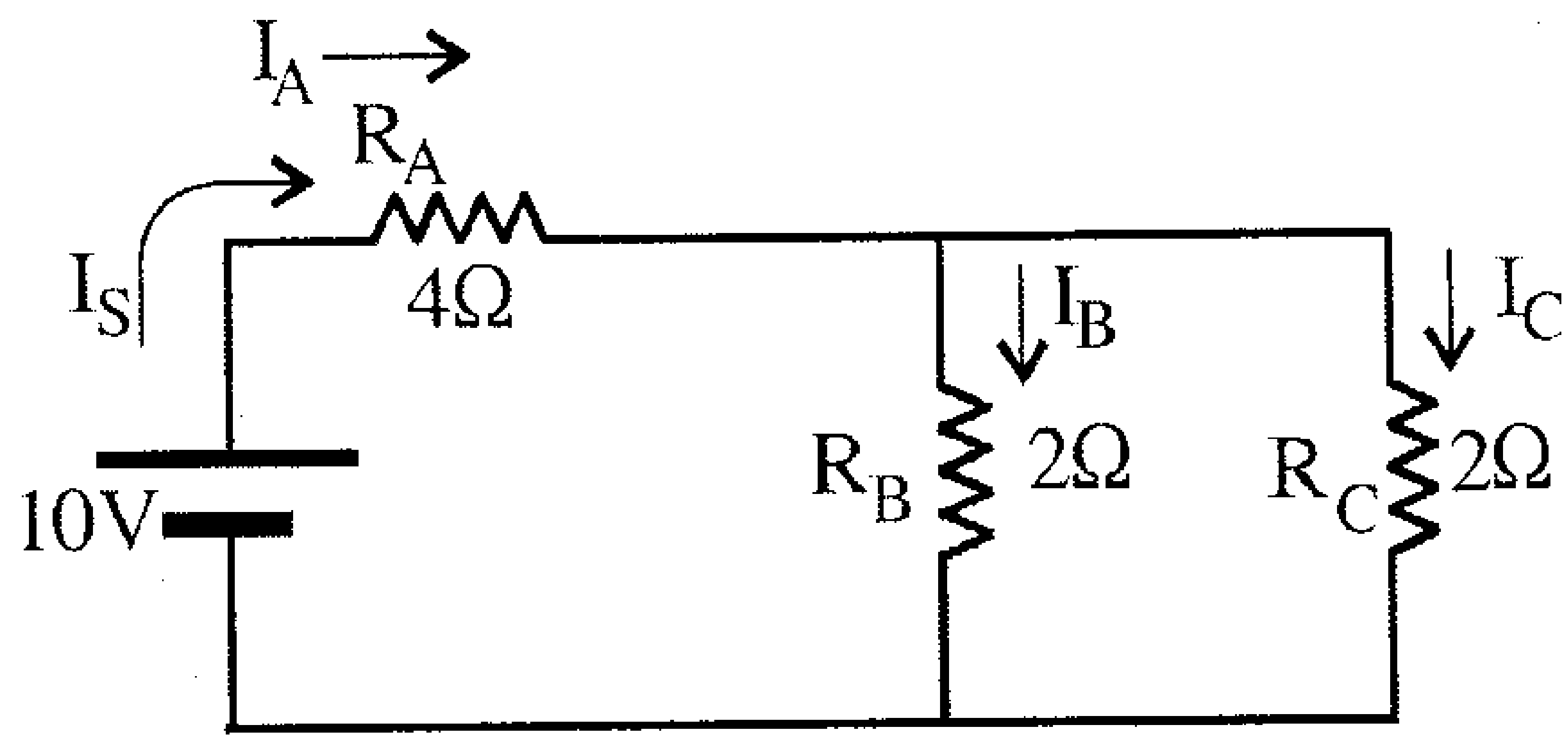


مثال2.4 : من الدائرة في الشكل التالي يمكن إيجاد تيارات وجهود المقاومات

الحـــل:

نحاول تبسيط الدائرة لتسهيل الحل كما في الرسم التالي:

$$R_A = R_1 = 4\Omega$$



$$R_B = R_2//R_3 = 4\Omega//4\Omega$$

$$R_B = 2\ \Omega$$

$$R_C = R_4 + R_5 = 0.5+1.5$$

$$R_C = 2\ \Omega$$

المقاومتان R_B و R_C على التوازي

$$\therefore \quad R_{B//C} = \frac{R}{N} = \frac{2\Omega}{2} = 1\Omega$$

المقاومة الكليــــة $\quad R_T = R_A + R_{B//C}$

$$R_T = 4\Omega + 1\Omega = 5\ \Omega \longrightarrow I_S = \frac{E}{R_T} = \frac{10V}{5\Omega} = 2A$$

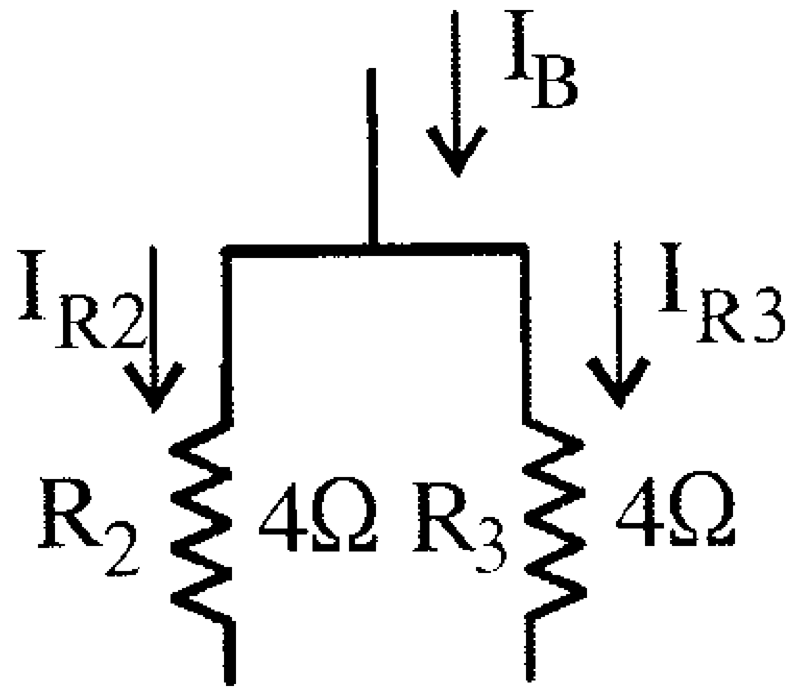
باستخدام تبسيط الدائرة يمكن إيجاد التيارات: I_C, I_B , I_A

$$I_A = I_S = 2A$$

بما أن المقاومتين R_C , R_B متساويتان في القيمة فإن التيار I_A يتجزأ بالتساوي عليهما.

$$I_B = I_C = \frac{I_A}{2} = \frac{2A}{2} = 1A$$

بالرجوع إلى الشكل الأصلي للدائرة يمكن إيجاد التيارات المارة في المقاومات R_3 , R_2



$$I_{R_2} = I_{R_3} = \frac{I_B}{2} = \frac{1A}{2} = 0.5A$$

الجهود V_C,V_B,V_A يمكن إيجادها كالتالي:

$$V_A = I_A R_A = (2A)\,(4\Omega) = 8V$$

$$V_B = I_B R_B = (1A)\,(2\Omega) = 2V$$

$$V_C = I_C R_C = (1A)\,(2\Omega) = 2V$$

نستخدم قانون كرشوف للجهد لإثبات صحة الحل:-

المســـار: $\sum_{\circlearrowright} V = 0$

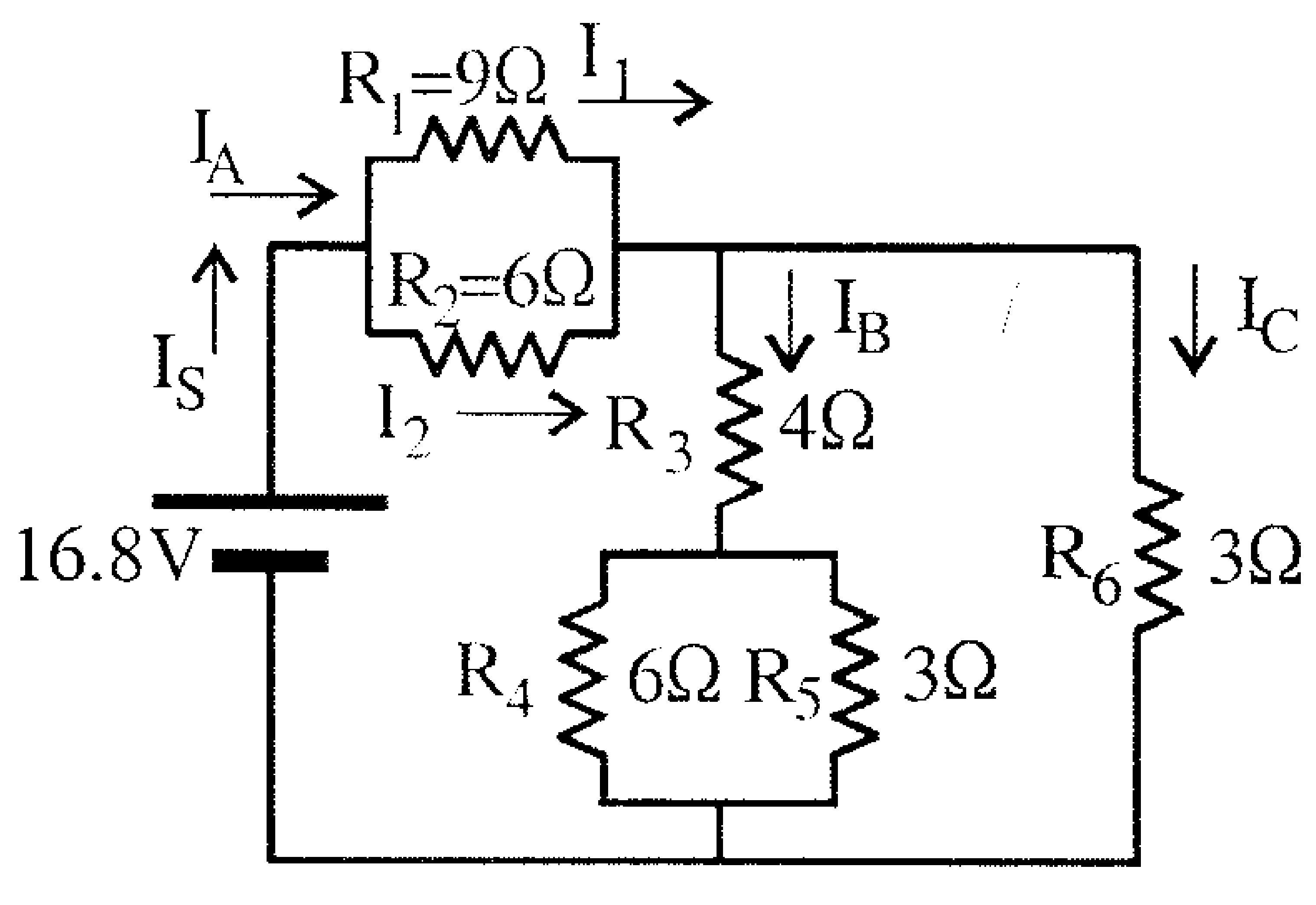
$$E - V_A - V_B = 0$$

$$10 - 8 - 2 = 0$$

$$10 - 10 = 0$$
$$0 = 0$$

مثال3.4:

من الدائرة بالشكل أحسب التيارات والجهود للمقاومات



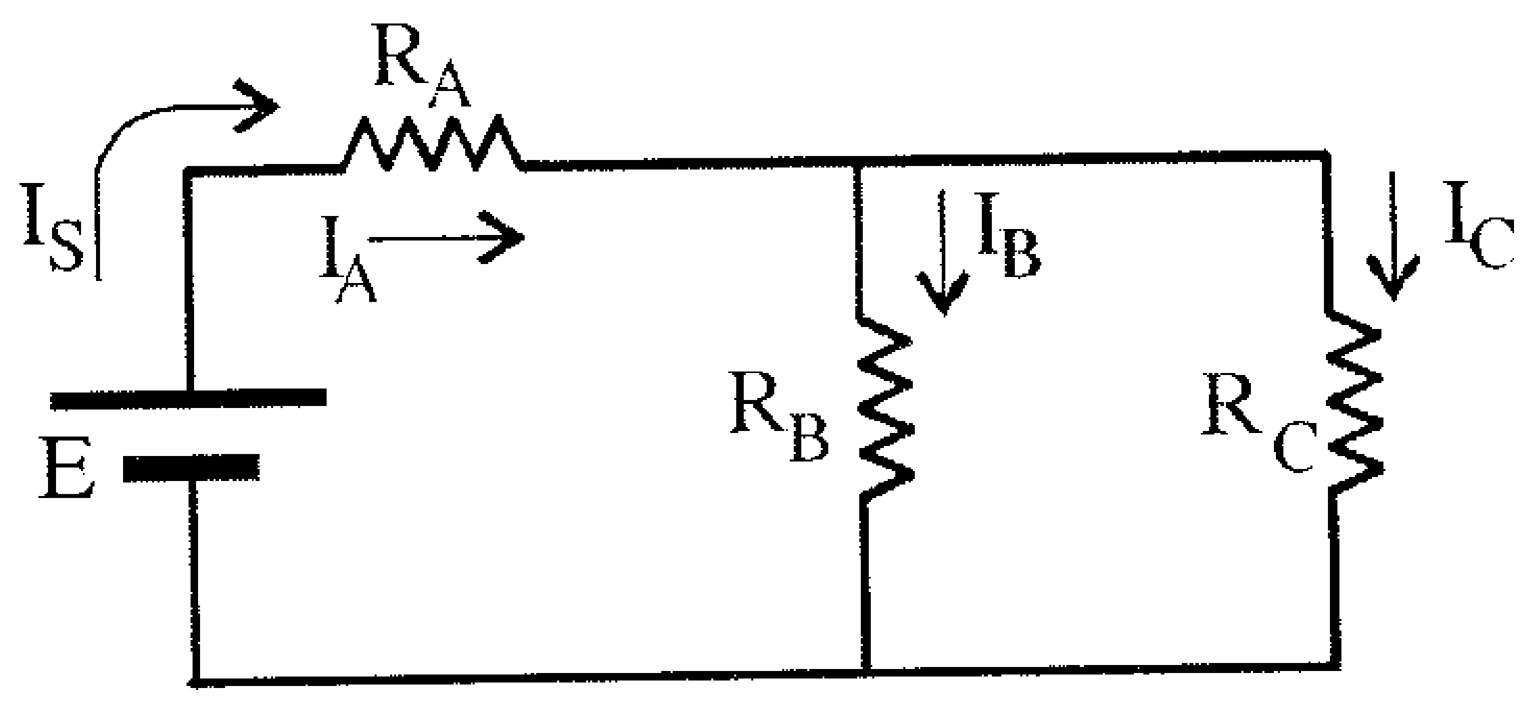
الحـــل:

$$R_A = R_{1//2} = \frac{(9)(6)}{9+6} = \frac{54}{15} = 3.6\Omega$$

$$R_B = R_3 + R_{4//5} = 4\Omega + \frac{(6)(3)}{6+3} = 4 + 2 = 6\Omega$$

$R_c = 3\Omega$

وبهذا أمكن اختزال الدائرة كالتالي:



وإيجاد المقاومة الكلية

$$\therefore R_T = R_A + R_{B // C}$$

$$R_T = 3.6 + \frac{(6)(3)}{6+3} = 3.6 + 2 = 5.6\Omega$$

$$I_A = I_S = \frac{E}{R_T} = \frac{16.8V}{5.6\Omega} = 3A$$

باستخدام (CDR) :

$$I_B = \frac{R_C\, I_A}{R_C + R_B} = \frac{(3\Omega)(3A)}{3\Omega + 6\Omega} = \frac{9}{9} = 1A$$

باستخدام (KCL) :

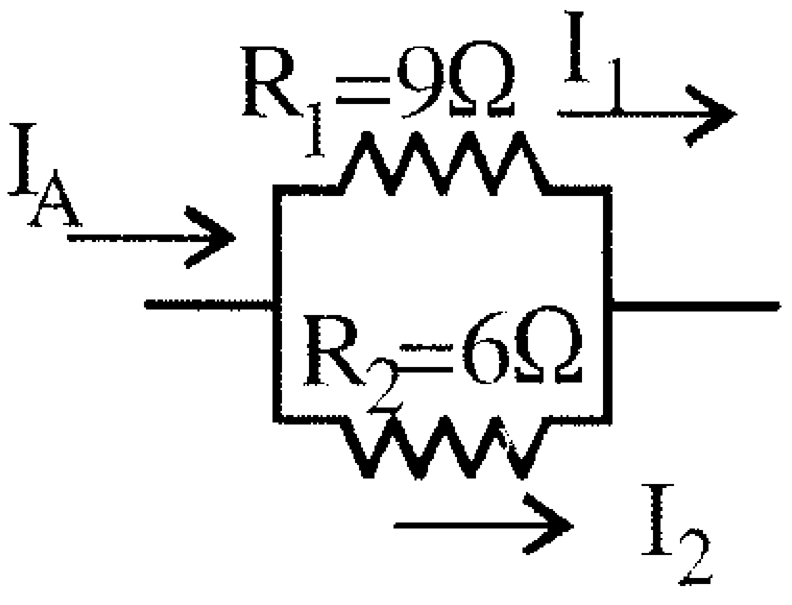
$$I_A = I_B + I_C$$

$$\therefore \quad I_C = I_A - I_B = 3A - 1A = 2A$$

باستخدام قانون أوم :

$$V_A = I_A R_A = (3A)(3.6\Omega) = 10.8V$$

$$V_B = I_B R_B = V_C = I_C R_C = (2A)\ (3\Omega) = 6V$$



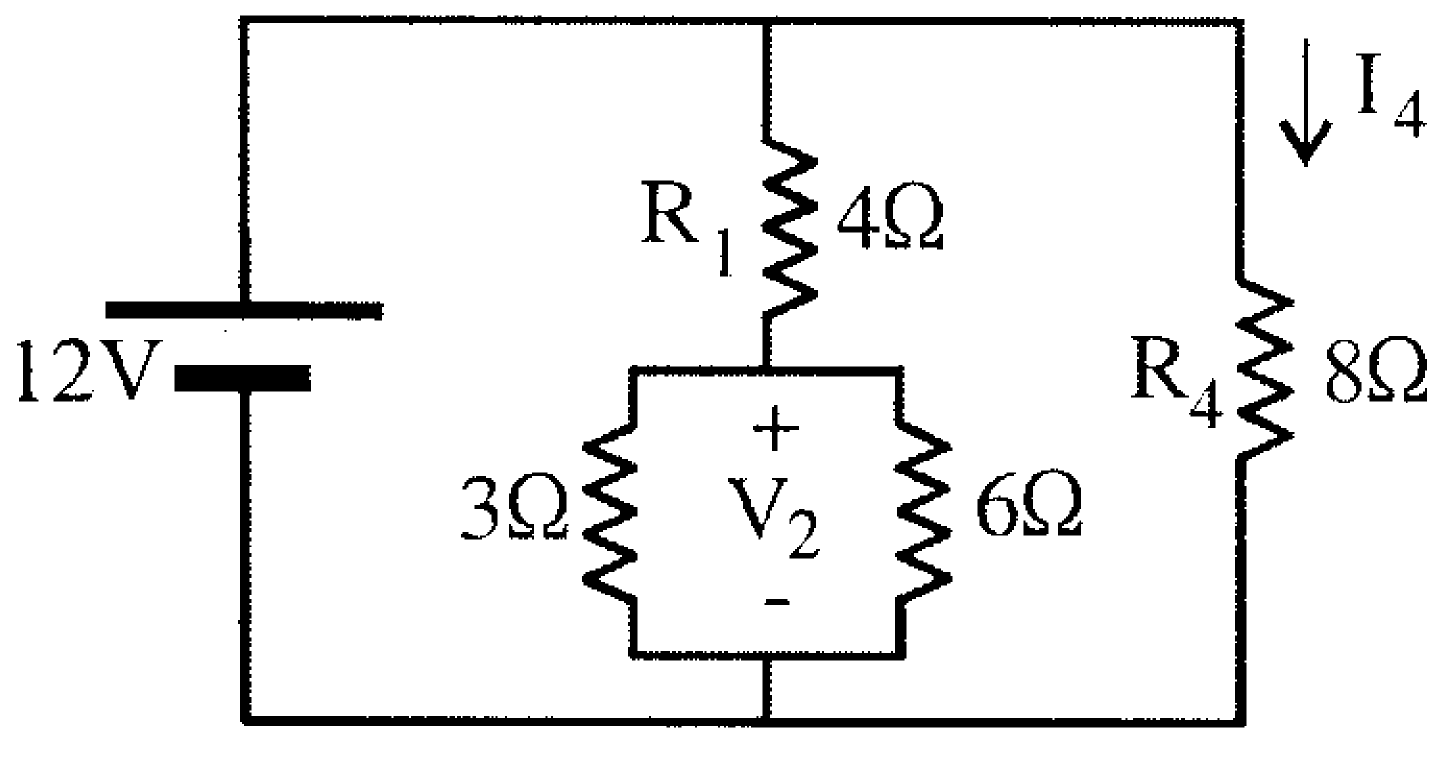
من الدائرة الأصلية وباستخدام (CDR) يمكن إيجاد التيارين I_2 و I_1

$$I_1 = \frac{R_2 I_A}{R_1 + R_2} = \frac{(6\Omega)(3A)}{9\Omega + 6\Omega} = \frac{18}{15} = 1.2A$$

باستخدام (KCL):

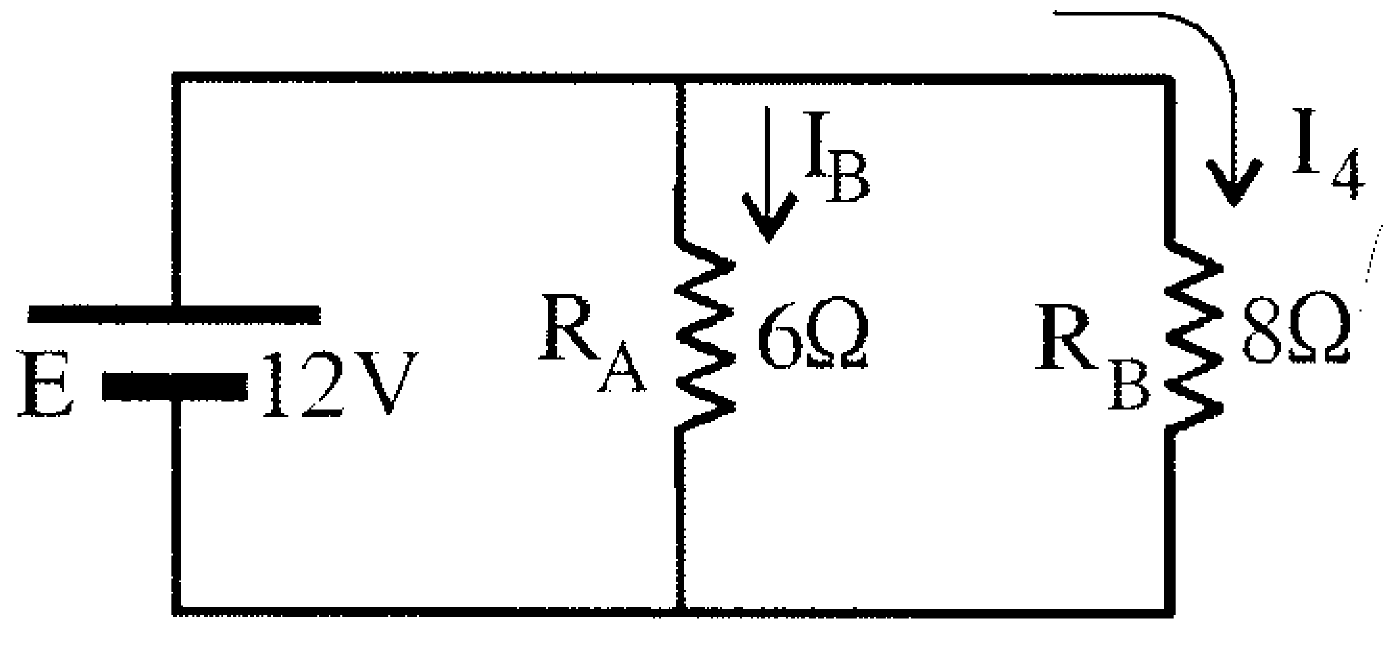
$$I_2 = I_A - I_1 = 3A - 1.2A = 1.8A$$

مثال4.4: للدائرة بالشكل أوجد V_2 و I_4



الحــل: يمكن اختزال الدائرة كالتالي

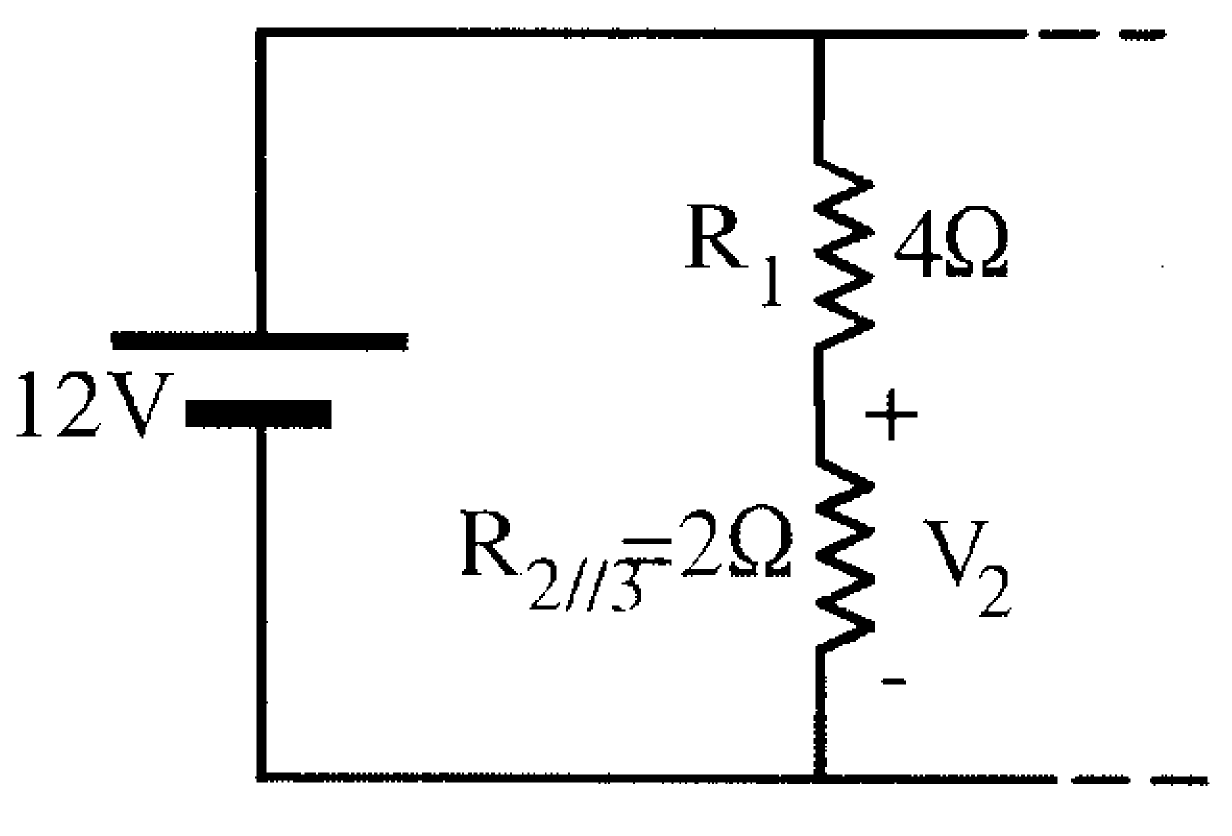
الجهود المتساوية في حالة التوازي



$$E = V_A = V_B = 12V$$

$$I_4 = \frac{V_B}{R_B} = \frac{E}{R_B} = \frac{12V}{8\Omega} = 1.5A$$

الجزء الأوسط من الدائرة الذي يحتوى على R_3, R_2, R_1 يمكن رسمه كالتالي:



$$R_{2//3} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = \frac{18}{9} = 2\Omega$$

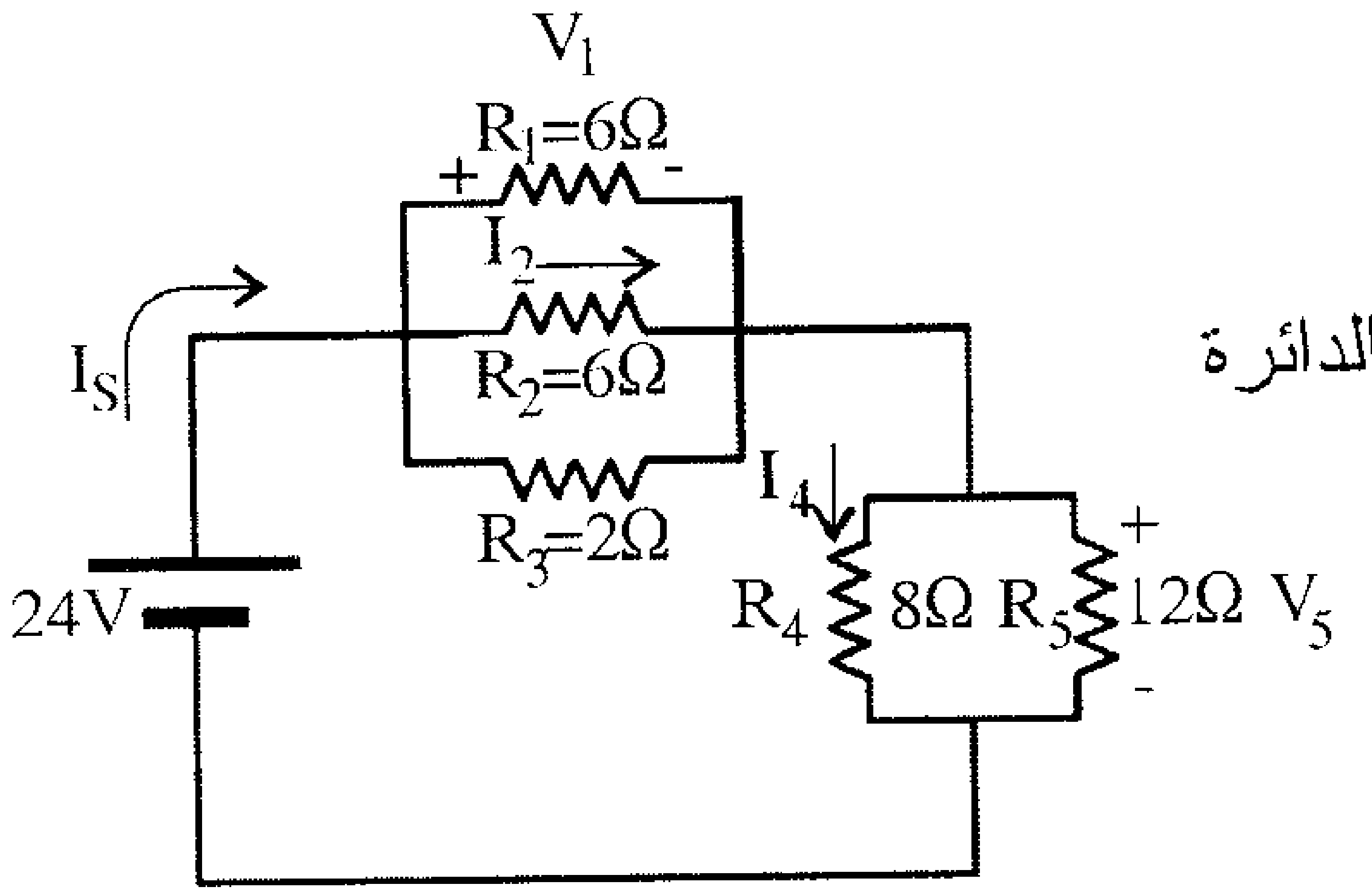
باستخدام (VDR) :

$$V_2 = \frac{R_{2//3}\,E}{R_{2//3} + R_1} = \frac{(2)(12)}{2+4}$$

$$\therefore \quad V_2 = \frac{24}{6} = 4V$$

مثال5.4:

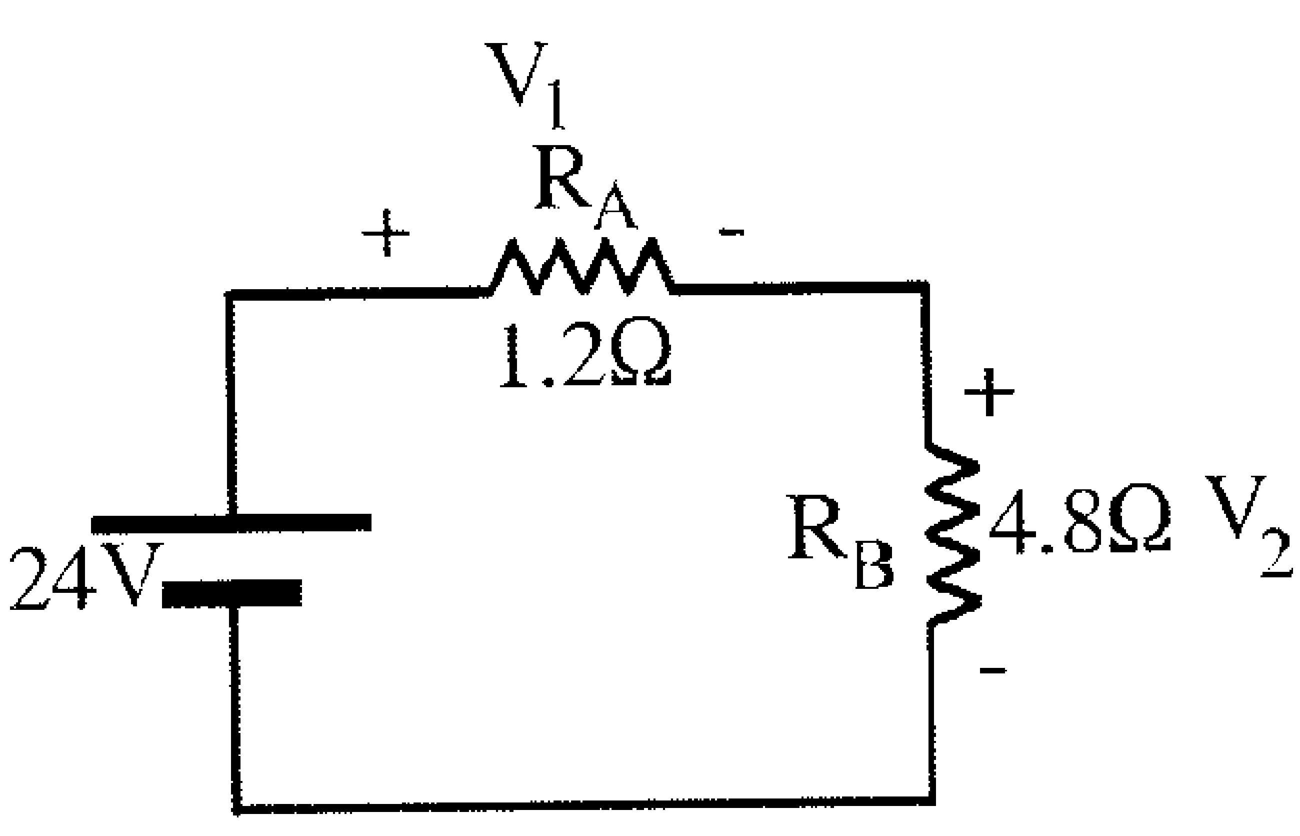
أوجد التيارات والجهود المجهولة في الدائرة التالية:



الحـــل:

$R_A = R_{1//2//3}$, $R_1//R_2 = 3\Omega$

$$R_A = \frac{3\times 2}{3+1} = \frac{6}{5} = 1.2\Omega$$



$$R_B = R_{4//5} = \frac{8\times 12}{8+12} = \frac{96}{20} = 4.8\Omega$$

$$R_T = R_A + R_B$$

$$R_T = 1.2\Omega + 4.8\Omega = 6\Omega$$

$$I_S = \frac{E}{R_T} = \frac{24}{6} = 4A$$

$$V_1 = I_S\,R_A = (4A)\,(1.2\Omega) = 4.8V$$

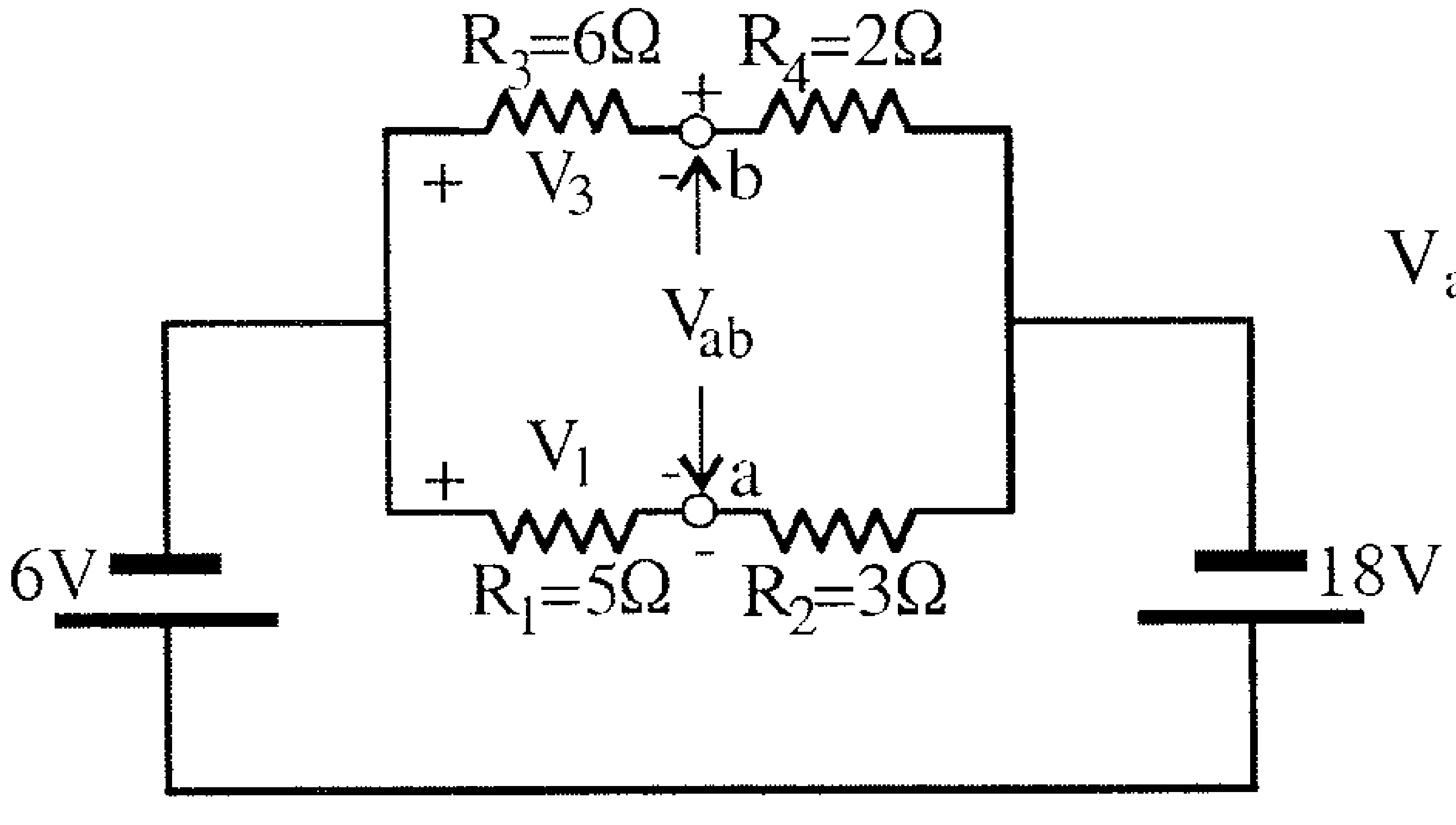
$$V_5 = I_S R_B = (4A)(4.8\Omega) = 19.2V$$

باستخدام قانون أوم في الدائرة الأصلية:

$$I_4 = \frac{V_5}{R_4} = \frac{19.2V}{8\Omega} = 2.4A$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{V_1}{R_2} = \frac{4.8V}{6\Omega} = 0.8A$$

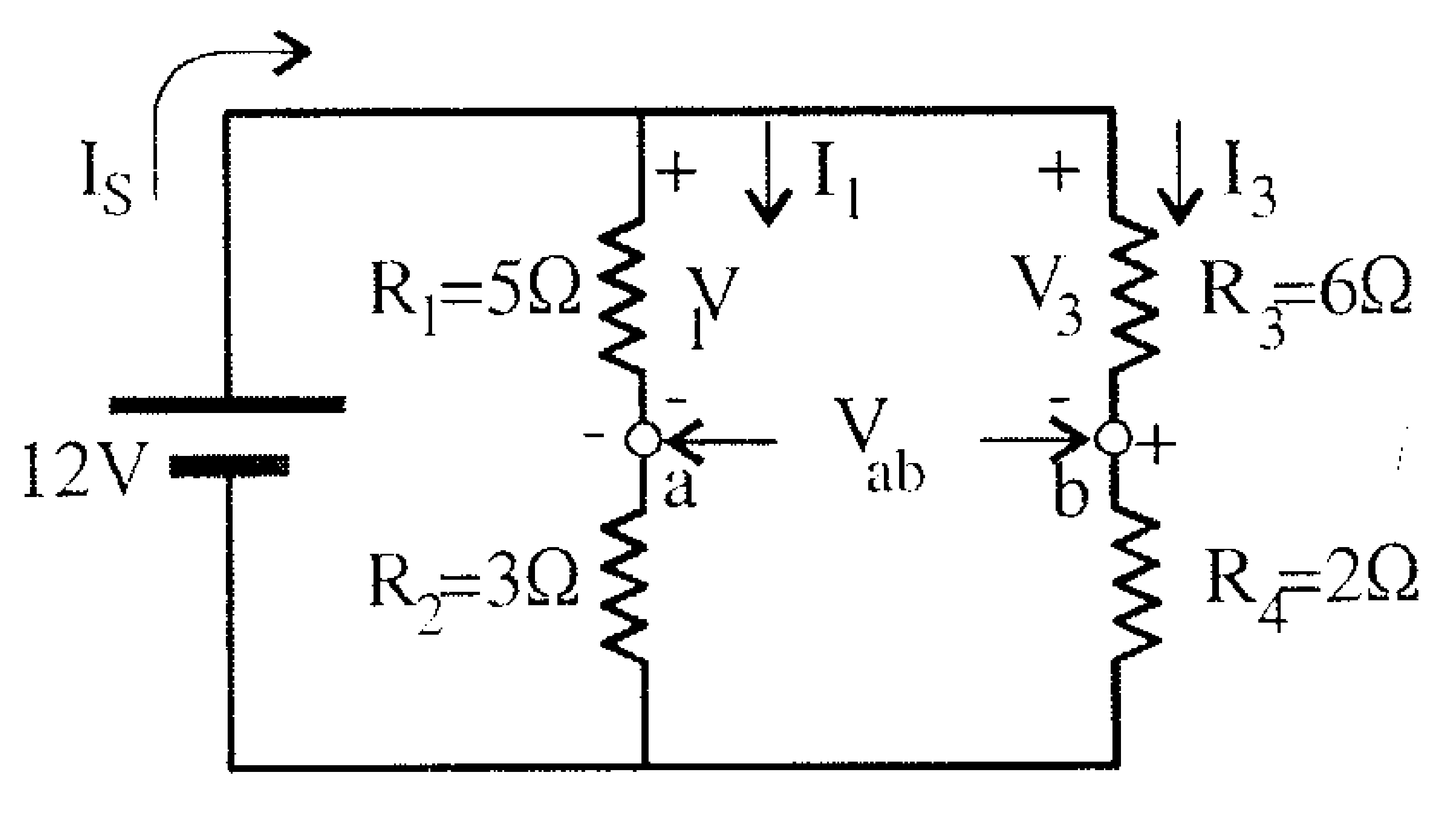
مثال 6.4:



1- أوجد الجهود V_{ab}, V_3, V_1

2- احسب تيار المصدر I_S

الحــل:



نجمع مصادر الجهد E_2 و E_1

ونعيد رسم الدائرة:

$$E = E_2 - E_1$$

$$= 18V - 6V = 12V$$

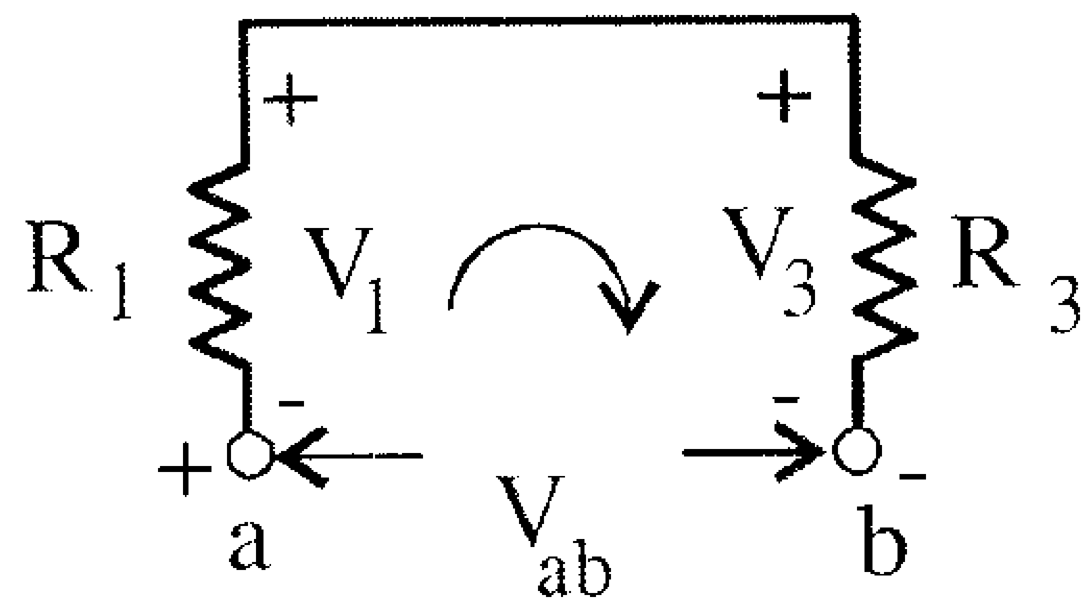
باستخدام قانون مجزئ الجهد

$$V_1 = \frac{R_1 E}{R_1 + R_2} = \frac{(5)(12)}{5+3} = \frac{60}{8} = 7.5V$$

$$V_3 = \frac{R_3 E}{R_3 + R_4} = \frac{(6)(12)}{6+3} = \frac{72}{8} = 9V$$

نستخدم (KVL) في اتجاه عقارب الساعة انطلاقا من النقطة (a)

$$+V_1 - V_3 + V_{ab} = 0$$



$$V_{ab} = V_3 - V_1$$

$$V_{ab} = 9V - 7.5V = 1.5V$$

وباستخدام قانون أوم

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{7.5V}{5\Omega} = 1.5A$$

$$I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{9V}{6\Omega} = 1.5A$$

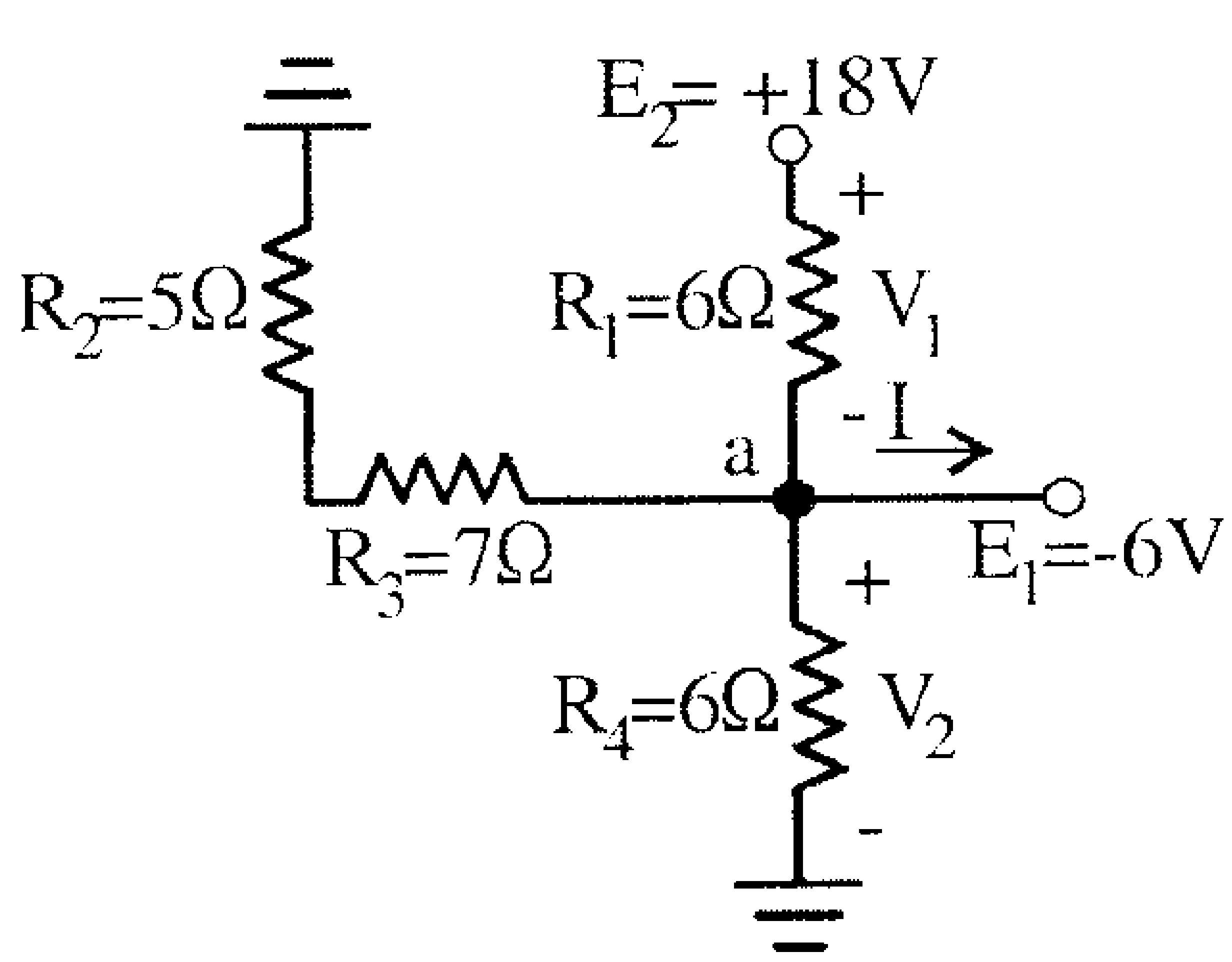
وباستخدام (KCL) :

$$I_S = I_1 + I_3$$

$$I_S = 1.5A + 1.5A = 3A$$

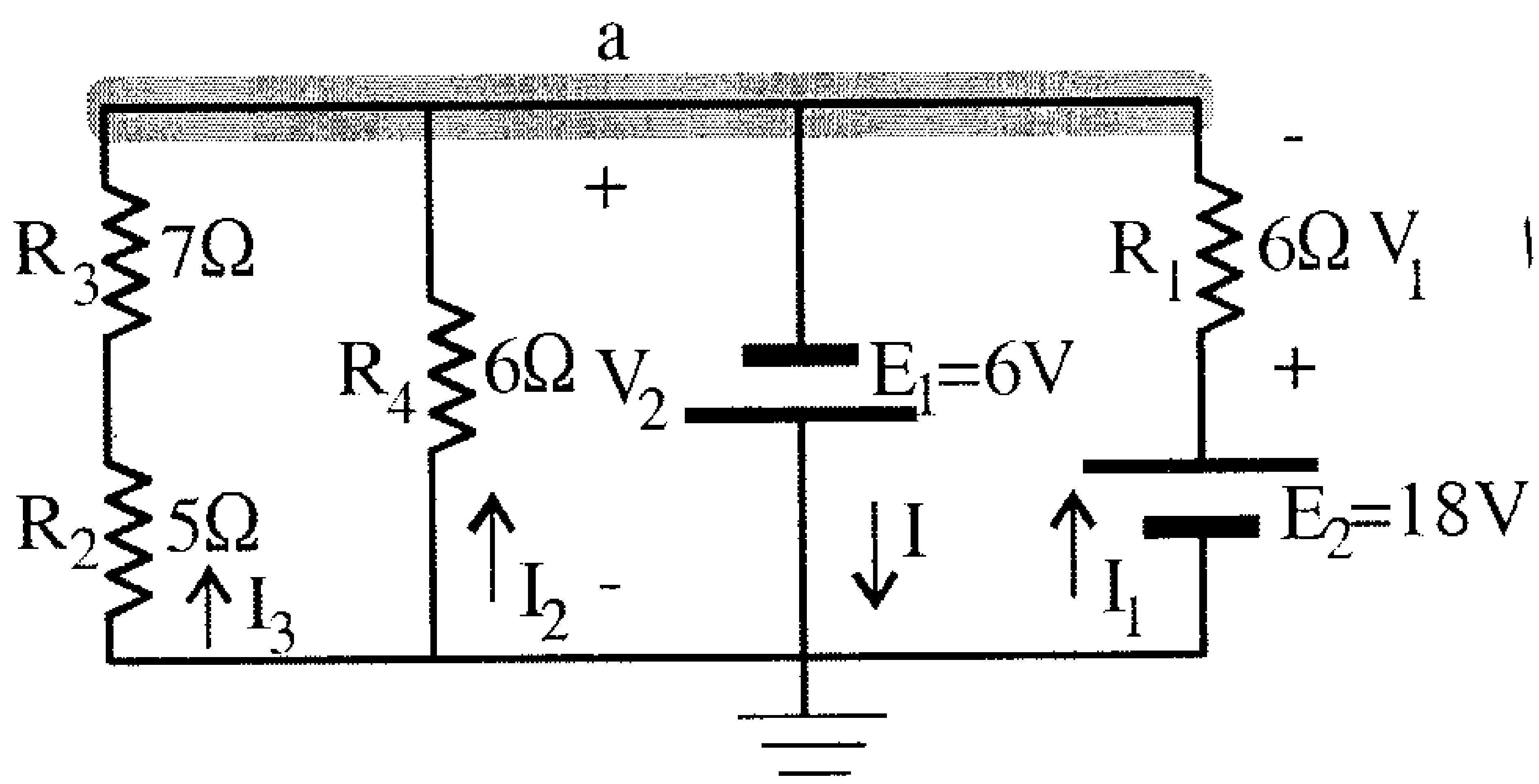
مثال7.4:

من الدائرة بالشكل التالي أوجد: I , V_2 ,V_1



الحـــل:

بالاستعانة بالوصلة الأرضية كمرجع يمكن إعادة رسم الدائرة كالتالي:



من الرسم نلاحظ أن E_1 على التوازي مع المقاومة (R_4) إذا الجهود متساوية والتيار عكس الاتجاه

$$V_2 = -E_1 = -6V$$

الإشارة السالبة تدل على أن الأقطاب عكس ما هو مفروض في الدائرة

باستخدام (KVL)

$$-E_1 + V_1 - E_2 = 0$$

$$\therefore V_1 = E_1 + E_2 = 18V + 6V = 24V$$

باستخدام (KCL) عند العقدة (a):

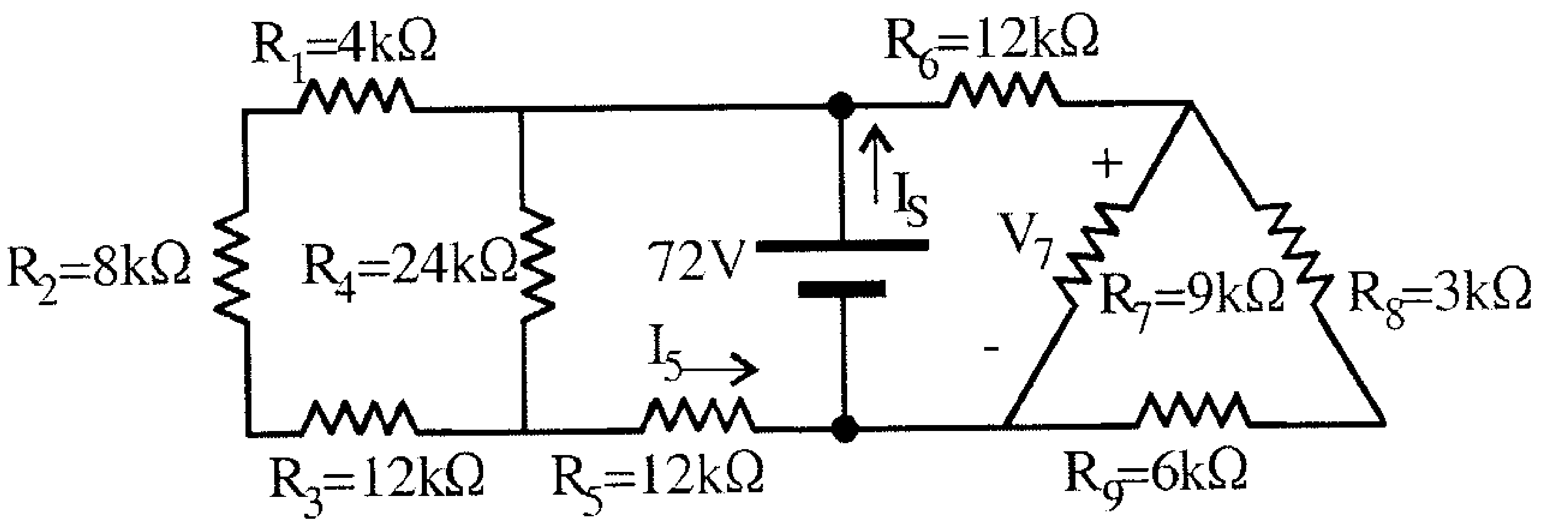
$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$= \frac{V_1}{R_1} + \frac{E_1}{R_4} + \frac{E_1}{R_2 + R_3}$$

$$= \frac{24}{6} + \frac{6}{6} + \frac{6}{12}$$

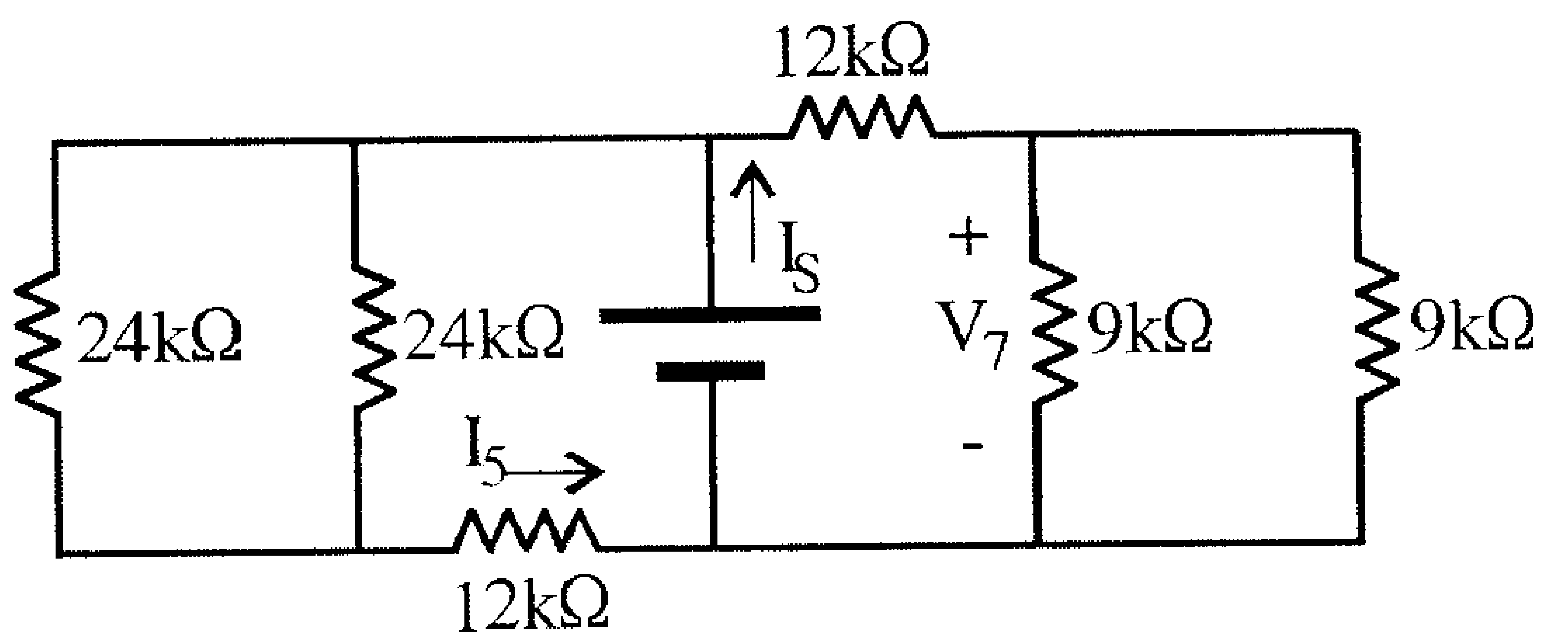
$$I = 4A + 1A + 0.5A = 5.5A$$

مثال8.4: من الدائرة بالشكل أوجد التيارين I_5 و I_S والجهد V_7 .



الحـــل:

المقاومات R_1 , R_2 , R_3 موصلة على التوالي ومحصلتها 24kΩ، المقاومتان R_9 و R_8 موصلتان على التوالي ومحصلتهما 9kΩ. بهذا يمكن إعادة رسم الدائرة كالتالي:

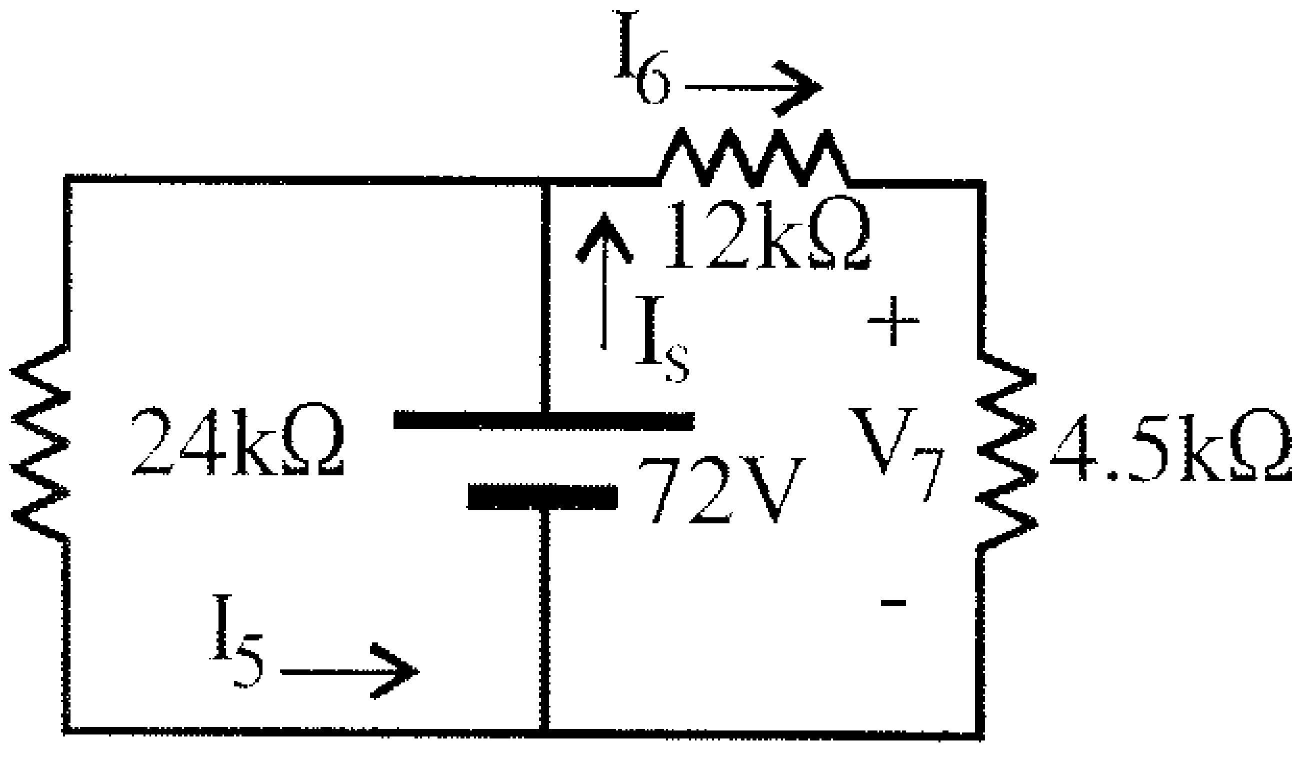


$$24k\Omega \,//\, 24k\Omega \longrightarrow 12k\Omega$$

$$12k\Omega + 12k\Omega \longrightarrow 24k\Omega$$

$$9k\Omega \,//\, 9k\Omega \longrightarrow 4.5k\Omega$$

جهد المقاومة $24k\Omega$ يساوى $72V$ بالتوازي مع مصدر الجهد



$$\therefore \quad I_5 = \frac{72V}{24k\Omega} = 3mA$$

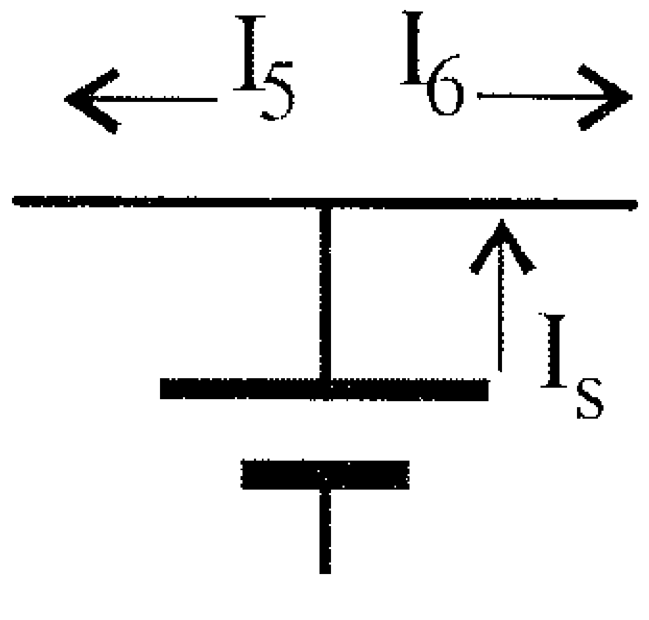
لإيجاد الجهد V_7 نستخدم قانون مجزئ الجهد

$$V_7 = \frac{(72V)(4.5k\Omega)}{4.5k\Omega + 12k\Omega} = \frac{324V}{16.5} = 19.6V$$

لإيجاد التيار I_6

$$I_6 = \frac{19.6V}{4.5k\Omega} = 4.35mA$$

لإيجاد التيار I_s (تيار المصدر) نستخدم قانون كرشوف للتيار KCL



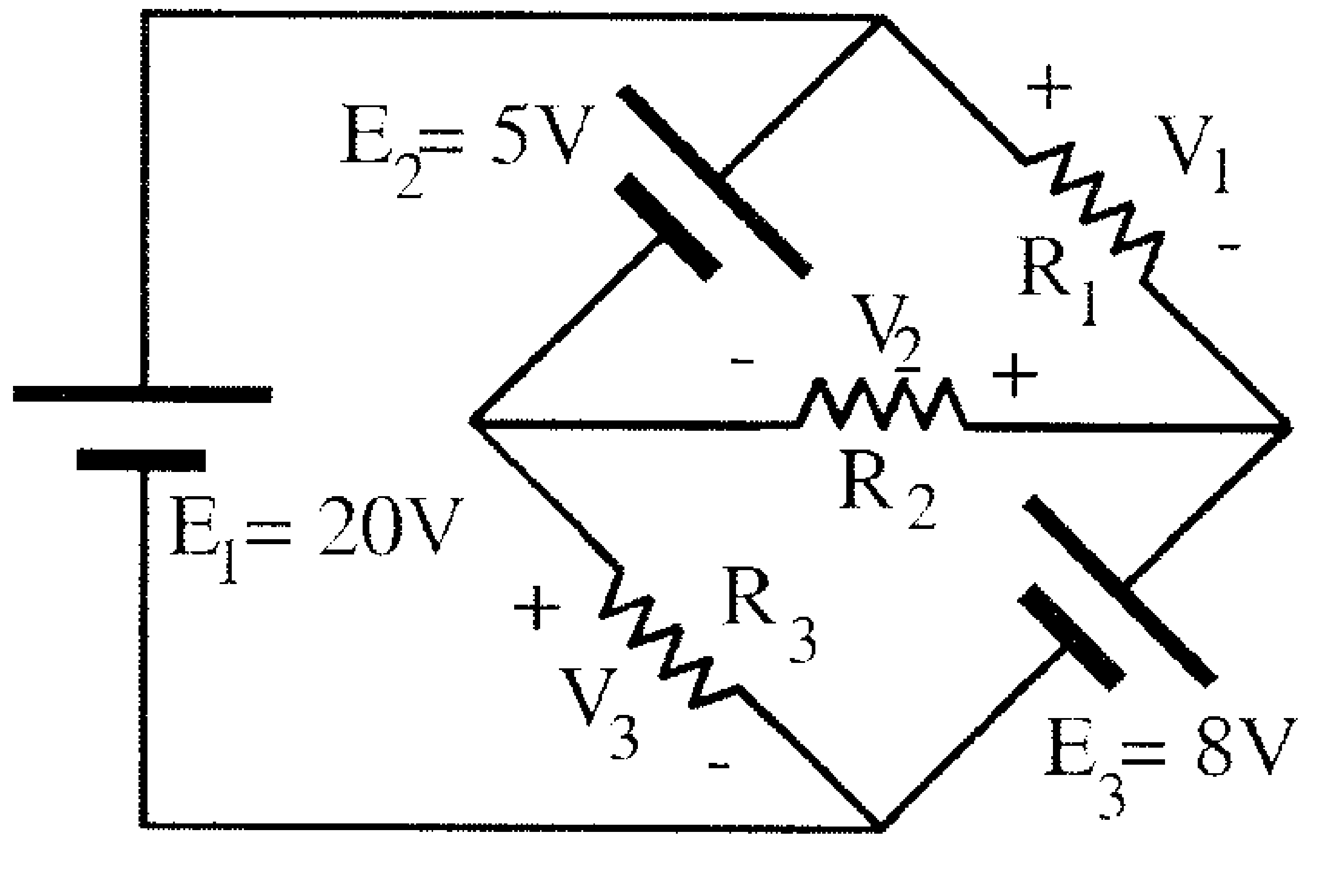
$$I_S = I_5 + I_6$$

$$= 3mA + 4.35\ mA = 7.35mA$$

مثال9.4: من الدائرة بالشكل

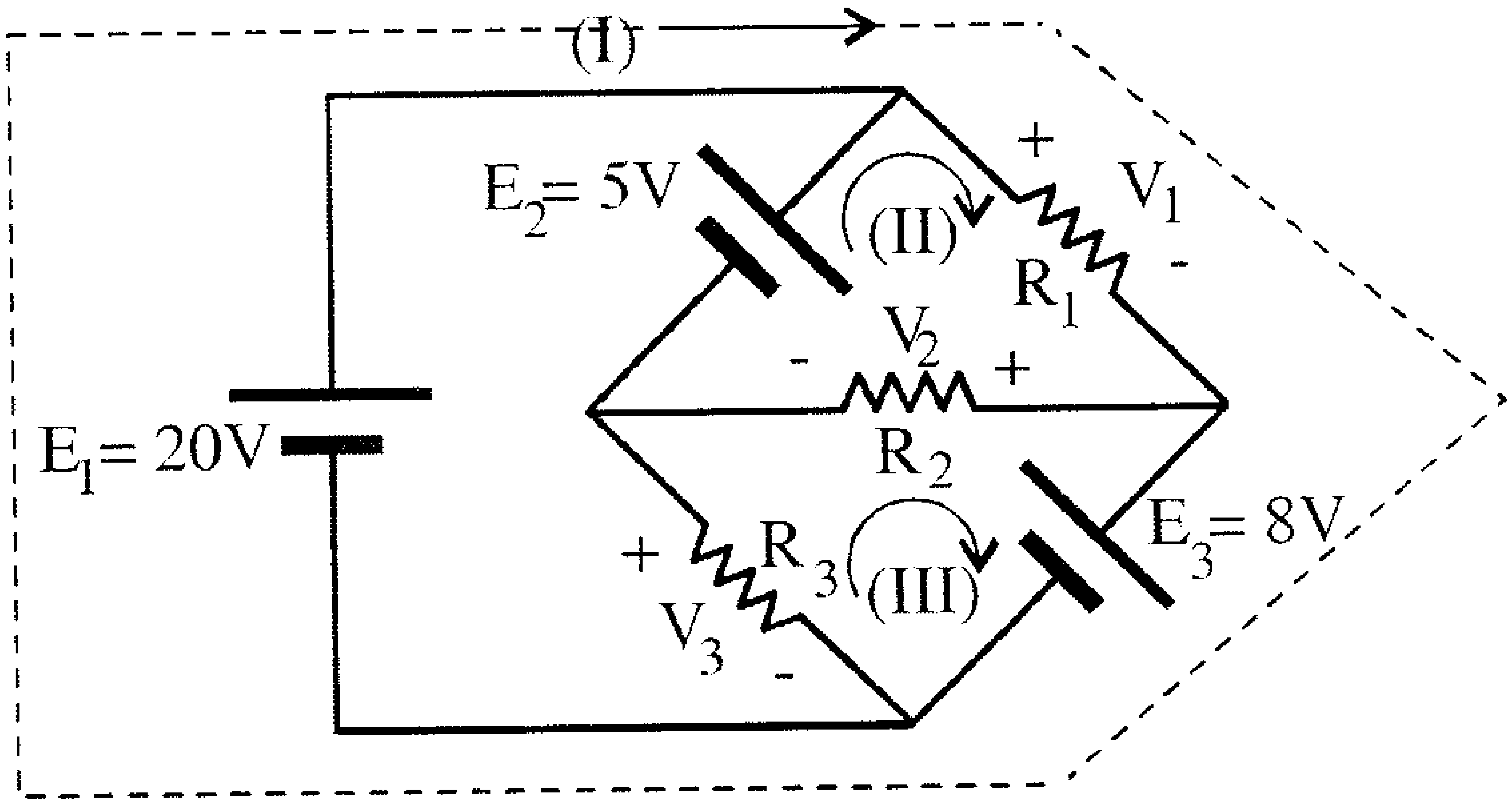
وباستخدام قانون (KVL) أوجـــد

V_3 , V_2 , V_1



الحــل:

نقسم الدائرة إلى ثلاثة مسارات كما في الشكل التالي:



المسار الخارجي (I): نطبق قانون (KVL)

$$E_1 - V_1 - E_3 = 0$$

$$V_1 = E_1 - E_3$$

$$V_1 = 20V - 8V = 12V$$

المسار الثاني (II)

$$E_2 - V_1 - V_2 = 0$$

$$V_2 = E_2 - V_1$$

$V_2 = 5V - 12V = -7V$ (الأقطاب عكـــــس ما هو بالدائرة)

المسار الثالث (III)

$$V_3 + V_2 - E_3 = 0$$

$$V_3 = E_3 - V_2$$

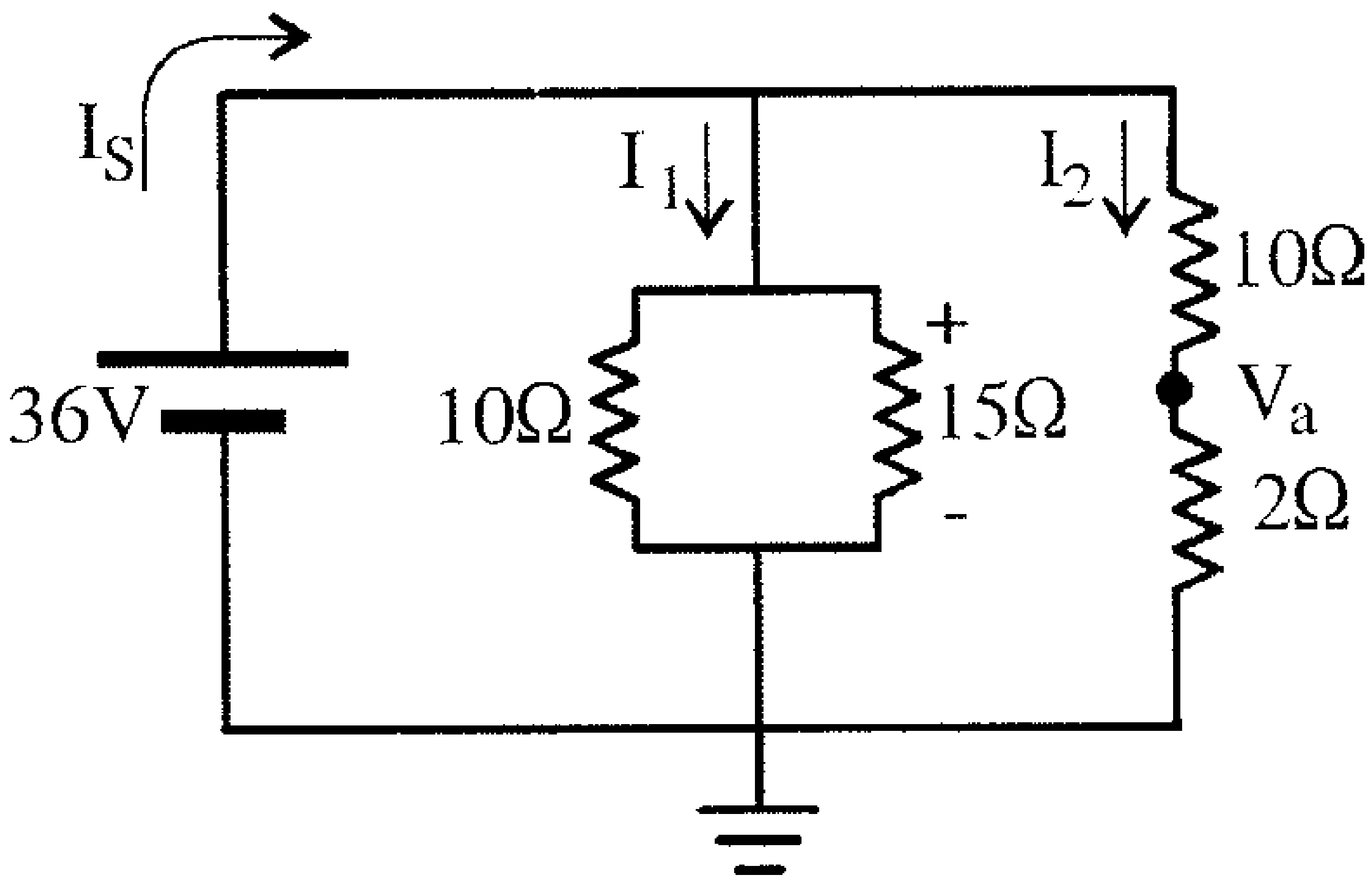
$$= 8V - (-7V)$$

$$V_3 = 8V + 7V = 15V$$

****

2.4 أمثلة متنوعة

(أ) من الدائرة بالشكل :-



1- أوجد R_T

2- أوجد I_S , I_1 , I_2

3- أحسب V_a

الحـــل:

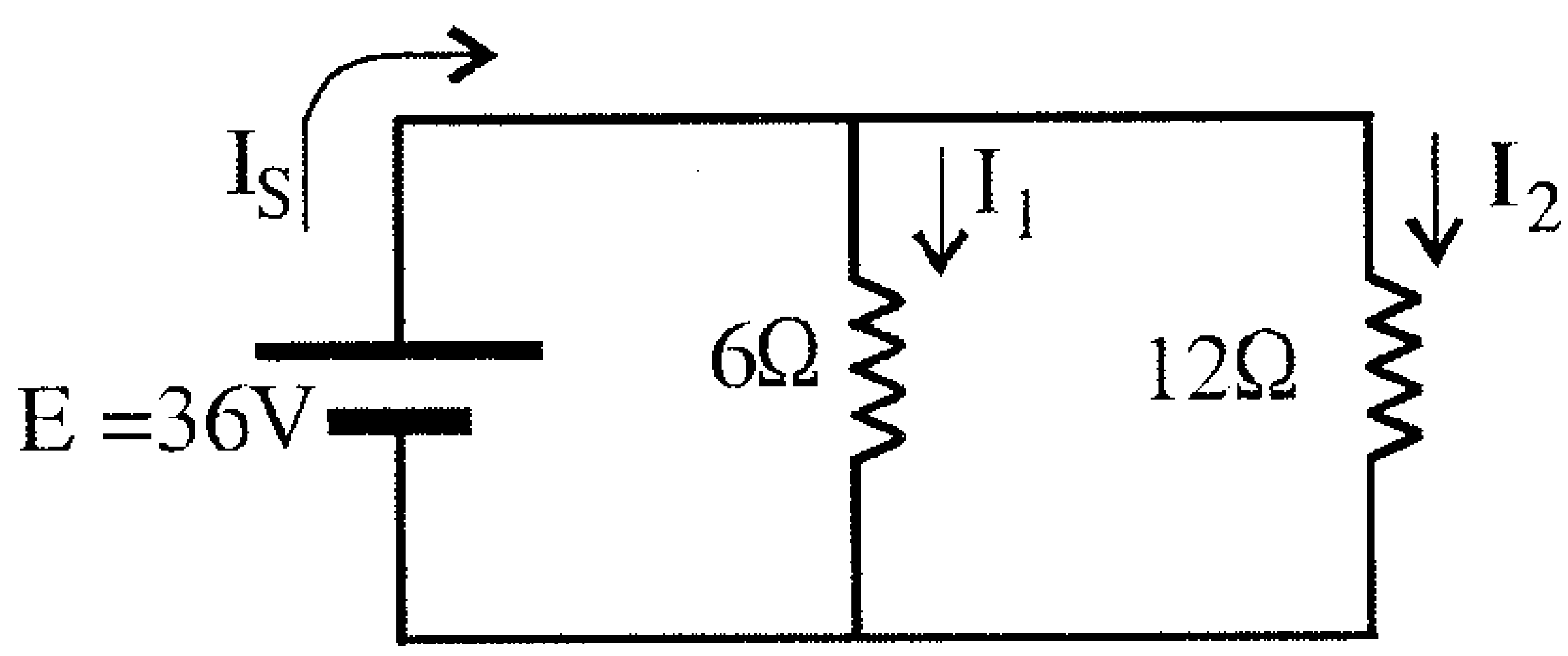
1- $10\ \Omega + 2\Omega = 12\ \Omega$ توالٍ

$6\ \Omega = 10\Omega\ //\ 15\Omega$ تواز

$R_T = 6\Omega\ //\ 12\Omega$

$$R_T = \frac{6\times 12}{6+12} = \frac{72}{18} = 4\Omega$$

-2



$$I_S = \frac{E}{R_T} = \frac{36V}{4\Omega} = 9A$$

نستخدم (CDR) لإيجاد I_1 , I_2

$$I_1 = \frac{(9A)(12\Omega)}{6\Omega + 12\Omega} = 6A$$

$$I_2 = \frac{(9A)(6\Omega)}{6\Omega + 12\Omega} = 3A$$

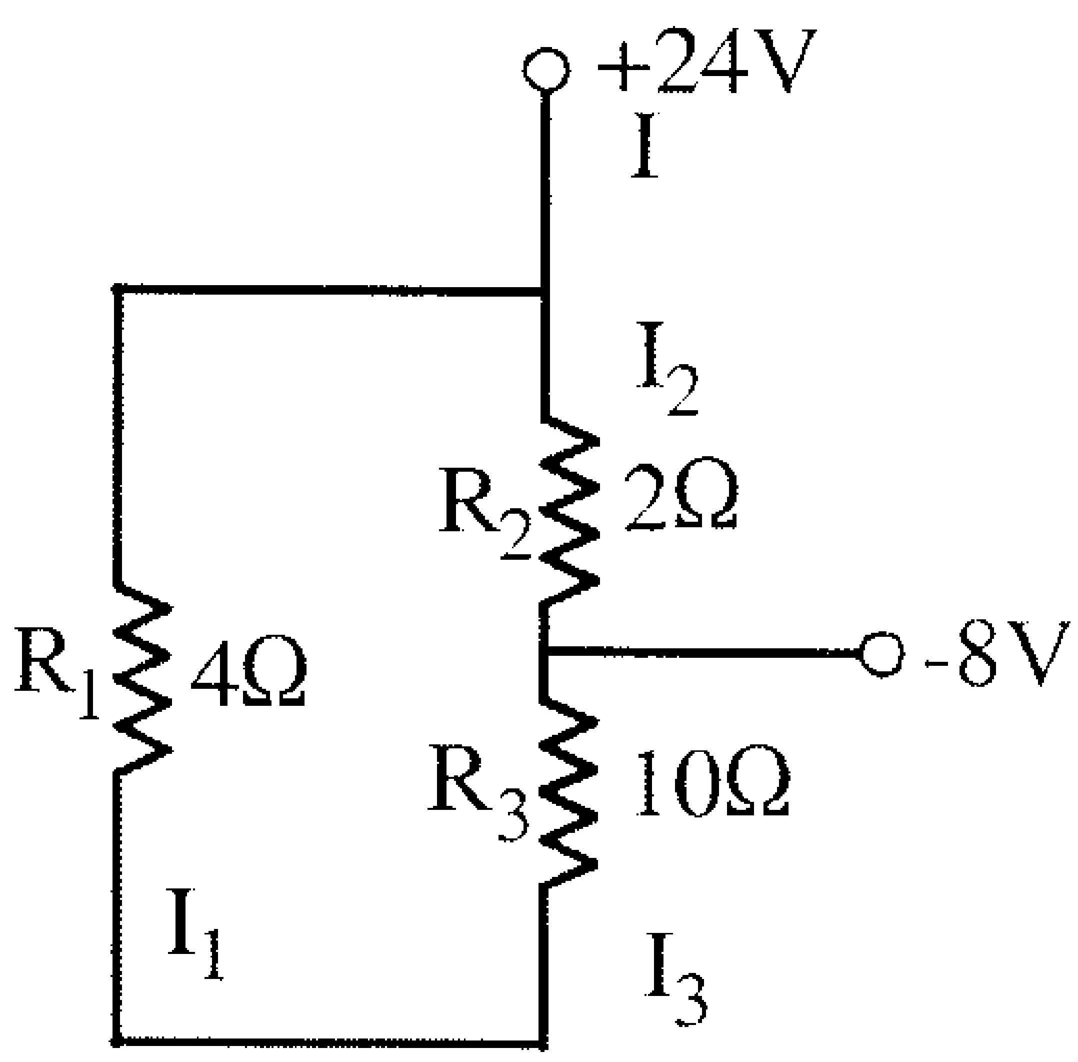
3- التيار المار في المقاومة (2Ω) هو I_2

جهد المقاومة (2Ω) هو جهد (V_a)

$$V_a = (2\ \Omega)(3A) = 6V$$

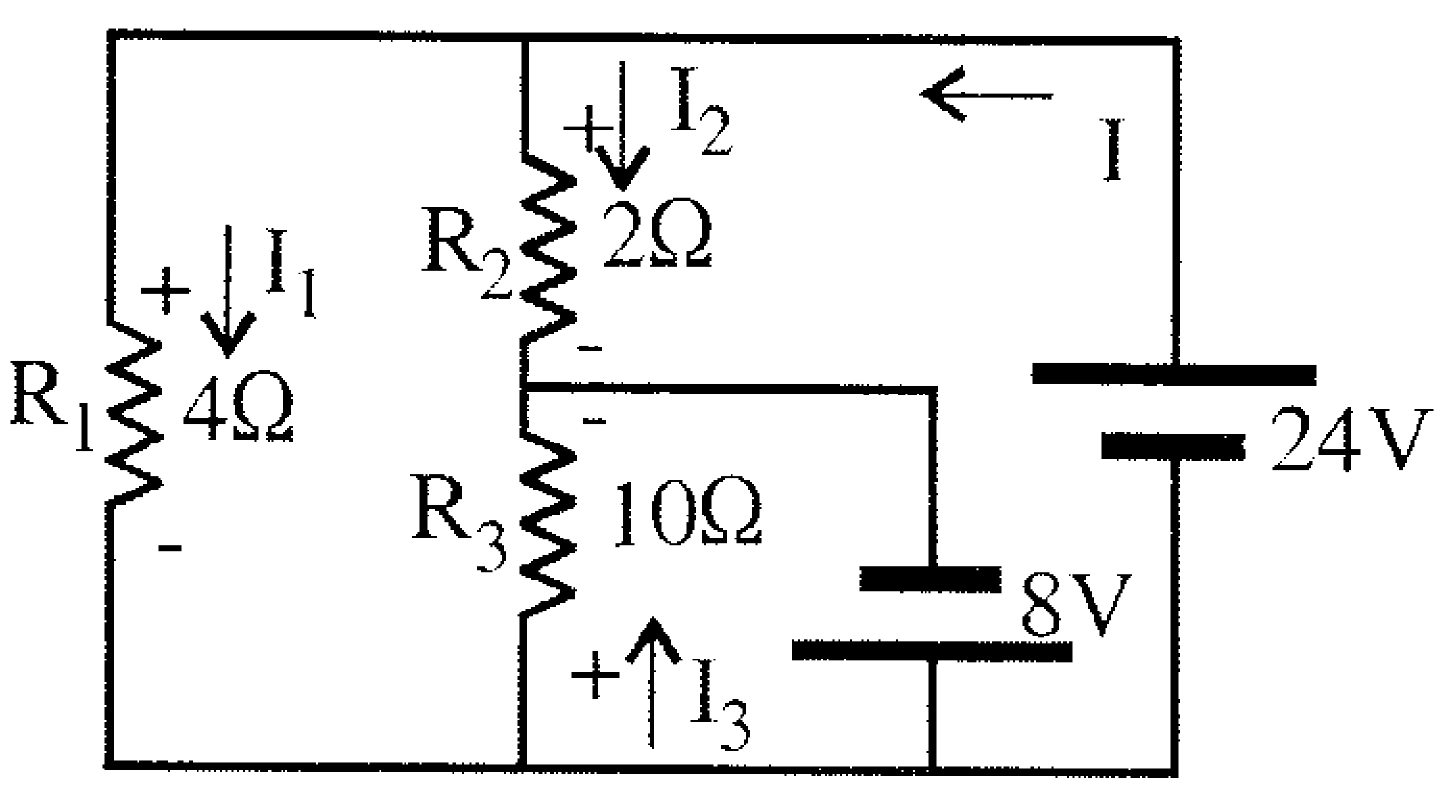
(2) من الدائرة بالشكل التالي أوجد قيمة التيارات:

I , I_1 , I_2 , I_3 وكذلك اتجاه كل منها.



الحـــل:

يمكن إعادة رسم الدائرة لتبسيط الحـــــل



باستخدام (KVL)

$$V_{2\Omega} - 24V - 8V = 0$$

$$V_{2\Omega} = 32V$$

$$I_2 = \frac{32V}{2\Omega} = 16A$$

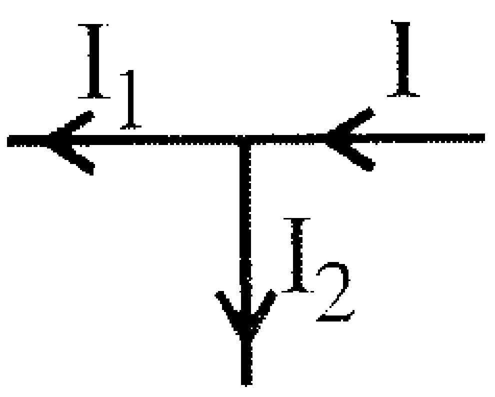
جهد المقاومة $(10\ \Omega)$ يـــساوى جهد المصدر $(8V)$ بالتوازي

$$\therefore \quad I_3 = \frac{8V}{10\Omega} = 0.8A$$

جهد المقاومة (4Ω) يساوى جهد المصدر $(24V)$ بالتوازي

$$\therefore \quad I_1 = \frac{24}{4} = 6A$$

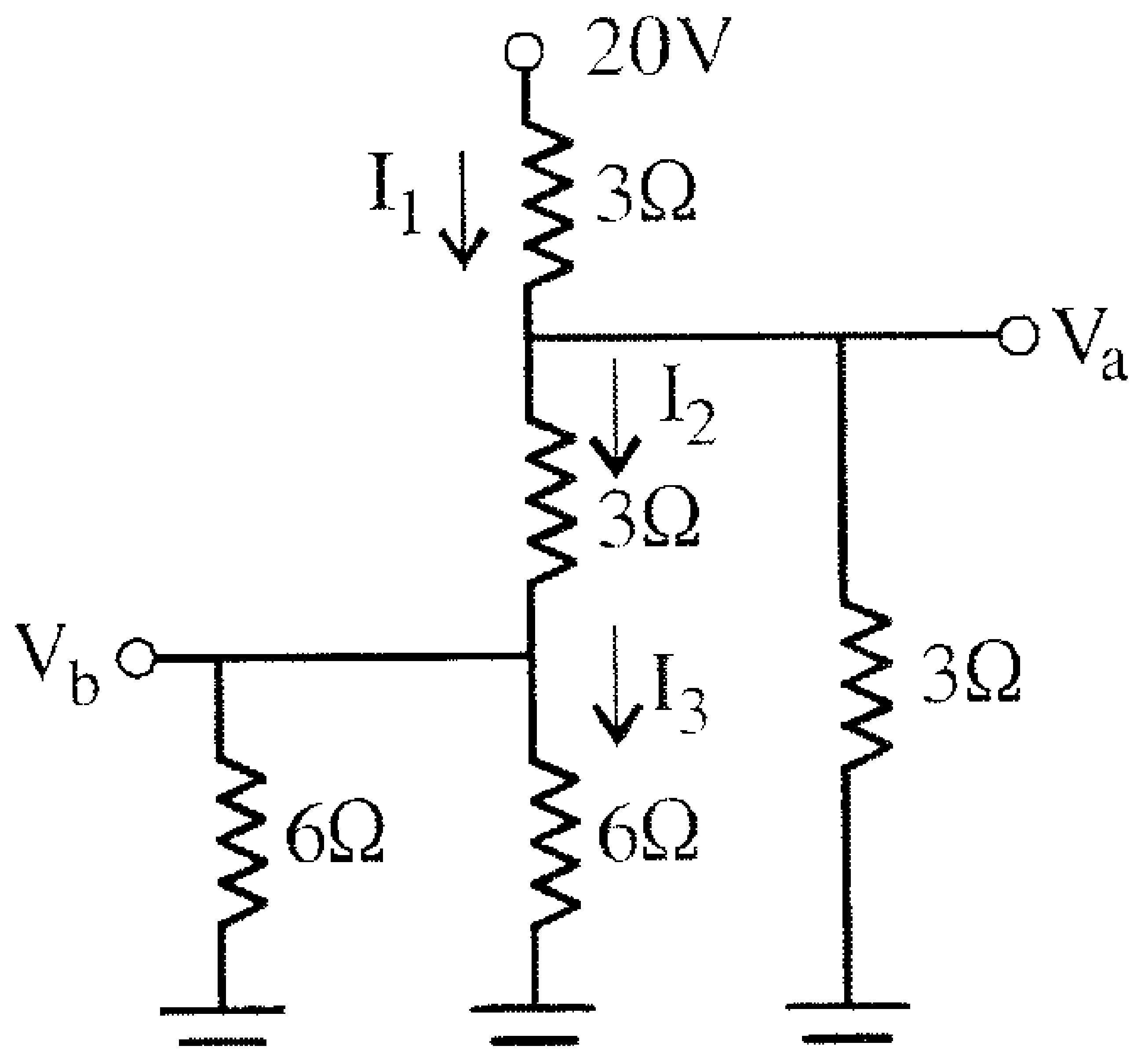
باستخدام قانون (KCL)



$$I = I_1 + I_2$$

$$I = 6A + 16A = 22A$$

(3) من الدائرة في الشكل التالي:



1- أوجد التيار I_1

2- أوجد التيارين I_3 و I_2

3- الجهد V_a, V_b

الحـــل:

1- لإيجاد تيار المصدر I_1 يجب حـــساب المقاومة الكلية

$$6\Omega \,//\, 6\Omega \longrightarrow 3\Omega$$
$$3\Omega + 3\Omega \longrightarrow 6\Omega$$
$$3\Omega \,//\, 6\Omega \longrightarrow 2\Omega$$

$$R_T = 2\,\Omega + 3\,\Omega = 5\,\Omega$$

$$I_1 = \frac{E}{R_T} = \frac{20V}{5\Omega} = 4A$$

2- باستخدام (CDR) نحصل على I_3 و I_2

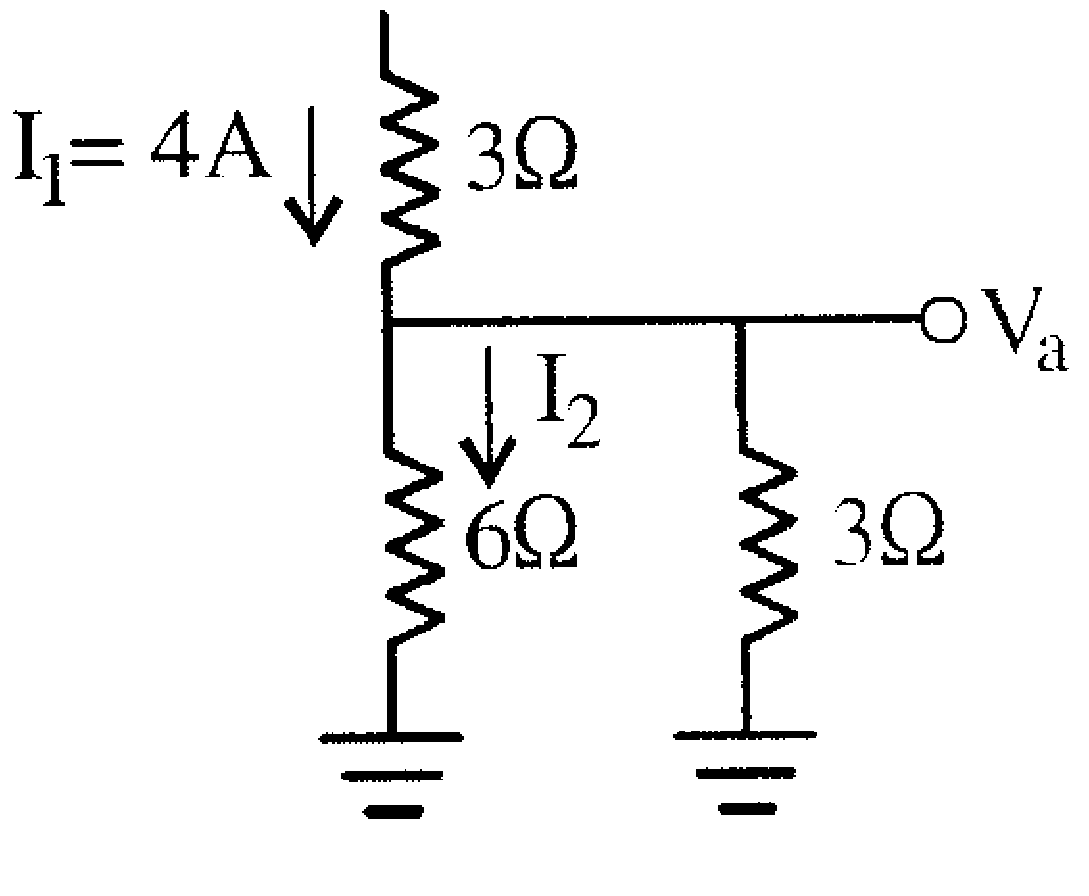
$$I_2 = \frac{(4A)(3\Omega)}{6\Omega + 3\Omega} = \frac{12}{9} = 1.333A$$

$$I_3 = \frac{1.333A}{2} = 0.6665A$$

لأن التيار I_2 يتجزأ بالتساوي على المقاومتين المتساويتين ($6\ \Omega$) و ($6\ \Omega$)

3- من الدائرة المختزلة (1) نلاحظ أن

الجهد (V_a) يساوى جهد المقاومة ($3\ \Omega$) والمقاومة ($6\ \Omega$) بالتوازي

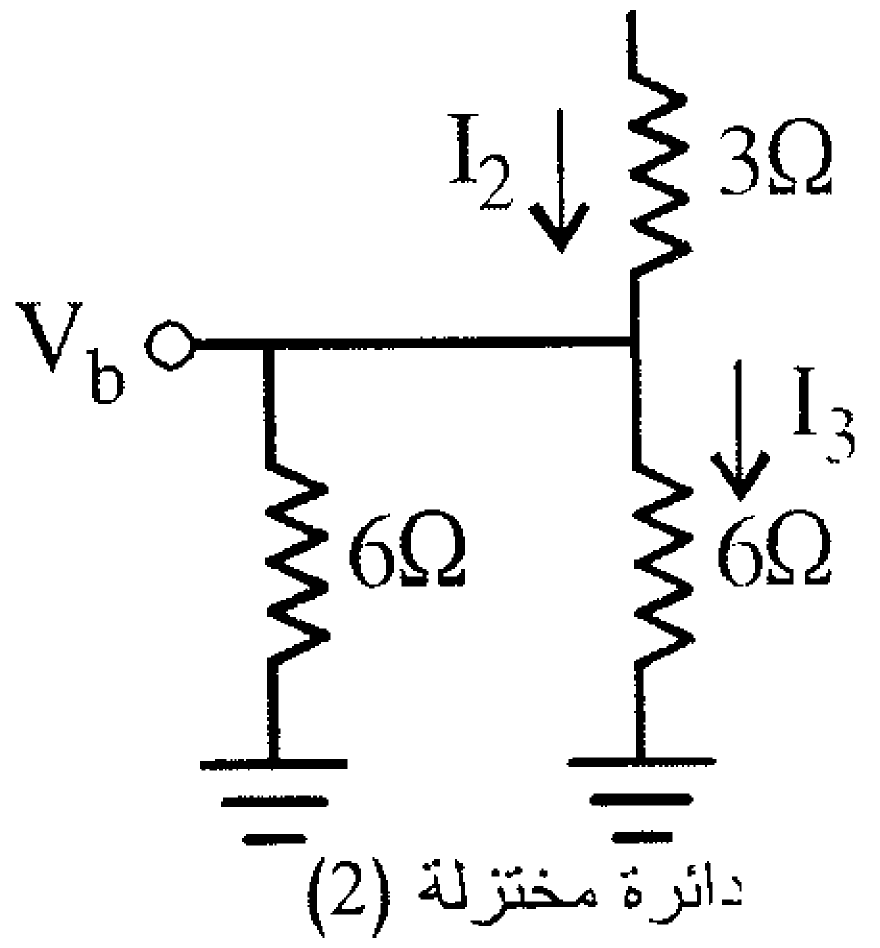


دائرة مختزلة (1)

$$V_a = V_{6\Omega} = V_{3\Omega} = (I_2)\ (6\Omega)$$

$$= (1.333A)\ (6\Omega) = 8V$$

من الدائرة المختزلة (2) نلاحظ أن



دائرة مختزلة (2)

بالتوازي $V_b = V_{6\Omega} = V_{6\Omega} = (I_3)\ (6\Omega)$

$$= (0.6665A)\ (6\Omega) = 4V$$

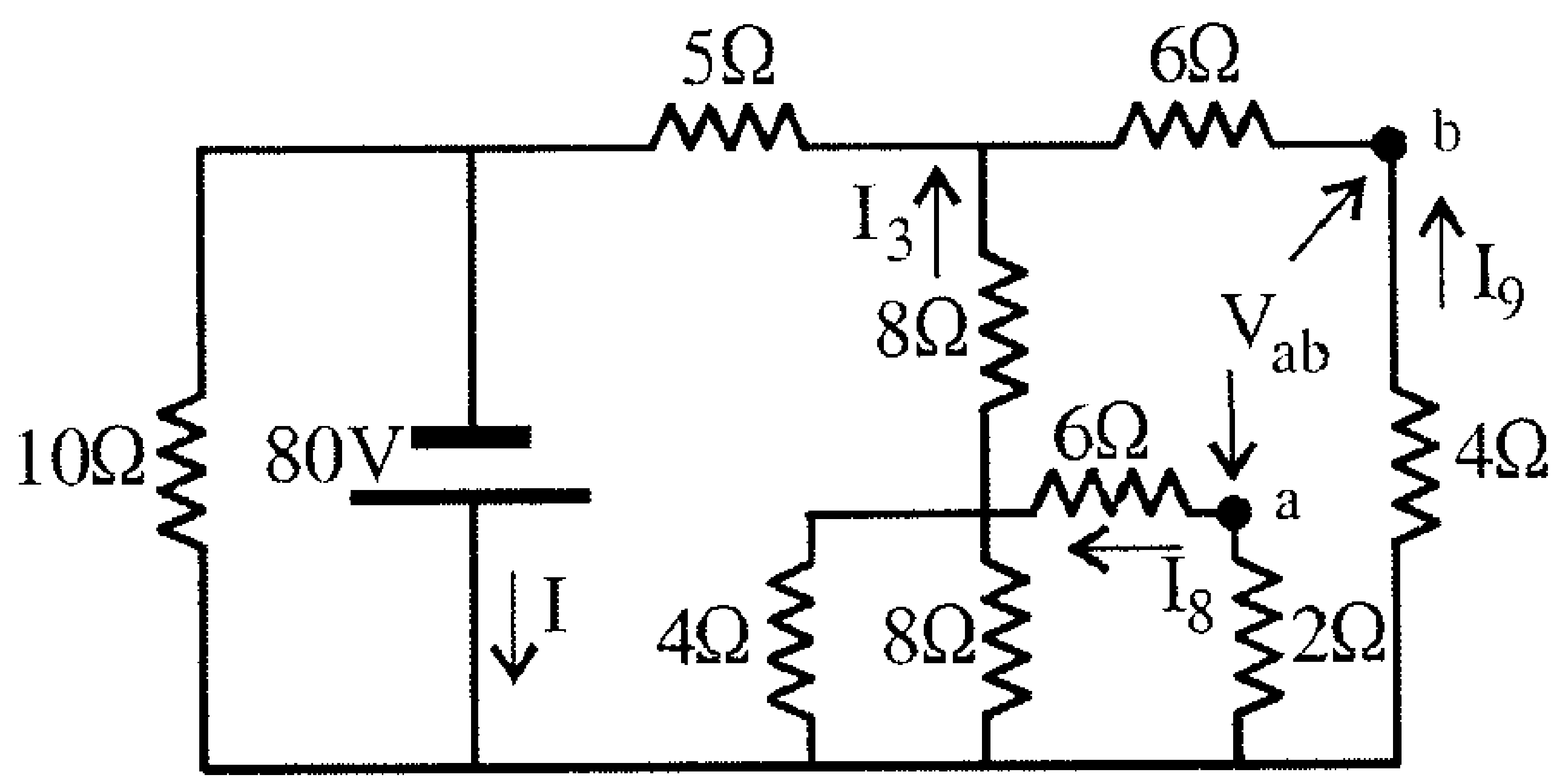
(4) من الدائرة بالشكل أوجد :

1- تيار المصدر I .

2- I_9 و I_3 .

3- I_8 .

4- الجهد V_{ab}.



الحــل:

1- لإيجاد تيار المصدر (I) يجب حساب المقاومة الكلية لدائرة (R_T)

6 + 4 ⟵ 10 توالٍ

6 + 2 ⟵ 8 توالٍ

8 // 8 ⟵ 4 توازٍ

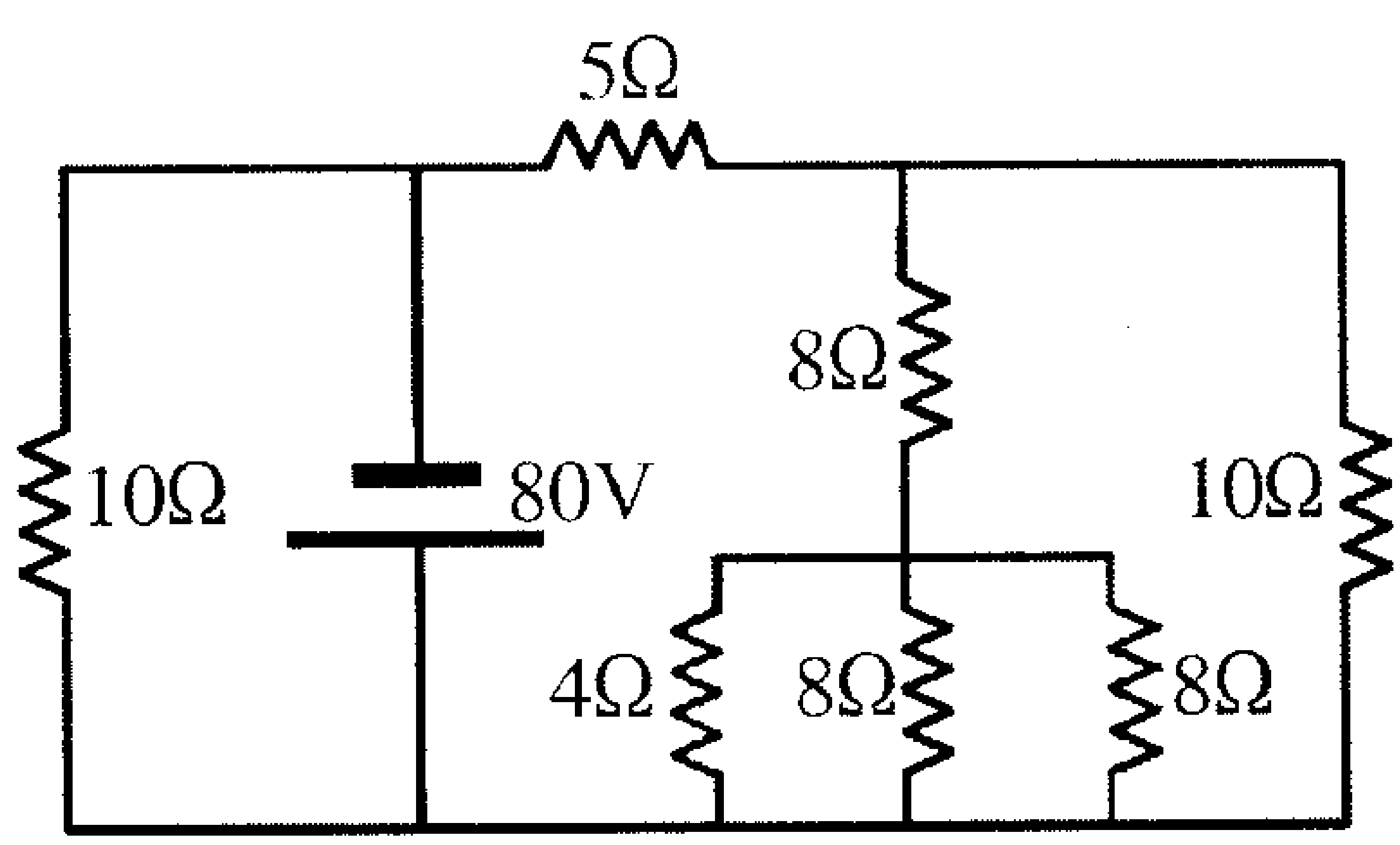
4 // 4 ⟵ 2 توازٍ

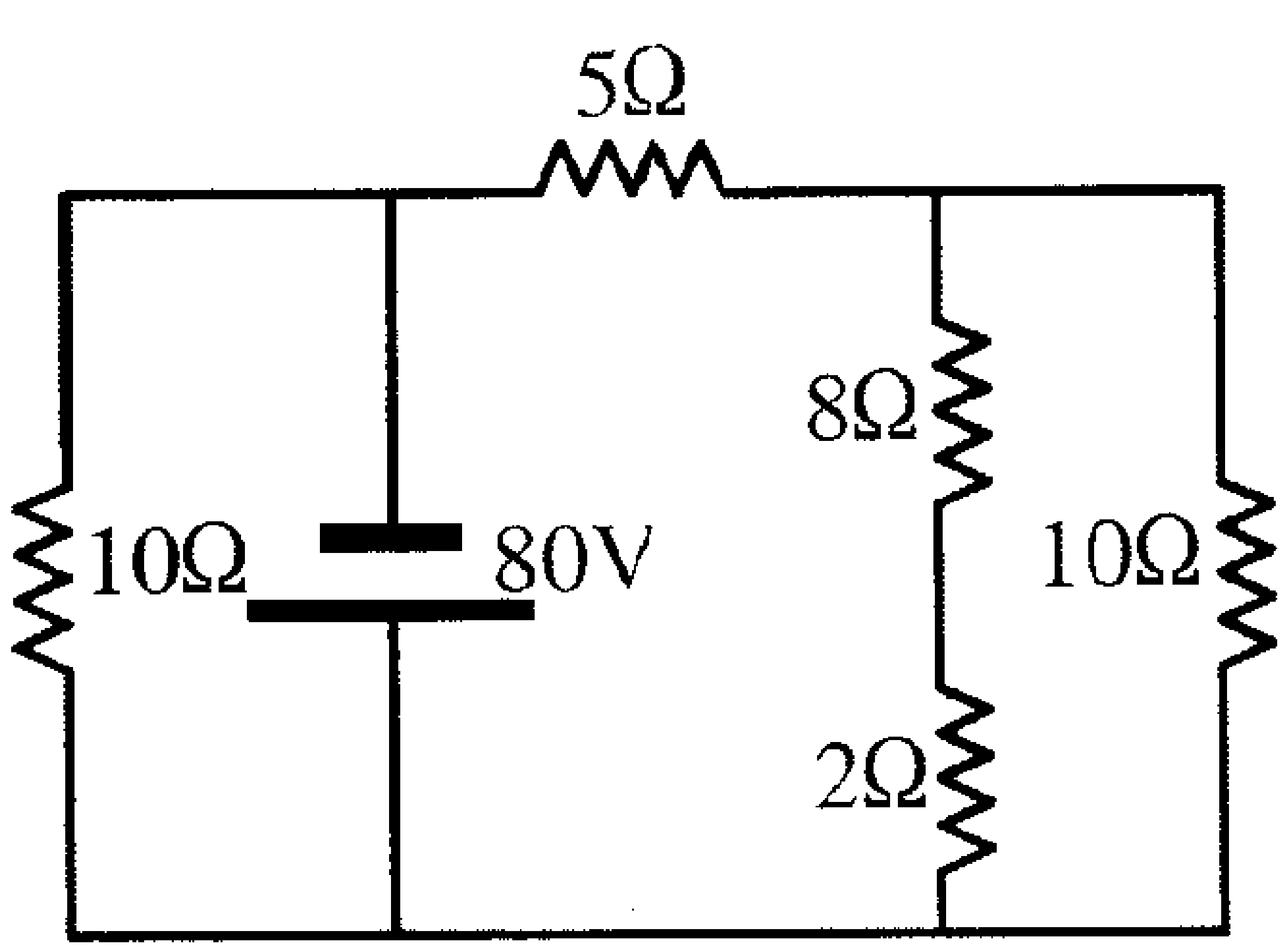
8 + 2 ⟵ 10 توالٍ

10 // 10 ⟵ 5 توازٍ

5 + 5 ⟵ 10 توالٍ

10 // 10 ⟵ 5 توالٍ

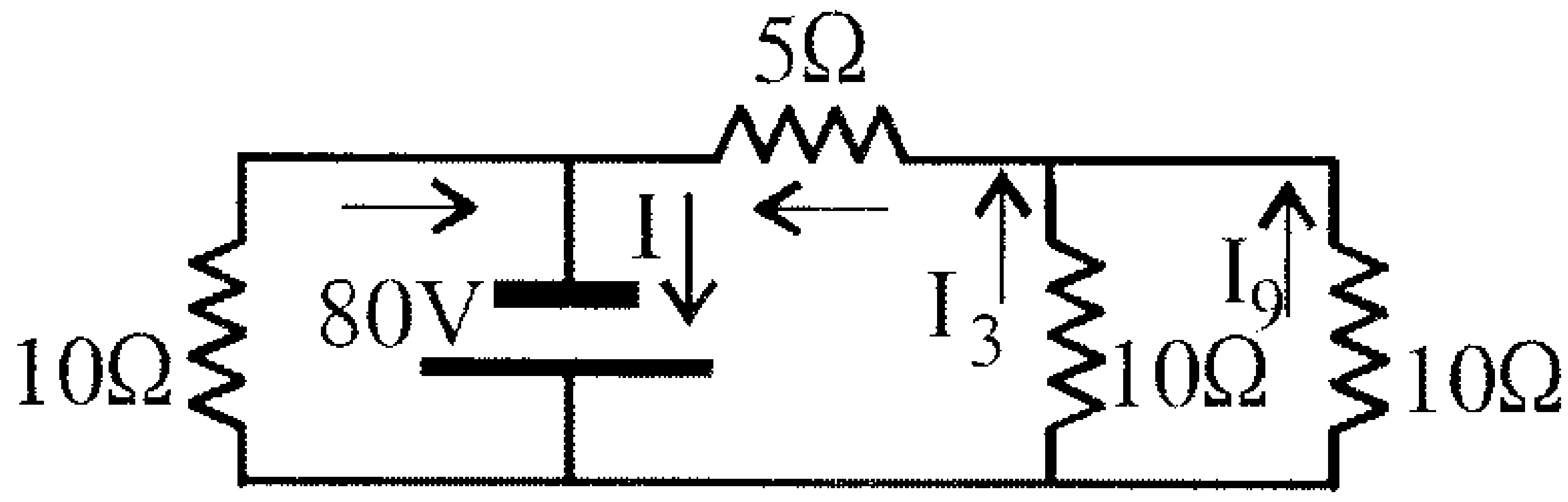




$$\therefore \qquad R_T = 5\Omega$$

$$I = \frac{E}{R_T} = \frac{80}{5} = 16A$$

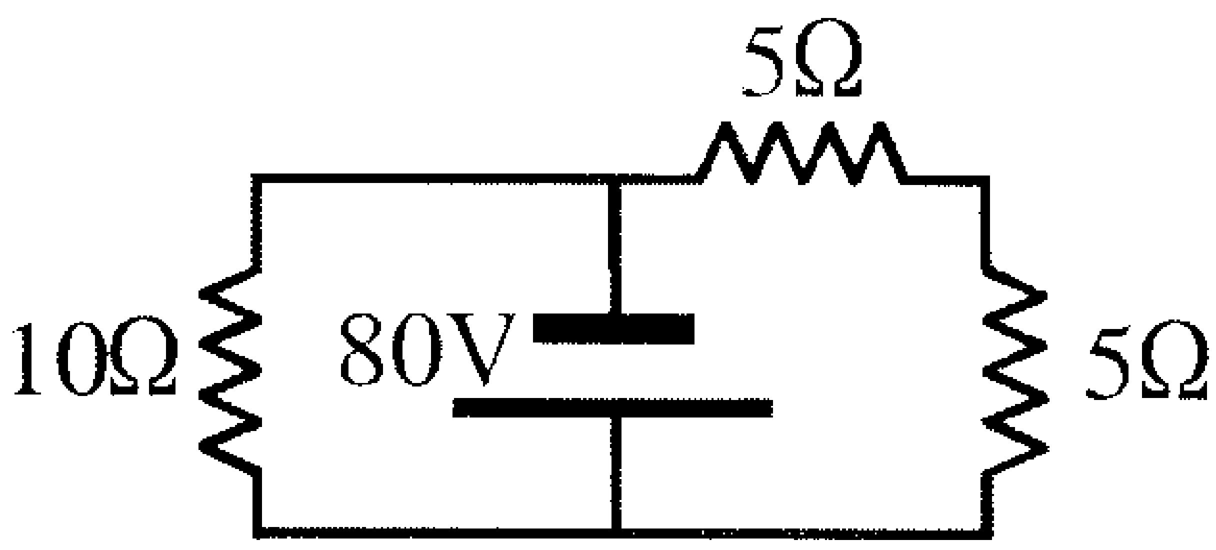
2- من اختزال الدائرة يمكن إيجاد
I_9 , I_3



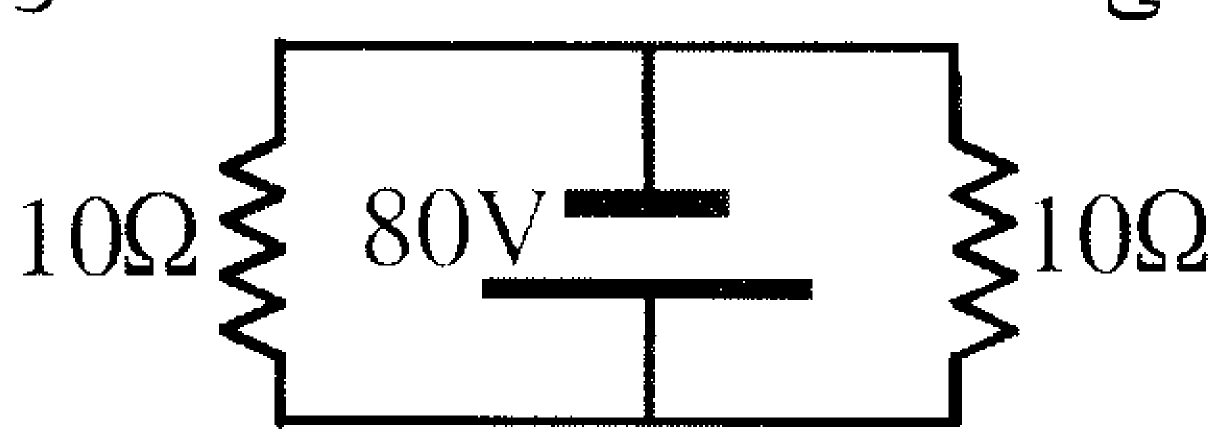
الطرف الأيسر من الدائرة $I_{10\Omega}$

$$I_{10\Omega} = \frac{80}{10} = 8A$$

ولإيجاد التيار ($I_{5\Omega}$) تختزل الدائرة كالتالي:



وبما أن تيار المصدر تم إيجاده ويساوي
($16A$) ومصدر الجهد ($80V$) على
التوازي مع المقاومتين المتساويتين في المقدار (10Ω) لهذا فإن تيار المصدر يتجزأ
بالتساوي على المقاومتين وكل مقاومة تسحب تياراً قيمته (
$8A$) وبالتالي:

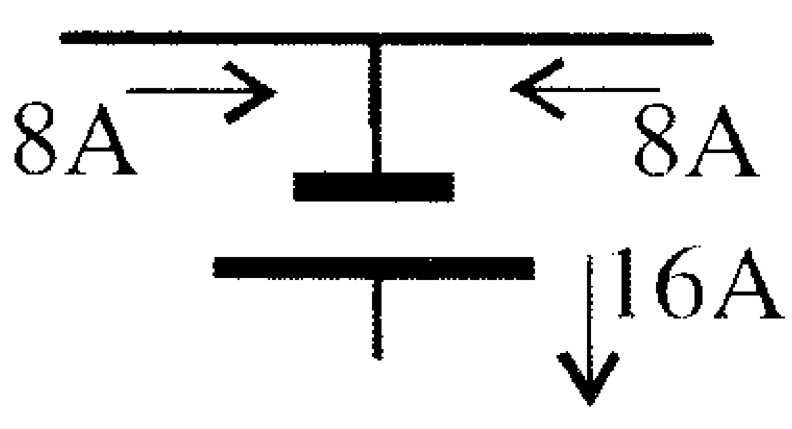


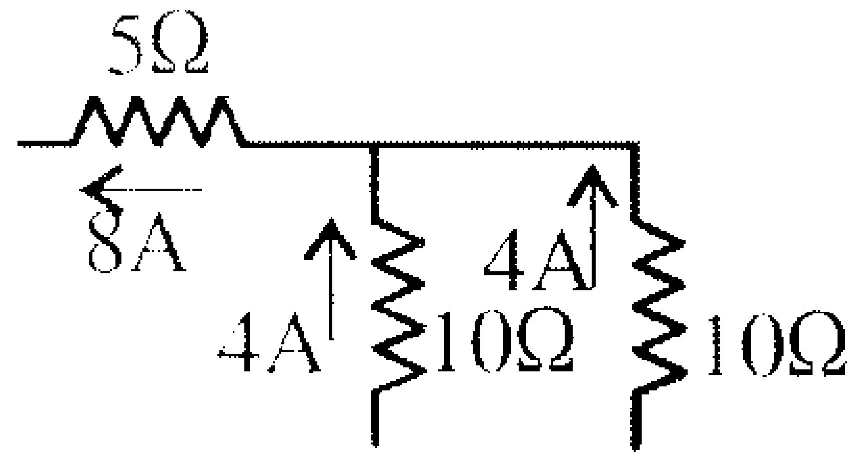
$$I_{10\Omega} = I_{5\Omega} = 8A$$

على يمين الدائرة المقاومتين 10Ω، 10 Ω توازي.

التيار الخارج من العقدة ($8A$) .

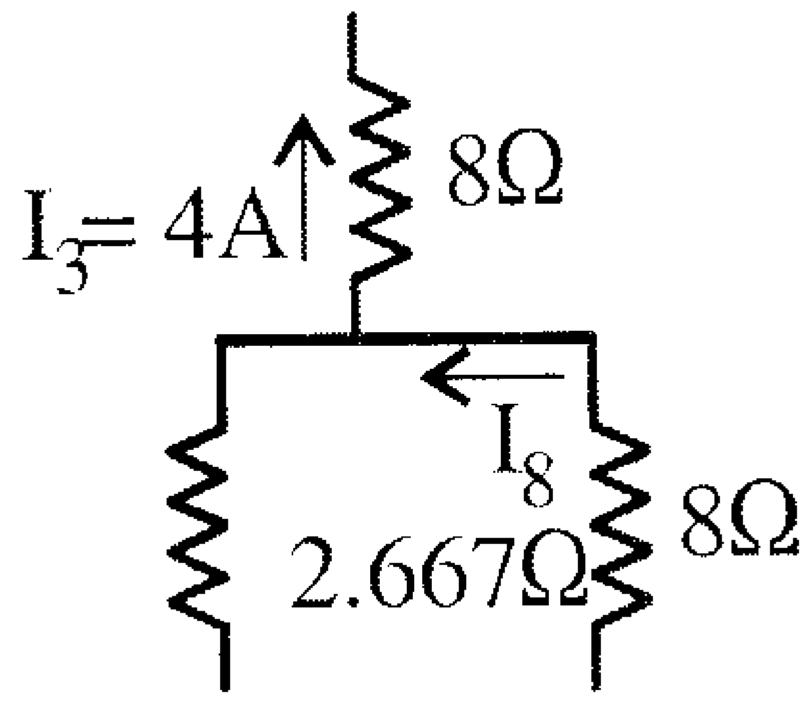
$\therefore$ مجموع التيارين I_9 و I_3 يساوي ($8A$)





$$\therefore I_3 = I_9 = 4A$$

2- باستخدام (KCL) في جزء من الدائرة نحصل على (I_8)



$$I_8 = \frac{(4A)(2.667)}{8+2.667} = 1A$$

4- جهد المقاومة (4Ω) على يمين الدائرة من الشكل الأصلي

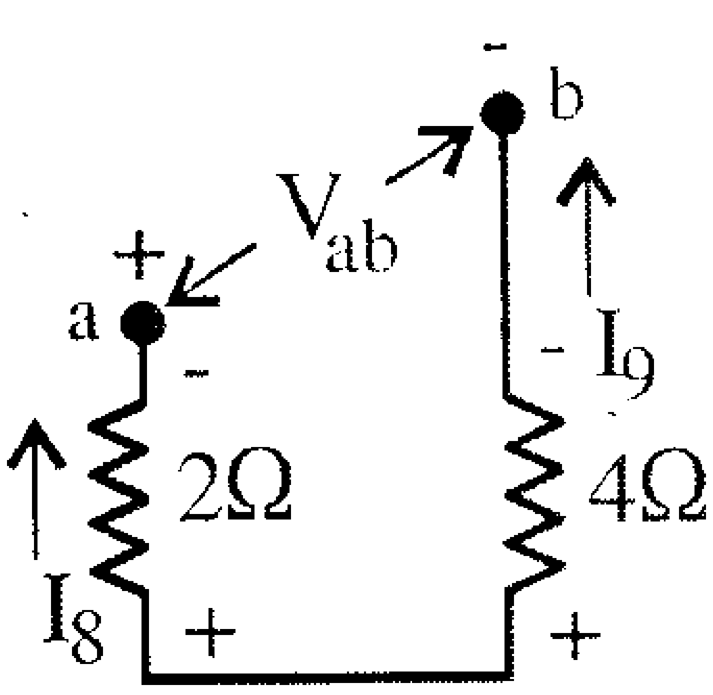
$$V_{4\Omega} = (I_9)\,(4\Omega)$$

$$= (4A)\,(4\ \Omega) = 16V$$

جهد المقاومة (2Ω) من الشكل الأصلي

$$V_{2\Omega} = (I_8)\,(2\Omega)$$

$$= (1A)(2\Omega) = 2V$$



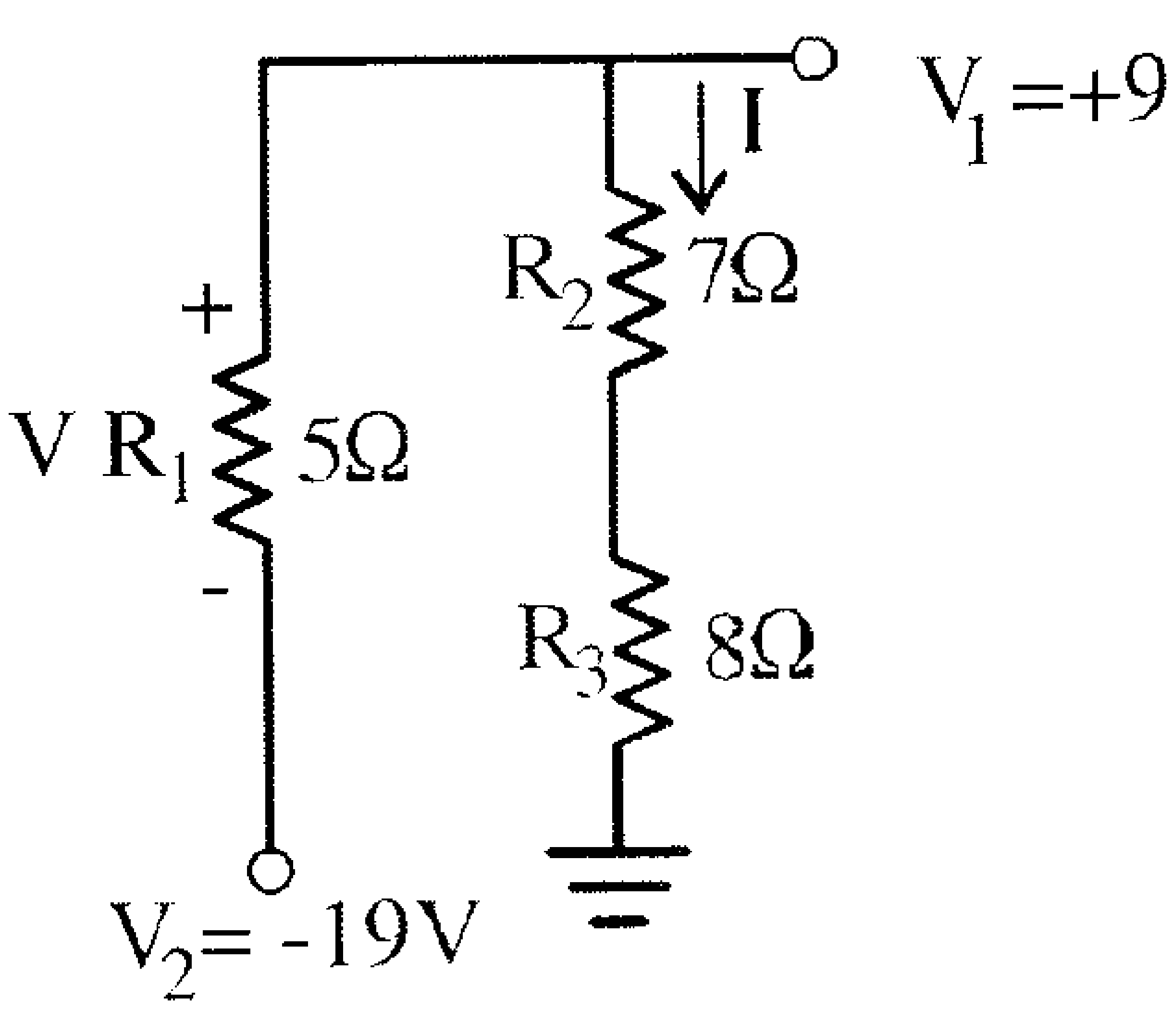
باستخدام (KVL)

$$-V_{ab} + V_{4\Omega} - V_{2\Omega} = 0$$

$$-V_{ab} + 16V - 2V = 0$$

$$V_{ab} = 14V$$

(5) من الدائرة بالشكل التالي:

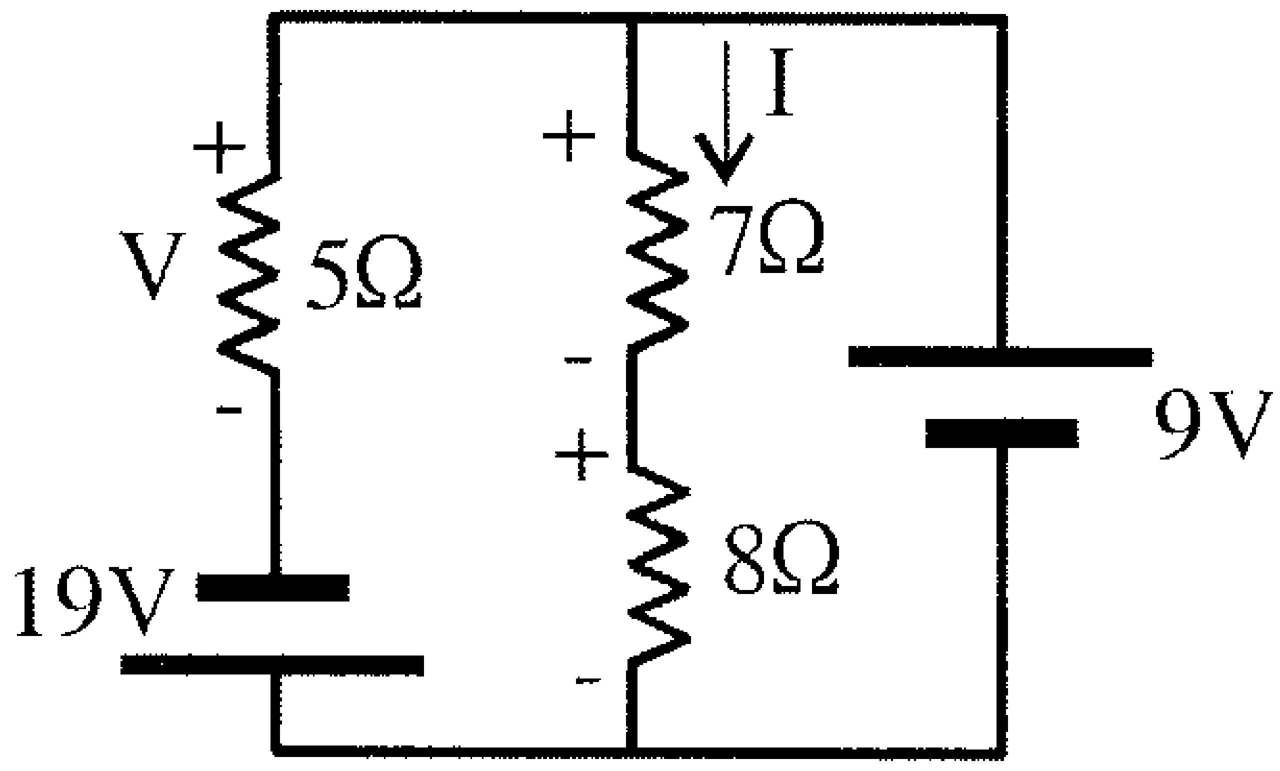


1- أوجد قيمة التيار **(I)**.

2- أوجد الجهد (V).

الحــل:

إعادة رسم الدائرة لتوضيح وضعية مصادر الجهد V_2 و V_1



توالٍ $7\Omega + 8\Omega = 15\Omega$

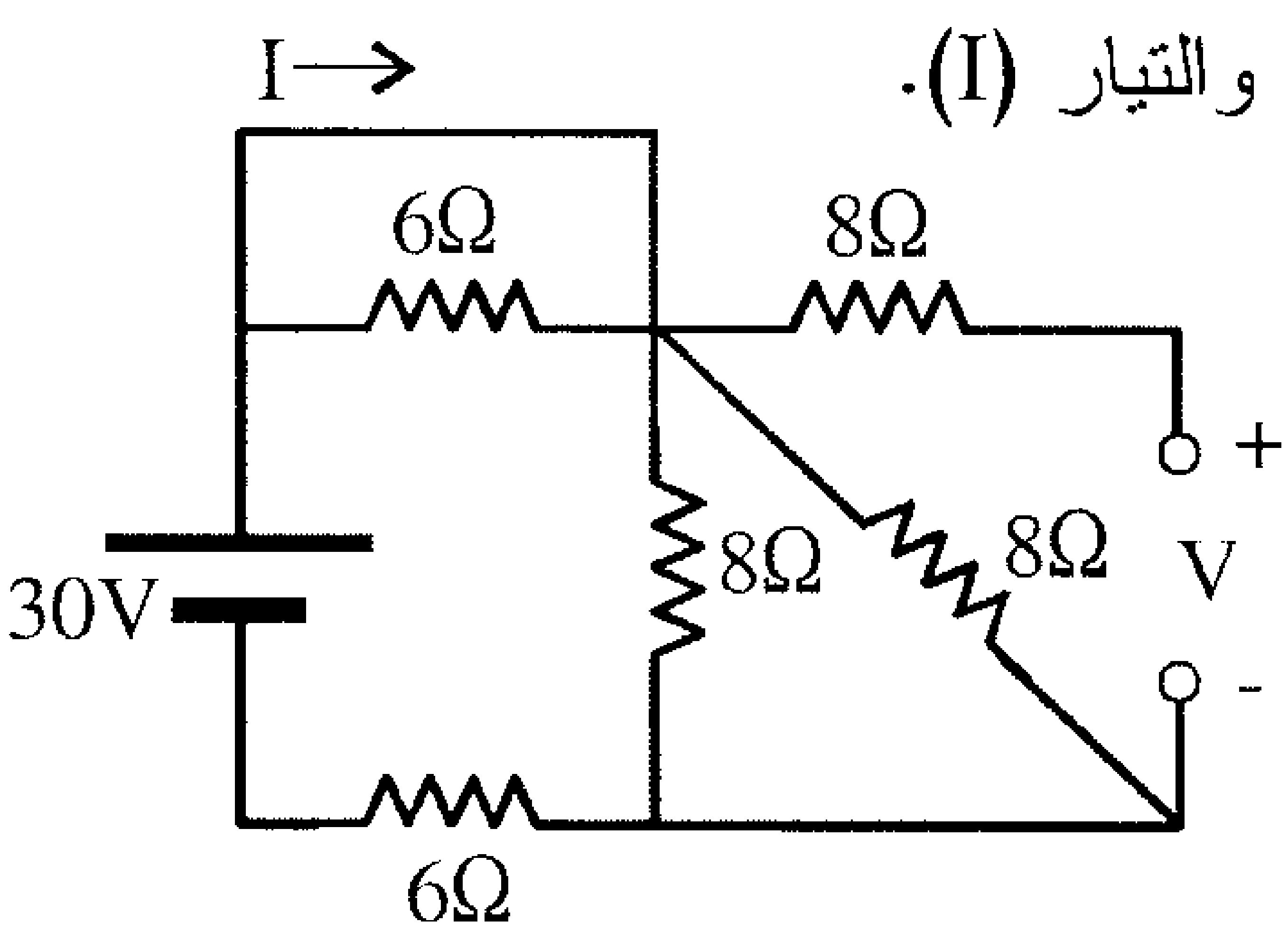
$$I = \frac{9}{15} = 0.6A$$

باستخدام (KVL) لإيجاد (V)

$$-19V + V - 9V = 0$$

$$V = 19V + 9V = 28V$$

(6) في الدائرة بالشكل التالي أوجد الجهد (V) والتيار (I).



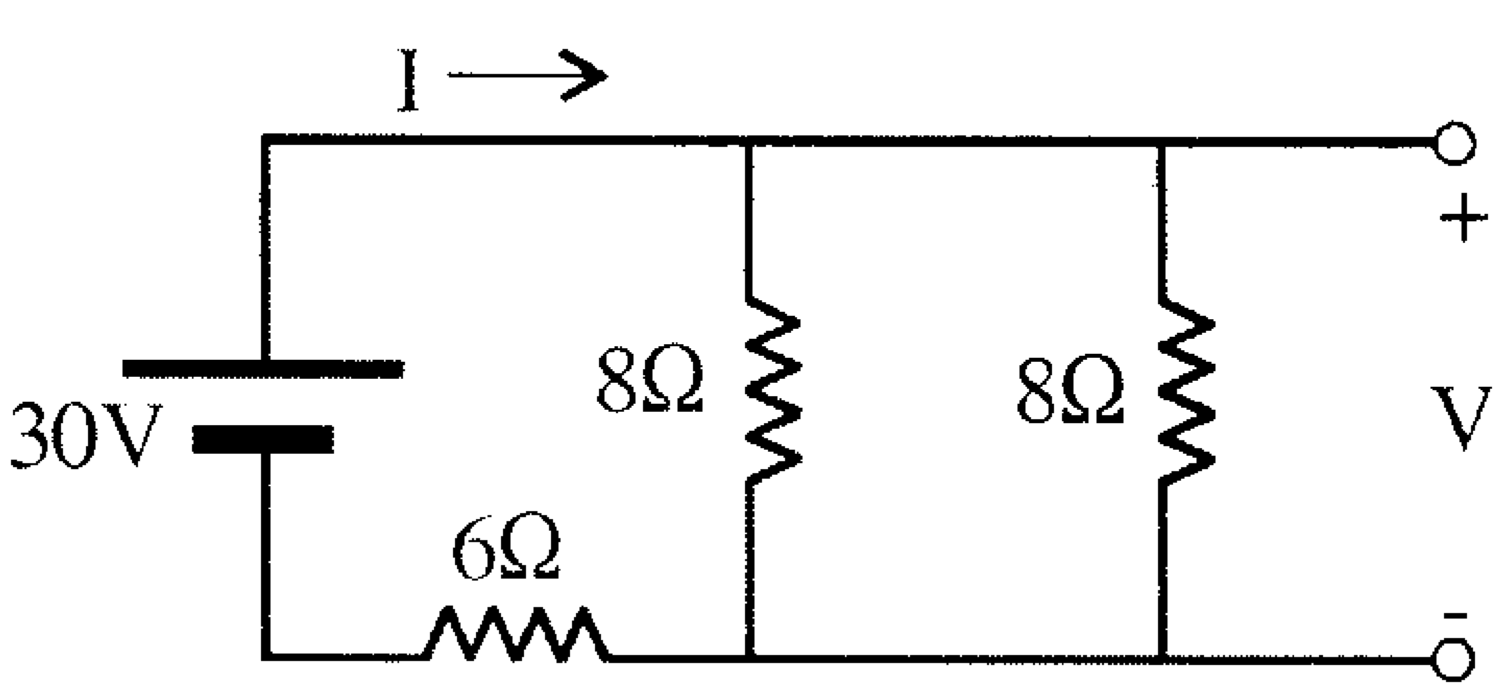
الحــل:

8Ω دائرة مفتوحة إذاً تلغى

6Ω دائرة مغلقة كذلك تلغى

تصبح الدائرة كالتالي

$8\Omega // 8\Omega = 4\Omega$



$$R_T = 4\Omega + 6\Omega$$

$$R_T = 10\Omega$$

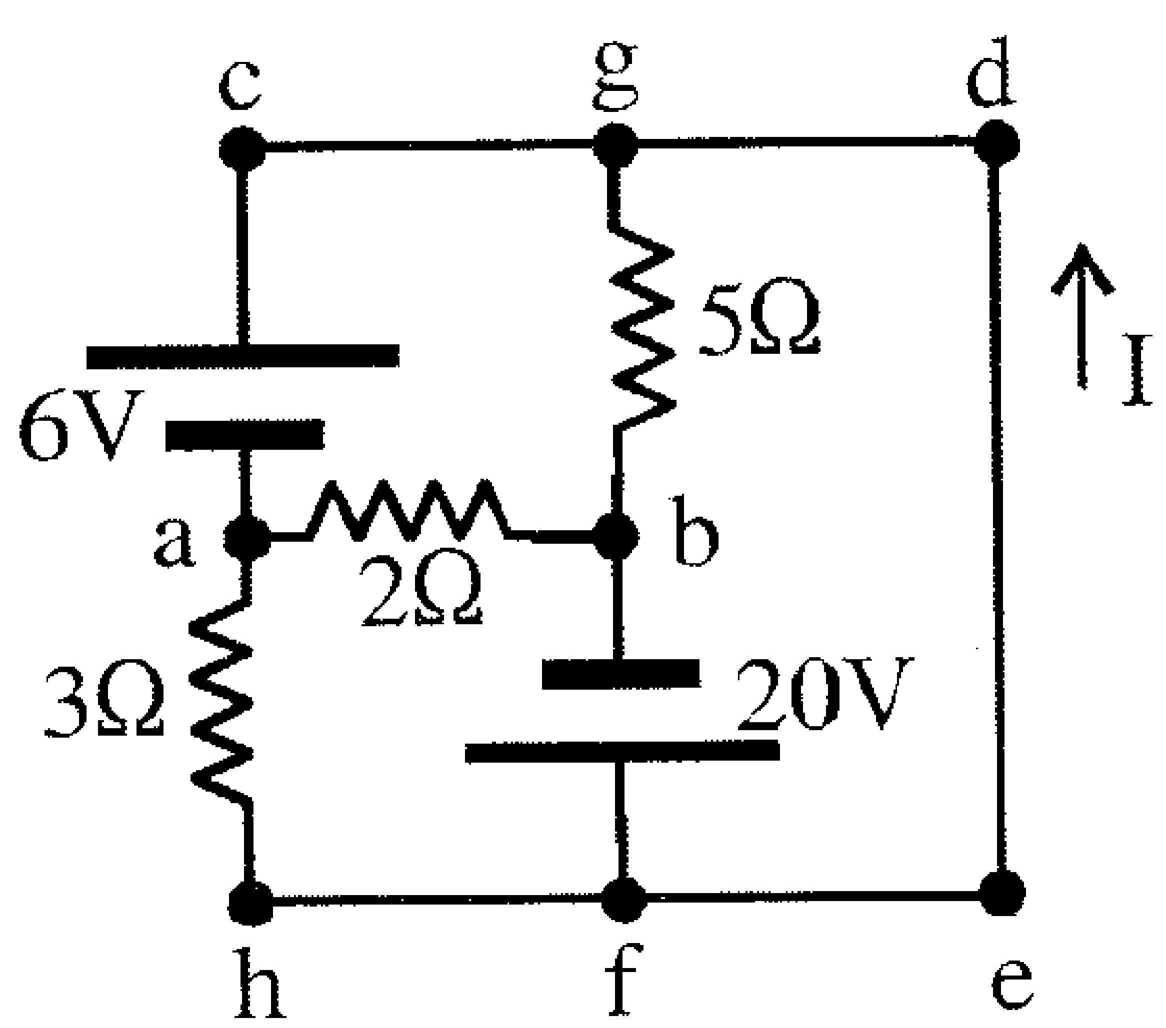
$$I = \frac{30V}{10\Omega} = 3A$$

$I = 3A$ تيار يتجزأ على المقاومتين 8Ω و8Ω بالتساوي ليكون نصيب كل منهما $1.5A$

ومنها: $V = (8\Omega)(1.5A) = 12V$

(7) من الدائرة بالشكل التالي:

أوجد التيار (I) و الجهد (V_{ab})



الحــل:

المسار الخارجي (a c g d e f ha)
(KVL)

$$6V - V_{3\Omega} = 0$$

$$V_{3\Omega} = 6V$$

$$I_{3\Omega} = \frac{6V}{3\Omega} = 2A$$

المسار الداخلي (a b f h a)
(KVL)

$$-6V - V_{2\Omega} + 20V = 0$$

$$V_{2\Omega} = 14V$$

$$\therefore\ V_{ab} = 14V$$

المسار الداخلي (c g b a c)

(KVL)

$$6V - V_{5\Omega} + 14V = 0$$

$$V_{5\Omega} = 20V$$

$$I_{5\Omega} = \frac{20V}{5\Omega} = 4A$$

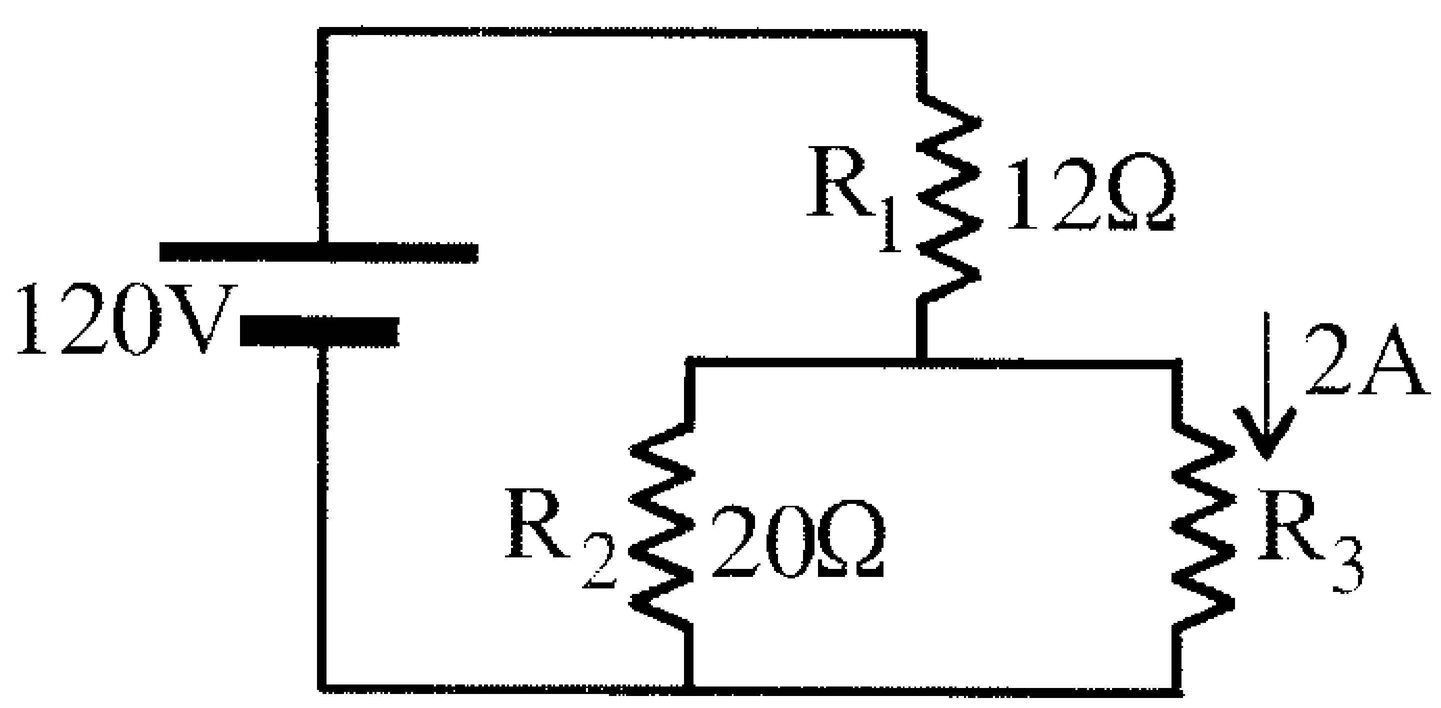
عند العقدة b :(KCL)

$$I_{20V} = 7A + 4A = 11A$$

عند العقدة f :(KCL)

$$I = 11A - 2A = 9A$$

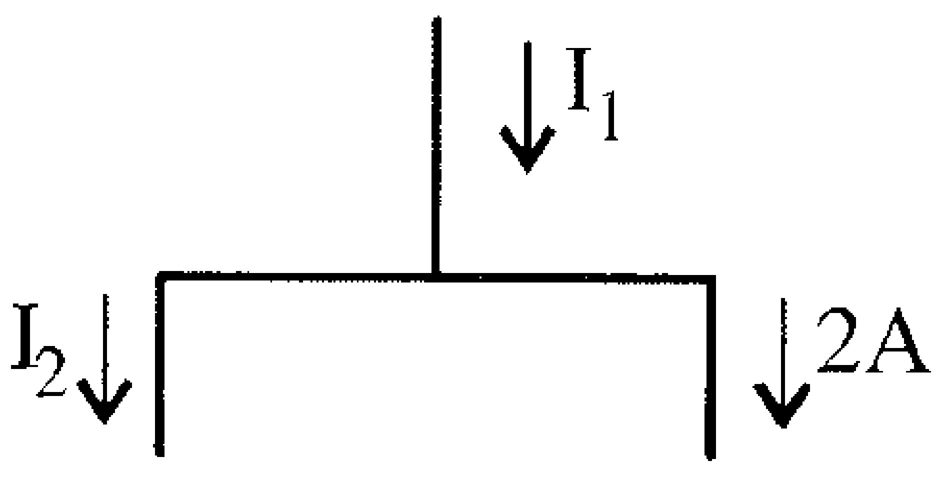
(8) من الدائرة بالشكل أوجد: المقاومة (R_3) إذا كان التيار المار خلالها ($2A$) .



الحـــل:

باستخدام قانون (KCL) وقانون أوم:

$$I_1 = I_2 + I_3$$



$$I_1 = I_2 + 2A$$

$$\frac{V_1}{R_1} = \frac{V_2}{R_2} + 2A$$

من قانون (KVL)

$$E - V_1 - V_2 = 0$$

$$V_1 = E - V_2$$

نعوض عن قيمة V_1 في معادلة (KCL) لنحصل على:

$$\frac{E - V_2}{R_1} = \frac{V_2}{R_2} + 2A$$

$$\frac{E}{R_1} - \frac{V_2}{R_1} = \frac{V_2}{R_2} + 2A$$

$$\frac{120}{12} - \frac{V_2}{12} = \frac{V_2}{20} + 2$$

$$10 - 2 = \frac{V_2}{20} + \frac{V_2}{12} = \frac{3V_2 + 5V_2}{60}$$

$$\therefore \quad 8 = \frac{8V_2}{60} \longrightarrow V_2 = 60V$$

بالتوازي

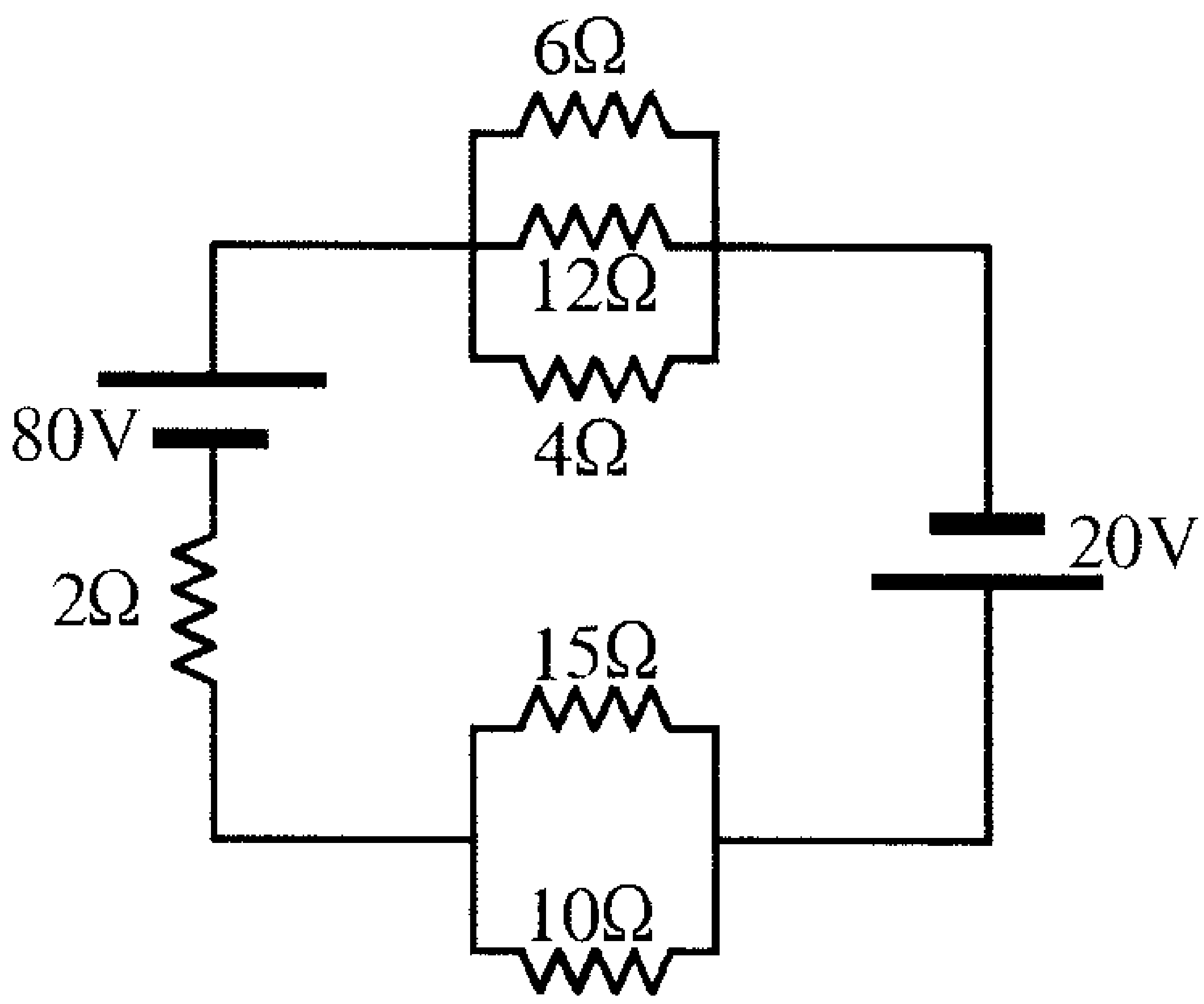
$$V_2 = V_3 = 60V$$

$$\therefore \quad R_3 = \frac{V_3}{I_3} = \frac{60V}{2A} = 30\Omega$$

3.4 مسائل متنوعة

المسائل التالية تعتبر تطبيقات عامة تشمل كل ما درس في الأبواب السابقة،وهى أكثر تعقيدا مما سبق.

المسألة1.4 في الدائرة التالية أوجد :



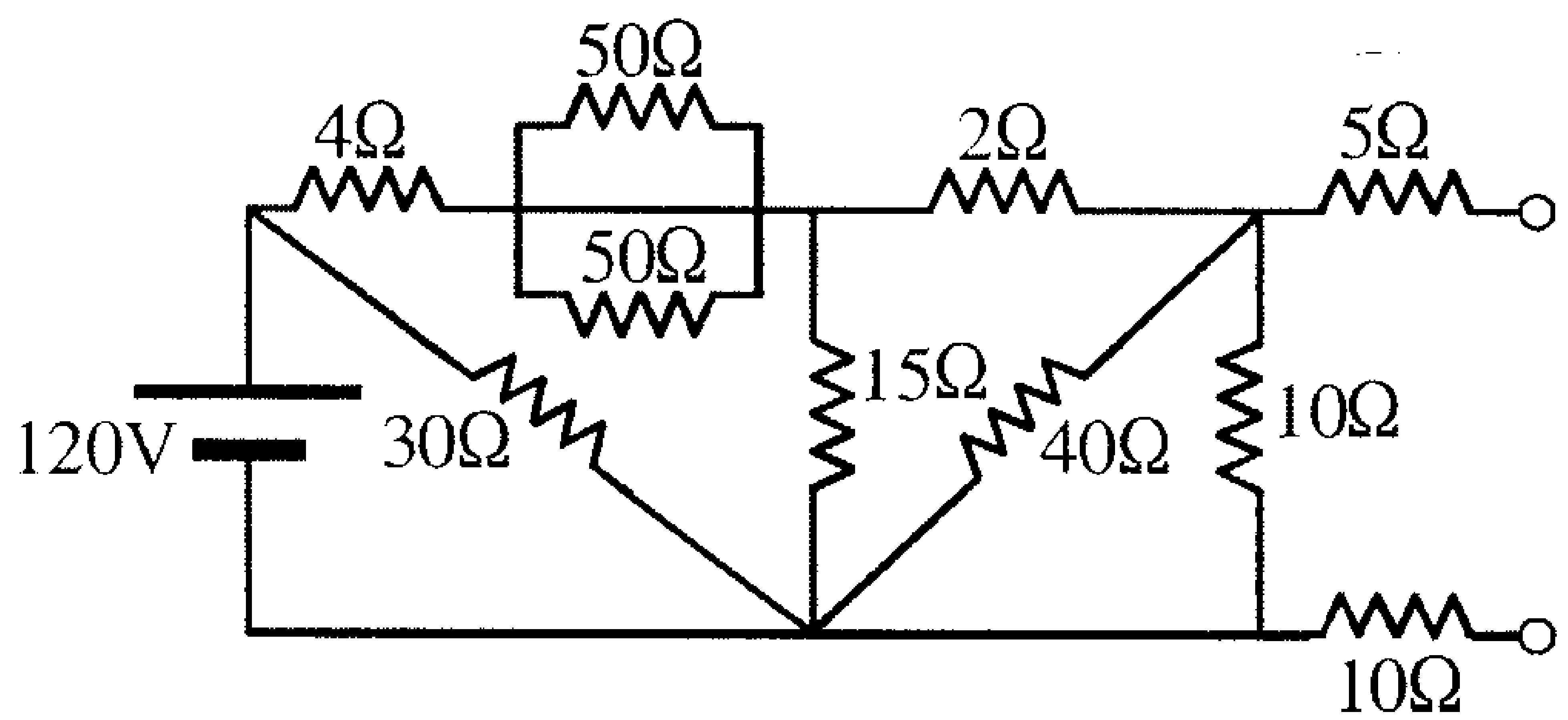
1- المقاومة الكلية

2- قيمة التيار المار في المقاومة (4Ω)

3- قيمة التيار المار في المقاومة (2Ω)

4- القدرة المستهلكة في المقاومة (6Ω)

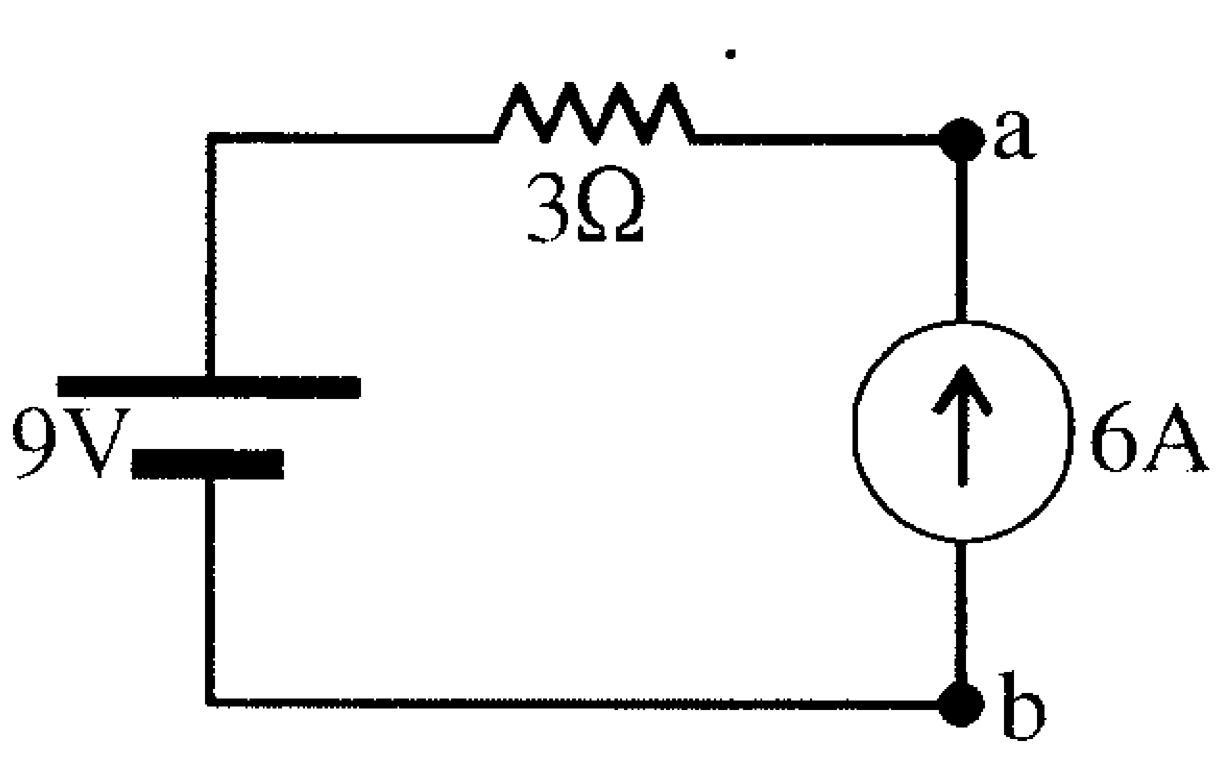
المسألة2.4 للدائرة بالشكل أوجد:



1- المقاومة المكافئة للدائرة.

2- القدرة المولدة بواسطة مصدر الجهد.

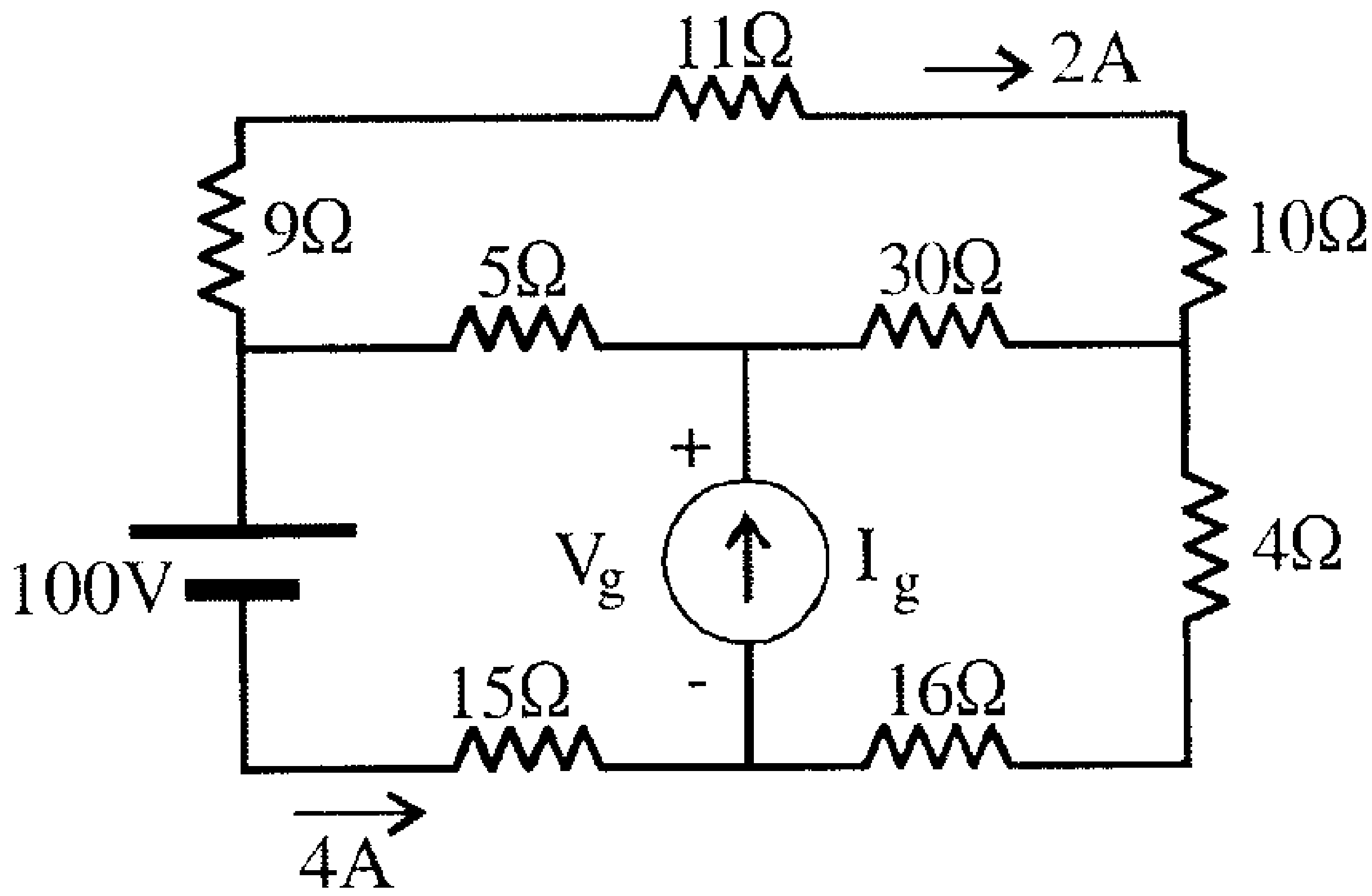
المسألة3.4 من الشكل التالي أوجد فرق الجهد (V_{ab}) بين النقطتين a , b .



المسألة4.4 باستخدام قوانين (KVL)و(KCL) أوجد:

1- قيمة مصدر التيار (I_g)

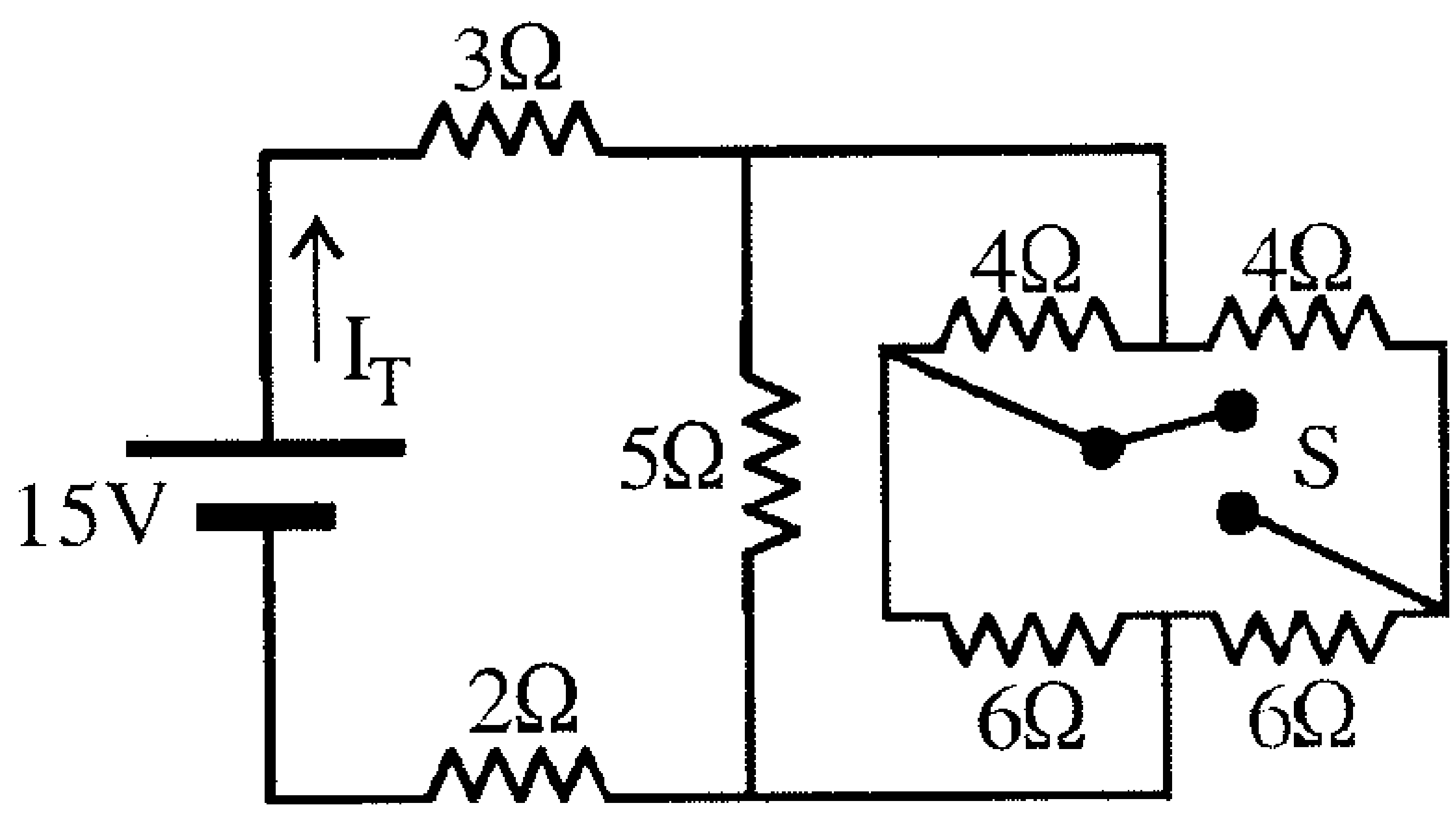
2- قيمة الجهد بين طرفي مصدر التيار (V_g).



المسألة5.4 أحسب التيار المسحوب من المصدر (I_T) في الحالتين:

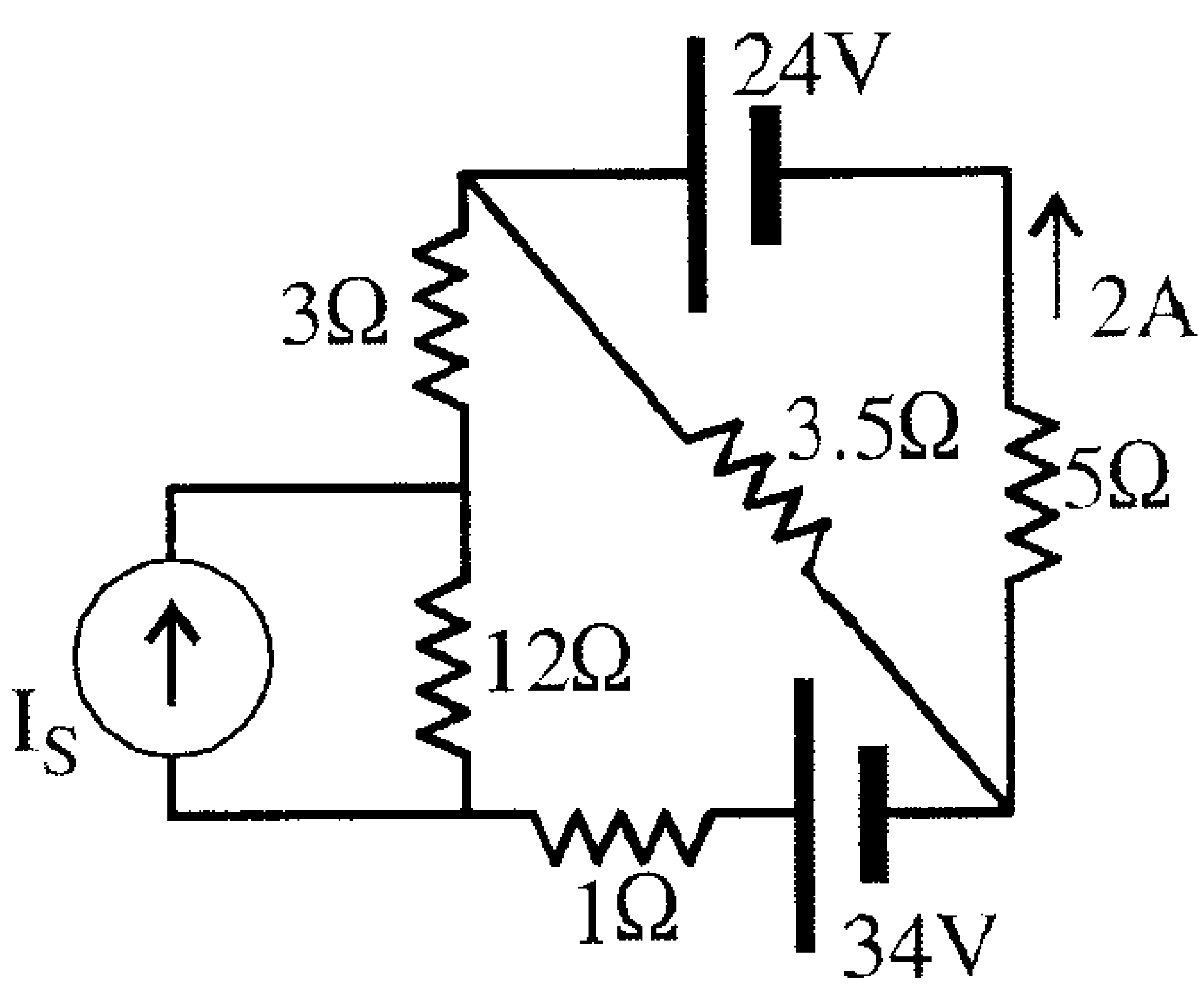
1- في حالة المفتاح (S) مفتوح.

2- في حالة المفتاح (S) مغلق.



المسألة6.4 باستخدام قوانين

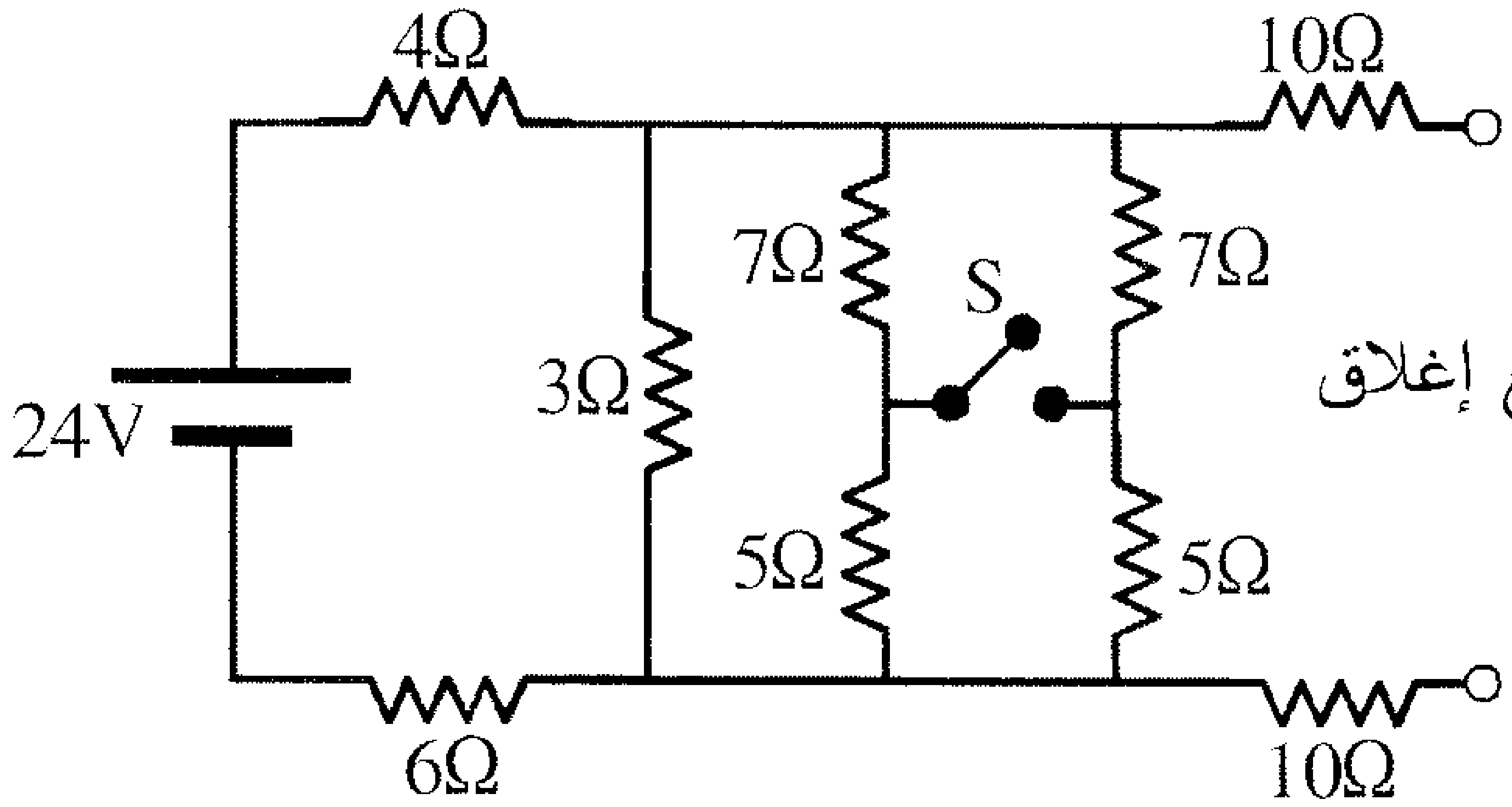
(KVL) و (KCL) أوجد قيمة تيار المصدر (I_S).



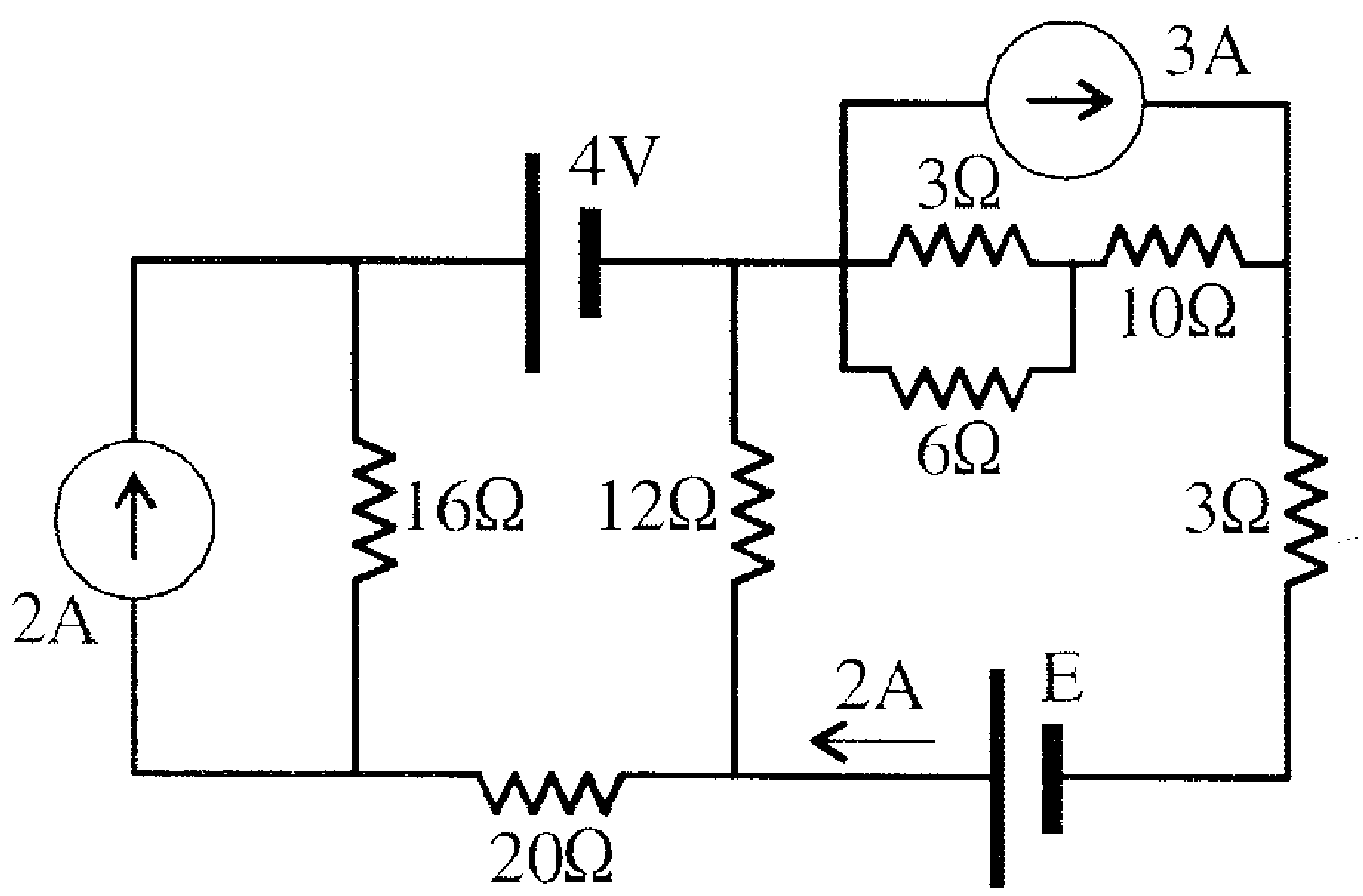
المسألة7.4 أوجد قيمة تيار المصدر في الحالتين:

1- المفتاح (S) في وضع فتح

2- المفتاح (S) في وضع إغلاق

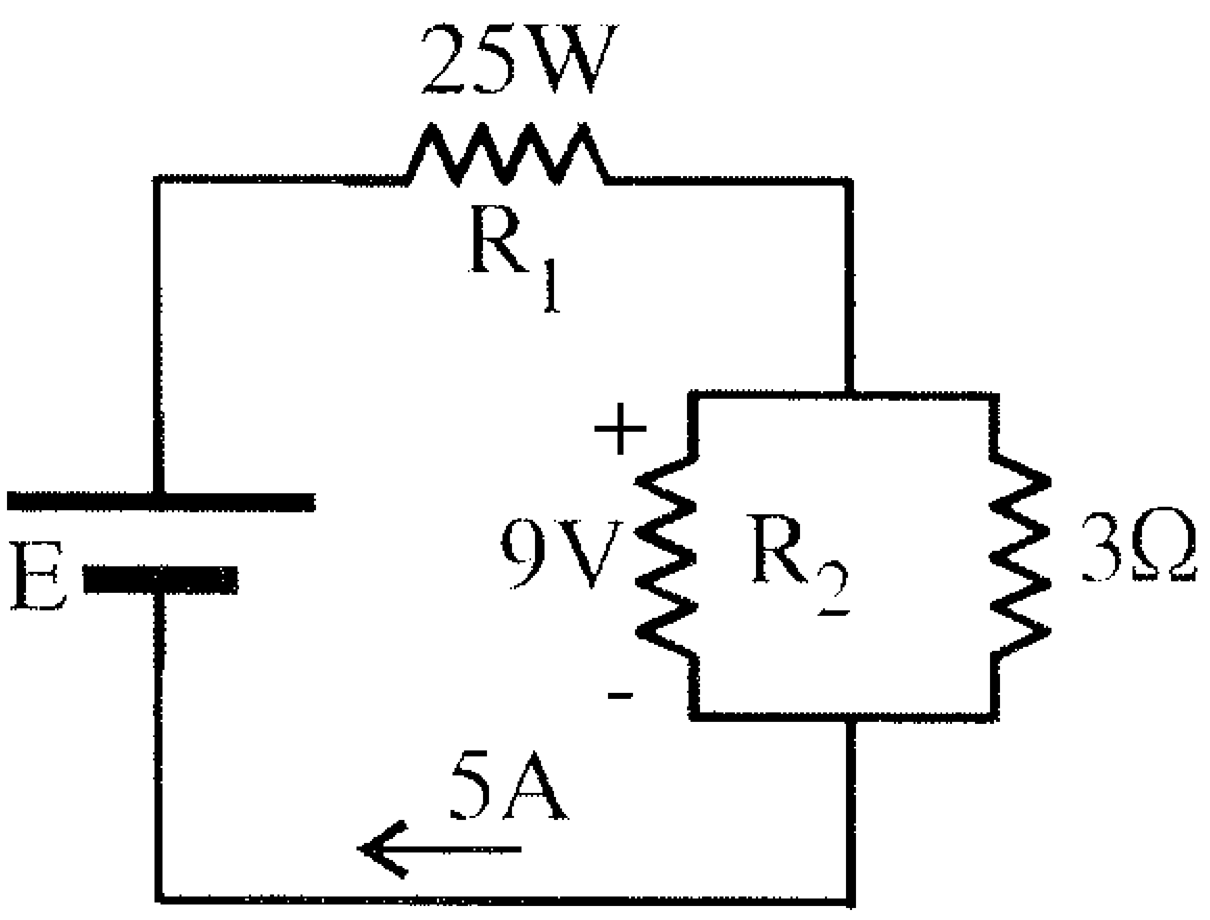


المسألة8.4 عن طريق تحويل المصادر وقوانين كرشوف أوجد قيمة مصدر الجهد (E).

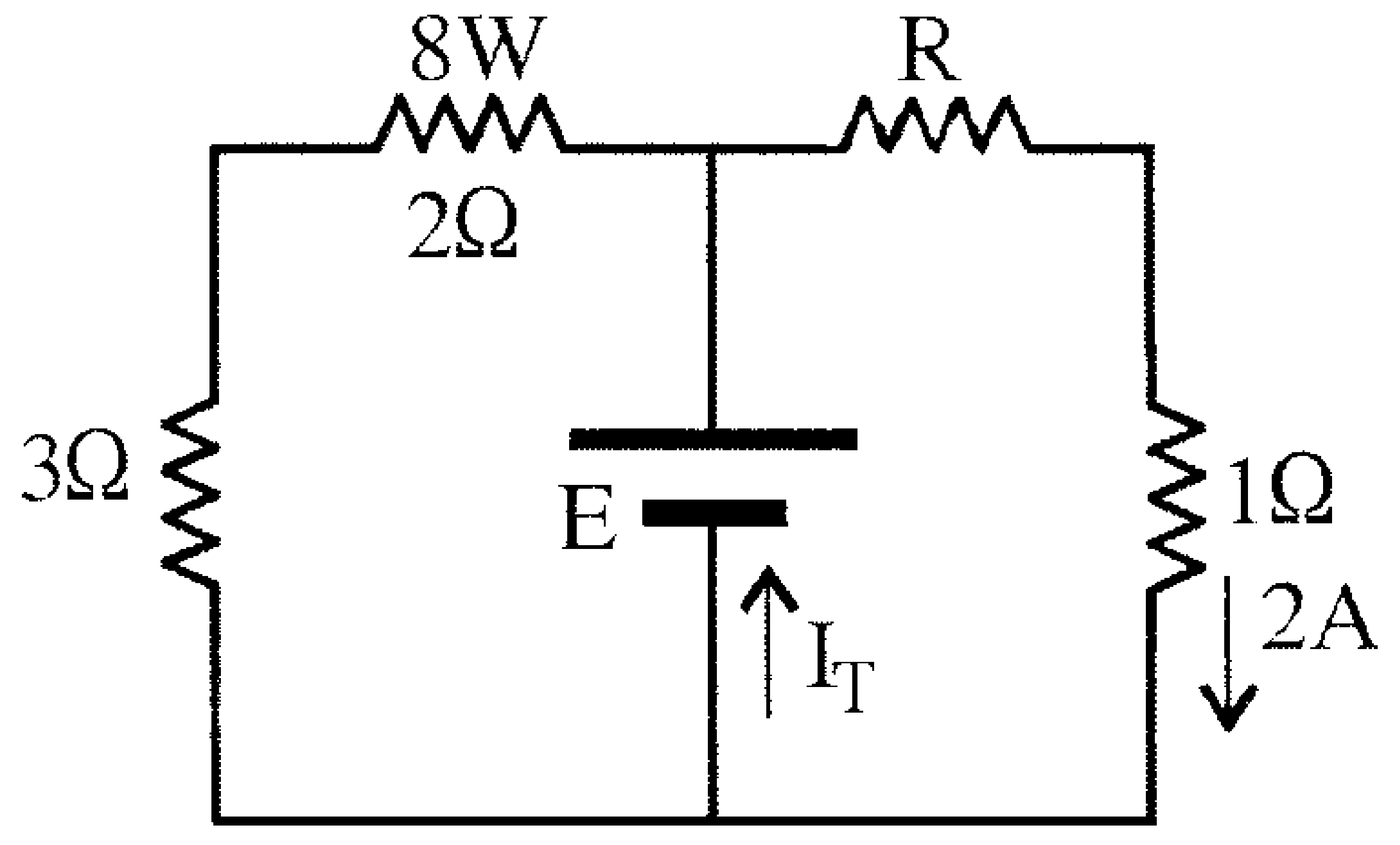


المسألة9.4 للدائرة بالشكل التالي أوجد

. E , R_2 , R_1

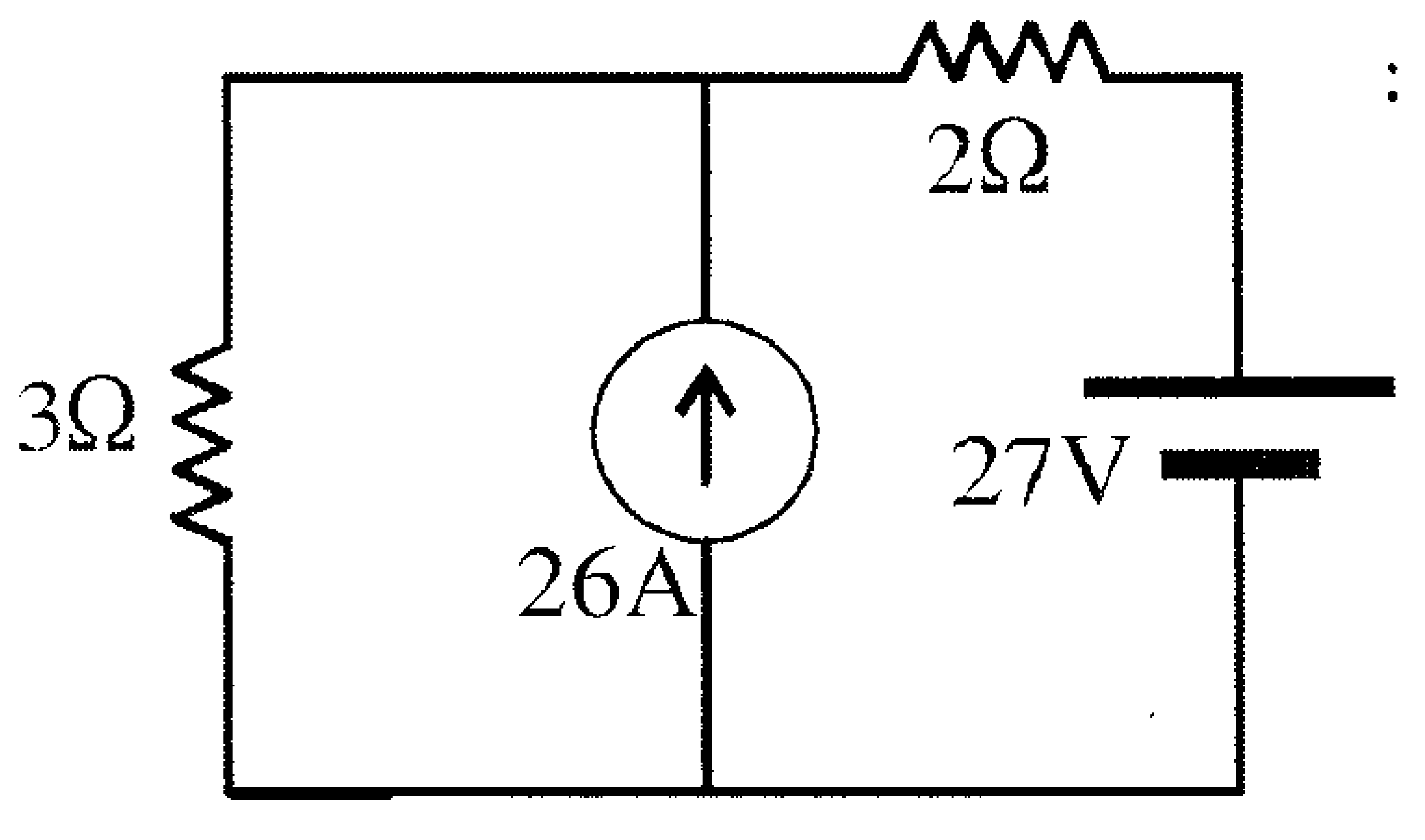


المسألة10.4 للدائرة بالشكل التالي أوجد
. R , I_T ,E



المسألة11.4 باستخدام قوانين كرشوف أوجد :

- التيار المار في المقاومة (2Ω)
- الجهد على المقاومة (3Ω)

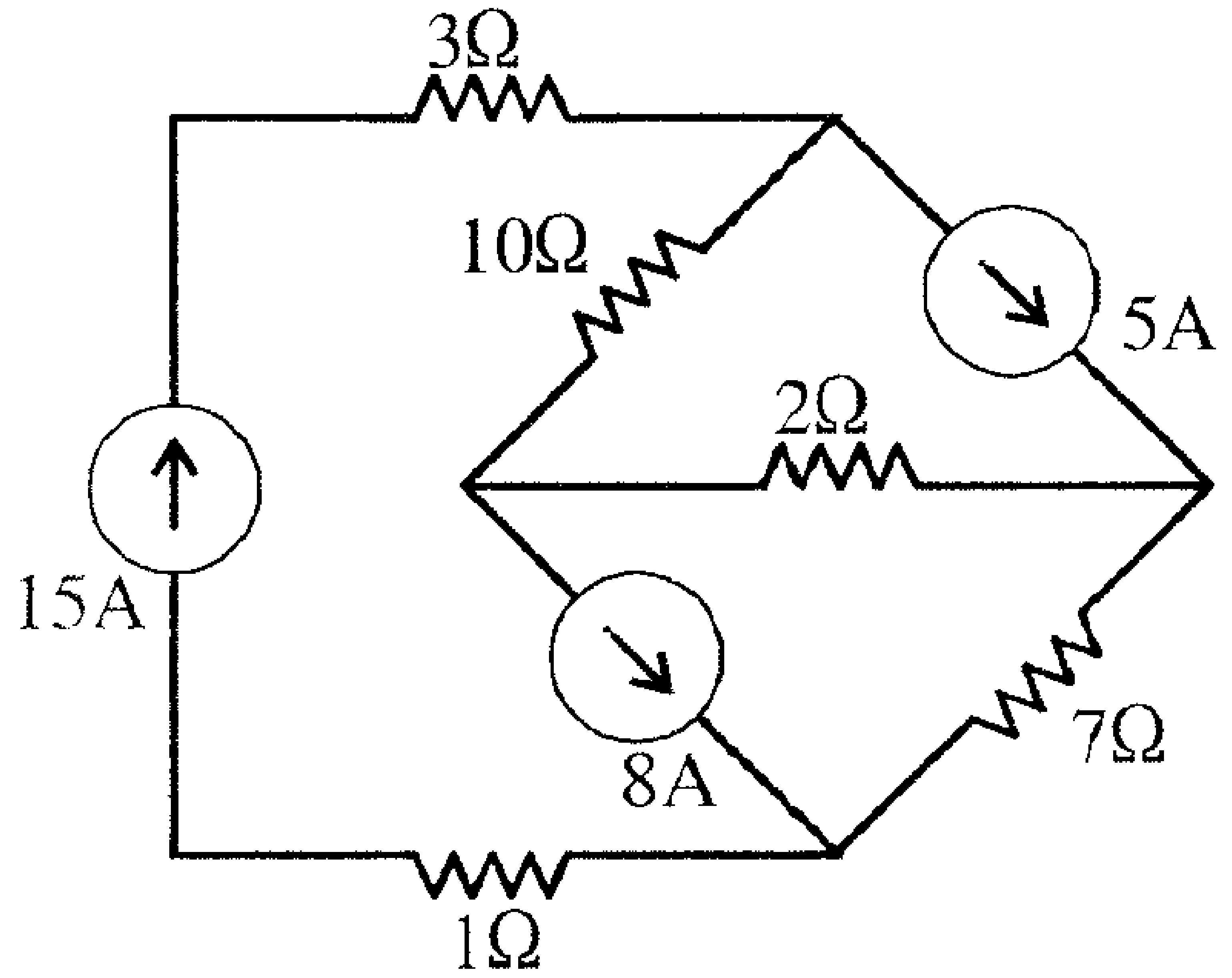


المسألة12.4 في الدائرة بالشكل أوجد:

1- الجهد على المقاومة (10Ω) .

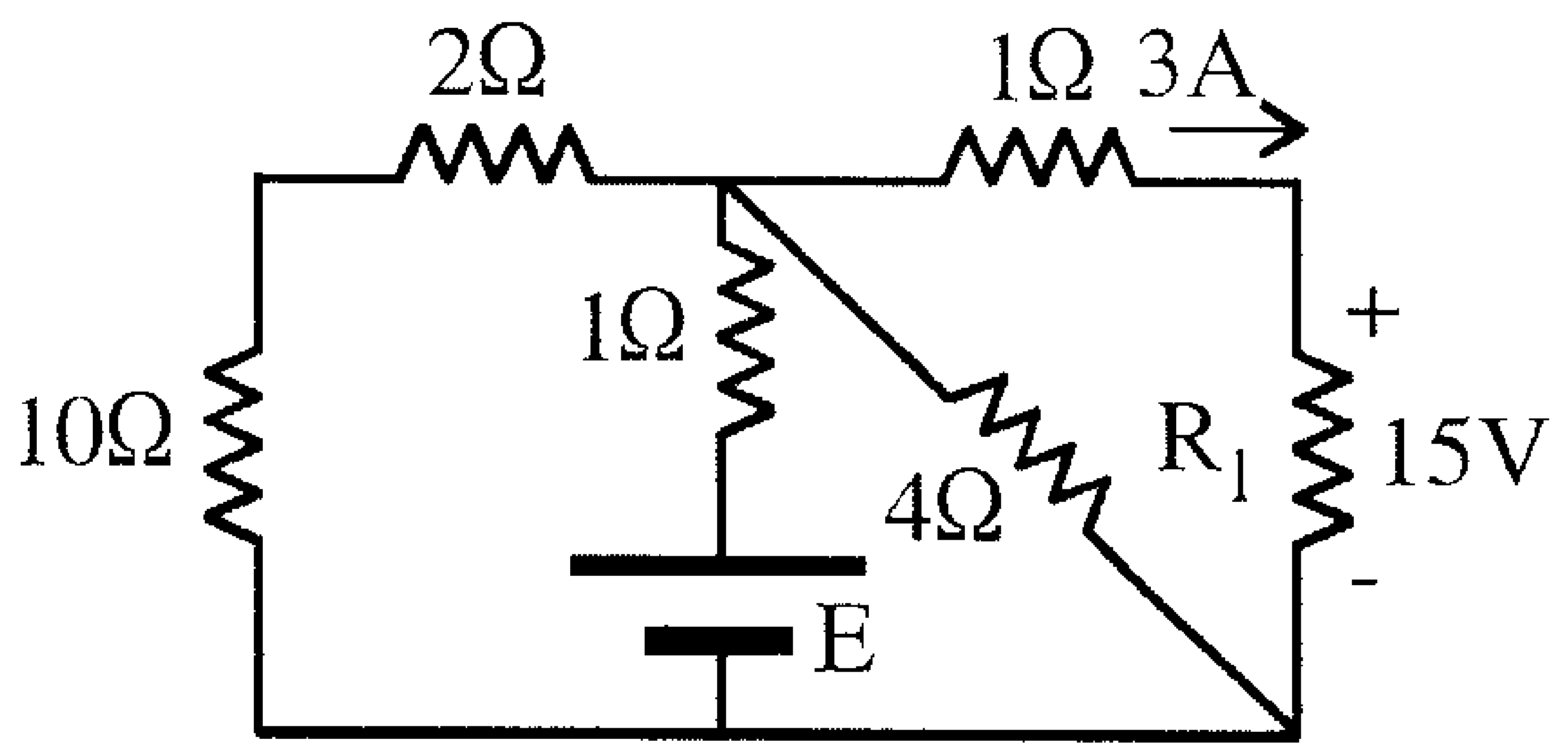
2- التيار المار في المقاومة (2Ω).

3- القدرة على المقاومة (7Ω).

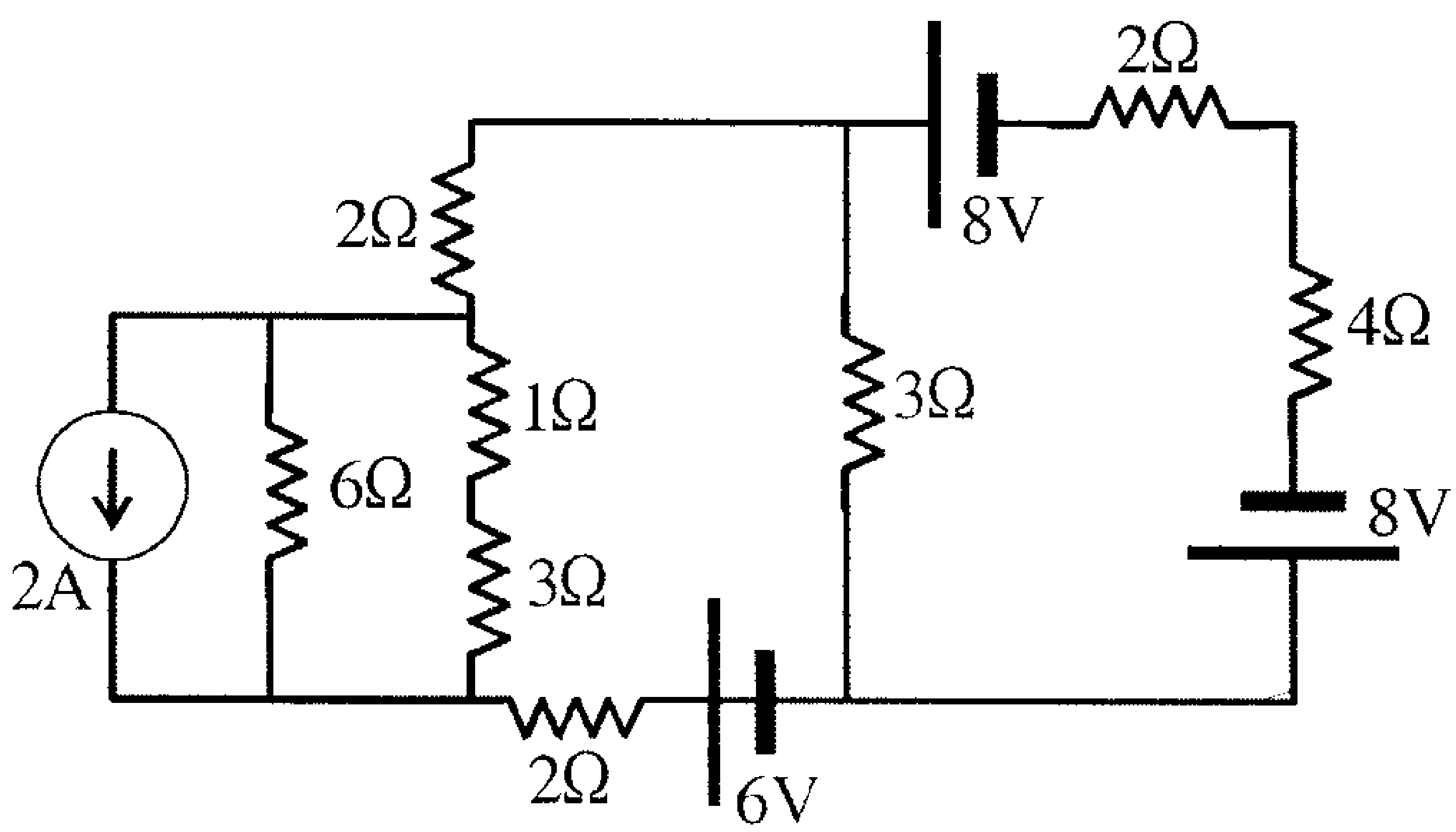


المسألة13.4 من الدائرة بالشكل التالي أوجد كلاً من :

. P_S , E ,R_1

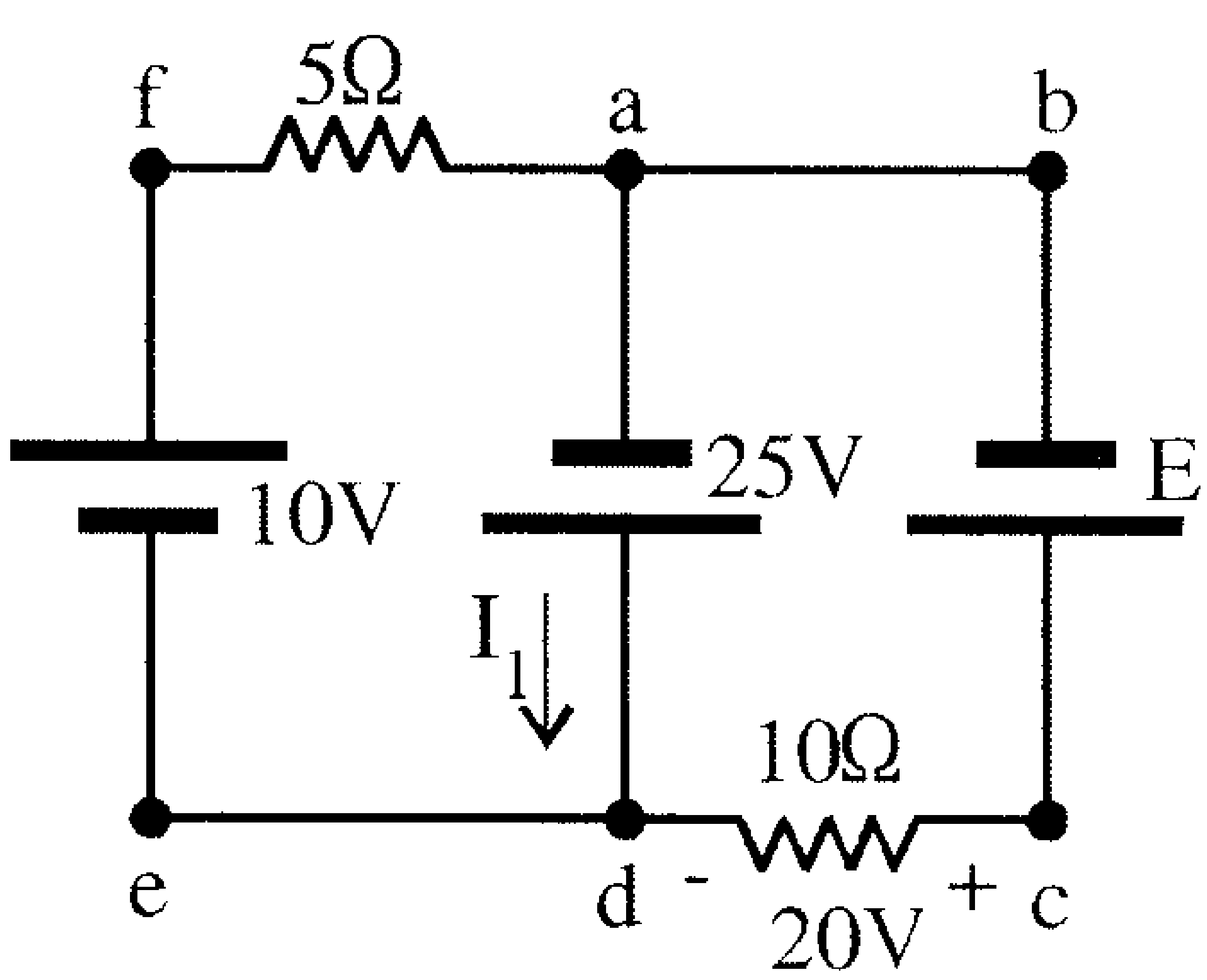


المسألة14.4 من الدائرة بالشكل التالي أحسب الجهد على المقاومة .(1Ω)

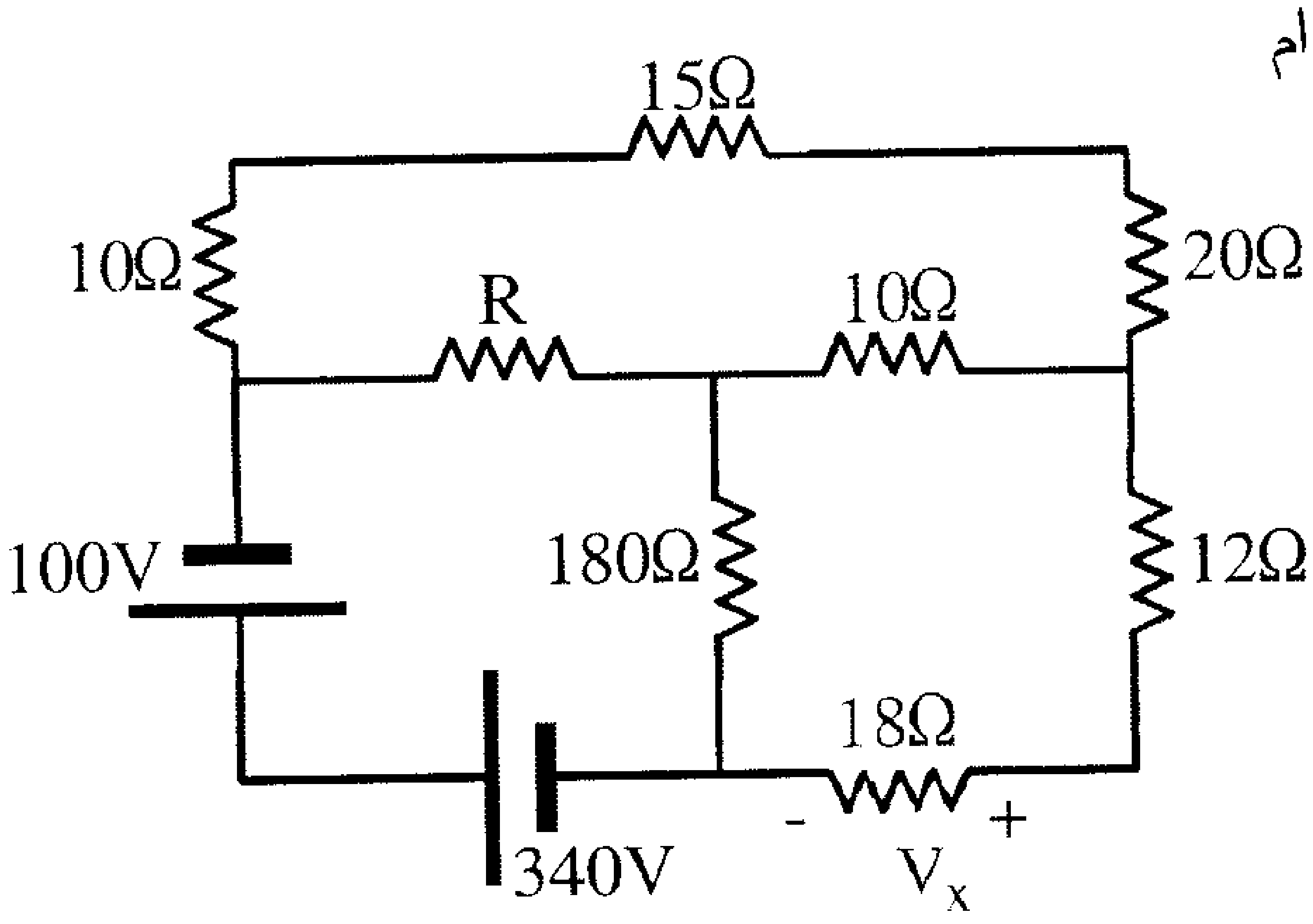


المسألة15.4 من الدائرة بالشكل التالي وباستخدام قانون أوم وقوانين كرشوف أوجد

$P_{5\Omega}$, I_1 , E



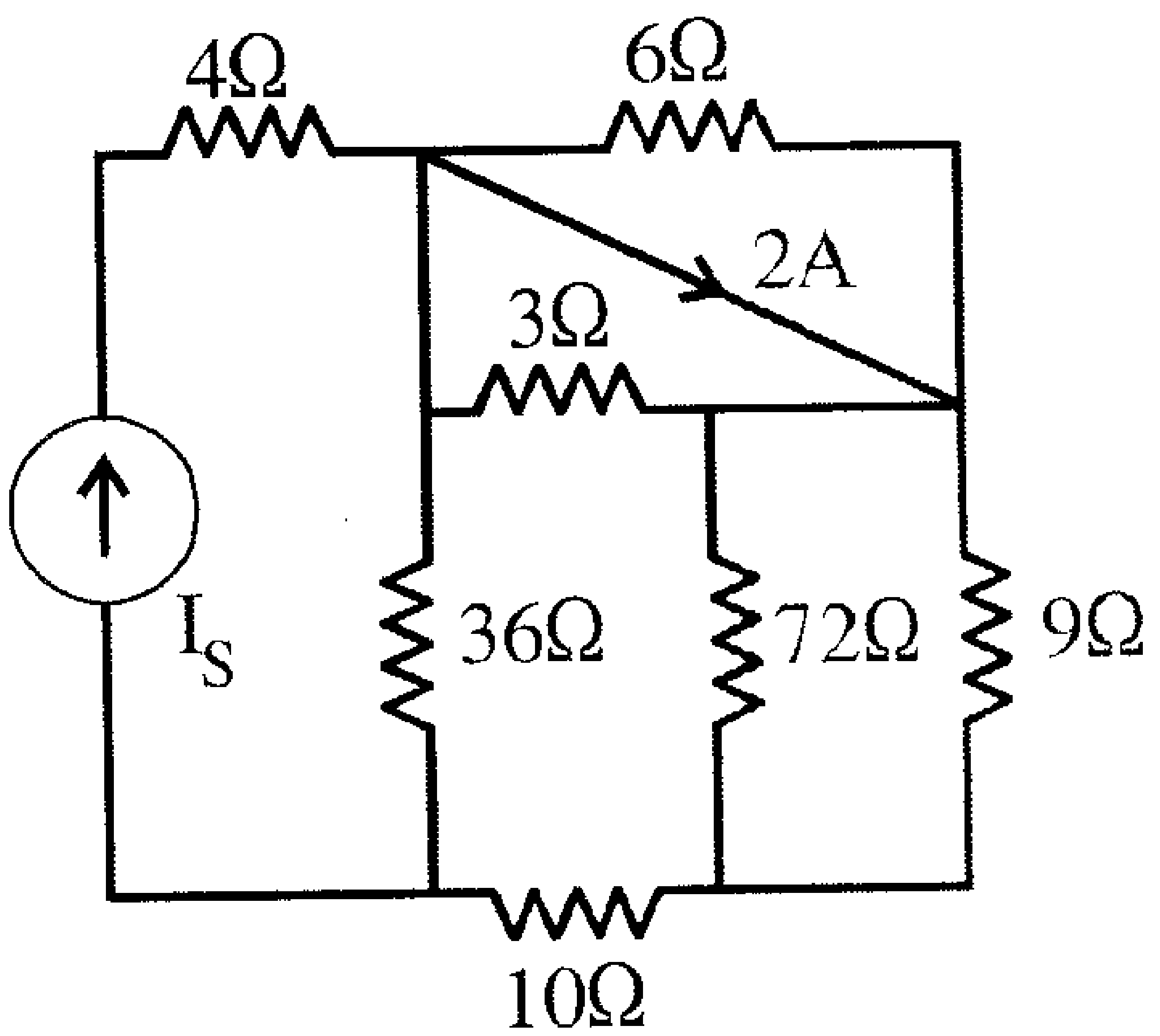
المسألة16.4 من الدائرة بالشكل وباستخدام (KCL) , (KVL) أوجد قيمة المقاومة (R) إذا كانت ($V_x = 90V$).



المسألة17.4 من الدائرة بالشكل التالي أوجد:

1- قيمة مصدر التيار (I_S) .

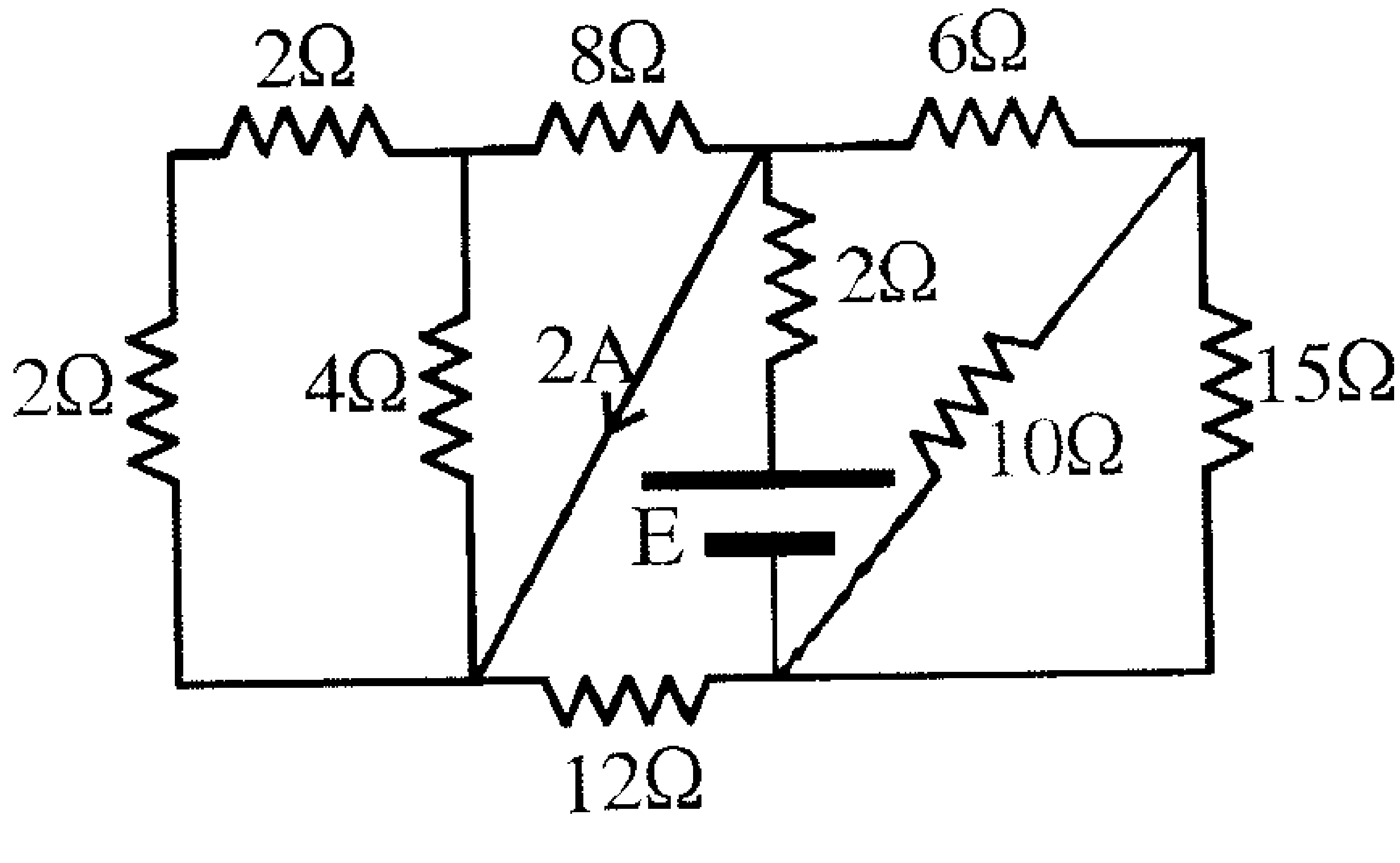
2- القدرة المولدة بواسطة مصدر التيار.



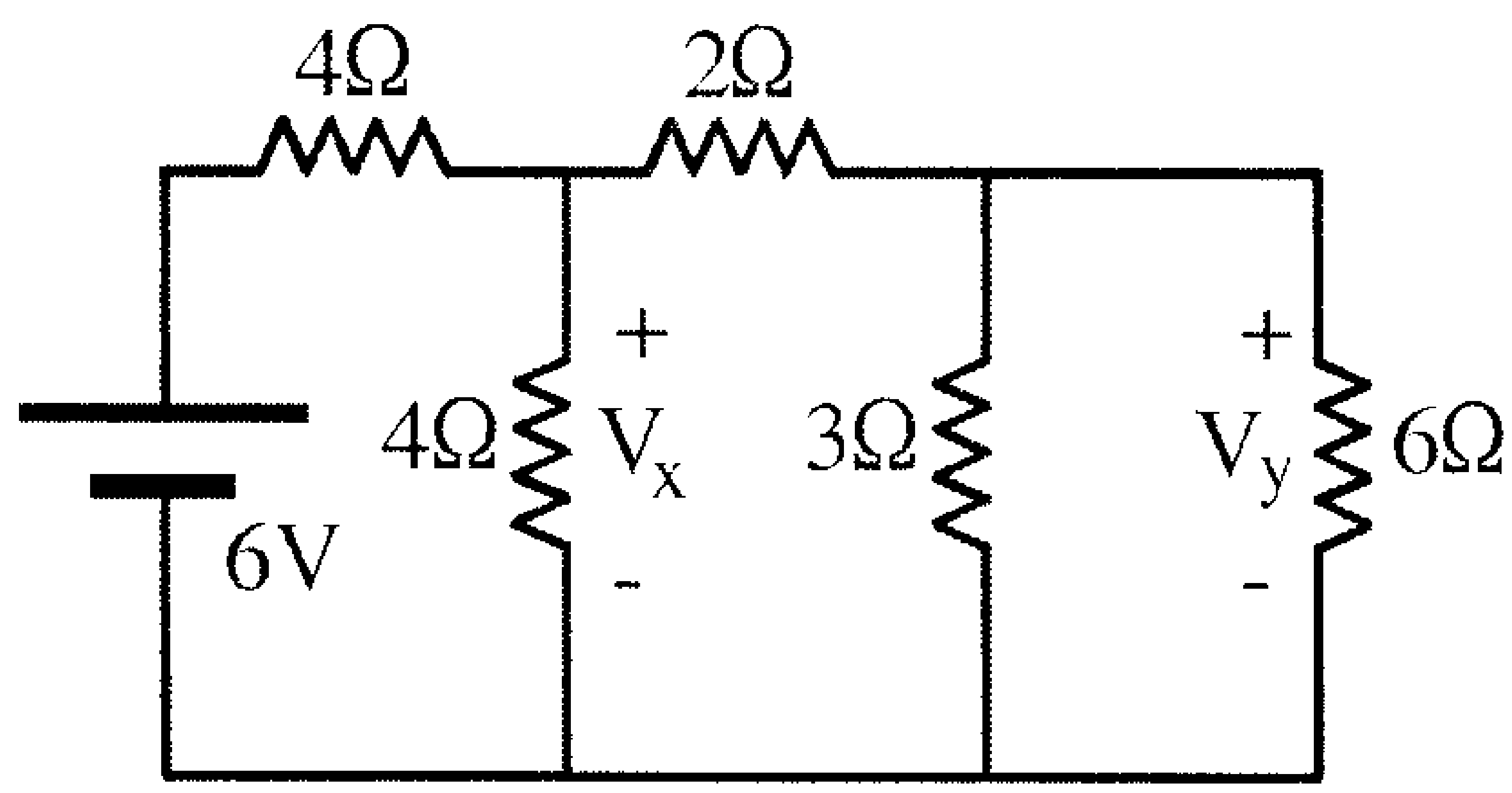
المسألة18.4 للدائرة بالشكل أوجد:

1- قيمة مصدر الجهد (E).

2- القدرة المستهلكة بواسطة المقاومة (10Ω).



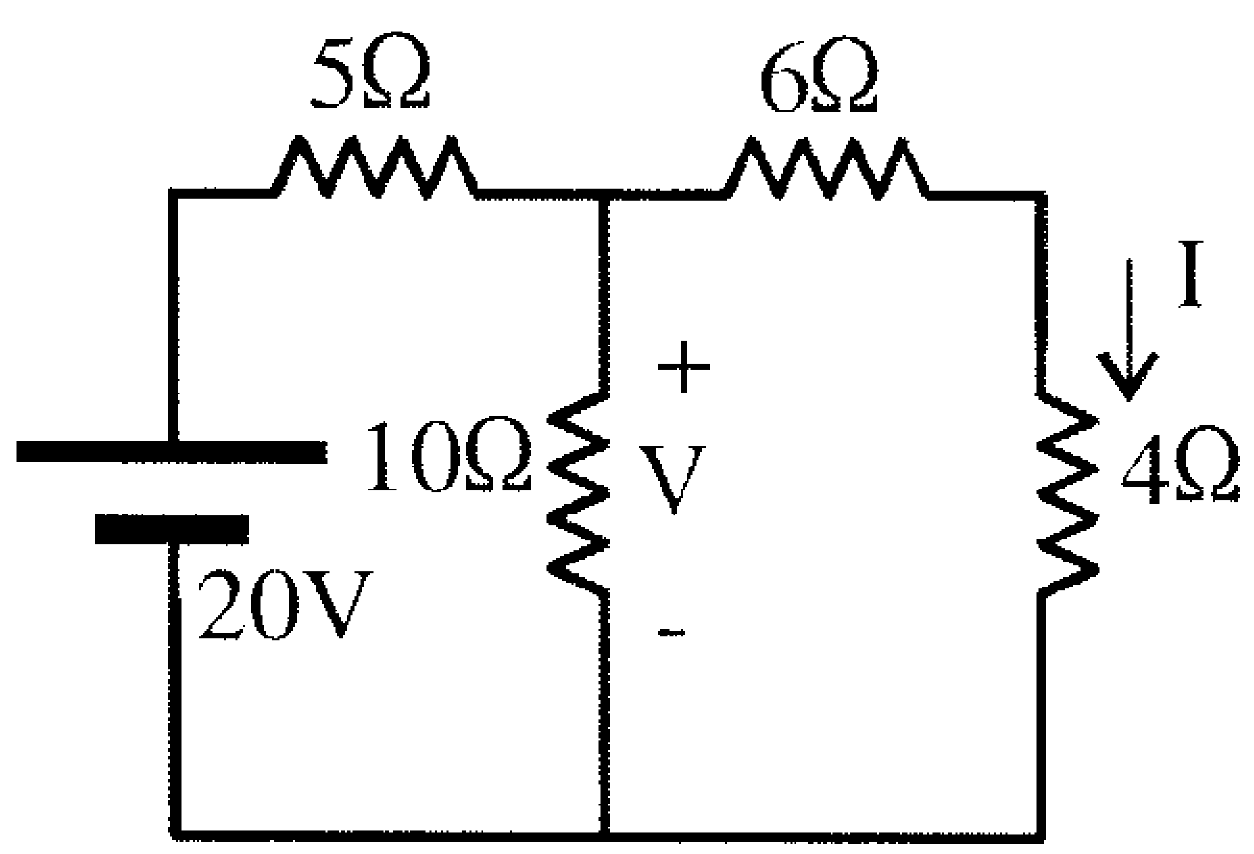
المسألة19.4 من الدائرة بالشكل التالي أوجد الجهود V_x , V_y .



المسألة20.4 من الدائرة بالشكل أوجد V, I

1- باستخدام قوانين كرشوف (KVL) و (KCL) .

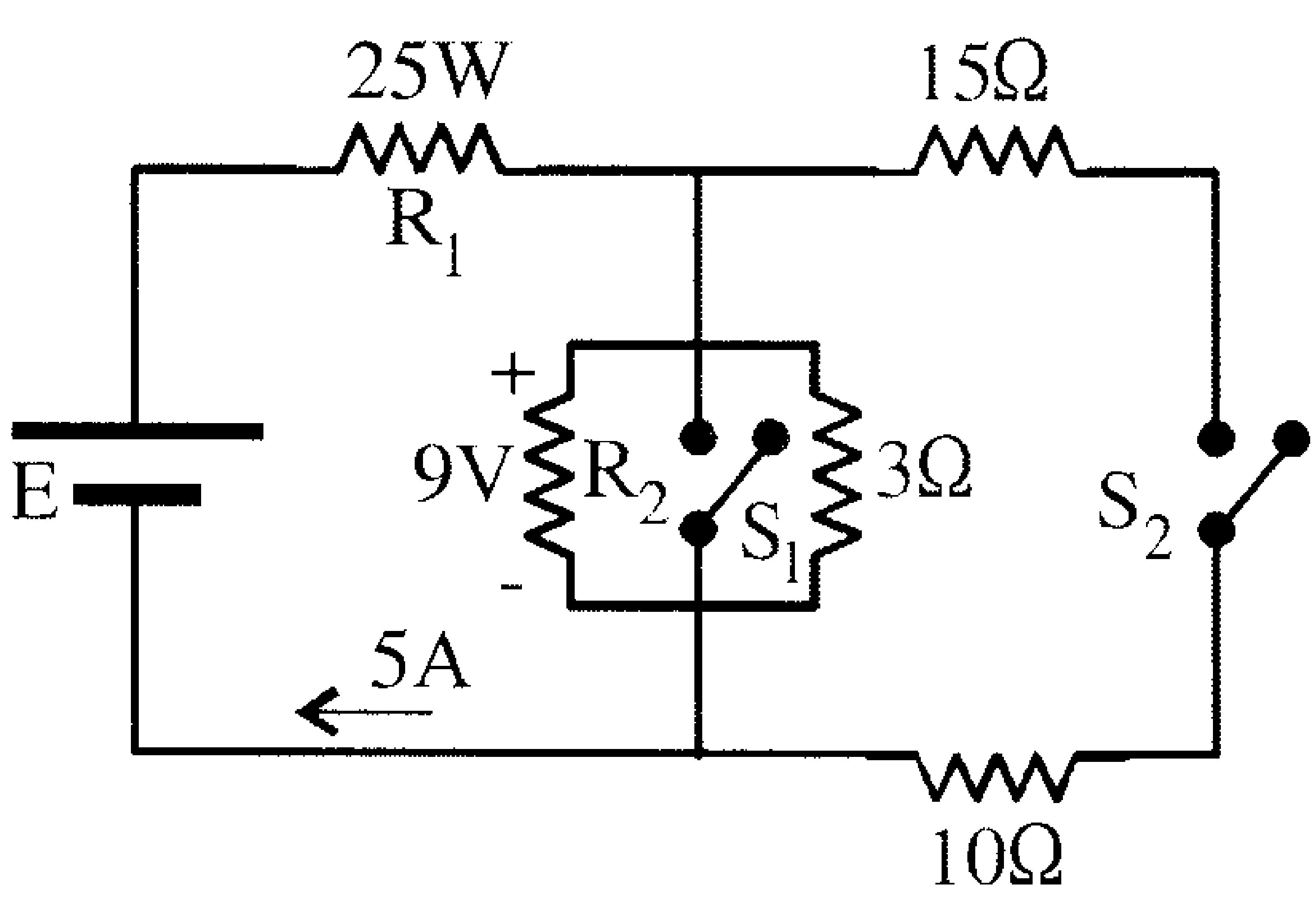
2- باستخدام المجزئات (VDR) و (CDR) .



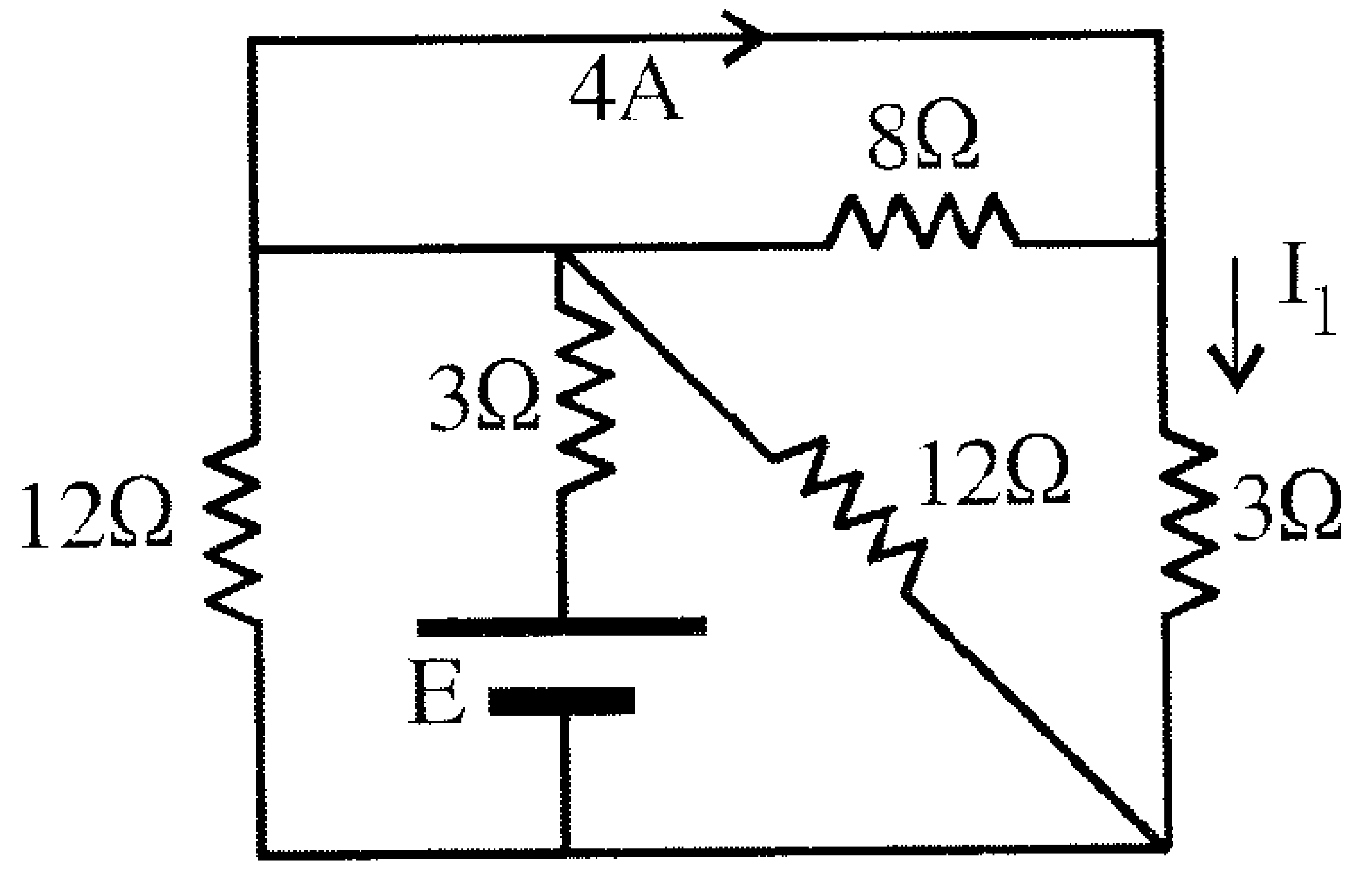
المسألة21.4 من الدائرة بالشكل أوجد E , R_1 , R_2 عندما يكون المفتاحان S_1, S_2:

1- في حالة فتح.

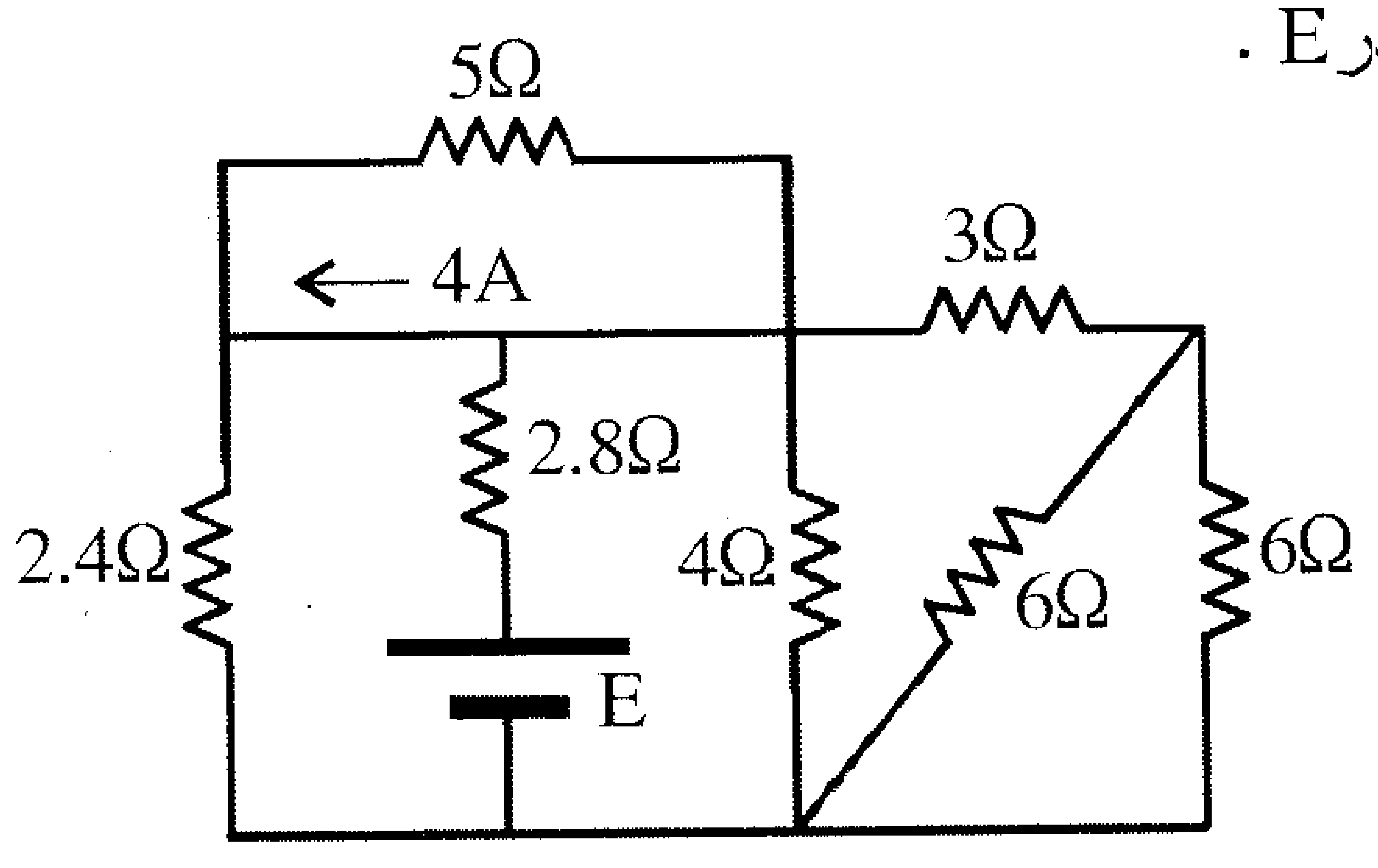
2- في حالة غلق.



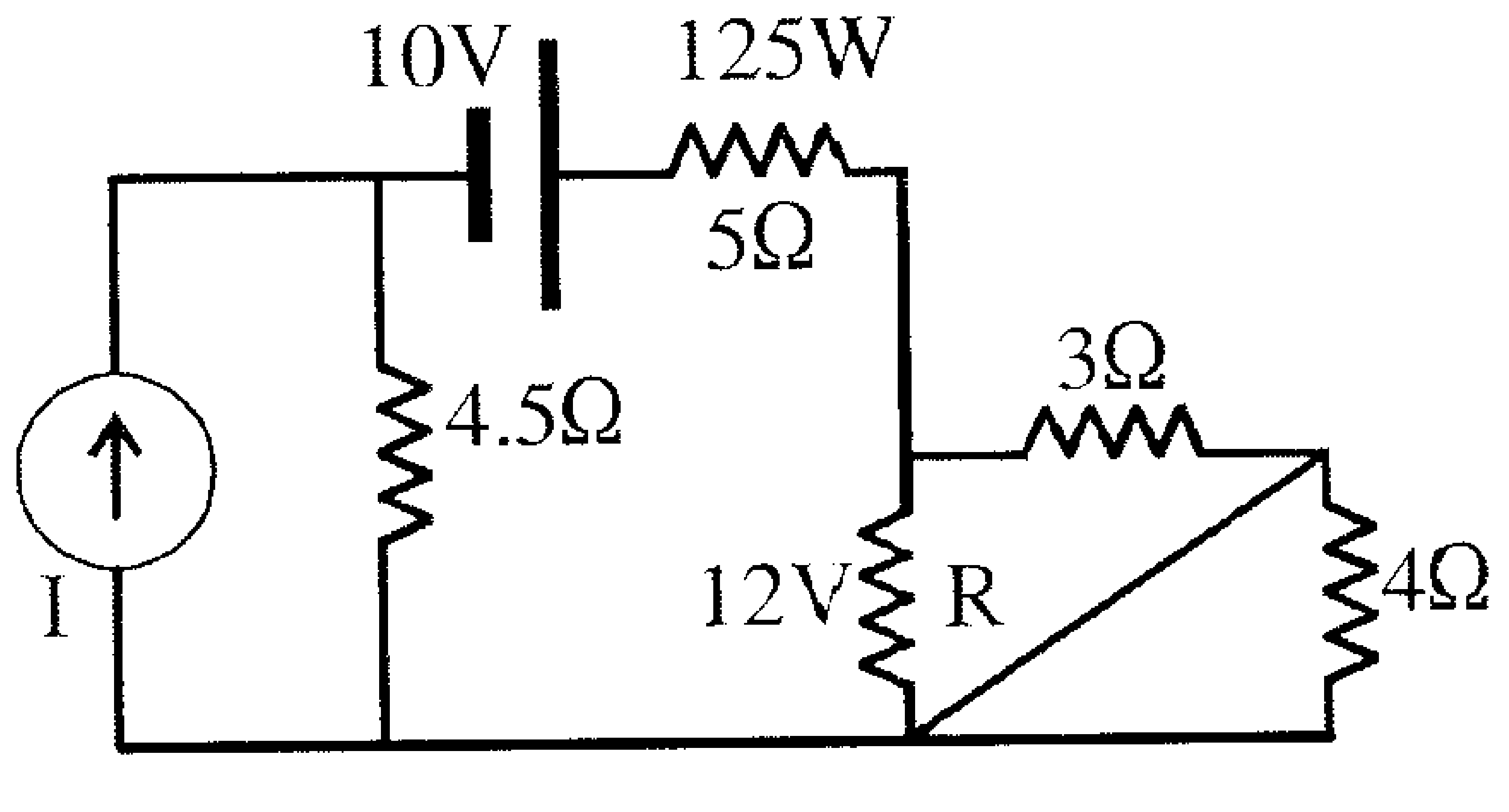
المسألة22.4 أوجد قيمة جهد المصدر (E) وكذلك التيار I_1 المار في المقاومة (3Ω).



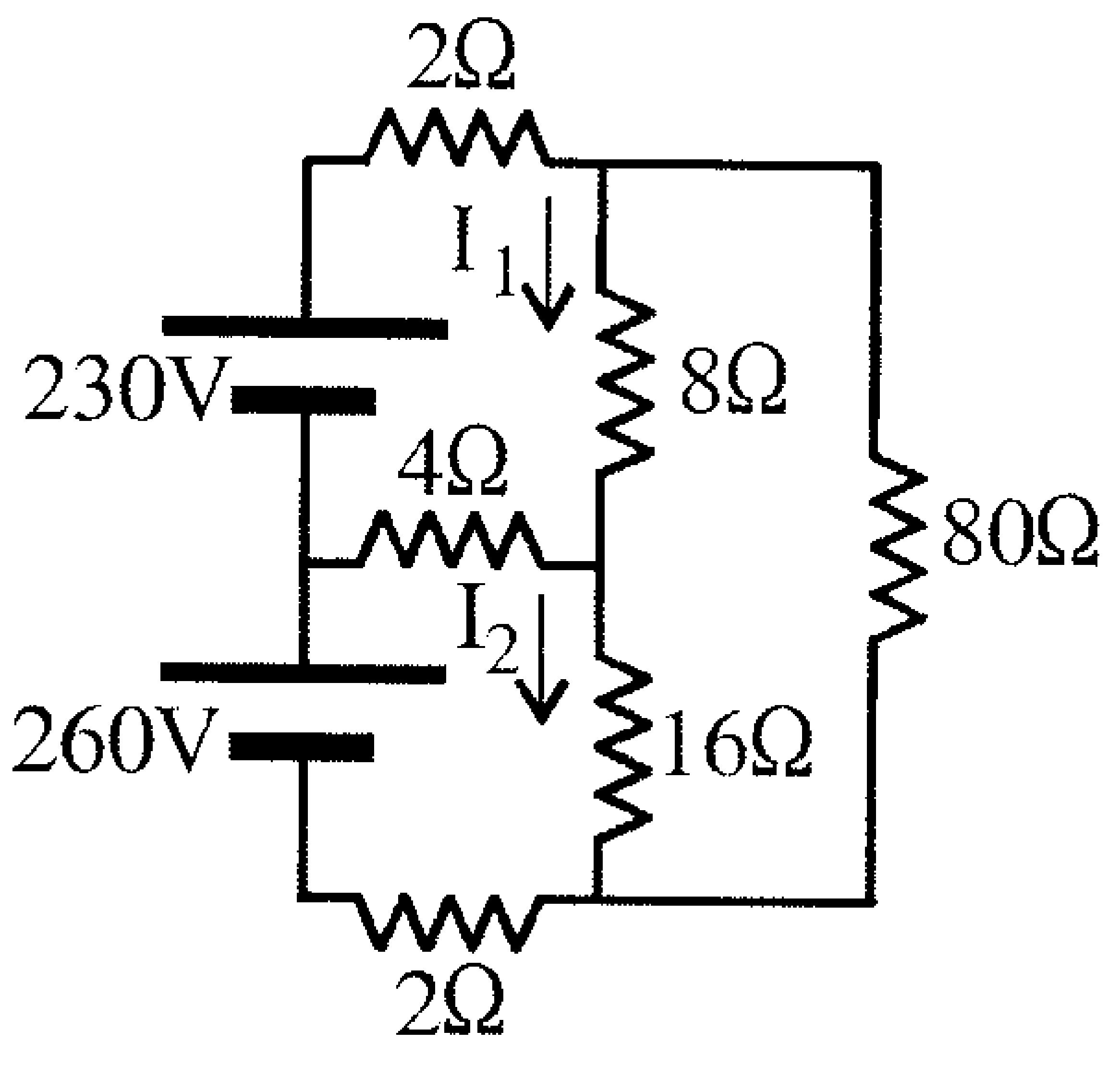
المسألة23.4 أوجد قيمة جهد المصدر E .



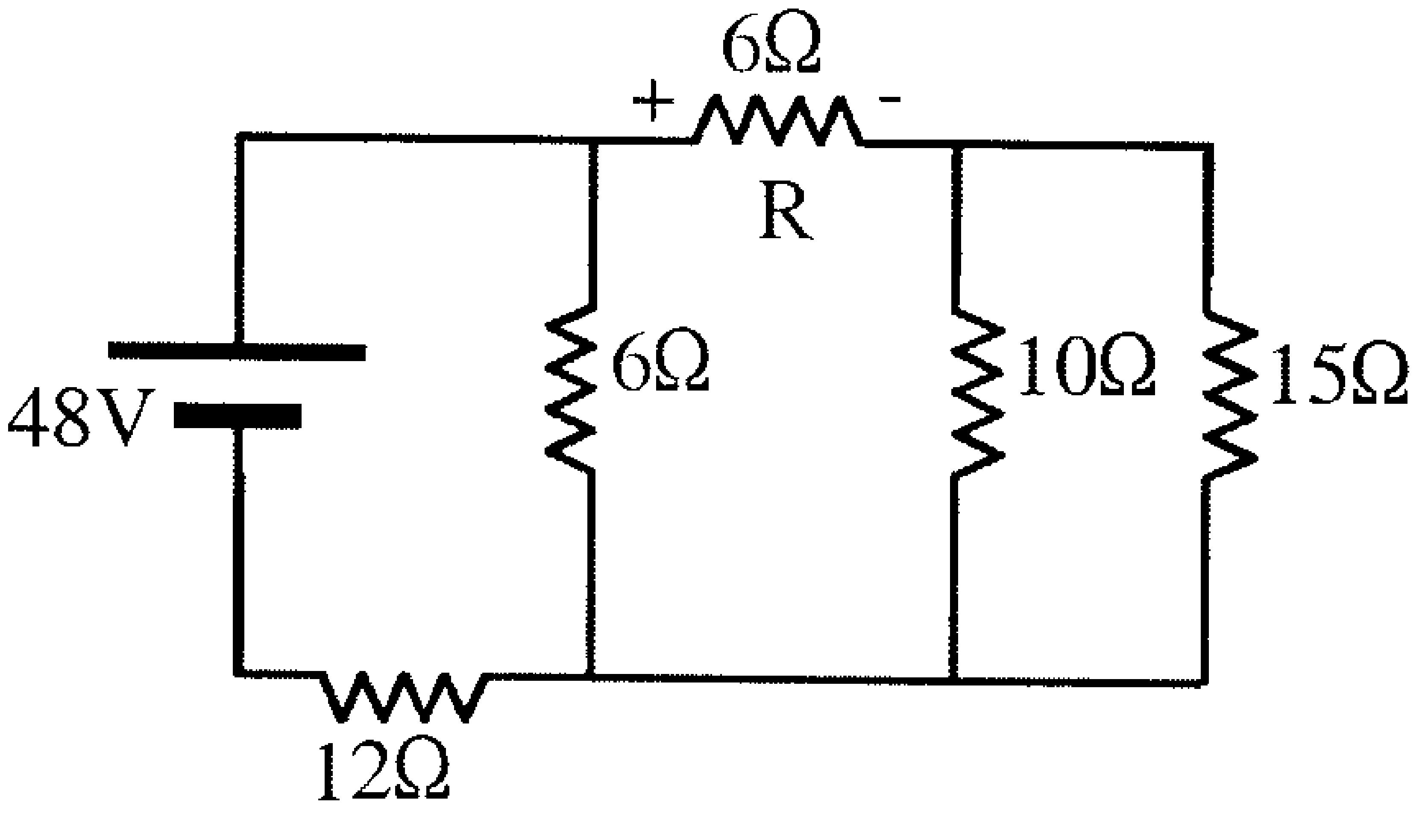
المسألة24.4 في الدائرة بالشكل أوجد R , I .



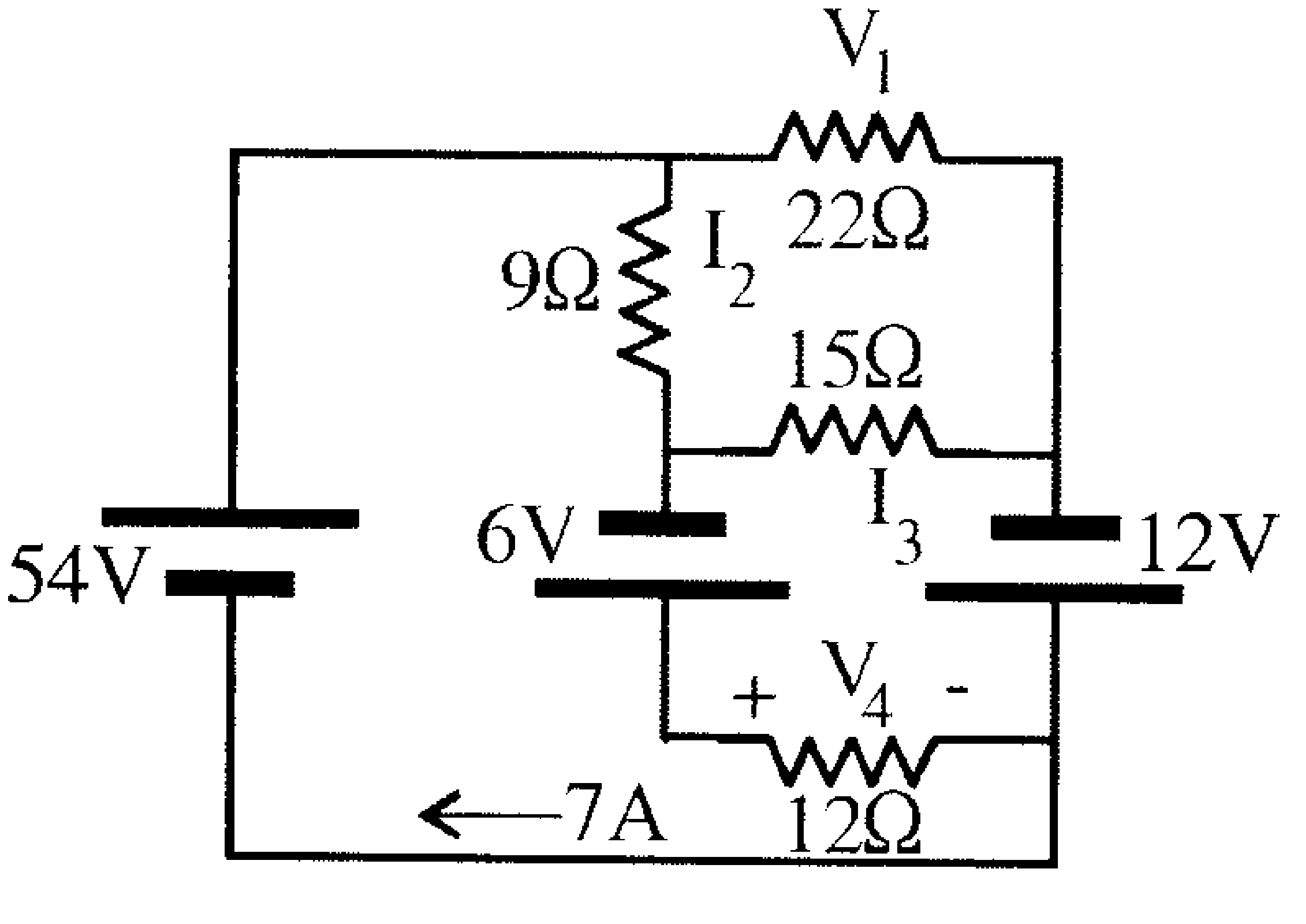
المسألة25.4 باستخدام قوانين كرشوف أوجد القدرة المولدة من كل مصدر جهد إذا علمت أن : $I_1= 20A$ ،$I_2=15A$.



المسألة26.4 عن طريق تحويل المصدر وقوانين كرشوف أوجد قيمة المقاومة المجهولة (R) والقدرة المولدة بواسطة الجهد.

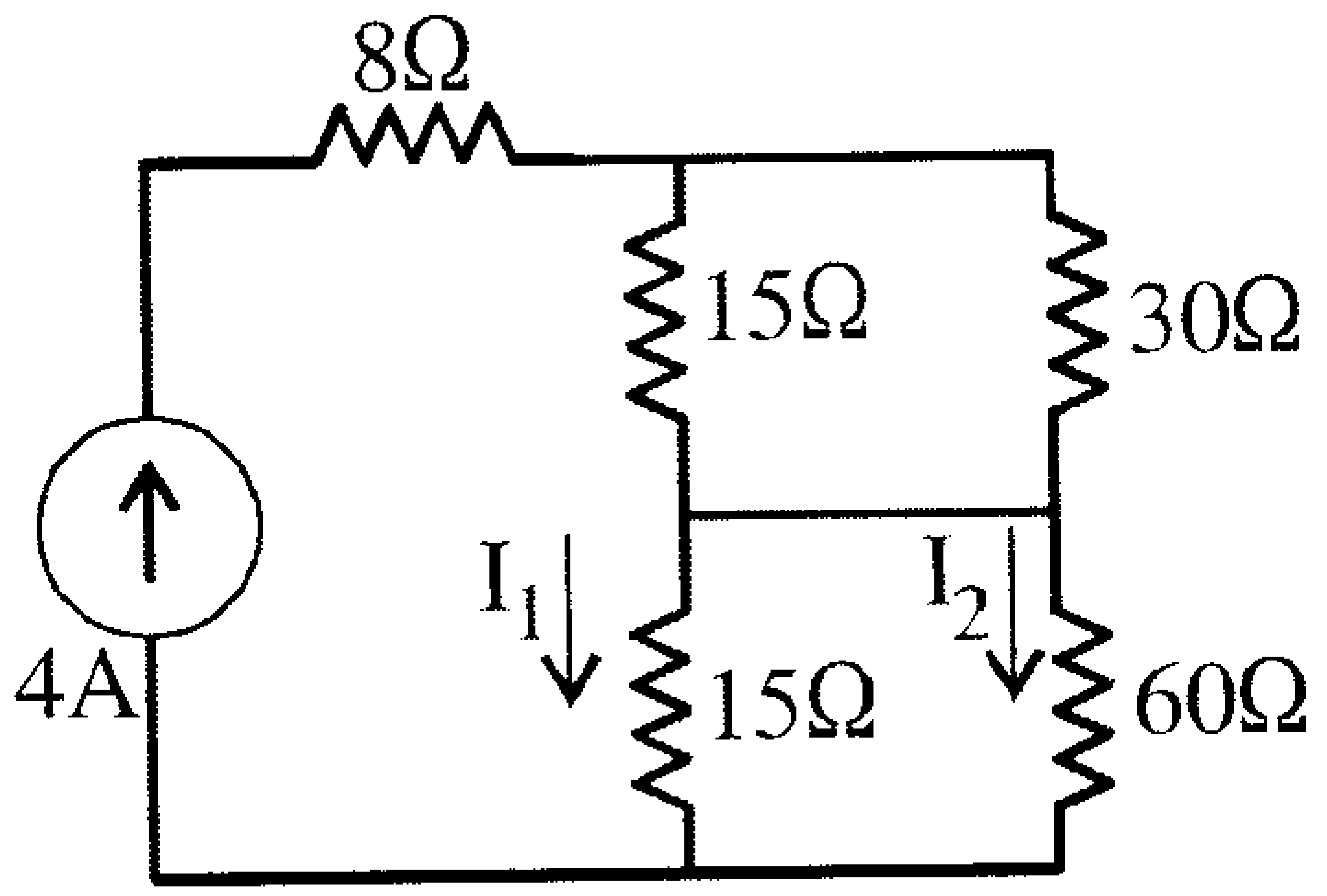


المسألة27.4 من الدائرة بالشكل أوجد : I_2 , I_3 , V_1 , V_4 وكذلك القدرة المولدة من مصدر الجهد (12V).

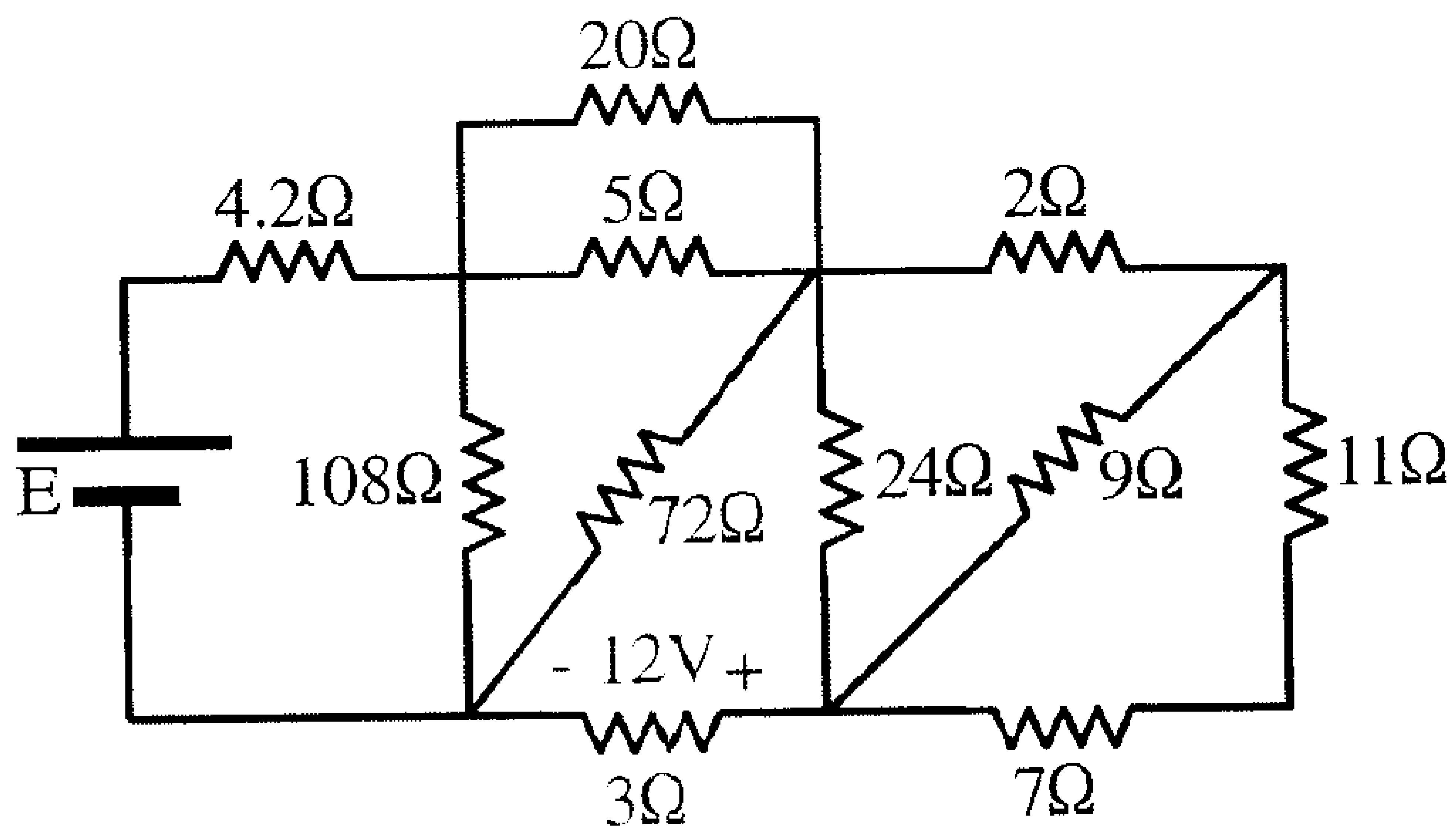


المسألة28.4 من الدائرة بالشكل أوجد :

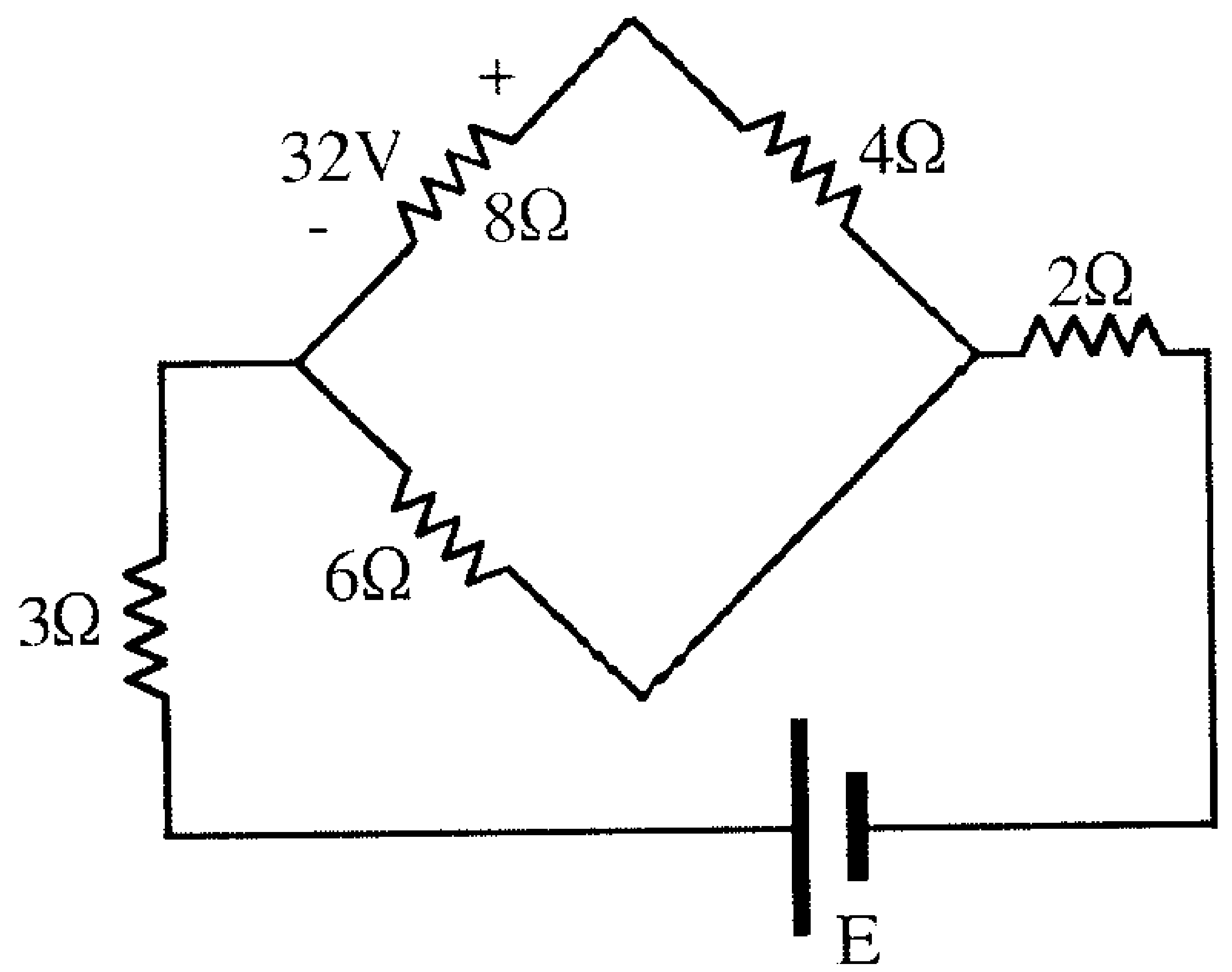
. P_S , R_T, I_2 , I_1, $P_{60\Omega}$, $V_{30\Omega}$



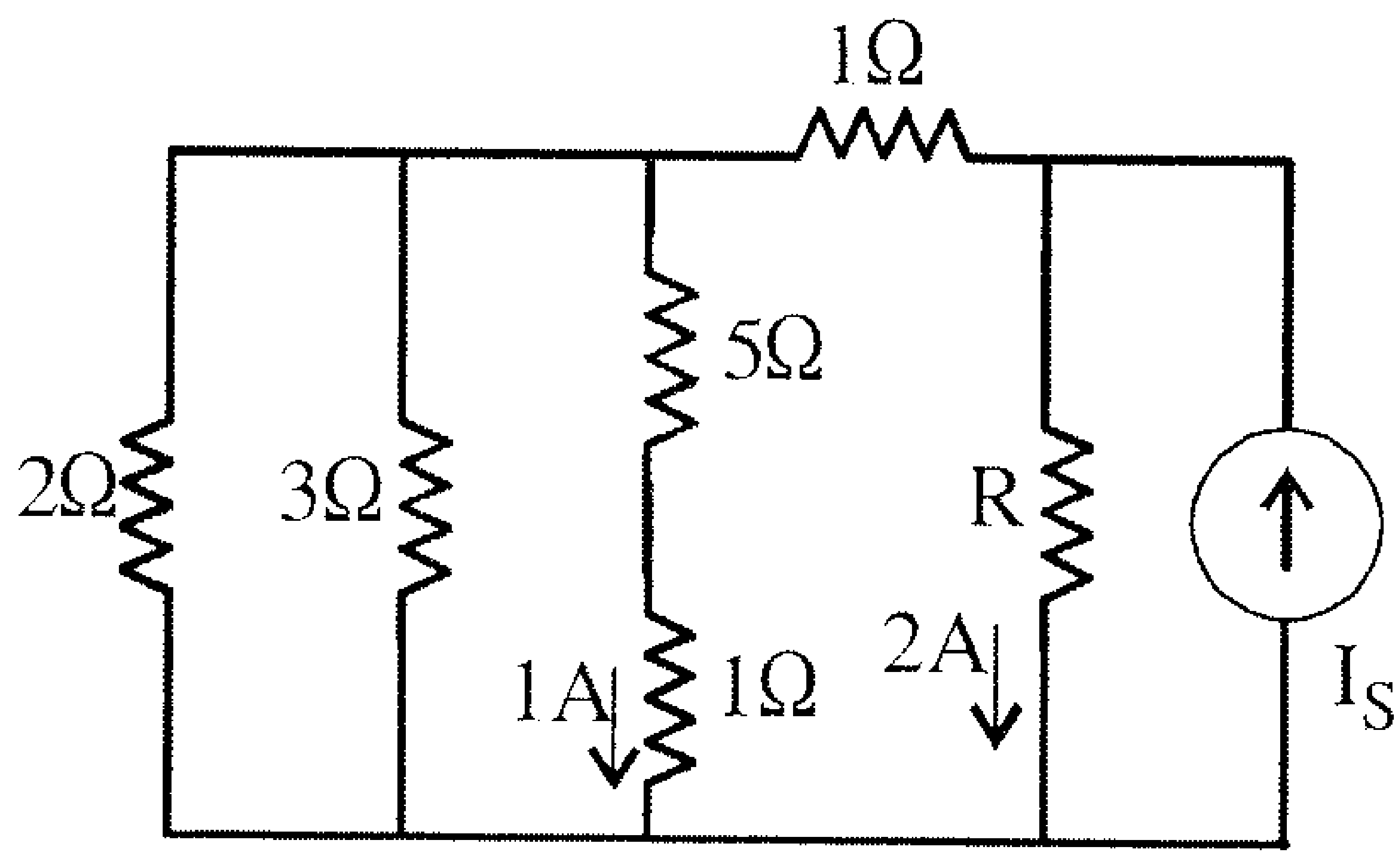
المسألة29.4 من الدائرة بالشكل أوجد قيمة جهد المصدر (E).



المسألة30.4 من الدائرة بالشكل أوجد قيمة مصدر الجهد (E) .



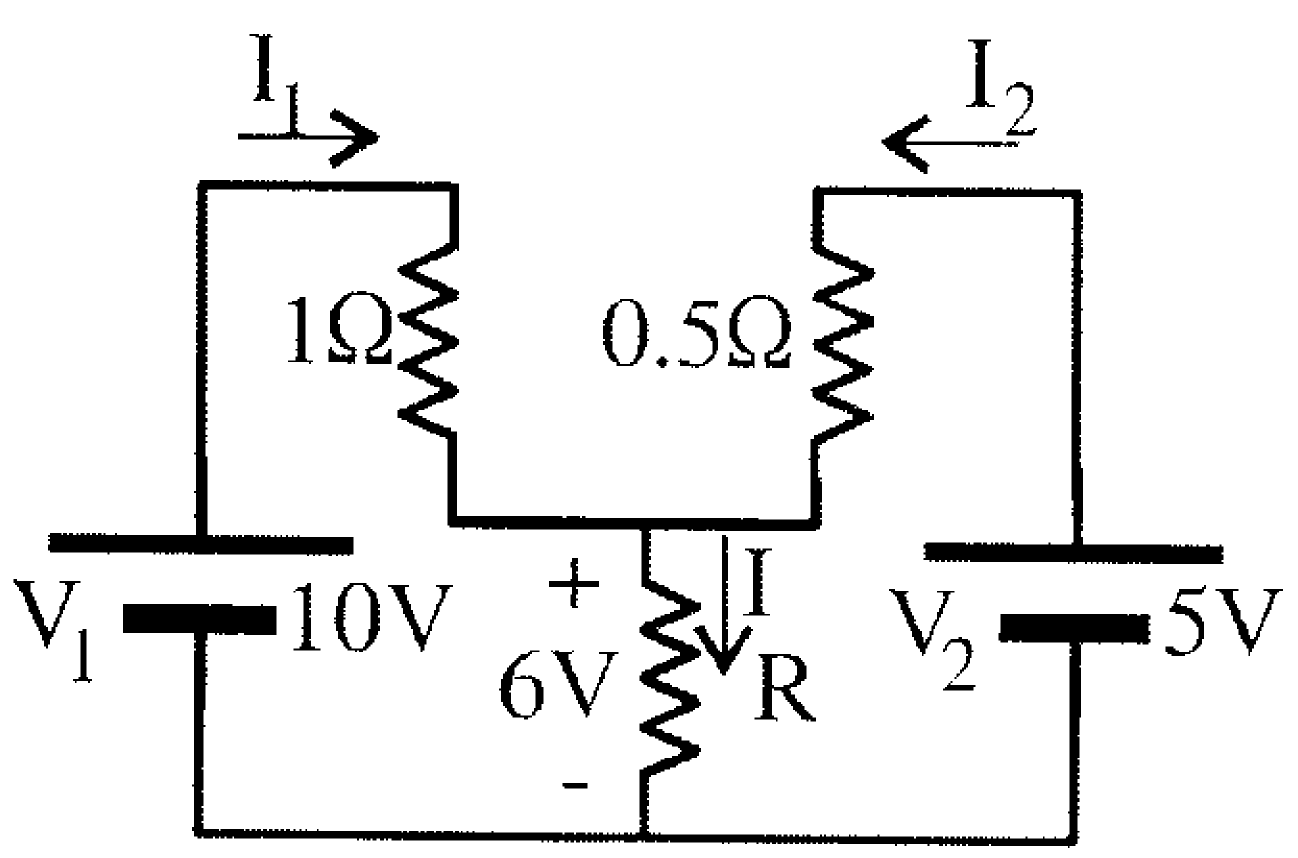
المسألة31.4 باستخدام (KCL) و(KVL) والمجزئات أوجد و P_S . I_S , P_R , R



المسألة32.4 من الدائرة بالشكل أوجد :

1- I , I_1 , I_2 , R .

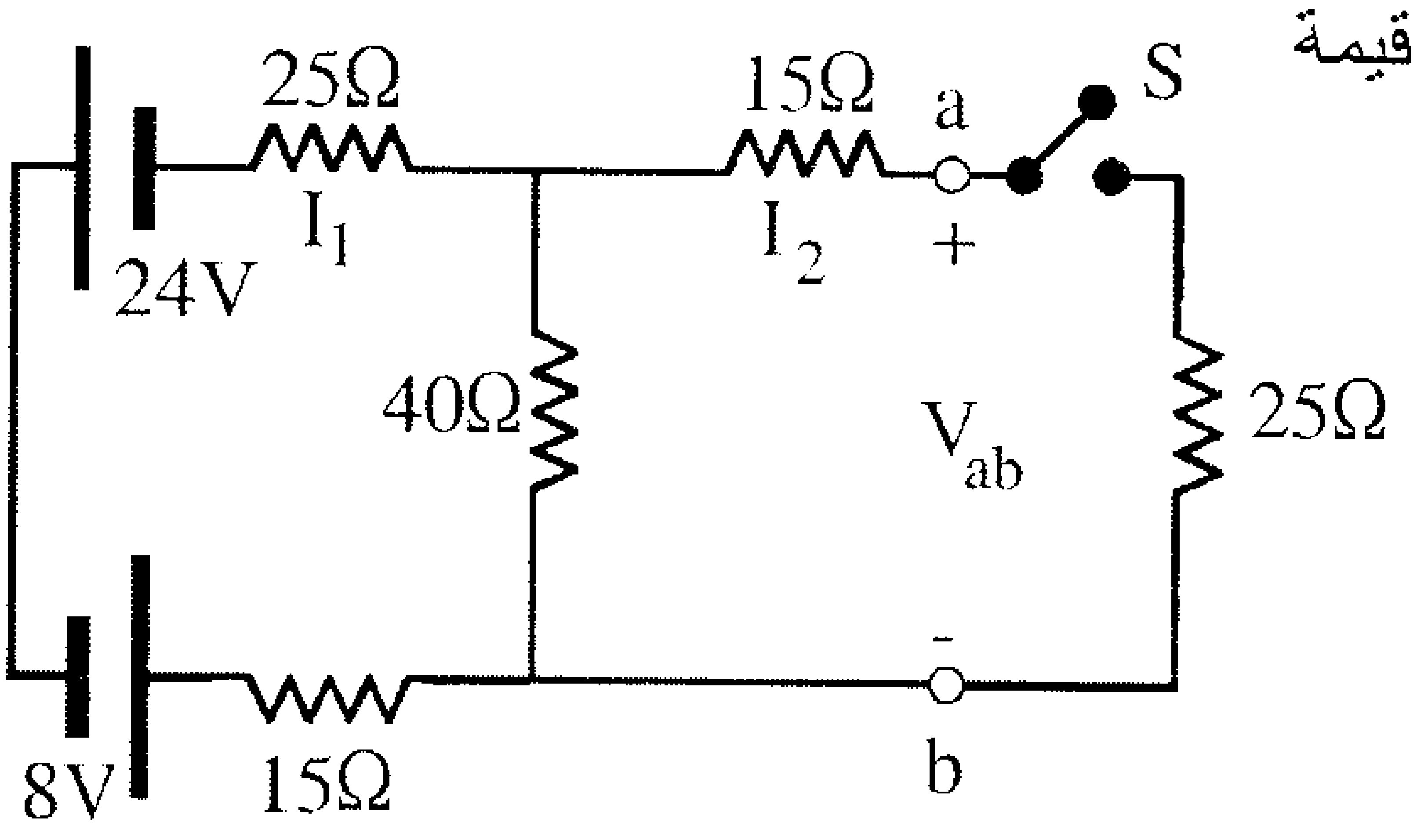
2- P_R, P_{V1} , P_{V2} .



المسألة33.4 من الدائرة بالشكل أوجد قيمة كل من I_1, I_2 , V_{ab} في الحالتين:

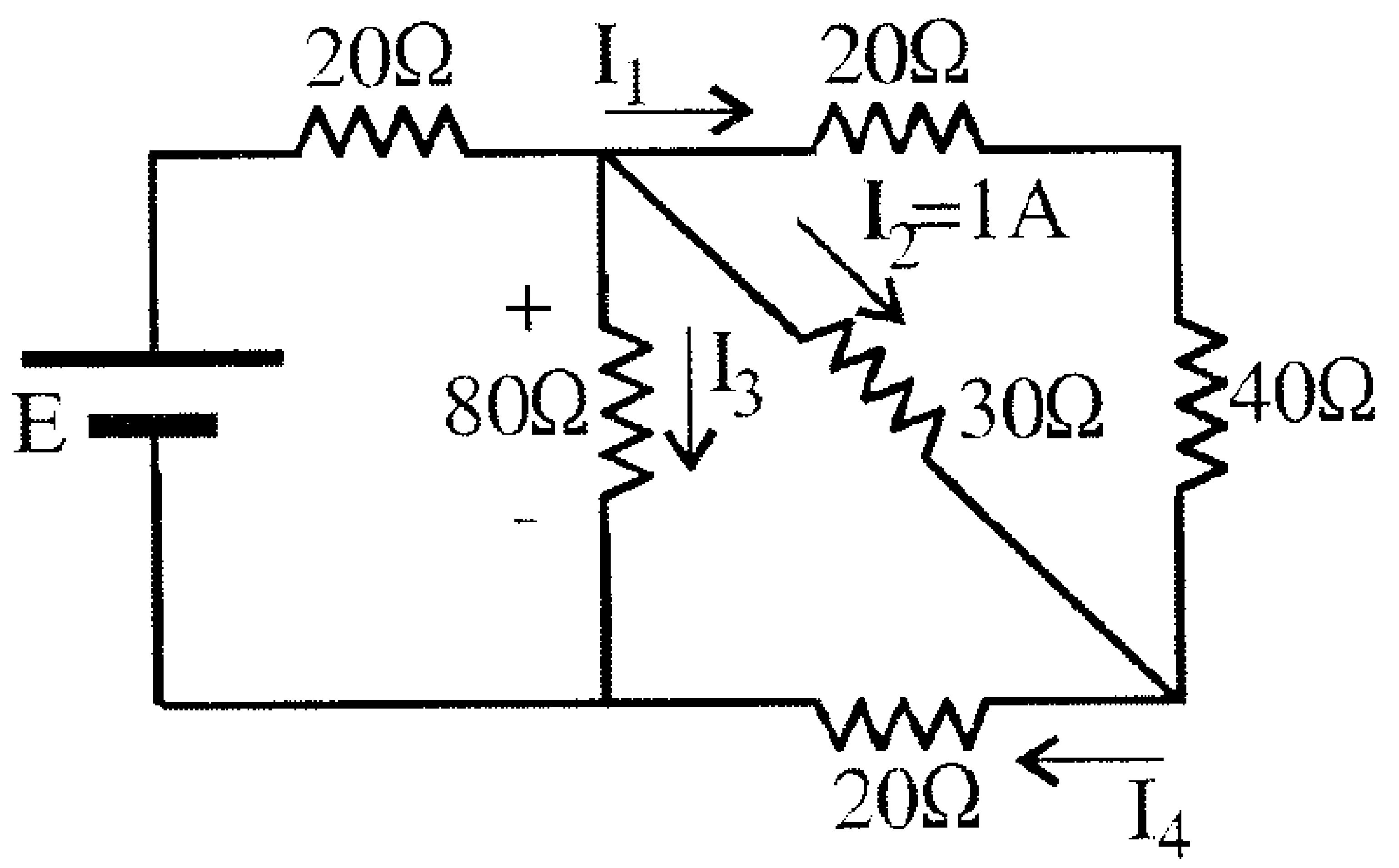
1- عندما يكون المفتاح (S) مفتوحاً.

2- عندما يكون المفتاح (S) مغلقاً.



المسألة34.4 من الدائرة بالشكل

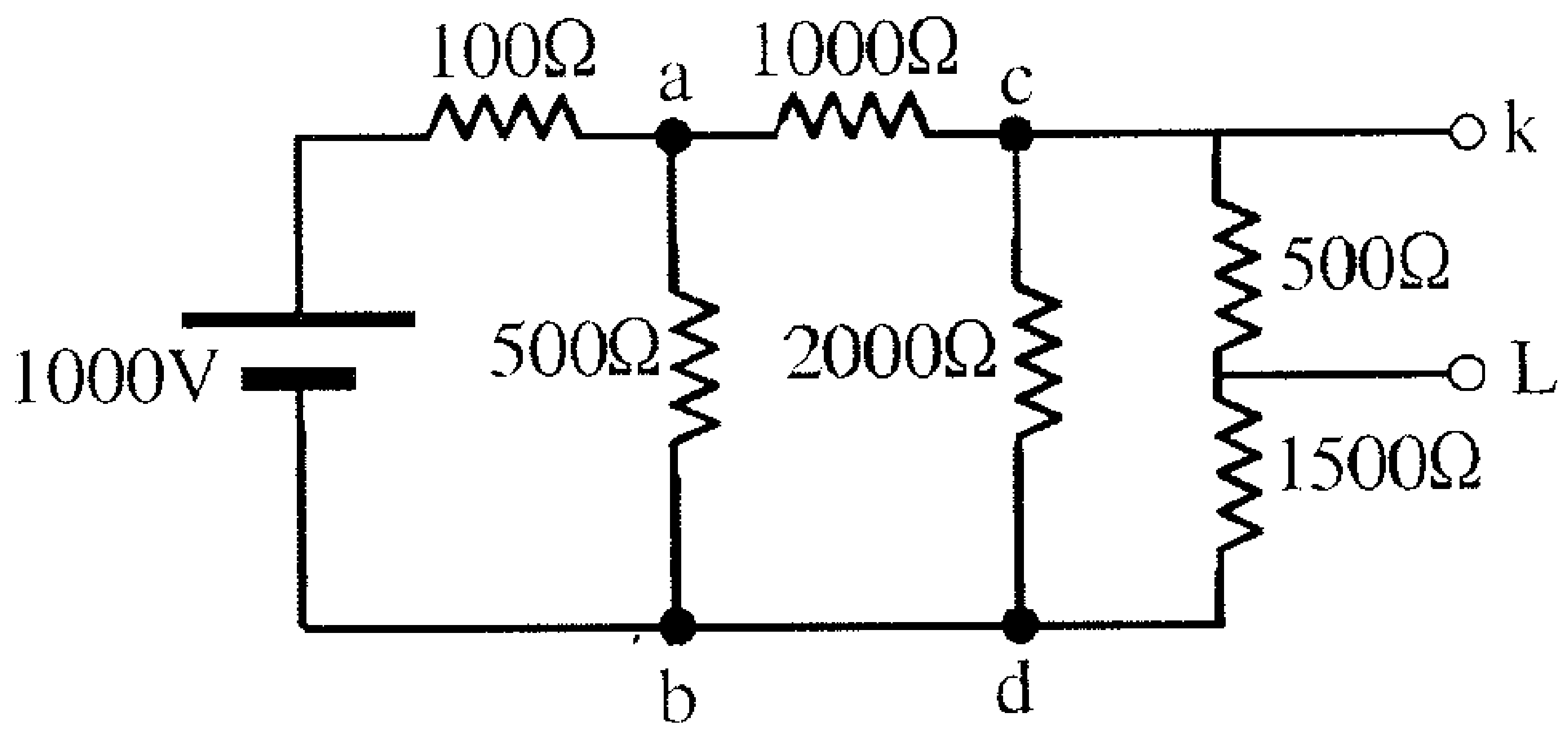
أوجد: I_1, I_4, E , P_S .



المسألة35.4 من الدائرة بالشكل أوجد كلاً من:

1- I_S , R_T .

2- V_{Kl} , V_{ab} , I_{ac}.



الفصل الخامس

1.5 التحليل الحلقي (الشبكي).

2.5 مسائل عن التحليل الحلقي.

3.5 التحليل العقدي.

4.5 مسائل عن التحليل العقدي.

طرق تحليل الدوائر الكهربائية

عندما تزداد الدوائر الكهربائية تعقيداً بتعدد مصادر الجهد والتيار في الدائرة الواحدة فإن قوانين كر شوف والمقسمات تعجز عن تحليل بعض هذه الدوائر، لذلك وضعت بعض الطرق والأساليب لتحليل الدوائر والتي سوف نتناول في هذا الفصل شرحها وتطبيقها على بعض الدوائر.

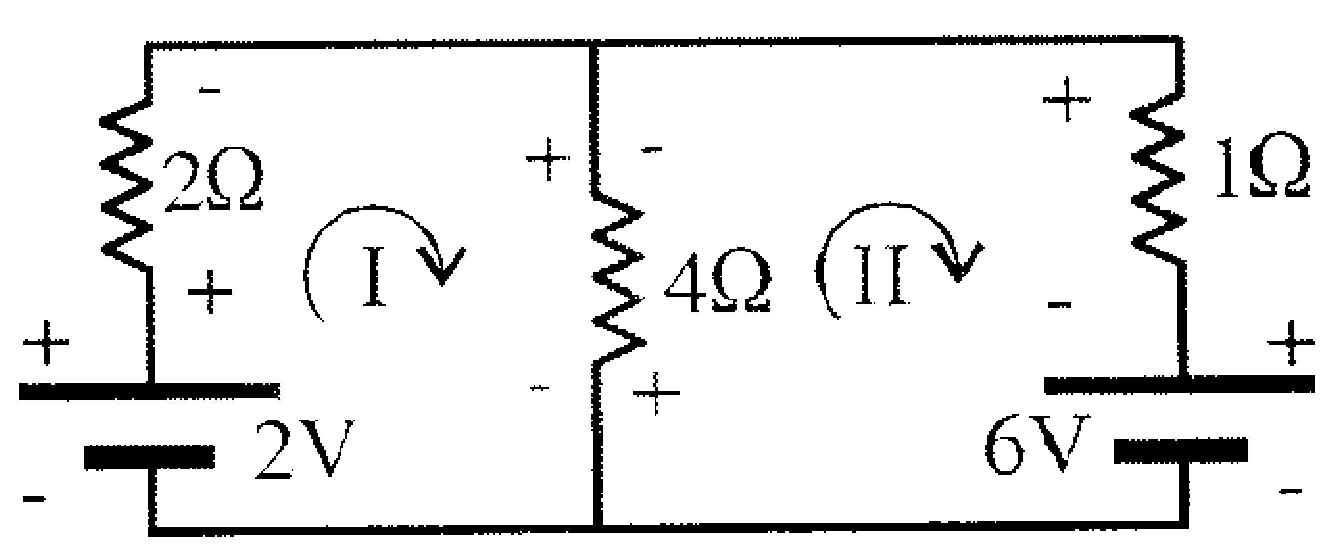
لقد تعرفنا على مصادر الجهد ومصادر التيار،وطريقة تحويل كل منها إلى الآخر وكيفية توصيل المصادر على التوالي والتوازي وشروط كل منها.

إن الأساس في طرق التحليل هي القوانين التي سبق أن درسناها في الفصول السابقة، أي أنه بدون استيعاب قوانين كر شوف والمقسمات وقانون أوم لا يمكننا الخوض في طرق وأساليب تحليل الدوائر.

1.5 التحليل الحلقي (الشبكي) Mesh Analysis .

في هذه الطريقة نستخدم قوانين كر شوف في الحل،وتحتوي الدائرة على مصدرين أو أكثر من مصادر الجهد ،والمثال التالي يوضح طريقة استخدام التحليل الحلقي.

1- نفرض أن اتجاه التيار (مع اتجاه عقارب الساعة) لكل حلقة (مسار) والمعرف بـــ (I) و(II) حيث أن هذه الفرضية ليس بالضرورة أن تكون صحيحة وفي نهاية الحل سوف نثبت صحة هذه الفرضية من عدمها.



2- نحدد أقطاب كل مقاومة لكل حلقة على حدة بناءا على اتجاه التيار (الافتراضي)، حيث من المعروف أن التيار يدخل على المقاومة بالموجب ويخرج منها بالسالب.أما مصادر الجهد فأقطابها تبقى كما هي ولا يجوز تغييرها.

3- نطبق قانون كر شوف للجهد لكل حلقة وذلك في اتجاه عقارب الساعة،ولمعرفة الجهد بمعلومية المقاومة يجب التعرف على تيار كل حلقة حيث نفرض أن الحلقة

الأولى تيارها (I_1) والحلقة الثانية تيارها (I_2) وهكذا ...

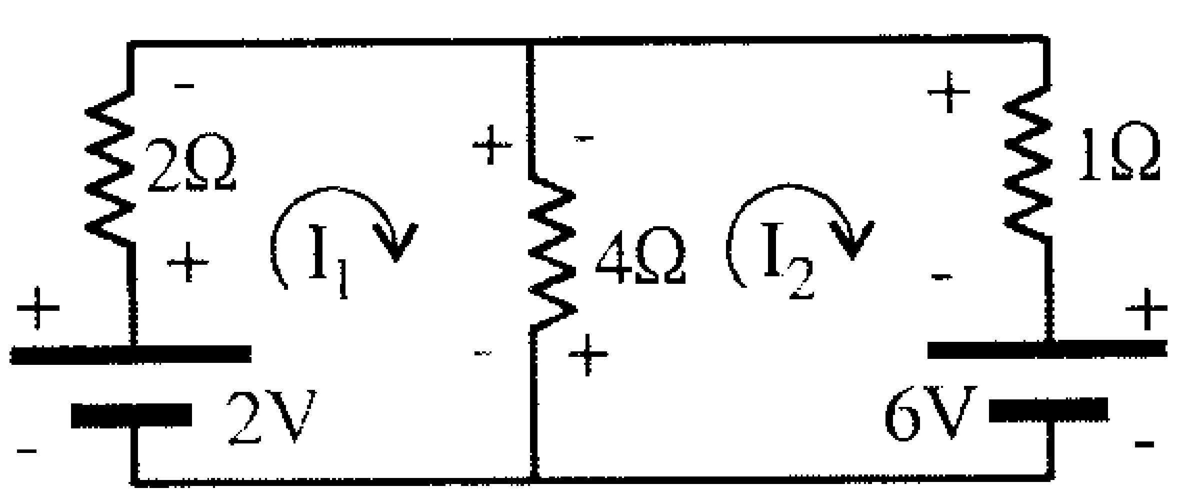
أما في حالة وقوع المقاومة ما بين حلقتين فإن تيارها يساوي الفرق ما بين تيار الحلقة الأولى وتيار الحلقة الثانية (عندما نطبق على الحلقة الأولى) والعكس صحيح عندما نطبق على الحلقة الثانية.

4- نتحصل في النهاية على عدد من المعادلات الخطية يساوي عدد الحلقات. ففي حالة حلقتين نتحصل على معادلتين ذات مجهولين (تيارين)،وبحل المعادلتين نتحصل على قيمة كل تيار،ومن التيار يمكن حساب الجهود.

5- إذا كانت قيمة التيار المتحصل عليه موجبة فإن الفرضية في البداية لاتجاه التيار كانت صحيحة،أما إذا كانت قيمة التيار سالبة فإن الاتجاه الصحيح للتيار هو عكس الاتجاه المفروض.

وفيما يلي تطبيق ما تم شرحه على هيئة مثال عددي:

مثال 1.5 : من الدائرة بالشكل التالي أوجد قيمة واتجاه تيار كل حلقة.



الحـــل: هذه الدائرة تحتوي على حلقتين أي المطلوب إيجاد تيارين I_1 وI_2 .

تم تحديد أقطاب المقاومات حسب اتجاه التيار.الدخول للمقاومة (+) والخروج (−).

نطبق قانون(KVL) :

الحلقة الأولى : **Loop 1**

$$+E_1 - V_1 - V_3 = 0$$

$$+2V - (2\ \Omega)\ I_1 - (4\Omega)\ (I_1 - I_2) = 0$$

الحلقة الثانية : Loop 2

$$-E_2 - V_3 - V_2 = 0$$

$$-6V - (4\ \Omega)(I_2 - I_1) - (1\Omega) I_2 = 0$$

$\therefore +2 - 2I_1 - 4I_1 + 4I_2 = 0$ loop1

$-6 - 4I_2 + 4I_1 - I_2 = 0$ loop2

$-6I_1 + 4I_2 + 4I_1 - I_2 = 0$ loop1

$+4I_1 - 5I_2 - 6 = 0$ loop2

$-6I_1 + 4I_2 = -2$ loop1

$+4I_1 - 5I_2 = 6$ loop2

لدينا معادلتان ذواتا مجهولين ،نستخدم المحددات لإيجاد I_2 و I_1

$$\Delta = \begin{vmatrix} -6 & 4 \\ 4 & -5 \end{vmatrix} = 30 - 16 = 14$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} -2 & 4 \\ 6 & -5 \end{vmatrix} = 10 - 24 = -14$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} -6 & -2 \\ 4 & 6 \end{vmatrix} = -36 - (-8) = -28$$

$$I_1 = \Delta_1 / \Delta = -14 / 14 = -1\ A \quad , \quad I_2 = \Delta_2 / \Delta = -28 / 14 = -2\ A$$

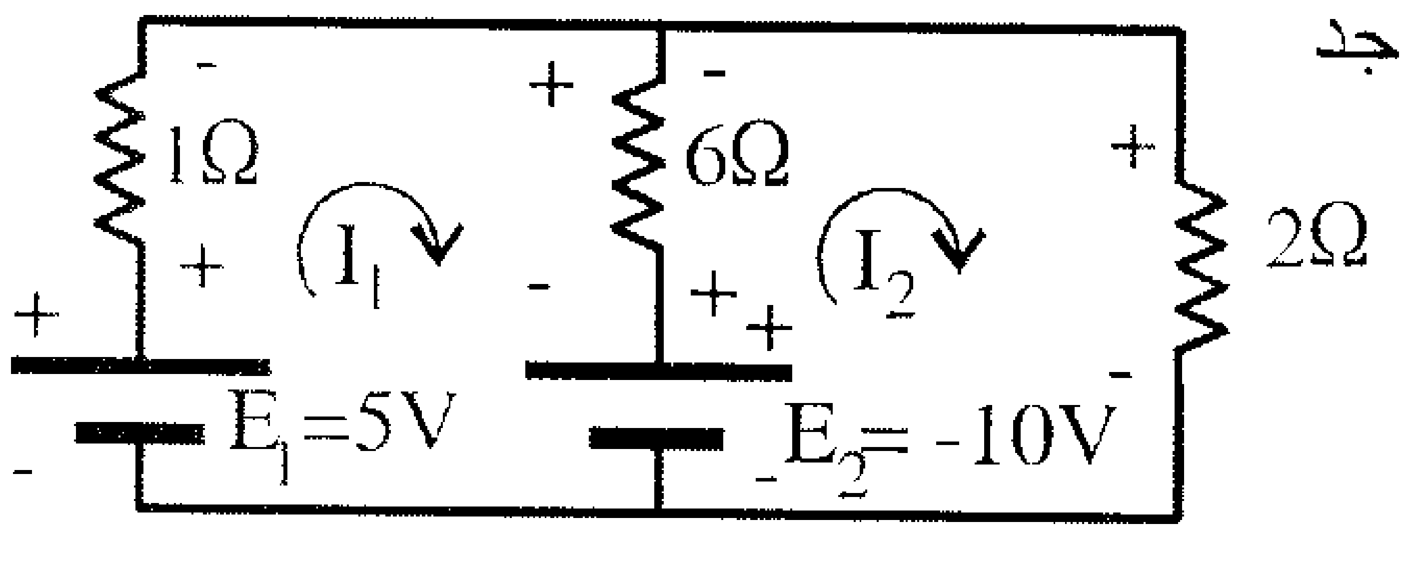
الإشارة السالبة للتيارين I_1 و I_2 تعني أن الاتجاه الصحيح للتيار هو عكس الاتجاه المفروض أي أن التيارين يسيران عكس اتجاه عقارب الساعة.
أما التيار الكلي المار خلال المقاومة التي تقع ما بين المسارين (R_3) فيمكن حسابه كالتالي:

$$I_3 = I_{4\Omega} = I_1 - I_2$$

التيار الأكبر ناقص التيار الأصغر

$$I_3 = (-1A) - (-2A) = 1A$$

مثال 2.5 :باستخدام طريقة التحليل الحلقي أوجد تيار كل حلقة في الدائرة بالشكل.



الحـــل:

Loop1 : (KVL)

$$+E_1 - V_1 - V_2 - E_2 = 0$$

$$+5V - (1\ \Omega)\ I_1 - (6\ \Omega)\ (I_1 - I_2) - 10V = 0$$

$$5 - I_1 - 6I_1 + 6I_2 - 10 = 0$$

$$-7I_1 + 6I_2 = 5$$

Loop2 : (KVL)

$$+E_2 - V_2 - V_3 = 0$$

$$+10V - (6\ \Omega)(I_2 - I_1) - (2\ \Omega)(I_2) = 0$$

$$10 - 6I_2 + 6I_1 - 2I_2 = 0$$

$$6I_1 - 8I_2 = -10$$

من المعادلتين وباستخدام المحددات يمكن إيجاد قيم التيارين I_2 و I_1

$$\Delta = \begin{vmatrix} -7 & 6 \\ 6 & -8 \end{vmatrix} = 56 - 36 = 20$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 5 & 6 \\ -10 & -8 \end{vmatrix} = -40 - (-60) = 20$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} -7 & 5 \\ 6 & -10 \end{vmatrix} = 70 - 30 = 40$$

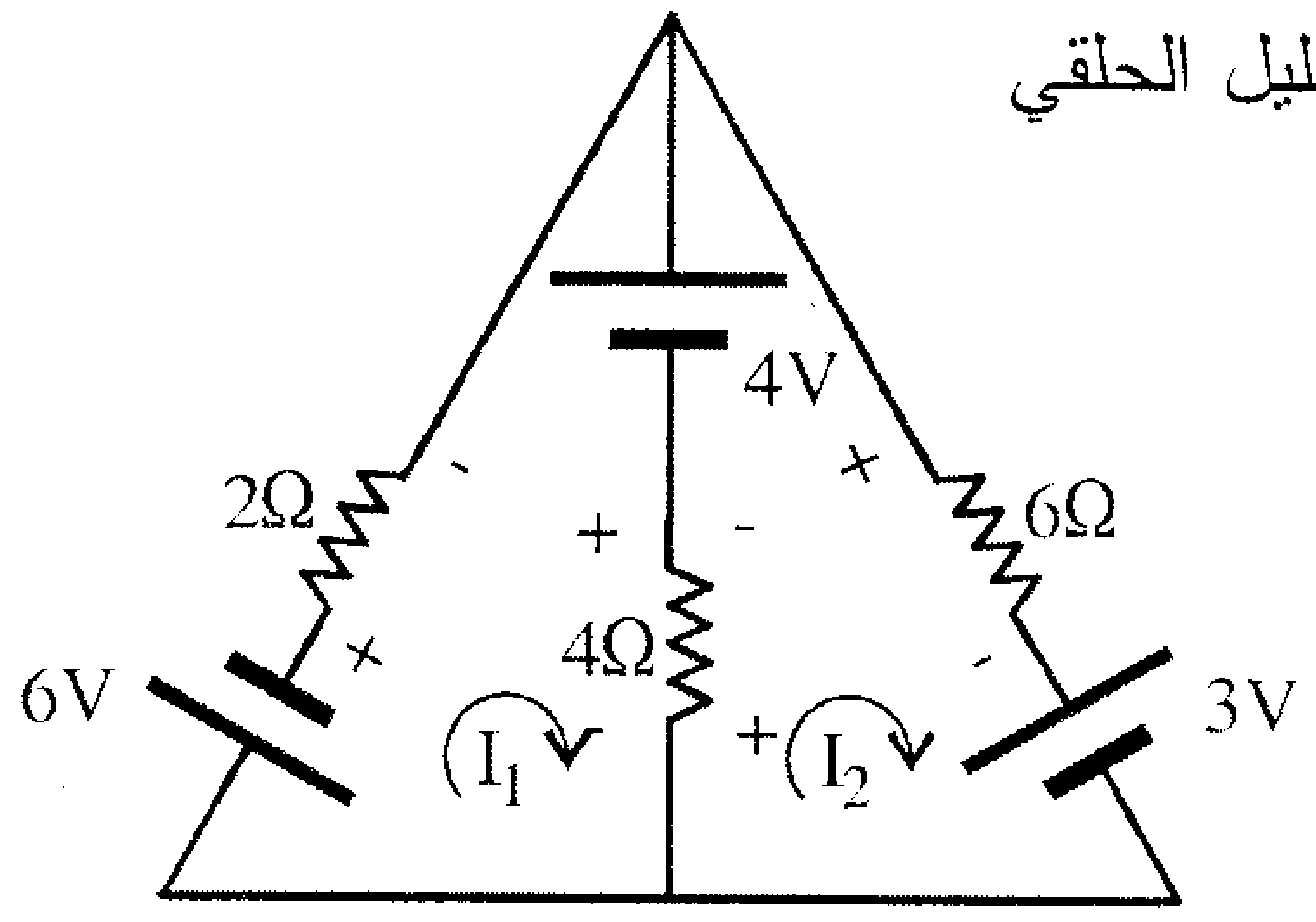
$$I_1 = \Delta_1 / \Delta = 20/20 = 1A$$

$$I_2 = \Delta_2 / \Delta = 40/20 = 2A$$

بما أن I_2 و I_1 موجبان ويتدفقان في اتجاهين مضادين عبر المقاومة R_2 والمصدر E_2 إذاً التيار الكلي في الفرع يساوي الفرق بين التيارين ويأخذ اتجاه التيار الأكبر.

$$I_{R2} = I_2 - I_1 = 2A - 1A = 1A$$

وفي اتجاه I_2 .



مثال 3.5 :من الدائرة التالية وباستخدام التحليل الحلقي

أوجد : I_1 , I_2 .

الحــل:

$-6 - 2I_1 - 4 - 4I_1 + 4I_2 = 0$ loop1

$-6I_1 + 4I_2 - 10 = 0$

$-6I_1 + 4I_2 = 10$

$4 - 6I_2 - 3 - 4I_2 + 4I_1 = 0$ Loop2

$4I_1 - 10I_2 = -1$

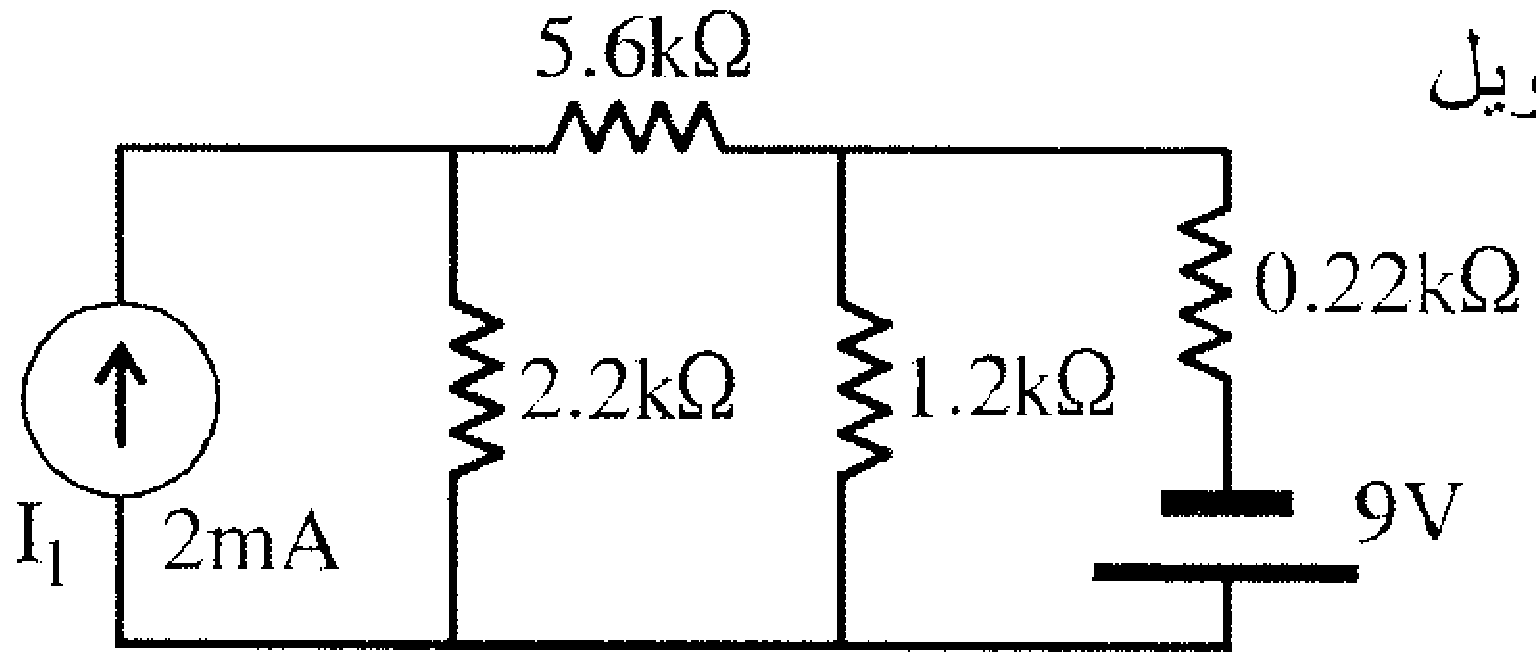
$$I_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} 10 & 4 \\ -1 & -10 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -6 & 4 \\ 4 & -10 \end{vmatrix}} = \frac{-100+4}{60-16} = -2.182A$$

$$I_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} -6 & 10 \\ 4 & -1 \end{vmatrix}}{44} = \frac{6-40}{44} = -0.773A$$

التيار الفعلي المار خلال المقاومة (Ω 4) والمصدر ($4V$) يساوي

$I_2 - I_1 = 1.409A$

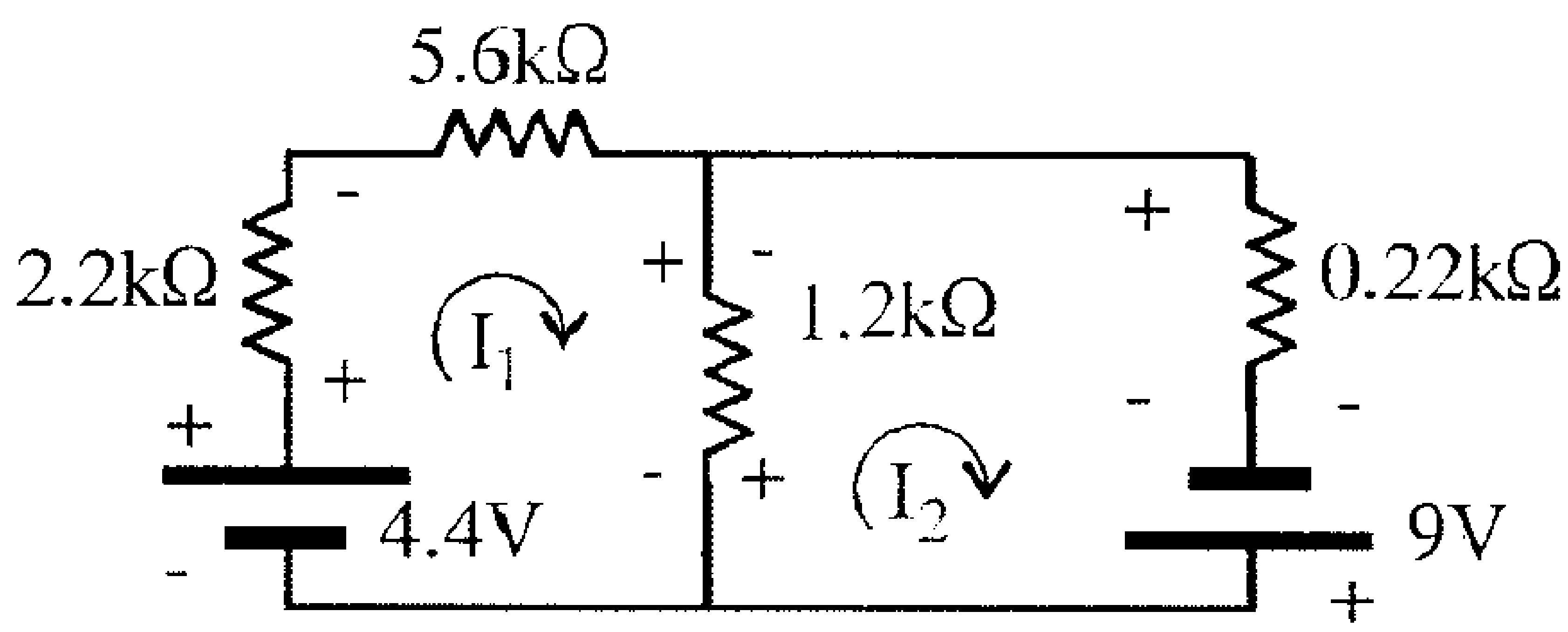
مثال 4.5 : باستخدام التحليل الحلقي وتحويل المصادر أوجد التيار المار في مصدر الجهد (9V) .



الحـــل:

في التحليل الحلقي نحاول التقليل من عدد الحلقات لكي يسهل الحل، لذلك سوف نقوم بتحويل مصدر التيار إلى مصدر جهد.

$$E_2 = I_1 R_1 = (2mA)(2.2k\ \Omega) = 4.4V$$



Loop1: $4.4 - 2.2k\,\Omega\, I_1 - 5.6k\,\Omega\, I_1 - 1.2k\,\Omega\, I_1 + 1.2k\,\Omega\, I_2 = 0$

$$-9k\,\Omega\, I_1 + 1.2k\,\Omega\, I_2 = -4.4$$

بضرب المعادلة في (-1)

$$9k\,\Omega\, I_1 - 1.2k\,\Omega\, I_2 = 4.4$$

Loop2: $-1.2k\,\Omega\, I_2 + 1.2k\,\Omega\, I_1 - 0.22k\,\Omega\, I_2 + 9 = 0$

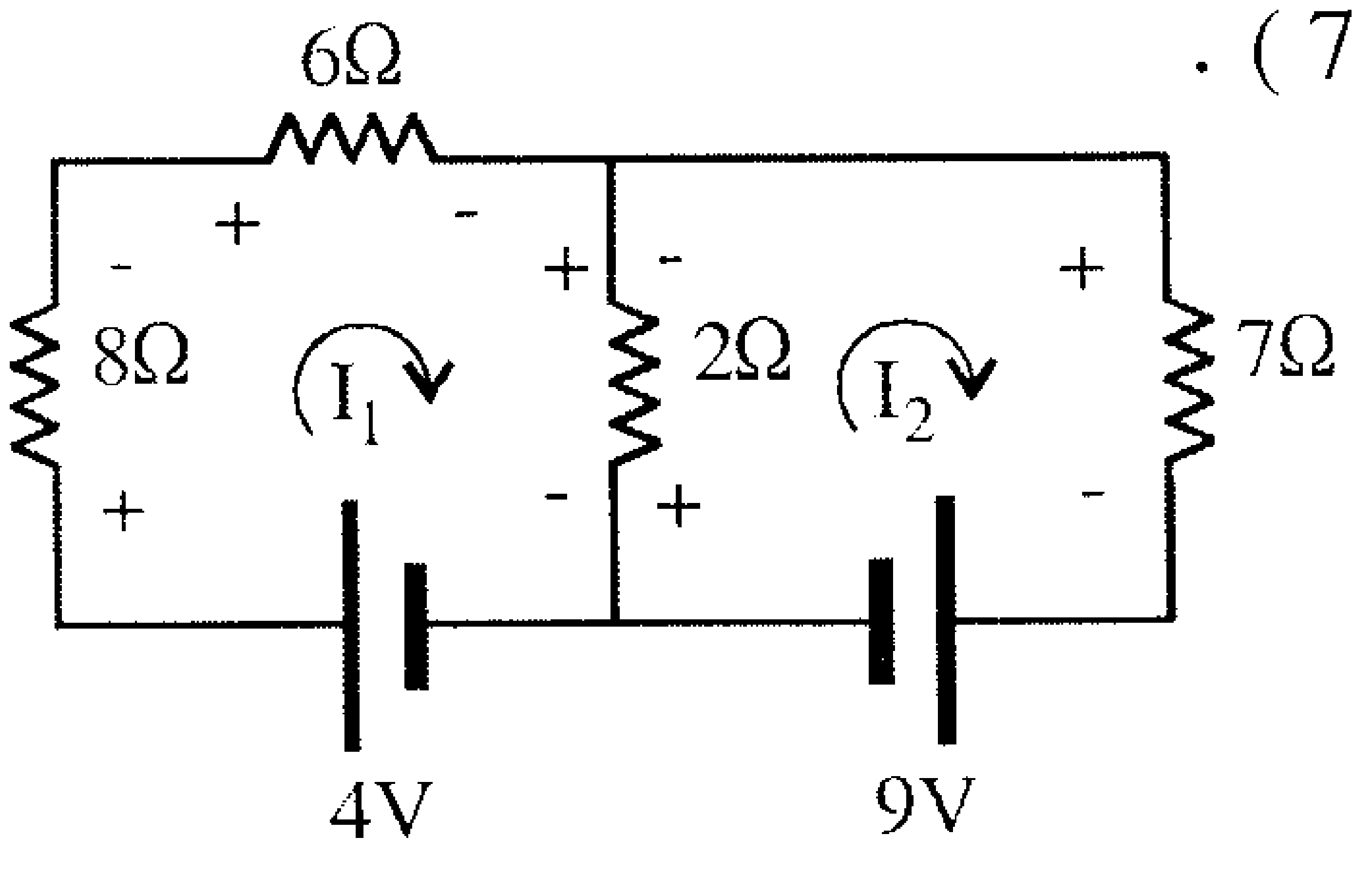
$$1.2k\,\Omega\, I_1 - 1.42k\,\Omega I_2 = -9$$

بضرب المعادلة في (-1)

$$-1.2k\,\Omega\, I_1 + 1.42k\,\Omega I_2 = 9$$

$$I_{9V} = I_2 = \frac{\begin{vmatrix} 9 & 4.4 \\ -1.2 & 9 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 9 & -1.2 \\ -1.2 & 1.42 \end{vmatrix}} = 7.608mA$$

مثال5.5 :أوجد التيار المار في المقاومة (7 Ω) .



الحــل :

Loop1: $(8+6+2)\,I_1 - 2I_2 = 4$

Loop2: $(2+7)\,I_2 - 2I_1 = -9$

$$16I_1 - 2I_2 = 4$$

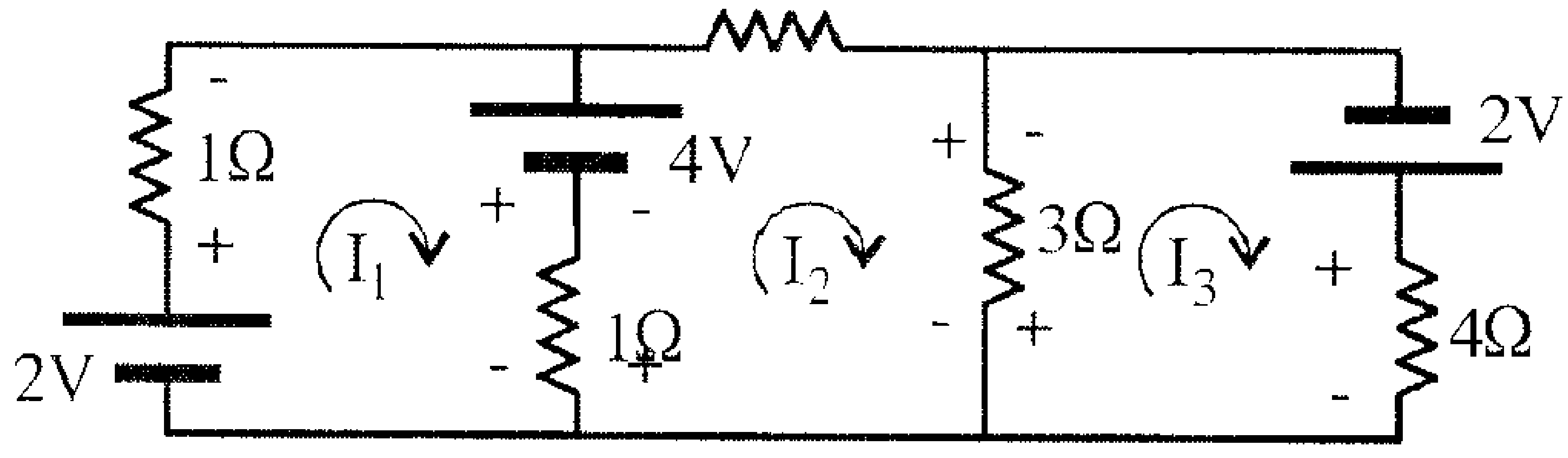
$$9I_2 - 2I_1 = -9$$

$$16I_1 - 2I_2 = 4$$

$$-2I_1 + 9I_2 = -9$$

$$I_2 = I_{7\Omega} = \frac{\begin{vmatrix} 16 & 4 \\ -2 & -9 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 16 & -2 \\ -2 & 9 \end{vmatrix}} = \frac{-144+8}{144-4} = \frac{-136}{140} = -0.971A$$

مثال6.5 : من الدائرة بالشكل اكتب معادلات الحلقات.



الحـــل:

Loop1: $2I_1 - I_2 = 2 - 4$

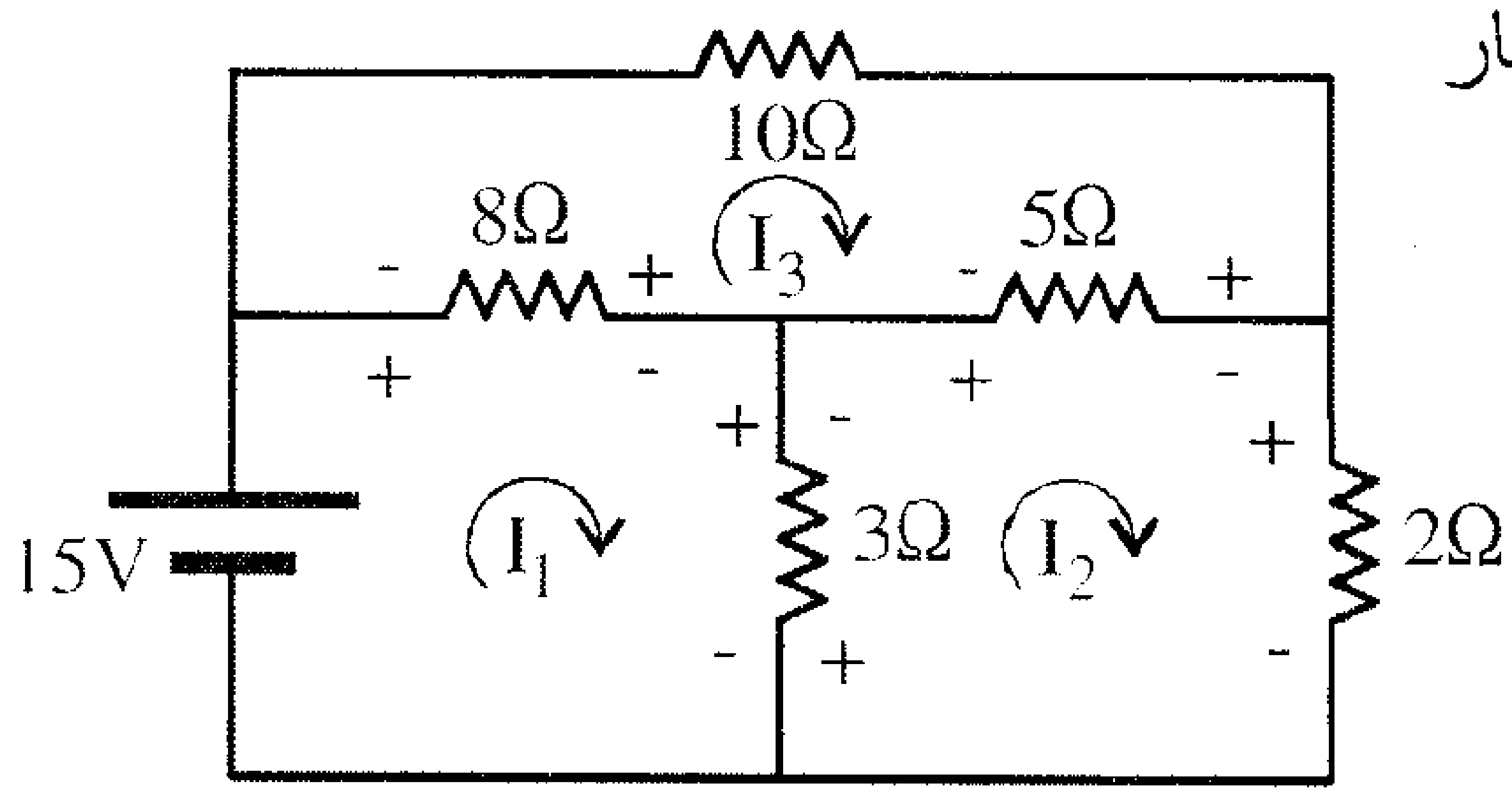
$2I_1 - I_2 = -2$

Loop2: $6I_2 - I_1 - 3I_3 = 4$

$-I_1 + 6I_2 - 3I_3 = 4$

Loop3: $7I_3 - 3I_2 = 2$

مثال 7.5 : من الدائرة بالشكل أوجد التيار المار خلال المقاومة ($10\ \Omega$) .



الحـــل:

Loop1: $11I_1 - 8I_3 - 3I_2 = 15$

Loop2: $10I_2 - 3I_1 - 5I_3 = 0$

Loop3: $23I_3 - 8I_1 - 5I_2 = 0$

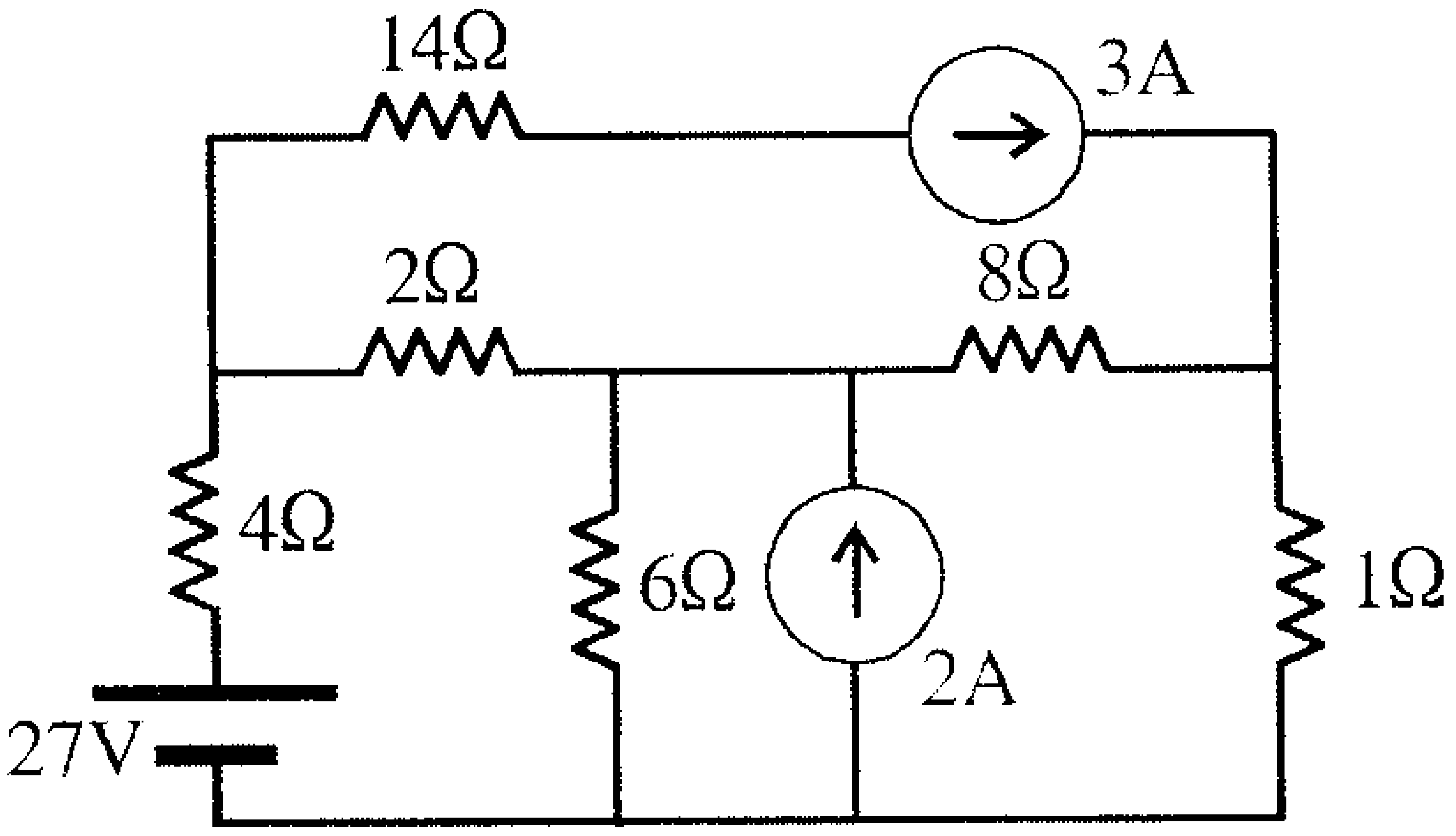
$$11I_1 - 3I_2 - 8I_3 = 15$$

$$-3I_1 + 10I_2 - 5I_3 = 0$$

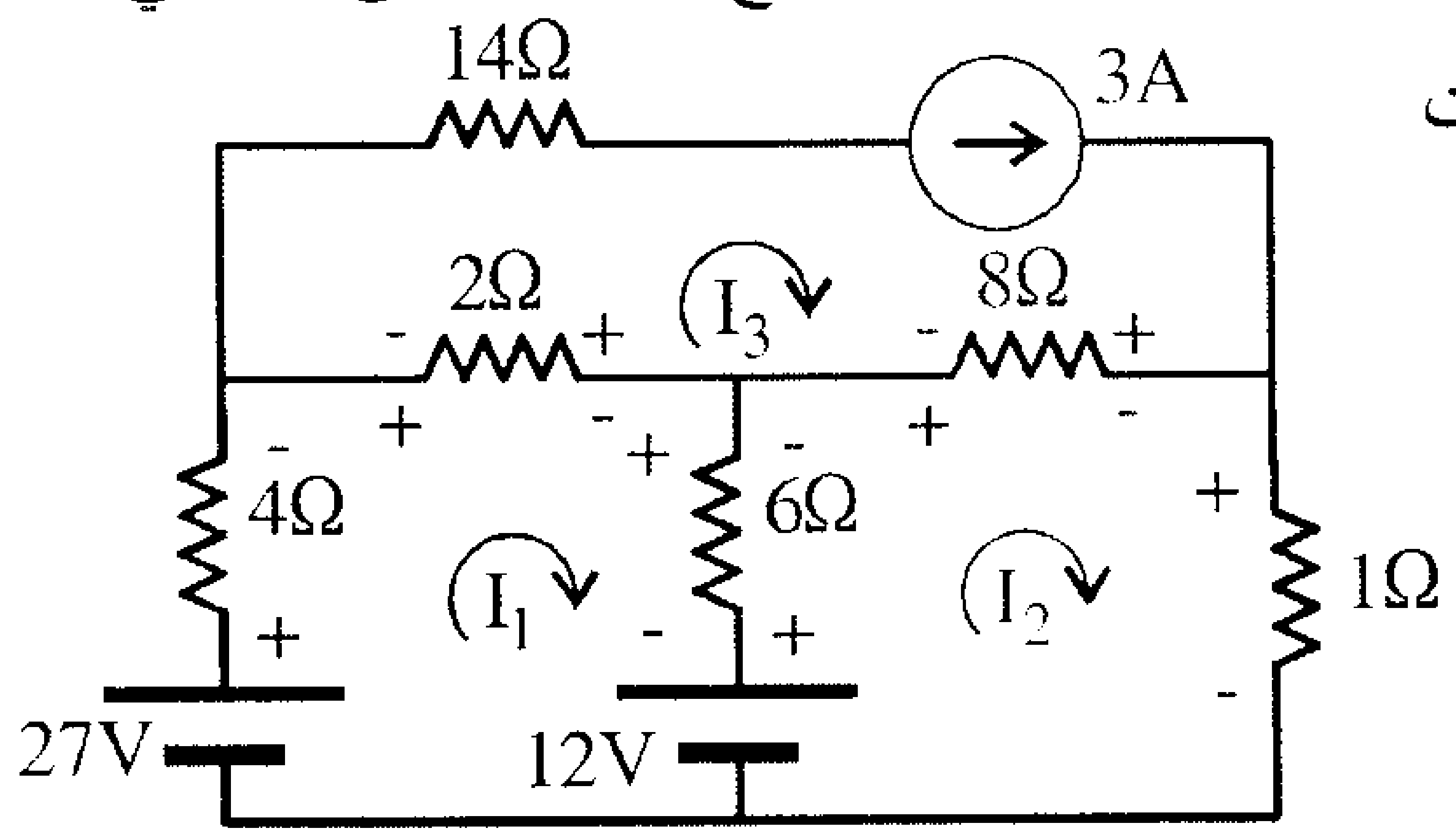
$$-8I_1 - 5I_2 + 23I_3 = 0$$

$$I_3 = I_{10\Omega} = \frac{\begin{vmatrix} 11 & -3 & 15 \\ -3 & 10 & 0 \\ -8 & -5 & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 11 & -3 & -8 \\ -3 & 10 & -5 \\ -8 & -5 & 23 \end{vmatrix}} = 1.22A$$

مثال 8.5 : باستخدام التيارات الحلقية احسب القدرة المستهلكة في المقاومة (8 Ω) والتيار المار في المقاومة (1 Ω) .



الحــل: قبل أن نبدأ في الحل نحاول تقليل عدد الحلقات لكي يسهل الحل، فمصدر التيار ($2A$) مع المقاومة (6 Ω) يمكن تحويلهما إلى مصدر جهد مع مقاومة على التوالي ليصبح عدد الحلقات في الدائرة 3 حلقات بدلاً عن 4 حلقات.



تيار الحلقة رقم (3) معلوم:

$$I_3 = 3A$$

الحلقة رقم (1) معادلتها كالتالي:

$$12I_1 - 6I_2 - 2I_3 = 15$$

الحلقة رقم (2) معادلتها كالتالي:

$$-6I_1 + 15I_2 - 8I_3 = 12$$

نعوض على I_3 في المعادلتين السابقتين

$$12I_1 - 6I_2 = 21$$

$$-6I_1 + 15I_2 = 36$$

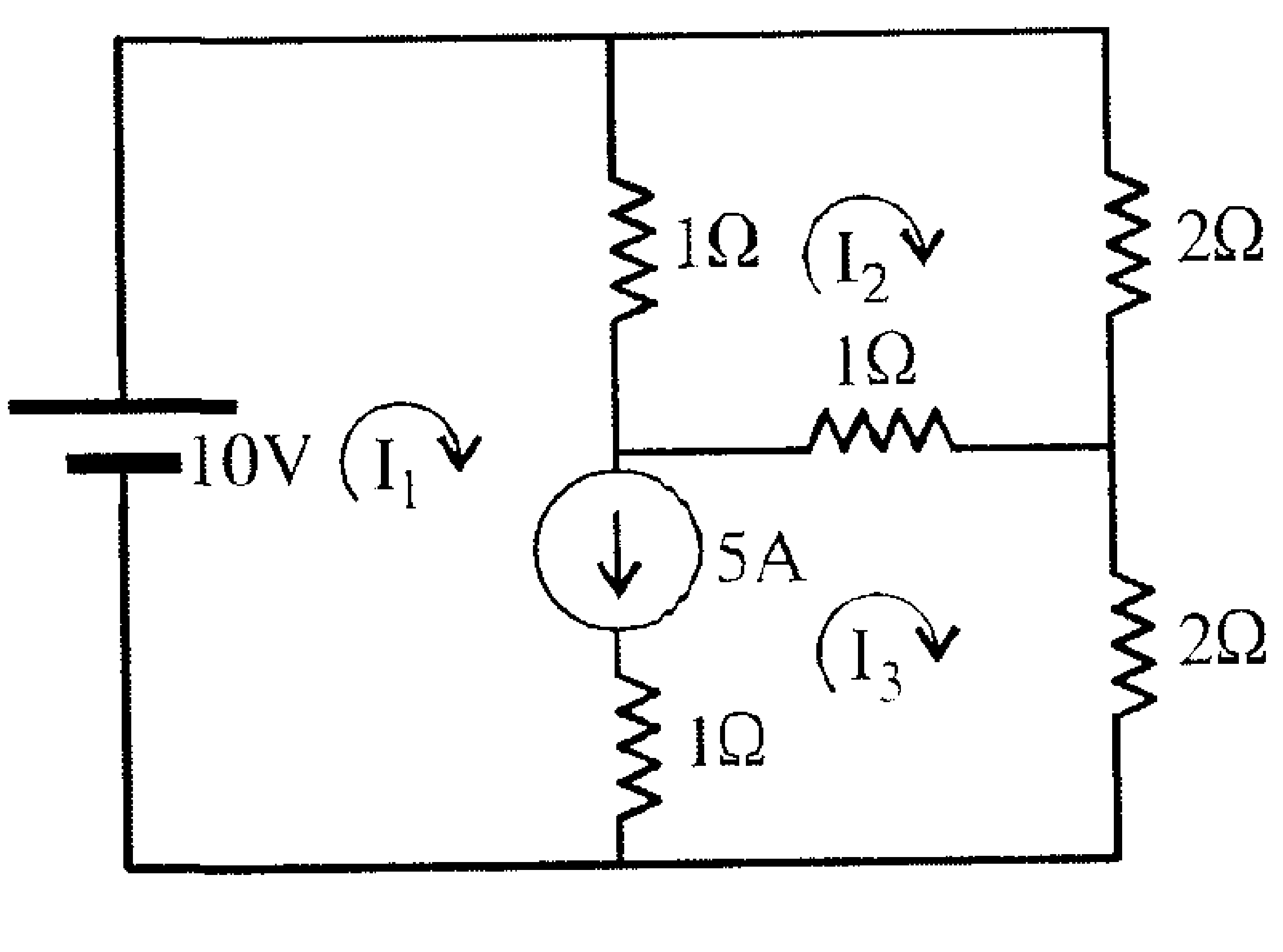
$$I_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} 12 & 21 \\ -6 & 36 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 12 & -6 \\ -6 & 15 \end{vmatrix}} = \frac{558}{144} = 3.875A$$

$$I_{8\Omega} = I_2 - I_3 = 3.875A - 3A = 0.875A$$

$$P_{8\Omega} = I^2 R = (0.875)^2 (8\,\Omega) = 6.125\ W$$

التيار المار في المقاومة ($1\,\Omega$) هو التيار I_2 .

مثال 9.5 : من الدائرة بالشكل أوجد قيمة تيارات الحلقات I_1 , I_2 , I_3 .



الحـــل:

في هذا النوع من الدوائر نلاحظ أن

مصدر التيار يقع ما بين حلقتين أي التيارين I_3 و I_1

$$\therefore\ 5A = I_1 - I_3 \Rightarrow I_3 = I_1 - 5A$$

نطبق أسلوب التحليل الحلقي كالتالي:

Loop1: $2I_1 - I_2 - I_3 = 10$

Loop2: $-I_1 + 4I_2 - I_3 = 0$

Loop3: $-I_1 - I_2 + 4I_3 = 0$

نعوض عن I_3 في المعادلات السابقة:

$$2I_1 - I_2 - (I_1 - 5) = 10$$

$$2I_1 - I_2 - I_1 + 5 = 10$$

$$I_1 - I_2 = 5 \longrightarrow (1)$$

$$-I_1 + 4I_2 - (I_1 - 5) = 0$$

$$-I_1 + 4I_2 - I_1 + 5 = 0$$

$$-2I_1 + 4I_2 = -5 \longrightarrow (2)$$

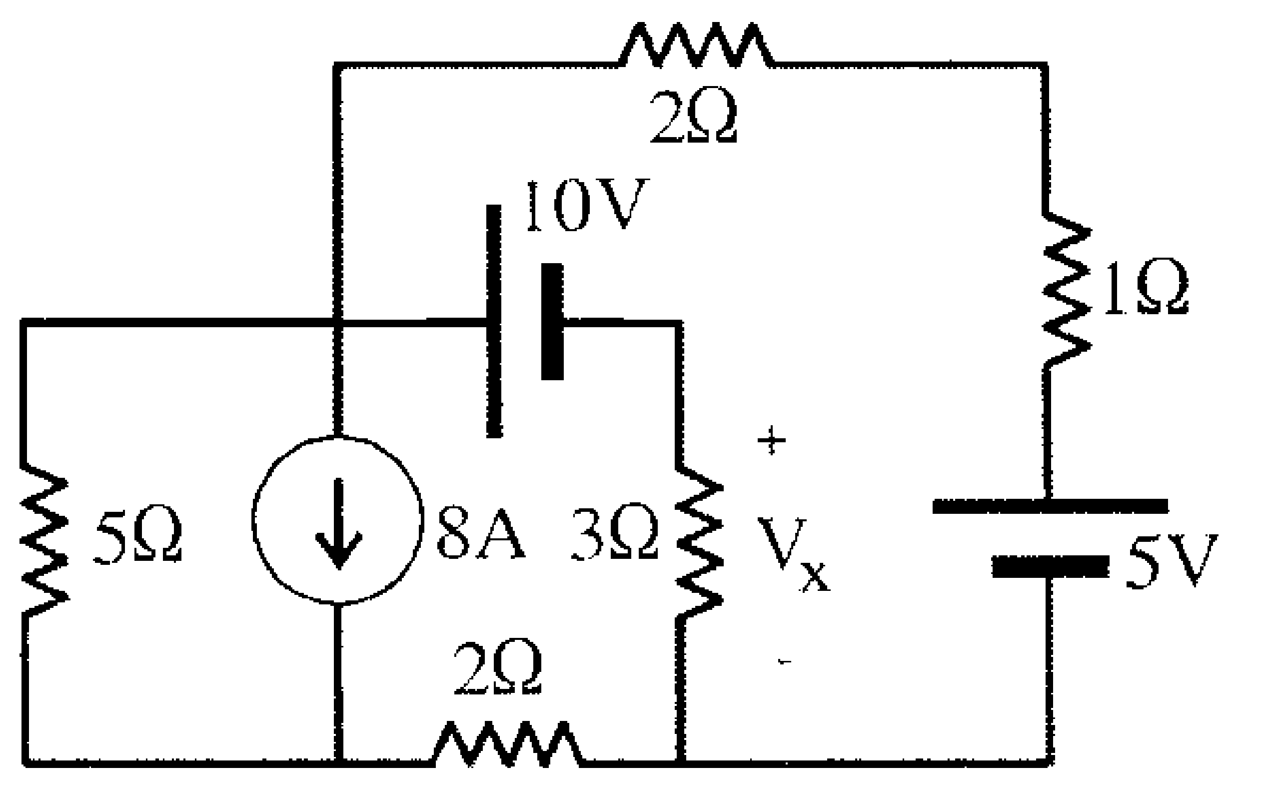
$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 5 & -1 \\ -5 & 4 \end{vmatrix} = 15 \qquad \Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & 5 \\ -2 & -5 \end{vmatrix} = 5 \qquad \Delta = \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ -2 & 4 \end{vmatrix} = 2$$

$$I_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{15}{2} = 7.5A$$

$$I_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{5}{2} = 2.5A$$

$$I_3 = I_1 - 5 = 7.5A - 5A = 2.5A$$

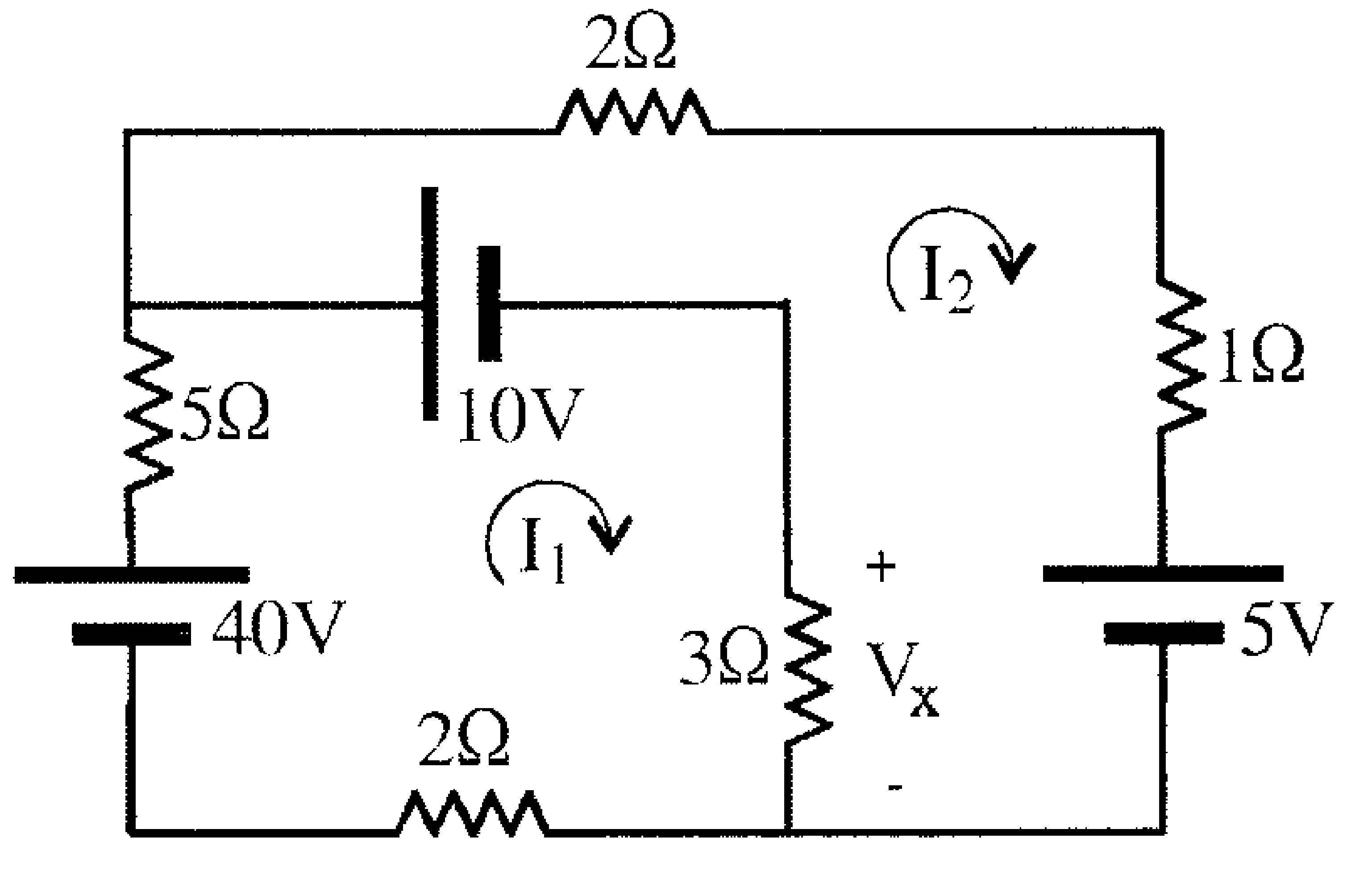
مثال10.5 : باستخدام التحليل الحلقي أحسب قيمة الجهد V_x .



الحـــل:

كما ذكرنا في السابق نقليل عدد الحلقات بتحويل مصدر التيار ($8A$) والمقاومة (5Ω) إلى مصدر جهد ($40V$) مع مقاومة ($5\ \Omega$) على التوالي

لتكون معادلتا الحلقتين كالتالي:



$$10I_1 - 3I_2 = 30$$

$$-3I_1 + 6I_2 = -5$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 30 & -3 \\ 5 & 6 \end{vmatrix} = 195$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 10 & 30 \\ -3 & 5 \end{vmatrix} = 140 \qquad \Delta = \begin{vmatrix} 10 & -3 \\ -3 & 6 \end{vmatrix} = 51$$

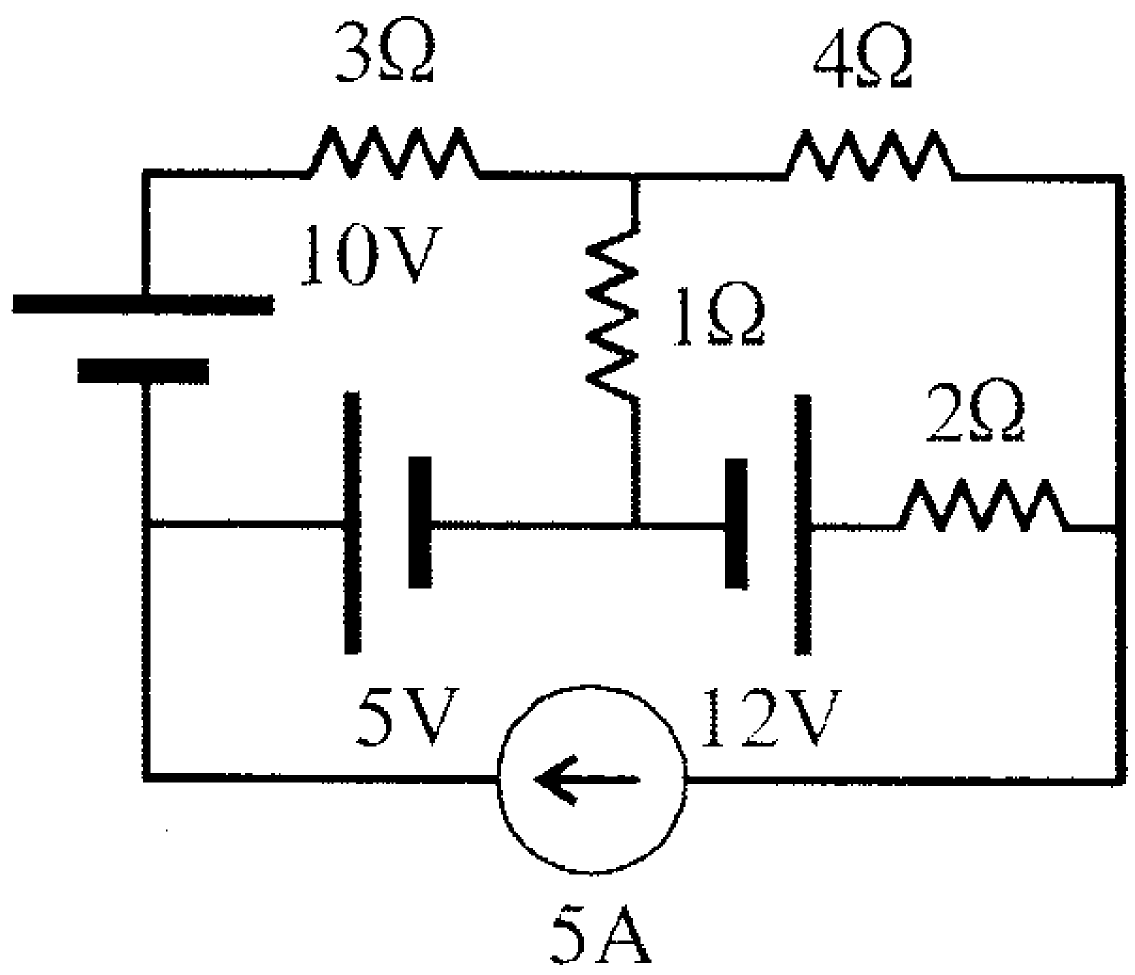
$$I_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{195}{51} = 3.82A \quad , \quad I_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{140}{51} = 2.75A$$

$$I_x = I_1 - I_2 = 3.82A - 2.75A = 1.07A$$

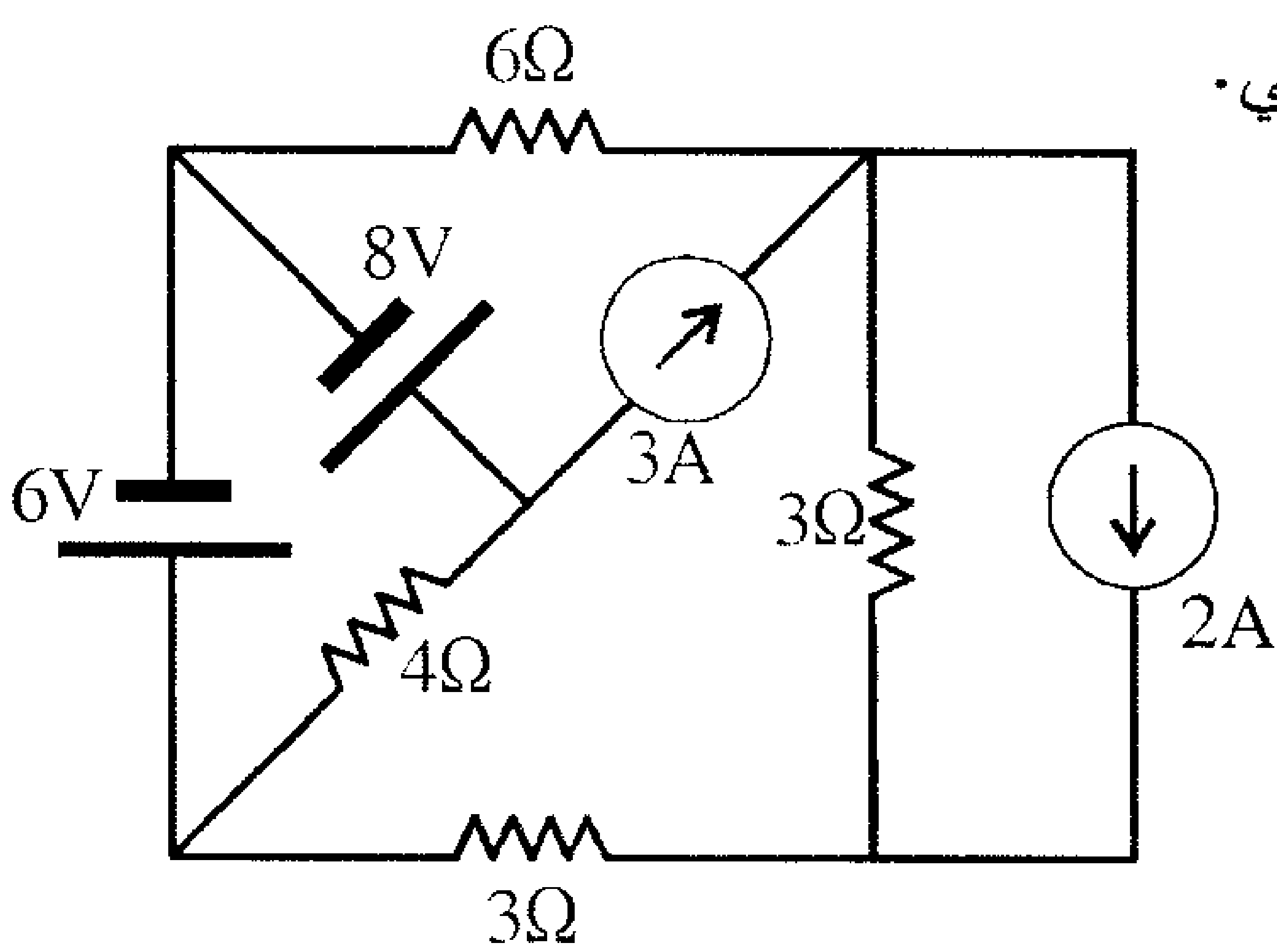
$$V_x = (1.07A)(3\ \Omega) = 3.21V$$

4.5 مسائل عن التحليل الحلقي

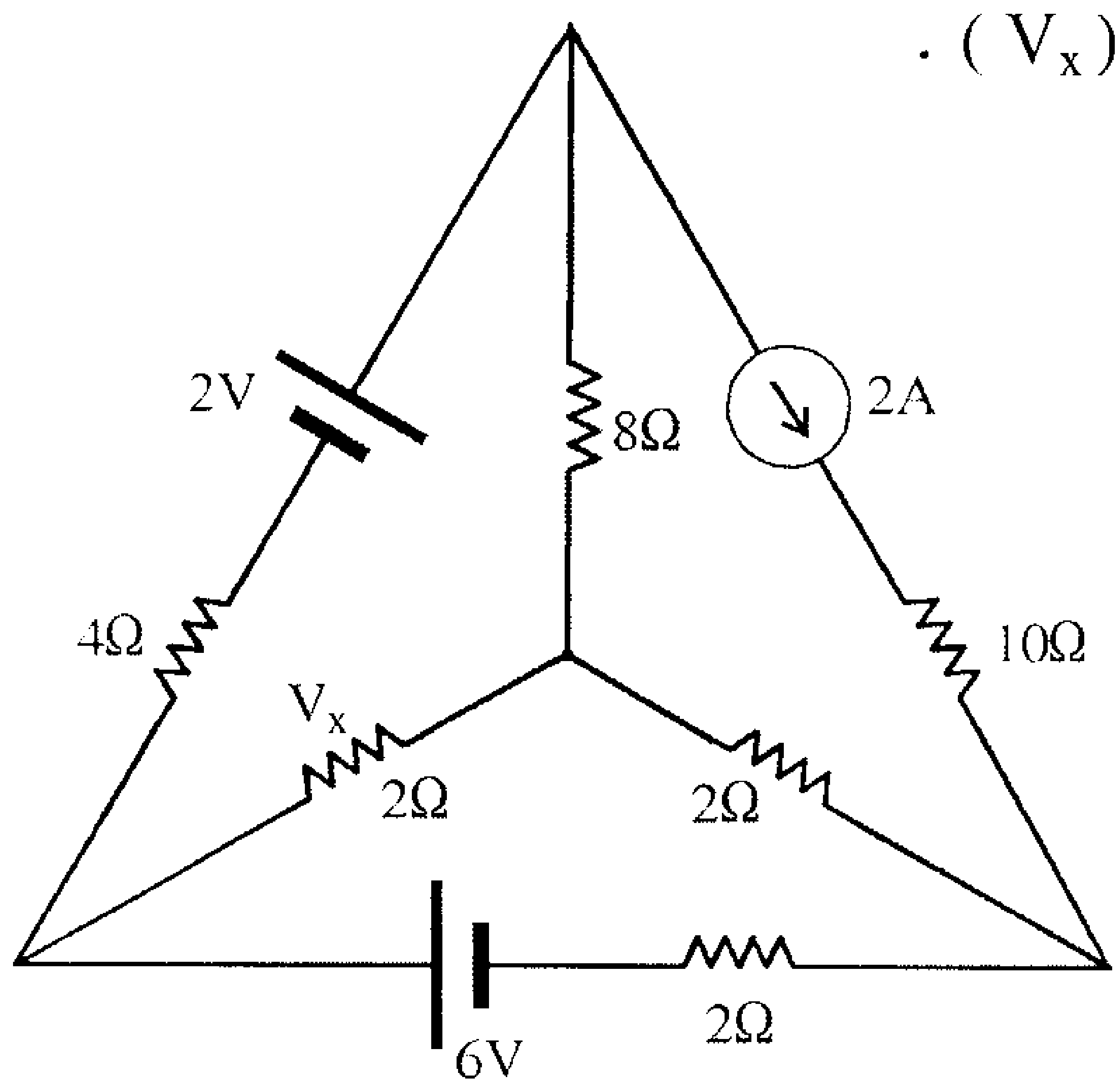
(1) احسب التيار المسحوب من مصدر الجهد ($12V$) باستخدام التحليل الحلقي.



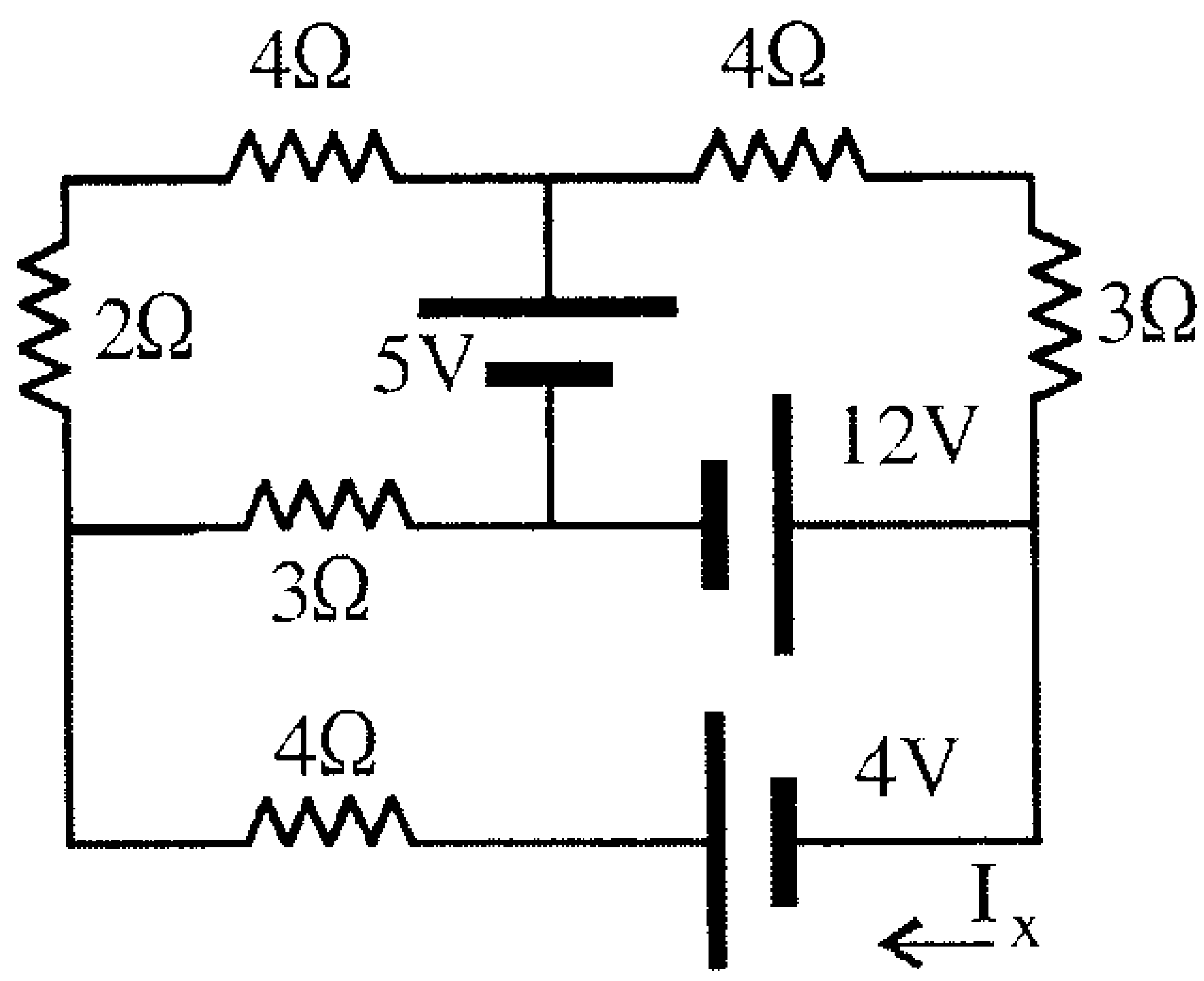
(2) احسب التيار المار في مصدر الجهد ($6V$) و ($8V$) باستخدام التحليل الحلقي.



(3) باستخدام التحليل الحلقي احسب قيمة الجهد (V_x) .



(4) باستخدام التحليل الحلقي احسب قيمة التيار (I_x) .



2.5 التحليل العقدي Nodal Analysis

في طريقة التحليل الحلقي كان الاعتماد على قانون كر شوف للجهد (KVL) ،أما الآن وفي طريقة التحليل العقدي فسوف نستخدم قانون كر شوف للتيار (KCL) .

نركز في التحليل العقدي على العقدة. والعقدة في الدائرة الكهربائية هي تفرع التيار إلى فرعين أو أكثر ،وبمعرفة التيارات الداخلة والخارجة من العقدة يمكن الخوض في طريقة التحليل العقدي كالتالي:

1- إيجاد عدد العقد الموجودة في الدائرة.

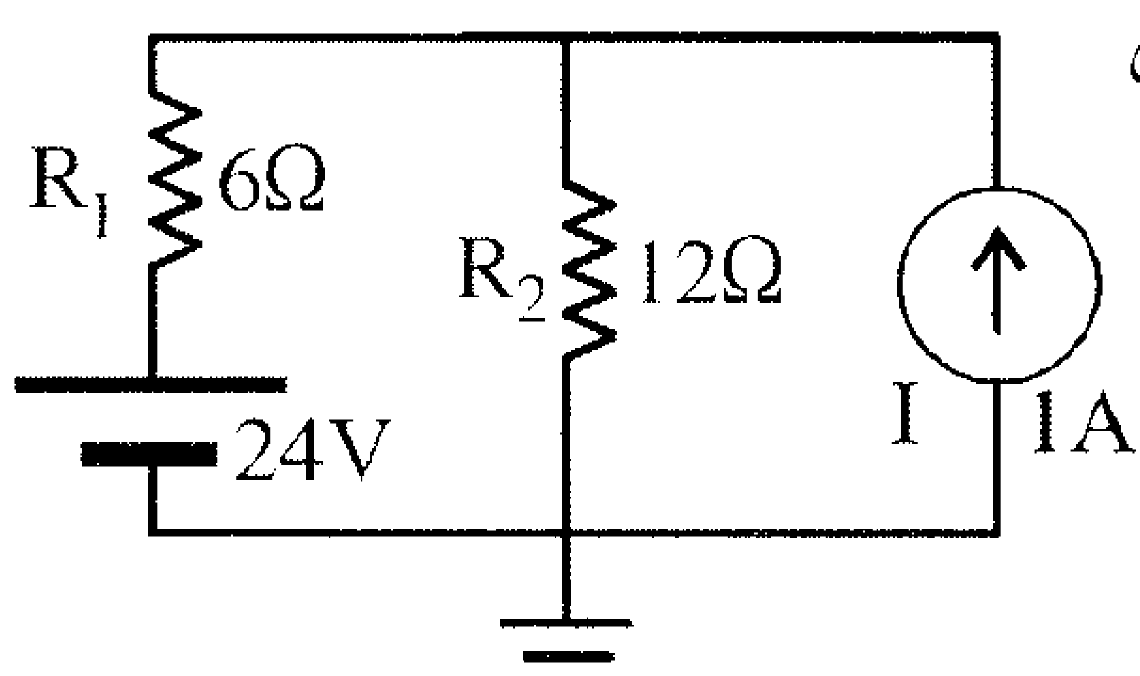
2- اختيار عقدة المرجع على أن تصنف باقي العقد بناء على قيم جهودها وهي V_1 , V_2 , V_3 ...الخ.

3- نفرض اتجاه التيارات لكل عقدة.

4- نطبق قانون كر شوف للتيار على كل عقدة عدا المرجع (0V) .

5- نتحصل على معادلات ،وبحلها يمكن إيجاد الجهود.

مثال11.5 استخدم التحليل العقدي لحل الدائرة بالشكل التالي.

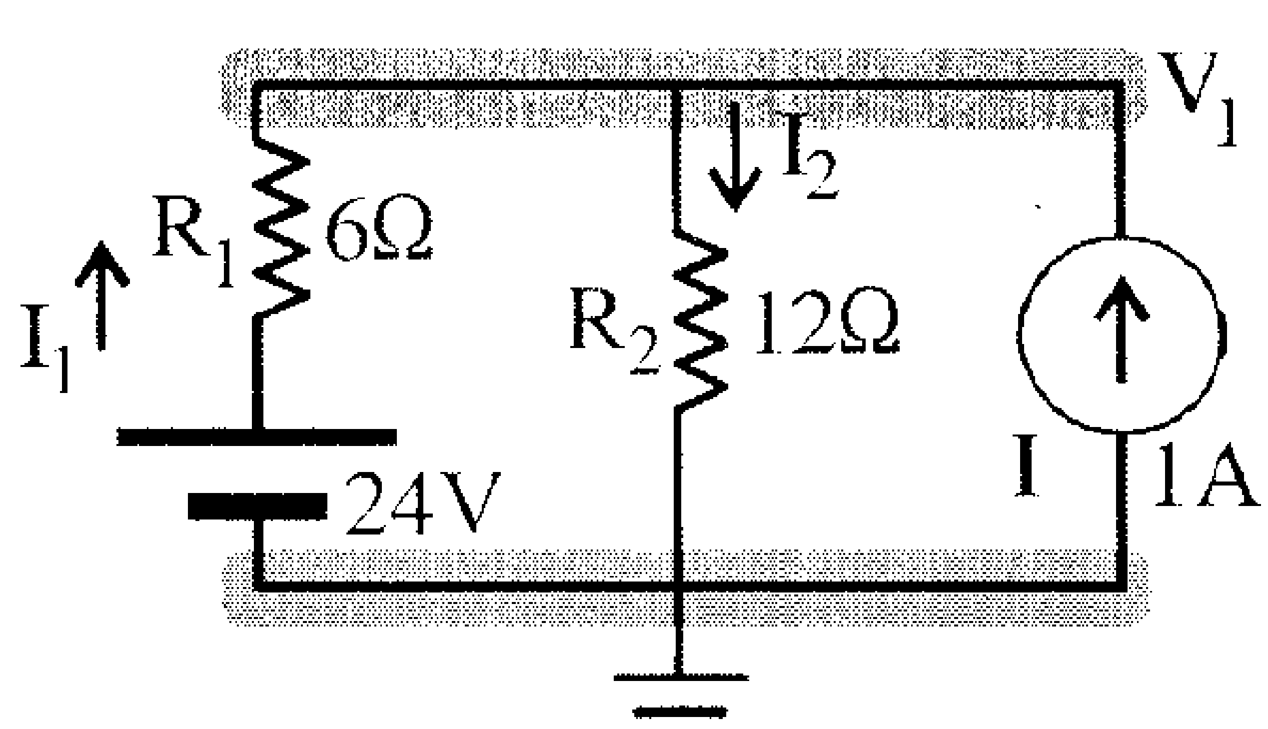


الحــل:

في الدائرة توجد عقدتان:

الأولى هي المرجع وجهدها يساوي صفراً والثانية جهدها (V_1)

نفترض أن اتجاه التيارات كالتالي:



التيار I_1 داخل إلى العقدة بسبب وجود مصدر جهد يتحكم في اتجاه التيار.

التيار I_2 خارج من العقدة ،ولعدم وجود مصدر جهد أو تيار يحدد اتجاهه نفترض أن اتجاه I_2 خارج من العقدة.

التيار I داخل إلى العقدة لوجود مصدر تيار في اتجاه العقدة.

نطبق قانون (KCL) على العقدة رقم (1) والتي جهدها V_1 :

مجموع التيارات الداخلة = مجموع التيارات الخارجة من العقدة

$$I_1 + I = I_2$$

$$\because \quad I_2 = \frac{V_1}{R_2}$$

$$I_1 = \frac{V_{R1}}{R_1} = \frac{(E - V_1)}{R_1}$$

$$I_1 + I = I_2$$

$$\frac{(E - V_1)}{R_1} + I = \frac{V_1}{R_2}$$

$$\frac{E}{R_1} - \frac{V_1}{R_1} + I = \frac{V_1}{R_2}$$

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_1}{R_2} = \frac{E}{R_1} + I$$

$$V_1\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{E}{R_1} + I$$

$$V_1\left(\frac{1}{6} + \frac{1}{12}\right) = \frac{24}{6} + 1 = 4 + 1$$

$$V_1(\frac{1}{4})=5$$

$$V_1 = 20V$$

$$I_1=\frac{(E-V_1)}{R_1}=\frac{24-20}{6}=0.667A$$

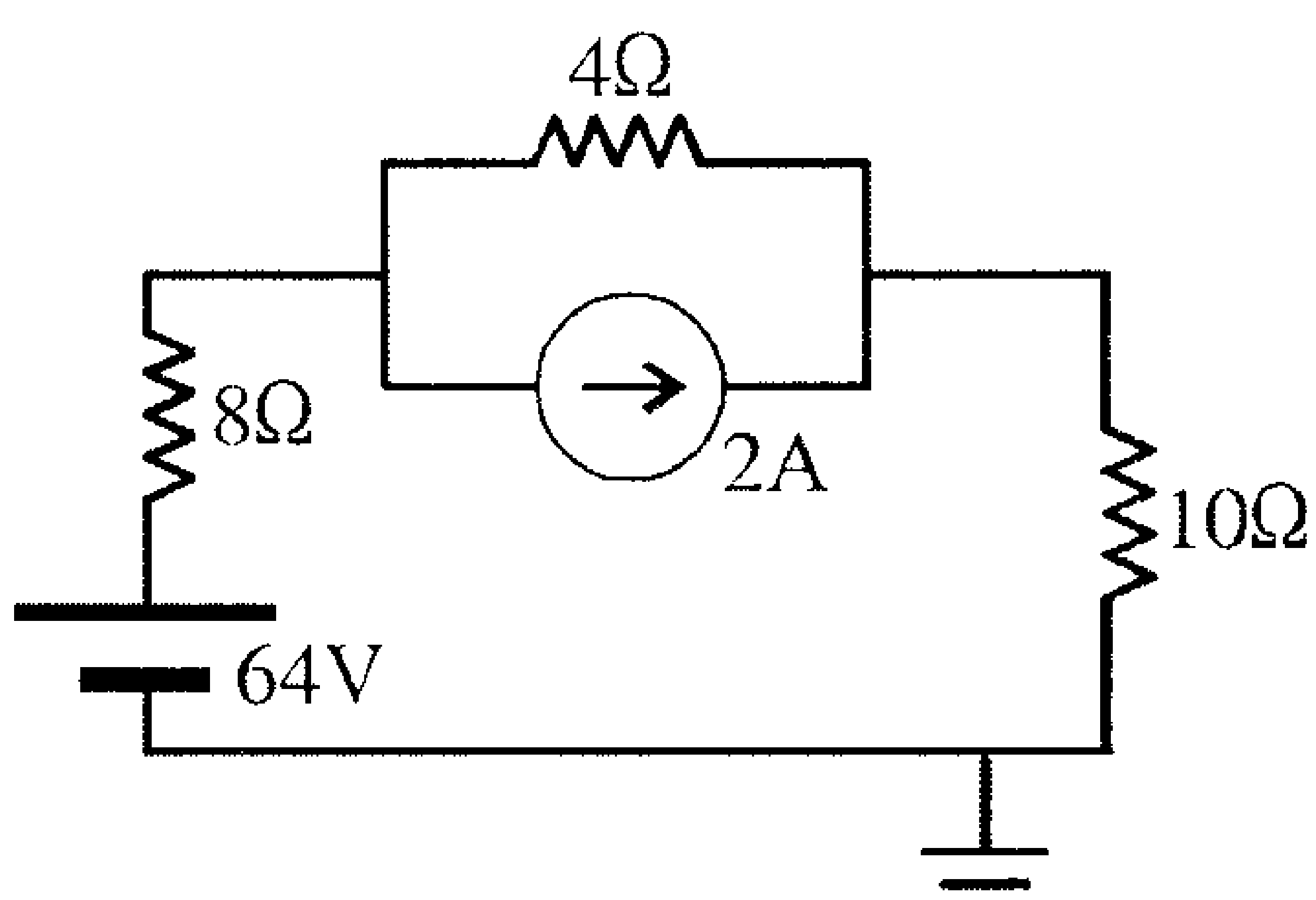
$$I_2=\frac{V_1}{R_2}=\frac{20}{12}=1.667A$$

وبذلك يتحقق قانون (KCL)

$$I_1 + I = I_2$$

$$0.667A + 1A = 1.667A$$

مثال12.5 استخدم طريقة التحليل العقدي لتحليل الدائرة بالشكل التالي:

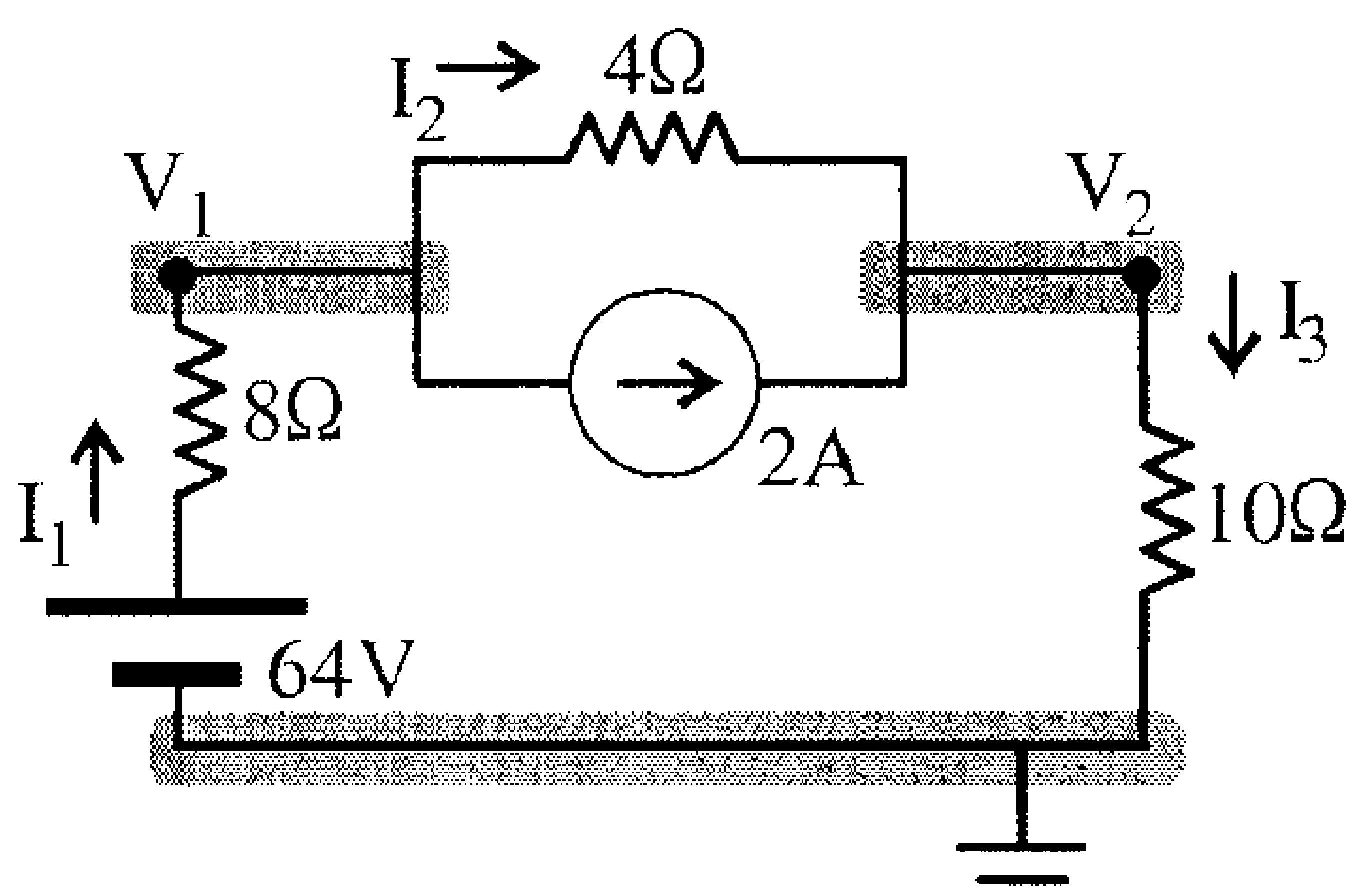


الحــل:

هذه الدائرة بها ثلاث عقد :

المرجع (وهو الأرضي وجهده صفر)

والعقدتان V_2 وV_1 وبتطبيق قانون كر شوف للتيار:



العقدة الأولى:

$$I_1 = I_2 + 2A$$

$$I_1 = \frac{V_{R1}}{R_1} = \frac{(E - V_1)}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V_1 - V_2}{R_2}$$

$$I_1 = I_2 + 2A$$

$$\frac{(E - V_1)}{R_1} = \frac{V_1 - V_2}{R_2} + 2A$$

$$\frac{(64 - V_1)}{8} = \frac{V_1 - V_2}{4} + 2A$$

$$V_1\left(\frac{1}{8} + \frac{1}{4}\right) - \frac{1}{4}V_2 = 6$$

العقدة الثانية:

$$I_3 = I_2 + 2A$$

$$\frac{V_2}{10} = \frac{(V_1 - V_2)}{4} + 2A$$

$$V_2\left(\frac{1}{4} + \frac{1}{10}\right) - \frac{1}{4}V_1 = 2$$

من العقدتين نحصل على معادلتين بمجهولين:

$$0.375V_1 - 0.25V_2 = 6$$

$$-0.25V_1 + 0.35V_2 = 2$$

باستخدام المحددات نحصل على V_2 , V_1

$$V_1 = 37.818V$$

$$V_2 = 32.727V$$

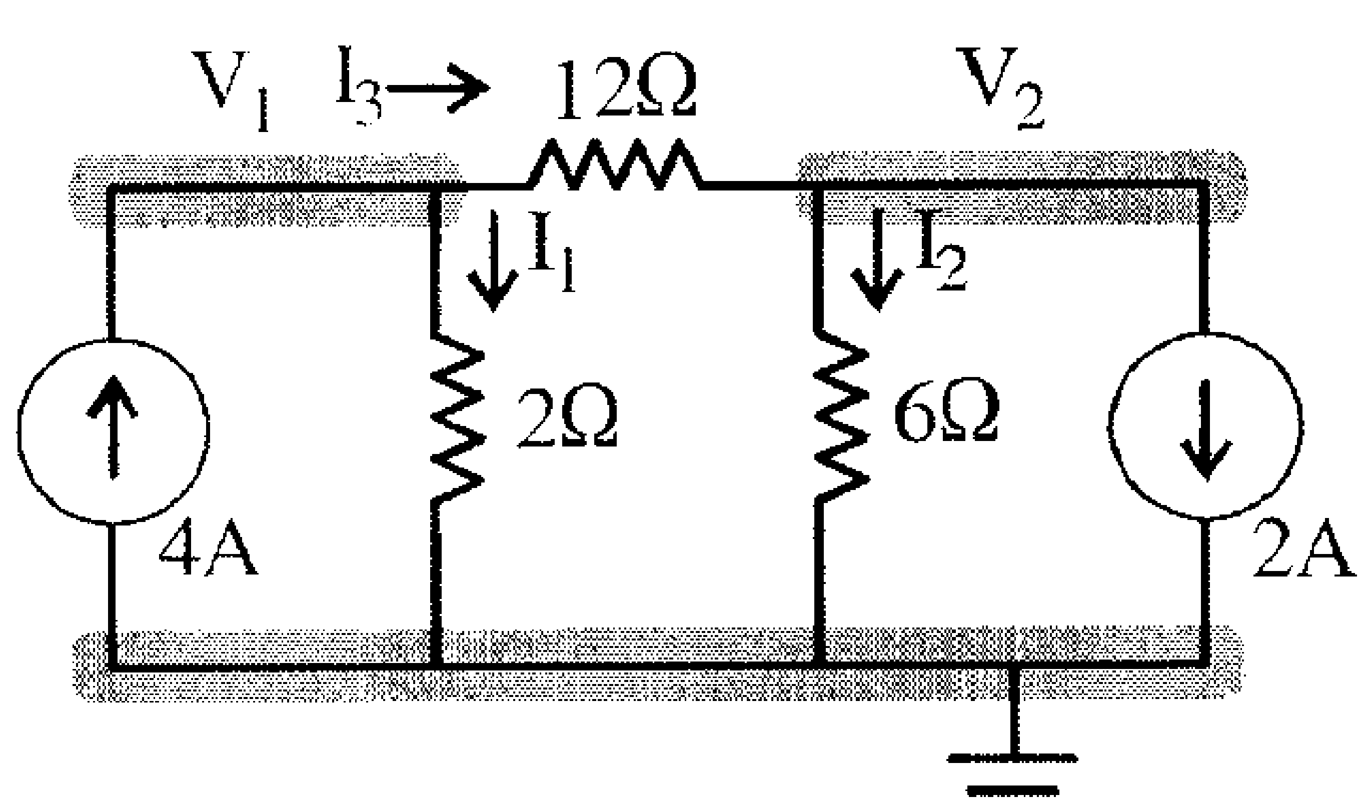
وبالتعويض في معادلات التيارات نحصل على

$$I_1 = \frac{(64-37.818)}{8} = 3.273A$$

$$I_2 = \frac{37.818-32.727}{4} = 1.273A$$

$$I_3 = \frac{32.727}{10} = 3.2727A$$

مثال13.5 من الدائرة بالشكل أوجد جهود العقد باستخدام التحليل العقدي ثم احسب كلاً من I_1, I_2, I_3 .



الحـــل:

العقدة (1) :

$$4A = I_1 + I_3 \longrightarrow 4A - I_1 - I_3 = 0$$

العقدة (2):

$$I_3 = I_2 + 2A \longrightarrow I_3 - I_2 - 2A = 0$$

العقدة (1):

$$4 - (V_1/2) - (V_1 - V_2)/12 = 0$$

العقدة (2):

$$[(V_1 - V_2)/12] - (V_2/6) - 2 = 0$$

$$\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{12}\right)V_1 - \frac{1}{12}V_2 = 4$$

$$\left(-\frac{1}{12}\right)V_1 + \left(\frac{1}{12} + \frac{1}{6}\right)V_2 = -2$$

$$\left(\frac{7}{12}\right)V_1 - \left(\frac{1}{12}\right)V_2 = 4$$

$$\left(-\frac{1}{12}\right)V_1 + \left(\frac{3}{12}\right)V_2 = -2$$

$$7V_1 - V_2 = 48$$

$$-V_1 + 3V_2 = -24$$

باستخدام المحددات نحصل على V_2 و V_1

$$V_1 = \frac{\begin{vmatrix} 48 & -1 \\ -24 & 3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 7 & -1 \\ -1 & 3 \end{vmatrix}} = \frac{120}{20} = 6V$$

$$V_1 = \frac{\begin{vmatrix} 7 & 48 \\ -1 & -24 \end{vmatrix}}{20} = \frac{-120}{20} = -6V$$

من الحل نلاحظ أن $V_1 > V_2$، فالتيار I_3 يسري من الجهد الأعلى إلى الجهد الأدنى لذلك فإن اتجاه التيار صحيح.

$$I_3 = \frac{V_1 - V_2}{12} = \frac{6V - (-6V)}{12} = 1A$$

$$I_2 = \frac{V_2}{6} = \frac{-6}{6} = -1A$$

الإشارة السالبة تعني أن الاتجاه الصحيح للتيار هو عكس الاتجاه المفروض بالرسم

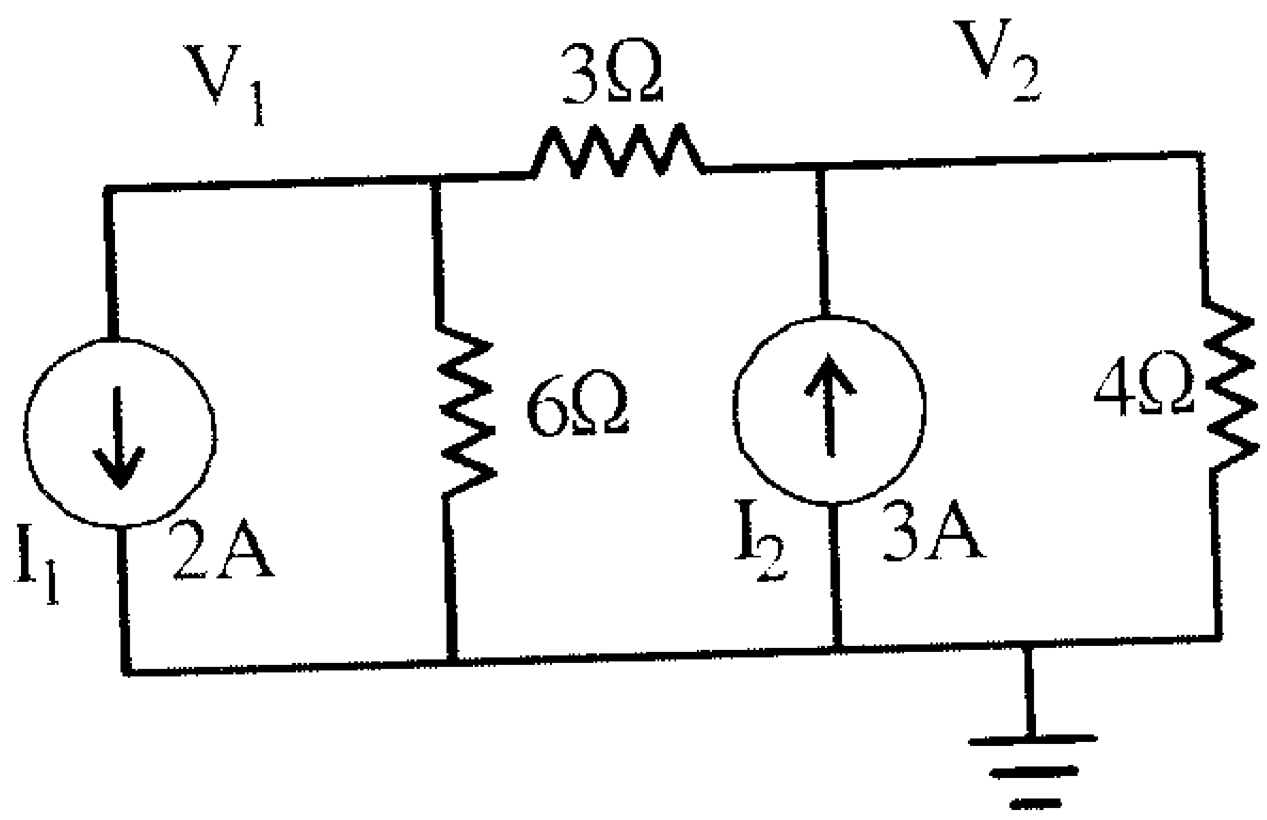
$$I_1 = \frac{V_1}{2} = \frac{6}{2} = 3A$$

الطريقة القياسية للتحليل العقدي.

نتناول الآن طريقة خاصة للتحليل العقدي بعد أن وضحنا الطريقة العامة. وفي هذه الطريقة يتم تحويل مصادر الجهد إلى مصادر تيار كلما أمكن ذلك، وبعد تحديد عقد الدائرة نحصل على معادلات العقد كالتالي :

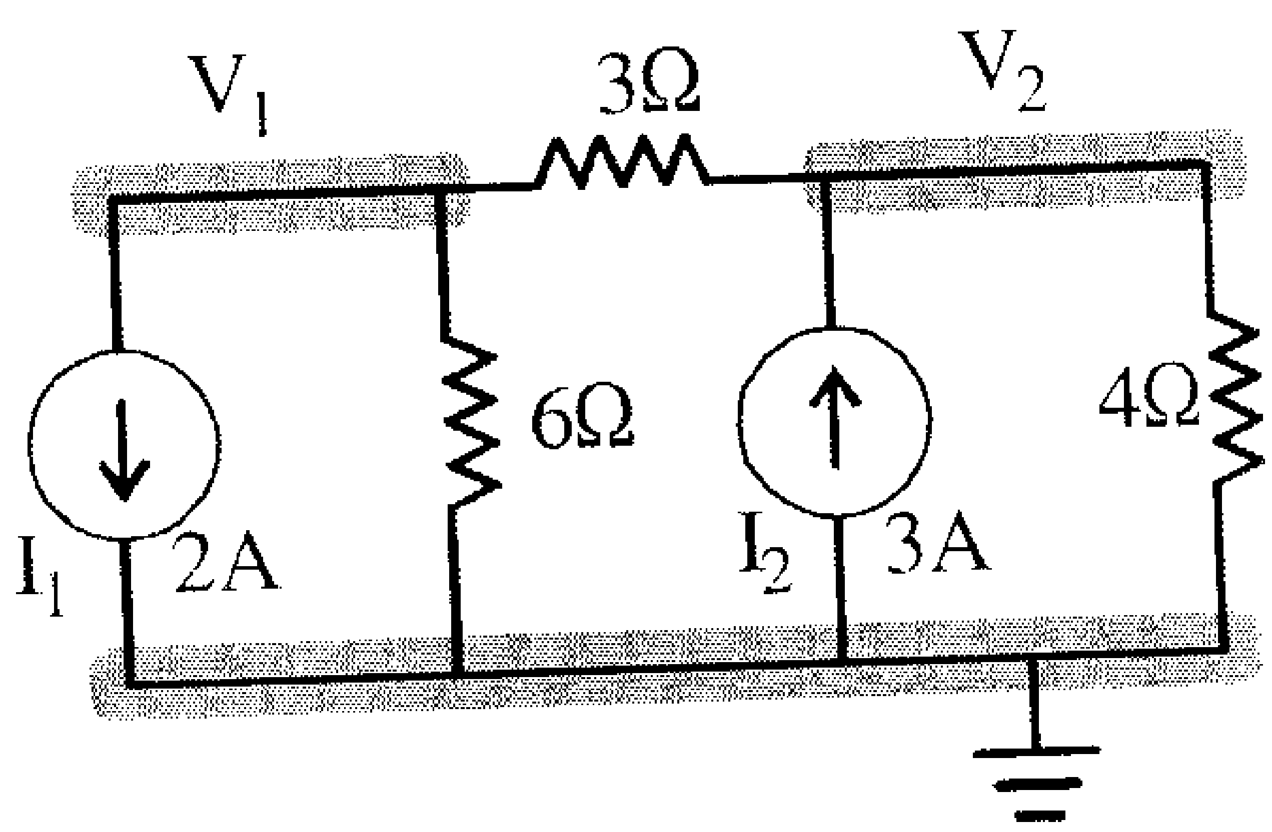
مجموع مقلوب المقاومات المتصلة بالعقدة مضروب في جهد العقدة (الإشارة موجبة).
مقلوب المقاومة (أو المقاومات) التي تقع بين العقدة والعقدة المجاورة لها (إشارة سالبة) ومضروبة في جهد العقدة المجاورة.
كل ما سبق في الطرف الأيسر للمعادلة.
أما الطرف الأيمن من المعادلة فيشمل التيارات.فإذا كان التيار داخلاً إلى العقدة تكون إشارته (موجبة)، أما إذا كان التيار خارجاً من العقدة فتكون إشارته(سالبة).
المثال التالي يوضح ماذكر بشكل مبسط.

مثال14.5 استخدم التحليل العقدي لإيجاد معادلات العقد بالدائرة التالية.ثم احسب V_2 , V_1 والتيار المار في كل من المقاومتين (4Ω) و (3Ω) .



الحـــل:

عند العقدة (1):



$$(\frac{1}{6}+\frac{1}{3})V_1-\frac{1}{3}V_2=-2$$

عند العقدة (2):

$$(\frac{1}{3}+\frac{1}{4})V_2-\frac{1}{3}V_1=3$$

$$(\frac{1}{2})V_1-\frac{1}{3}V_2=-2$$

$$(-\frac{1}{3})V_1 + \frac{7}{12}V_2 = 3$$

بضرب المعادلة الأولى في (6) والثانية في (12) نحصل على

$$3V_1 - 2V_2 = -12$$

$$-4V_1 + 7V_2 = 36$$

$$V_1 = \frac{\begin{vmatrix} -12 & -2 \\ 36 & 7 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 3 & -2 \\ -4 & 7 \end{vmatrix}} = \frac{-48+72}{21-8} = -0.923V$$

$$V_2 = \frac{\begin{vmatrix} 3 & -12 \\ -4 & 36 \end{vmatrix}}{13} = \frac{108-48}{13} = 4.615V$$

بهذا الحل يمكن على سبيل المثال معرفة التيار المار في المقاومة (3Ω) .فالتيار يسري من V_2 (الأعلى جهداً) إلى V_1 (الأدنى جهداً) ويمكن حسابه كالتالي:

$$I_{3\Omega} = \frac{V_2 - V_1}{3\Omega} = \frac{4.615V - (-0.923V)}{3\Omega} = 1.846A$$

والتيار المار في المقاومة(4Ω) يساوي

$$I_{4\Omega} = \frac{V_2}{4\Omega} = \frac{4.615}{4\Omega} = 1.154A$$

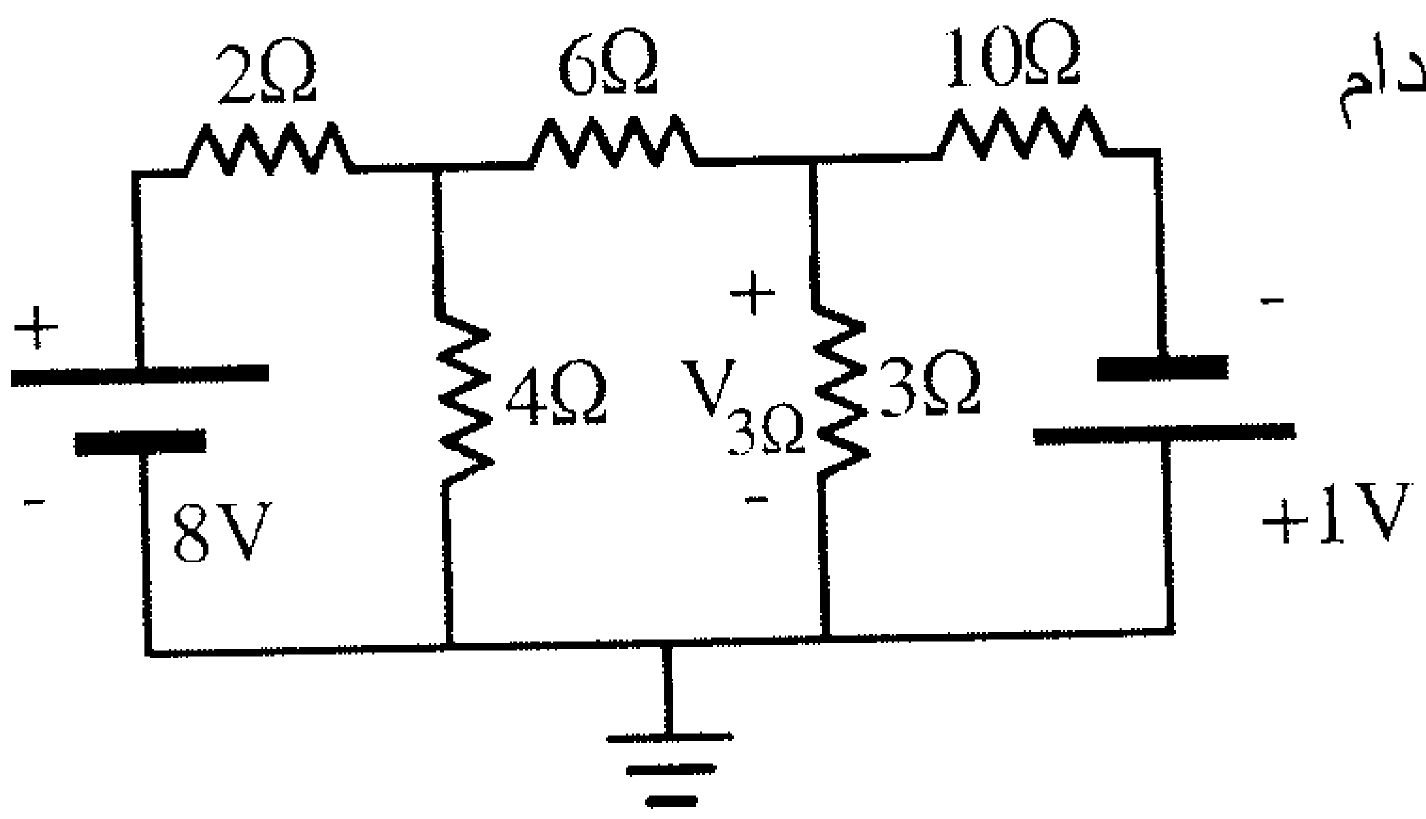
لتحقيق الناتج بتطبيق قانون (KCL) على العقدة (2) كالتالي:

مجموع التيارات الداخلة على العقدة (2) = مجموع التيارات الخارجة منها

$$I_{3\Omega} + I_{4\Omega} = I_2$$

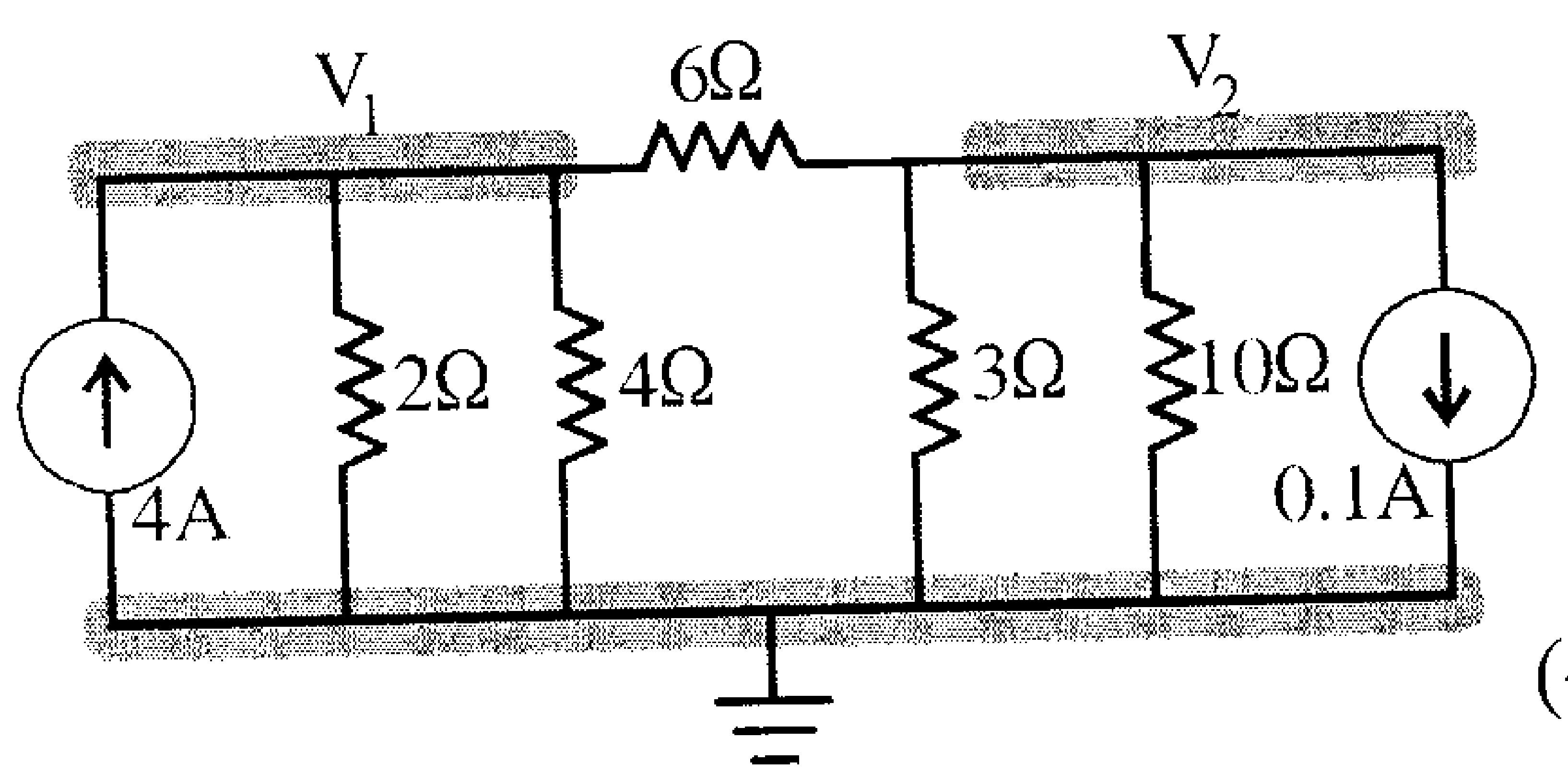
$$1.846A + 1.154A = 3A$$

مثال15.5 من الدائرة بالشكل التالي وباستخدام التحليل العقدي أوجد قيمة الجهد خلال المقاومة(3Ω) .



الحــل:

نحول مصادر الجهد إلى مصادر تيار لتصبح الدائرة كالتالي:



$$(\frac{1}{2}+\frac{1}{4}+\frac{1}{6})V_1 - \frac{1}{6}V_2 = 4$$

$$(\frac{1}{10}+\frac{1}{3}+\frac{1}{6})V_2 - \frac{1}{6}V_1 = -0.1$$

$$(\frac{11}{12})V_1 - \frac{1}{6}V_2 = 4$$

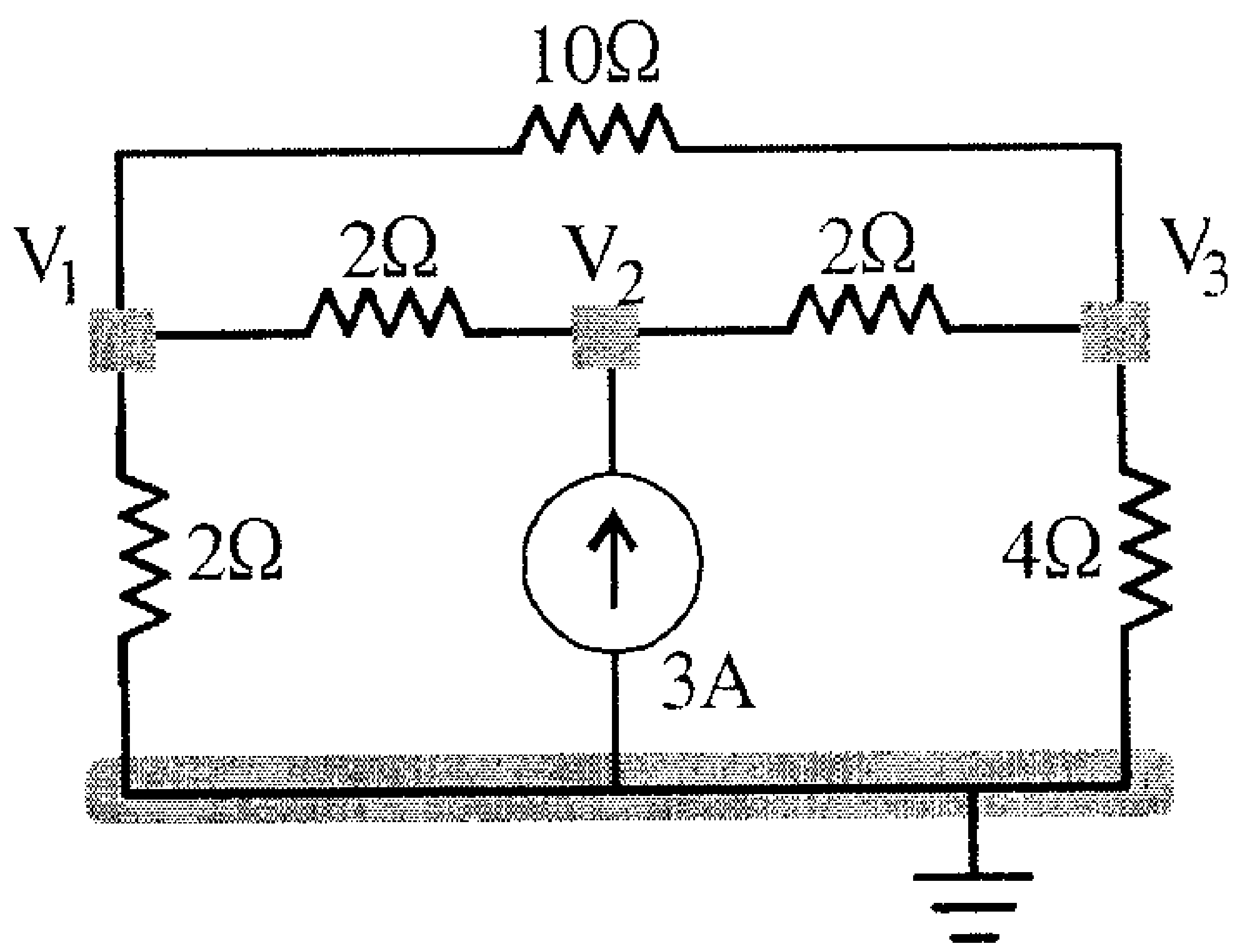
$$(-\frac{1}{6})V_1 + \frac{3}{5}V_2 = -0.1$$

$$11V_1 - 2V_2 = 48$$

$$-5V_1 + 18V_2 = -3$$

$$V_{3\Omega}=V_2=\frac{\begin{vmatrix}11 & 48\\ -5 & -3\end{vmatrix}}{\begin{vmatrix}11 & -2\\ -5 & 18\end{vmatrix}}=\frac{-33+240}{198-10}=1.101V$$

مثال16.5 باستخدام التحليل العقدي أوجد الجهد خلال المقاومة (4Ω) .



الحــل:

العقدة (1):

$$(\frac{1}{2}+\frac{1}{2}+\frac{1}{10})V_1-\frac{1}{2}V_2-\frac{1}{10}V_3=0$$

العقدة (2):

$$(-\frac{1}{2})V_1+(\frac{1}{2}+\frac{1}{2})V_2-\frac{1}{2}V_3=3$$

العقدة (3):

$$(-\frac{1}{10})V_1-(\frac{1}{2})V_2+(\frac{1}{2}+\frac{1}{4}+\frac{1}{10})V_3=0$$

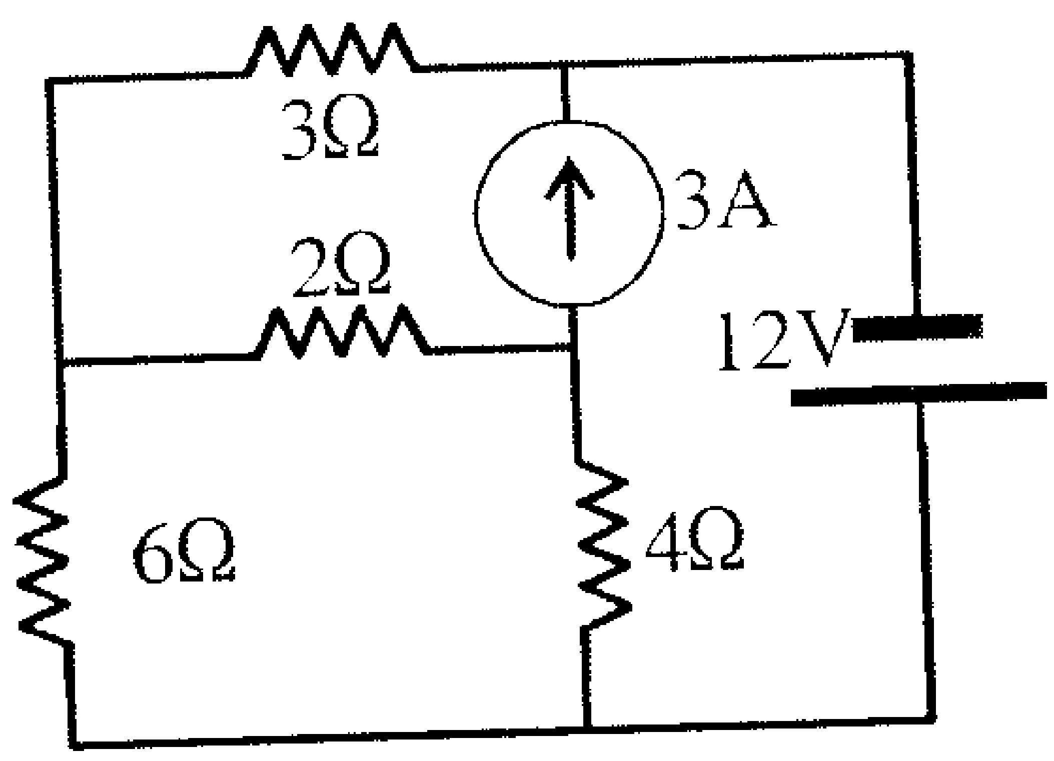
$$1.1V_1-0.5V_2-0.1V_3=0$$

$$-0.5V_1+V_2-0.5V_3=3$$

$$-0.1V_1-0.5V_2+0.85V_3=0$$

$$V_3 = V_{4\Omega} = \frac{\begin{vmatrix} 1.1 & -0.5 & 0 \\ -0.5 & 1 & 3 \\ -0.1 & -0.5 & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1.1 & -0.5 & -0.1 \\ -0.5 & 1 & -0.5 \\ -0.1 & -0.5 & 0.85 \end{vmatrix}} = 4.645V$$

مثال17.5 في الدائرة التالية أوجد التيار المار في المقاومة (3Ω) وذلك باستخدام التحليل العقدي.



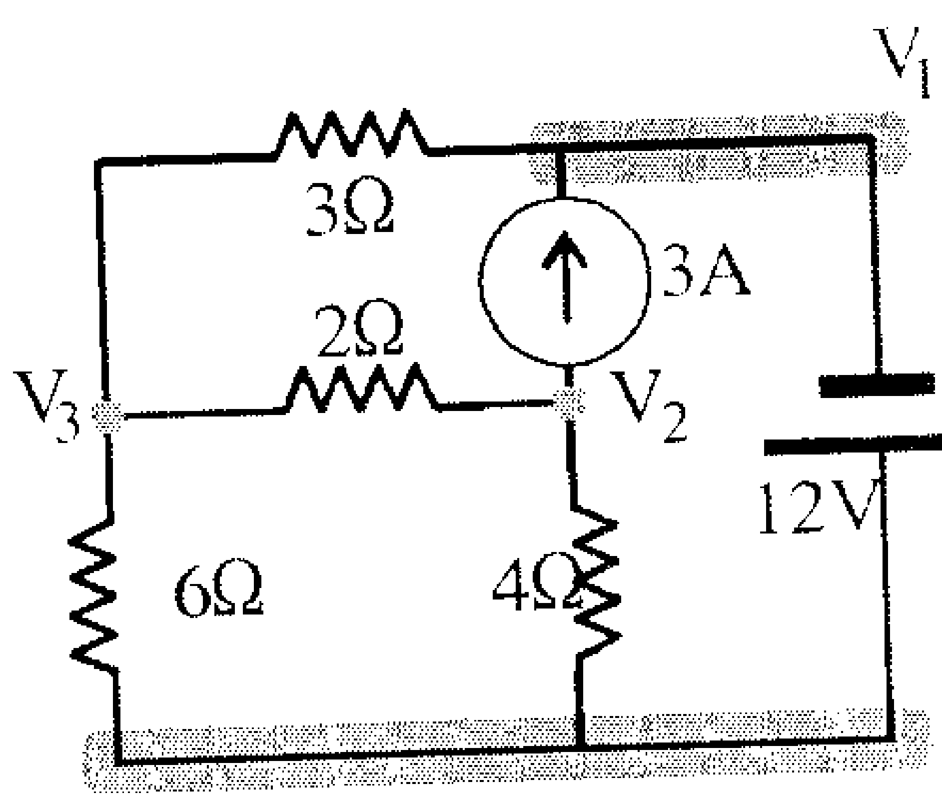
الحــل:

جهد العقدة(1) يقرأ مباشرة من الدائرة

$$V_1 = -12V$$

ولأن اتجاه التيار خارج من العقدة فالإشارة سالبة.

أما جهد العقدتين V_3 وV_2 فيمكن إيجاده كالتالي:



V_2 :

$$(\frac{1}{2} + \frac{1}{4})V_2 - \frac{1}{2}V_3 = -3$$

V_3 :

$$-\frac{1}{3}V_1 - \frac{1}{2}V_2 + (\frac{1}{2} + \frac{1}{6} + \frac{1}{3})V_3 = 0$$

$$(\frac{3}{4})V_2 - \frac{1}{2}V_3 = -3$$

$$-\frac{1}{2}V_2 + V_3 = \frac{12}{3} = 4$$

$$3V_2 - 2V_3 = -12$$

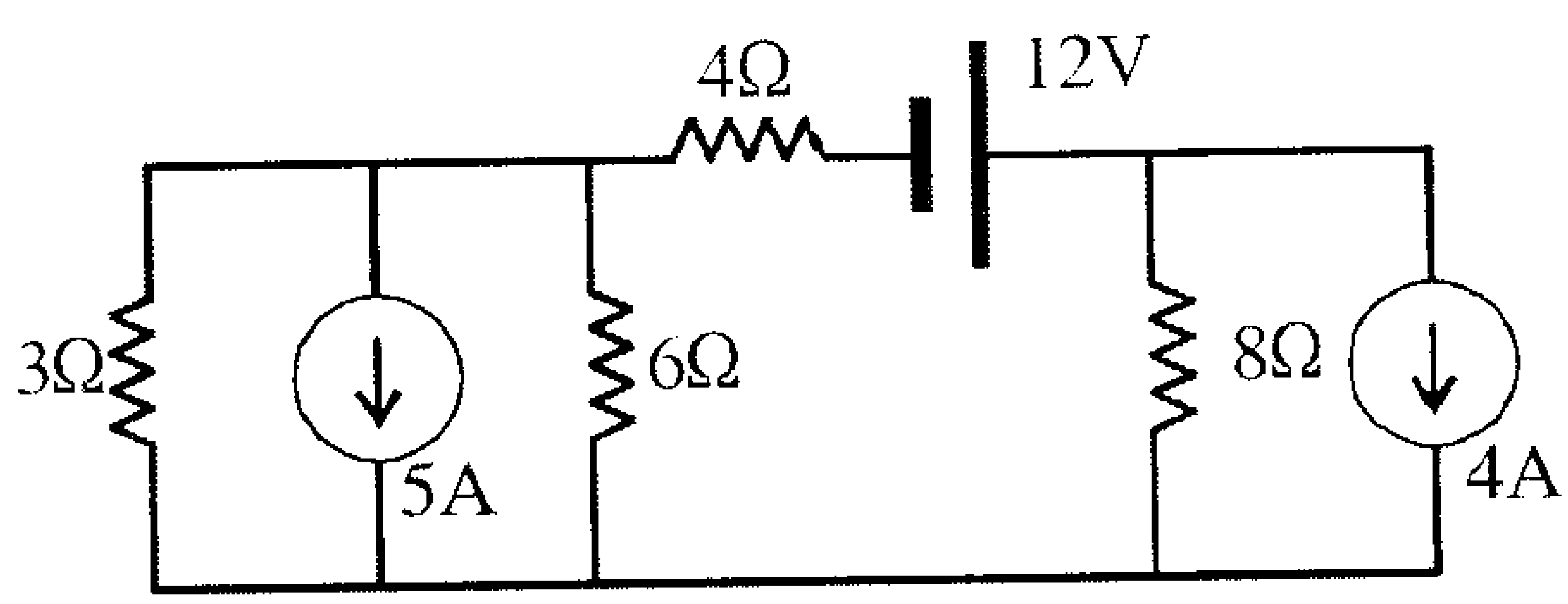
$$-V_2 + 2V_3 = 8$$

$$V_2 = \frac{\begin{vmatrix} -12 & -2 \\ 8 & 2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 3 & -2 \\ -1 & 2 \end{vmatrix}} = \frac{-24+16}{6-2} = -2V$$

$$V_3 = \frac{\begin{vmatrix} 3 & -12 \\ -1 & 8 \end{vmatrix}}{4} = \frac{24-12}{4} = 3V$$

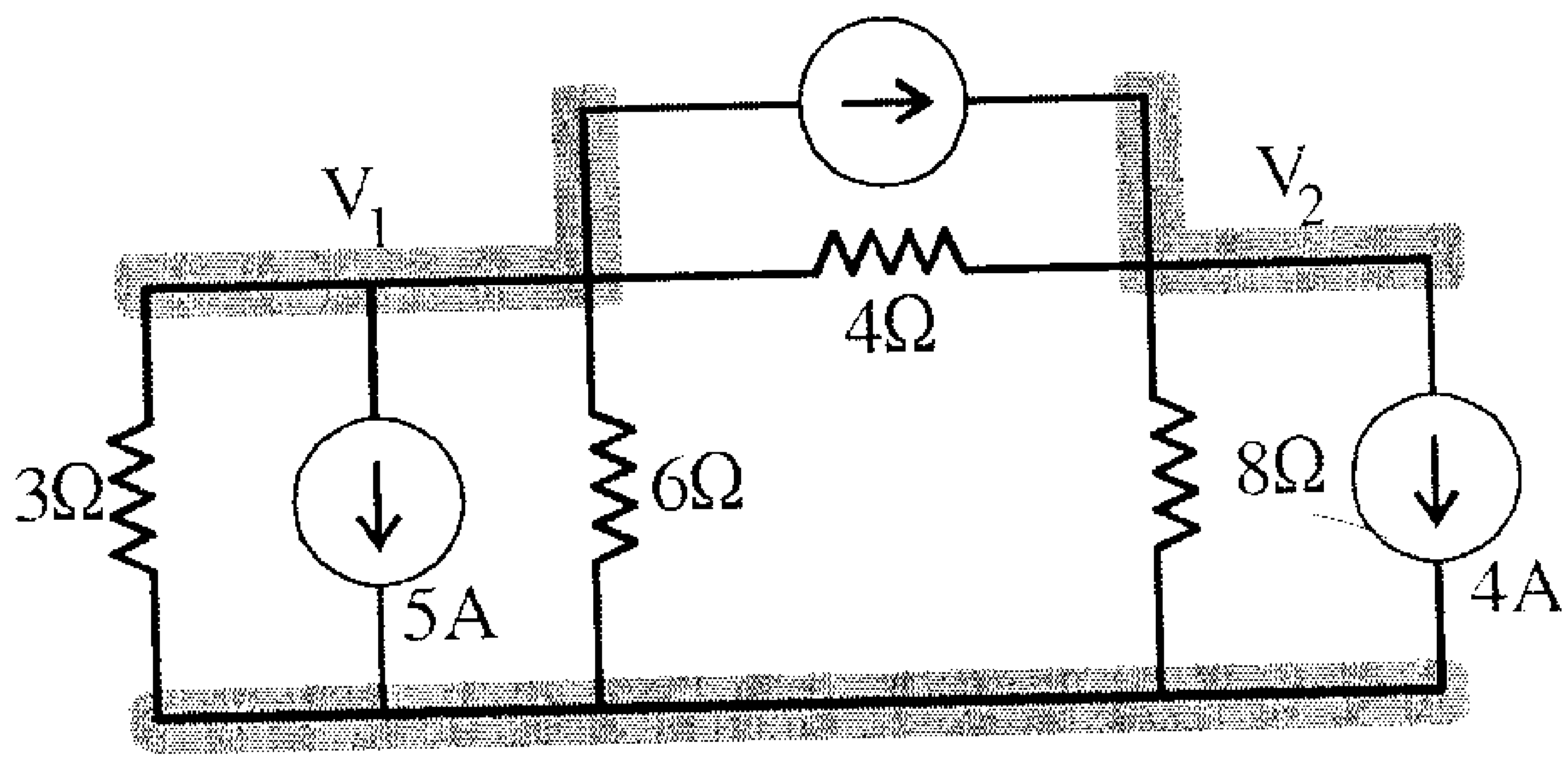
$$I_{3\Omega} = \frac{V_1 - V_3}{3\Omega} = \frac{12V - (3V)}{3\Omega} = 3A$$

مثال18.5 باستخدام طريقة التحليل العقدي أوجد جهود العقد.



الحـــل:

نحول مصدر الجهد ($12V$) إلى مصدر تيار كما في الشكل التالي:



V_1 :

$$(\frac{1}{3}+\frac{1}{6}+\frac{1}{4})V_1-\frac{1}{4}V_2=-5A-3A$$

V_2 :

$$-\frac{1}{4}V_1+(\frac{1}{4}+\frac{1}{8})V_2=3A-4A$$

V_1 :

$$\frac{9}{12}V_1-\frac{1}{4}\ V_2=-8A$$

V_2 :

$$-\frac{1}{4}V_1+\frac{3}{8}\ V_2=-1A$$

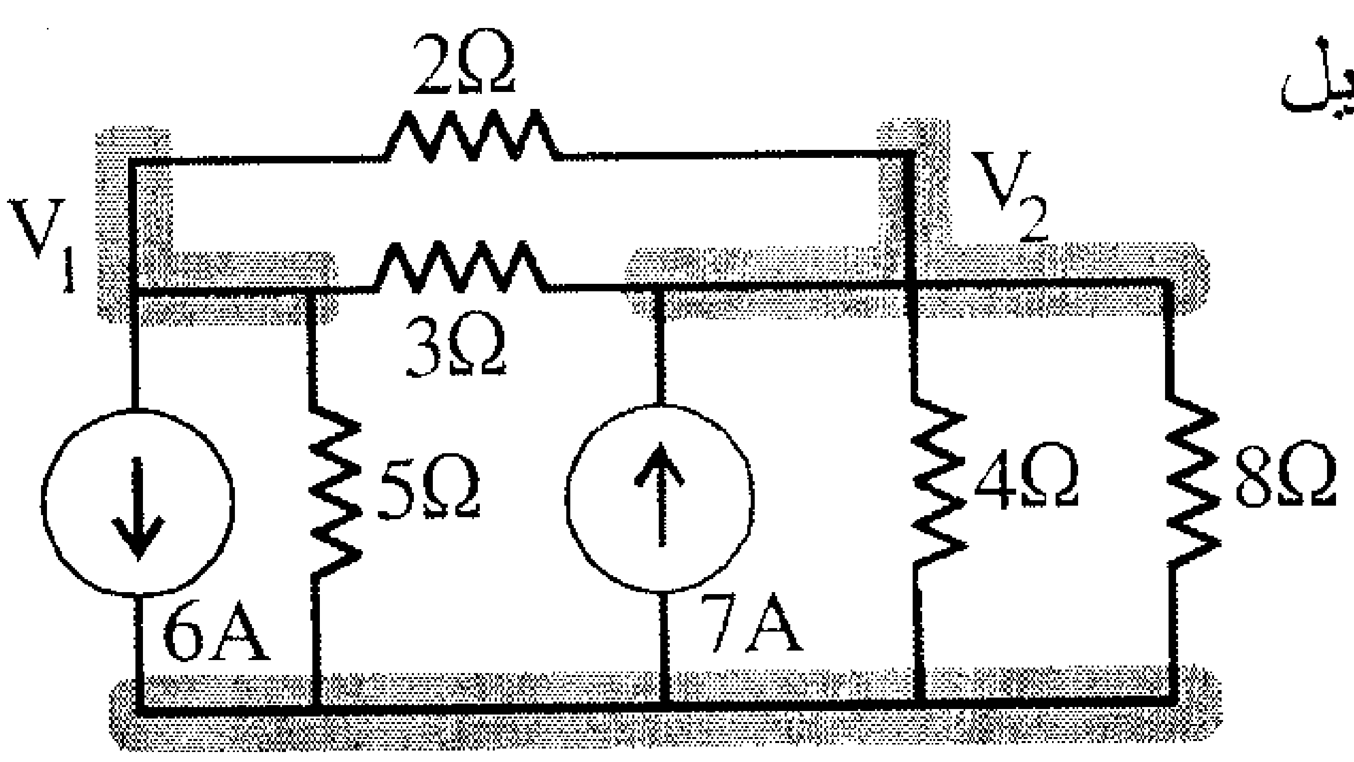
$$9V_1-3V_2=-96 \longrightarrow (1)$$

$$-2V_1+3V_2=-8 \longrightarrow (2)$$

$$V_1 = \frac{\begin{vmatrix} -96 & -3 \\ -8 & 3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 9 & -3 \\ -2 & 3 \end{vmatrix}} = \frac{-288-24}{27-6} = -14.86V$$

$$V_2 = \frac{\begin{vmatrix} 9 & -96 \\ -2 & -8 \end{vmatrix}}{21} = \frac{-72-192}{21} = -12.57V$$

مثال 19.5 من الدائرة بالشكل وباستخدام التحليل العقدي أوجد جهود العقد.



الحـــل:

V_1 :

$$(\frac{1}{3}+\frac{1}{2}+\frac{1}{5})V_1 - (\frac{1}{2}+\frac{1}{3})V_2 = -6A$$

V_2 :

$$-(\frac{1}{2}+\frac{1}{3})V_1 + (\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}+\frac{1}{8})V_2 = 7A$$

$$\frac{31}{30}V_1 - \frac{5}{6}V_2 = -6A$$

$$-\frac{5}{6}V_1 + \frac{29}{24}V_2 = 7A$$

$$31V_1 - 25V_2 = -180 \longrightarrow \quad (1)$$

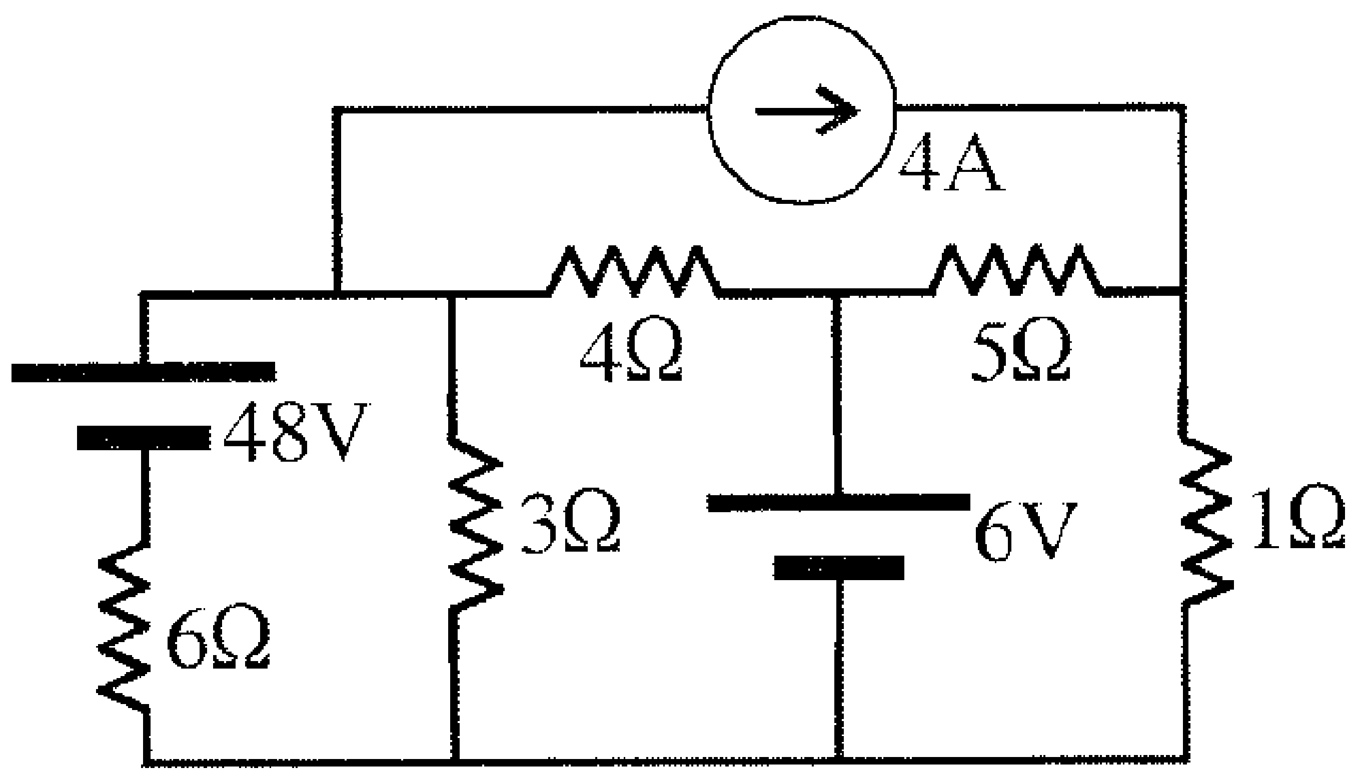
$$-20V_1 + 29V_2 = 168 \longrightarrow \quad (2)$$

$$V_1 = \frac{\begin{vmatrix} -180 & -25 \\ 168 & 29 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 31 & -25 \\ -20 & 29 \end{vmatrix}} = \frac{-5220+4200}{899-500} = -2.556V$$

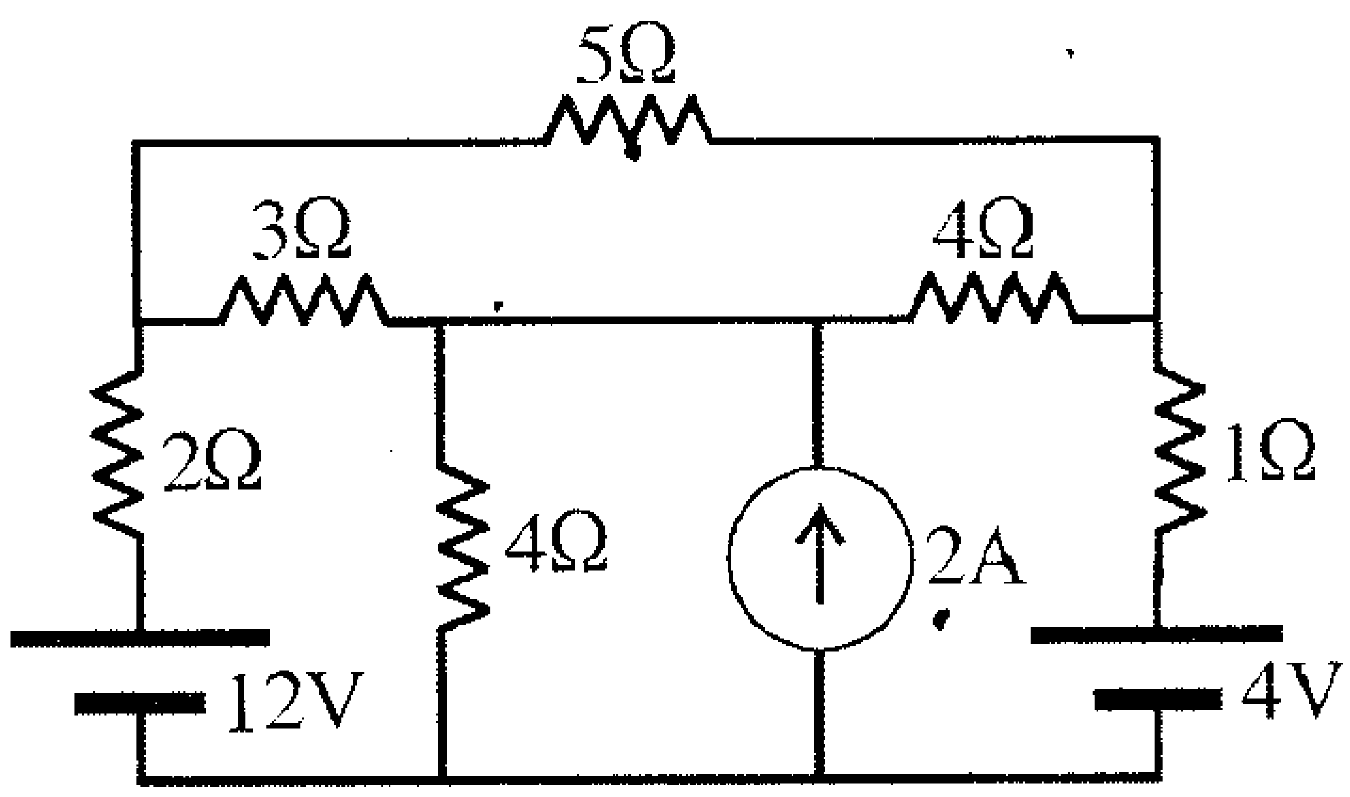
$$V_2 = \frac{\begin{vmatrix} 31 & -180 \\ -20 & 168 \end{vmatrix}}{399} = \frac{5208-3600}{399} = 4.03V$$

4.5 مسائل عن التحليل العقدي

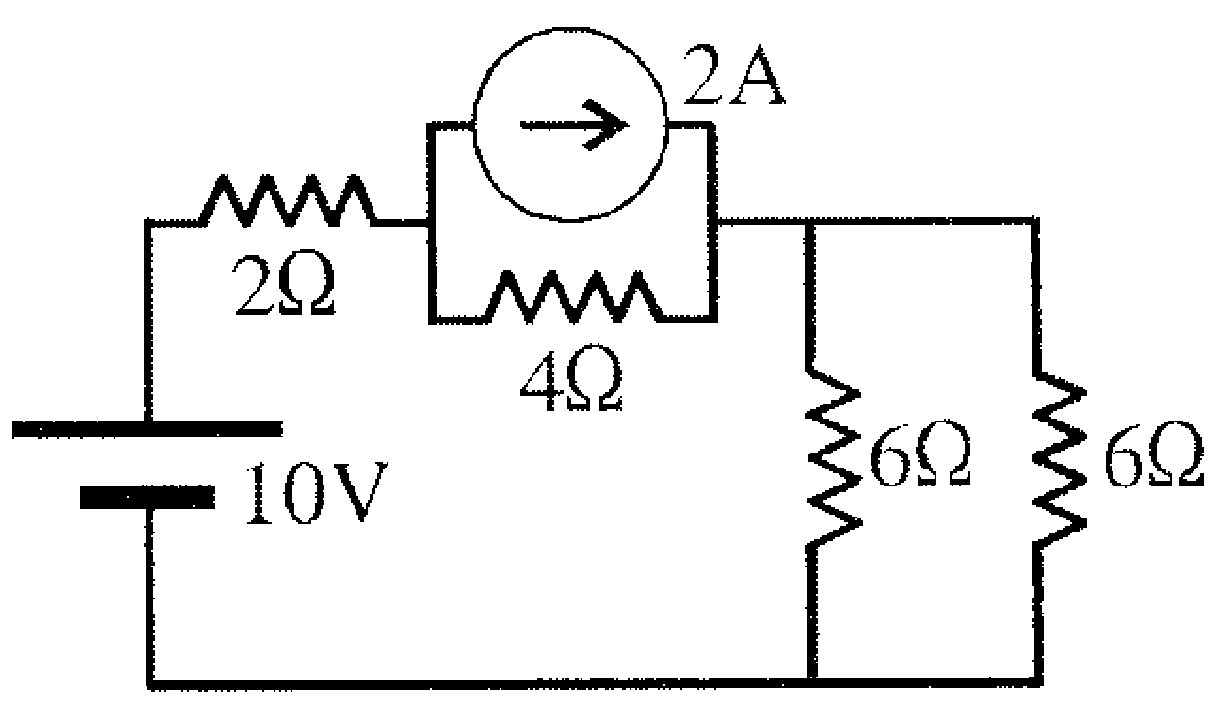
(1) أوجد فرق الجهد بين طرفي مصدر التيار (4A) .



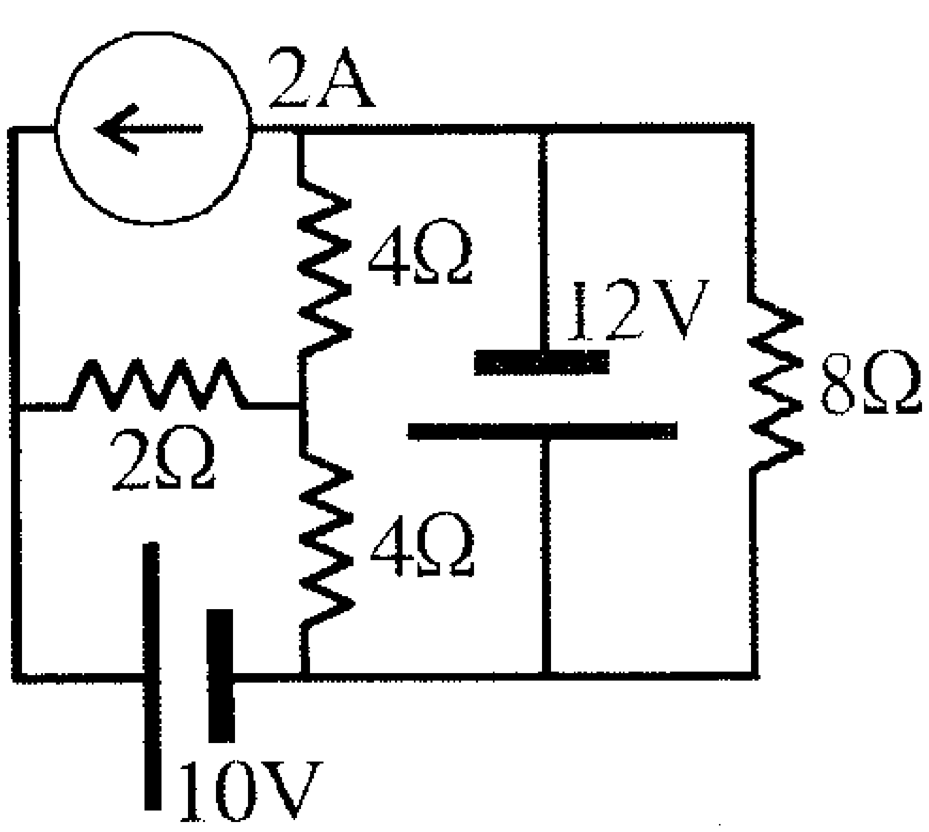
(2) أوجد قيمة التيار المار في المقاومة (5Ω) .



(3) أوجد قيمة التيار المار في المقاومة (4Ω) .



(4) أوجد قيمة التيار المار في المقاومة (2Ω) .

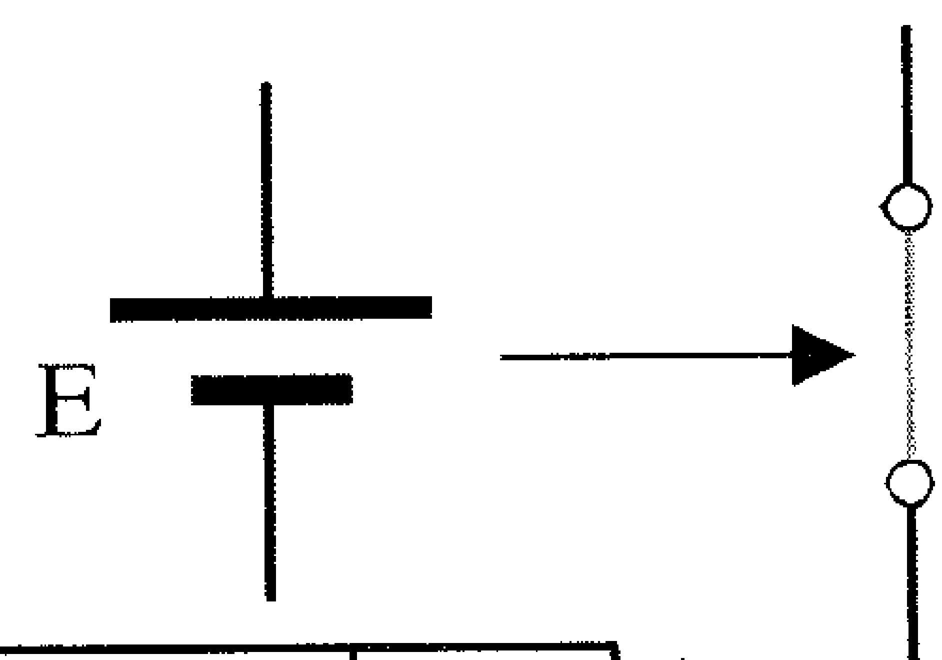


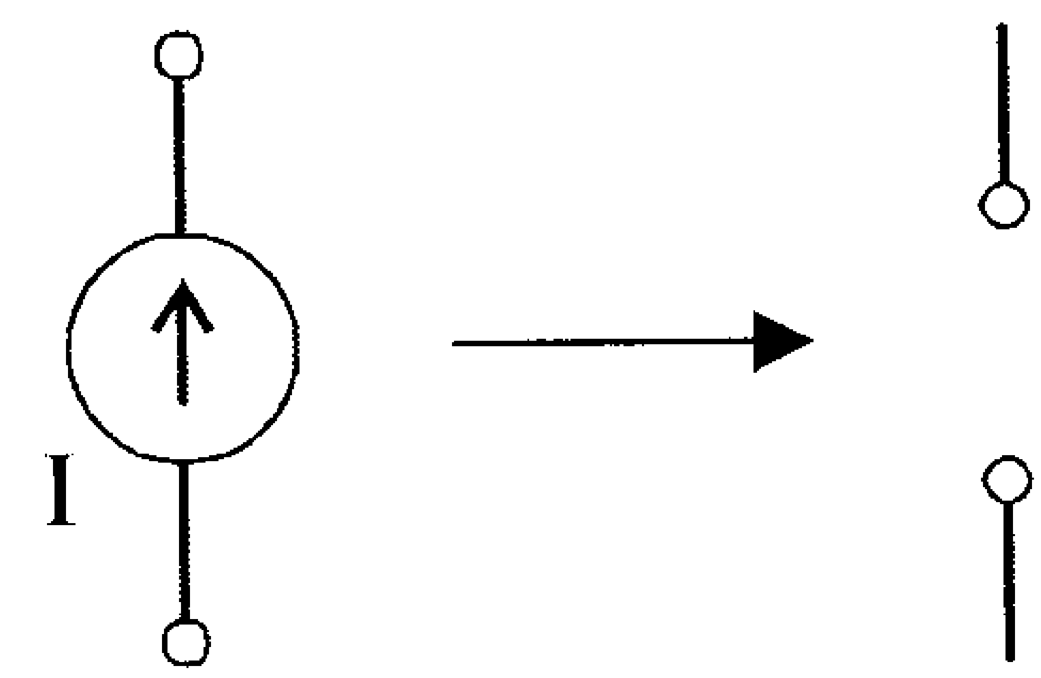
الفصل السادس

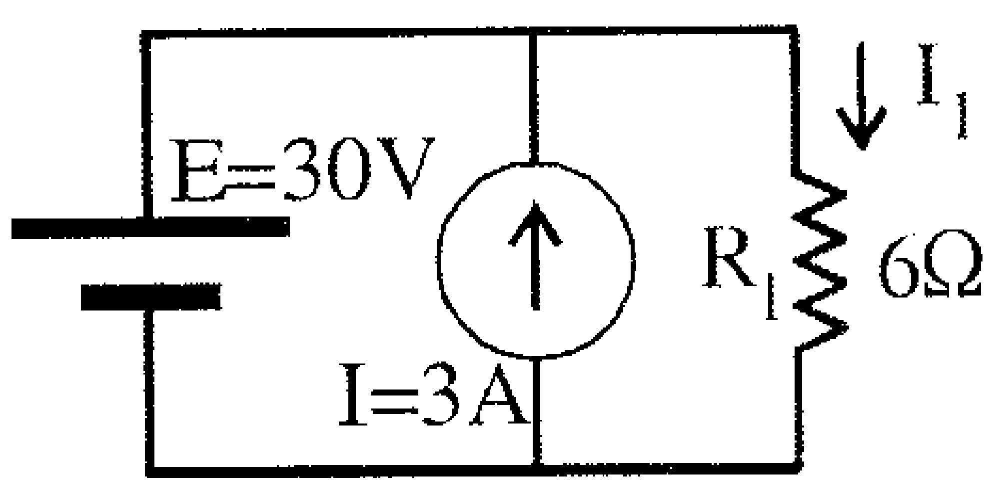
1.6 نظرية التراكيب Superposition Theorem

تستخدم نظرية التراكيب لتحليل الدوائر الكهربائية التي تحتوي على مصدري جهد أو تيار أو أكثر وميزة هذه الطريقة هي عدم استعمال الطرق الرياضية لإيجاد التيارات أو الجهود مقارنة بالطرق الأخرى (التحليل الحلقي والعقدي)،حيث نتعامل مع كل مصدر للجهد أو التيار على حدة وفي النهاية يتم تجميع الحلول لنحصل على حل نهائي والحصول على النتائج المطلوبة من الدائرة.

في خطوات الحل يتم حذف مصدر الجهد واستبداله بدائرة مغلقة (Short Circuit) ،و يستبدل مصدر التيار بدائرة مفتوحة(Open Circuit) .



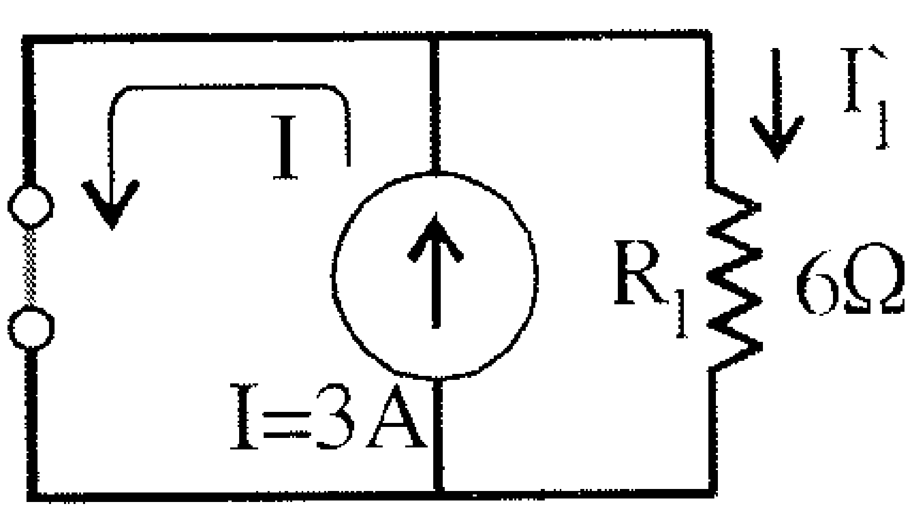




والمثال التالي يوضح فكرة الحل:

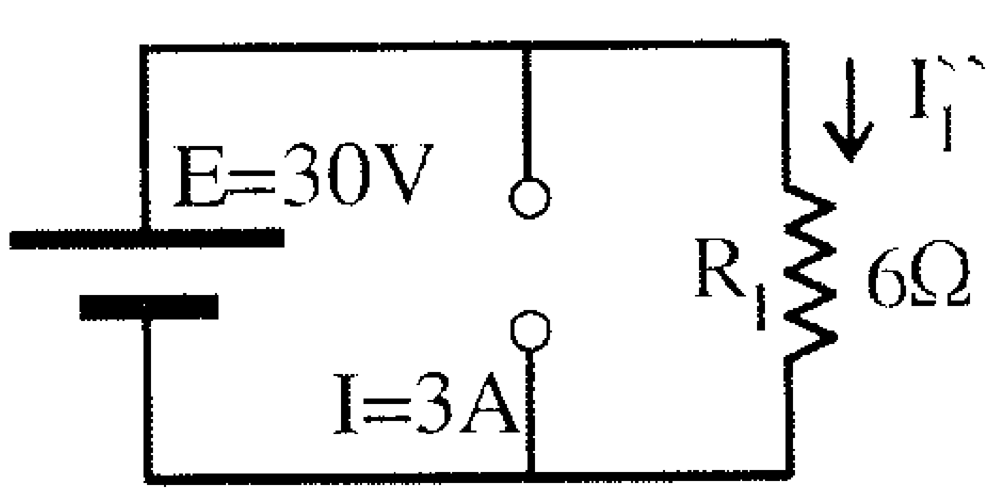
مثال1.6 باستخدام نظرية التراكيب أوجد التيار I_1 .

الحــل:



1- ضع مصدر الجهد ($E = 0V$) باستبداله بدائرة مغلقة، من الرسم نلاحظ أن تيار المصدر سوف يأخذ طريق(Short) :

$$I_1` = 0A$$



2- استبدال مصدر التيار بدائرة مفتوحة أي ($I = 0A$)،وباستخدام قانون أوم للدائرة بالشكل نحصل:

$$I_1^{``}=\frac{E}{R_1}=\frac{30V}{6\Omega}=5A$$

نقوم بعملية جمع التيارين $I_1^{``}$ و $I_1^{`}$ لنحصل على التيار الكلي I_1 المار في المقاومة (6Ω)

$$I_1 = I_1^{`} + I_1^{``}$$

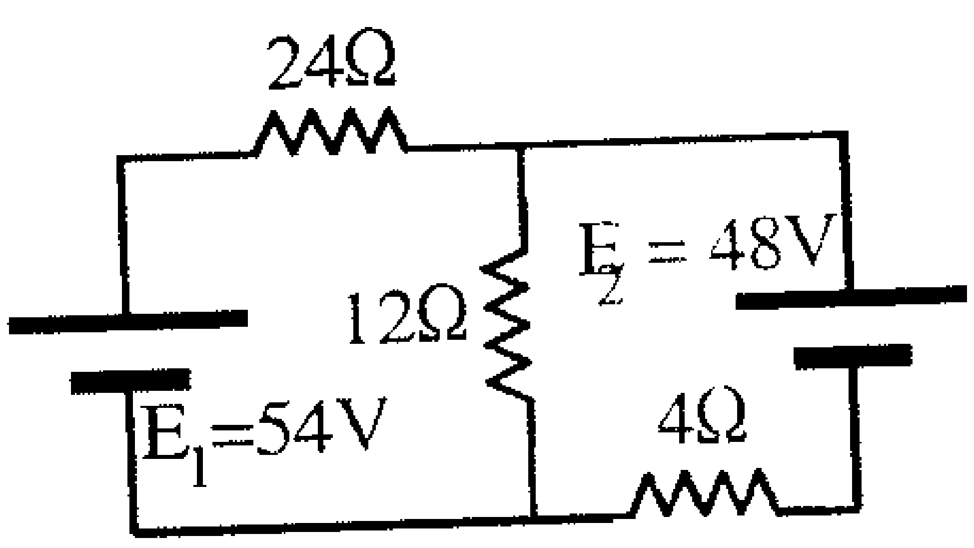
$$= 0A + 5A = 5A$$

من الحل نستنتج أن مصدر التيار ليس له تأثير على المقاومة (6Ω) لأن مصدرى الجهد والمقاومة (6Ω) على التوازي ولها نفس الجهد.

$$V_{6\Omega} = E = 30V$$

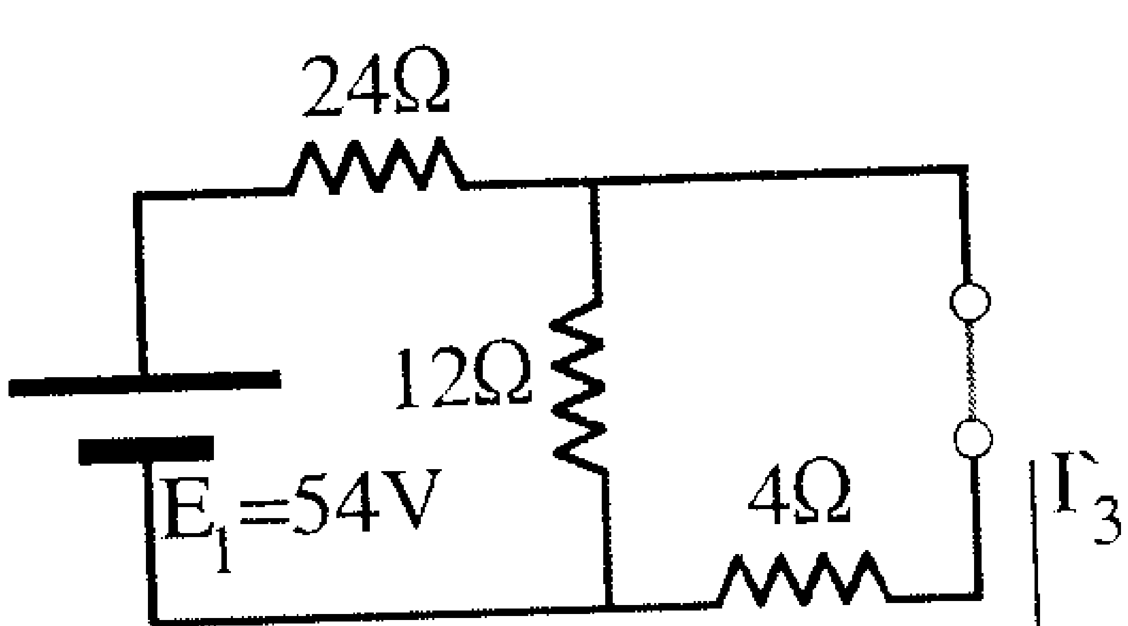
$$I_1 = I_{6\Omega} = \frac{30}{6} = 5A$$

مثال2.6 باستخدام نظرية التراكيب أوجد التيار المار خلال المقاومة (4Ω) .



الحــل:

عند تأثير المصدر $(E_1 = 54V)$ فقط نحذف $(E_2 = 48V)$



$$12\ \Omega\ //\ 4\ \Omega = 3\ \Omega$$

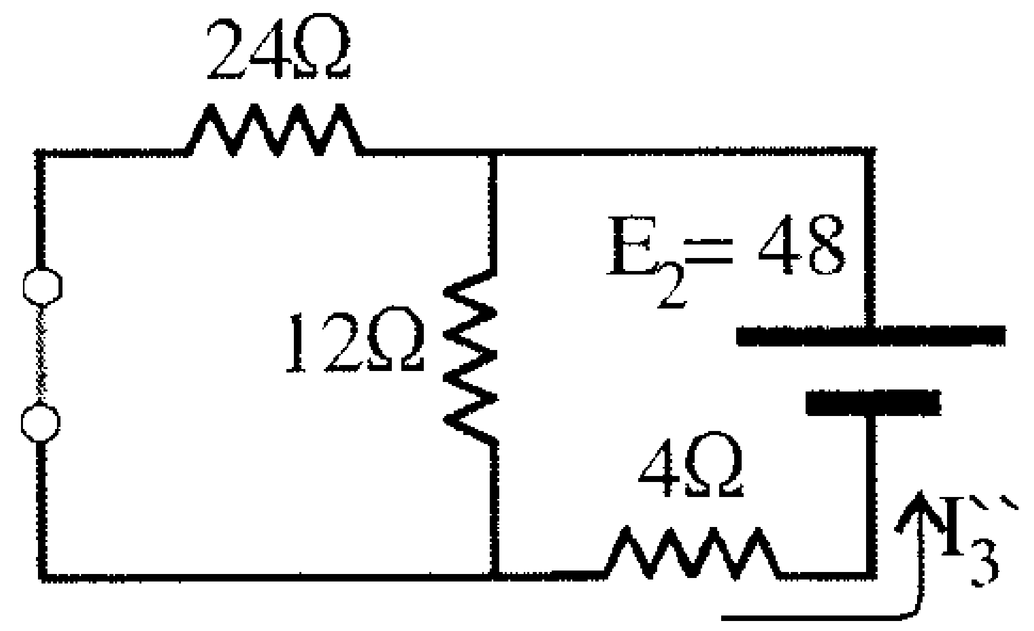
$$R_T = 24\ \Omega + 3\ \Omega = 27\ \Omega$$

$$I = \frac{E_1}{R_T} = \frac{54V}{27\Omega} = 2A$$

وباستخدام قانون مجزئ التيار نحصل على التيار المار في المقاومة (4Ω)

$$I_3^{`} = \frac{(12\Omega)(2A)}{16\Omega + 4\Omega} = 1.5A$$

عند تأثير المصدر ($E_2 = 48V$) نحذف المصدر الآخر ($E_1 = 54V$) من الدائرة. نلاحظ أن اتجاه التيار $I_3^{``}$ عكس اتجاه التيار $I_3^{`}$ في الدائرة السابقة



$$24\ \Omega\ //\ 12\ \Omega = 8\ \Omega$$

$$R_T = 8\ \Omega + 4\ \Omega = 12\ \Omega$$

$$I_3^{``} = \frac{E_2}{R_T} = \frac{48V}{12\Omega} = 4A$$

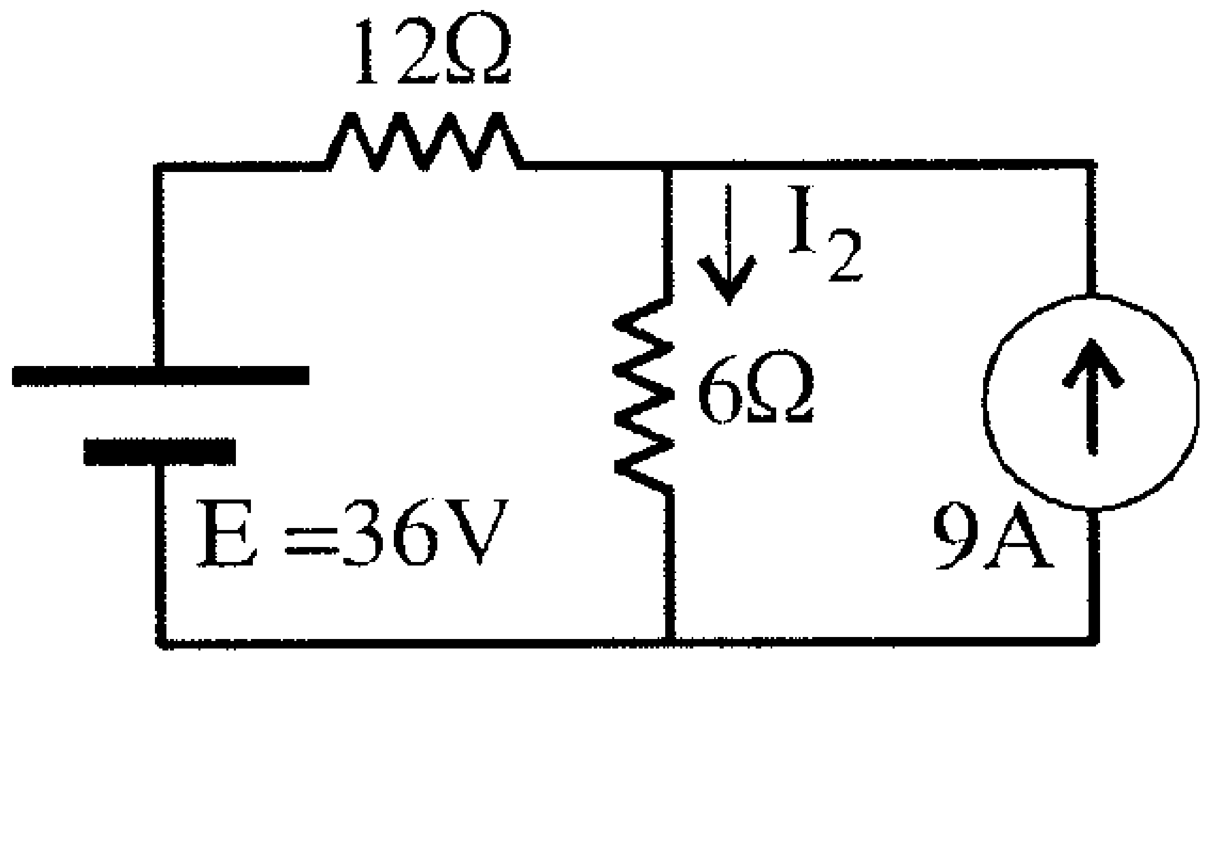
إذاً التيار الكلي المار في المقاومة (4Ω) يساوي

$$I_3 = I_3^{``} - I_3^{`} = 4A - 1.5A$$

$$I_3 = 2.5\ A$$

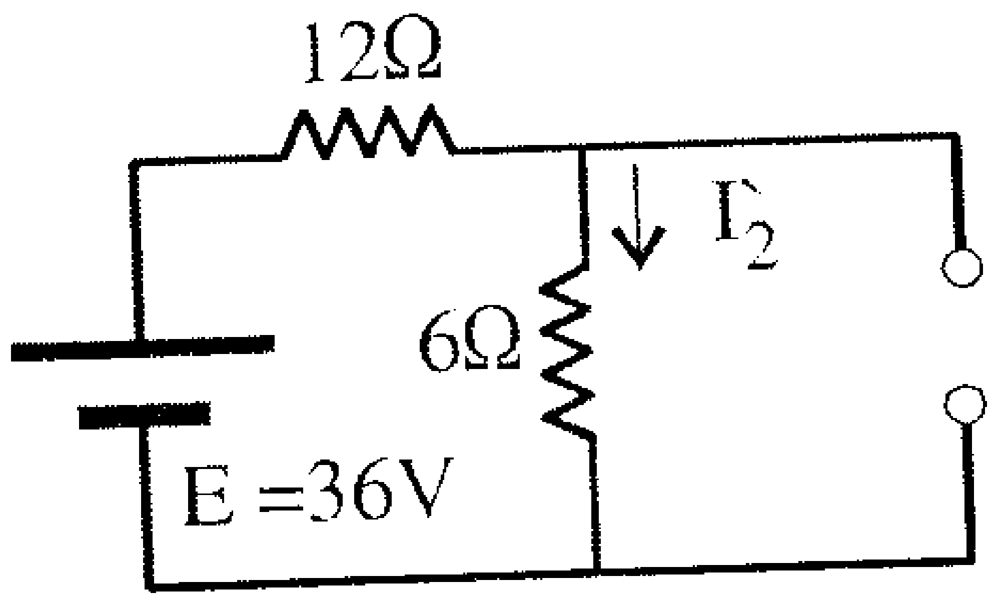
وفي اتجاه $I_3^{``}$ لأنه التيار الأكبر.

مثال3.6 باستخدام نظرية التراكيب أوجد التيار المار خلال المقاومة (6Ω) .



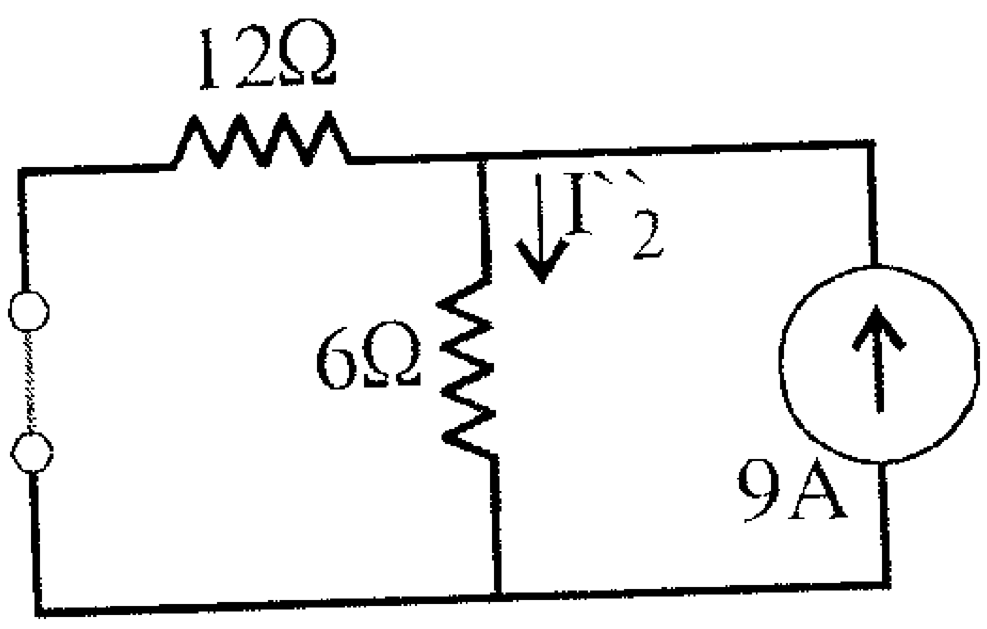
الحـــل:

تأثير المصدر ($36V$) :



$$I_2^{`} = \frac{E}{R_T} = \frac{36V}{12\Omega + 6\Omega} = \frac{36V}{18\Omega} = 2A$$

تأثير المصدر ($9A$) باستخدام قانون مجزئ التيار



$$I_2^{``} = \frac{(9A)(12\Omega)}{6\Omega + 12\Omega} = \frac{108A\Omega}{18\Omega} = 6A$$

التيار الكلي خلال المقاومة (6Ω)

$$I_2 = I_2^{`} + I_2^{``}$$

$$= 2A + 6A = 8A$$

قمنا بجمع التيارين $I_2^{`}$ و $I_2^{``}$ لأنهما في نفس الاتجاه.

سؤال : هل يمكن استخدام نظرية التراكيب لحساب القدرة؟

للإجابة عن هذا السؤال نرجع إلى المثال السابق:

القدرة المستهلكة في المقاومة (6Ω) تساوي

$$P = I^2 R = (8A)^2 (6\Omega) = 384W$$

ونحسب القدرة المستهلكة في المقاومة (6Ω) باستخدام نظرية التراكيب

$$P_1 = (I_2^{`})^2 R = (2A)^2 (6\Omega) = 24W$$

$$P_1 = (I_2^{``})^2 R = (6A)^2 (6\Omega) = 216W$$

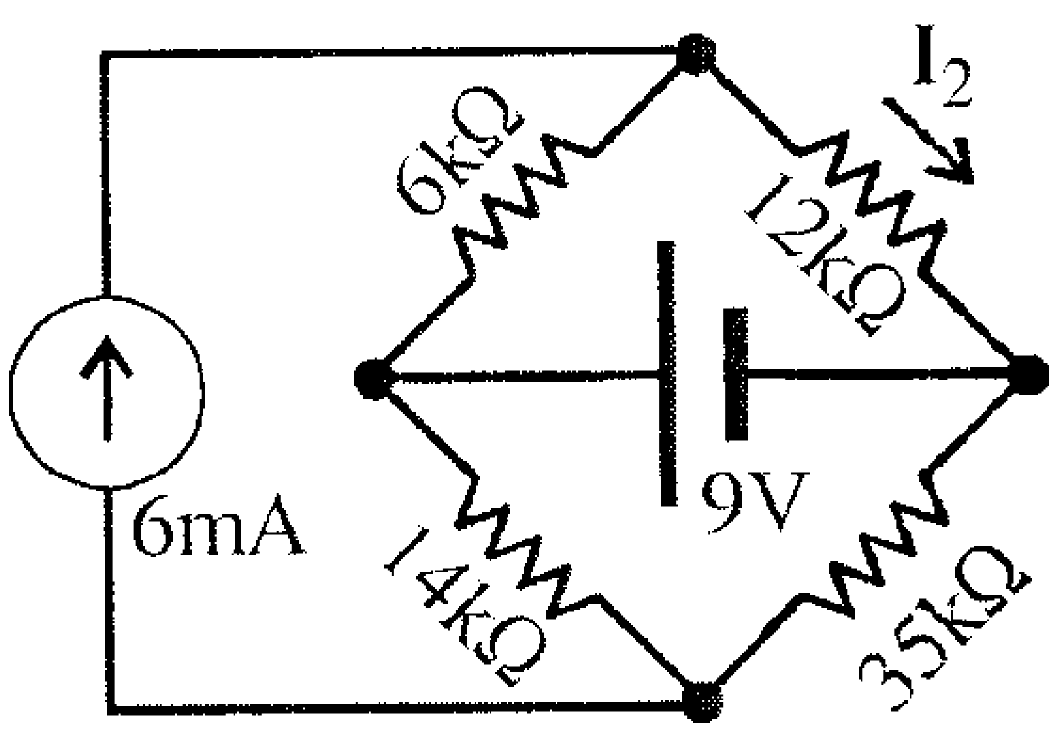
$$P_1 + P_2 = 240W \neq 384W$$

لهذا فإن الإجابة عن هذا السؤال " **لا** " لأن

$$2A + 6A = 8A$$

$$(2A)^2 + (6A)^2 \neq (8A)^2$$

مثال4.6 باستخدام نظرية التراكيب أوجد التيار المار في المقاومة (12kΩ) .

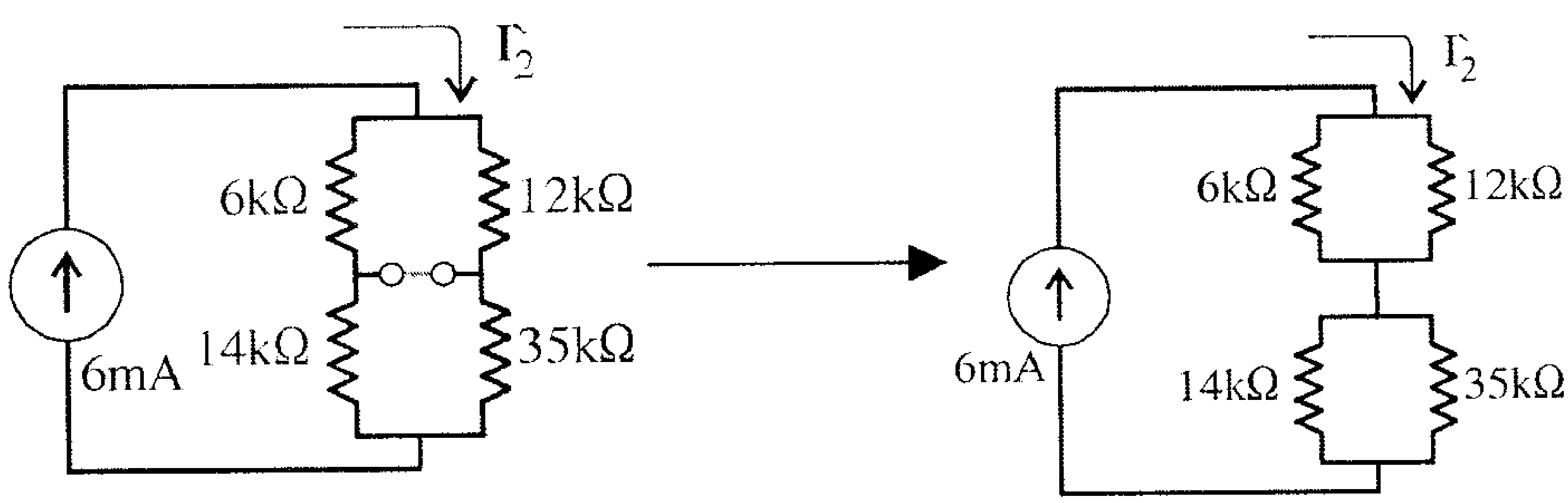


الحــل:

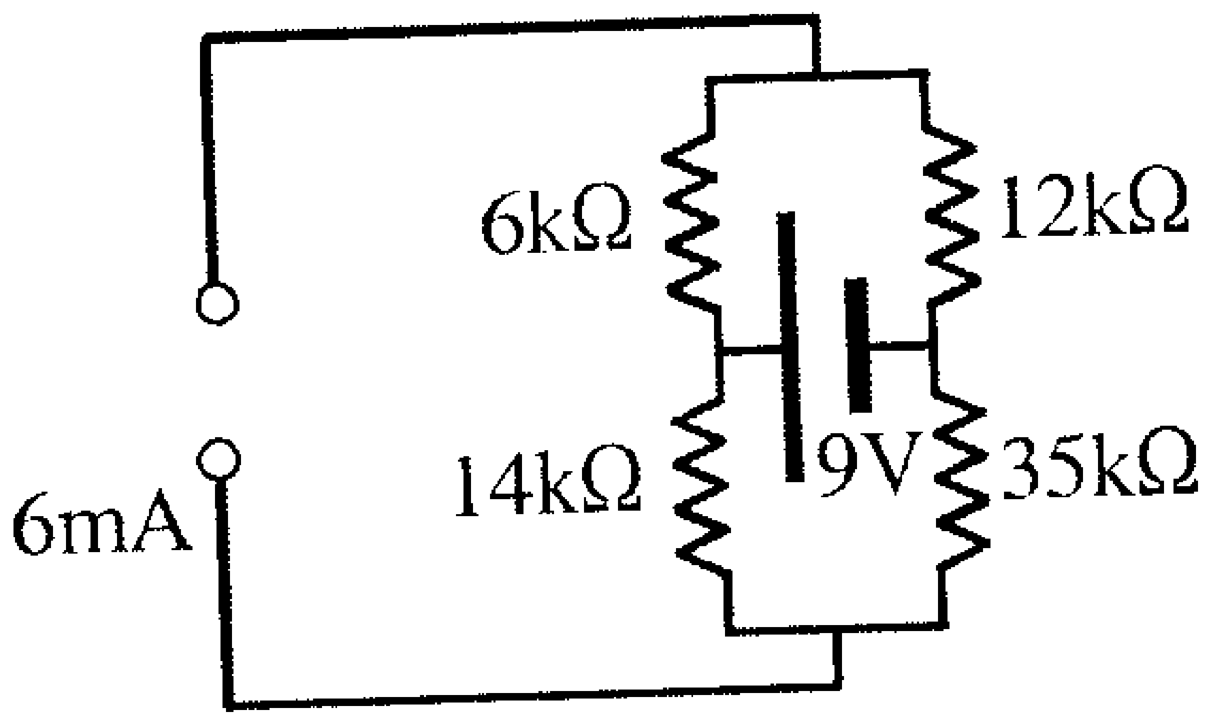
1- تأثير مصدر التيار ($6mA$) نستخدم قانون مجزئ التيار

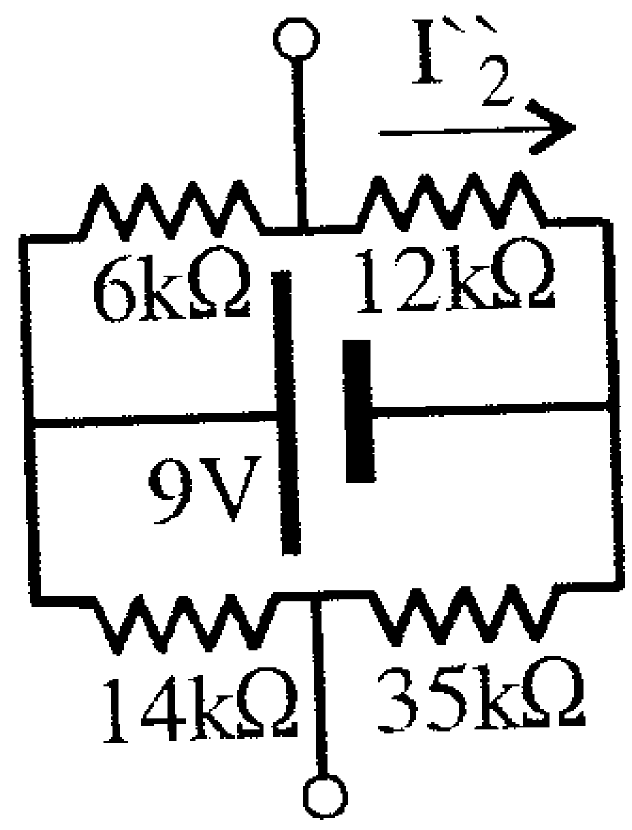
$$I_2' = \frac{(6mA)(6k\Omega)}{6k\Omega + 12k\Omega} = \frac{36A\Omega}{18k\Omega} = 2mA$$

إعادة رسم الدائرة بعد حذف مصدر الجهد ($9V$) :



-2 تأثير مصدر الجهد ($9V$) :



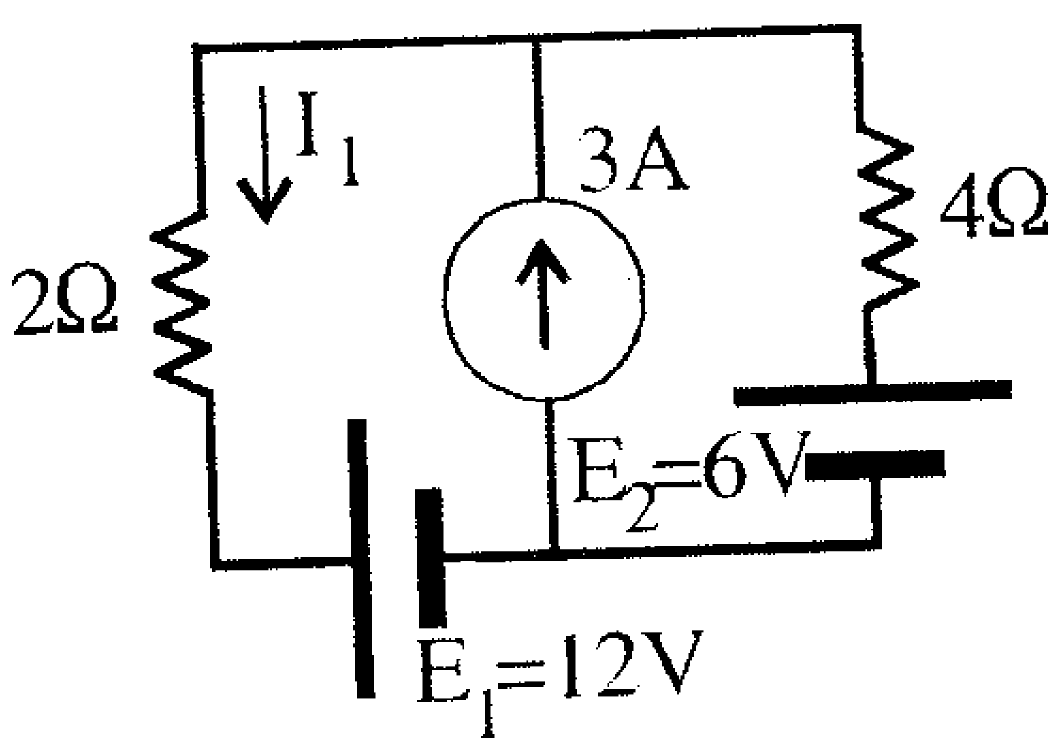


$$I_2^{``} = \frac{(9V)}{6k\Omega + 12k\Omega} = \frac{9V}{18k\Omega} = 0.5mA$$

التيار الكلي :

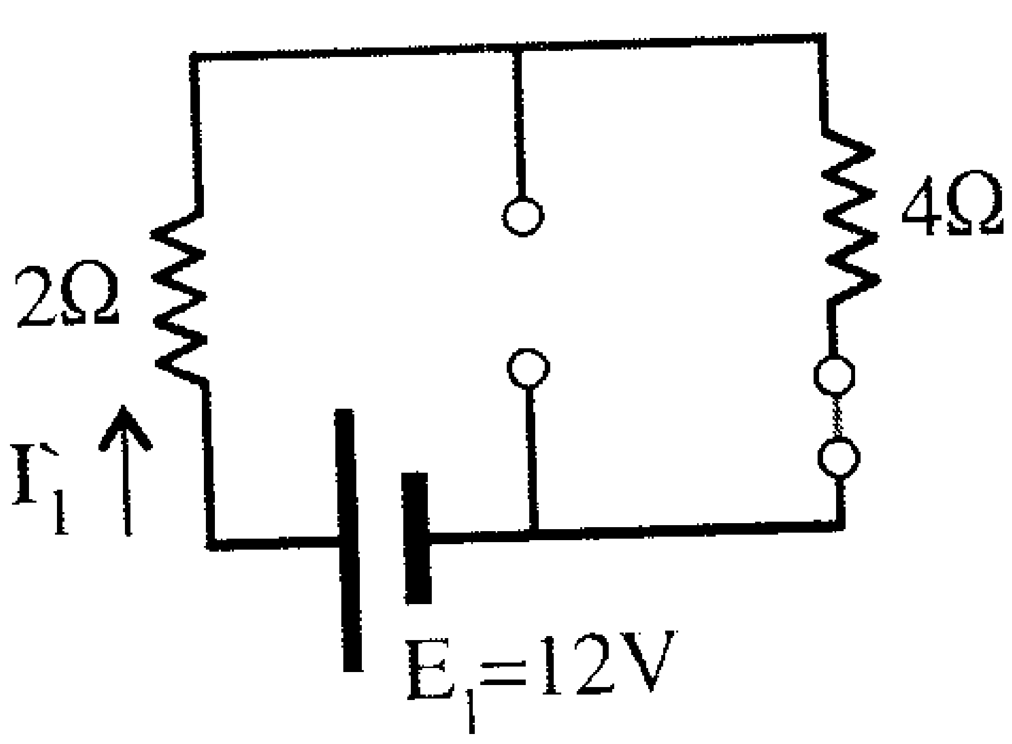
$$I_2 = I_2^{`} + I_2^{``} = 2mA + 0.5mA = 2.5mA$$

مثال5.6 أوجد التيار المار خلال المقاومة (2Ω) باستخدام نظرية التراكيب.



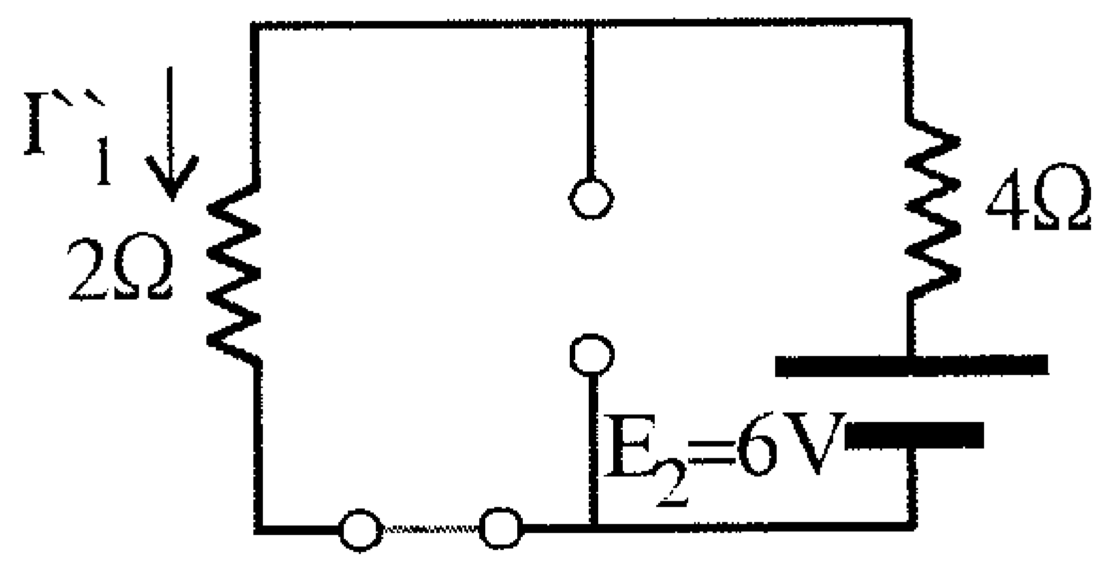
الحـل:

-1 تأثير المصدر ($E_1 = 12V$) :



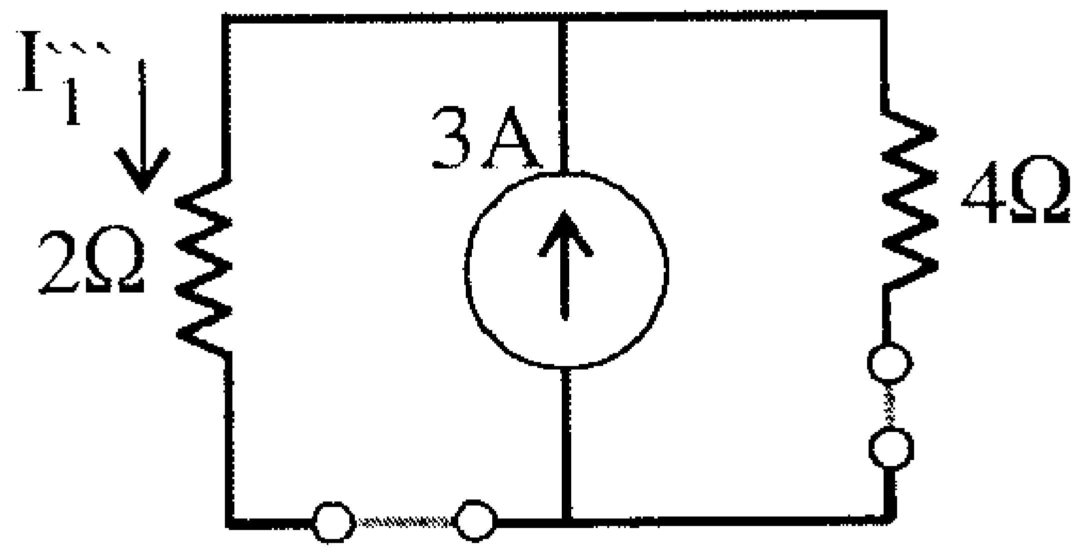
$$I_1^{`} = \frac{(12V)}{2\Omega + 4\Omega} = \frac{12V}{6\Omega} = 2A$$

-2 تأثير المصدر ($E_2 = 6V$) :



$$I_1^{''} = \frac{(6V)}{2\Omega + 4\Omega} = \frac{6V}{6\Omega} = 1A$$

3- تأثير مصدر التيار ($I = 3A$) باستخدام قانون مجزئ التيار

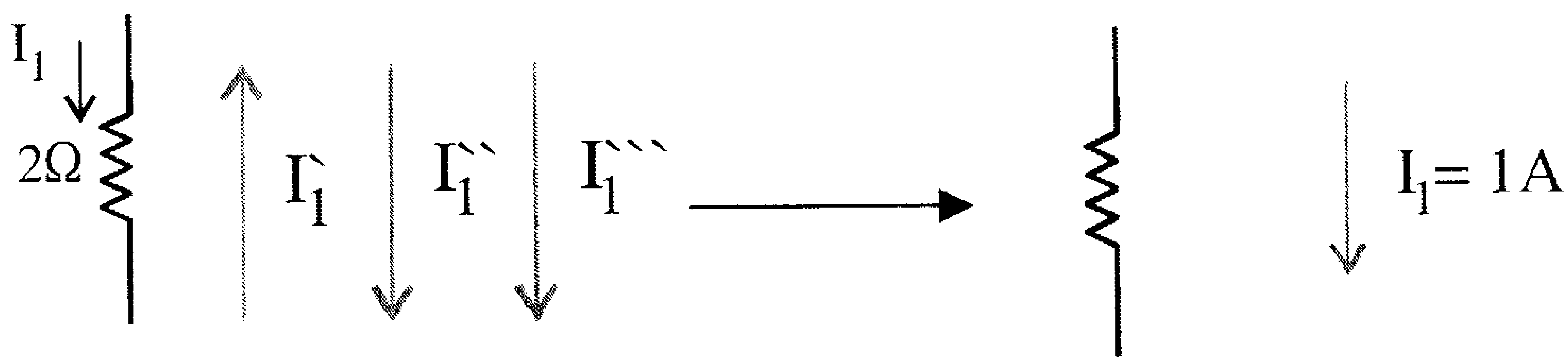


$$I_1^{'''} = \frac{(3A)(4\Omega)}{2\Omega + 4\Omega} = \frac{12A}{6\Omega} = 2A$$

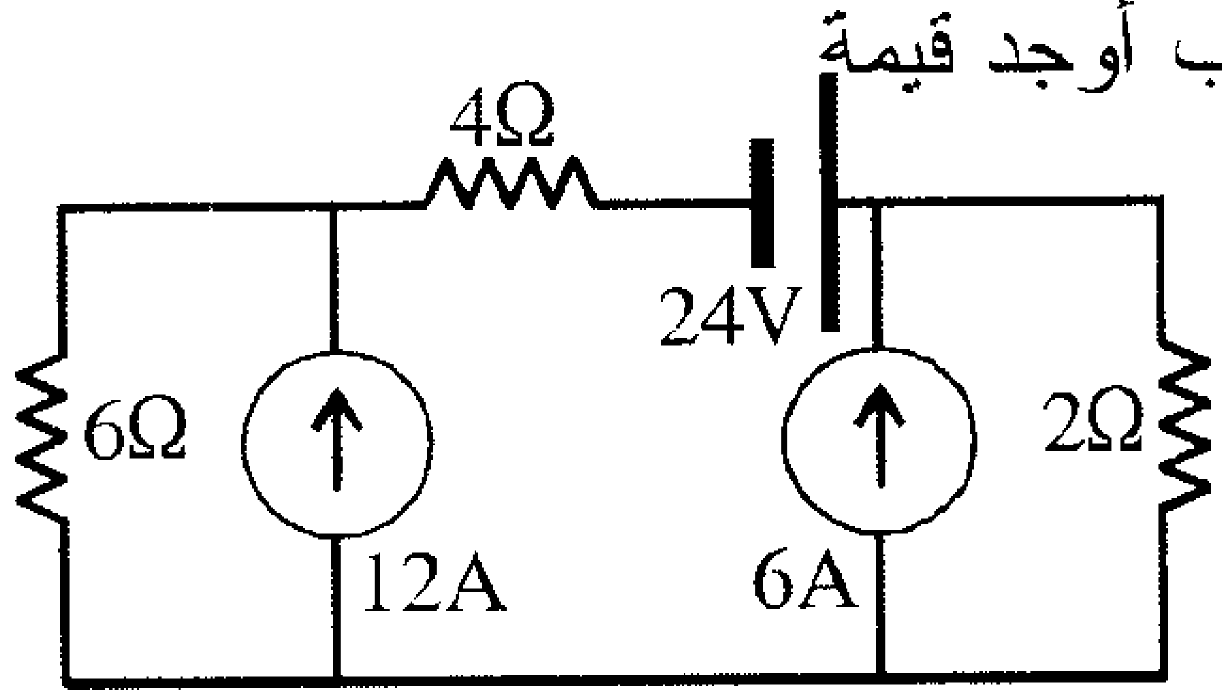
نتحصل بالتالي على التيار الكلي المار في المقاومة (2Ω)

$$I_1 = I_1^{''} + I_1^{'''} - I_1^{'}$$

$$= 1A + 2A - 2A = 1A$$



مثال6.6 باستخدام نظرية التراكيب أوجد قيمة واتجاه التيار المار في المقاومة (6Ω).



الحــل:

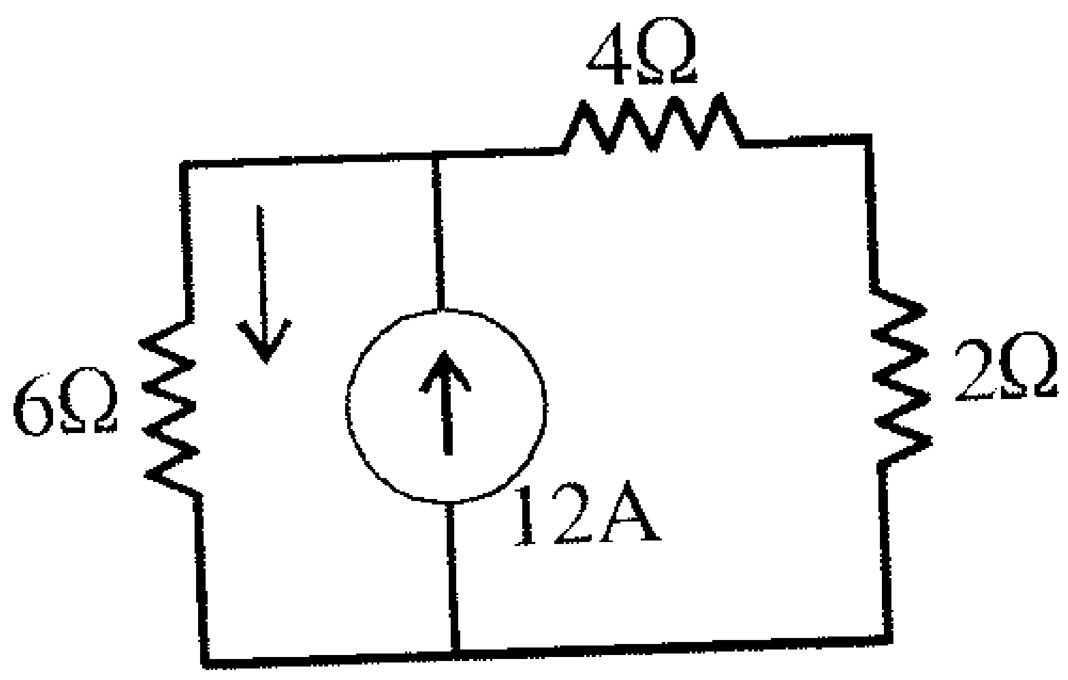
1- تأثير المصدر ($24V$) :

$$R_T = 12\Omega$$

$$I = 24V / 12\Omega = 2A$$

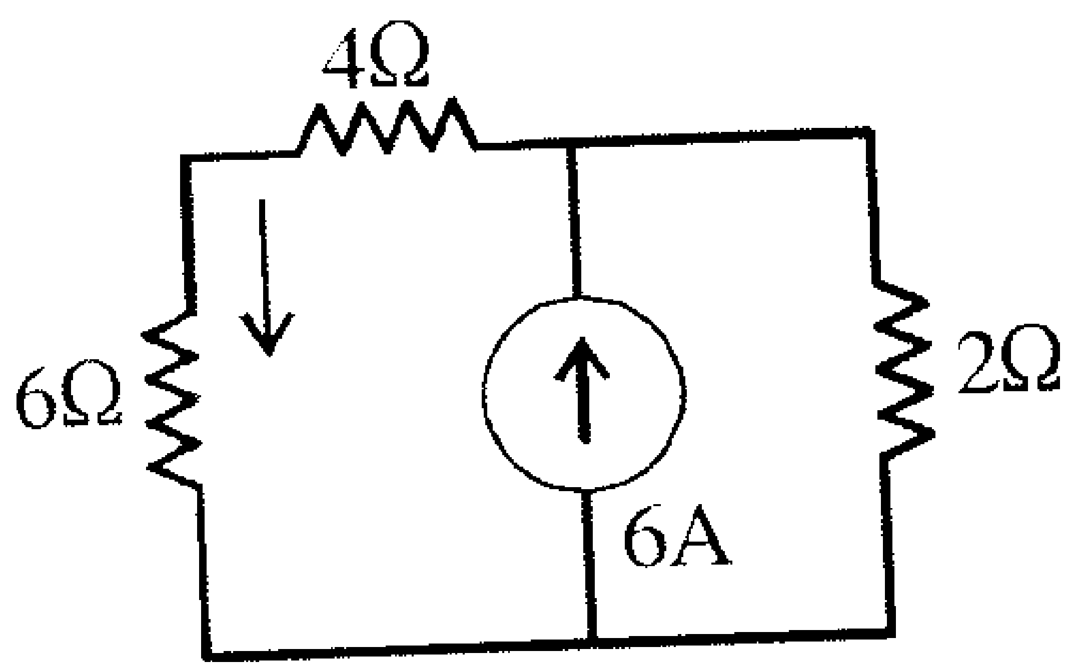
$$I_{6\Omega}^{`} = I = 2A \uparrow$$

2- تأثير المصدر ($12A$) :



$$I_{6\Omega}^{``} = 12A / 2 = 6A \downarrow$$

3- تأثير المصدر ($6A$) :



$$I_{6\Omega}^{```} = \frac{(6A)(2\Omega)}{12\Omega} = \frac{12}{12\Omega} = 1A \downarrow$$

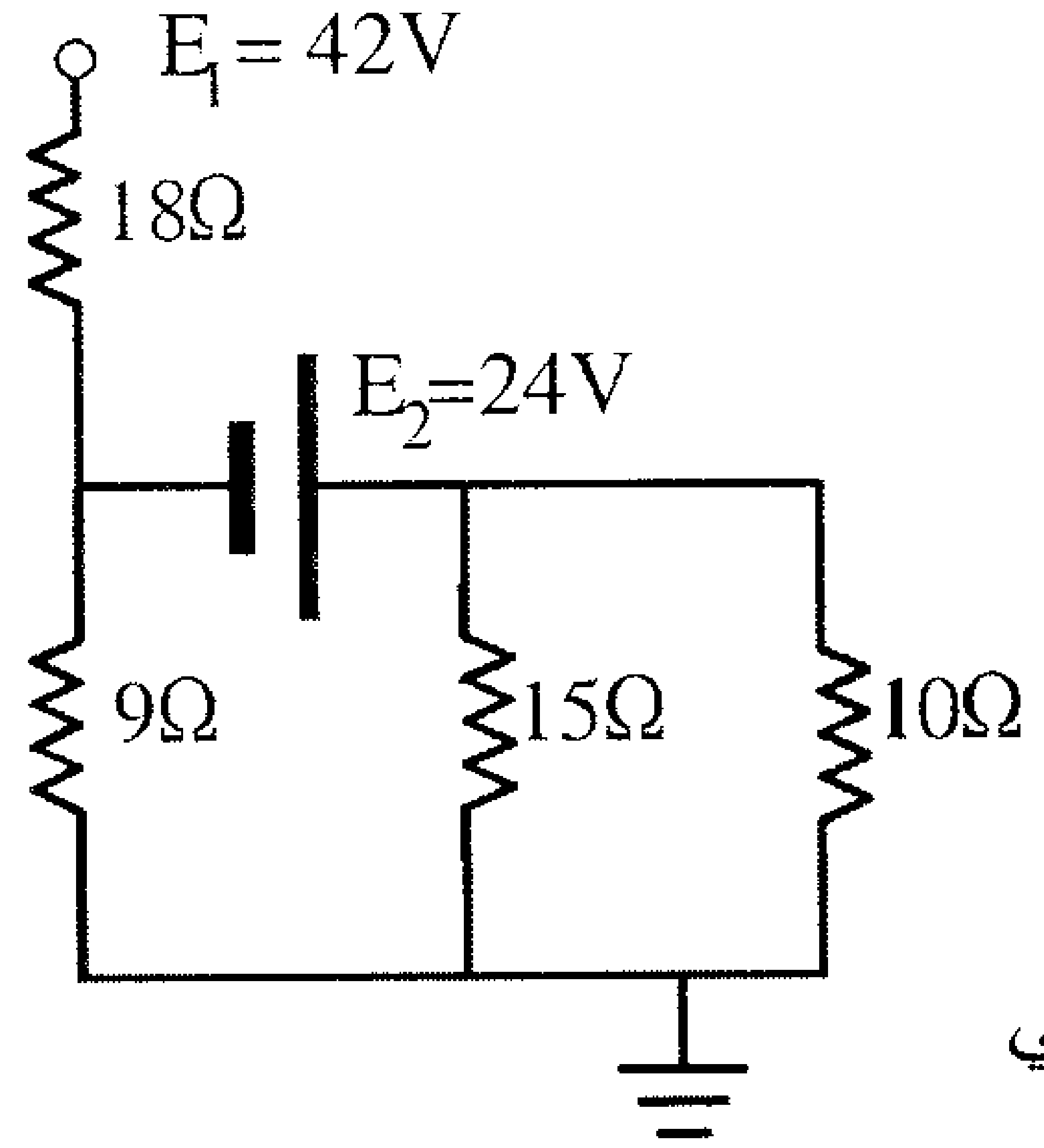
إذاً التيار الكلي المار في (6Ω)

$$I_{6\Omega} = I_{6\Omega}^{``} + I_{6\Omega}^{```} - I_{6\Omega}^{`}$$

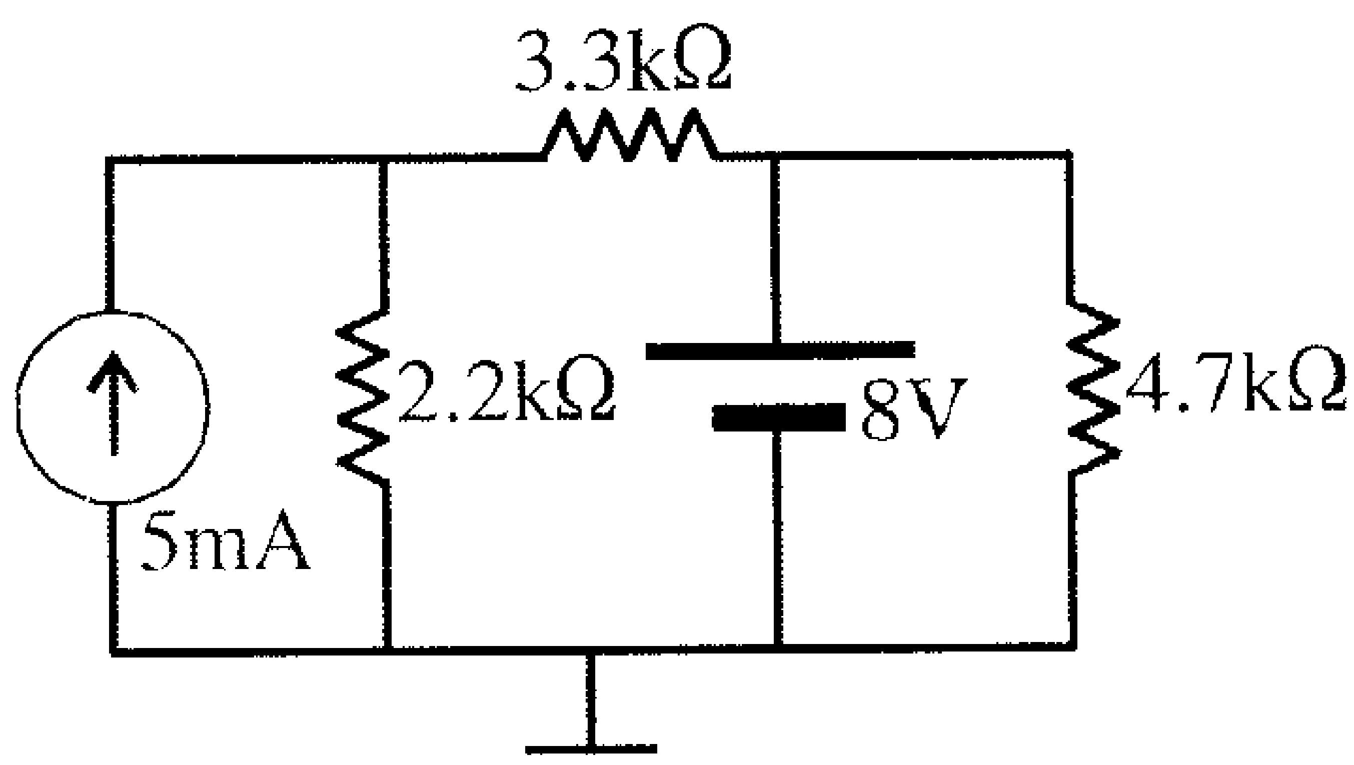
$$I_{6\Omega} = 6A + 1A - 2A = 5A$$

4.6 مسائل على نظرية التراكيب

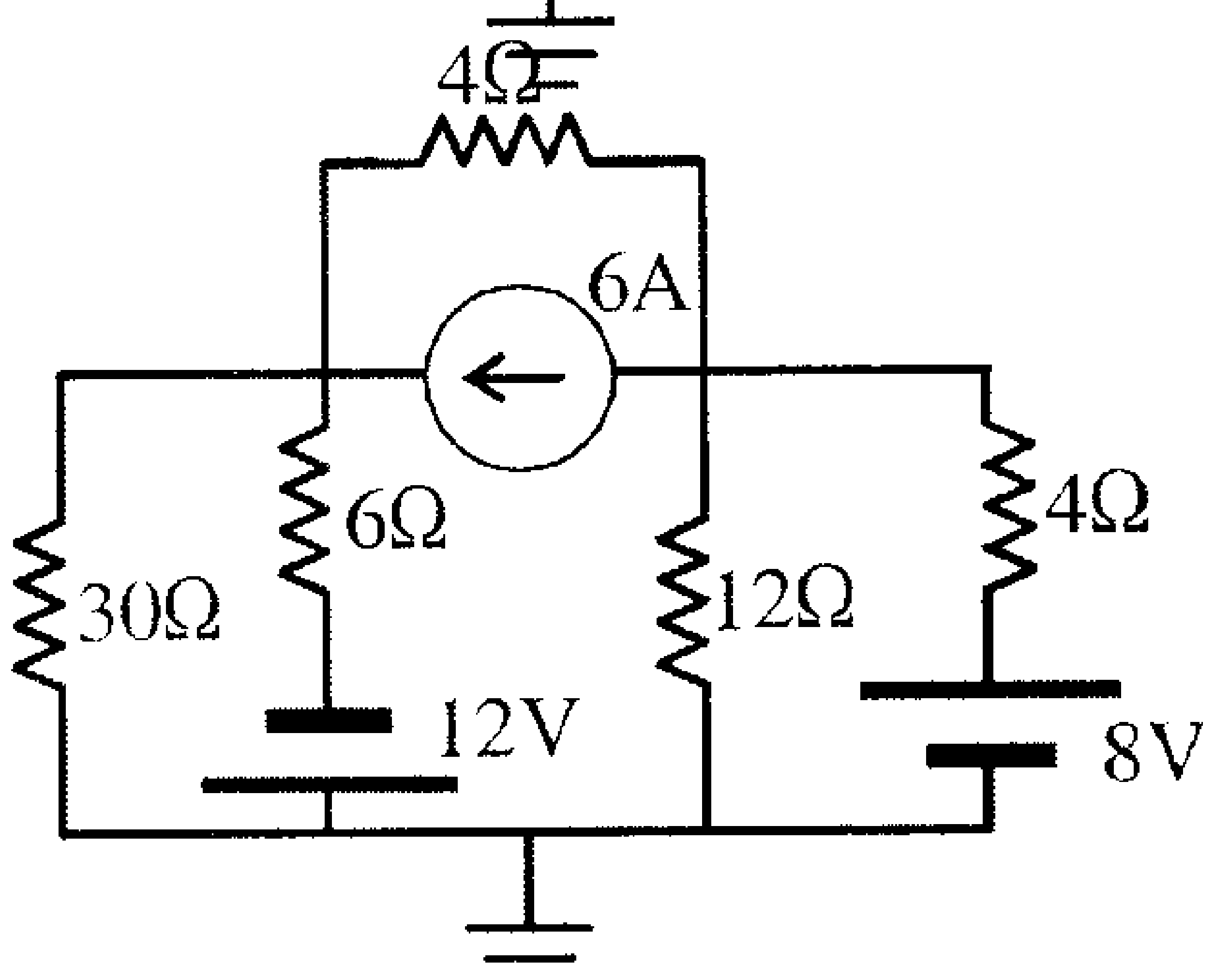
(1) باستخدام نظرية التراكيب أوجد قيمة واتجاه التيار المار في المقاومة (10Ω).



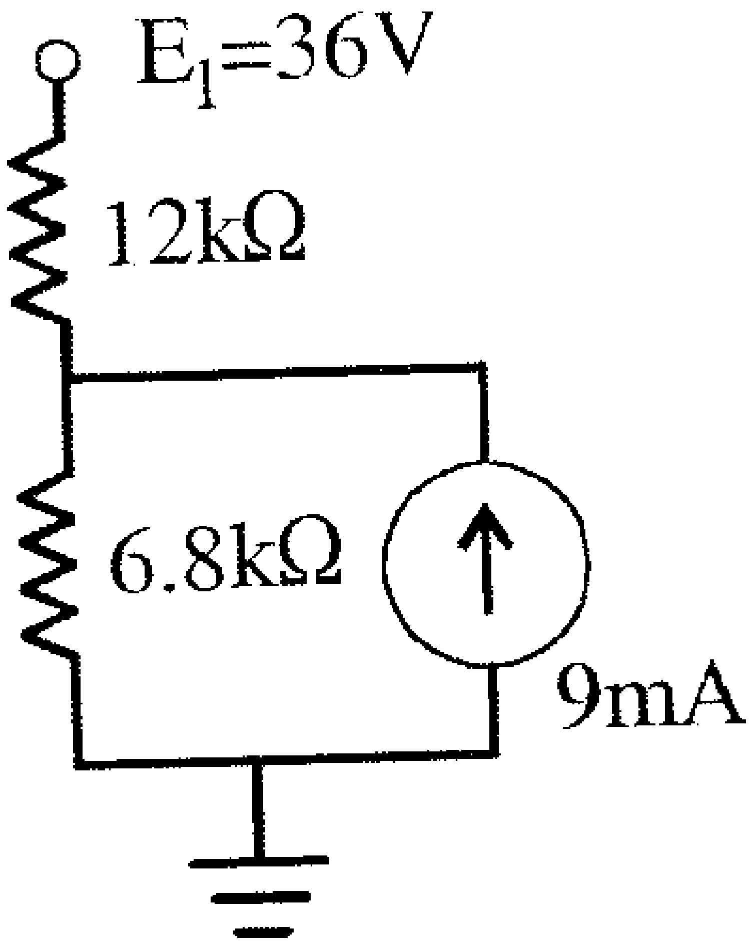
(2) باستخدام نظرية التراكيب أوجد قيمة التيار المار في المقاومة(2.2kΩ) .



(3) باستخدام نظرية التراكيب أوجد قيمة التيار I المار في المقاومة(6Ω) .



(4) باستخدام نظرية التراكيب أوجد قيمة الجهد على المقاومة(6.8kΩ) .

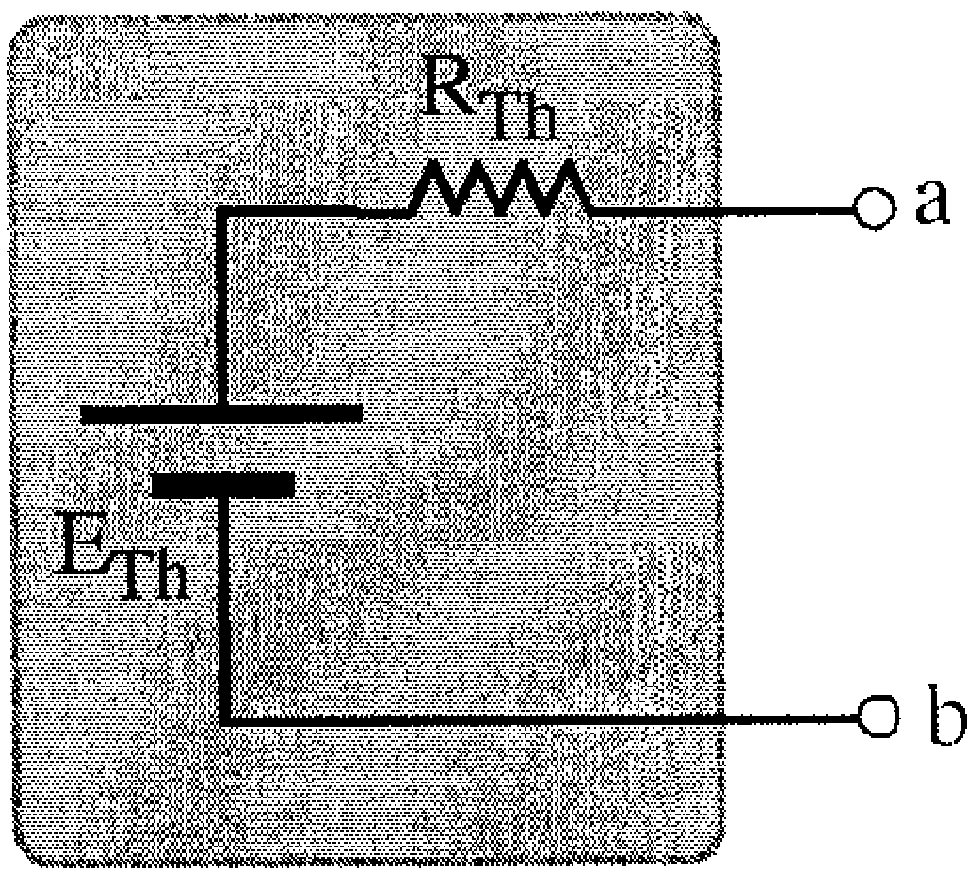


3.6 نظرية ثيفنين Thevenin`s Theorem

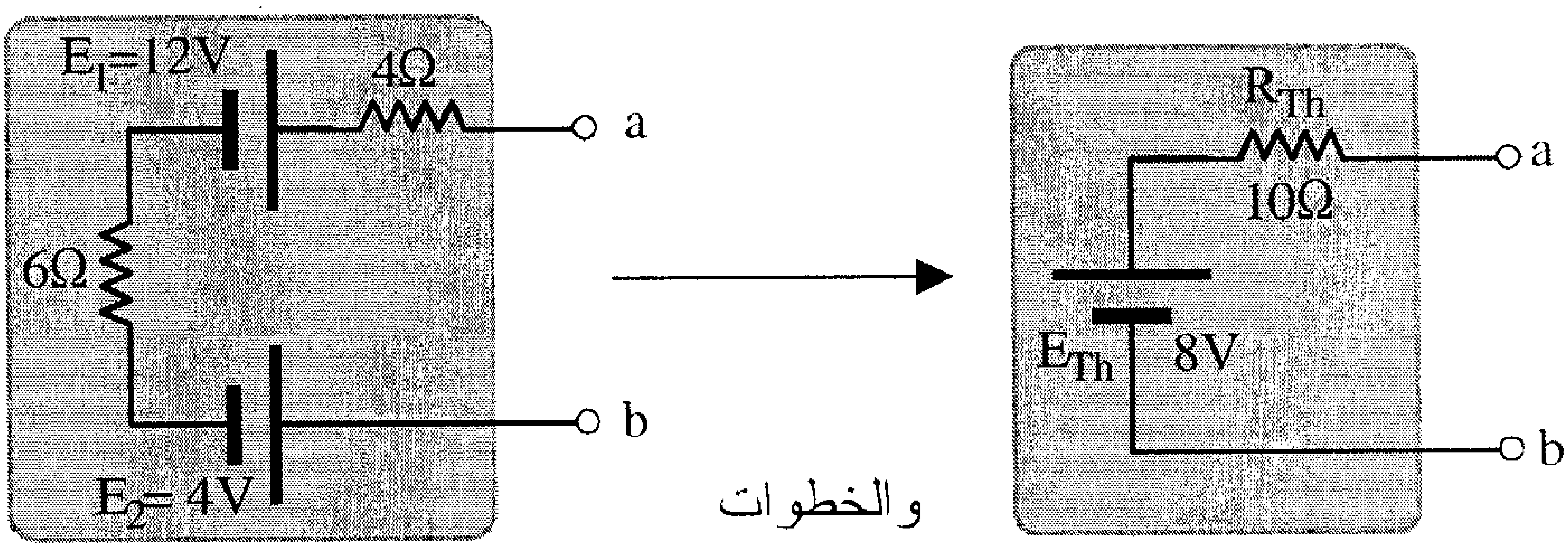
نظرية ثيفنين هي نظرية لتحليل الدوائر الكهربائية .

فدائرة ثيفنين هي دائرة تحتوي على مقاومة تسمى مقاومة ثيفنين (R_{Th}) ومصدر جهد ثيفنين (E_{Th}) ،أي أن أي دائرة كهربائية ذات تيار مستمر يمكن استبدالها بدائرة ثيفنين وهي عبارة عن حاوية لها مخرجين (a) و (b) كما بالشكل:

المقاومة (R_{Th}) موصلة على التوالي مع المصدر (E_{Th}) .



والشكل التالي يوضح كيفية اختزال دائرة كهربائية لتصبح دائرة ثيفنين



والخطوات التالية توضح طريقة حل دوائر كهربائية للوصول إلى دائرة ثيفنين:

1- اقطع الجزء من الدائرة المراد تحديد مكافئ ثيفنين له.

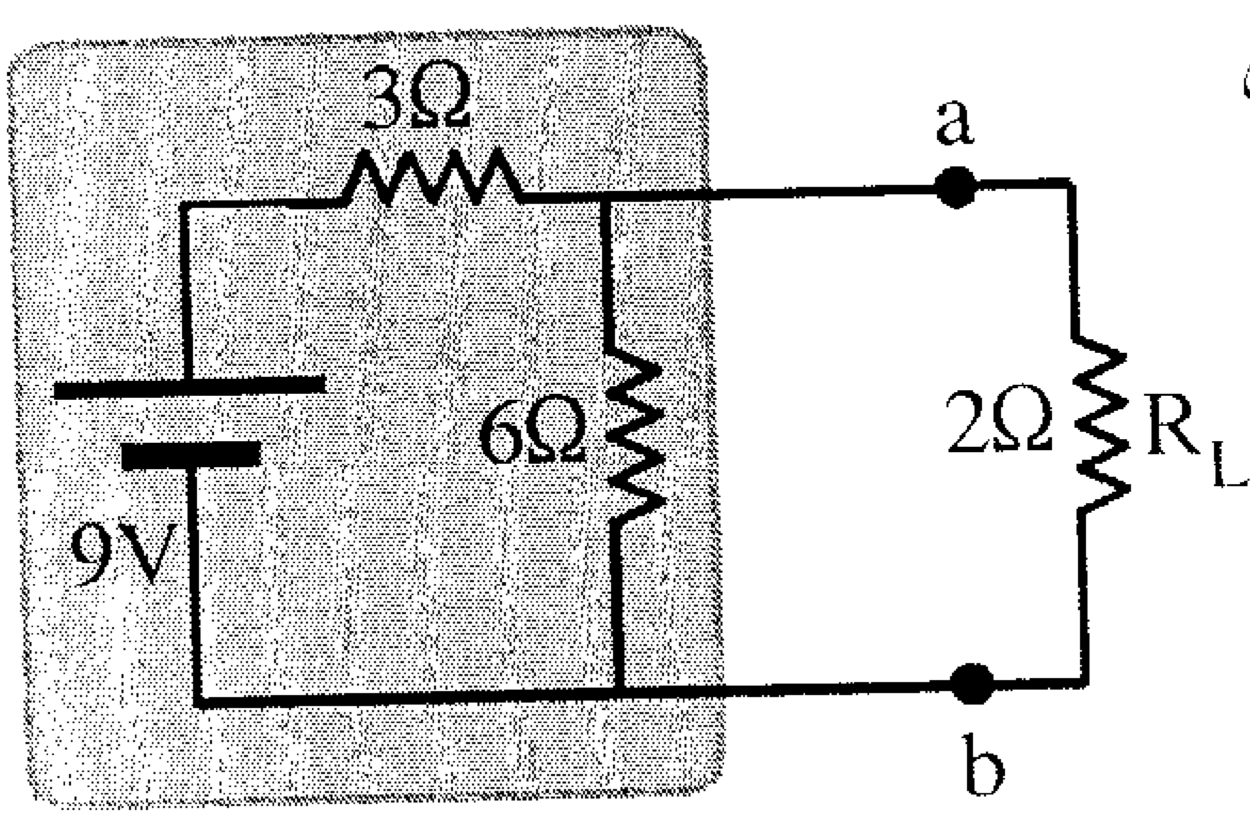
2- حدد المخرجين a و b للدائرة.

3- أوجد قيمة R_{Th} وذلك باستبدال جميع المصادر في الدائرة ،حيث يستبدل مصدر الجهد بدائرة مغلقة (Short Circuit) ومصدر التيار بدائرة مفتوحة (Open circuit) وبالتالي يمكن حساب المقاومة (R_{Th}) ما بين النقطتين a و b .

4- احسب الجهد (E_{Th}) وذلك بإرجاع جميع المصادر إلى حالتها الأصلية ومن ثم يمكن إيجاد فرق الجهد ما بين النقطتين a و b وهو ما يسمى (E_{Th}) .
وفي حالة وجود اكثر من مصدر جهد أو تيار بالدائرة نستخدم طريقة التراكيب لإيجاد (E_{Th}) الكلية.

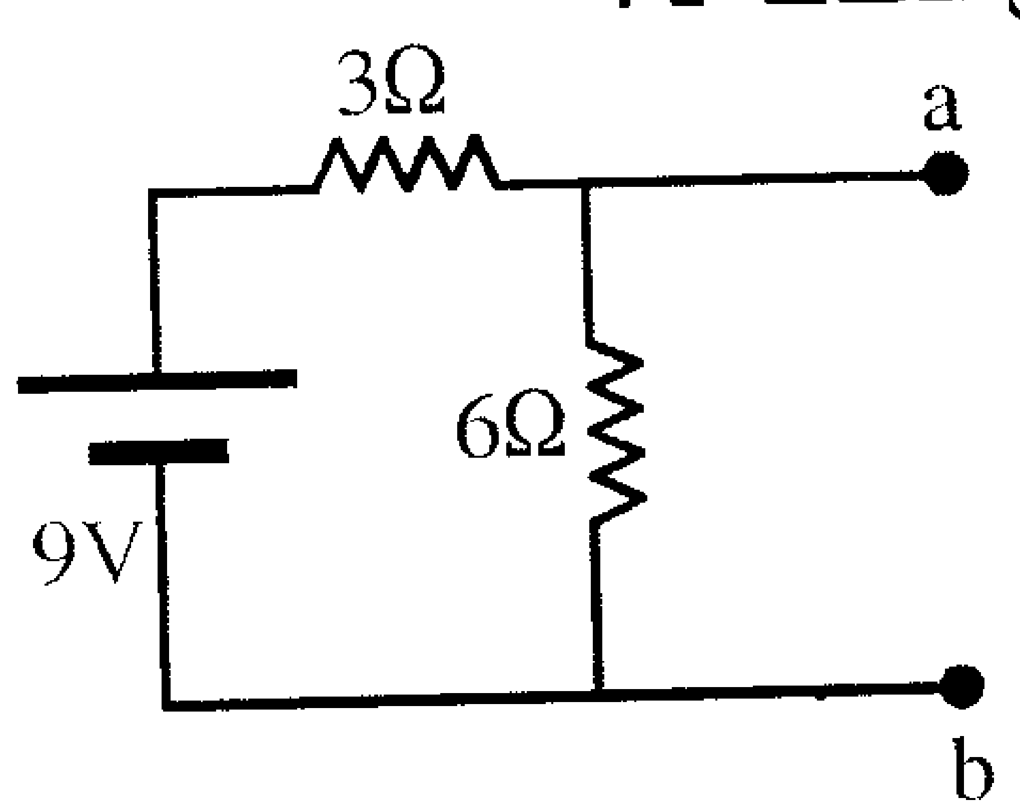
5- نرسم دائرة ثيفنين المكافئة مع إرجاع الجزء المحذوف من الدائرة الأصلية.

مثال7.6 أوجد دائرة ثيفنين المكافئة للجزء المظلل من الدائرة بالشكل ثم احسب التيار المار خلال المقاومة (2Ω) .

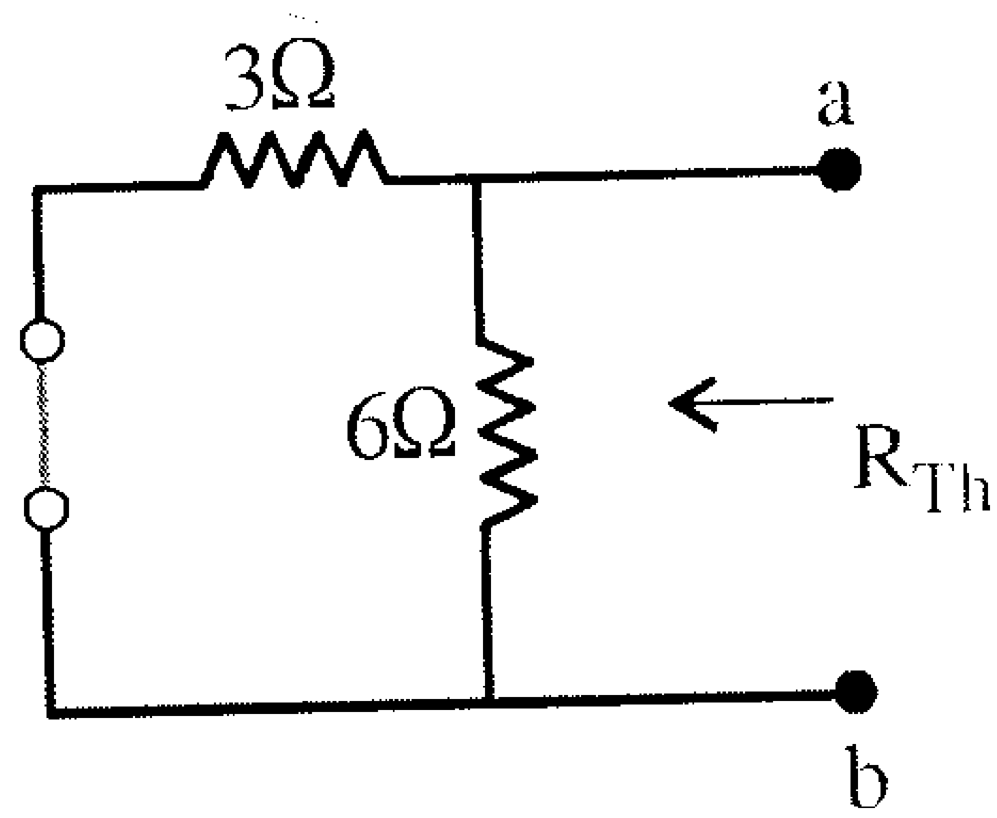


الحـــل:

قطع الجزء المراد إيجاد دائرة ثيفنن المكافئة له.

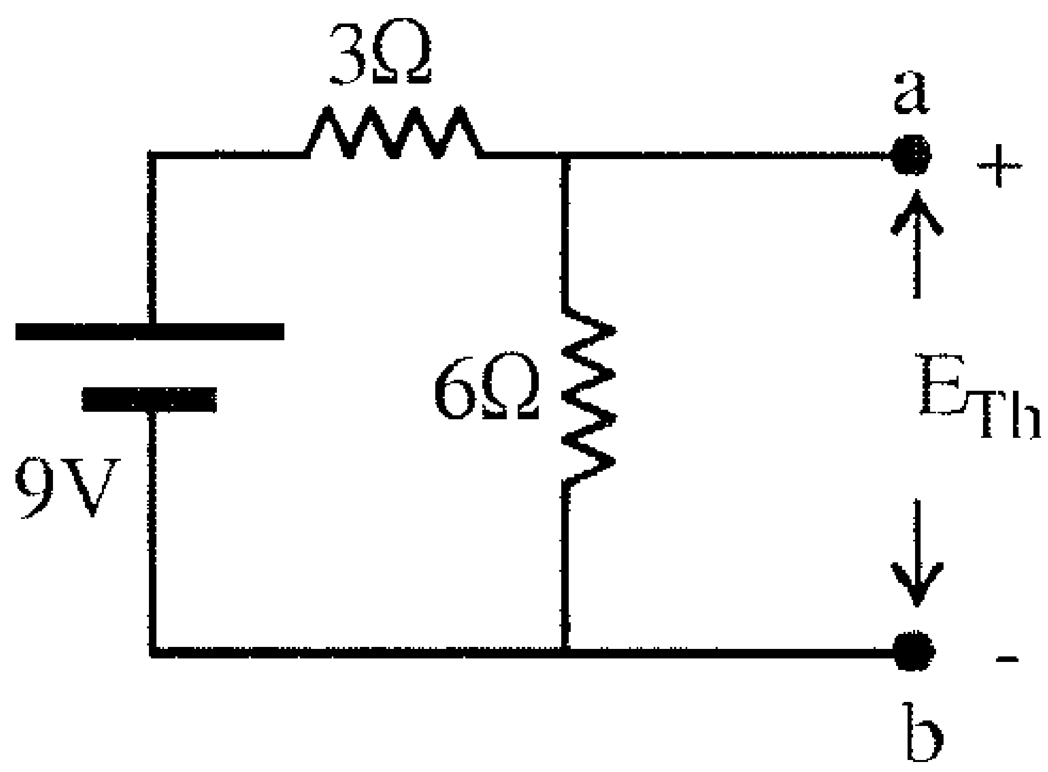


حذف مصدر الجهد لإيجاد R_{Th}



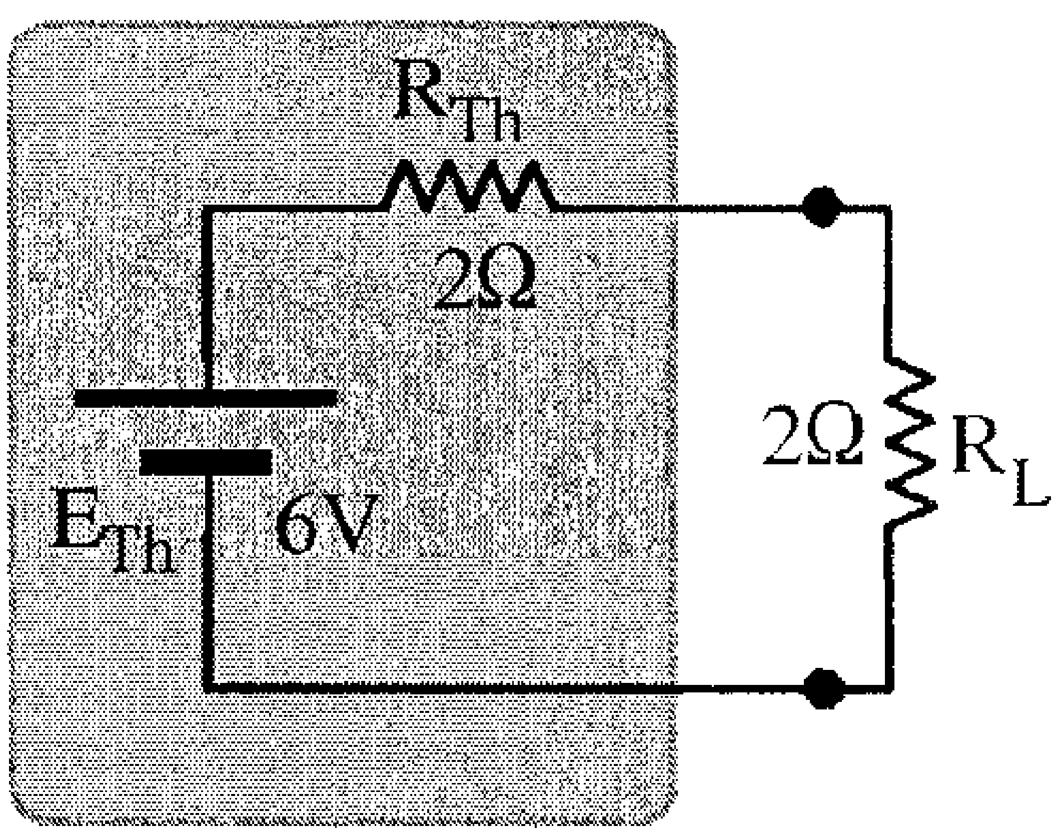
$$R_{Th}=\frac{3\times6}{3+6}=\frac{18}{9}=2\Omega$$

إرجاع مصدر الجهد لإيجاد (E_{Th}) ما بين النقطتين a و b باستخدام قانون مجزيْ الجهد وباعتبار أن (E_{Th}) تساوي الجهد على المقاومة(6Ω) بالتوازي



$$E_{Th} = \frac{9V \times 6\Omega}{3\Omega + 6\Omega} = \frac{54}{9\Omega} = 6V$$

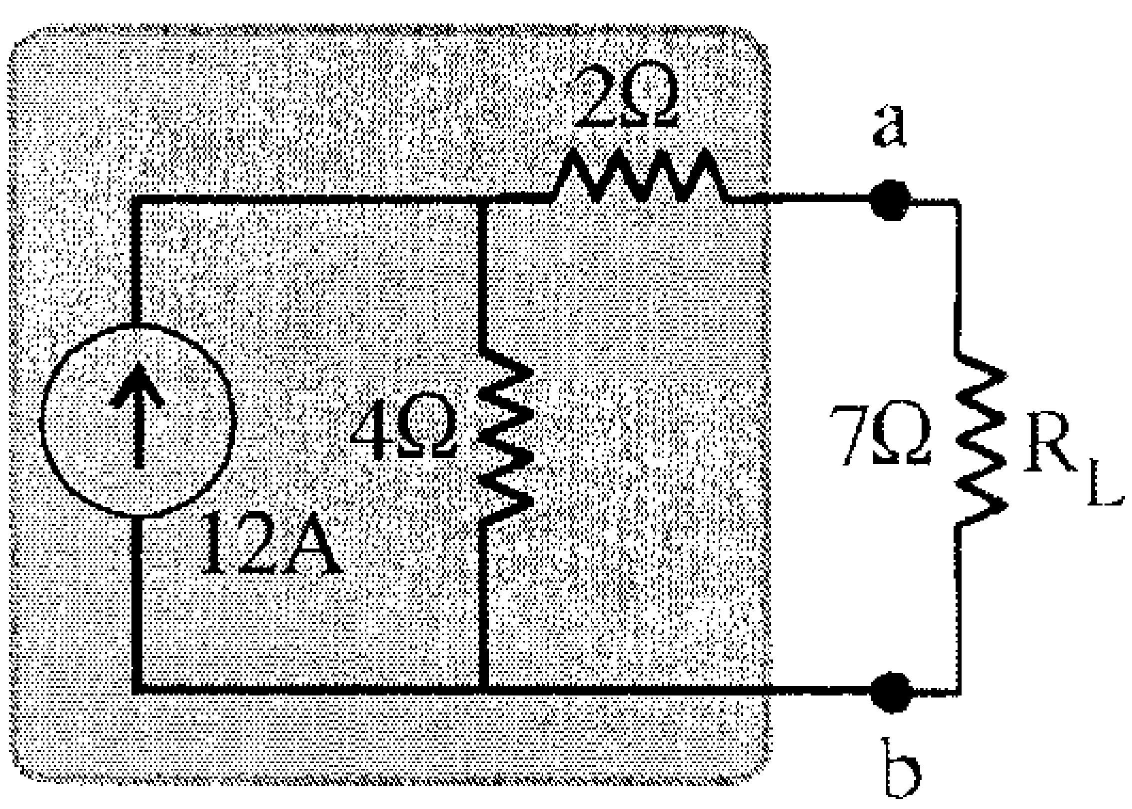
بعد إيجاد R_{Th} , E_{Th} يتم إرجاع الدائرة إلى حالتها الأصلية وربط الجزء المقطوع منها كما في الشكل التالي:



ولإيجاد التيار المار في المقاومة R_L

$$I_L = \frac{6V}{2\Omega + 2\Omega} = \frac{6V}{4} = 1.5A$$

مثال 8.6 أوجد دائرة ثيفنين المكافئة للجزء المظلل من الدائرة بالشكل.

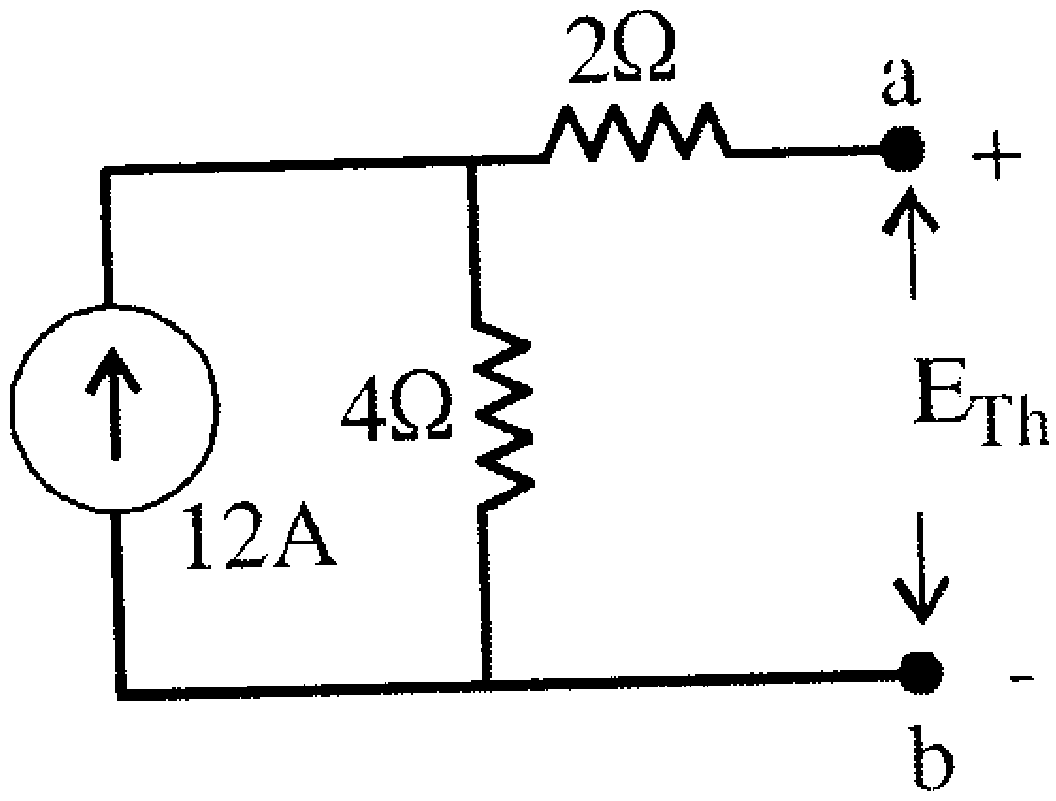


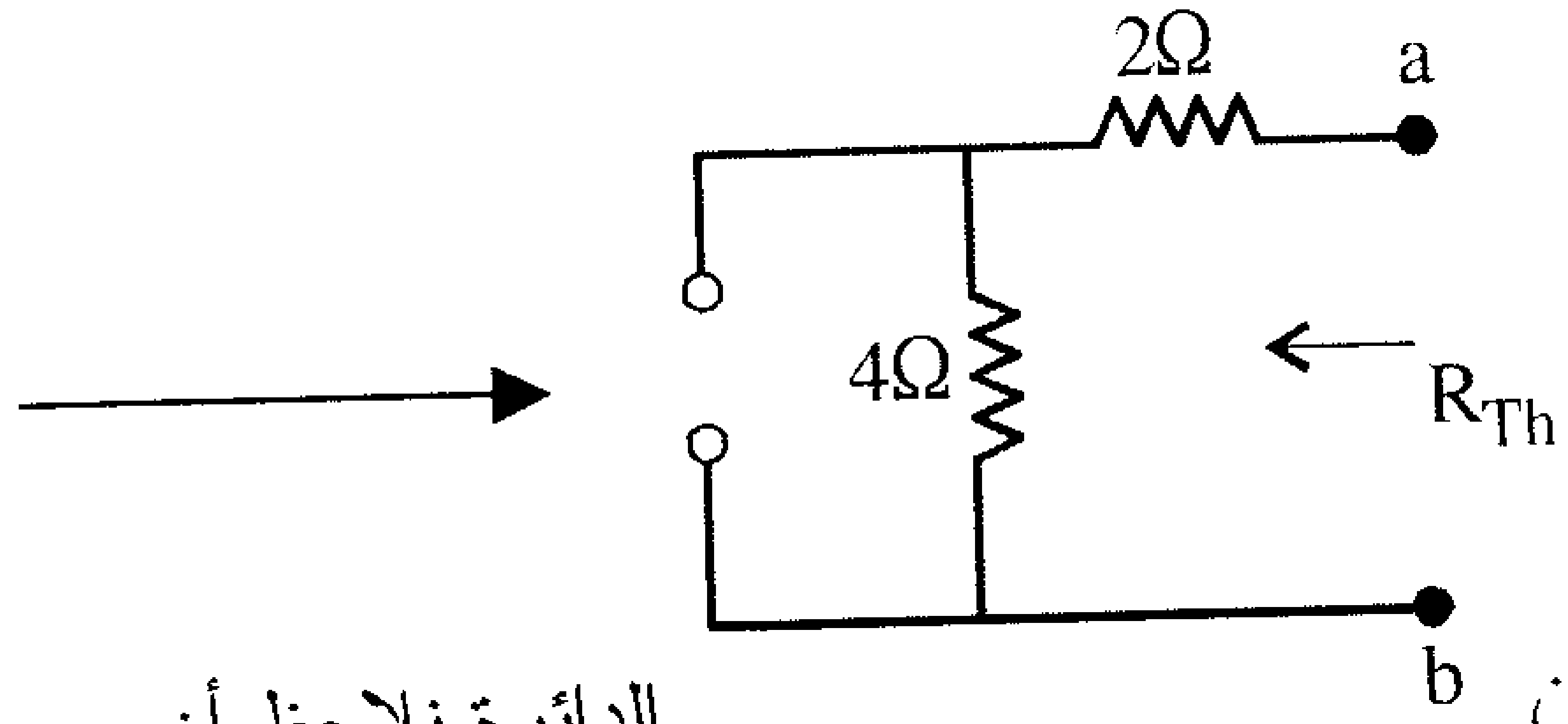
الحـــل:

1- لإيجاد R_{Th} نحذف مصدر التيار

$$\therefore\ R_{Th} = 4\Omega + 2\Omega = 6\Omega$$

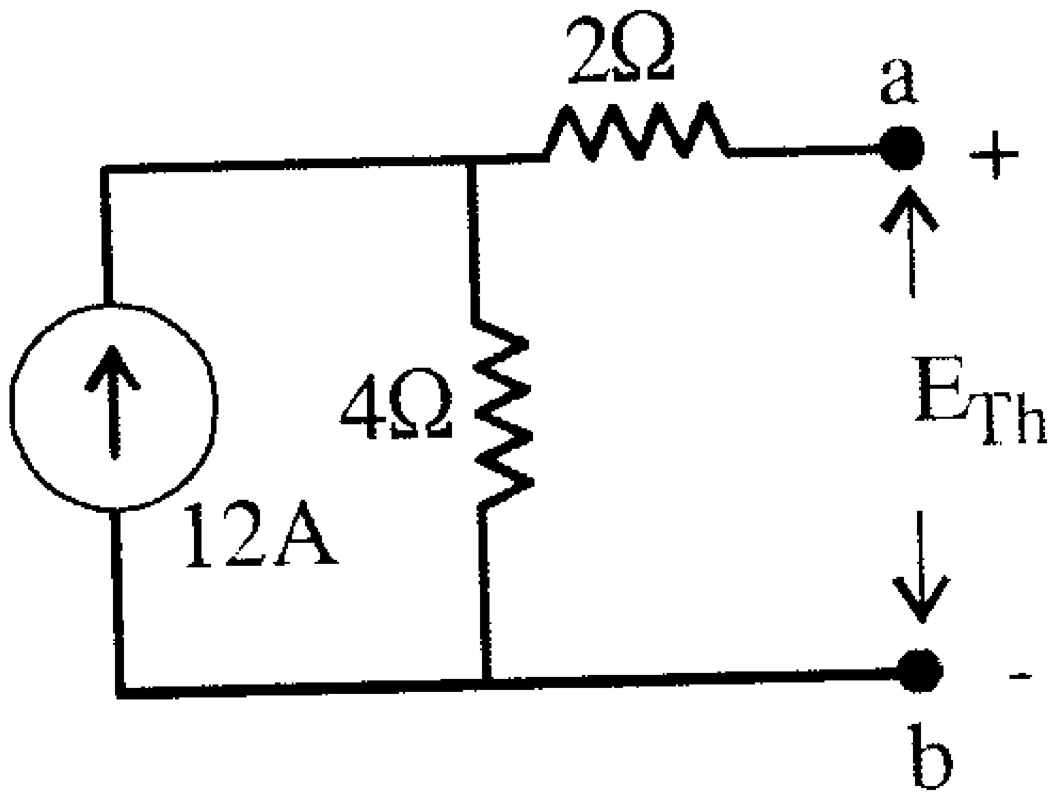
2- لإيجاد E_{Th} نرجع مصدر التيار كما في الشكل التالي:





من الدائرة نلاحظ أن المقاومة (2Ω) موجودة في دائرة مفتوحة لذلك فإن التيار المار بها يساوي صفراً أيضاً

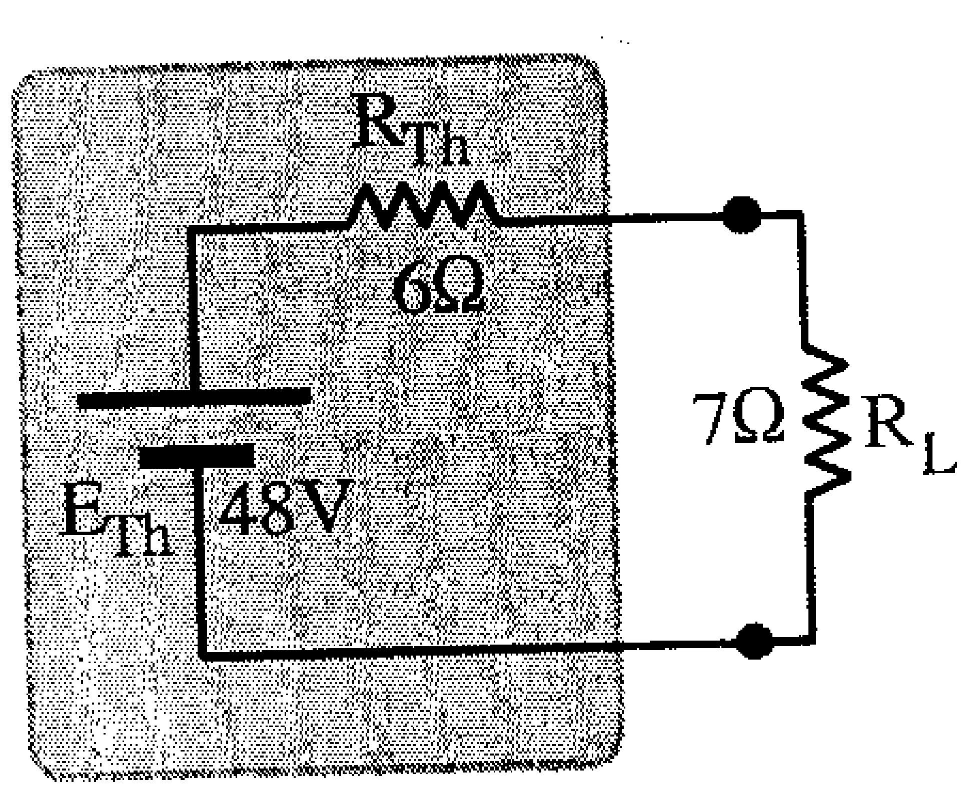
$E_{Th} = V_{4\Omega}$ بالتوازي



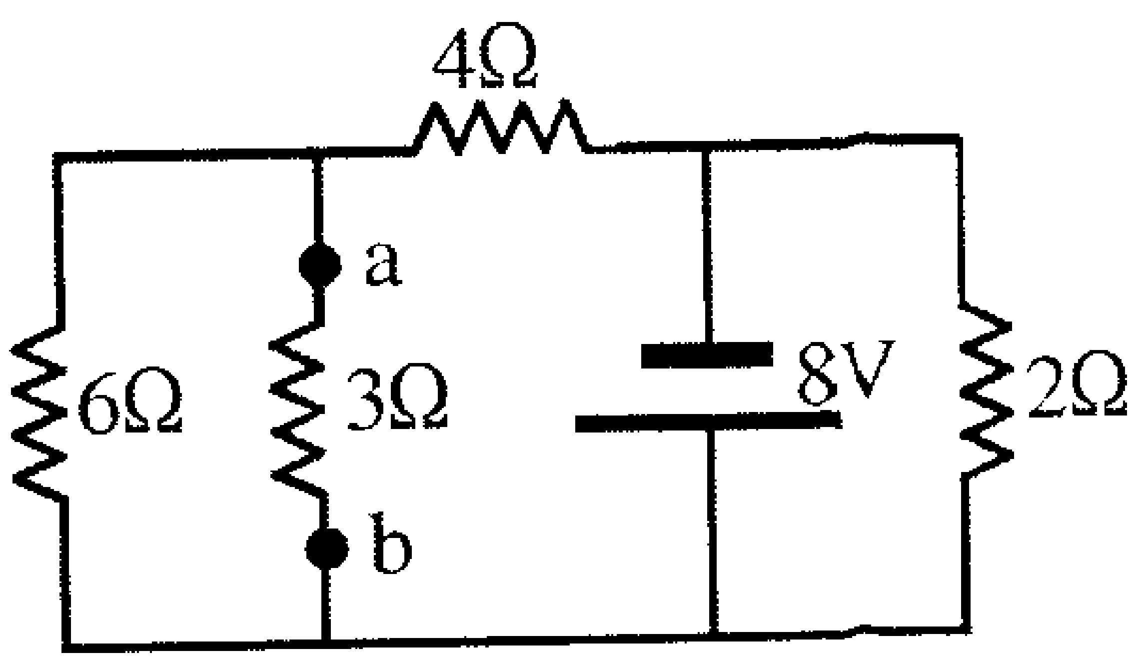
وتيار المصدر يمر خلال المقاومة (4Ω) فقط ومنها يمكن حساب جهد المقاومة(4Ω)

$$V_{4\Omega} = (12A)\,(4\Omega) = 48V$$

$$E_{Th} = 48V$$

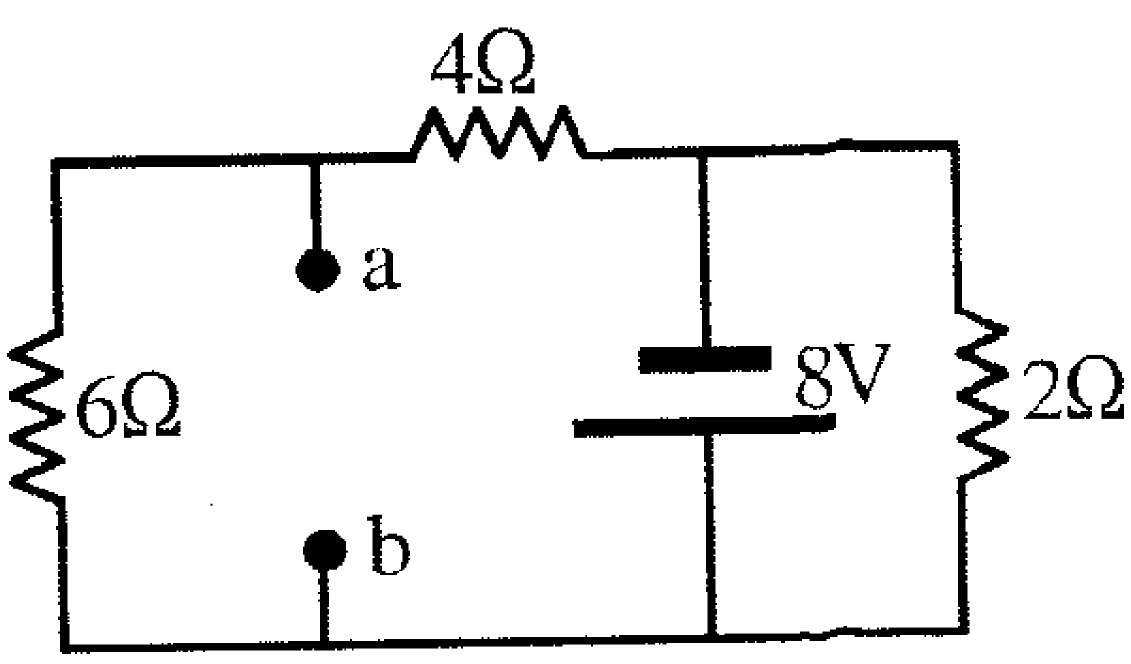


مثال 9.6 أوجد دائرة ثفينين المكافئة للدائرة خارج النقطتين a و b .



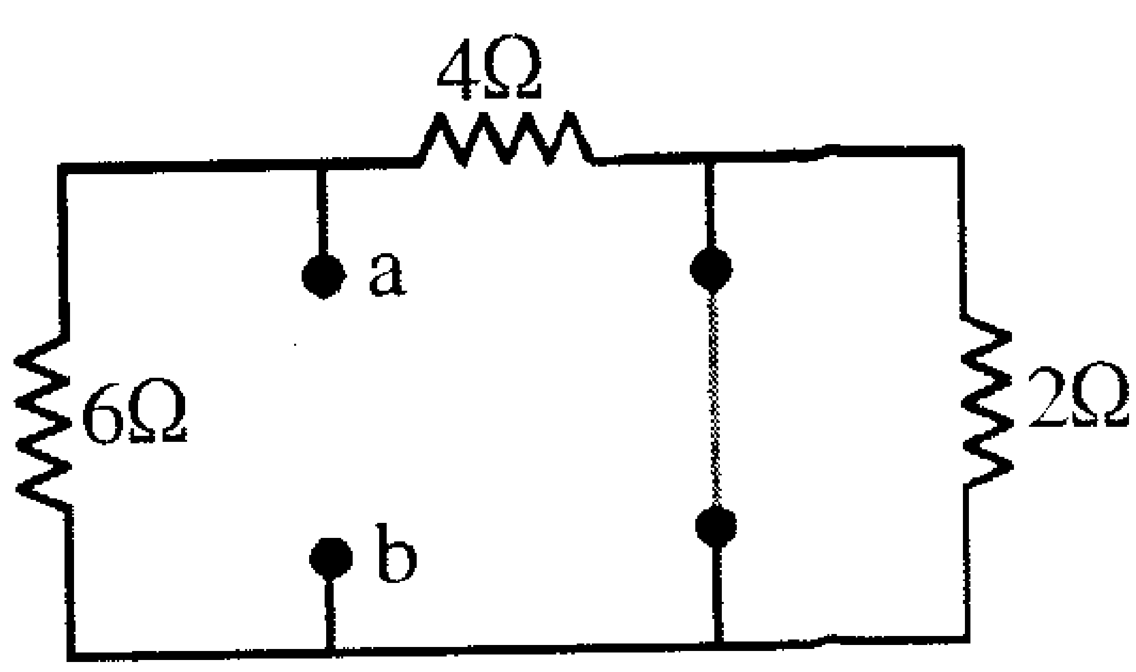
الحــل:

خارج النقطتين a و b تعني أن المقاومة (3Ω) تحذف من الدائرة:



1- إيجاد R_{Th}

هنا قد نجد صعوبة في إيجاد R_{Th} وهي تحديد وضعية ربط المقاومة على التوالي أو التوازي،فالطريقة السليمة هي أن نتصور أن تياراً يمر بالدائرة ليدخل من النقطة a ويمر عبر الدائرة ليخرج من النقطة b .



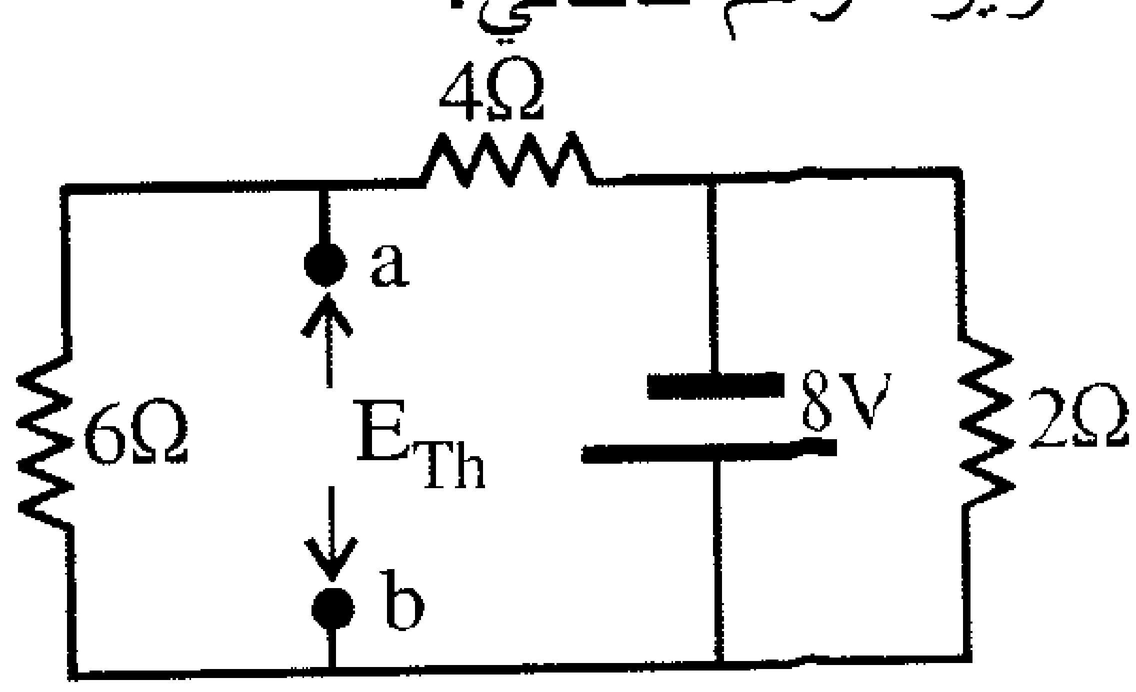
ومن هنا نلاحظ أن المقاومتين (4Ω) و (6Ω) موصلتان على التوازي لأن التيار يمر عبر (a) ليتجزأ بين المقاومتين.

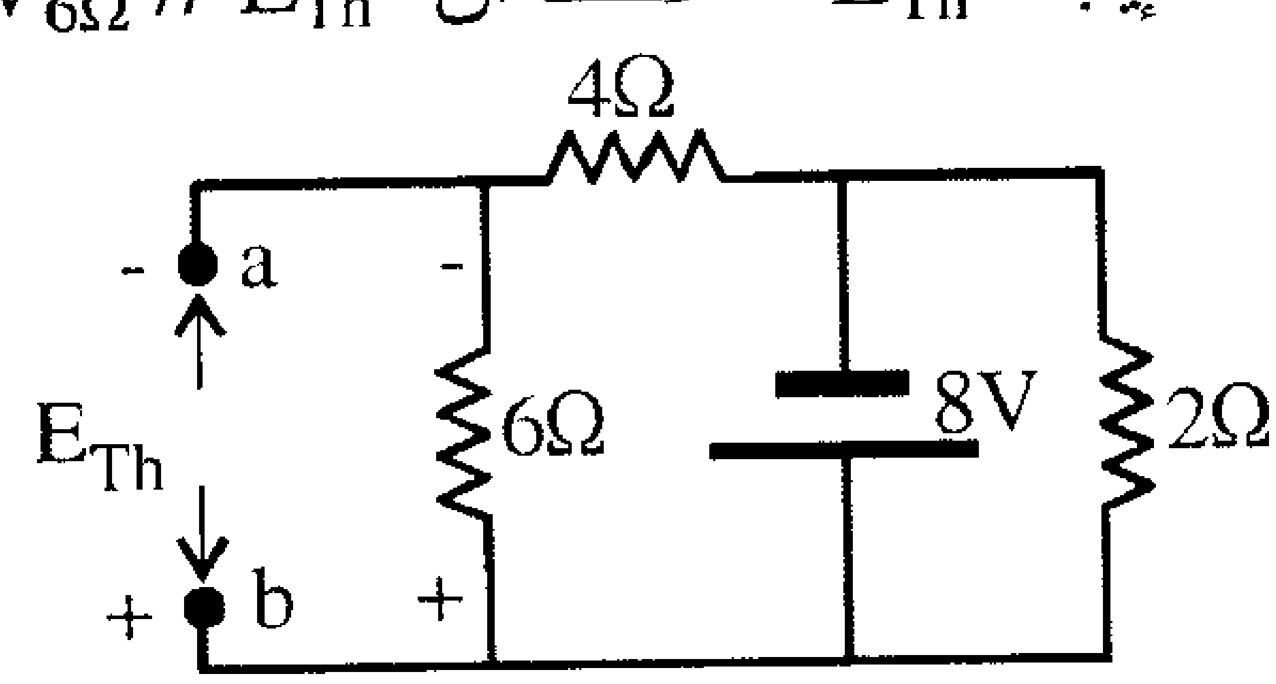
أما المقاومة (2Ω) فهي ملغاة لوجود دائرة مغلقة (Short Circuit)

$$\therefore\ R_{Th} = 4\Omega\ //\ 6\Omega$$

$$= \frac{4\times6}{4+6} = \frac{24}{10} = 2.4\Omega$$

2- إيجاد E_{Th} ، نلاحظ آن $E_{Th}\ //\ V_{6\Omega}$ لذلك يمكن تحوير الرسم كالتالي:



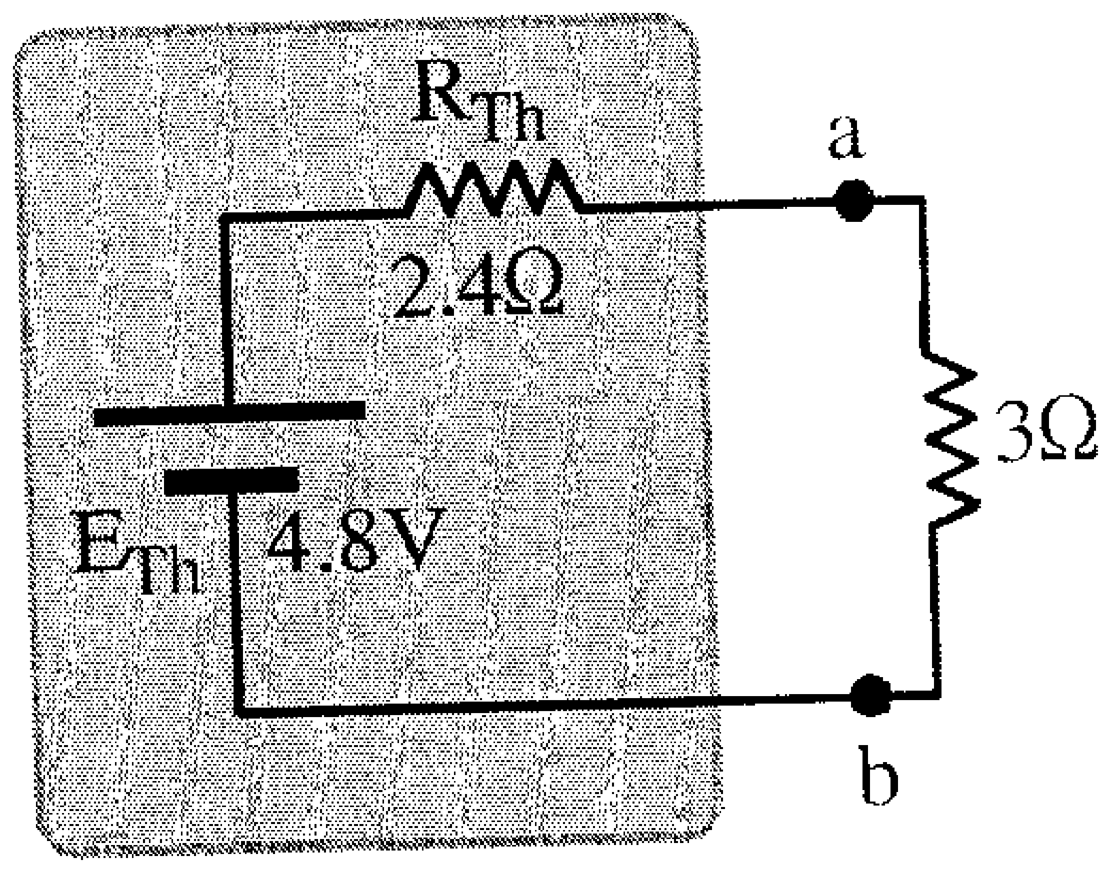


وباستخدام

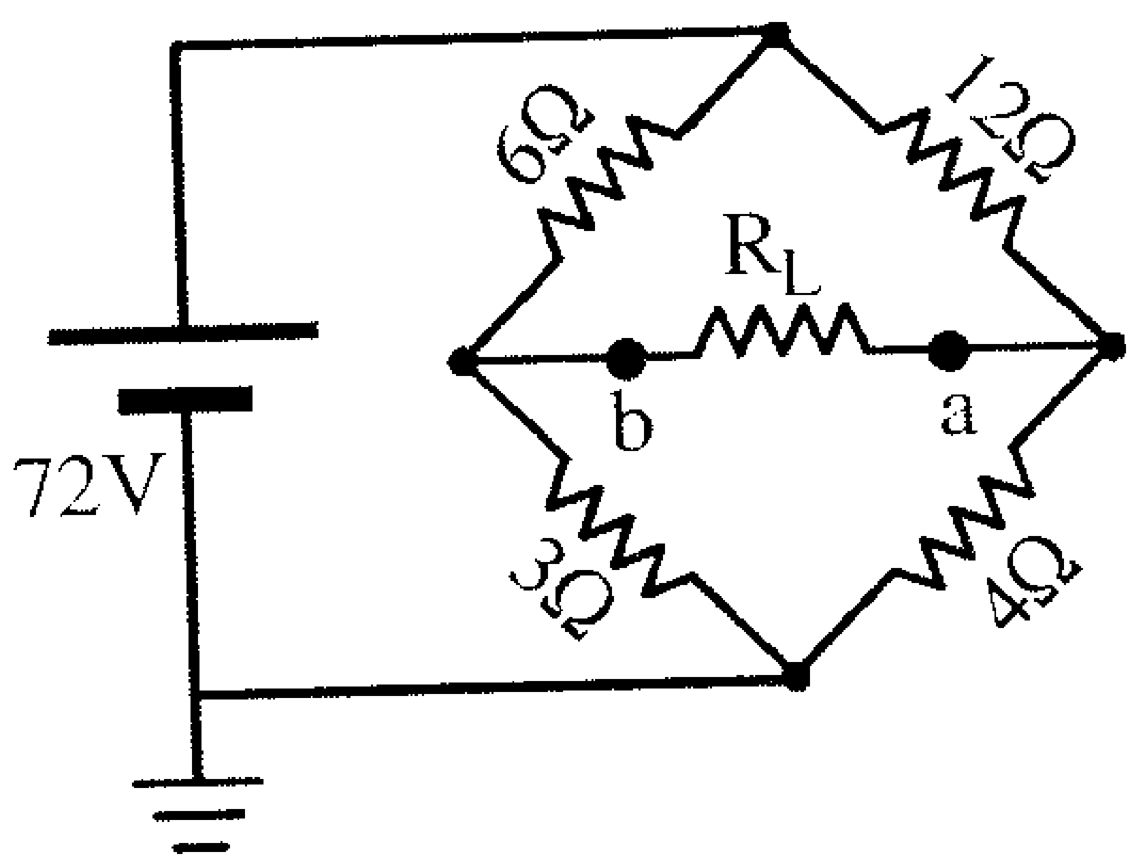
قانون مجزئ الجهد

$$E_{Th} = \frac{(8V)\ (6\Omega)}{6\Omega + 4\Omega} = \frac{48}{10} = 4.8V$$

في النهاية نحصل على دائرة ثيفنين المكافئة وربطها بالجزء المحذوف خارج (a و b).



مثال10.6 من الدائرة بالشكل أوجد دائرة ثيفنين المكافئة خارج النقطتين (a و b).



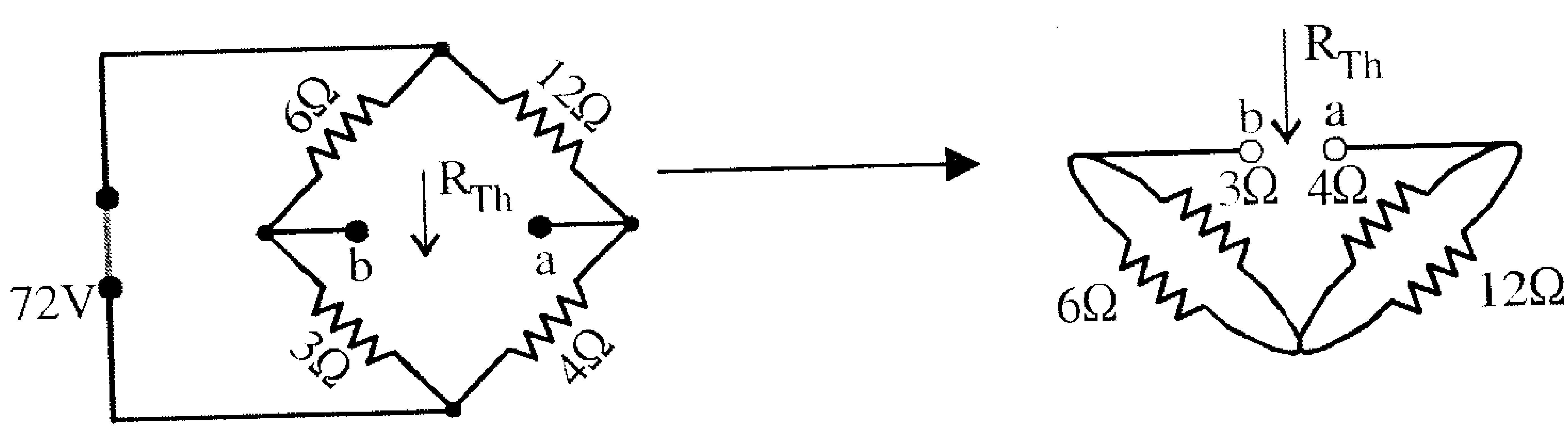
الحـــل:

$$R_{Th} = 6\Omega\ //\ 3\Omega + 4\Omega\ //12\Omega$$

$$R_{Th} = 2\Omega + 3\Omega = 5\Omega$$

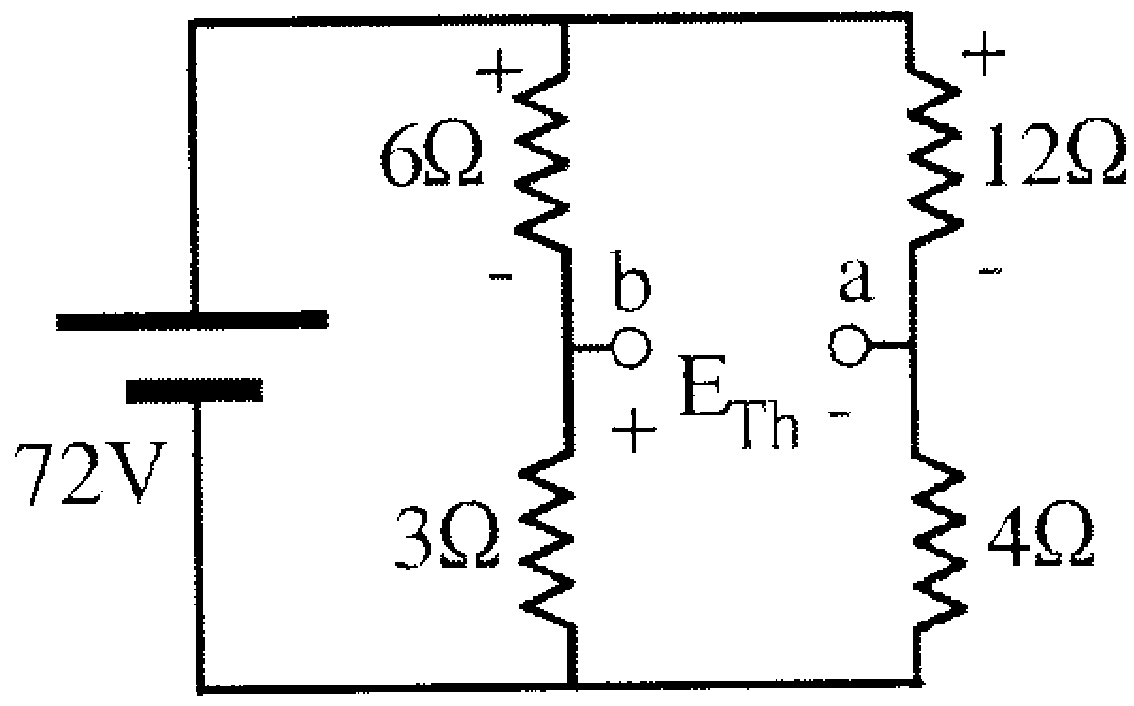
لإيجاد E_{Th} يجب إيجاد الجهدين $V_{6\Omega}$و$V_{12\Omega}$

أولاً: ،وباستخدام قانون مجزئ الجهد



$$V_{6\Omega} = \frac{(6\Omega)(72V)}{6\Omega + 3\Omega} = \frac{432}{9} = 48V$$

$$V_{12\Omega} = \frac{(12\Omega)(72V)}{12\Omega + 4\Omega} = \frac{864}{16} = 54V$$

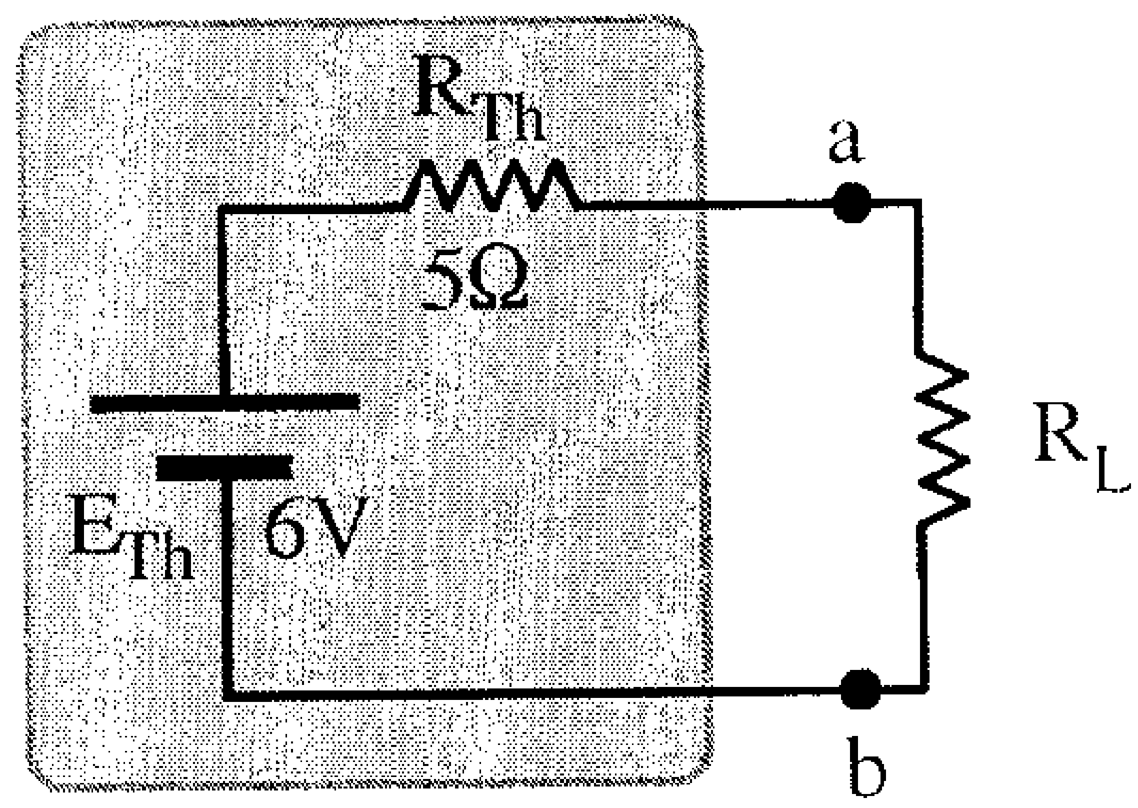


ثم نستخدم (KVL) لإيجاد E_{Th} :

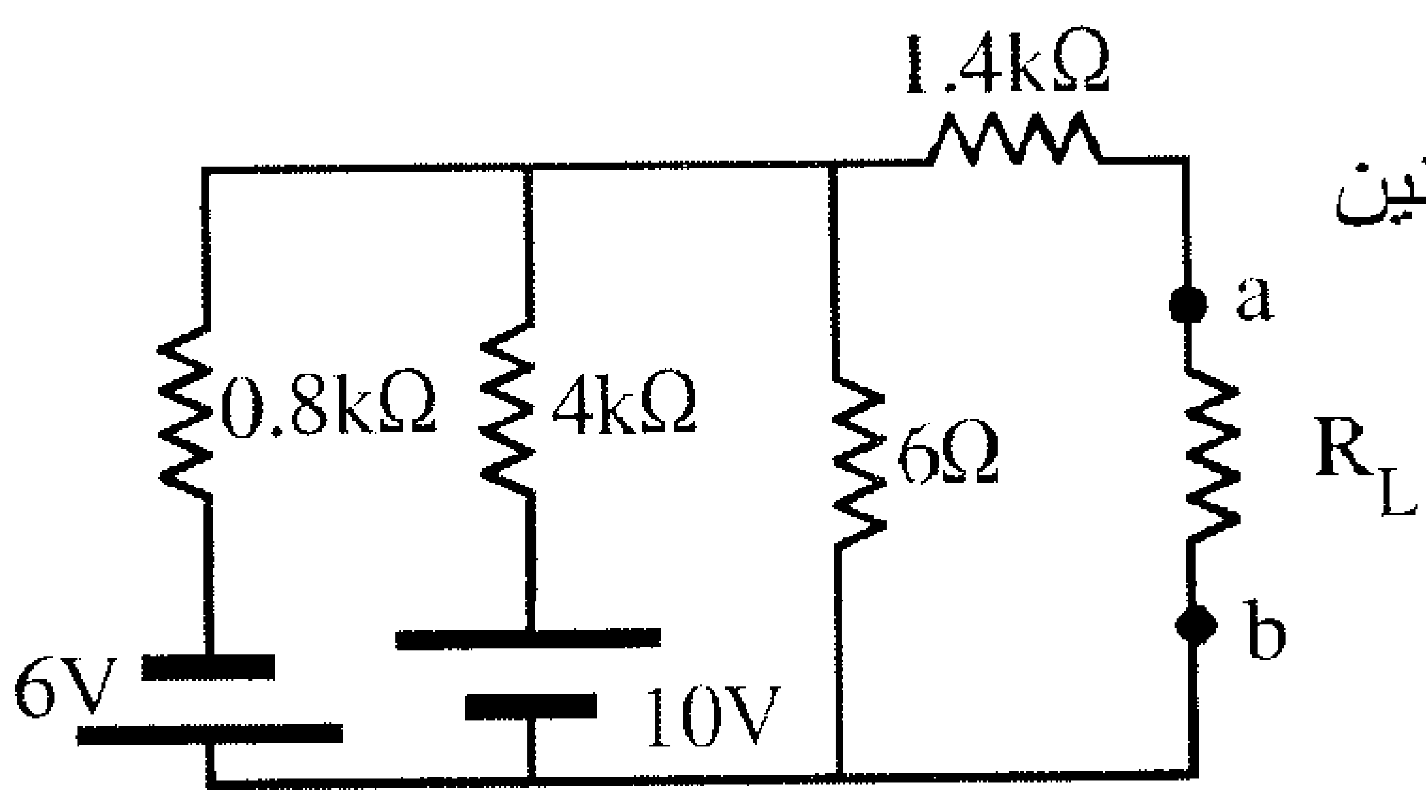
$$V_{6\Omega} - V_{12\Omega} + E_{Th} = 0$$

$$48V - 54V + E_{Th} = 0$$

$$E_{Th} = 54V - 48V = 6V$$



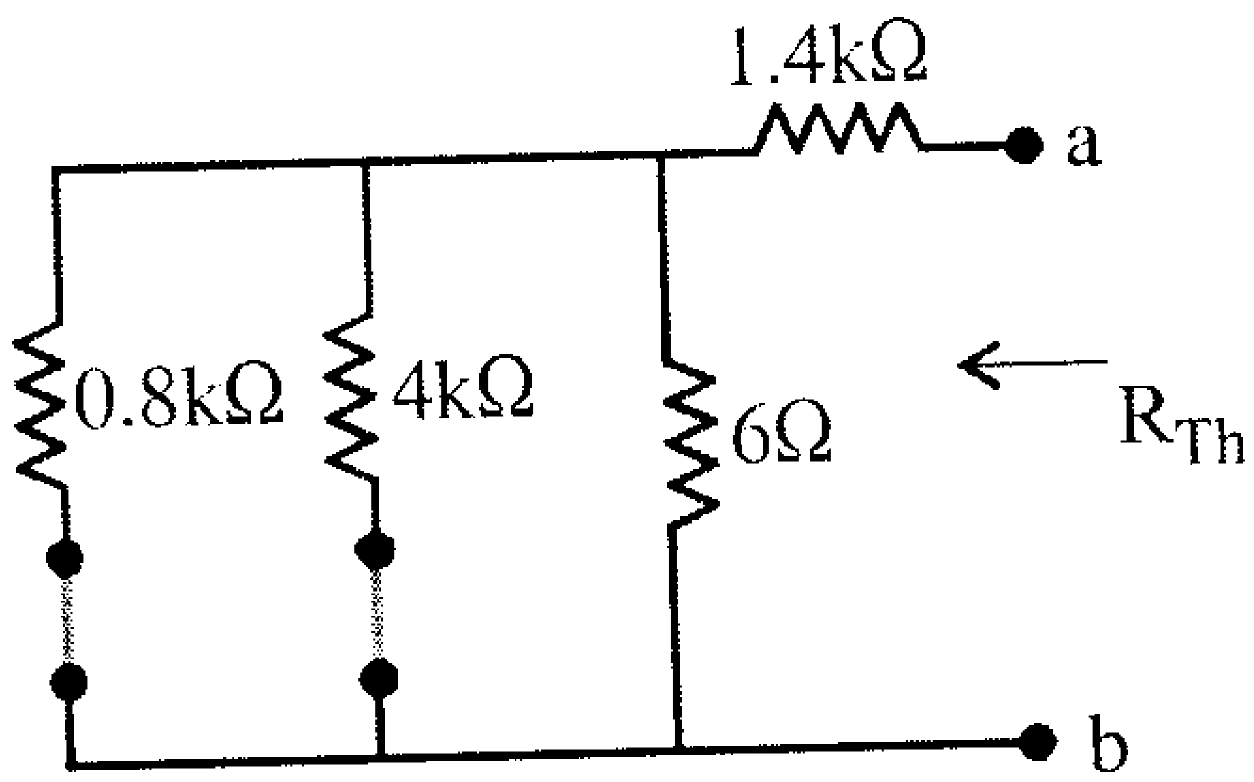
مثال11.6 من الدائرة بالشكل أوجد دائرة ثيفنين المكافئة خارج (a و b).



الحــل:

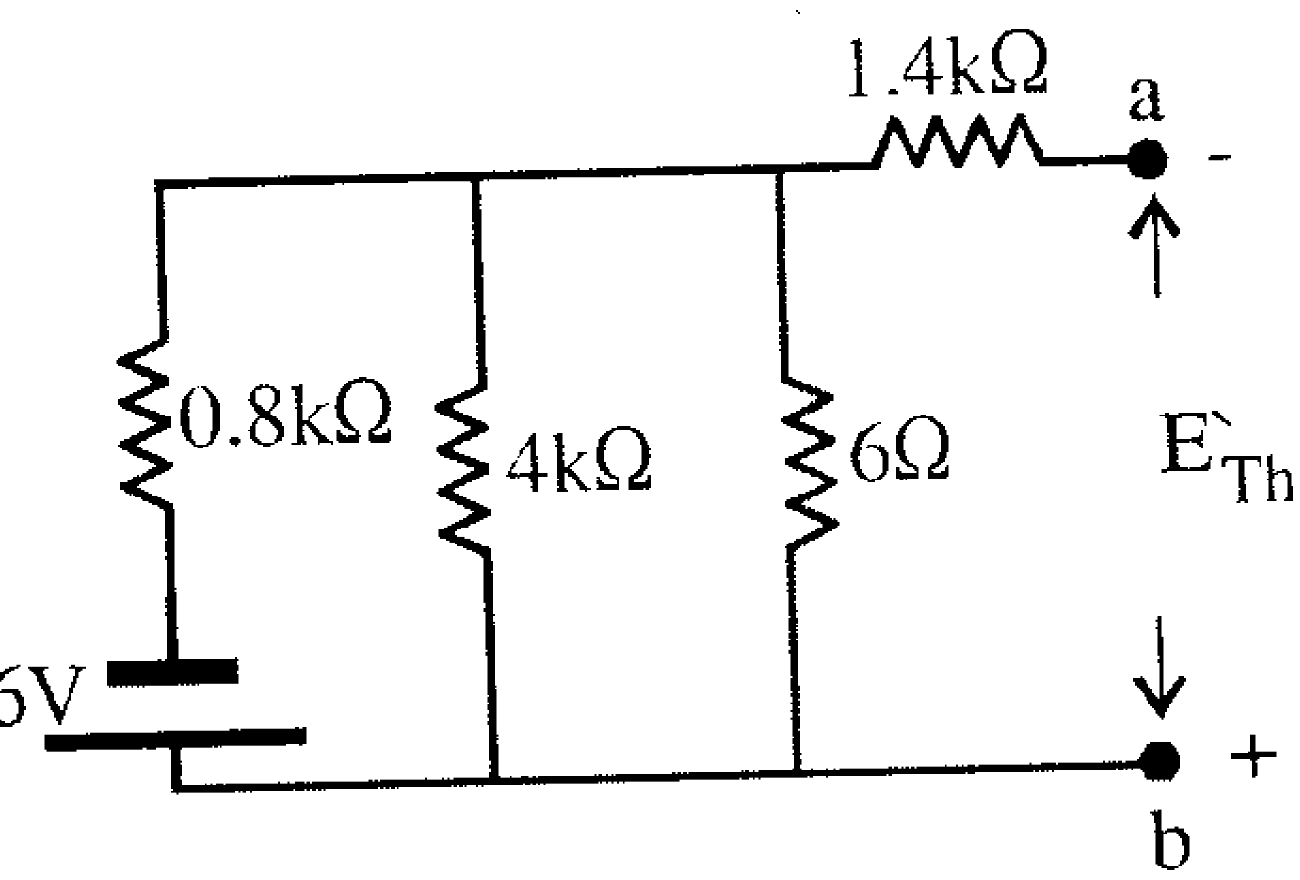
حذف المصدر للحصول على (R_{Th})

$$0.8k\Omega \,//\, 4k\Omega \,//\, 6k\Omega = 0.6k\Omega$$



$$R_{Th} = 0.6k\Omega + 1.4k\Omega = 2k\Omega$$

نستخدم نظرية التراكيب لإيجاد E_{Th} وذلك لوجود مصدري جهد بالدائرة:

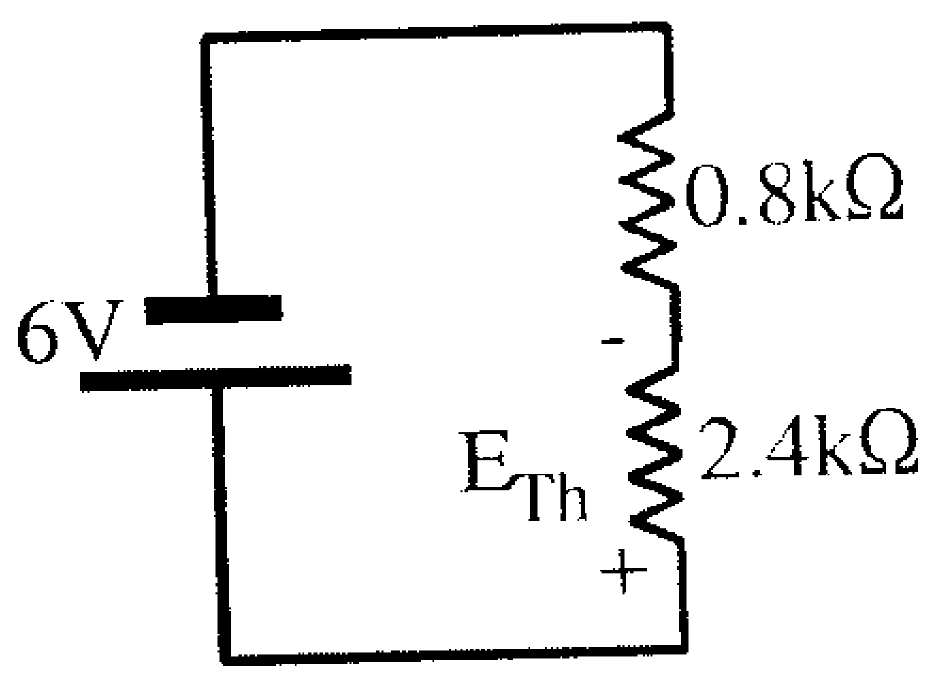


1– تأثير مصدر الجهد($6V$) :

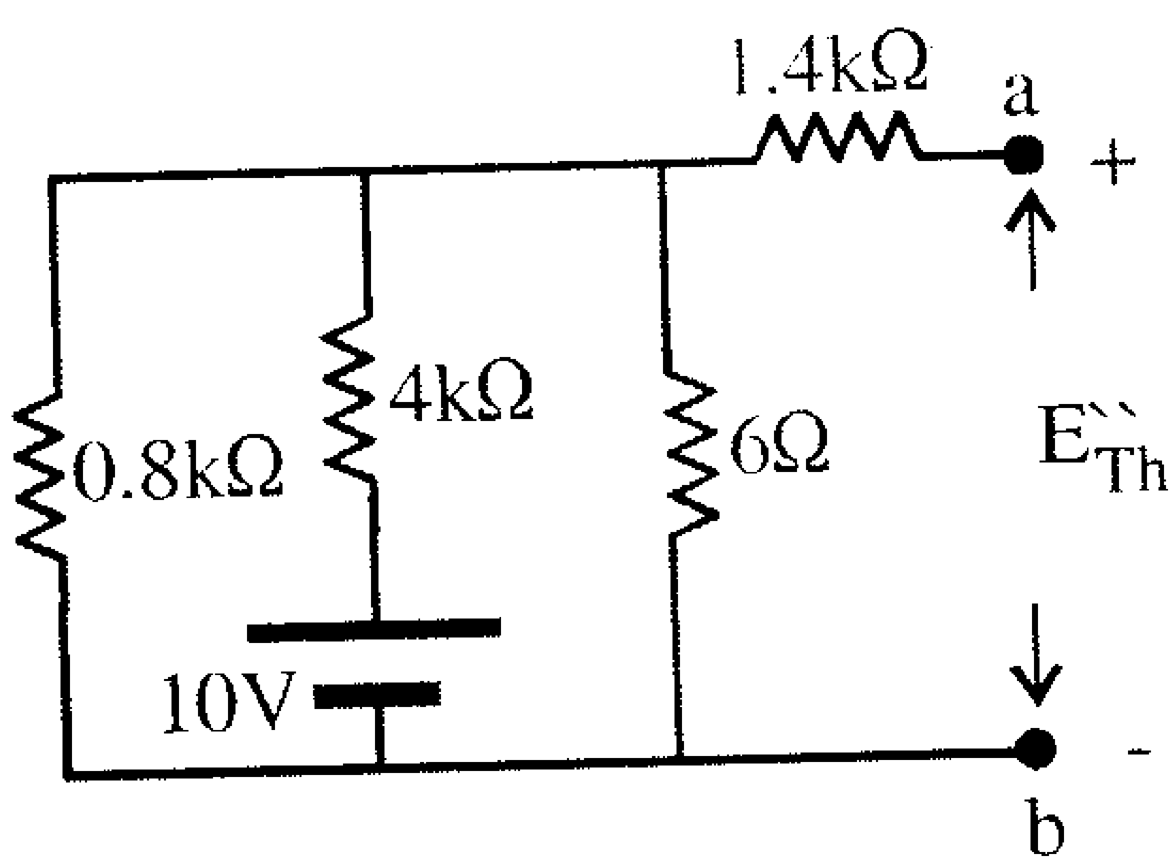
المقاومة ($1.4k\Omega$) تلغى لأنها دائرة مفتوحة ومنها $E`_{Th} = V_{6k\Omega}$ بالتوازي وبالتالي تساوي $V_{4k\Omega}$ بالتوازي أيضاً

$$4k\Omega \,//\, 6k\Omega = 2.4k\Omega$$

وباستخدام قانون مجزئ الجهد:



$$E`_{Th} = \frac{(6V)(2.4k\Omega)}{2.4k\Omega + 0.8k\Omega} = \frac{14.4}{3.2} = 4.5V$$

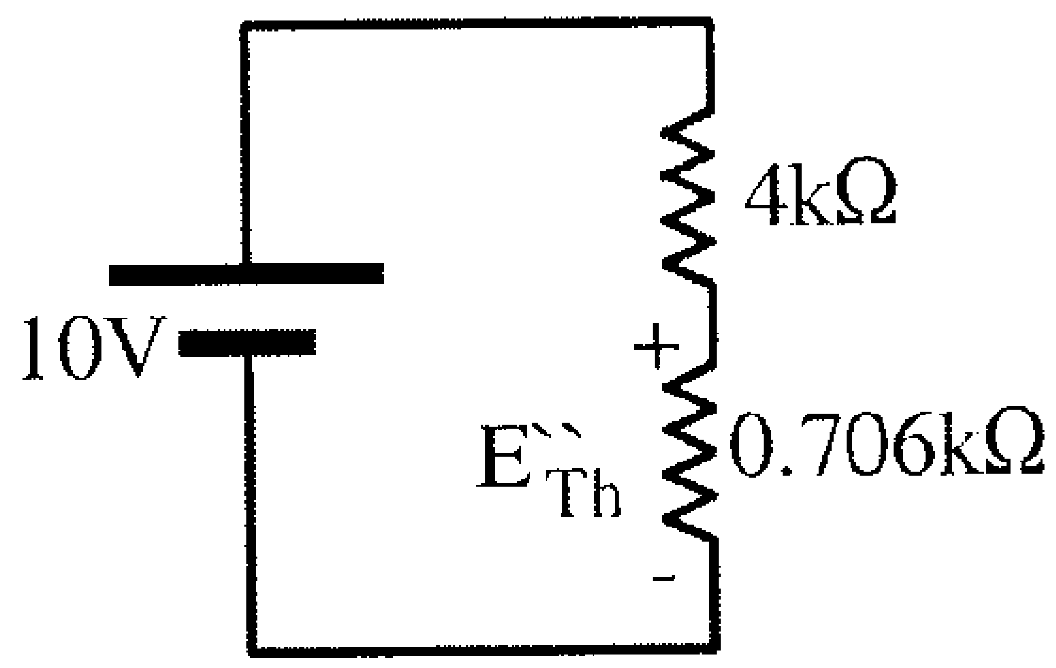


2–تأثير مصدر الجهد ($10V$): في هذه الحالة أيضاً تلغي المقاومة ($1.4k\Omega$) دائرة مفتوحة

$E``_{Th} = V_{6k\Omega}$ بالتوازي

$$6k\Omega \,//\, 0.8k\Omega = 0.706k\Omega$$

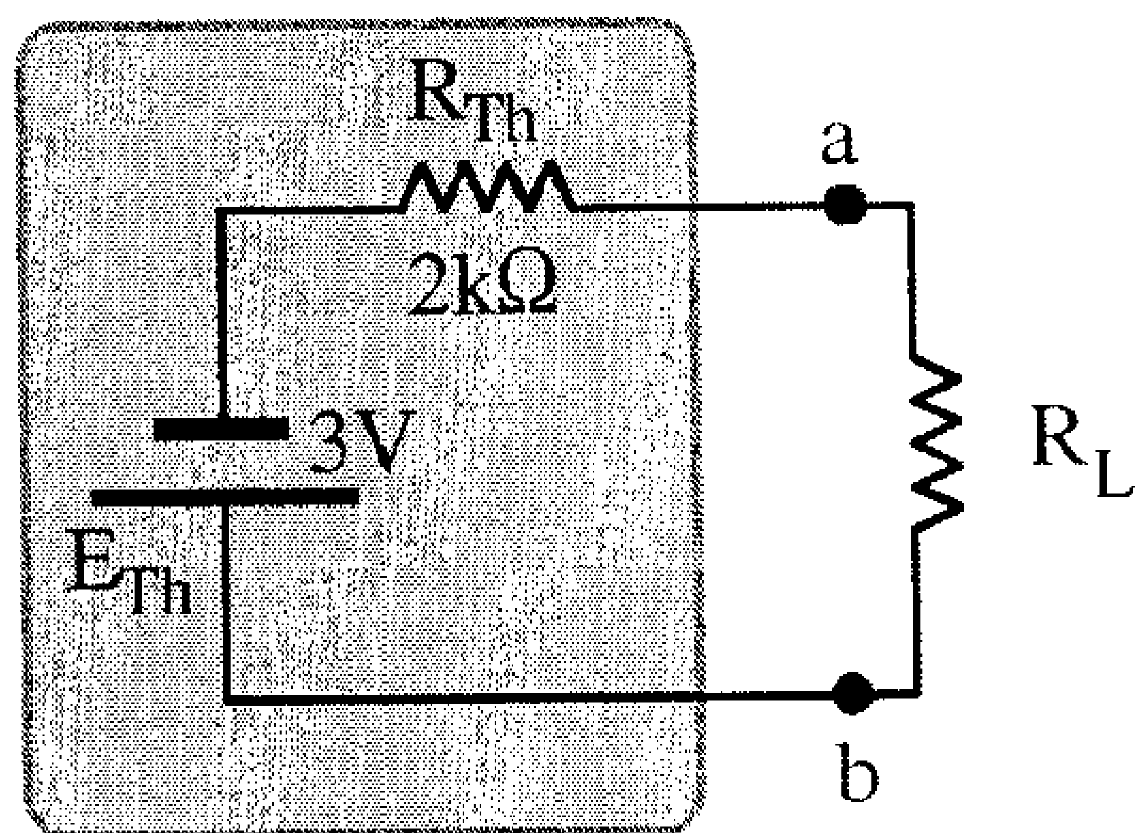
$$E``_{Th} = \frac{(10V)(0.706k\Omega)}{0.706k\Omega + 4k\Omega} = \frac{7.06}{4.706} = 1.5V$$

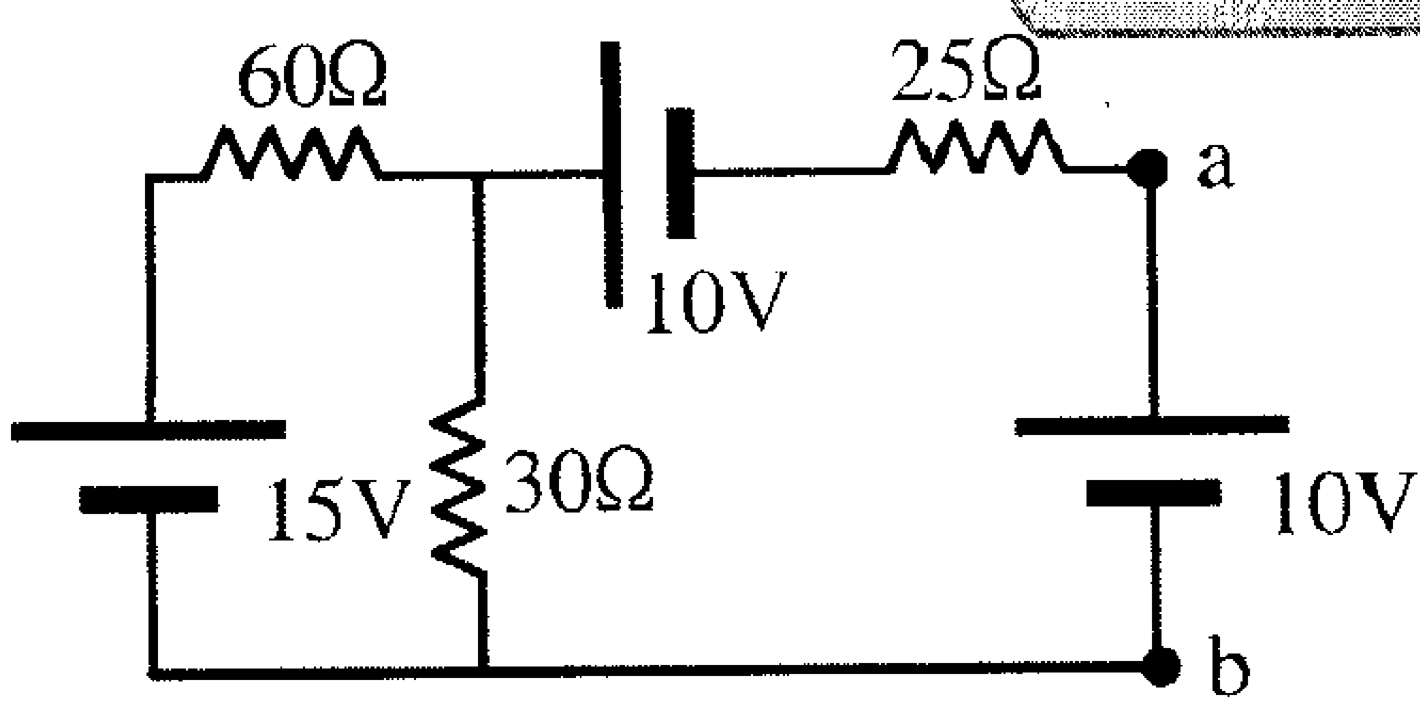


نلاحظ أن الأقطاب في قيمتي الجهد E_{Th}' و E_{Th}'' عكس بعضها

جهد ثيفنين الكلي $\therefore \quad E_{Th} = E_{Th}' - E_{Th}''$

$$= 4.5V - 1.5V = 3V$$

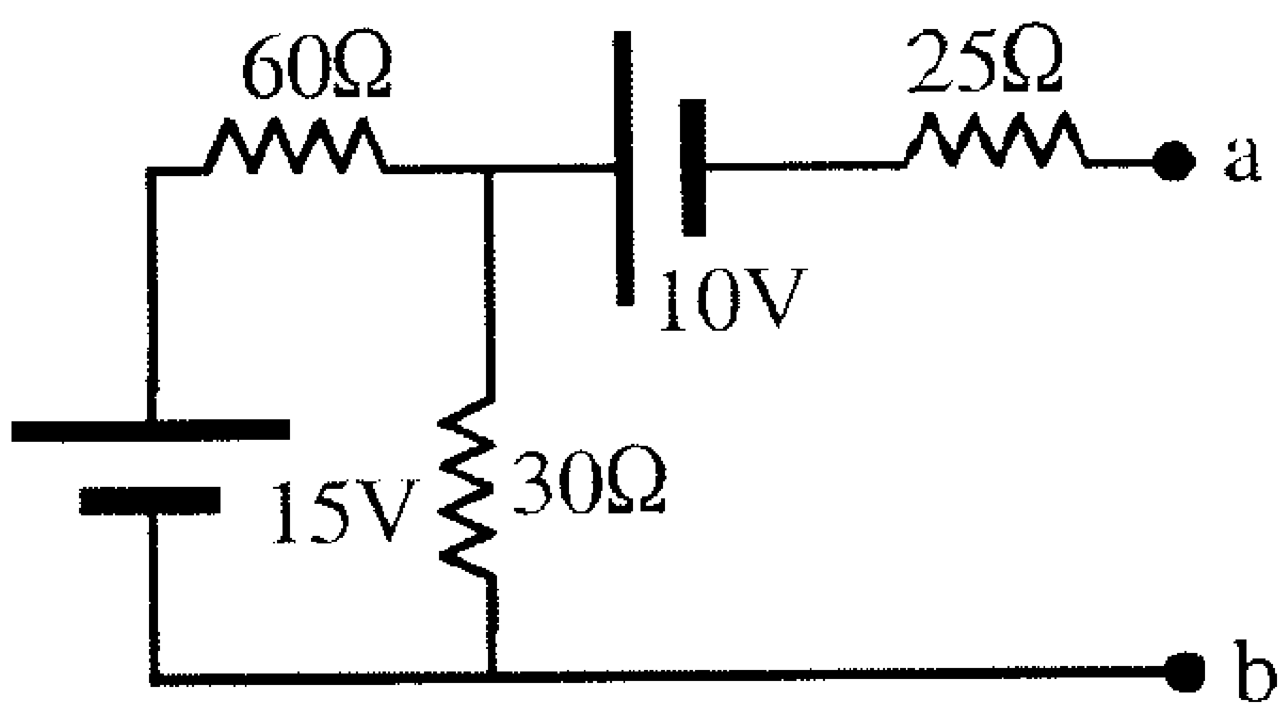




مثال12.6 أوجد

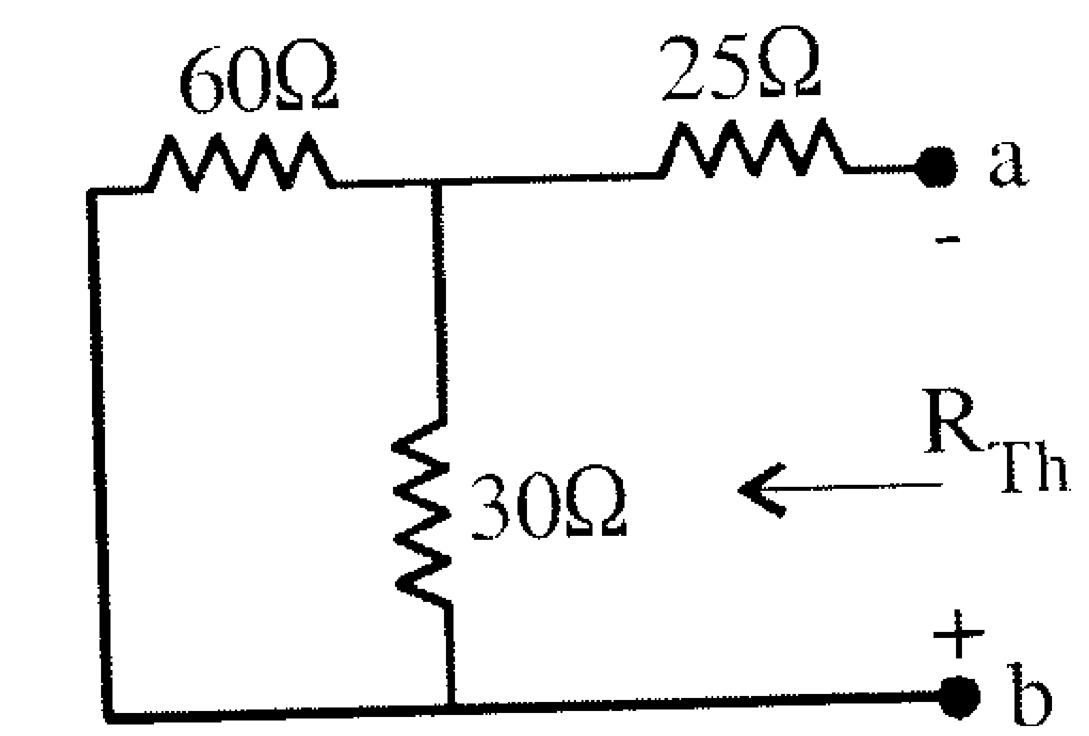
دائرة ثيفنين المكافئة خارج النقطتين (a و b)

الحــل:



نحدد دائرة ثيفنين المراد إيجاد مكافئها خارج النقطتين (a, b) كالتالي:

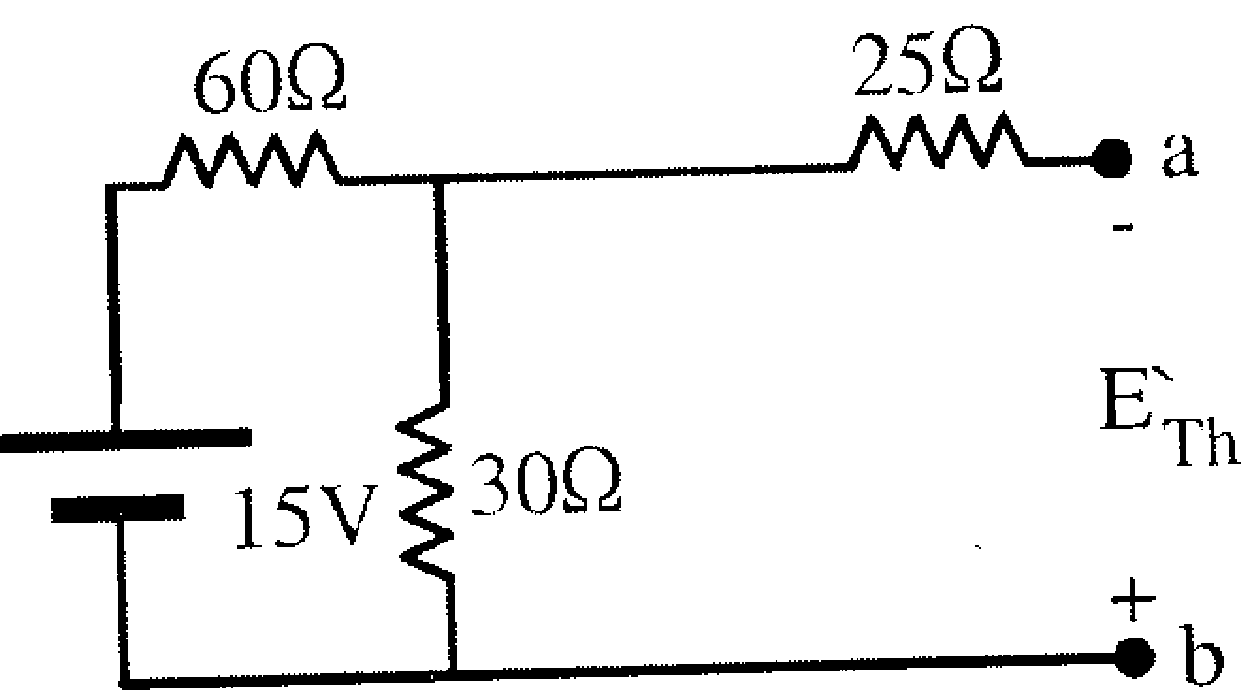
1- إيجاد المقاومة R_{Th} بوضع جميع المصادر تساوي صفراً (أي حذفها)



$$20\Omega = 60\Omega \,//\, 30\Omega$$

$$R_{Th} = 20\Omega + 25\Omega = 45\Omega$$

2- إيجاد E_{Th}

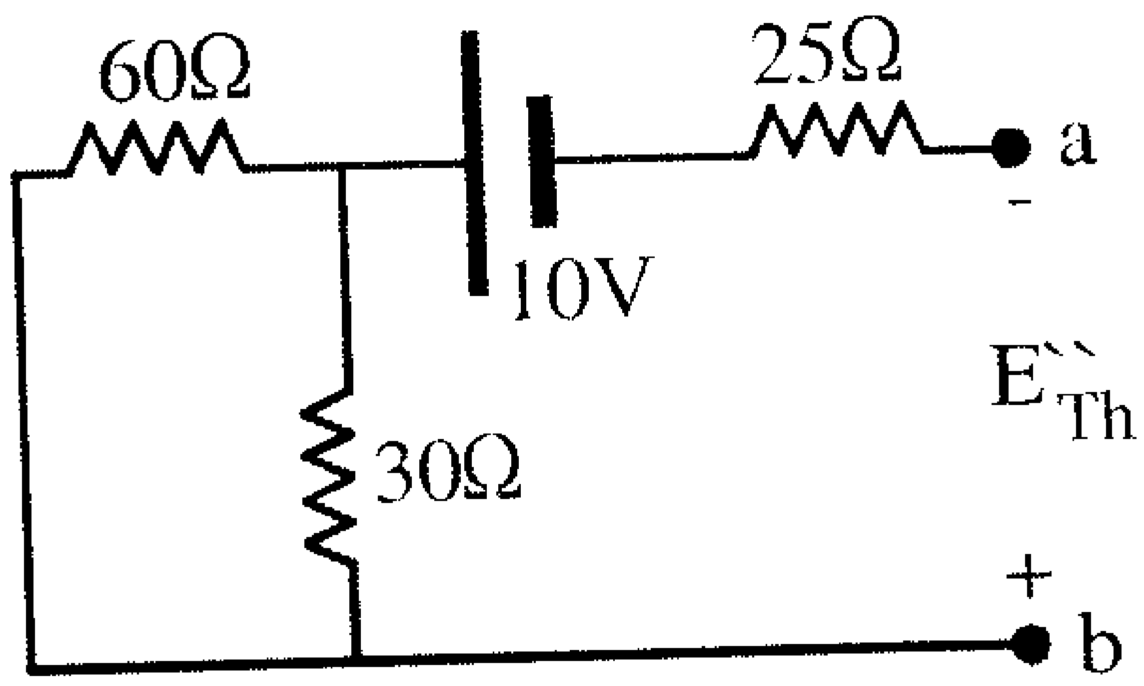


أولاً: حذف مصدر الجهد $(10V)$ والإبقاء على المصدر $(15V)$

المقاومة 25Ω تلغى (Open Circuit)

$$\therefore\ V_{30\Omega} = E'_{Th}$$

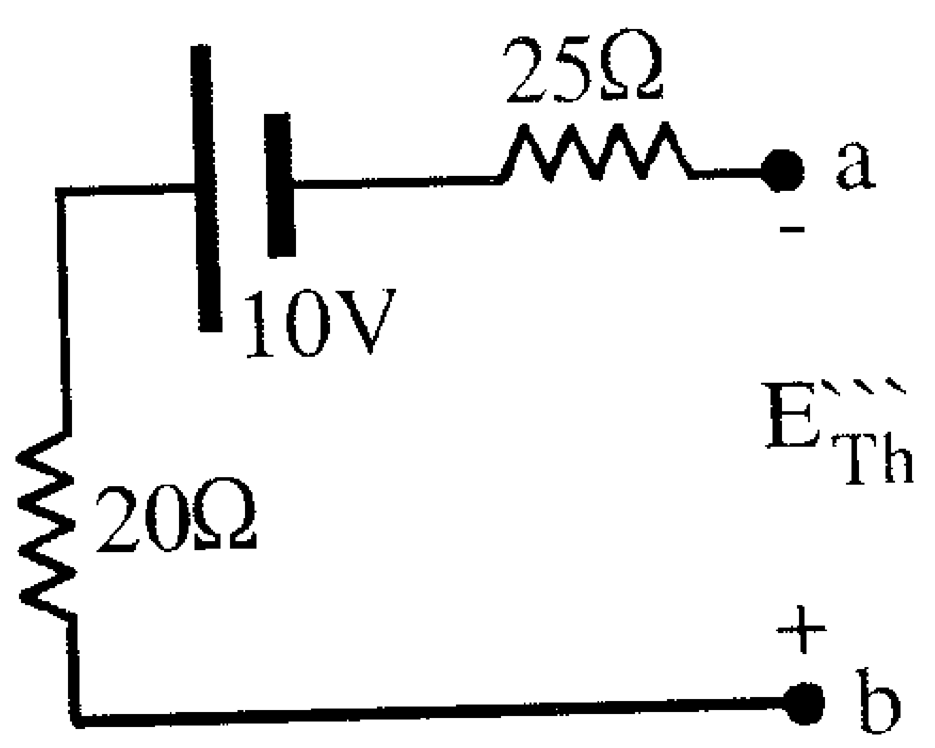
وبتطبيق قانون مجزئ الجهد



$$E'_{Th} = \frac{(15V)(30\Omega)}{30\Omega + 60\Omega} = \frac{450}{90} = 5V$$

ثانياً: حذف مصدر الجهد $(15V)$ والإبقاء على المصدر $(10V)$

$$60\Omega \,//\, 30\Omega = 20\Omega$$



من الدائرة نلاحظ أن الدائرة مفتوحة والتيار $I = 0$ لذلك فإن جهد المقاومتين (20Ω) و (25Ω) يساوي صفراً ومن قانون كرشوف للجهد

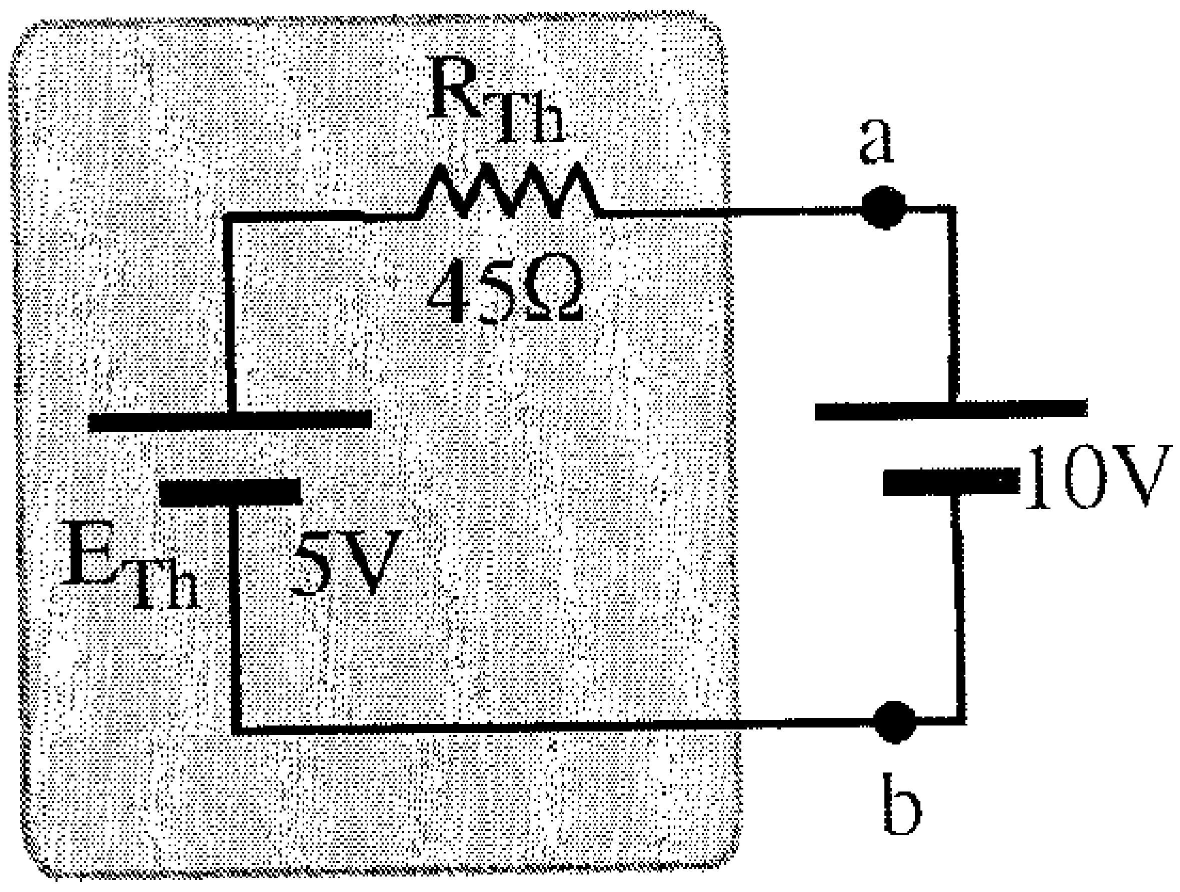
$$E''_{Th} = 10V$$

لنحصل على جهد ثيفنين الكلي

$$E_{Th} = E''_{Th} - E'_{Th}$$

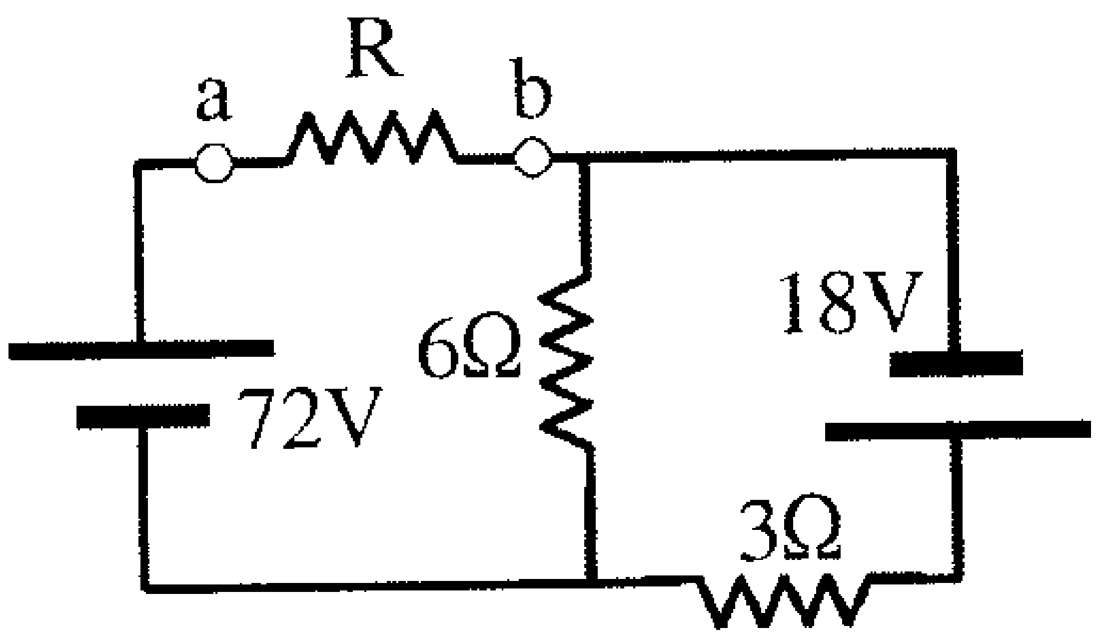
$$\therefore\ E_{Th} = 10V - 5V = 5V$$

وتكون دائرة ثيفنين المكافئة كالتالي:

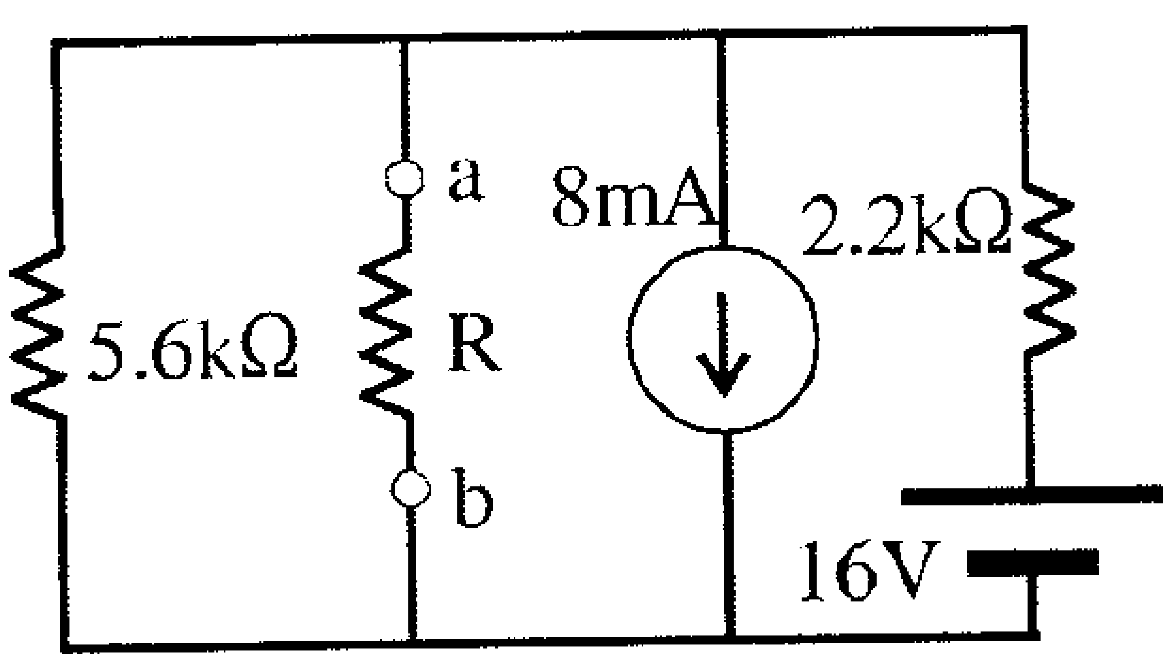


4.6 مسائل عن نظرية ثيفنين

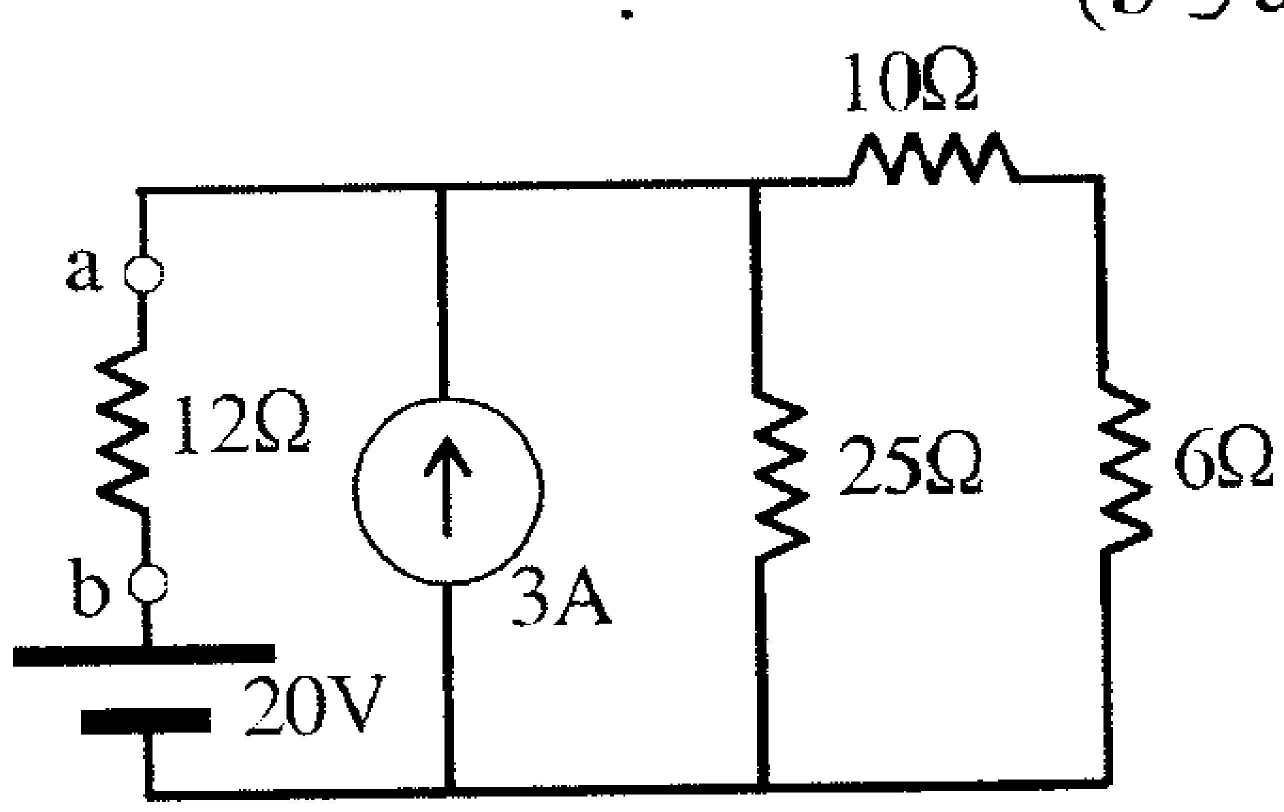
(1) أوجد دائرة ثيفنين المكافئة خارج المقاومة R .



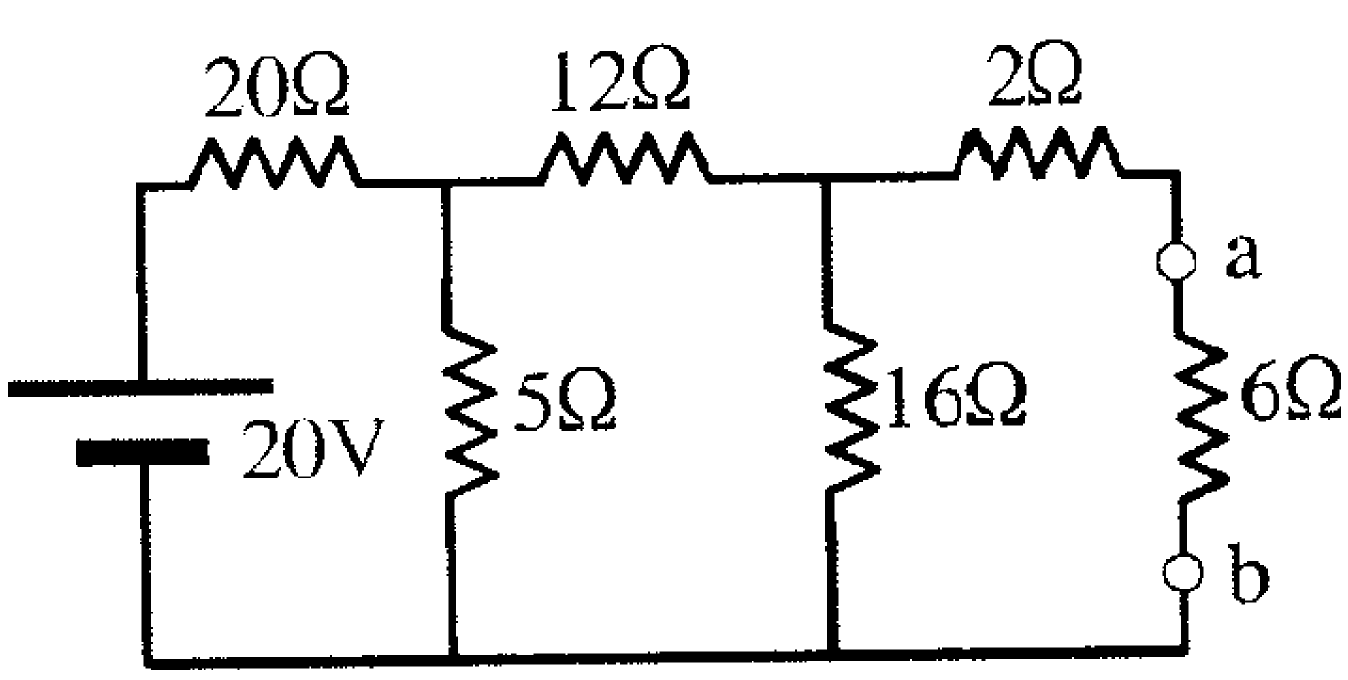
(2) أوجد دائرة ثيفنين المكافئة خارج المقاومة R .



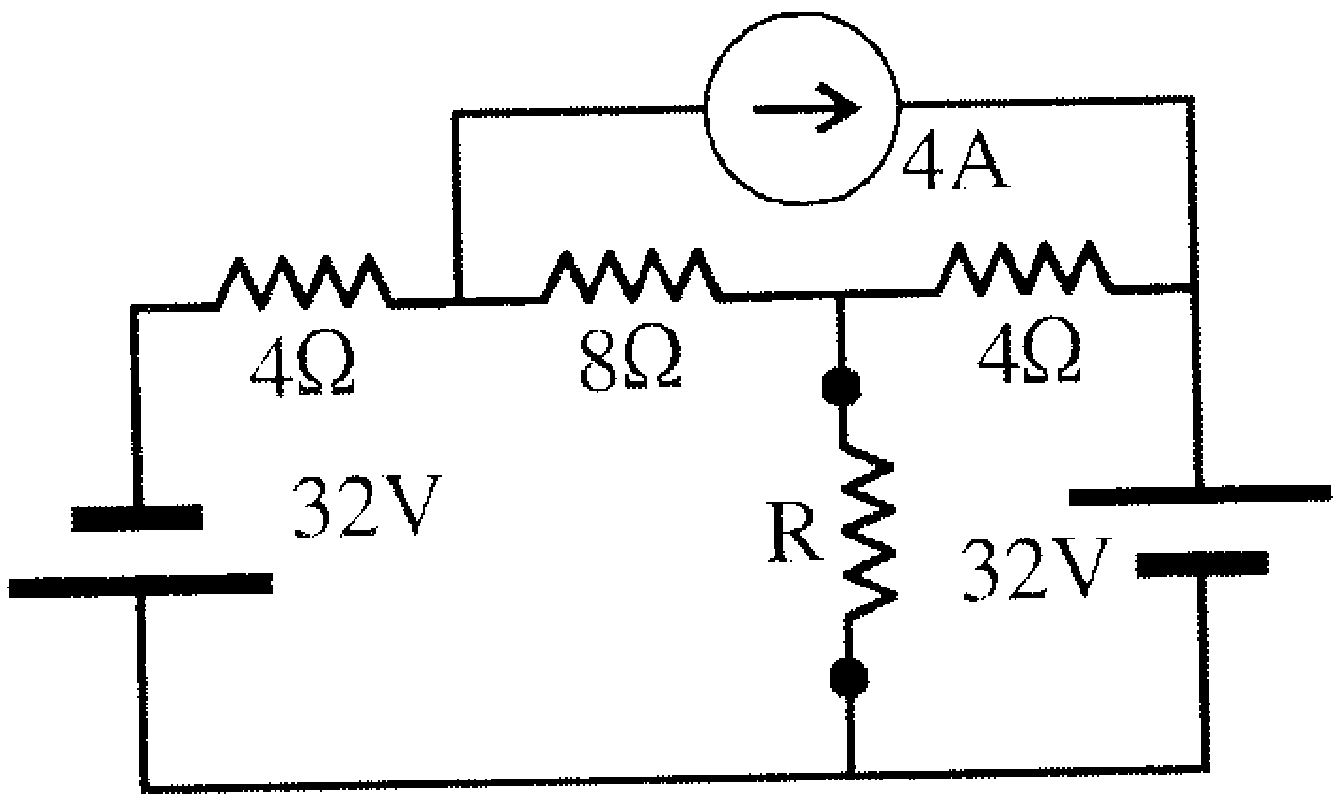
(3) أوجد دائرة ثيفنين المكافئة خارج النقطتين (a و b) .



(4) أوجد دائرة ثيفنين المكافئة خارج النقطتين (a و b).

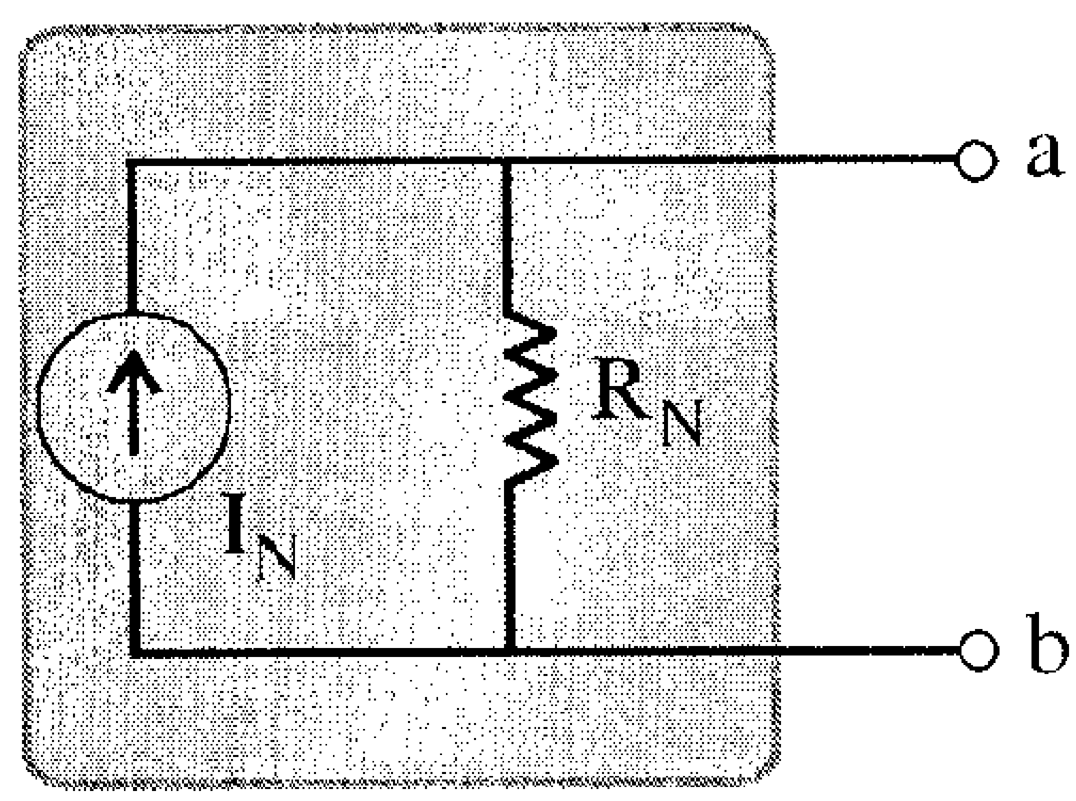


(5) أوجد دائرة ثيفنين المكافئة خارج المقاومة R .

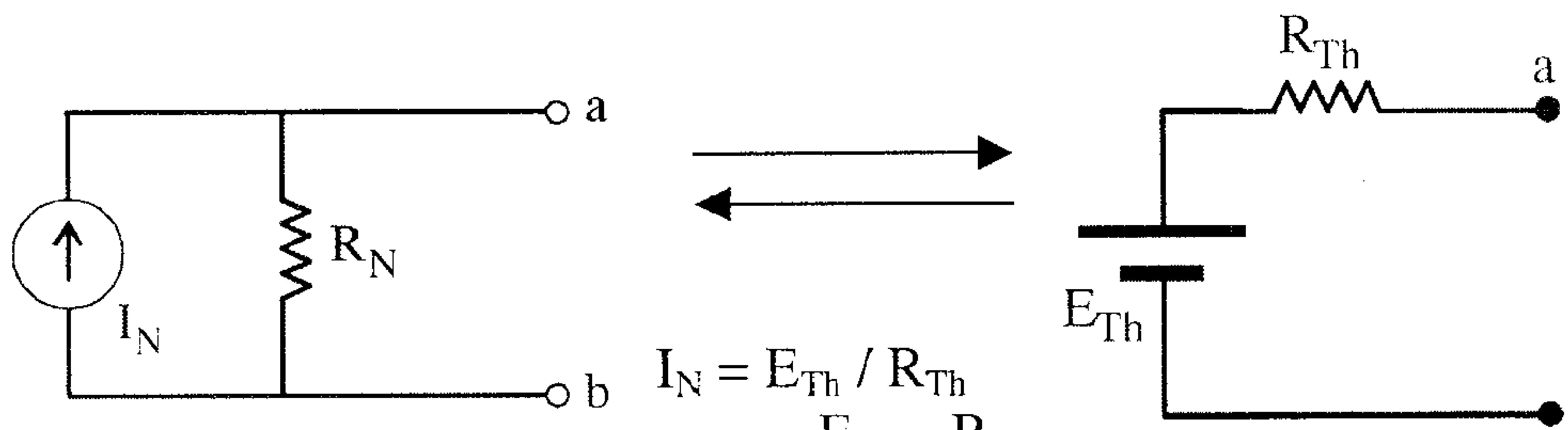


5.6 نظرية نورتن Norton's Theorem

نظرية نورتن هي أيضاً نظرية لتحليل الدوائر الكهربائية. فدائرة نورتن تحتوي على مقاومة تسمى مقاومة نورتن (R_N) موصلة على التوازي مع مصدر تيار نورتن (I_N) . أي أن أي دائرة كهربائية ذات تيار مستمر يمكن استبدالها بدائرة نورتن كما في الشكل التالي:



وباستخدام تحويل المصدر يمكننا تحويل دائرة ثيفنين إلى دائرة نورتن والعكس صحيح كما يلي:



$I_N = E_{Th} / R_{Th}$

$E_{Th} = R_N$

. I_N

خطوات الحل في طريقة نورتن لا تختلف كثيراً عن طريقة ثيفنين وهي كما يلي :

الخطوات من (1) إلى (3) نفس خطوات طريقة ثيفنين وبالتالي فإن :

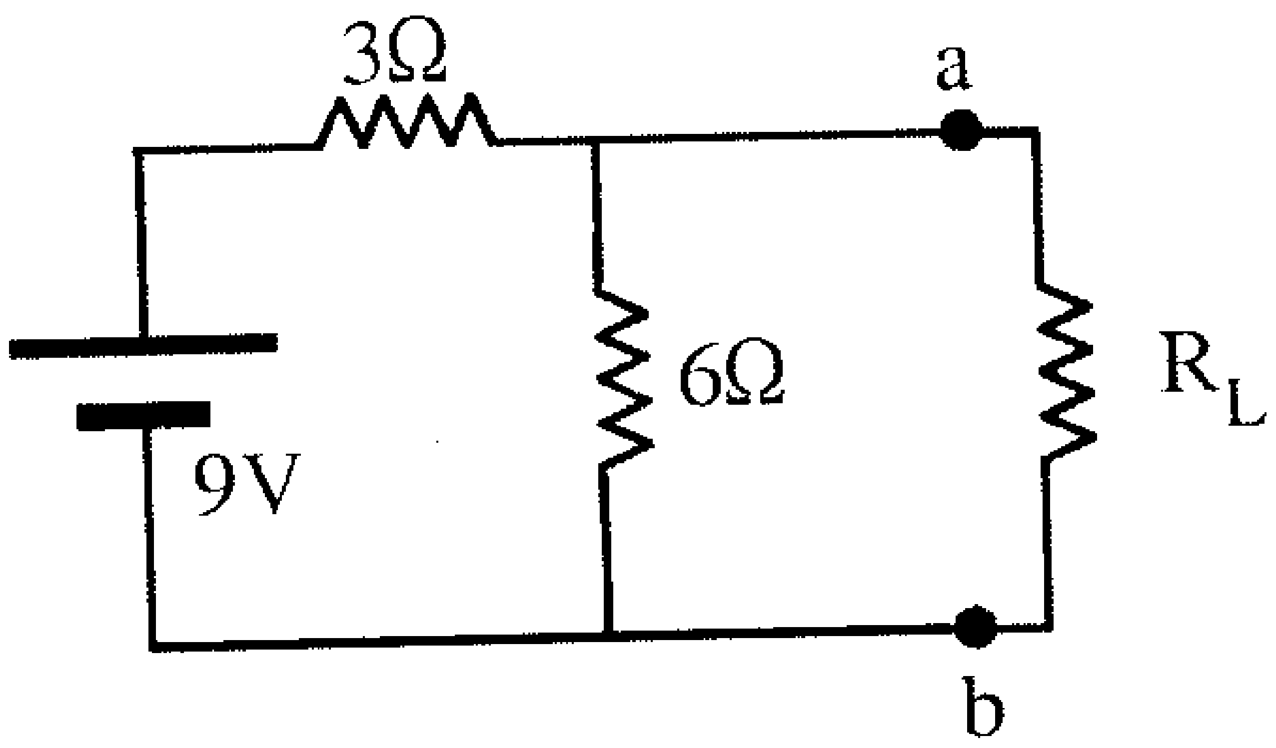
$$R_{Th} = R_N$$

3- حساب I_N وذلك بإرجاع كل المصادر إلى حالتها الأصلية ومن ثم إيجاد تيار

(Short Circuit) وهو التيار المار بين النقطتين المحددتين.

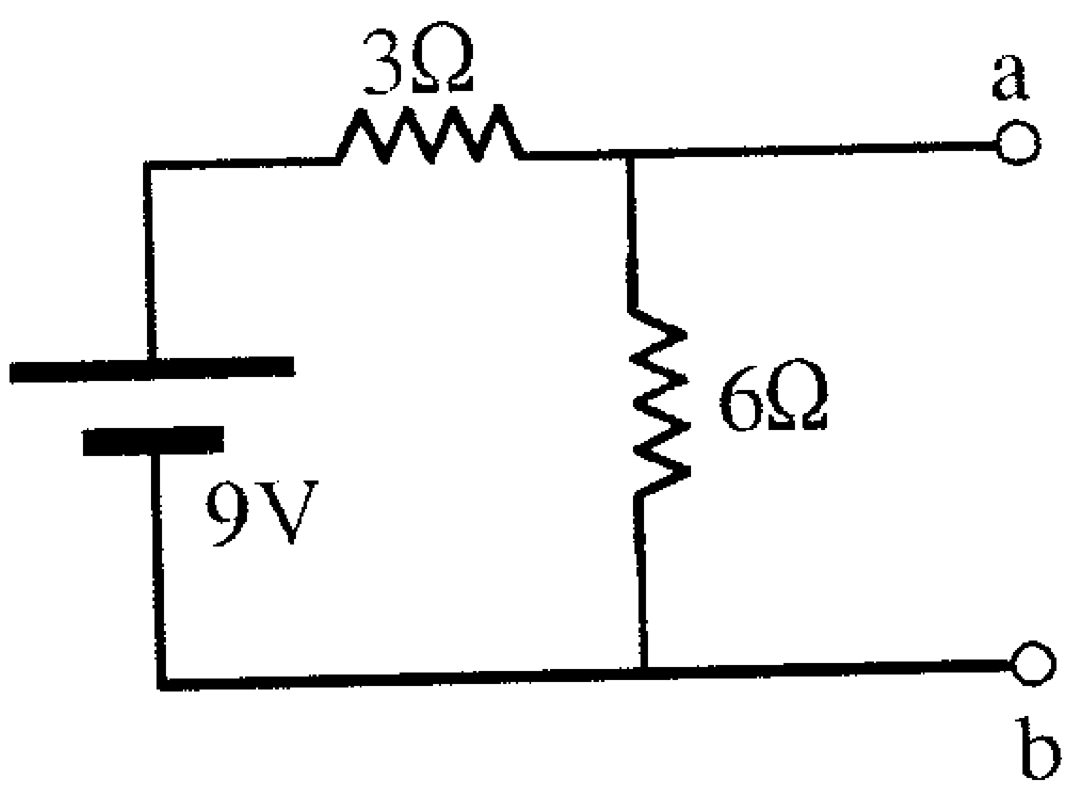
5- نرسم دائرة نورتن المكافئة مع الأخذ بعين الاعتبار إرجاع الجزء المحذوف من الدائرة.

مثال13.6 أوجد دائرة نورتن المكافئة بالشكل خارج المقاومة R_L .



الحــل:

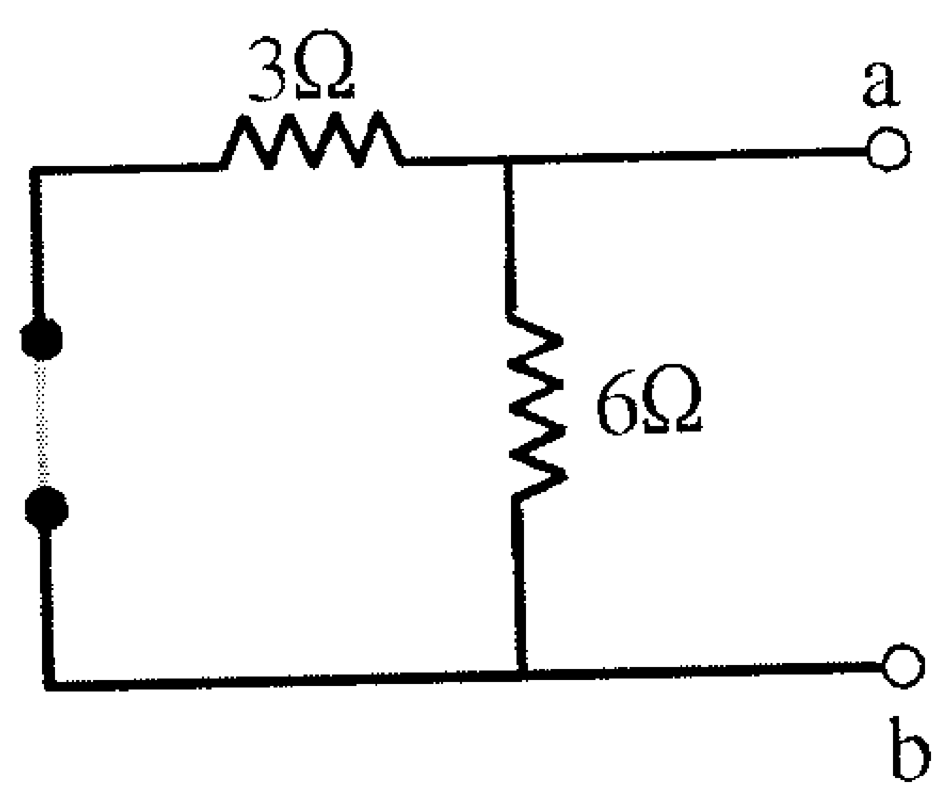
1- نقطع الجزء من الدائرة المراد إيجاد دائرة نورتن له:



2- نحذف المصدر بالدائرة لإيجاد R_N

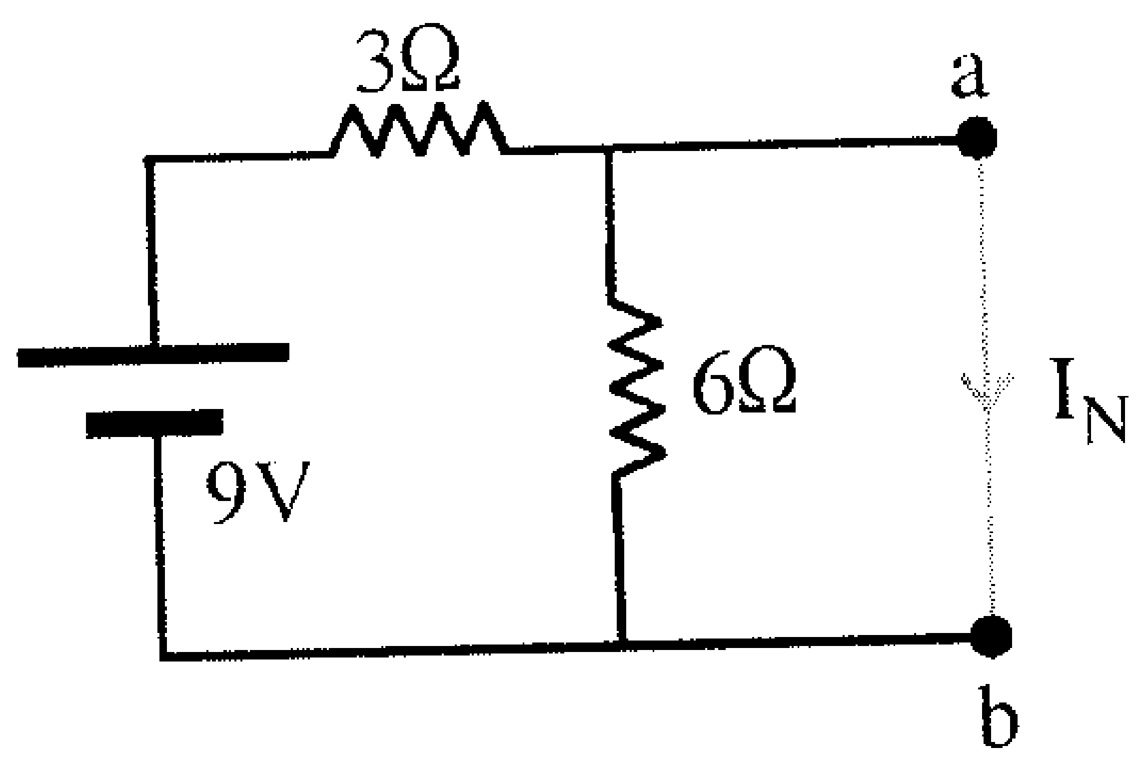
$$R_N = 3\Omega \,//\, 6\Omega$$

$$R_N = \frac{3\Omega \times 6\Omega}{3\Omega + 6\Omega} = \frac{18}{9} = 2\Omega$$



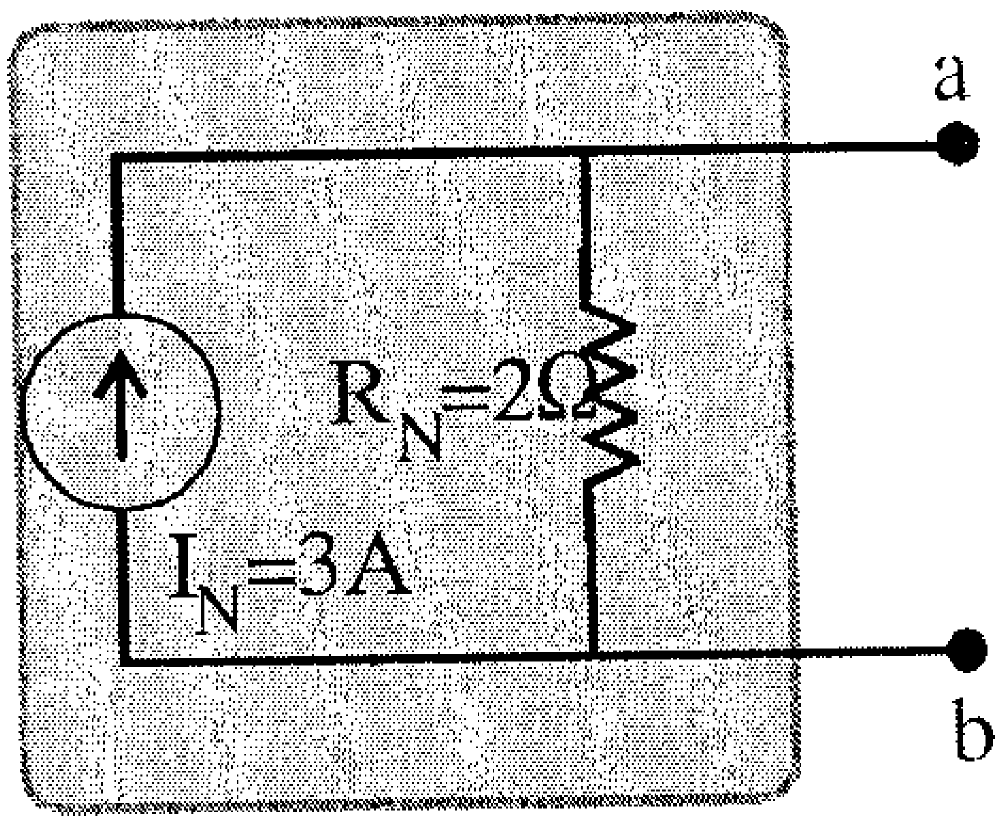
3- إرجاع المصادر لإيجاد تيار نورتن وهو التيار ما بين النقطتين a و b .

من الدائرة نلاحظ أن تيار نورتن ألغى المقاومة 6Ω وأصبحت (Short circuit) وتيارها يساوي صفراً وبالتالي فإن تيار نورتن هو تيار المصدر ويساوي

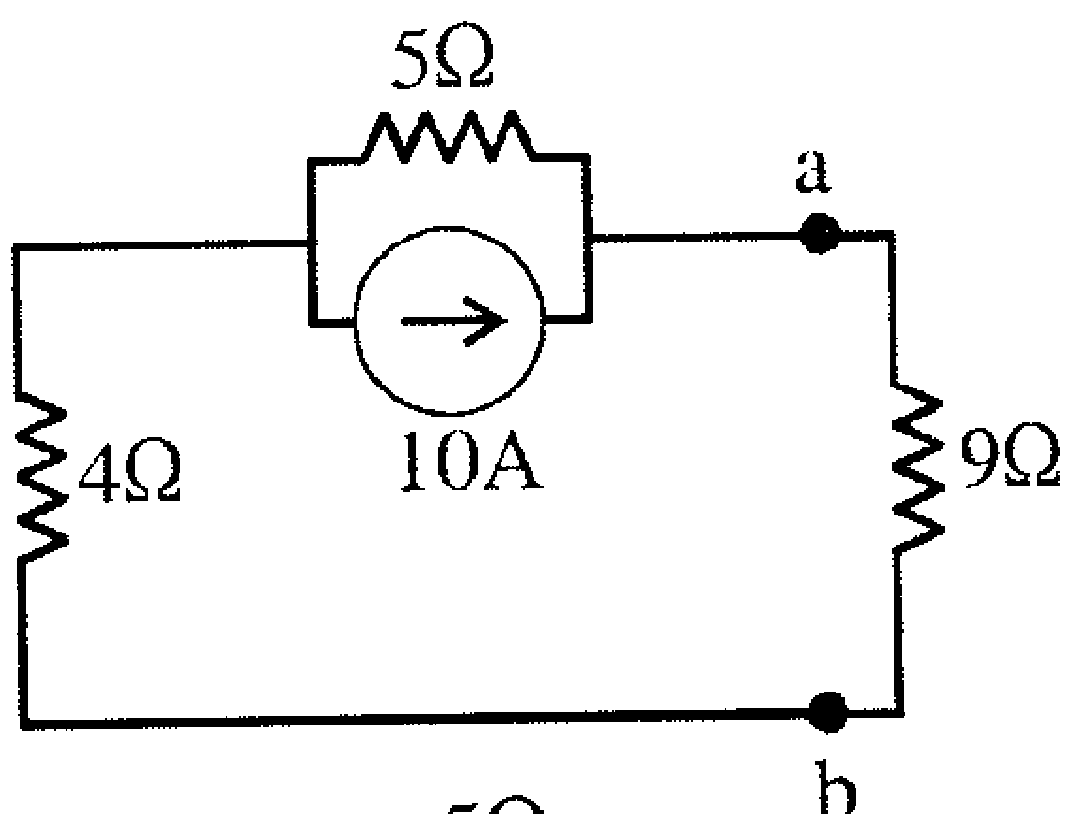


$$I_N = 9V/\,3\Omega = 3A$$

وفي النهاية نحصل على دائرة نورتن المكافئة.

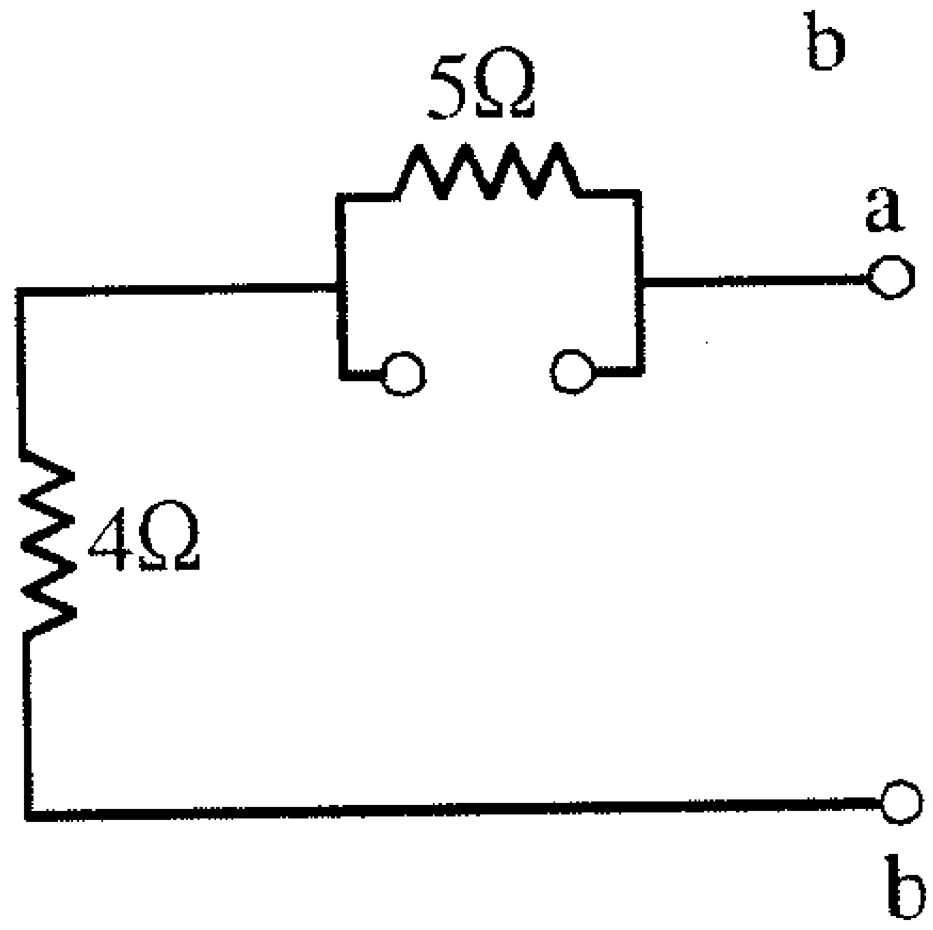


مثال14.6 أوجد دائرة نورتن المكافئة في الدائرة بالشكل وخارج المقاومة (9Ω) .



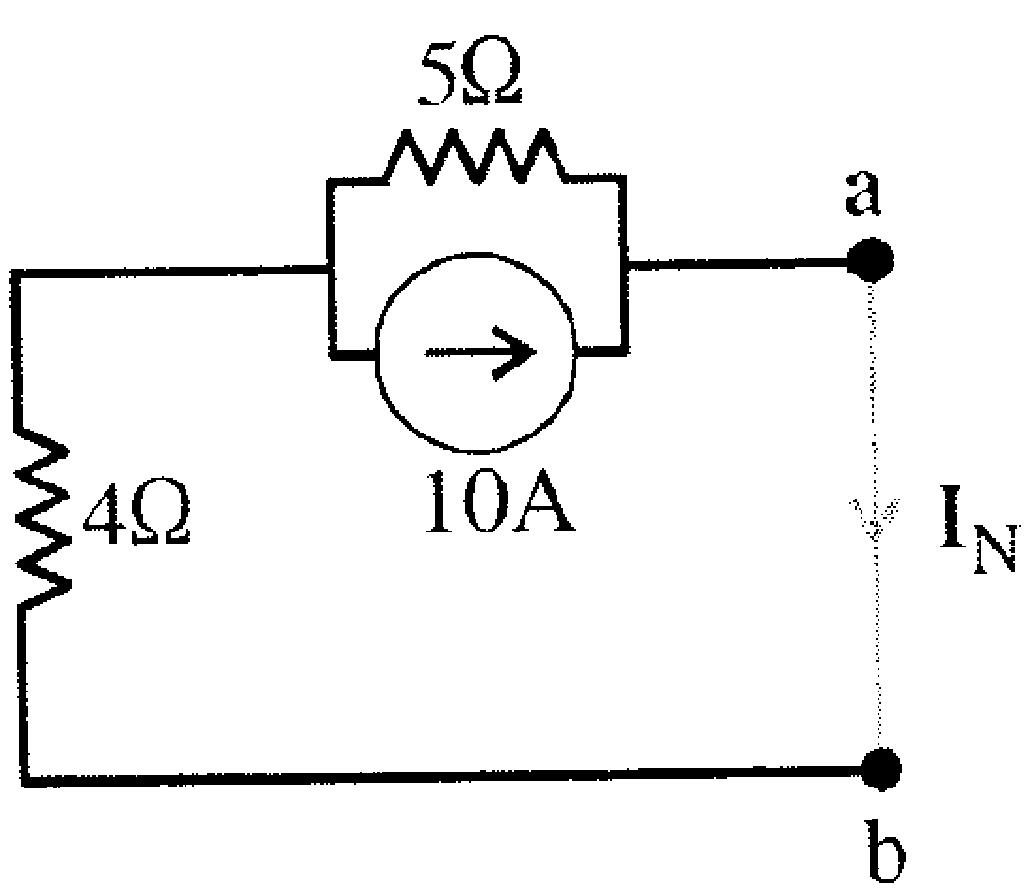
الحــل:

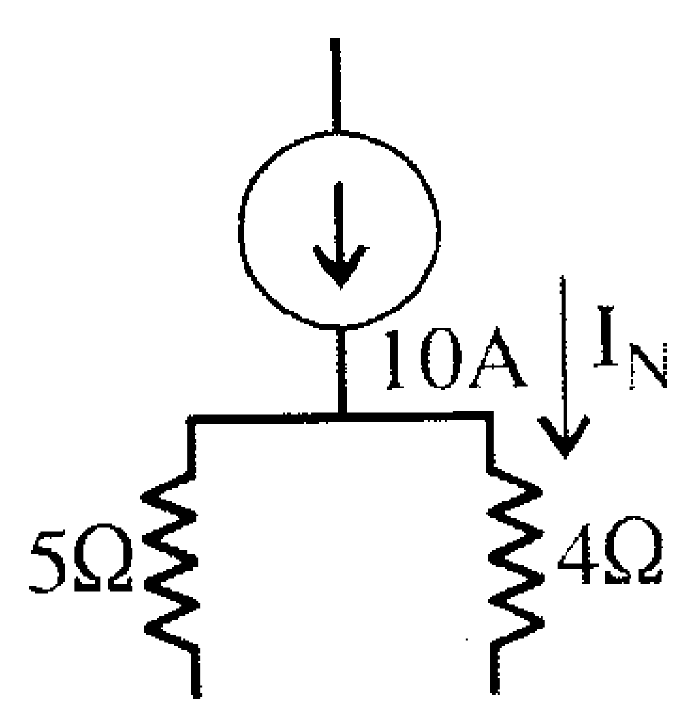
$$R_N = 5\Omega + 4\Omega = 9\Omega$$



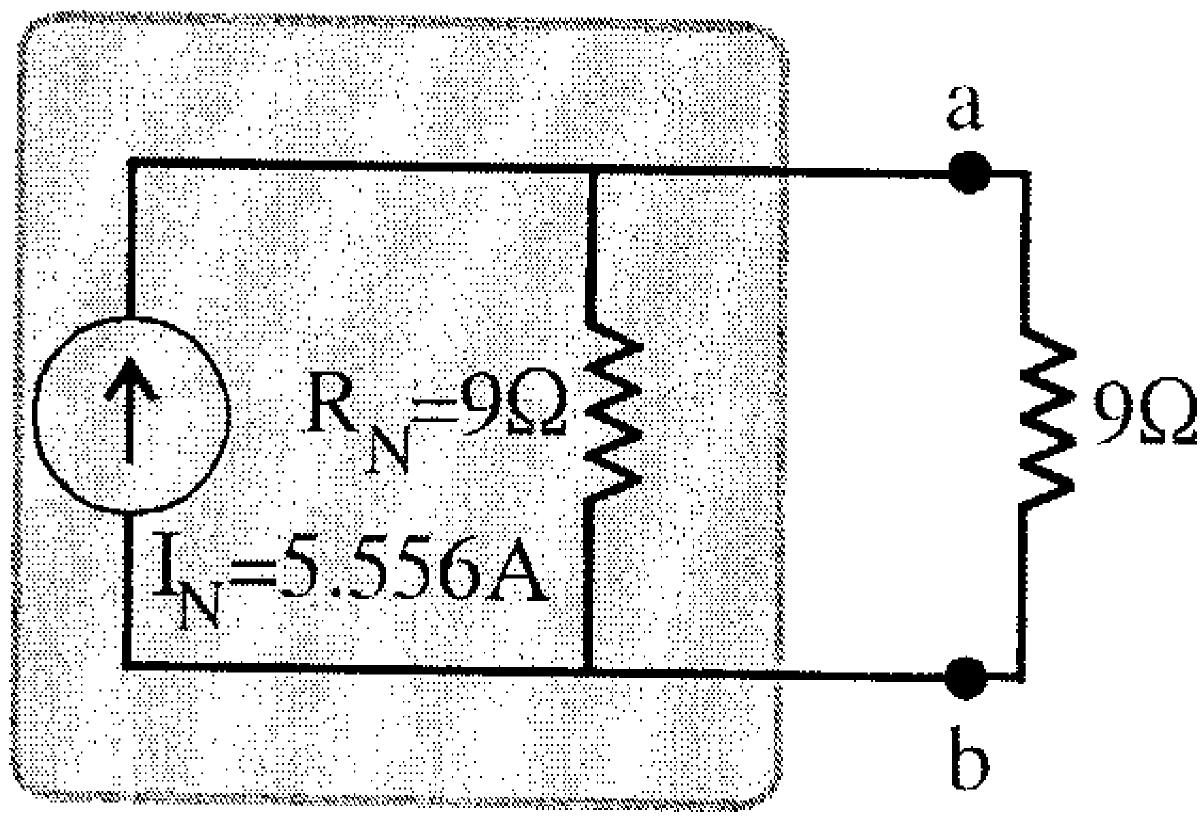
نلاحظ أن تيار نورتن هو نفس التيار المار في المقاومة (4Ω) لذا يمكن استخدام قانون مقسم التيار:

$$I_N = \frac{(5\Omega)(10A)}{5\Omega + 4\Omega} = \frac{50}{9} = 5.556A$$

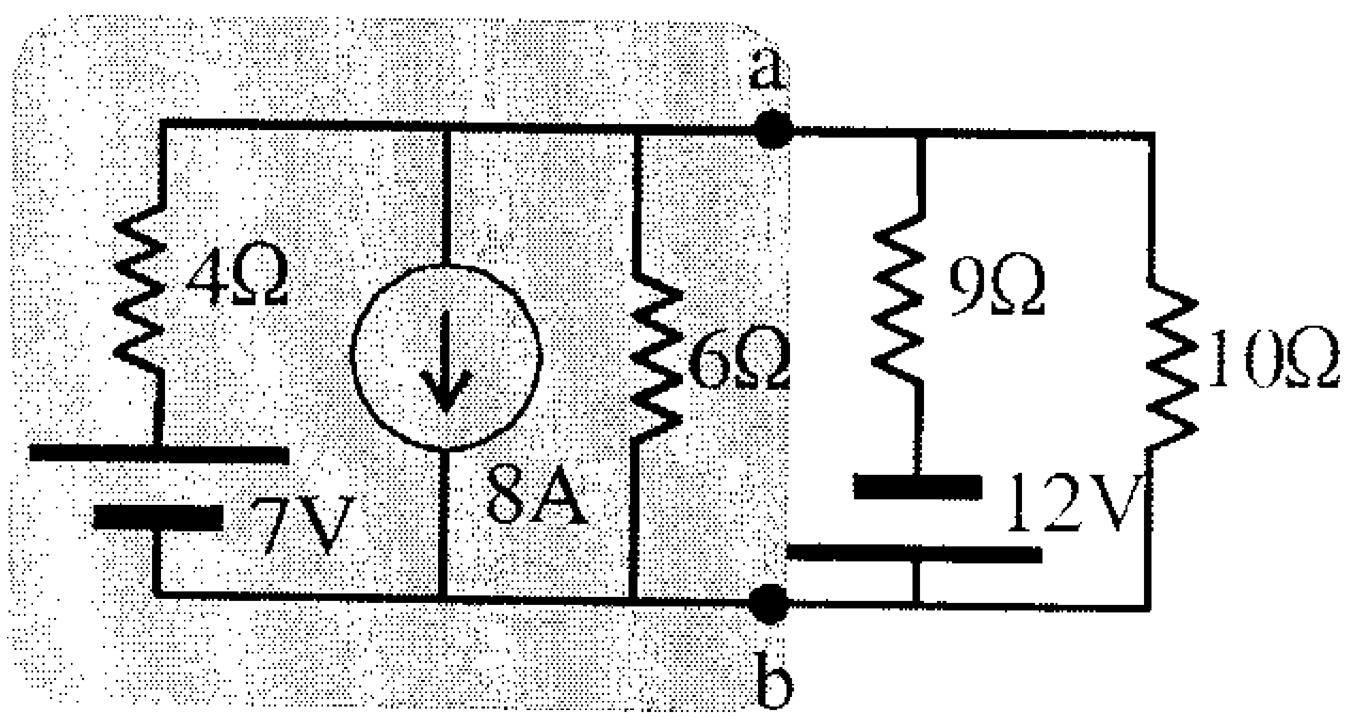




وفي النهاية نحصل على دائرة نورتن المكافئة.

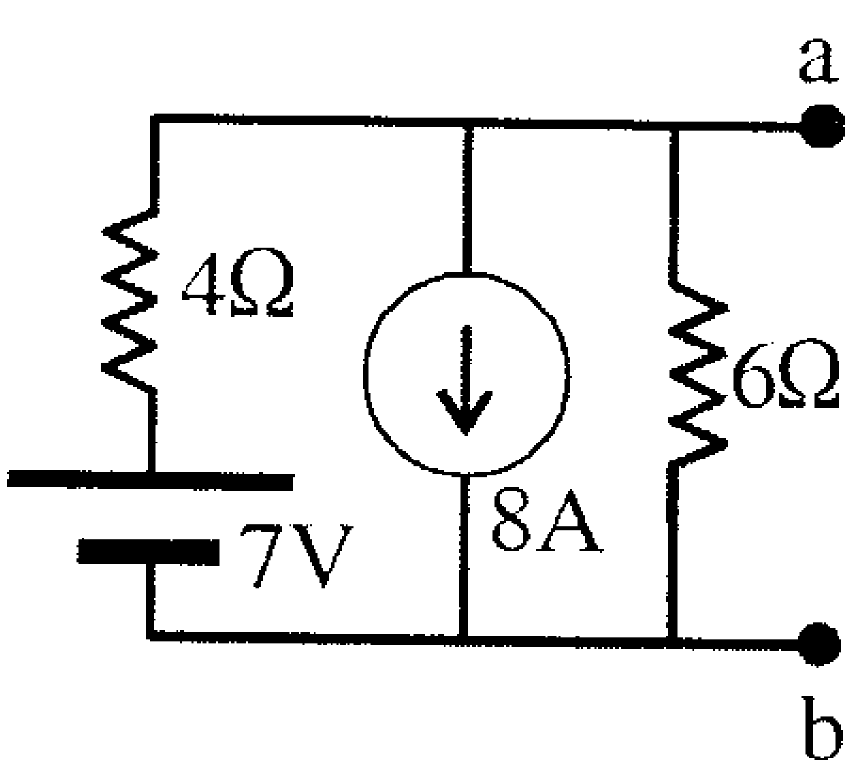


مثال15.6 أوجد دائرة نورتن للجزء المظلل بالدائرة في الشكل التالي.



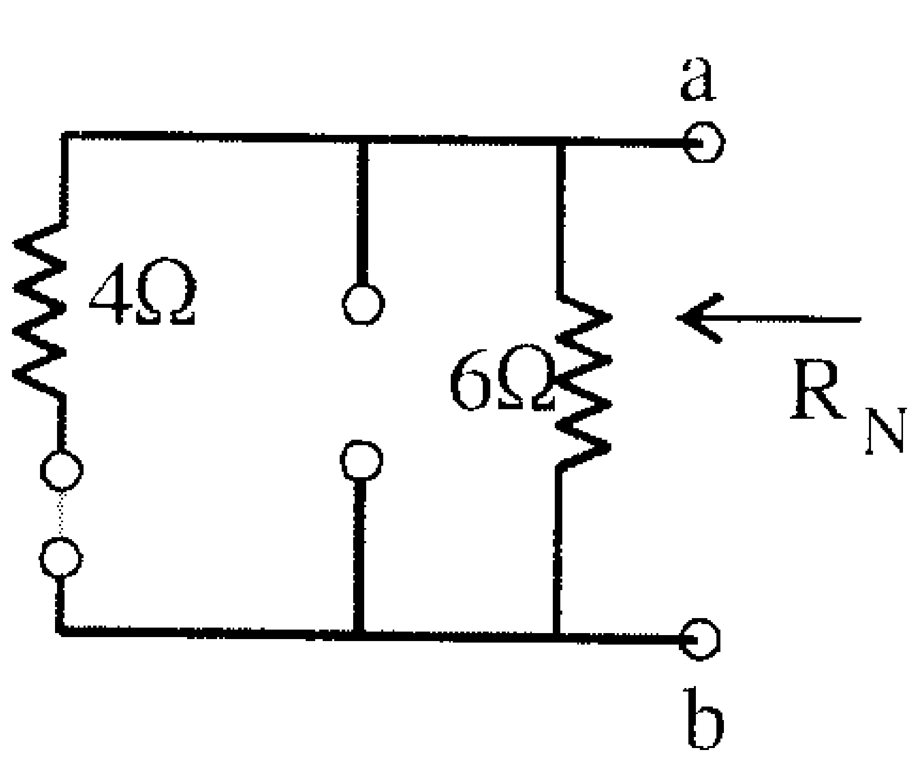
الحــل:

الجزء المراد إيجاد دائرة نورتن المكافئة له هو كما بالشكل



$$6\Omega\ //\ 4\Omega$$

$$R_N = \frac{6\Omega \times 4\Omega}{6\Omega + 4\Omega} = \frac{24}{10} = 2.4\Omega$$

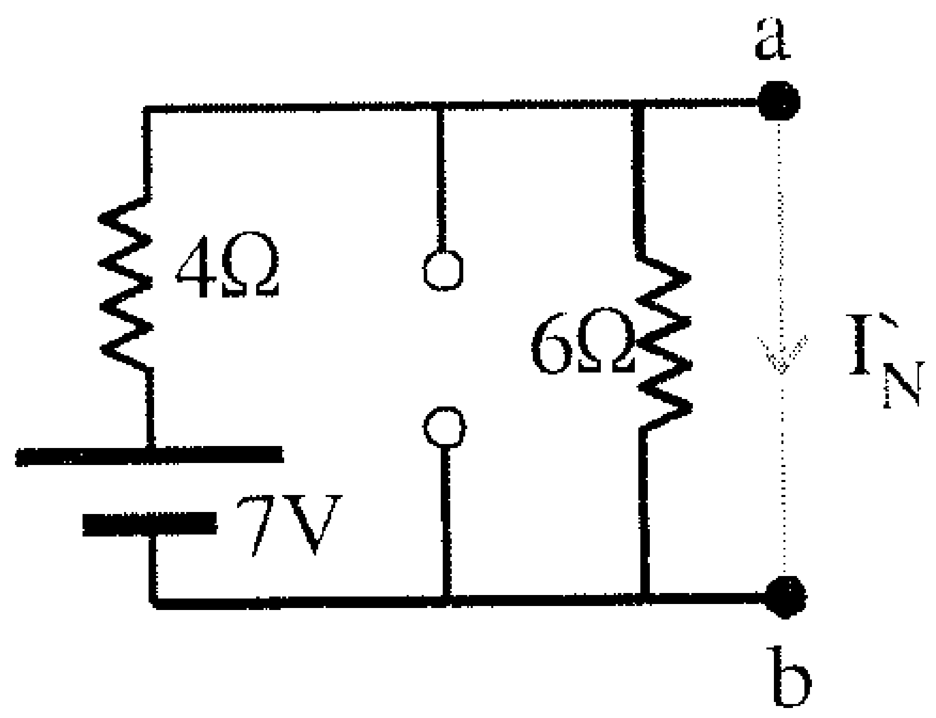


لإيجاد تيار نورتن نستخدم نظرية التراكيب وذلك لوجود مصدرين بالدائرة ($8A$) و($7V$) .

أولاً: تأثير مصدر الجهد ($7V$)

تيار نورتن تيار (Short) لذلك ألغي المقاومة 6Ω

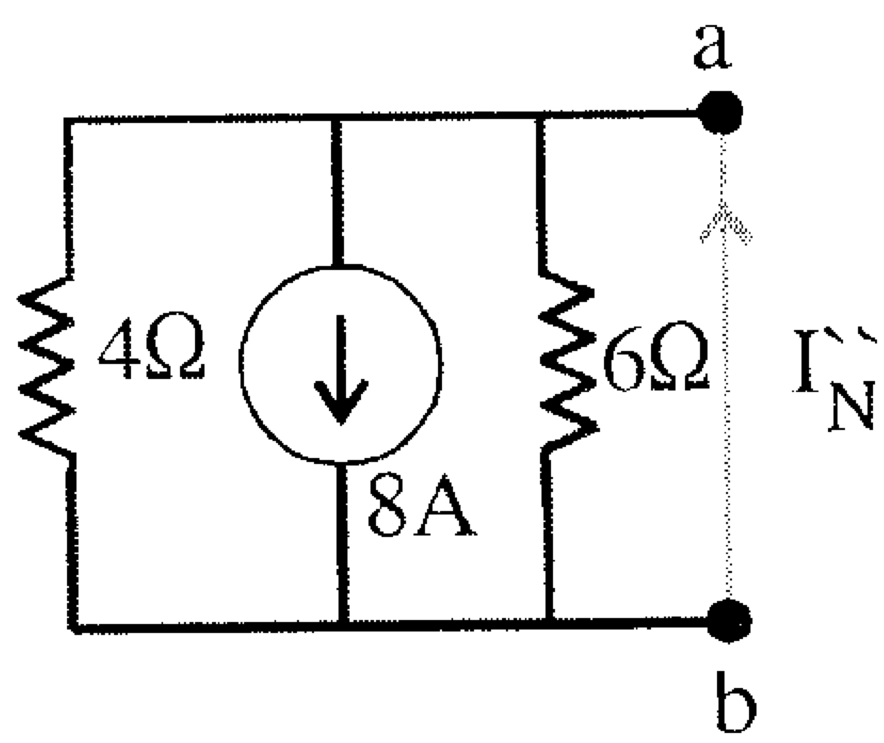
$$I'_N = \frac{7V}{4\Omega} = 1.75A \quad \downarrow$$



ثانياً: تأثير مصدر التيار $(8A)$

نلاحظ أن المقاومتين (6Ω و 4Ω)

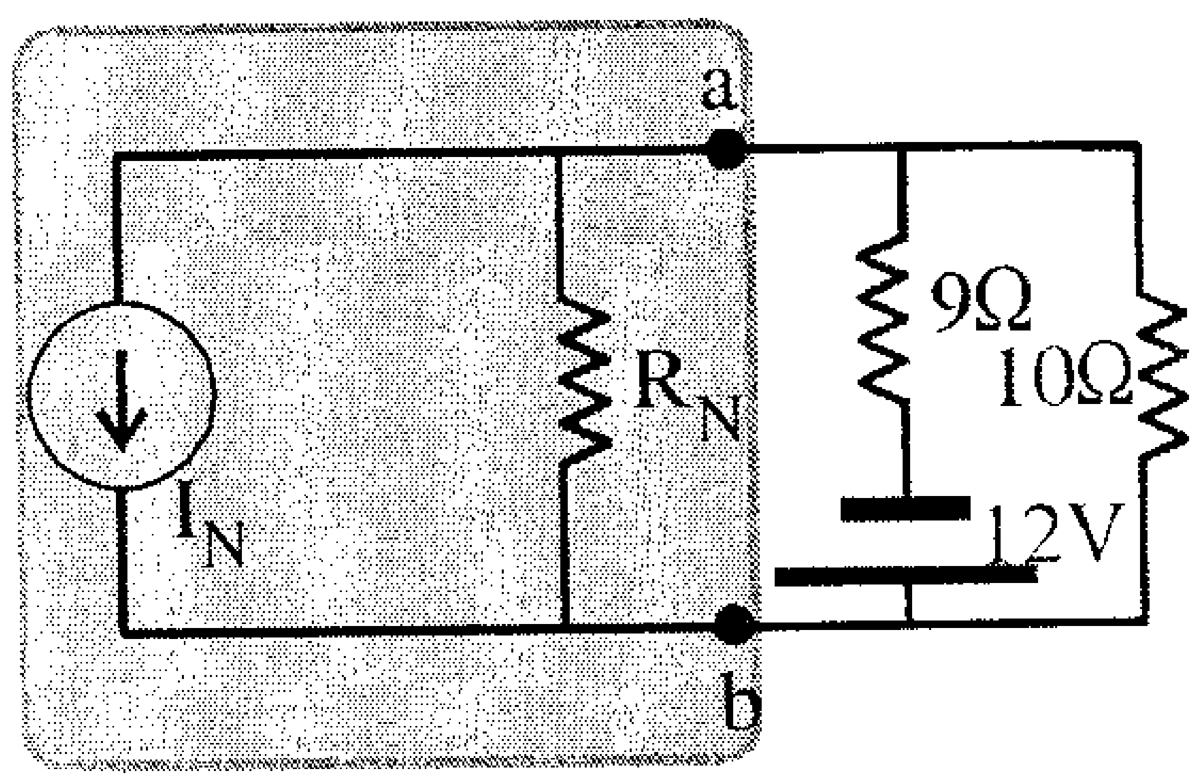
(Short Circuit) لأنهما على التوازي مع I''_N وهذا يعتبر توصيلاً مباشراً من مصدر التيار إلى a و b



$$\therefore \quad I''_N = 8A \quad \uparrow$$

$$\therefore \quad I_N = I''_N - I'_N$$

$$= 8A - 1.75A = 6.25A$$

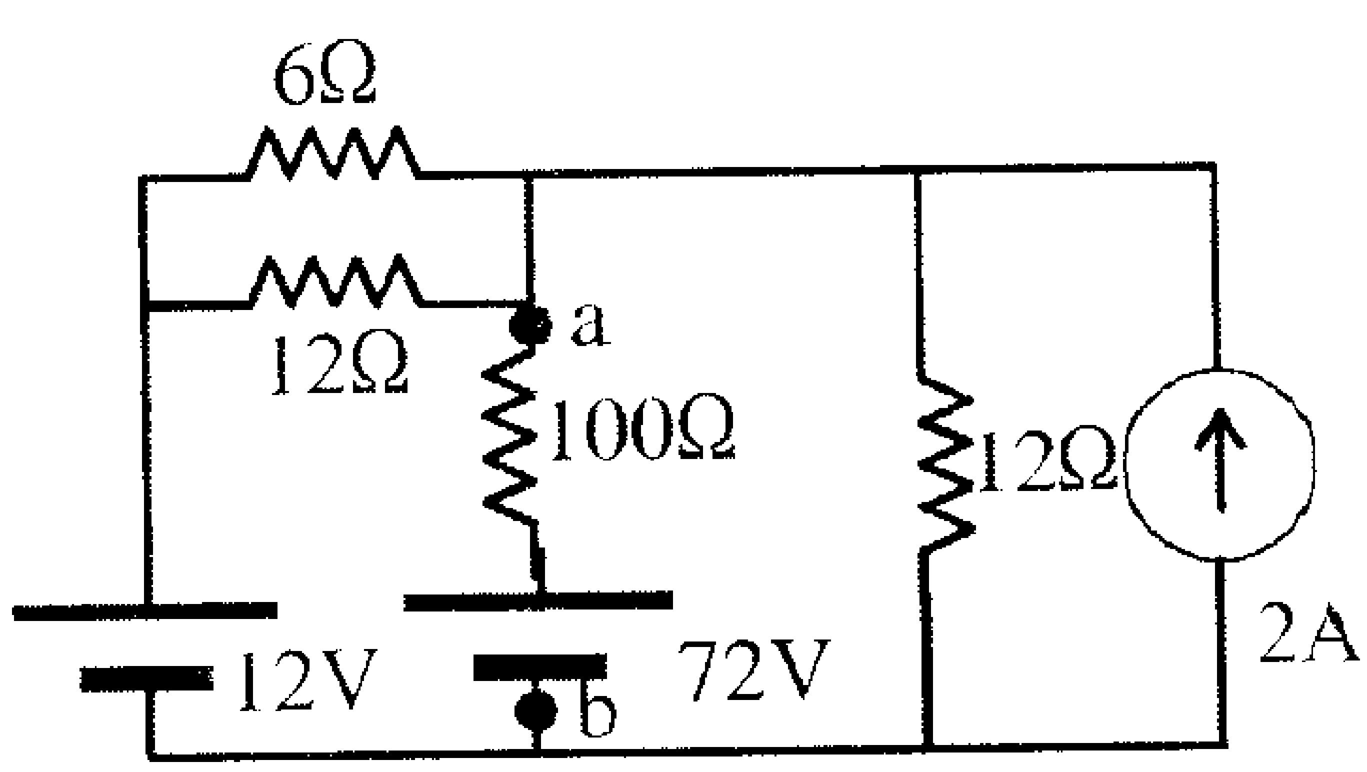


تم طرح التيارين لأنهما في اتجاهين متضادين

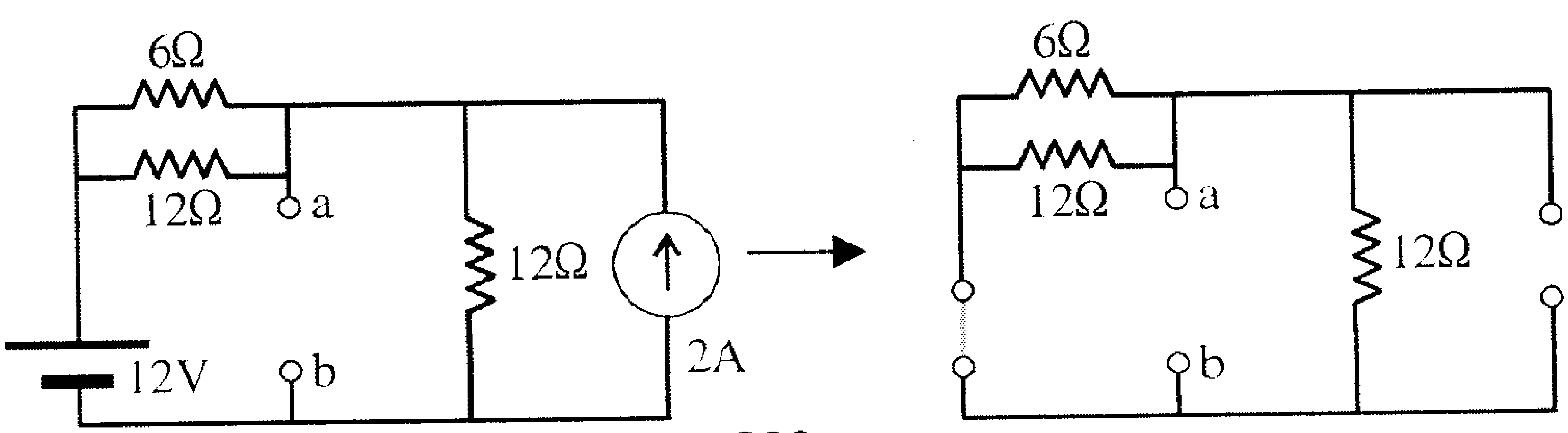
I'_N اتجاهه إلى أسفل

I''_N اتجاهه إلى أعلى

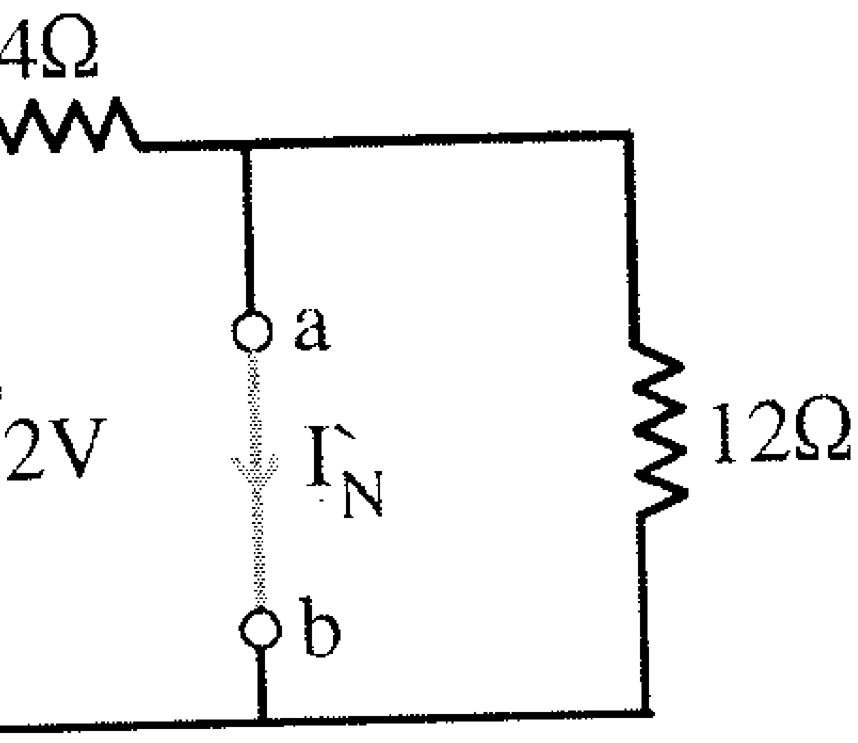
مثال16.6 أوجد دائرة نورتن المكافئة للدائرة بالشكل خارج النقطتين a و b .



الحـــل:



$$6\Omega \,//\, 12\Omega = 4\Omega$$



$$R_N = 4\Omega \,//12\Omega$$

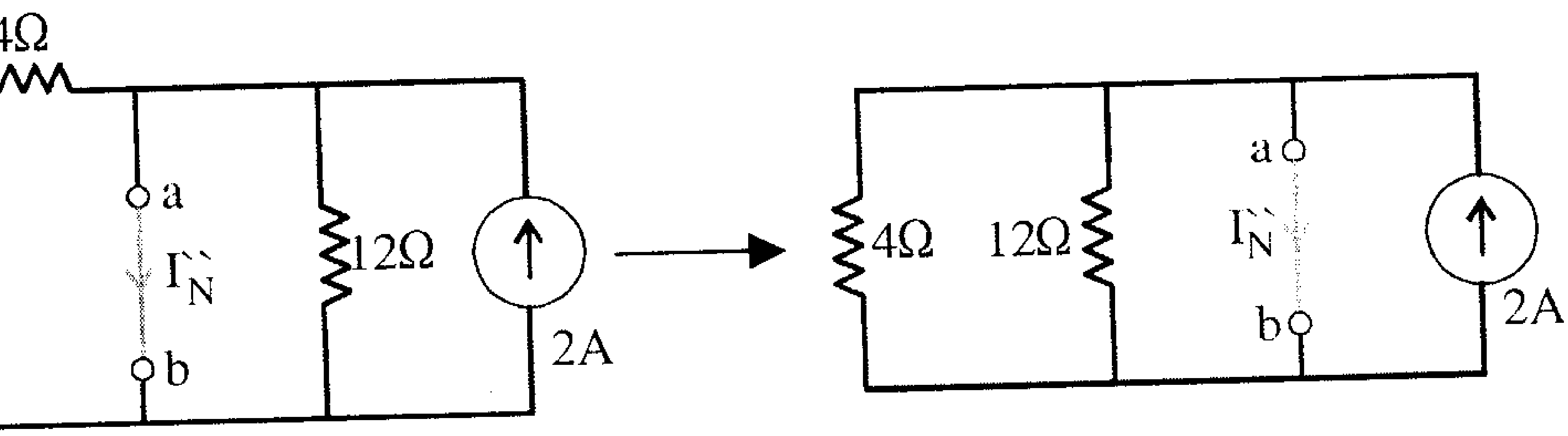
$$R_N = \frac{4\Omega \times 12\Omega}{4\Omega + 12\Omega} = \frac{48}{16} = 3\Omega$$

تأثير المصدر($12V$) :

$12\Omega \longrightarrow$ Short circuit

$$I_N^{`} = \frac{12V}{4\Omega} = 3A \quad \downarrow$$

تأثير المصدر($2A$) :

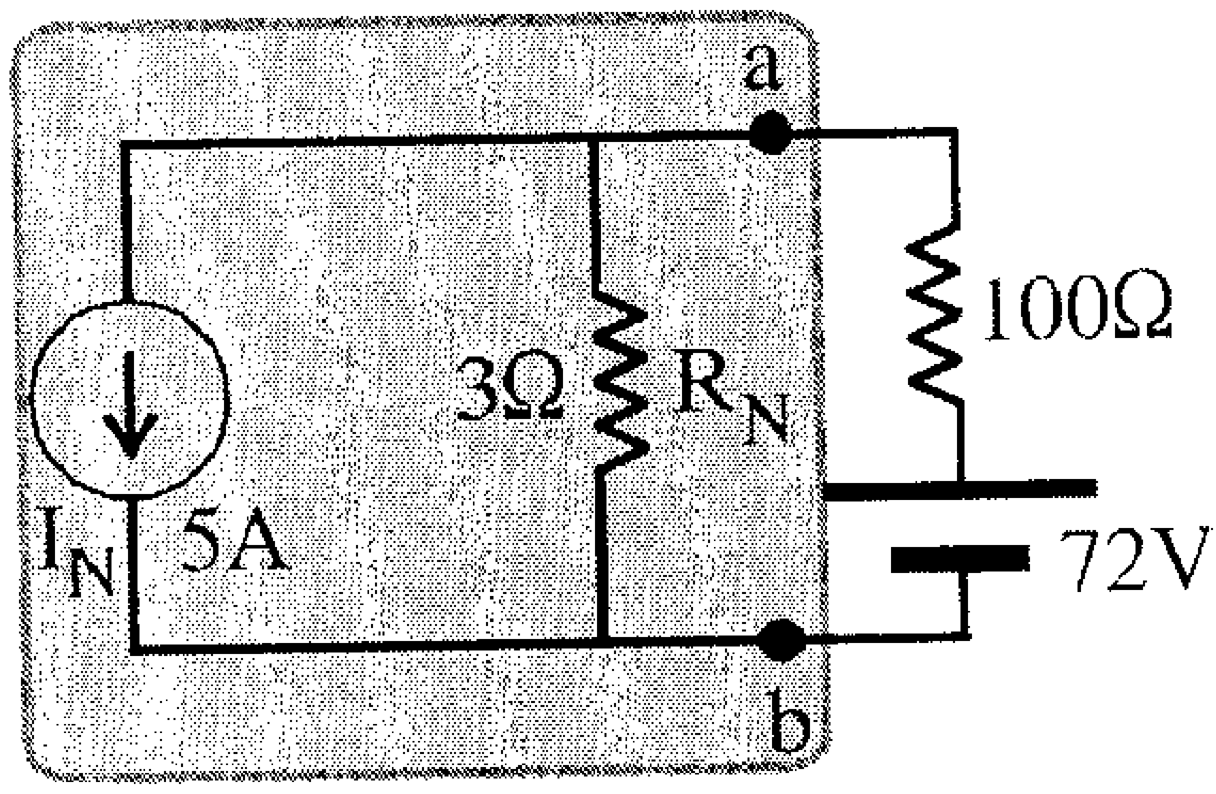


تلغى المقاومتان 12Ωو4Ω لأنهما (Short Circuit)

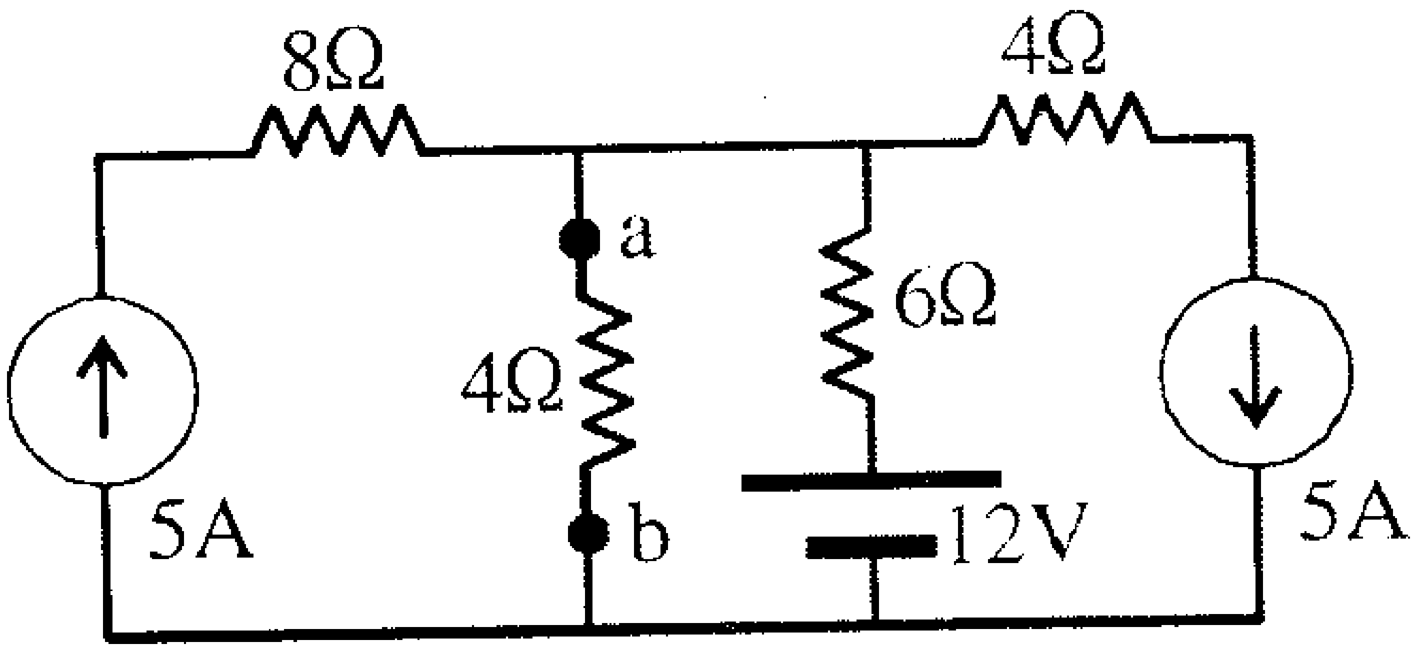
$$I_N^{``} = 2A \quad \downarrow$$

$$I_N = I_N^{`} + I_N^{``} = 3A + 2A = 5A$$

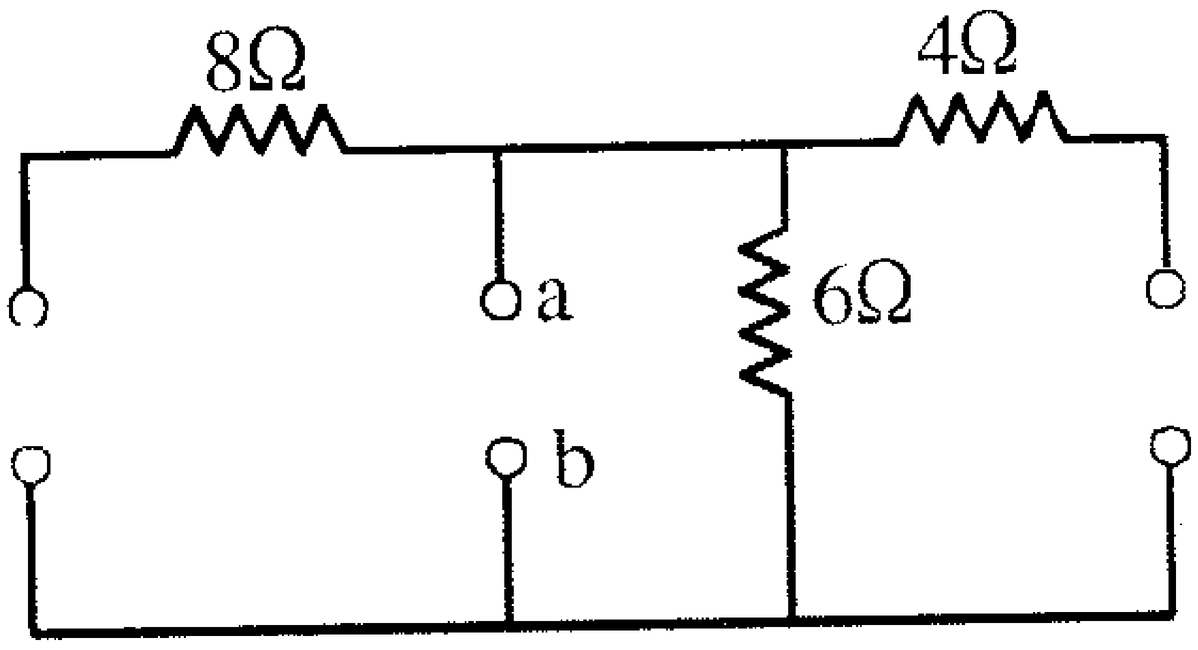
تم جمع I_N'' و I_N' لأنهما في نفس الاتجاه



مثال17.6 أوجد دائرة نورتن المكافئة للدائرة بالشكل خارج النقطتين a و b.



الحـــل:



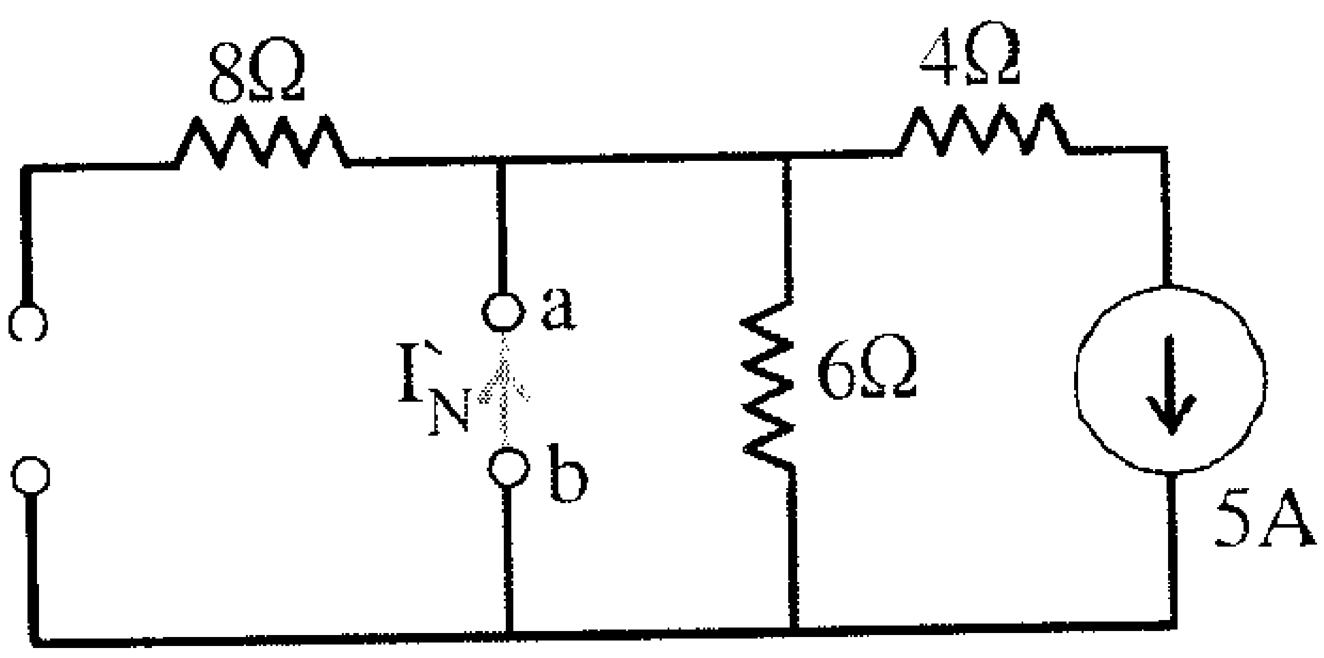
لإيجاد (R_N) نحذف جميع المصادر

تلغى المقاومتان 4Ω و8Ω (Open circuit)

$\therefore \quad R_N = 6\Omega$

لإيجاد (I_N) :

أولاً: تأثير المصدر (5A) بالطرف الأيمن للدائرة:

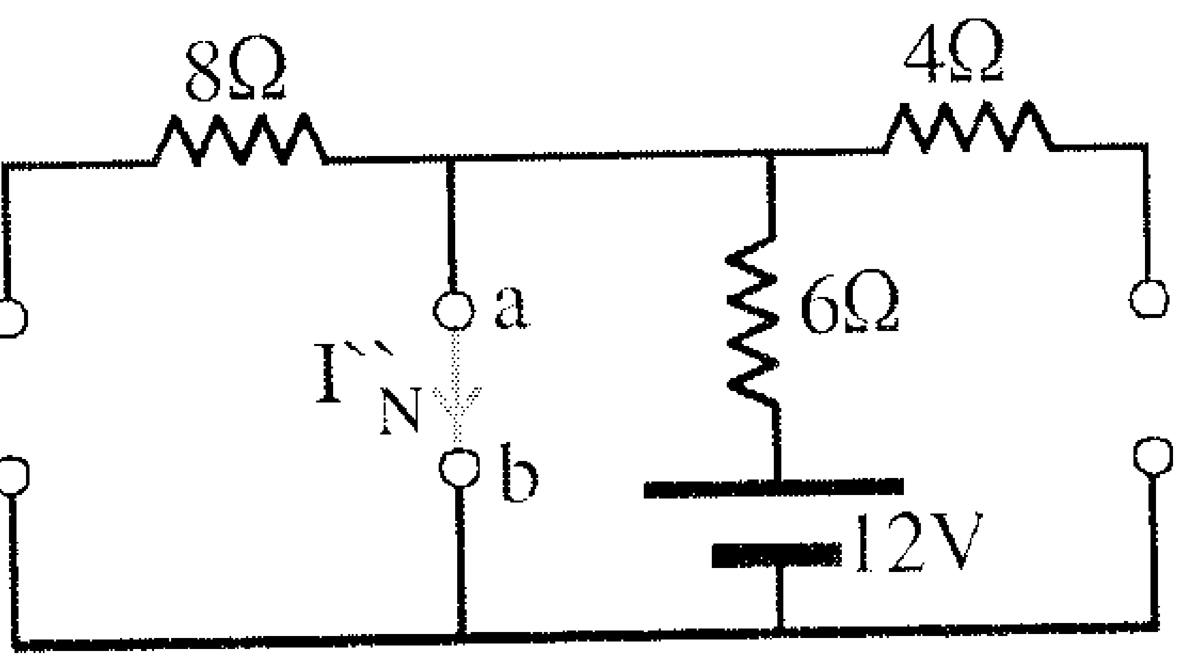


6Ω Short Circuit

8Ω Open Circuit

$\therefore \; I_N' = 5A \uparrow$

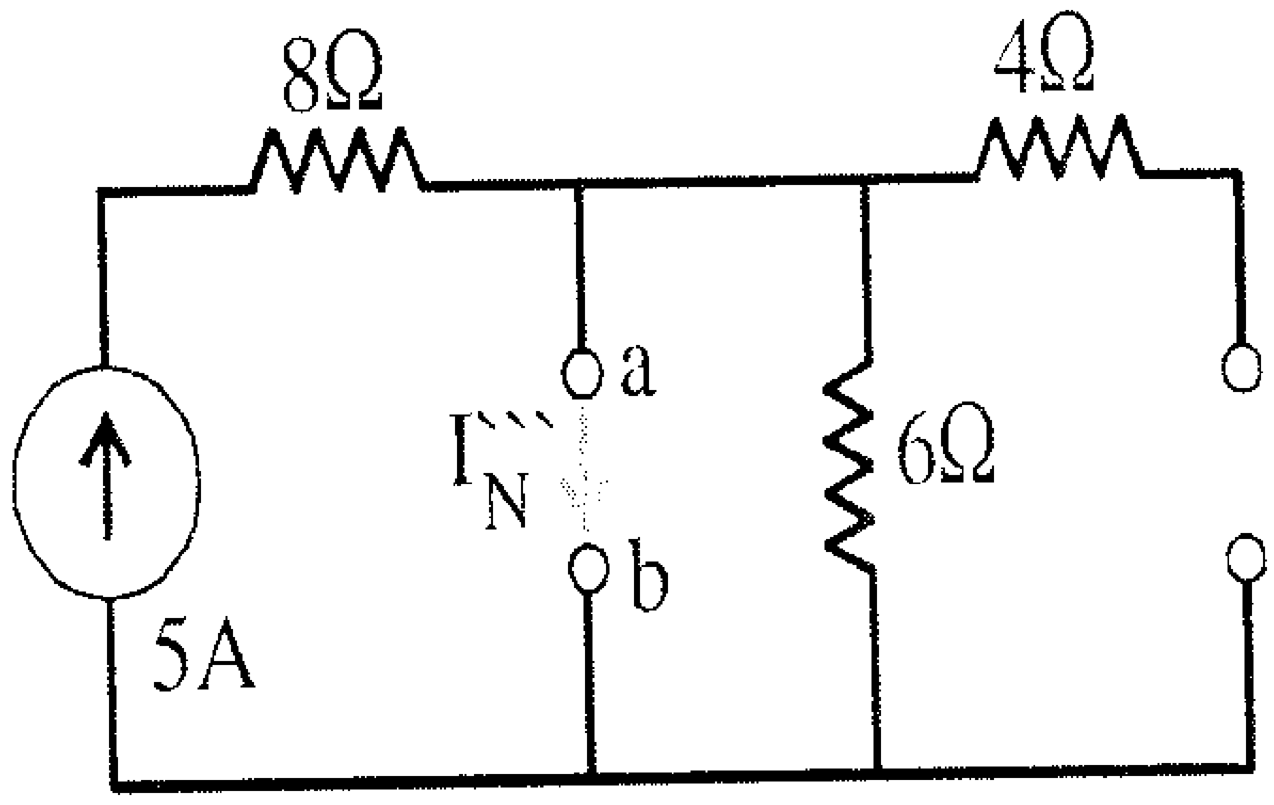
ثانياً: تأثير المصدر ($12V$) :



4Ω , 8Ω Open Circuit

$$I_N'' = \frac{12V}{6\Omega} = 2A \downarrow$$

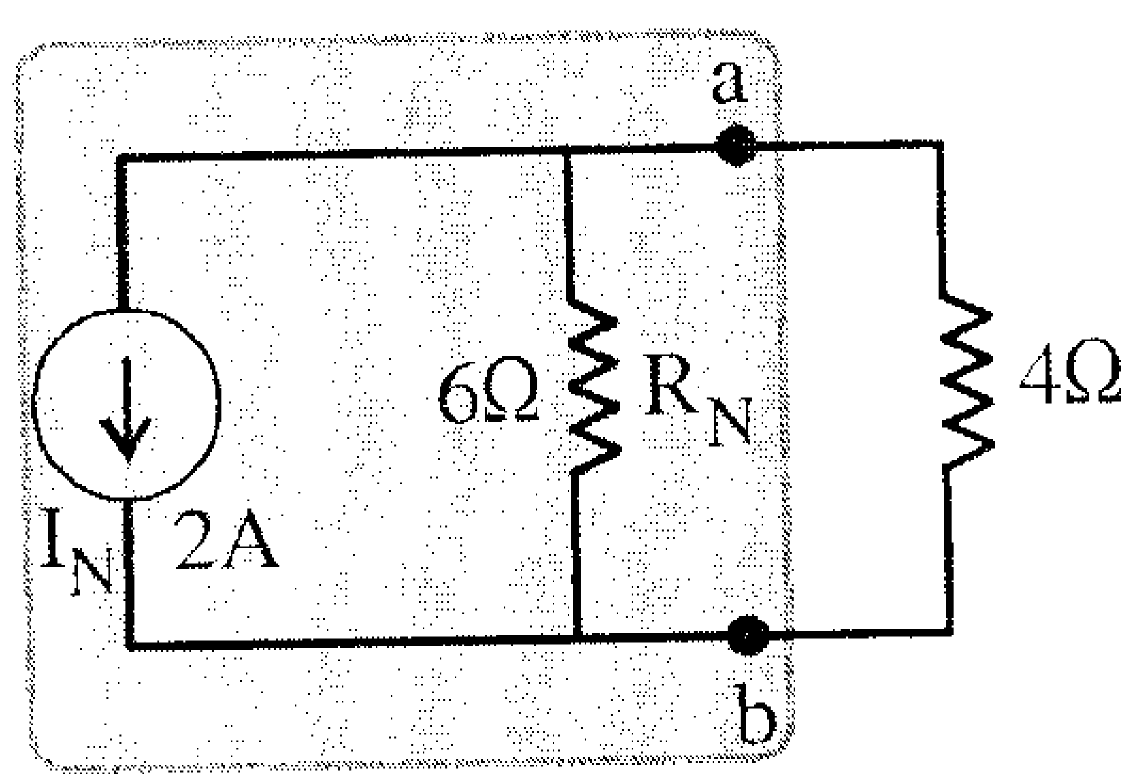
ثالثاً: تأثير المصدر ($5A$) بالطرف الأيسر للدائرة:



4Ω Open Circuit
6Ω Short Circuit

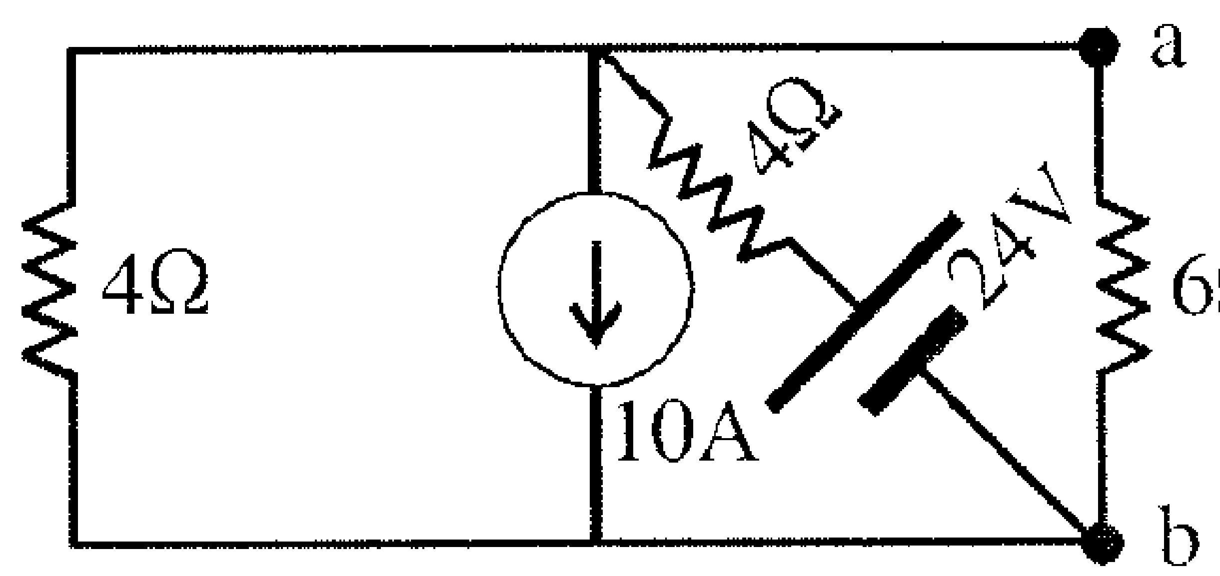
$$I_N''' = 5A \downarrow$$

$$I_N = I_N'' + I_N''' - I_N' = 2A + 5A - 5A = 2A \downarrow$$

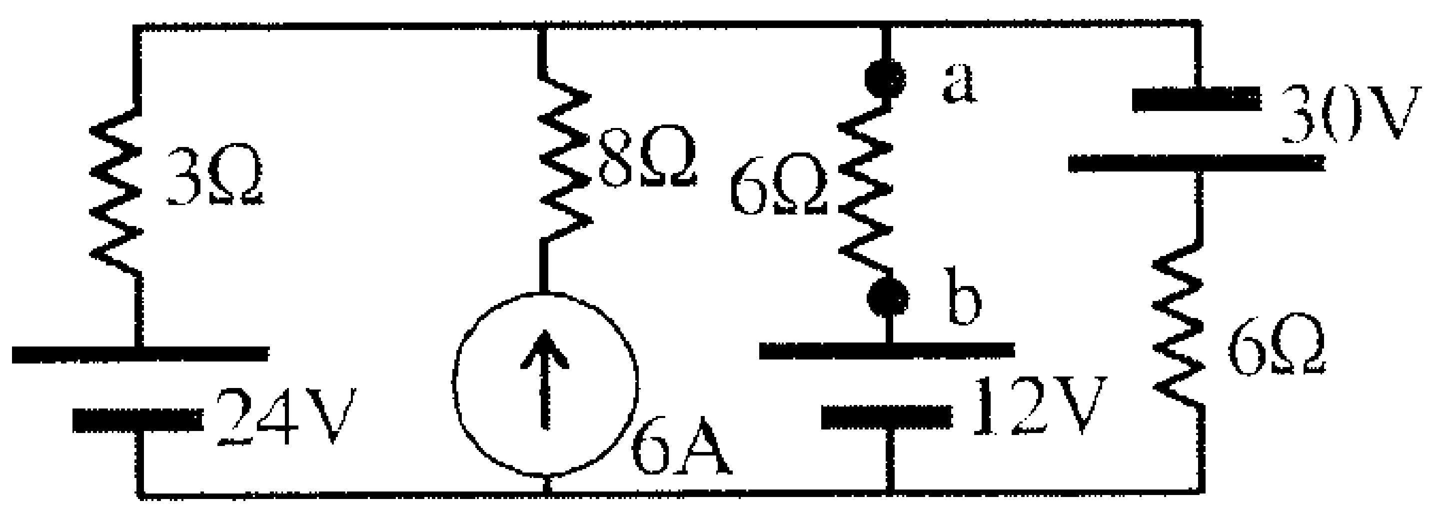


6.6 مسائل عن نظرية نورتن

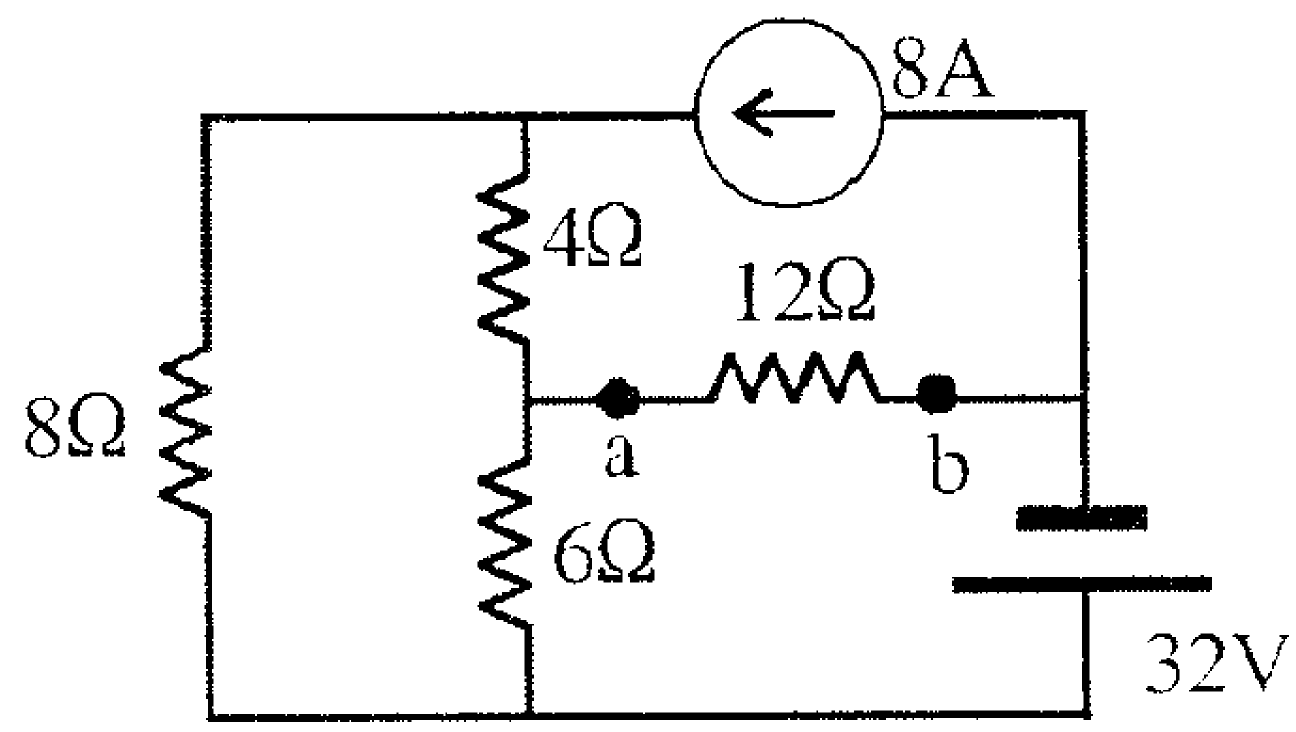
(1) أوجد دائرة نورتن المكافئة خارج النقطتين a و b .



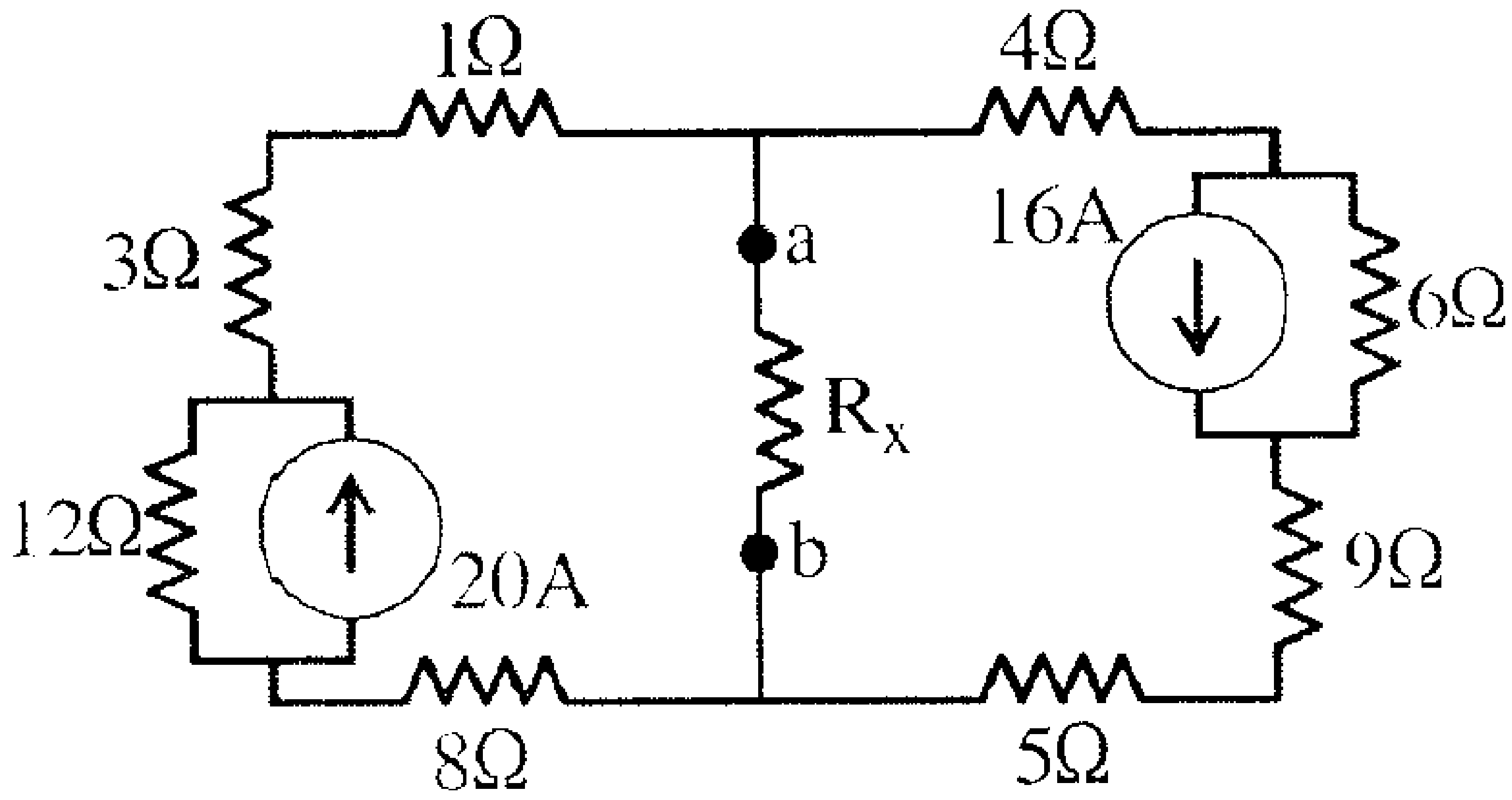
(2) أوجد دائرة نورتن المكافئة خارج النقطتين a و b .



(3) احسب التيار المار في المقاومة (12Ω) باستخدام نظرية نورتن .



(4) باستخدام نظرية نورتن أوجد التيار المار في الفرعين a و b .

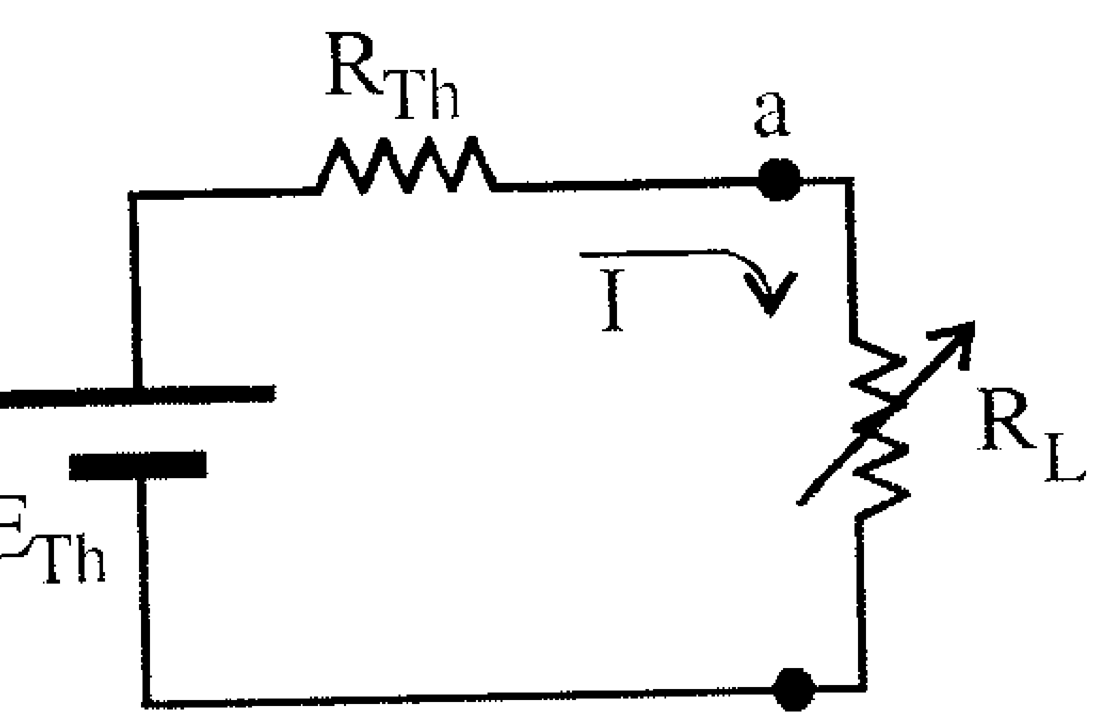


7.6 نظرية انتقال أقصى قدرة Maximum Power Transfer Theorem

تعريف: عندما تكون مقاومة الحمل (Load Resistance) في دائرة كهربائية ذات تيار مستمر مساوية لقيمة مقاومة ثيفنين ففي هذه الحالة تتم عملية انتقال أقصى قدرة إلى الحمل.

$$R_L = R_{Th} \quad ; \quad R_L = R_N$$

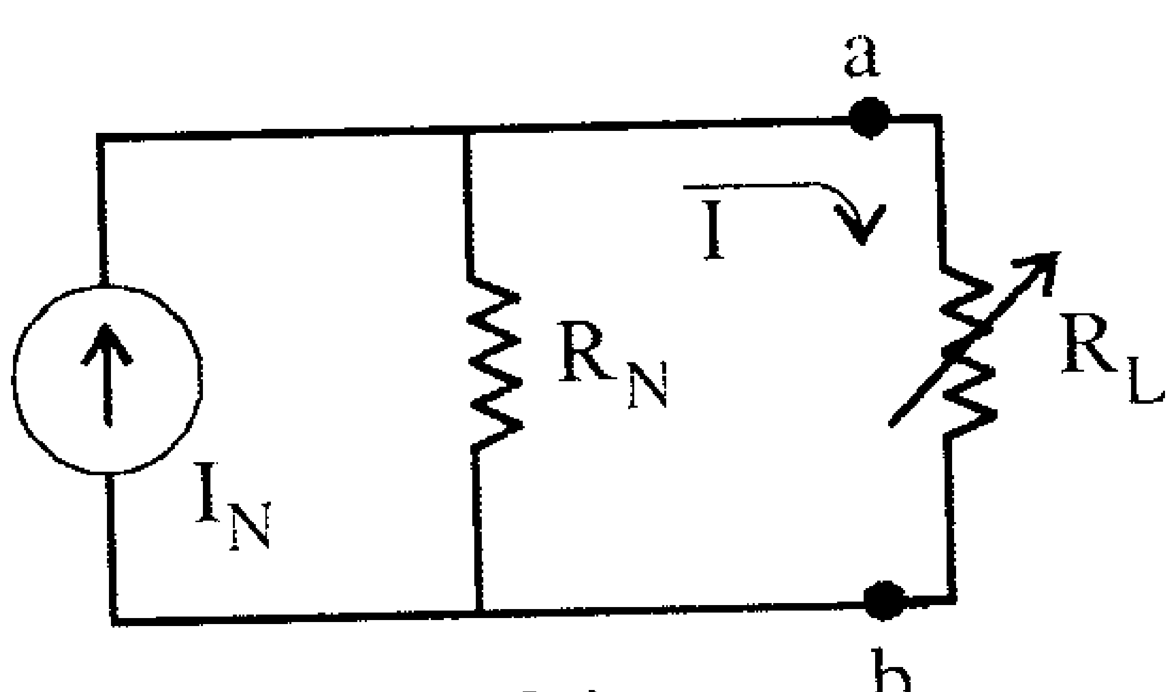
$$R_{Th} = R_N$$



(1)

في الدائرة بالشكل (1) يكون انتقال أقصى قدرة عندما يتحقق

$$R_L = R_{Th}$$



(2)

وكذلك الحال في دائرة نورتن في الشكل (2) يتحقق انتقال أقصى قدرة إلى مقاومة الحمل R_L عندما تكون

$$R_L = R_N$$

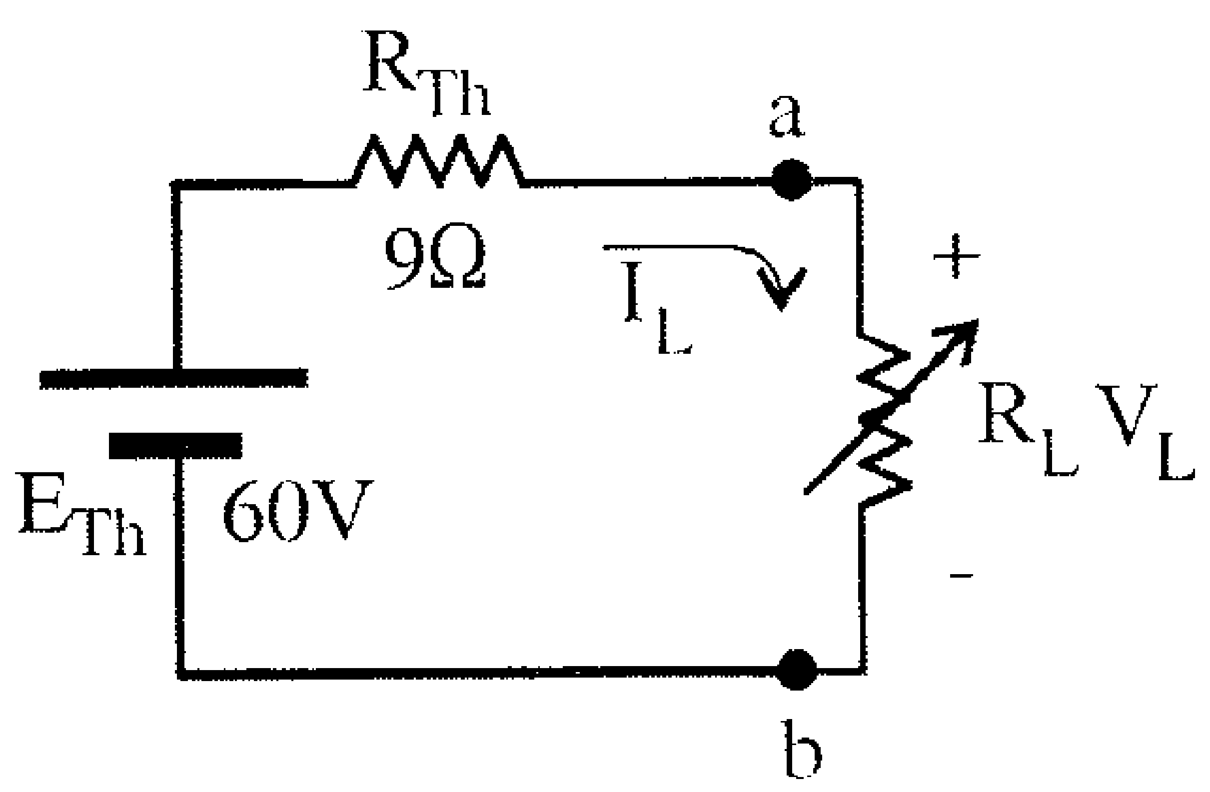
من الدائرة في الشكل (1)

$$I = \frac{E_{Th}}{R_{Th} + R_L}$$

$$P_L = I^2 R_L = \left(\frac{E_{Th}}{R_{Th} + R_L} \right)^2 R_L$$

ومنها:

$$P_L = \frac{E_{Th}^2 \, R_L}{(R_{Th} + R_L)^2}$$



مثال18.6 احسب القدرة المستهلكة في مقاومة الحمل (R_L) وكذلك الجهد (V_L) والتيار (I_L).

الحـــل:

يمكن حساب القدرة المستهلكة في مقاومة الحمل R_L على النحو التالي:

القدرة
$$P_L = \frac{E_{Th}^2 \, R_L}{(R_{Th} + R_L)^2} = \frac{(60)^2 \, R_L}{(9\Omega + R_L)^2}$$

التيار
$$I_L = \frac{E_{Th}}{R_{Th} + R_L} = \frac{60V}{9\Omega + R_L}$$

الجهد
$$V_L = \frac{R_L \, E_{Th}}{R_{Th} + R_L} = \frac{R_L \, (60V)}{9\Omega + R_L}$$

بمعلومية المعادلات الثلاث السابقة ،وبإعطاء قيم مختلفة لمقاومة الحمل (R_L) من (0.1Ω) إلى (1000Ω) يمكن حساب كل من P_Lو I_L وV_L كما في الجدول التالي:

$R_L(\Omega)$	$P_L(W)$	$I_L(A)$	$V_L(V)$	ملاحظات
0.1	4.35	6.59	0.66	
0.5	19.94	6.32	3.16	
1	36.00	6.00	6.00	
3	75.00	5.00	15.00	
4	85.21	4.62	18.46	
7	98.44	3.75	26.25	
9	100.00	3.33	30.00	أقصى قيمة للقدرة عند $R_{Th} = R_L$
13	96.69	2.73	35.46	
15	93.75	2.50	37.50	
17	90.53	2.31	39.23	
19	87.24	2.14	40.71	
25	77.86	1.77	44.12	
30	71.00	1.54	46.15	
40	59.98	1.22	48.98	
100	30.30	0.55	55.05	
500	6.95	0.12	58.94	
1000	3.54	0.06	59.47	أدنى قيمة للقدرة

من الجدول نلاحظ أن القدرة تزداد مع زيادة قيمة (R_L) حتى تصل أقصى قيمة لها عندما تكون ($R_L = R_{Th}$) أي عند (9Ω)، بعدها تبدأ من جديد في التناقص حتى تصل أدنى قيمة لها عند ($R_L = 1000\Omega$) .

أما التيار I_L فيتناقص خطياً مع زيادة (R_L) (علاقة تناسب عكسي).

والجهد V_L يتزايد خطياً مع الزيادة (R_L) (علاقة تناسب طردي).

وبهذه العمليات الحسابية نثبت أن انتقال أقصى قدرة إلى مقاومة الحمل يحدث عندما تكون :

$$R_{Th} = R_L$$

إذاً الحصول على أقصى قدرة لمقاومة الحمل يحدث عندما تكون:

$$R_{Th} = R_L$$

ومنها يمكن حساب التيار:

$$I = \frac{E_{Th}}{R_{Th} + R_L} = \frac{E_{Th}}{R_{Th} + R_{Th}} = \frac{E_{Th}}{2R_{Th}}$$

وتكون أقصى قدرة لمقاومة الحمل:

$$P_{L\,Max.} = I^2 R_L = \frac{E_{Th}^2 R_{Th}}{(2R_{Th})^2} = \frac{E_{Th}^2}{4R_{Th}}$$

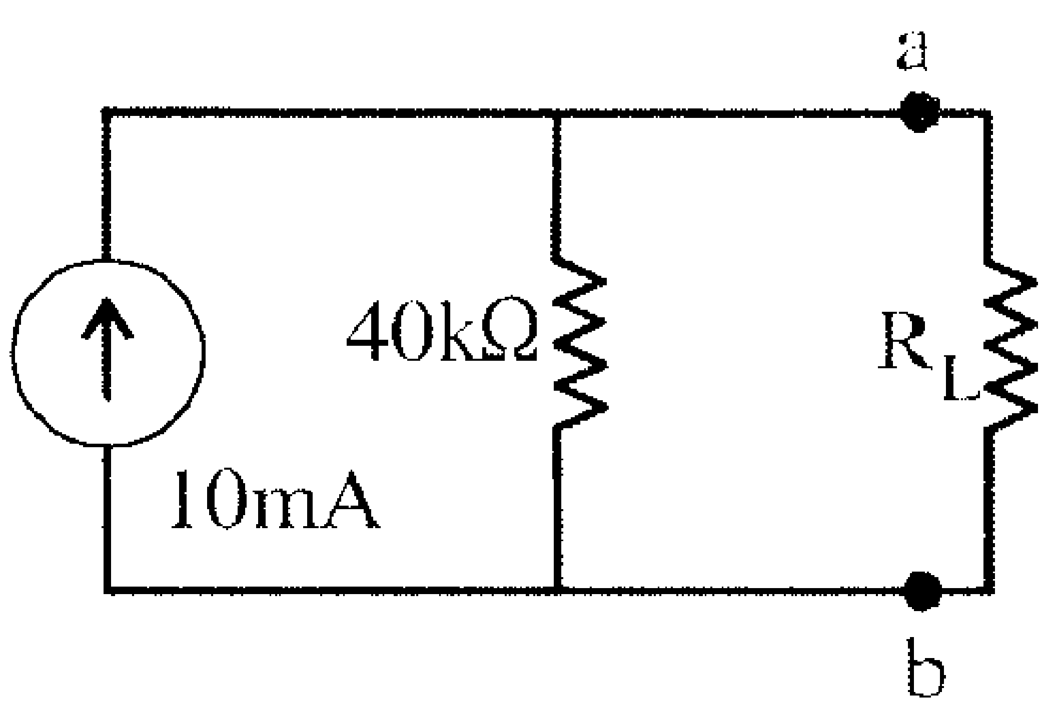
أما بالنسبة لدائرة نورتن وباعتبار أن

$E_{Th} = I_N R_n$ و $R_N = R_{Th}$

يمكن حساب أقصى قدرة لمقاومة الحمل:

$$P_{L\,Max.} = \frac{E_{Th}^2}{4R_{Th}} = \frac{I_N^2 R_N^2}{4R_N} = \frac{I_N^2 R_N}{4}$$

مثال19.6 أوجد قيمة R_L التي تحقق انتقال أقصى قدرة ثم احسب القدرة القصوى لـ R_L .



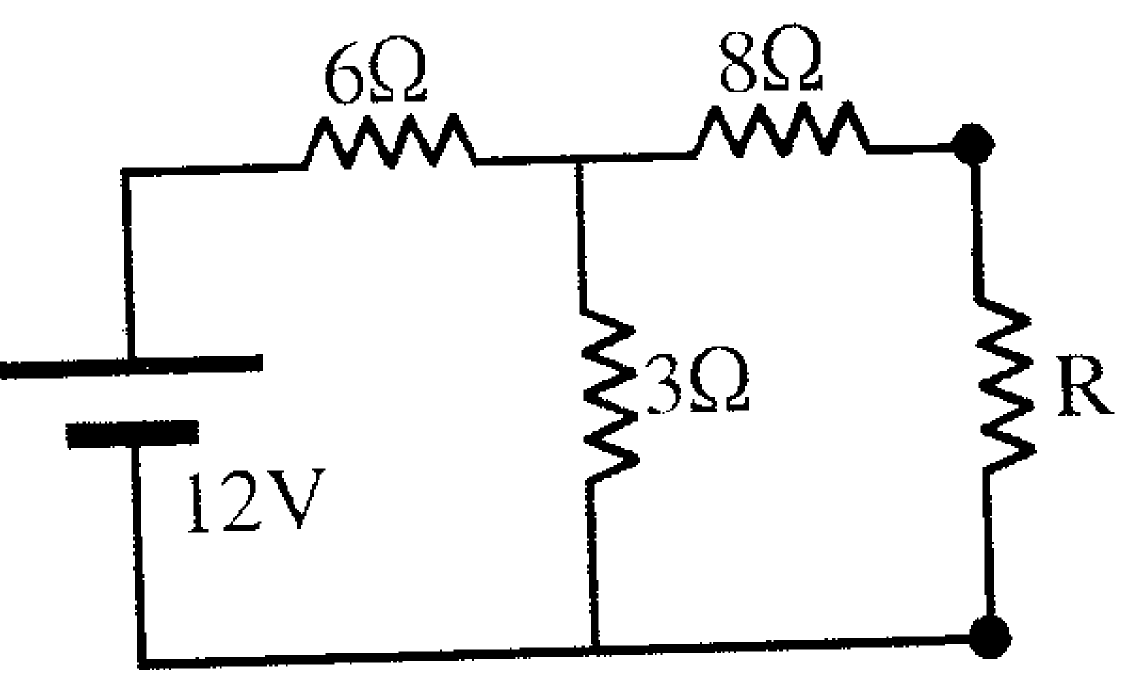
الحـــل:

دائرة نورتن بالشكل ، فيها $R_N = 40k\Omega$, $I_N = 10mA$

وللحصول على أقصى قدرة فإن $R_L = R_N$

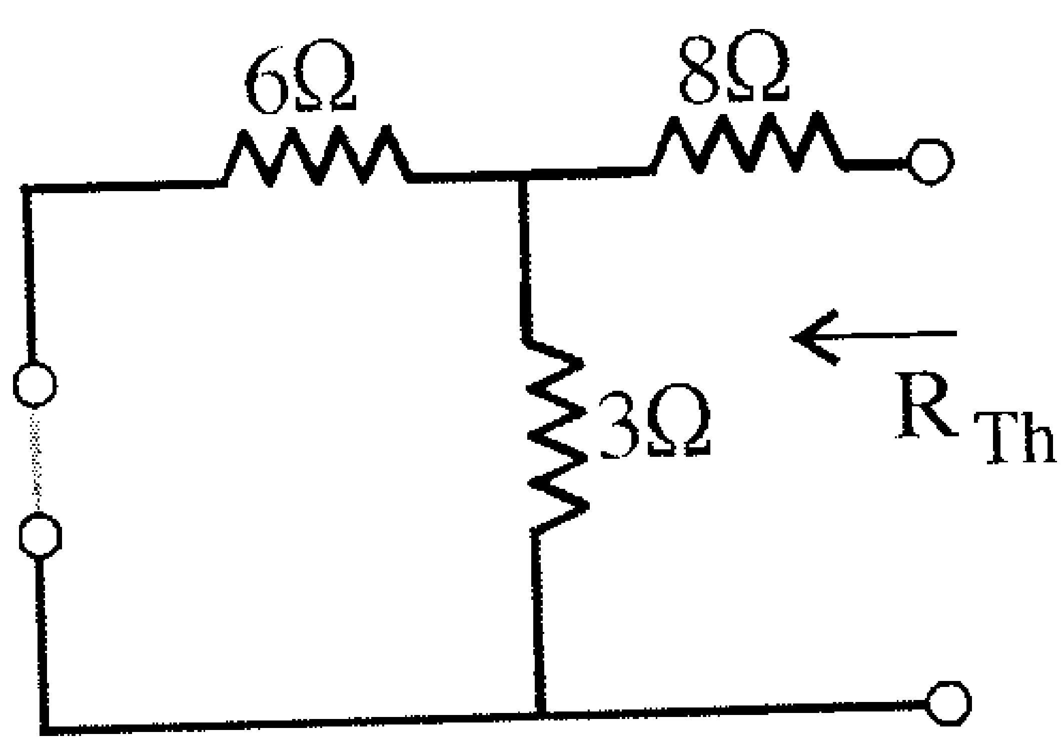
$$\therefore R_L = R_N = 40k\Omega$$

$$P_{L\,Max.} = \frac{I_N^2\, R_N}{4} = \frac{(10\times10^{-3}\ A)^2\,(40\times10^3\,\Omega)}{4} = 1W$$



مثال20.6 أوجد قيمة المقاومة R التي تحقق انتقال أقصى قدرة ثم احسب القدرة الناتجة.

الحـــل:

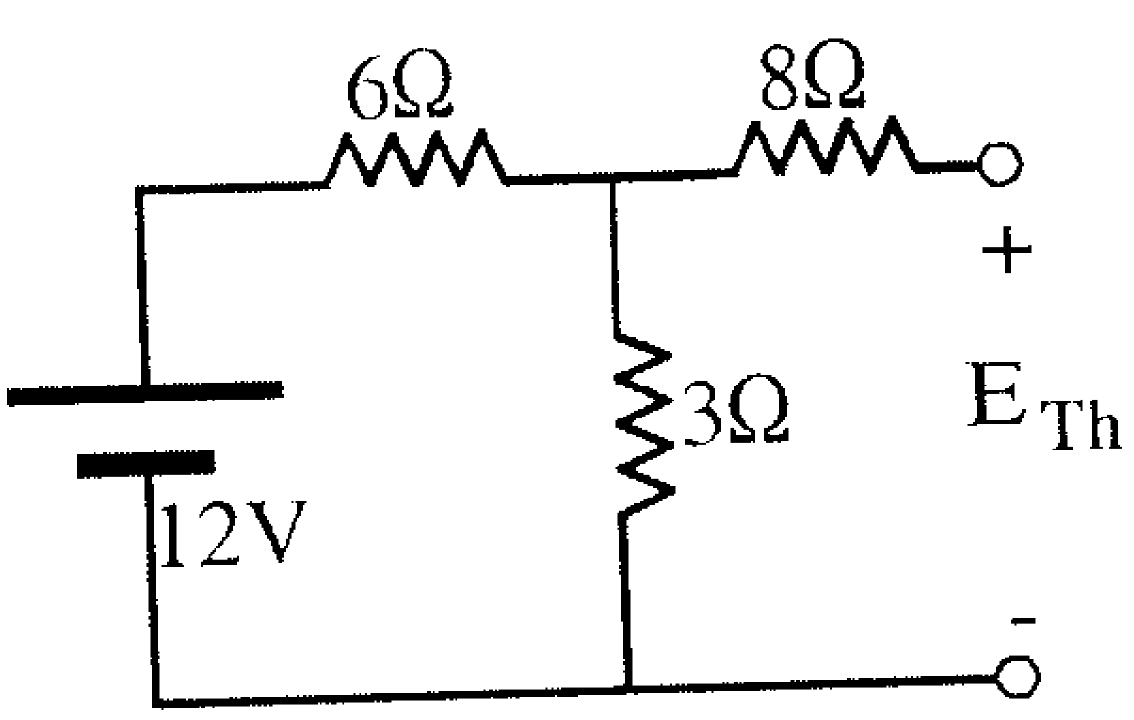


أولاً: يجب إيجاد R_{Th} , E_{Th}

$$6\Omega\ //\ 3\Omega\ = 2\Omega$$

$$R_{Th} = 8\Omega + 2\Omega = 10\Omega$$

بالتوازي $V_{3\Omega} = E_{Th}$ باستخدام قانون مجزئ الجهد

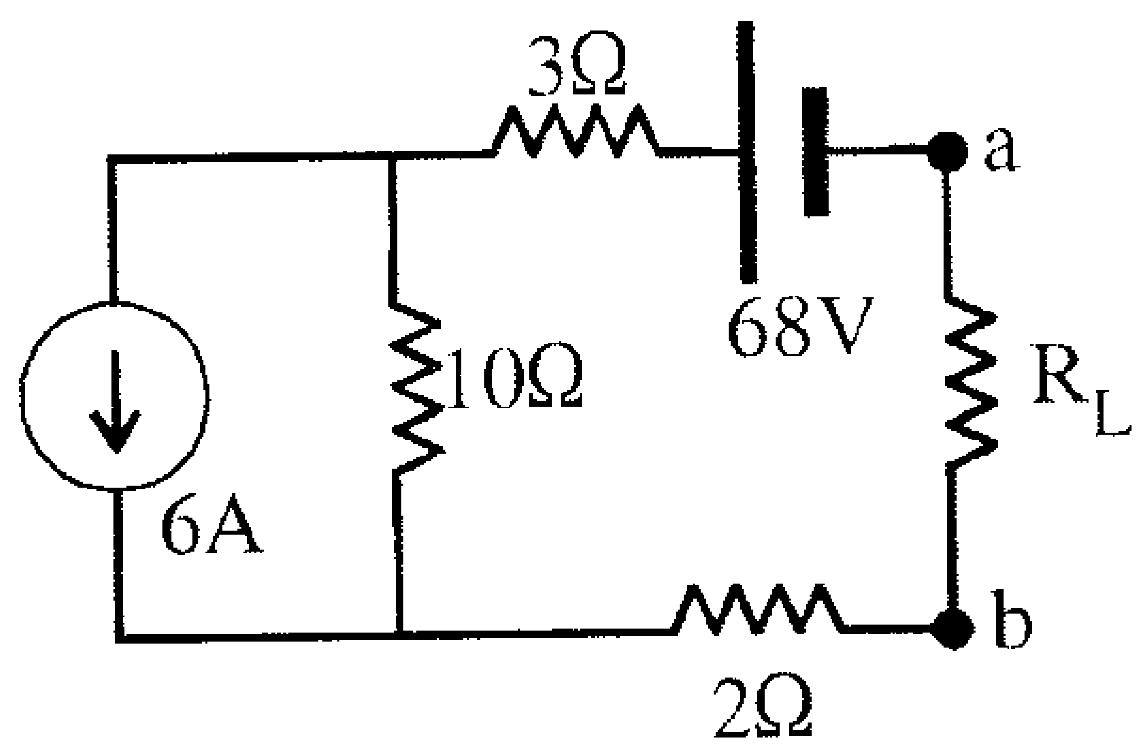


$$E_{Th} = \frac{(12V)\,(3\Omega)}{3\Omega + 6\Omega} = \frac{36}{9} = 4V$$

لانتقال أقصى قدرة يجب أن تكون

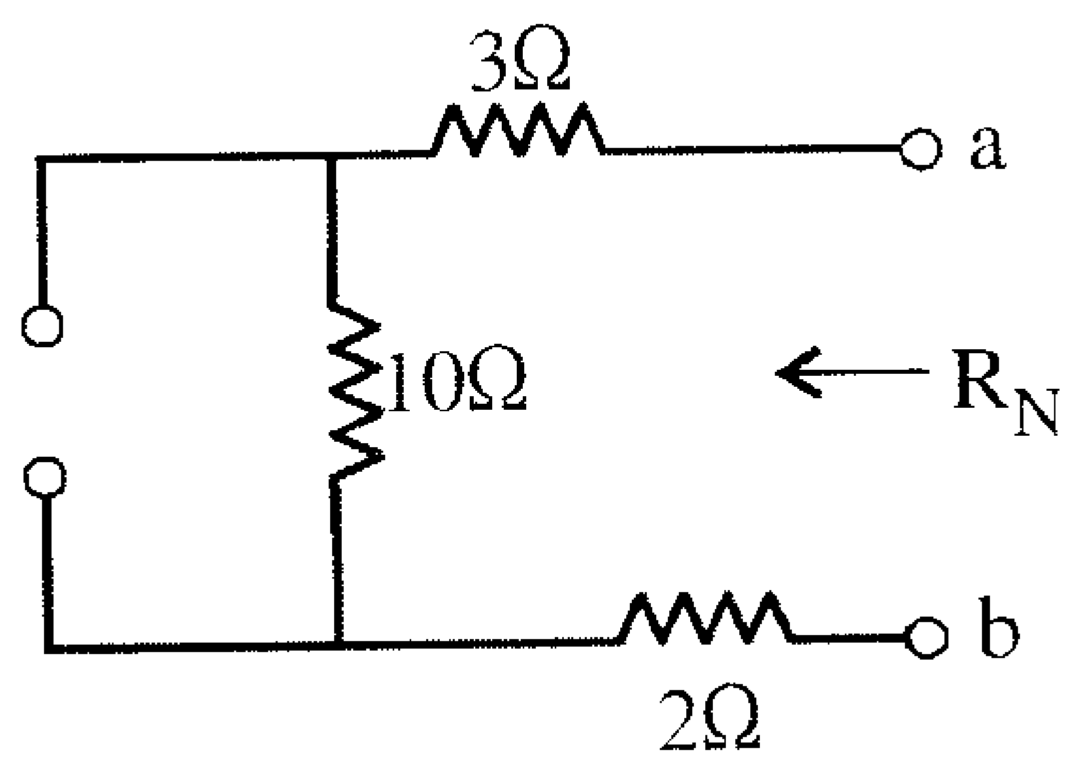
$$R_L = R_{Th} = 10\Omega$$

$$P_{L\,Max.}=\frac{E_{Th}^2}{4\,R_{Th}}=\frac{(4)^2}{4(10)}=\frac{16}{40}=0.4W$$



مثال21.6 أوجد قيمة R_L التي تحقق أقصى قدرة واحسب قيمة هذه القدرة.

الحـــل:

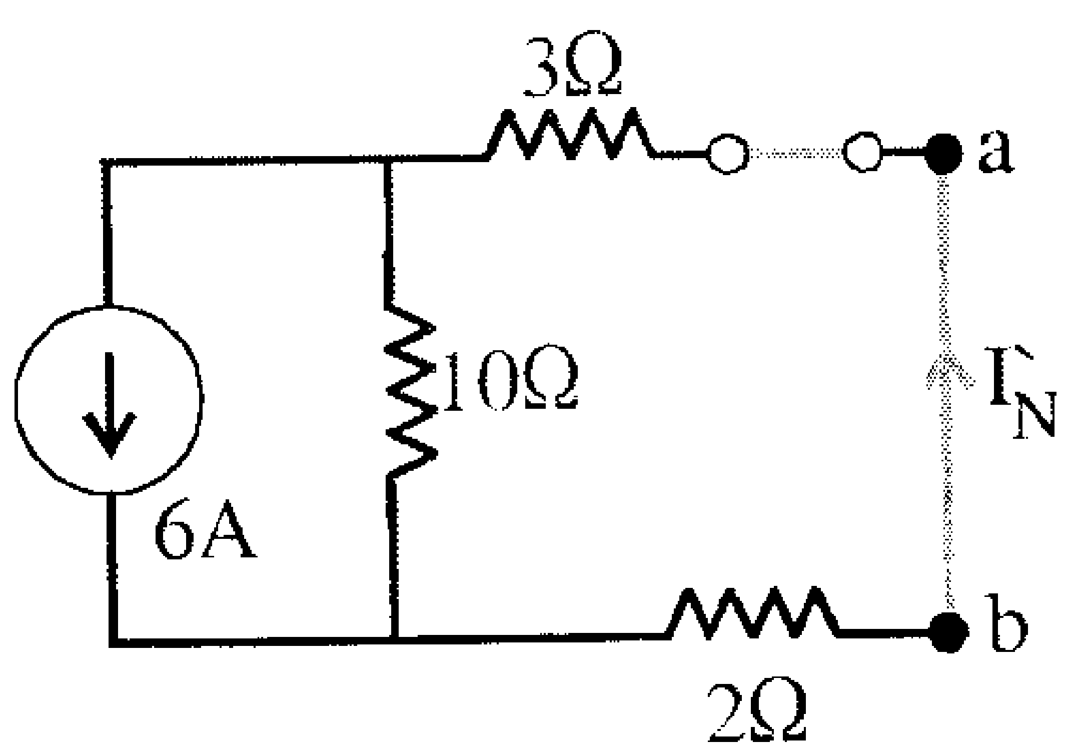


يمكن استخدام نظرية نورتن أو نظرية ثيفنين لإيجاد الحل، فباستخدام نظرية نورتن يكون الحل كالتالي:

$$R_N = 3\Omega + 10\Omega + 2\Omega = 15\Omega$$

$$R_L = R_N = 15\Omega$$

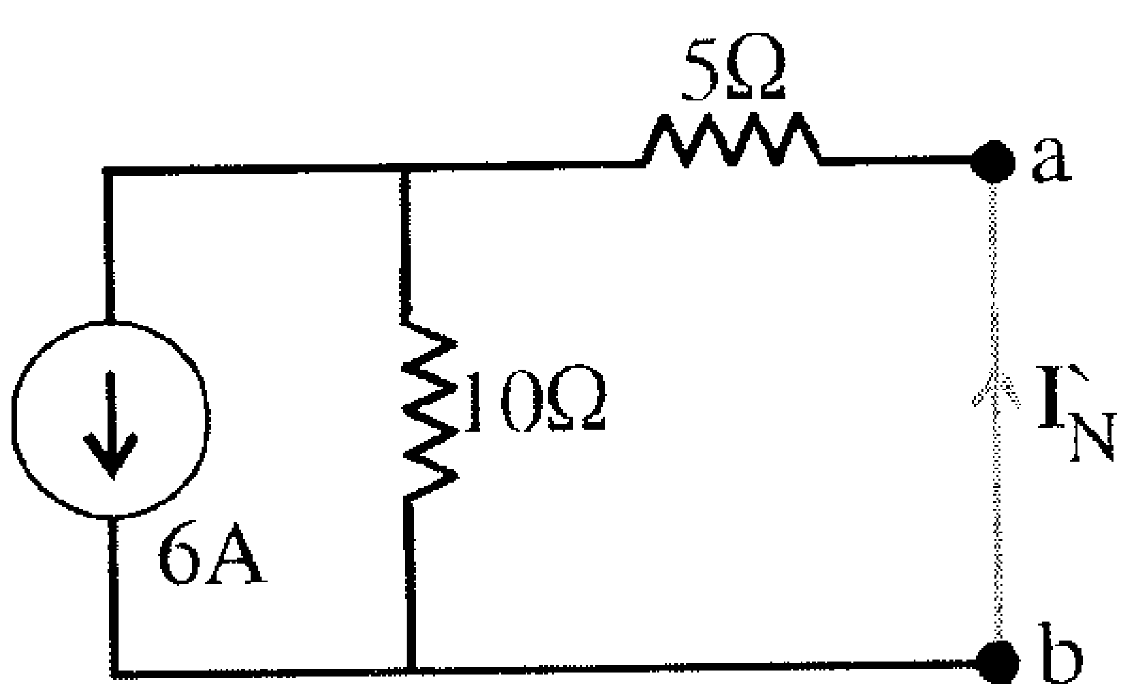
لإيجاد I_N تكون الخطوات كالتالي:



1- تأثير مصدر التيار (6A)

باستخدام مجزئ التيار

$$I'_N=\frac{(6A)\,(10\Omega)}{10\Omega+5\Omega}=\frac{60}{15}=4A \uparrow$$

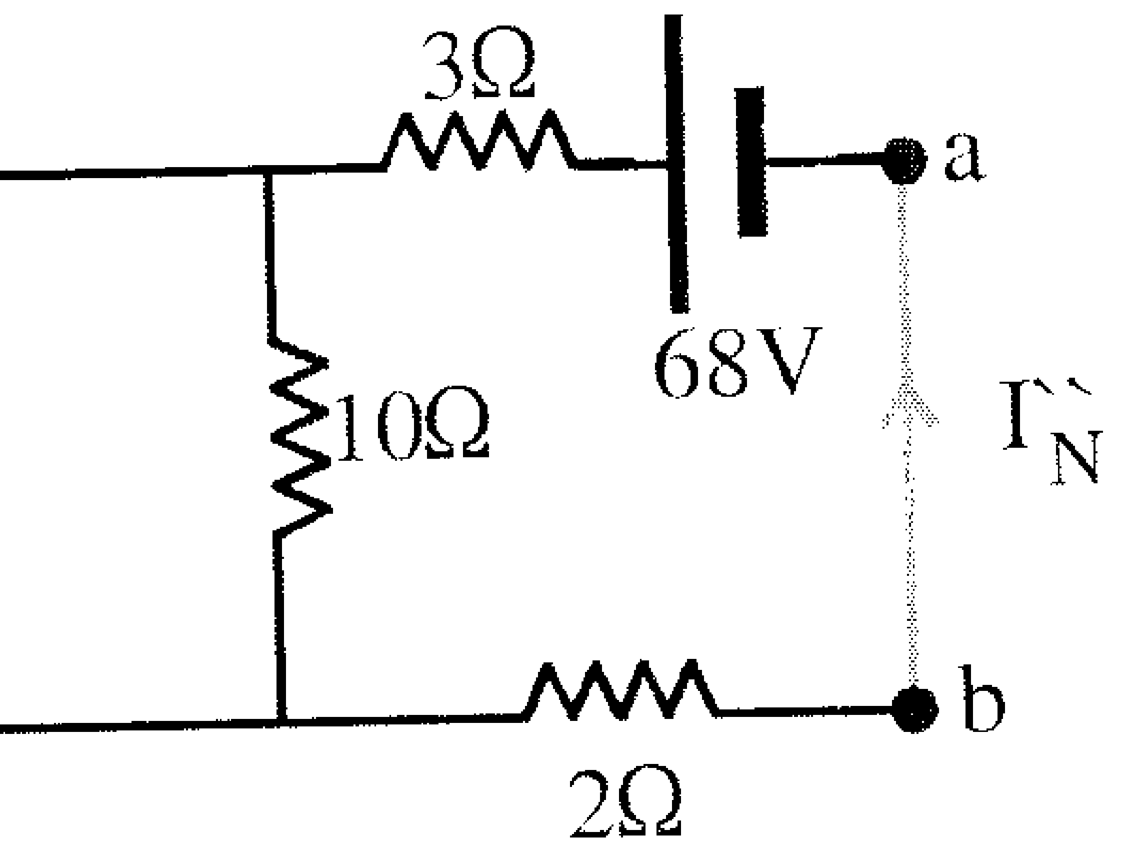


2- تأثير مصدر الجهد (68V)

$$I''_N=\frac{68V}{15\Omega}=4.533A \uparrow$$

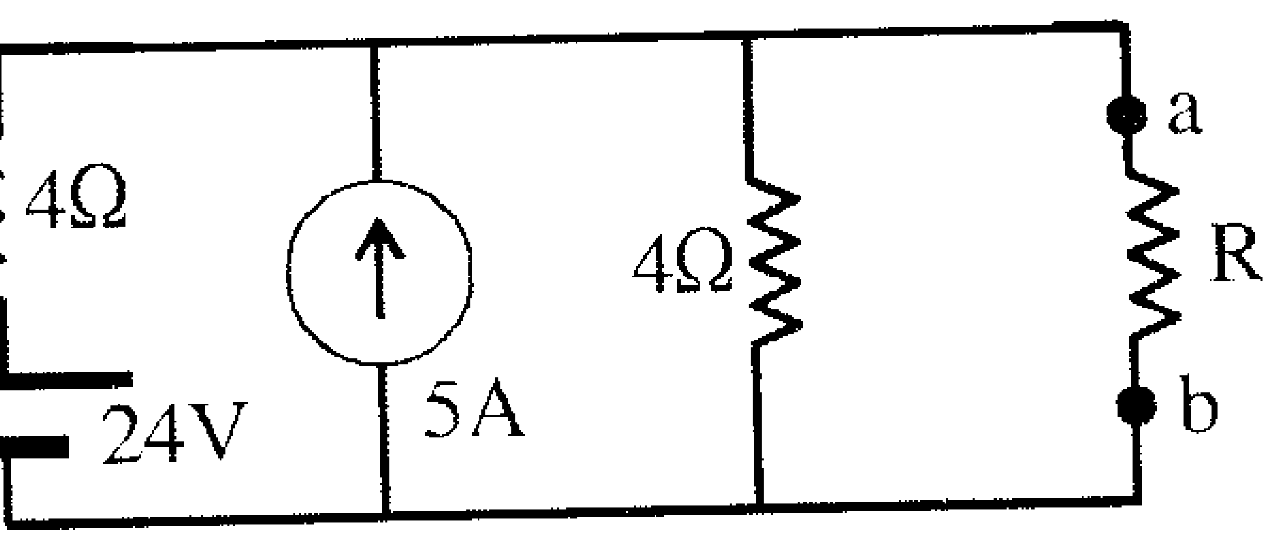
$$\therefore\ I_N = I'_N + I''_N$$

$$= 4A + 4.533A = 8.533A$$

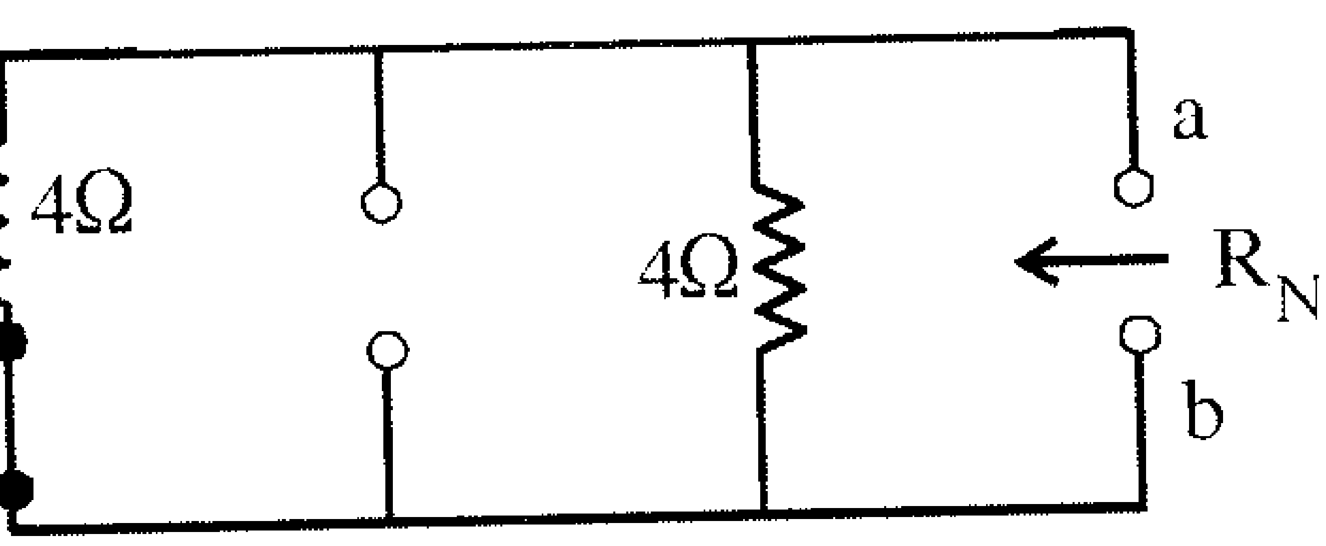


$$P_{L\,Max.} = \frac{(8.533)^2\,(15)}{4} = 273.07W$$

مثال22.6 أوجد قيمة المقاومةR التي تحقق انتقال أقصى قدرة ثم احسب قيمة هذه القدرة.



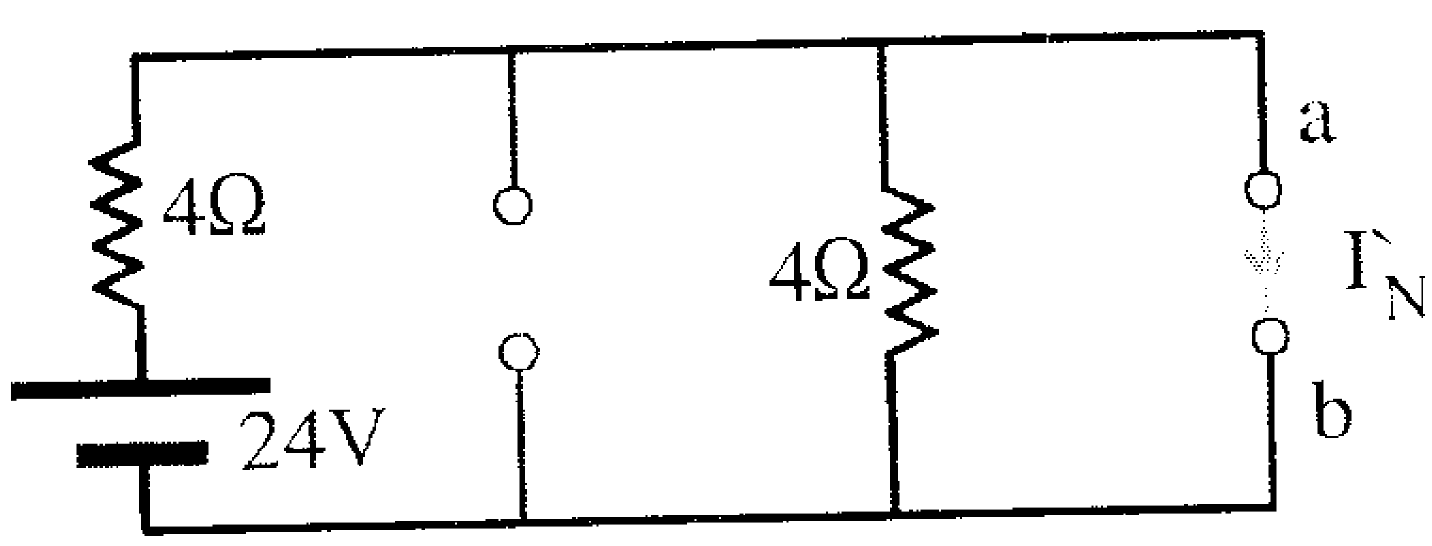
الحـــل:



$$R_N = 4\Omega \,//\, 4\Omega = 2\Omega$$

شرط انتقال أقصى قدرة $\quad R = R_N = 2\Omega$

أولاً: تأثير المصدر($24V$) :



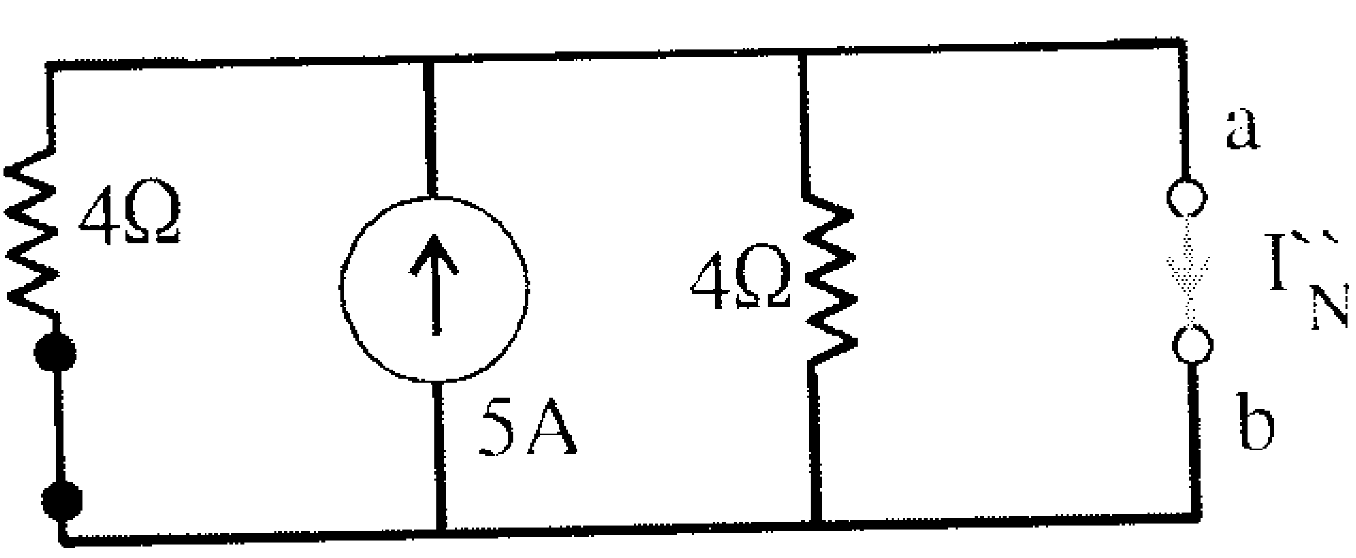
$$I_N^{`} = \frac{24V}{4\Omega} = 6A$$

(4Ω Short Circuit)

ثانياً: تأثير المصدر($5A$) :

بما أن المقاومتين (4Ω , 4Ω)

(Short Circuit)



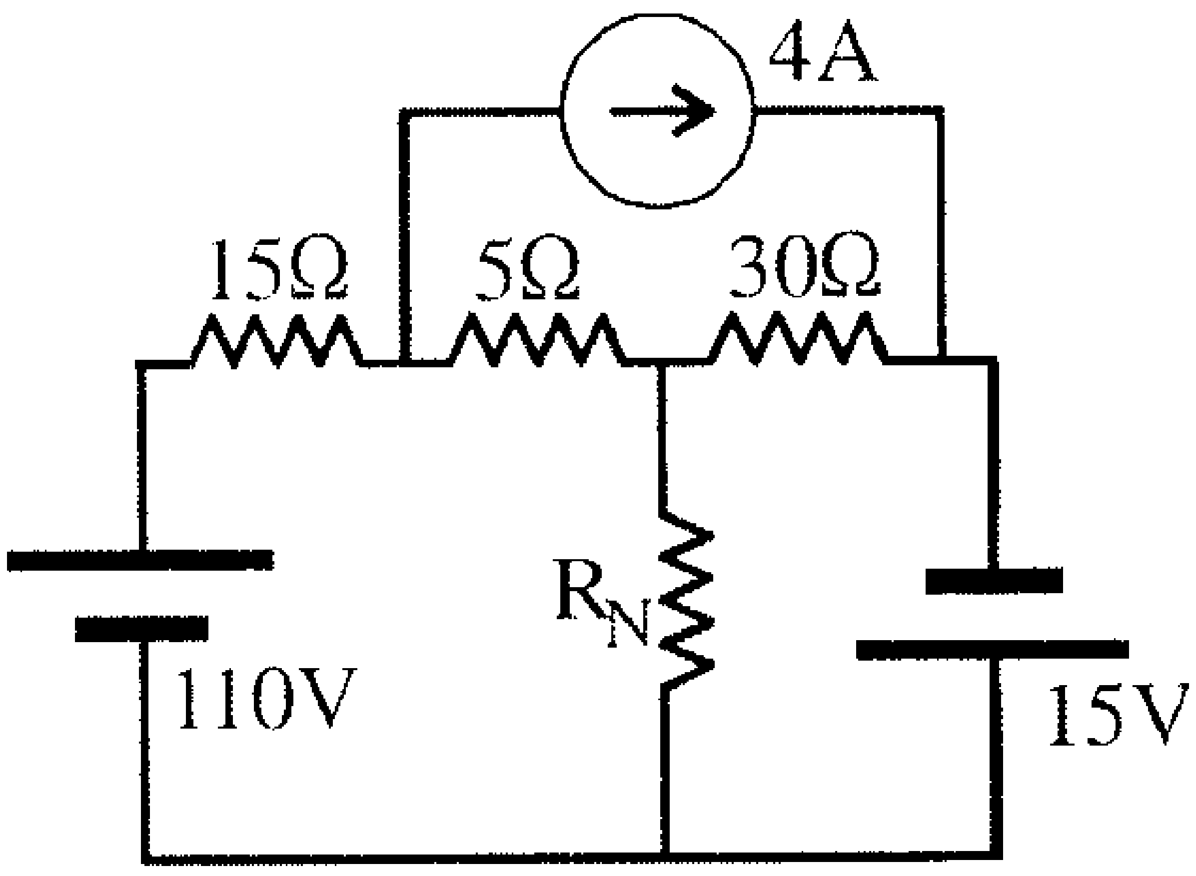
$$I_N'' = 5A$$

$$I_N = 5A + 6A = 11A$$

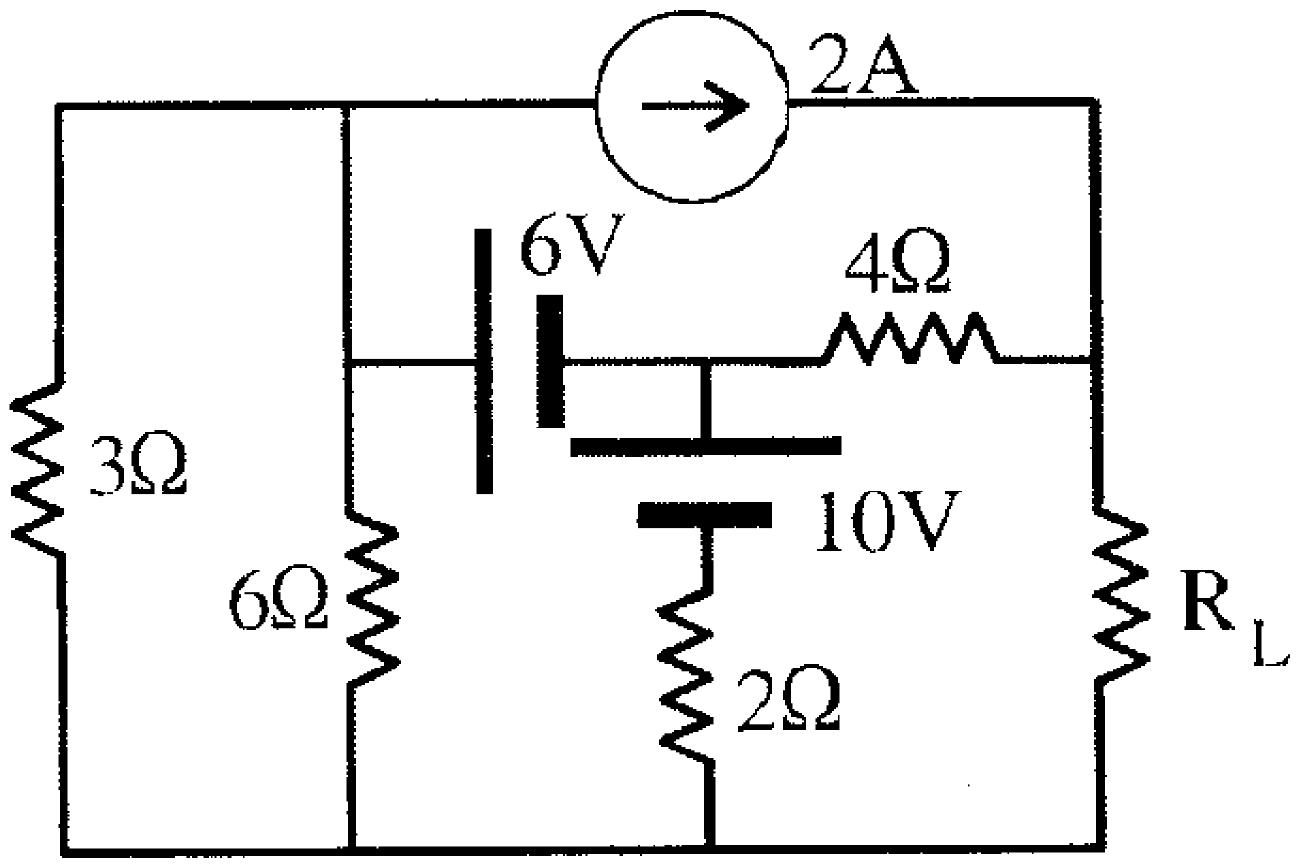
$$P_{L\,Max.} = \frac{I_N^2\, R_N}{4} = \frac{(11)^2\,(2)}{4} = 60.5W$$

8.6 مسائل على نظرية انتقال أقصى قدرة

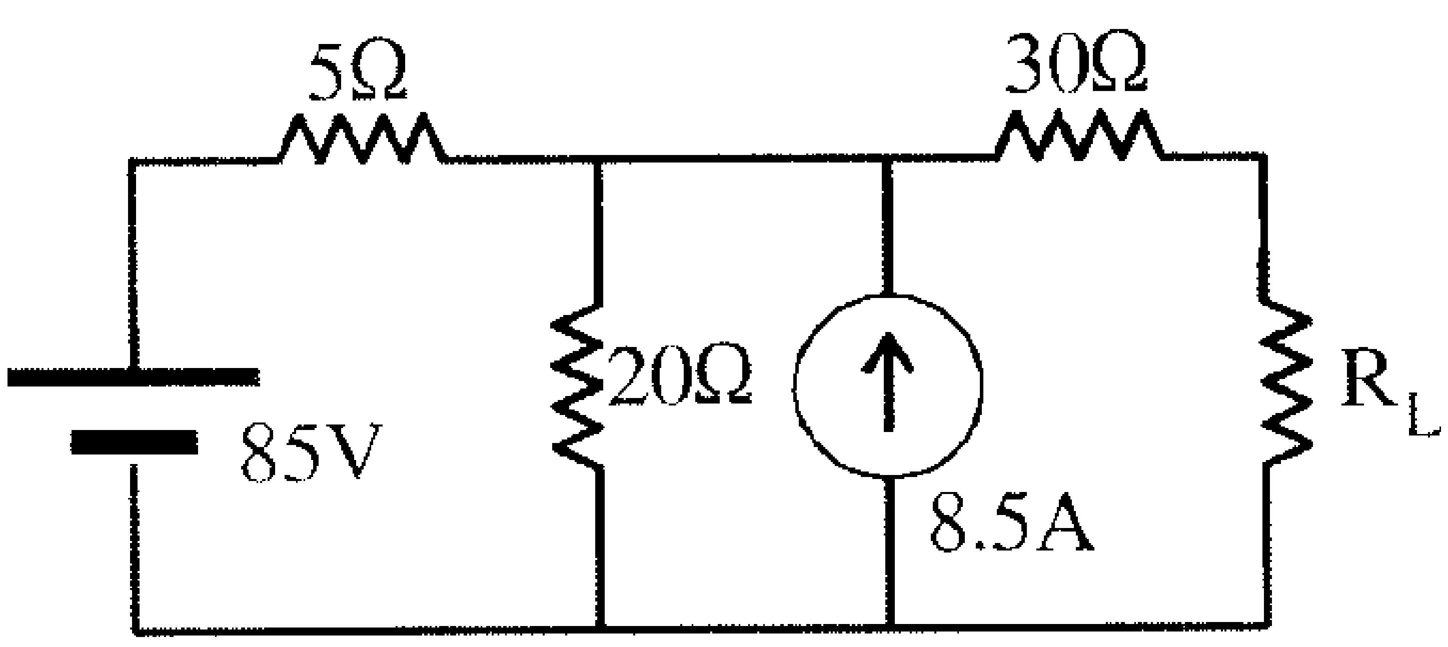
(1) أوجد أقصى قدرة منقولة لمقاومة الحمل R_L مستخدماً مكافئ نورتن عن طريق التراكيب .



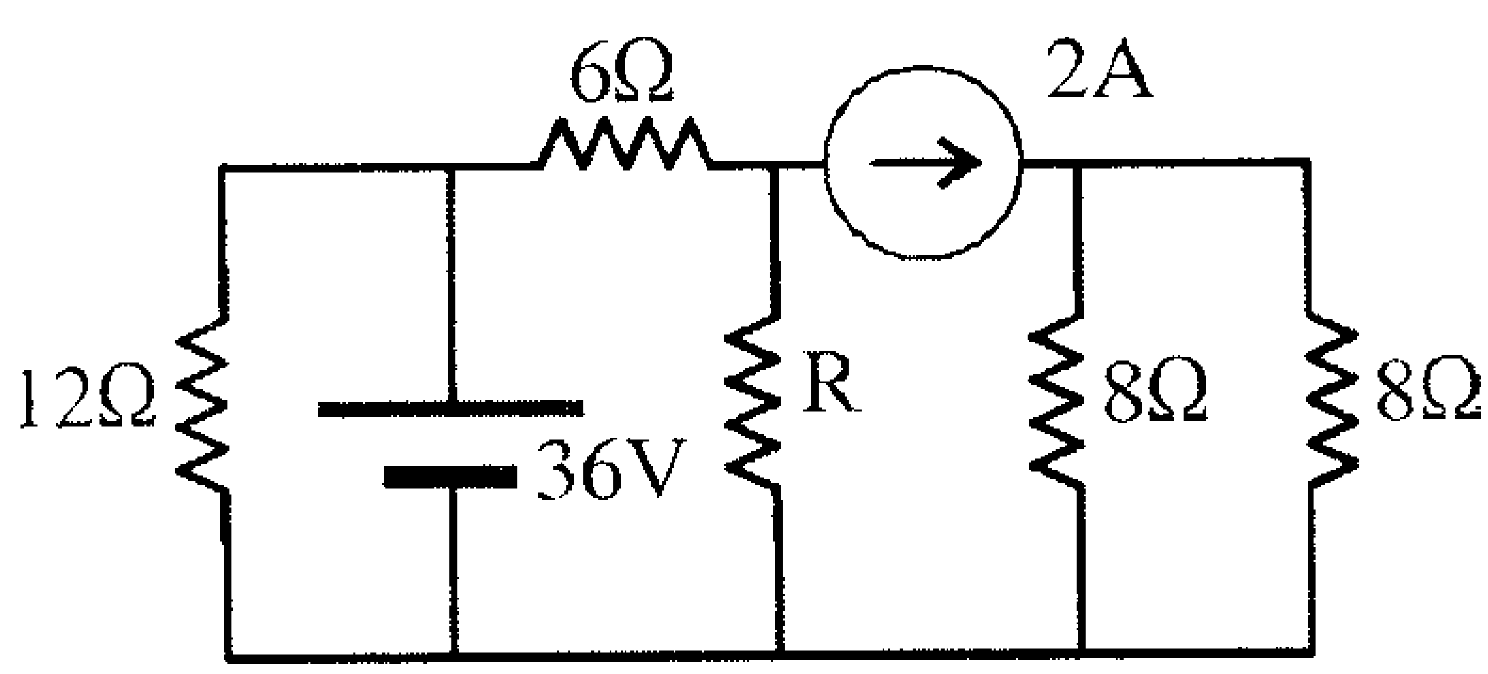
(2) باستخدام مكافئ ثيفنين أوجد قيمة R_L التي تسحب أقصى قدرة ممكنة ثم احسب أقصى قدرة منقولة لها.



(3) أوجد أقصى قدرة منقولة لمقاومة الحمل R_L مستخدماً مكافئ نورتن عن طريق التراكيب .



(5) باستخدام مكافئ ثيفنين أوجد قيمة R_L التي تسحب أقصى قدرة ممكنة ثم احسب أقصى قدرة منقولة لها.



الفصل السابع

المكثفات

Capacitors

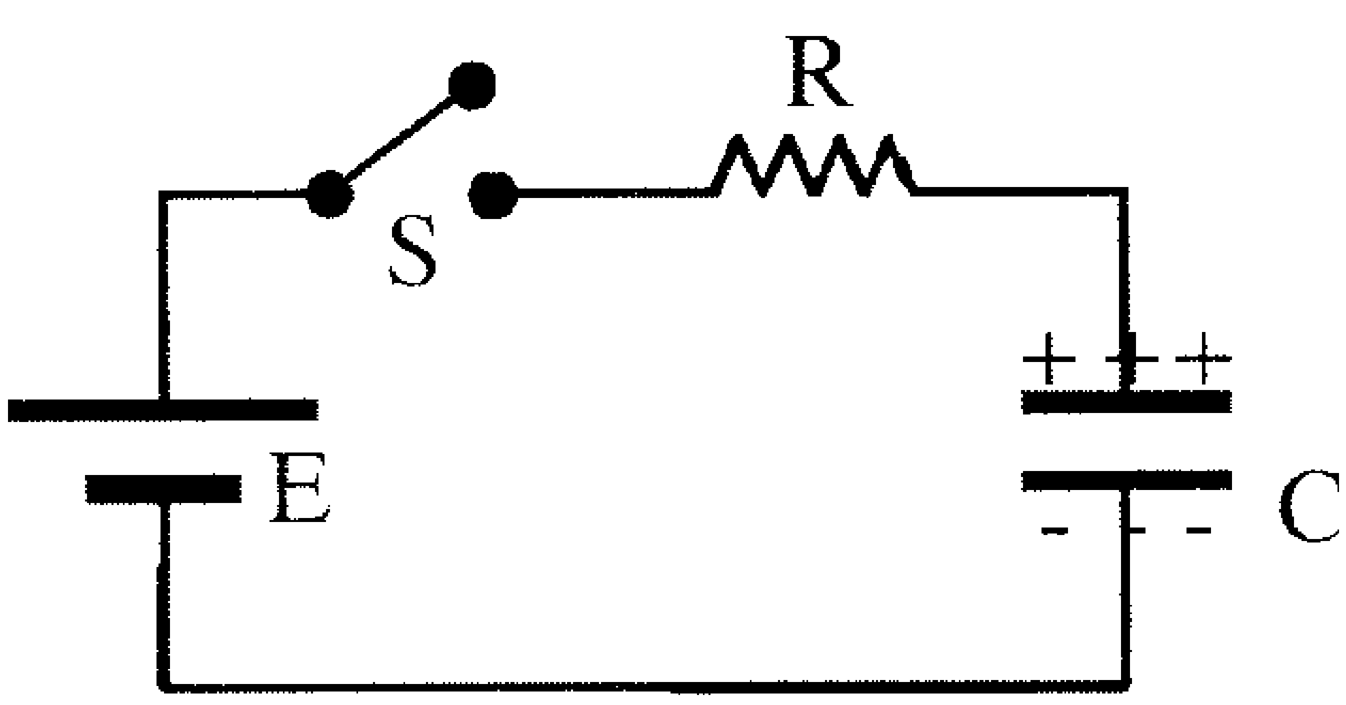
يعتبر المكثف عنصراً من عناصر الدائرة الكهربائية،وبإمكانه تخزين الطاقة الكهربائية. يتكون المكثف من معدنين بينهما عازل،وعادة ما يشحن بشحنتين متساويتين في المقدار ومختلفتين في الإشارة،ومن أشهر أنواع المكثفات هو المكثف ذو اللوحين المتوازيين، ويعبر عن المكثف في الدوائر الكهربائية بالرمز

C

وتعتمد الطاقة الكهربائية المخزنة في المكثف على شكله الهندسي،وعلى فرق الجهد الكهربائي بين لوحيه،وكذلك على نوع العازل الذي يفصل بين اللوحين.

1.7 السعة Capacity

يمكن أن نشحن مكثفاً وذلك بتوصيل لوحيه بمصدر جهد كهربائي ذي تيار مستمر (كما بالدائرة في الشكل التالي).



لوحا المكثف من مادة موصلة بينها فراغ. في حالة ما يكون المفتاح على وضع فتح يكون اللوحان غير مشحونين. أما في لحظة إغلاق المفتاح فتبدأ عملية شحن اللوحين حيث تمر الإلكترونات من اللوح العلوي للمكثف خلال المقاومة في اتجاه القطب الموجب للمصدر (E)،و تستمر الإلكترونات في المرور حتى يتساوى فرق الجهد بين لوحي المكثف مع جهد المصدر ،وبهذا يكون المكثف قد شحن بشحنة موجبة على لوحه العلوي وأخرى سالبة على لوحه السفلي.

تعريف السعة: (C)

يقال أن سعة المكثف تساوى فاراد (F) واحد إذا شحن هذا المكثف بشحنة مقدارها كولوم (C) واحد ليكون فرق الجهد بين لوحيه فولتاً (V) واحداً.

$$\therefore \quad C=\frac{Q}{V} \qquad \text{———} \quad (1)$$

وحدات القياس $[F]=\frac{[C]}{[V]}$ فاراد = $\frac{\text{كولوم}}{\text{فولت}}$

يمكن حساب شدة المجال الكهربائي الناتج بين لوحي المكثف من العلاقة

$$E=\frac{V}{d} \qquad \text{———} \quad (2)$$

شدة المجال = $\frac{\text{فرق الجهد}}{\text{المسافة بين لوحي المكثف}}$

وإذا علمت أن كثافة الشحنة للمكثف تساوى شحنته على مساحة السطح لأحد لوحيه

$$D=\frac{Q}{A} \qquad \text{———} \quad (3)$$

بقسمة المعادلة (3) على المعادلة (2) نحصل على قيمة ثابتة تسمى ثابت السماحية (permittivity) ويرمز لها بالرمز (ε)

$$\varepsilon=\frac{D}{E}=\frac{Q/A}{V/d}=\frac{Q\,d}{V\,A} \qquad \text{———} \quad (4)$$

وبالتعويض عن المعادلة (1) في (4) نحصل على:

$$\varepsilon = \frac{Q\,d}{AV} = \frac{C\cancel{V}\;d}{A\cancel{V}} = \frac{C\,d}{A}$$

وبالتالي تكون الـــسعة:

$$C = \varepsilon\,\frac{A}{d} \qquad \text{———} \qquad (5)$$

ملاحظة: المعادلة 5 هي لحساب سعة المكثف متوازي الألواح فقط.

ε : ثابت السماحية للمادة

ε_0 : ثابت السماحية في الفراغ ومقداره $(\epsilon_0 = 8.85*10^{-12}\ F/m)$

ε_r : ثابت العزل (relative permittivity) وهو النسبة

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_o}$$

$$C = \varepsilon_r\,\varepsilon_o\,\frac{A}{d} \qquad \text{———} \qquad (6)$$

مــن المعادلة (6) نلاحظ أن سعة المكثف تعتمد على الشكل الهندسي للوح المتمثل في المساحة (A) ،وعلى المسافة بين اللوحين (d) ،وكذلك على نوع المادة الموجودة بين اللوحين ، وفي حالة الفراغ تكون $\varepsilon_r = 1$ لأن $\varepsilon = \varepsilon_0$ لتكون سعة المكثف

$$C = \varepsilon_o\,\frac{A}{d} \qquad \text{———} \qquad (7)$$

ولإيجاد قيمة (ε_r) عملياً لأي عازل يمكن قياس سعة المكثف في وجود عازل (C) وكذلك سعة المكثف في عدم وجود عازل (فراغ) (C_0) ومنها:

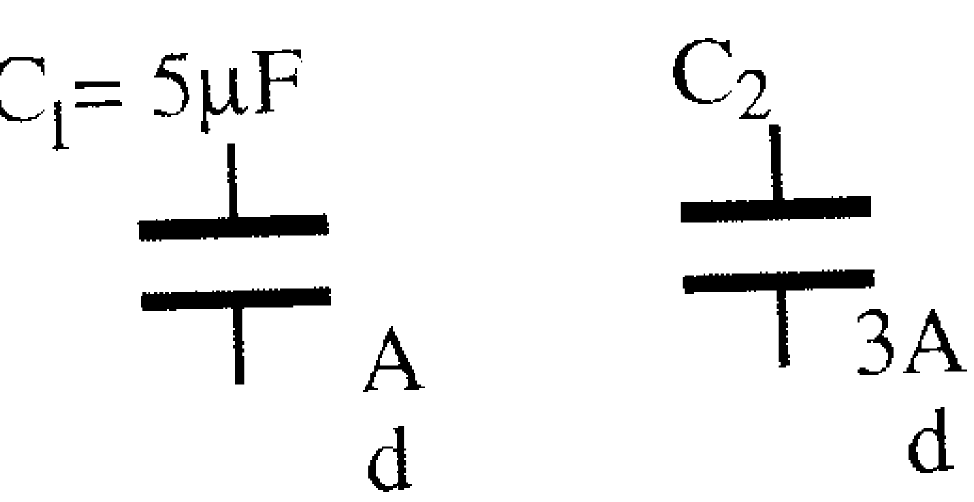
$$\frac{C}{C_o}=\frac{\varepsilon A/d}{\varepsilon_o A/d}=\frac{\varepsilon}{\varepsilon_o}=\varepsilon_r$$

$$\therefore \quad C=\varepsilon_r C_o \qquad (8)$$

مثال 7 . 1 من الأشكال التالية لدينا مكثفان C_1وC_2 أحسب سعة المكثف C_2 بالاستعانة بالمعلومات المتوفرة عن المكثف C_1

-1

$$\frac{C_1}{C_2}=\frac{\varepsilon_o A_1/d_1}{\varepsilon_o A_2/d_2}$$

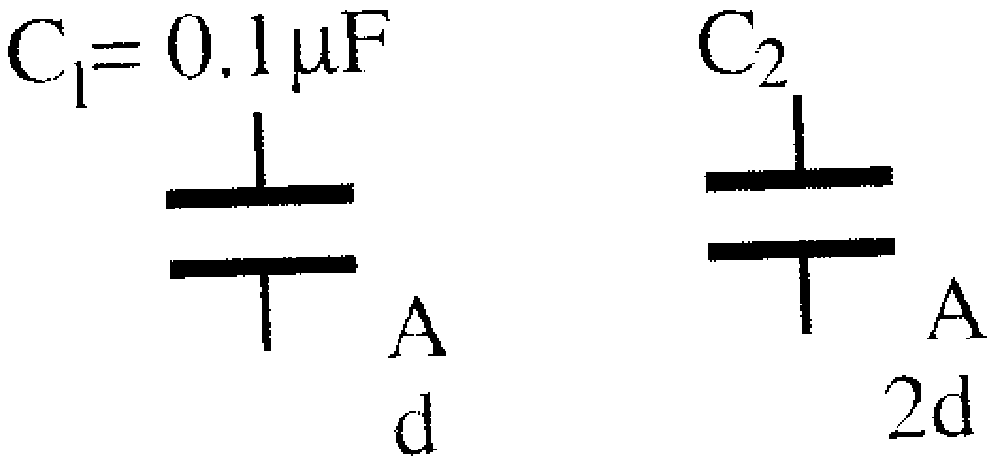


$$\frac{C_1}{C_2}=\frac{\cancel{\varepsilon_o}\,\cancel{A}\,/\,\cancel{d}}{\cancel{\varepsilon_o}(3\cancel{A})\,/\,\cancel{d}}=\frac{1}{3}$$

$$\therefore C_2=3C_1=(3)(5\mu F)=15\mu F$$

-2

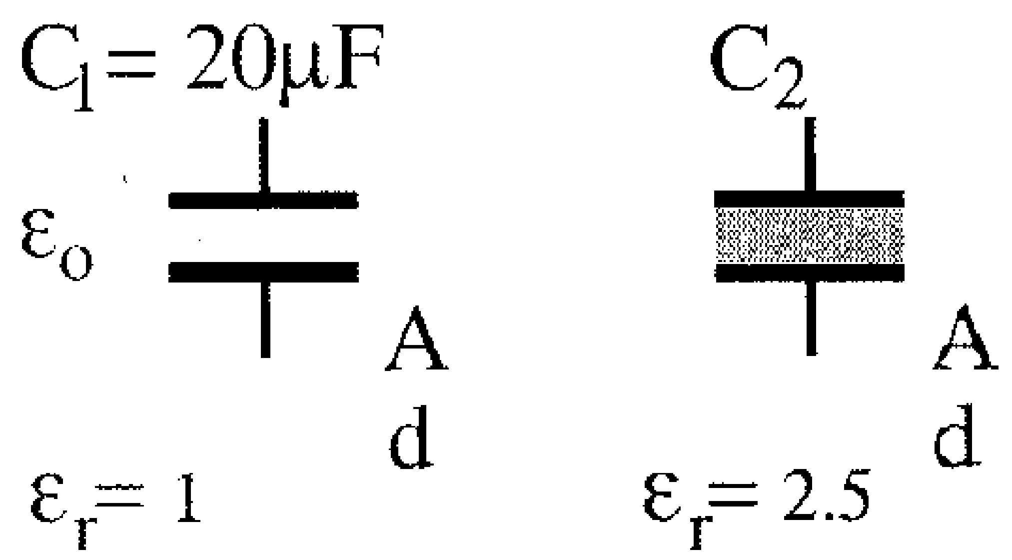
$$\frac{C_1}{C_2}=\frac{\cancel{\varepsilon_o}\cancel{A}\;/\cancel{d}_1}{\cancel{\varepsilon_o}\cancel{A}\;/2\cancel{d}}$$



$$\frac{C_1}{C_2}=\frac{2}{1}$$

$$C_2 = \frac{1}{2} C_1 = (\frac{1}{2})(0.1\mu F) = 0.05\mu F$$

3- من العلاقة في المعادلة (8)

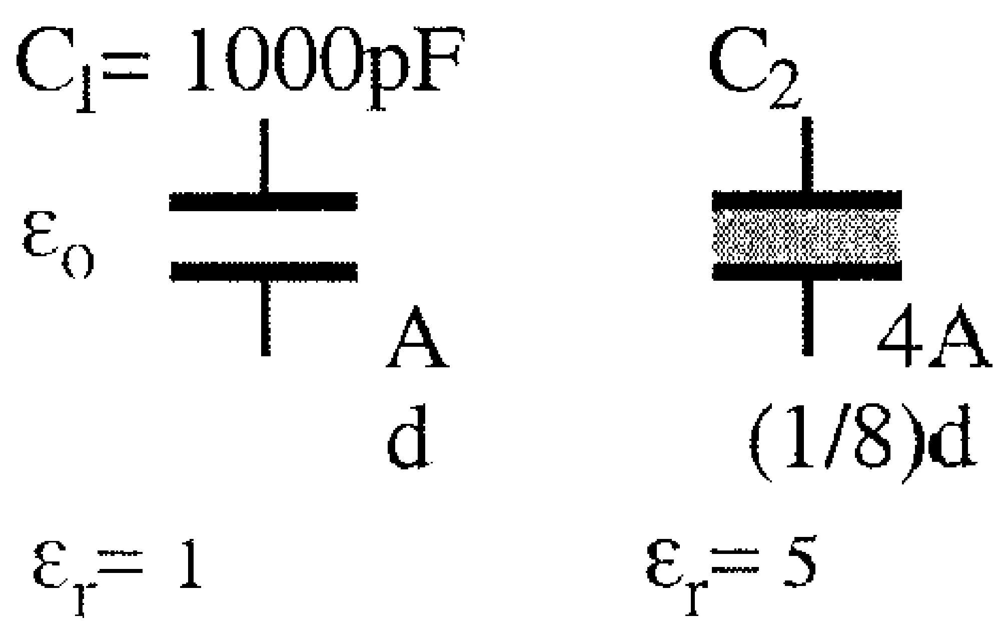


$$C = \varepsilon_r C_0$$

$$C_2 = \varepsilon_r C_1$$

$$C_2 = (2.5)(20\mu F) = 50\mu F$$

4- $$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\varepsilon_o \varepsilon_{r1} A_1 / d_1}{\varepsilon_o \varepsilon_{r2} A_2 / d_2}$$



$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{(1)}{(5)} \frac{\cancel{A}/\cancel{d}}{\cancel{4A}/\frac{1}{8}\cancel{d}}$$

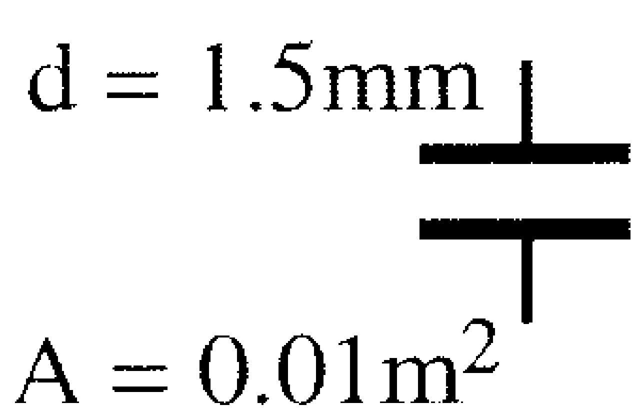
$$\frac{1}{8} C_2 = 20\, C_1$$

$$C_2 = 160\, C_1$$

$$= (160)(1000pF)$$

$$C_2 = 0.16\,\mu F$$

مثال2.7 للمكثف في الشكل التالي:



1- أوجد السعة

2- أوجد شدة المجال الكهربائي بين اللوحين عندما يعمل على فرق جهد قدره ($V = 450V$)

3- أوجد الشحنة المحصلة لكل لوح.

الحـــل:

1- بين اللوحين يوجد فراغ إذا السعة

$$C = \varepsilon_o \frac{A}{d} = \frac{(8.85\times10^{-12}\ F/m)(0.01m^2)}{1.5\times10^{-3}\ m}$$

$$C = 59\text{pF}$$

2-

$$E = \frac{V}{d} = \frac{450V}{1.5\times10^{-3}m}$$

$$= 300\text{k}V/m$$

3-

$$C = \frac{Q}{d} \Rightarrow Q = CV$$

$$Q = (59 \text{ x } 10^{-12}\text{ F})\ (450V)$$

$$Q = 26.55\text{nC}$$

مثال 3.7 المكثف في المثال السابق وضع بين لوحيه عازل من مادة الميكا(mica) سمكه 1.5 *mm* أوجد :

1- شدة المجال الكهربائي بين لوحي المكثف.

2- الشحنة على كل لوح

3- الـــسعة إذا علمت أن ($\varepsilon_r = 5.0$)

الحـــل:

1- $$E = \frac{V}{d} = \frac{450V}{1.5\times10^{-3}\,m} = 300\times10^{3}\,V/m$$

$$E=300\ kV/m$$

2- $$C = \frac{Q}{V} \quad ، \quad C = \varepsilon_r\,\varepsilon_o\frac{A}{d}$$

$$E = \frac{V}{d} \rightarrow V = dE \quad ، \quad \frac{Q}{V} = \varepsilon_r\,\varepsilon_o\frac{A}{d}$$

$$\frac{Q}{Ed} = \varepsilon_O\varepsilon_r\frac{A}{d}$$

$$Q = \varepsilon_0\varepsilon_r EA$$

$$= (8.85\times10^{-12})(5)(300\times10^{3})(0.01)$$

$$Q = 132.75\ nC$$

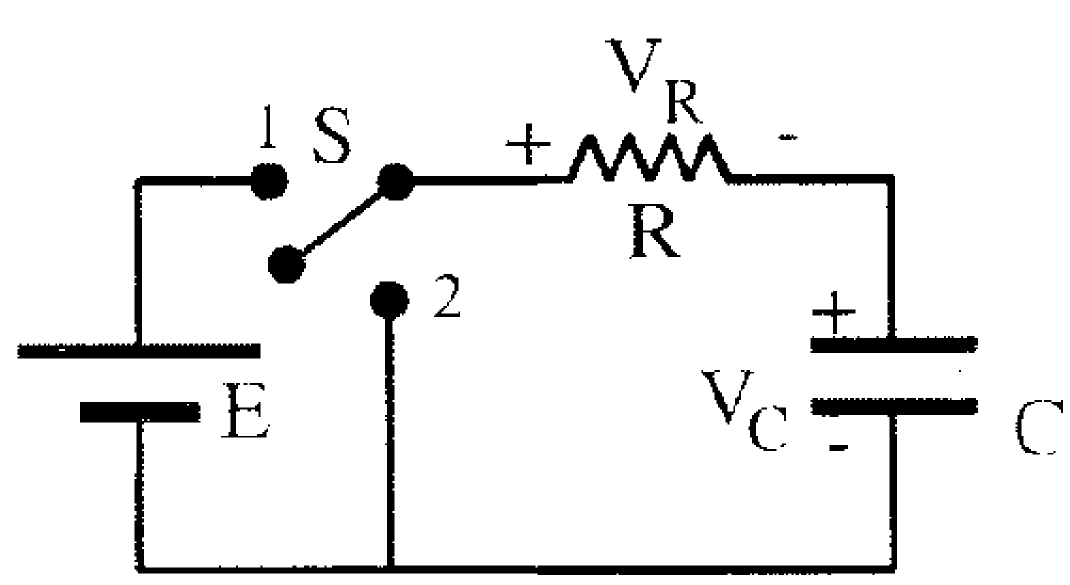
بالمقارنة بالمثال السابق نلاحظ أن الشحنة في وجود عازل أكبر خمس مرات من الشحنة في وجود فراغ

3- $$C = \varepsilon_r C_o$$

$$= (5)(59\times10^{-12}F) = 295pF$$

2.7 شحـــــن المكثفات

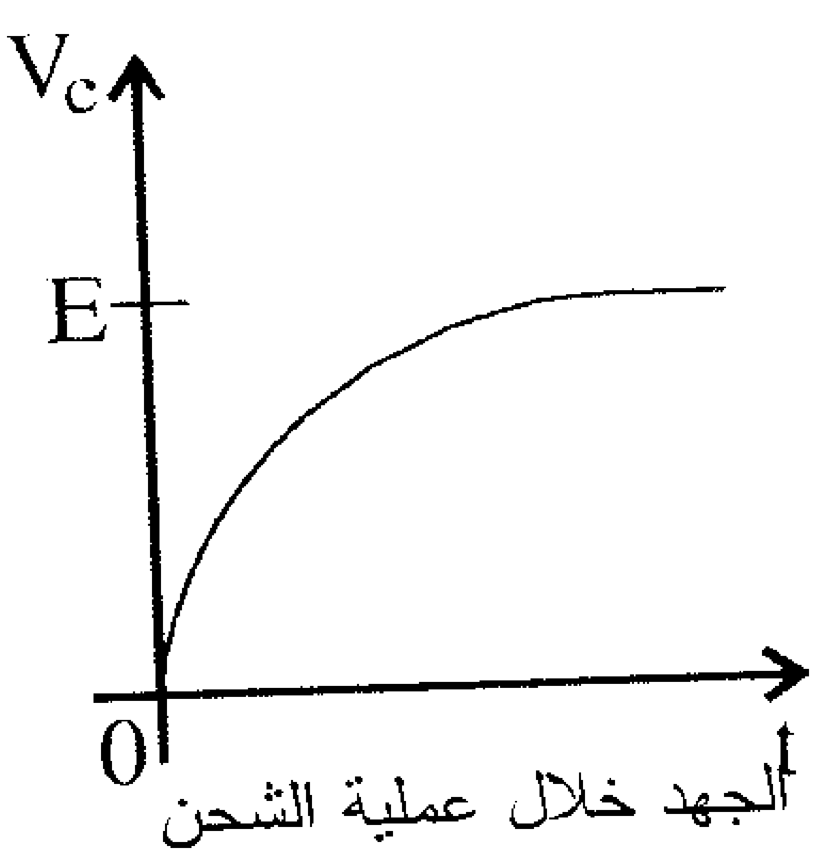
الدائرة التالية توضح عملية شحن المكثف

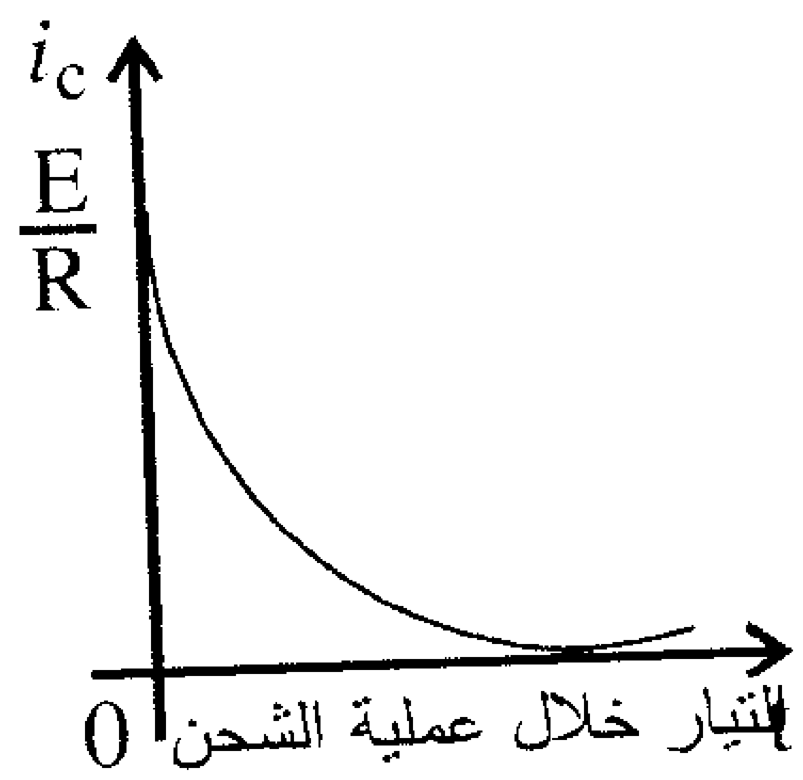


- عند إغلاق المفتاح (الوضع 1) تمر

الإلكترونات من اللوح العلوي لتصل إلى اللوح السفلي للمكثف لتنتج عنها شحنة موجبة للوح العلوي وسالبة للوح السفلي.

- حركة انتقال الإلكترونات تكون سريعة جدا في البداية وتتباطأ عندما يقترب فرق جهد المكثف (V_c) من الوصول الى قيمة جهد المصدر (E).
- عندما يتساوى جهد المكثف مع جهد المصدر تتوقف حركة الإلكترونات لتكون قيمة الشحنة على اللوحين $Q = CV_c = CE$
- الشكلان التاليان يوضحان العلاقة بين كل من جهد المكثف وتيار المكثف مع الزمن.
- عند لحظة غلق المفتاح ($t = 0s$) يقفز التيار إلى أعلى قيمة لــه والتي تتحدد من العلاقة ($i_C = \frac{E}{R}$)،وعند نهاية الشحن ينحدر التيار إلى الصفر.



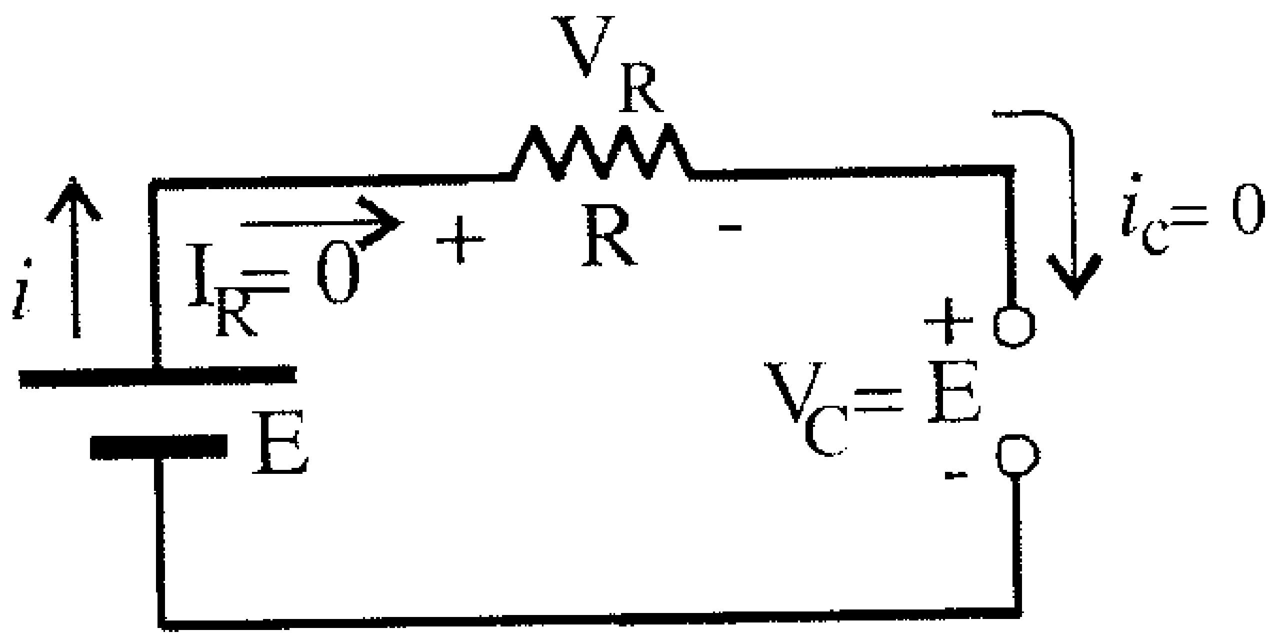


- انحد ار قيمة التيار تكشف عن أن كمية الشحنة على الزمن التي تصل إلى اللوح تقل أيضا من العلاقة $i_C = \frac{Q}{t}$

*الجهد بين لوحي المكثف له أيضا علاقة مباشرة بالشحنة وذلك من العلاقة

$$V_C = \frac{Q}{C}$$

- عندما يتوقف انسياب الشحنة فإن التيار يساوي صفراً و يثبت الجهد عند قيمة معينة،وعند هذه النقطة يعتبر المكثف دائرة مفتوحة.



من الدائرة المفتوحة

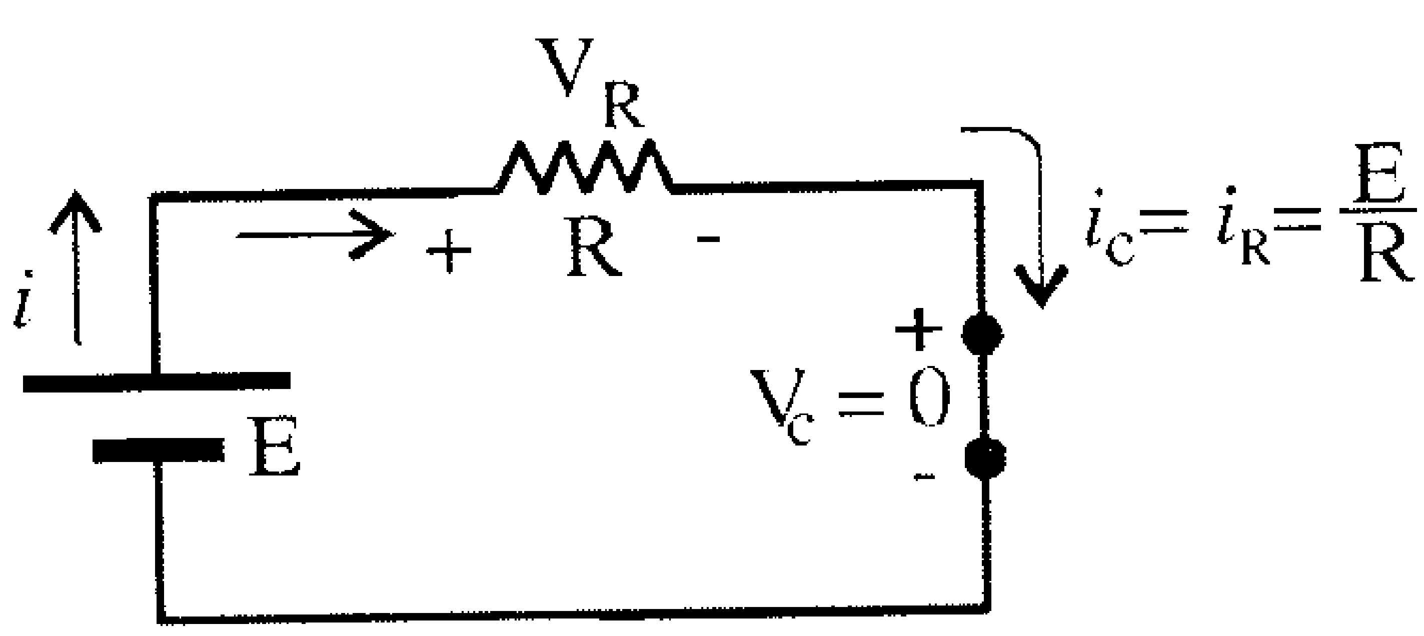
$$i = i_R = i_C = 0$$

$$\because V_R = i_R R = (0)R = 0V$$

$$\therefore V_C = E$$

أي أن جهد المكثف يساوى جهد المصدر (نهاية الشحن)

- عند الرجوع إلى الوراء وفى لحظة إغلاق المفتاح يكون المكثف دائرة مغلقة لأن التيار يكون أقصى ما يمكن.



KVL:

$$E - V_R - V_C = 0$$

$$\because \quad V_R = i_R R = \frac{E}{R} R = E$$

$$\therefore \quad E - E - V_C = 0 \longrightarrow V_C = 0V$$

باستخدام العلاقات الرياضية نحصل على تيار الشحن (i_C) دالة أسّية

$$i_c = \frac{E}{R} e^{-t/RC}$$

المعامل RC وهو حاصل ضرب المقاومة في سعة المكثف يسمى الثابت الزمني (Time Constant)،ووحدة قياس RC هي وحدة قياس الزمن ويمكن إثباته كالتالي:

$$RC = (\frac{V}{I})\,(\frac{Q}{V}) = (\frac{\cancel{V}}{\cancel{Q/t}})\,(\frac{\cancel{Q}}{\cancel{V}}) = t$$

ونرمز للثابت الزمني RC بالزمن τ

$$\tau = RC$$

إذاً في الدالة الأسّية $e^{-t/RC}$ نعوض عن $\tau = RC$ لنحصل على $e^{-t/\tau}$

في حالة ثابت زمني واحد $t = 1\tau$

$$\ldots^{/\tau} = e^{-t/\tau} = e^{-1} = 0.3679$$

$$= 2\tau \longrightarrow e^{-t/\tau} = e^{-2\tau/\tau} = e^{-2} = 0.1353$$

$$= 3\tau \longrightarrow e^{-t/\tau} = e^{-3\tau/\tau} = e^{-3} = 0.05$$

$$= 4\tau \longrightarrow e^{-t/\tau} = e^{-4\tau/\tau} = e^{-4} = 0.018$$

$$= 5\tau \longrightarrow e^{-t/\tau} = e^{-5\tau/\tau} = e^{-5} = 0.0067$$

الجدول التالي يوضح علاقة التيار بالزمن أثناء الشحن.

من الجدول نلاحظ أن قيمة التيار القصوى 100%عند الزمن $t = 0$ والزيادة في الزمن يترتب عليها نقص في قيمة التيار،فبعد خمس دورات زمنية (5τ) يكون التيار مساو للصفر تقريبا.

سعة المكثف تكون عادة بالمايكروفاراد (μF)

t	$e^{-t/\tau}$	النسبة المئوية
0	1	100 %
1τ	0.3679	36.8 %
2τ	0.1353	13.5%
3τ	0.05	5.0 %
4τ	0.018	1.8%
5τ	0.0067	0.67 %

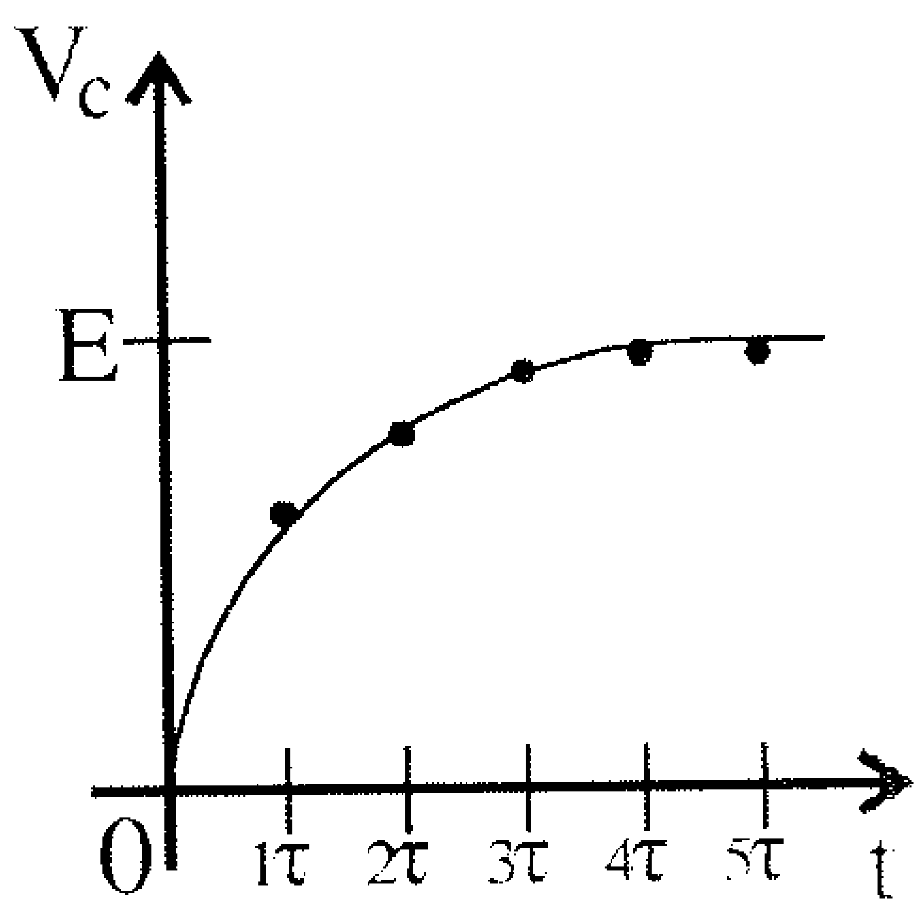
أو البيكوفاراد (pF) ويكون الثابت الزمني (τ) عادة بجزء من الثانية.

من العلاقات الرياضية المبنية على أساس فيزيائي يكون جهد الشحن للمكثف:

$$v_c = E(1 - e^{-t/RC})$$

بعد خمس دورات زمنية تكون قيمة جهد المكثف (Vc = E)

النسبة المئوية للجهد Vc	الزمن t
0	0
63.2 %	1τ
86.5 %	2τ
95.0 %	3τ
98.0 %	4τ
99.3 %	5τ



من علاقة الثابت الزمني τ = RC وفى حالة هبوط السعة (C) وثبات المقاومة(R) فإن (τ) تتناقص ومنها يمكن استنتاج أن قيمة جهد المكثف تتناقص تدريجيا وليس فوريا. وبهذا يحتفظ المكثف بالجهد بعد شحنه لفترة زمنية معينة ولا يفقده لحظيا. وإذا زادت سعة المكثف فإن قيمة الثابت الزمني تزداد وهذا يجعل المكثف يحتفظ بشحنته لفترة أطول.

أثناء عملية الشحن تكون العلاقة بين جهد المكثف وشحنته وسعته كالتالي:

$$Vc = \frac{q}{C} \quad \rightarrow \quad q = C\,Vc$$

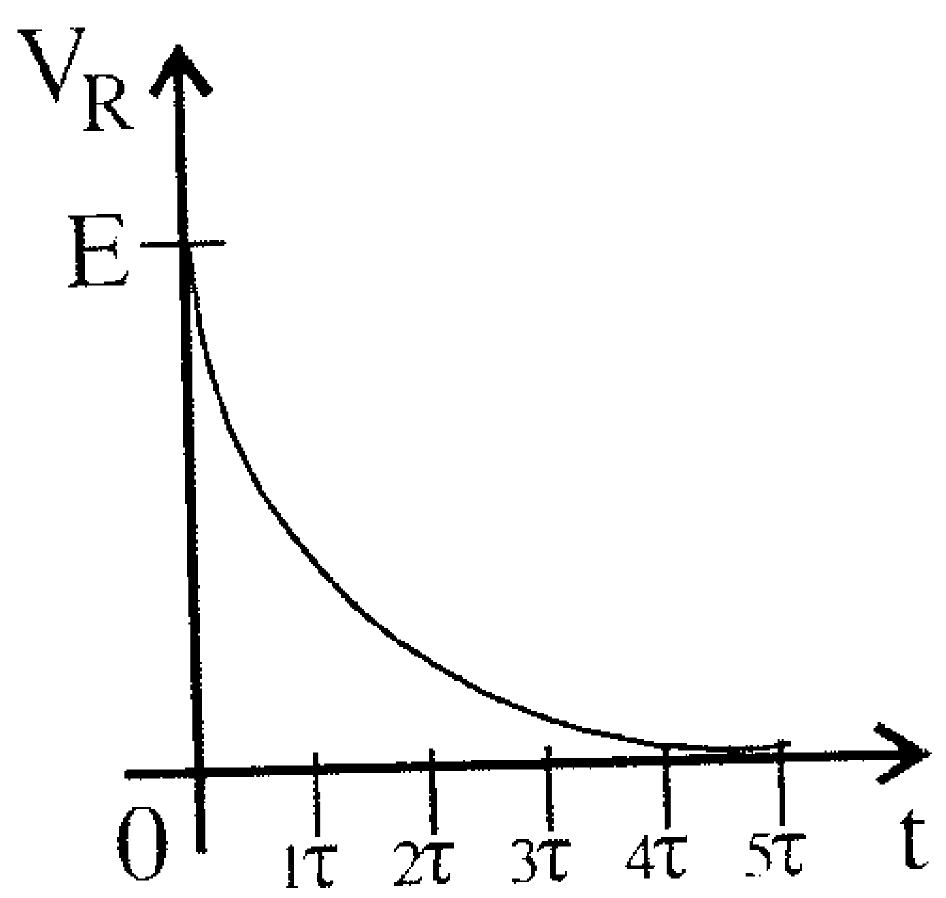
$$\because \quad V_C = E\,(1 - e^{-t/RC})$$

$$\therefore q = V_C C = C E (1-e^{-t/RC})$$

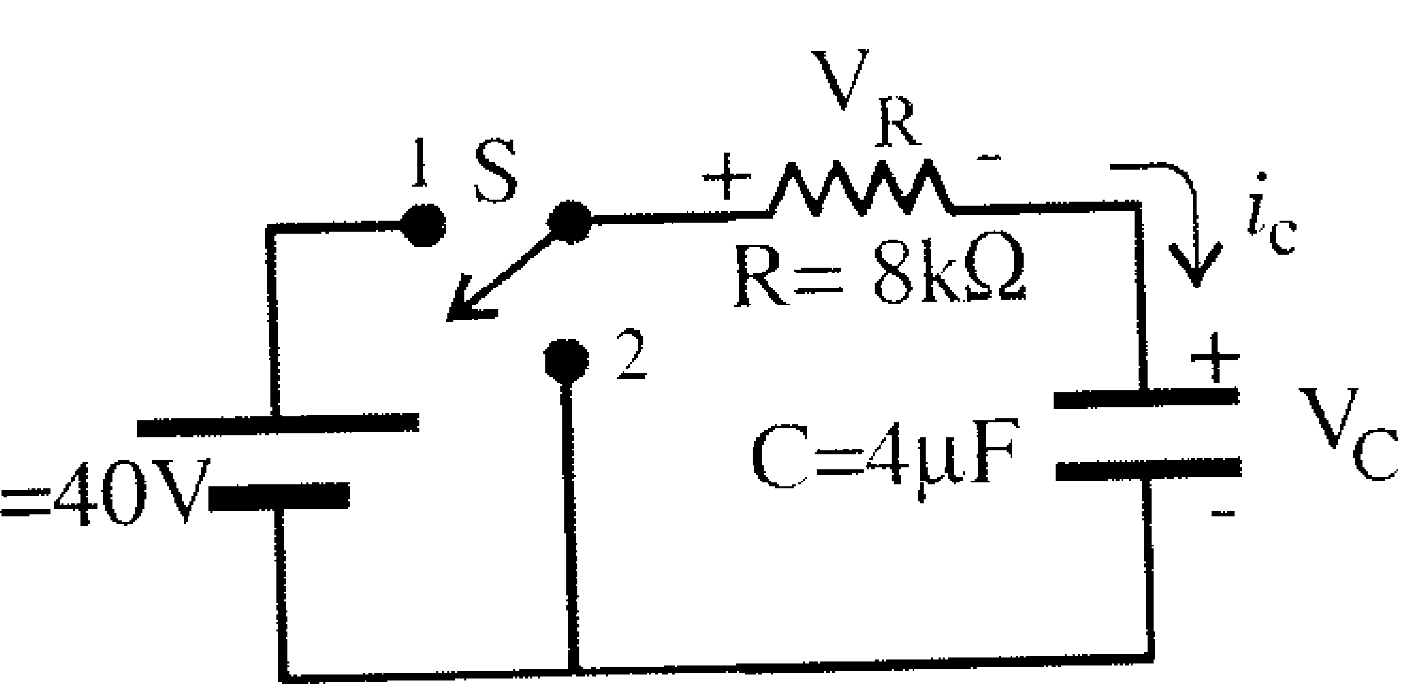
لإيجاد الجهد خلال المقاومة في دائرة المكثف نستعين بقانون أوم

$$V_R = i_R R = i_C R = \cancel{R}\frac{E}{\cancel{R}}e^{-t/RC}$$

$$\boxed{V_R = E e^{-t/\tau}}$$



مثال 4.7 من الدائرة بالشكل التالي:



1- أوجد الصيغ الرياضية للسلوك الانتقالي (transient) V_R , i_c , V_c وذلك عندما يتم تحريك المفتاح على الوضع (1) ثم ارسم العلاقات V_R , i_c , V_c

2- كم يمضى من الوقت كي يمكن أن نفترض (في التطبيقات العملية) بأن تيار المكثف ($i_C = 0A$) وجهد المكثف يساوى جهد المصدر ($Vc = E$).

الحــل:

إيجاد قيمة الثابت الزمني

$$\tau = RC = (8k\Omega)\,(4\mu F)$$

$$= (8\times10^{3})\,(4\times10^{-6}) = 32\times10^{-3}$$

$$\tau = 32ms$$

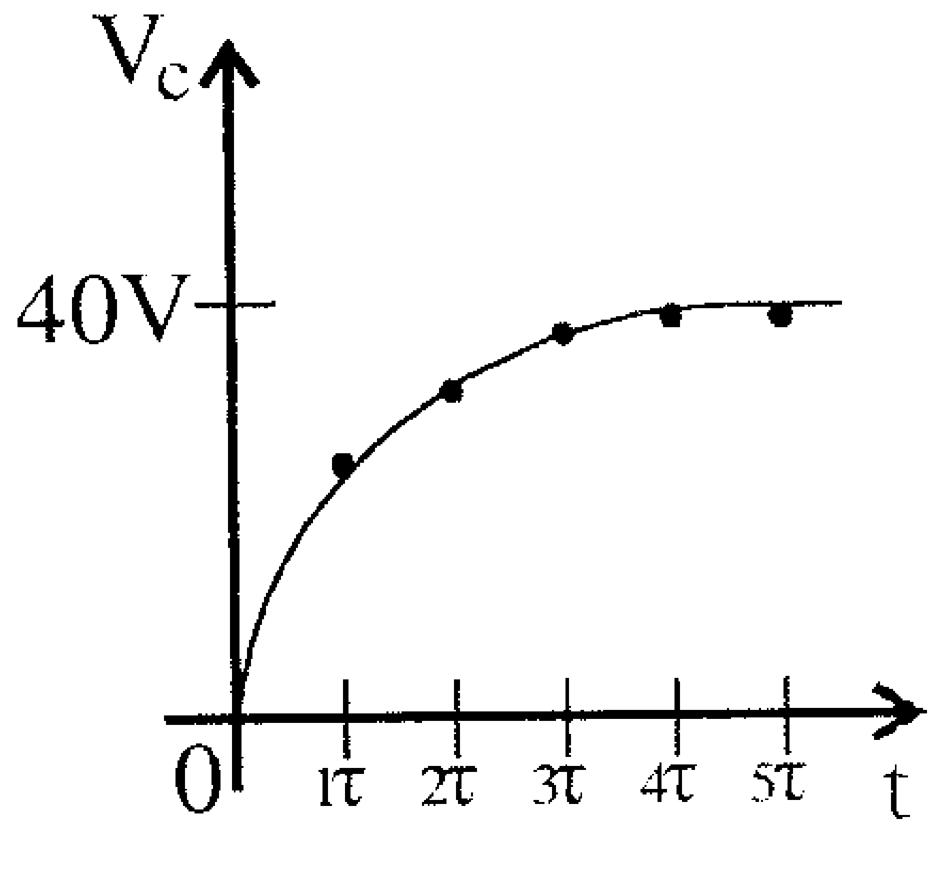
جهد المكثف $V_c = E(1-e^{-t/\tau}) = 40\,(1-e^{-t/32\times10^{-3}})$

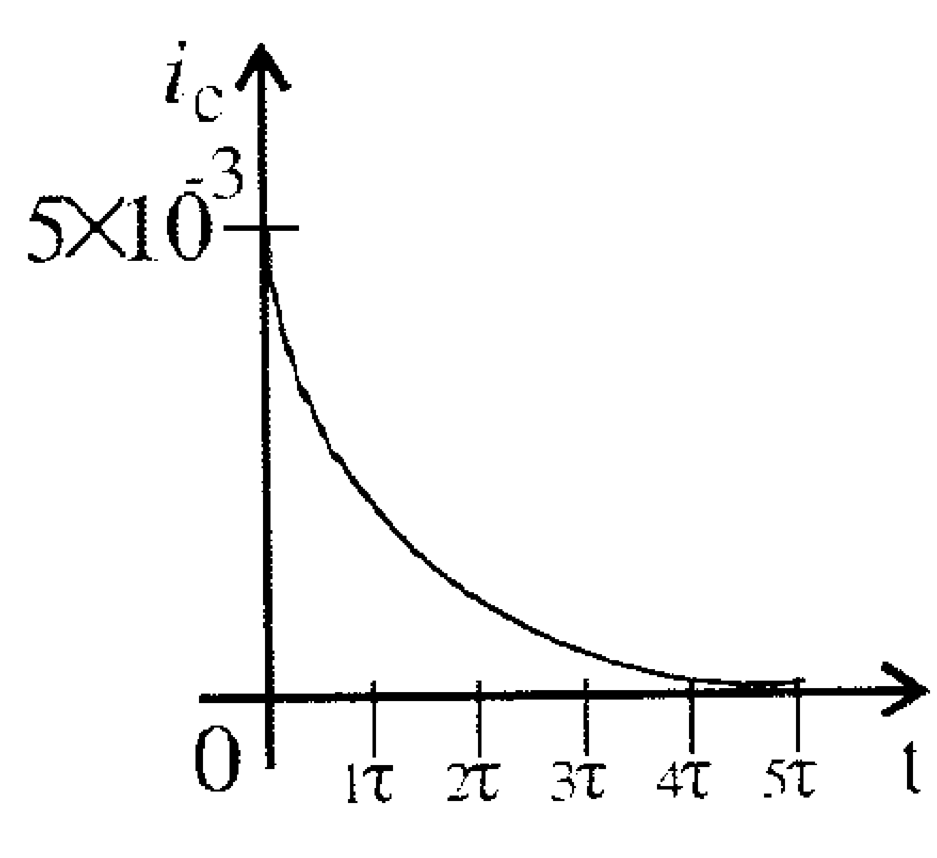
جهد المكثف $i_c = \frac{E}{R} e^{-t/\tau} = \frac{40}{8\times10^{3}} e^{-t/32\times10^{-3}}$

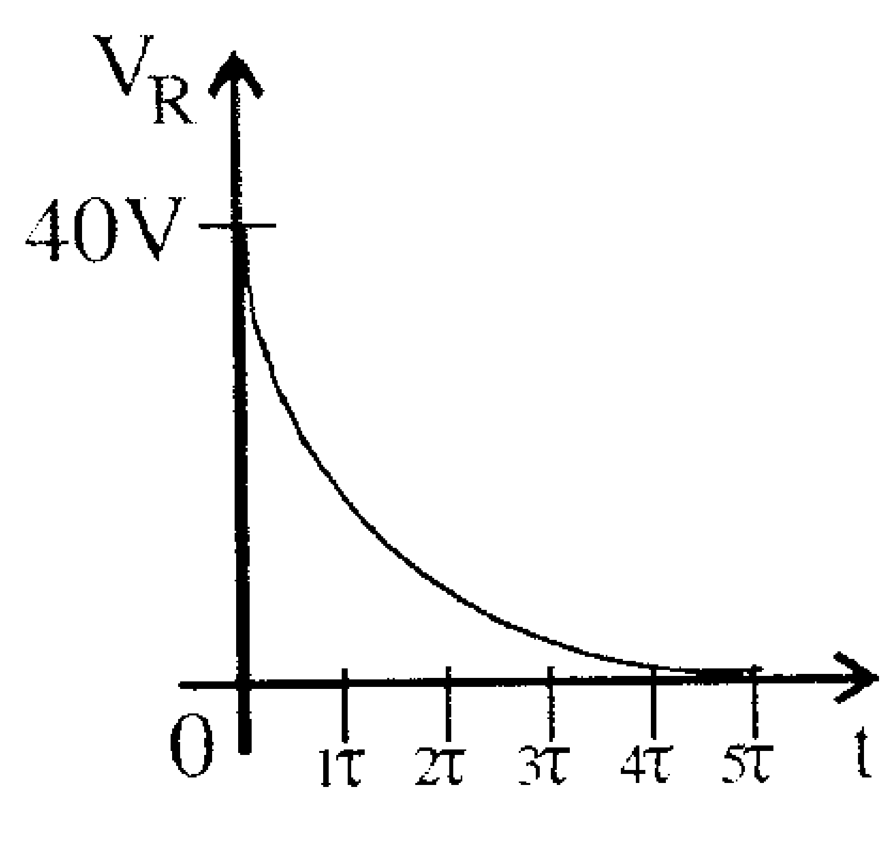
$$I_c = (5\times10^{-3})\,(e^{-t/32\times10^{-3}})$$

تيار المقاومة $I_R = I_c$

جهد المقاومة $V_R = E\,e^{-t/\tau} = 40\,e^{-t/32\times10^{-3}}$





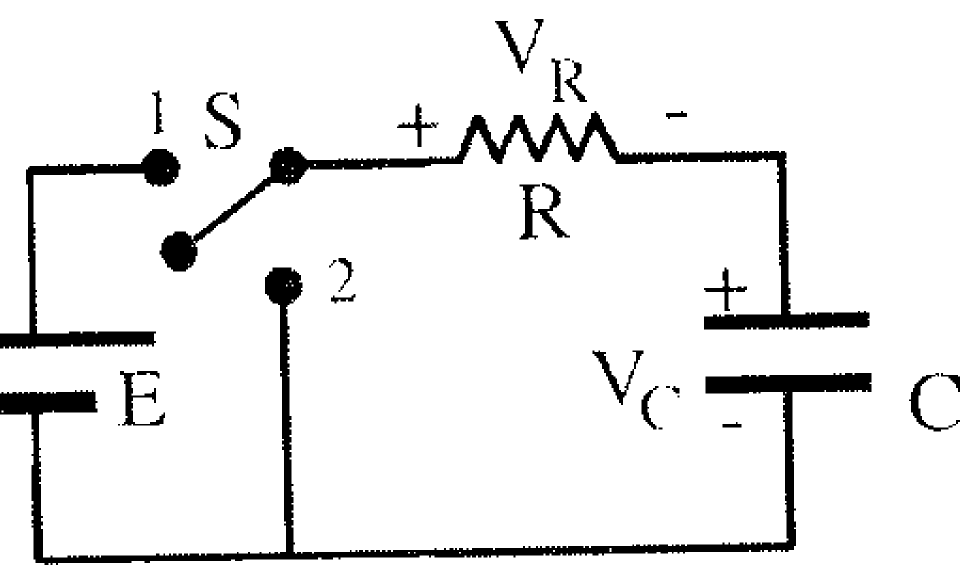


بعد مضى خمس دورات زمنية (5τ) أي نهاية الشحن يعتبر المكثف دائرة مفتوحة ويصبح جهد المصدر $E = V_c$.

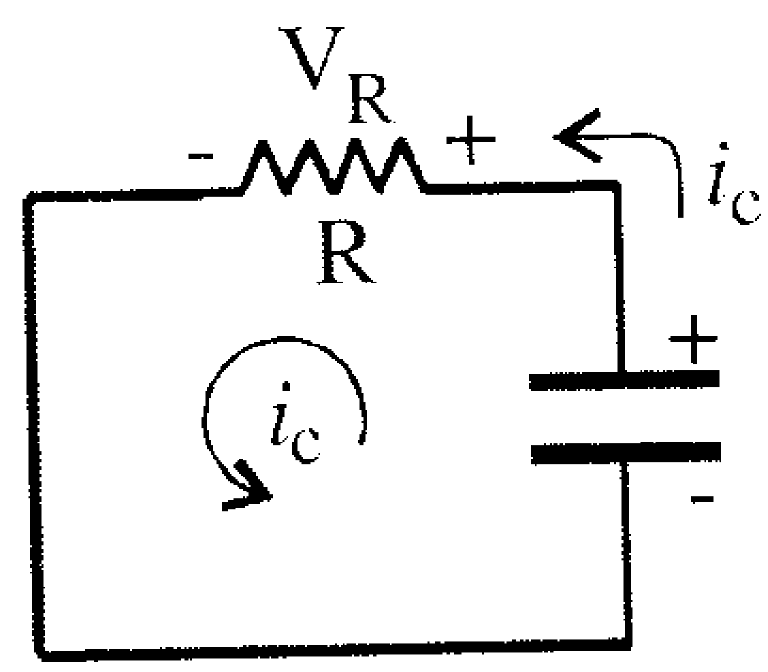
وبما أن الدائرة المفتوحة لايمر بها التيار فإن تيار المكثف في نهاية الشحن ($i_c = 0$)
وهذا ما نلاحظه من العلاقات السابقة بالرسم.

$$\therefore\ 5\tau = (5)\ (32 \times 10^{-3}\ s) = 160ms$$

3.7 تفريغ المكثفات



- في حالة وضع المفتاح على الوضع (2) يكون المكثف في حالة تفريغ (أي غير موصل بمصدر الجهد).
- يصبح المكثف هو مصدر التغذية للدائرة ويتغير اتجاه التيار كما في الدائرة التالية:



بتغير اتجاه التيار تتغير أقطاب المقاومة R

$$i_c = i_R = i_{\text{تفريغ}}$$

وتكون معادلة المكثف في حالة التفريغ:

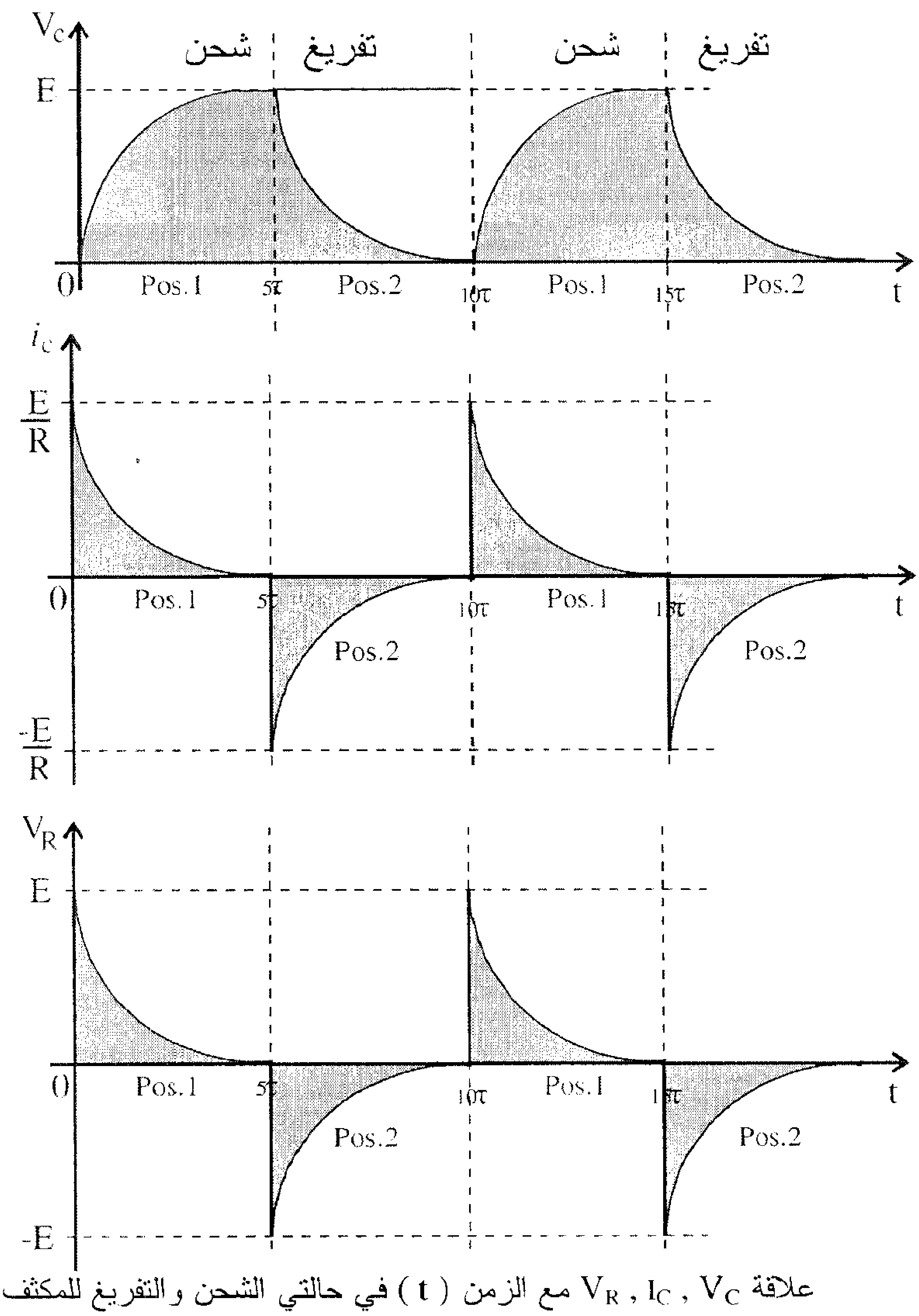
$$V_c = Ee^{-t/RC}$$

$$i_c = \frac{-E}{R} e^{-t/RC}$$

$$V_R = -Ee^{-t/RC}$$

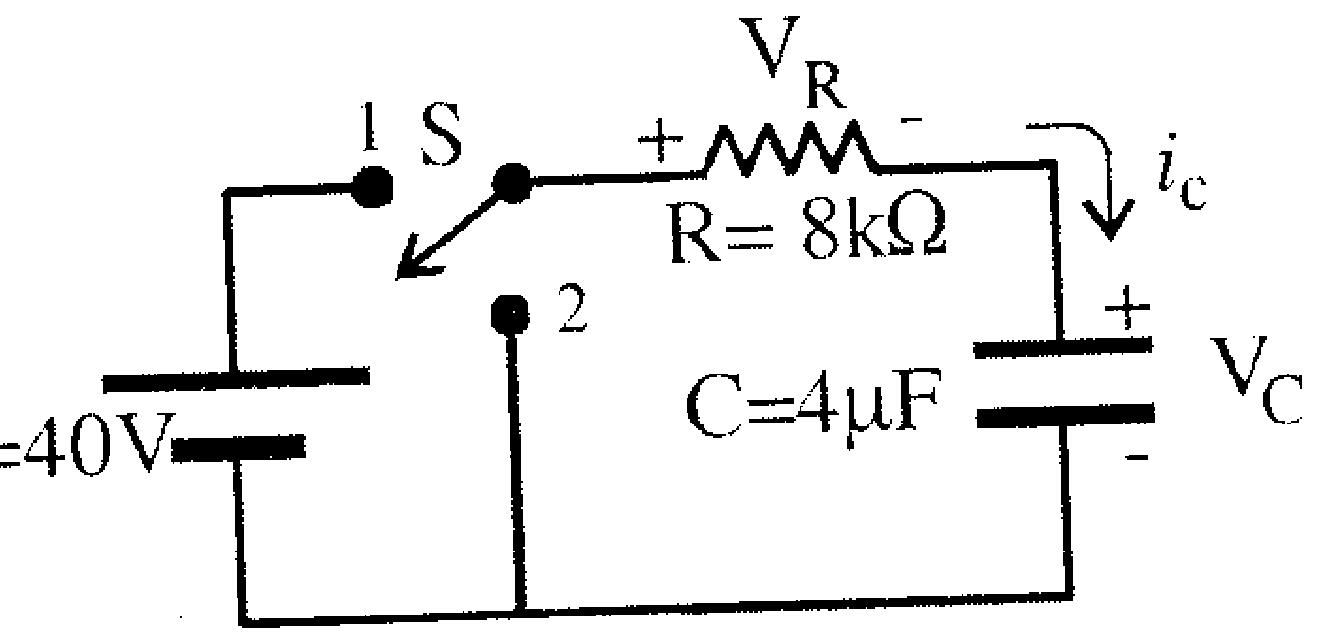
في التطبيقات العملية تتم عملية التفريغ والشحن في خمس مراحل زمنية ثابتة (5τ)
وذلك من خلال تغيير وضع المفتاح ما بين الوضعين (1)، (2) كما نلاحظ في الشكل

التالي من خلال العلاقات V_c, i_C, V_R مع الزمن مع الأخذ بعين الاعتبار تغير اتجاه التيار للمكثف عند الانتقال من مرحلة الشحن إلى التفريغ وكذلك أقطاب المقاومة.



علاقة V_C , I_C , V_R مع الزمن (t) في حالتي الشحن والتفريغ للمكثف

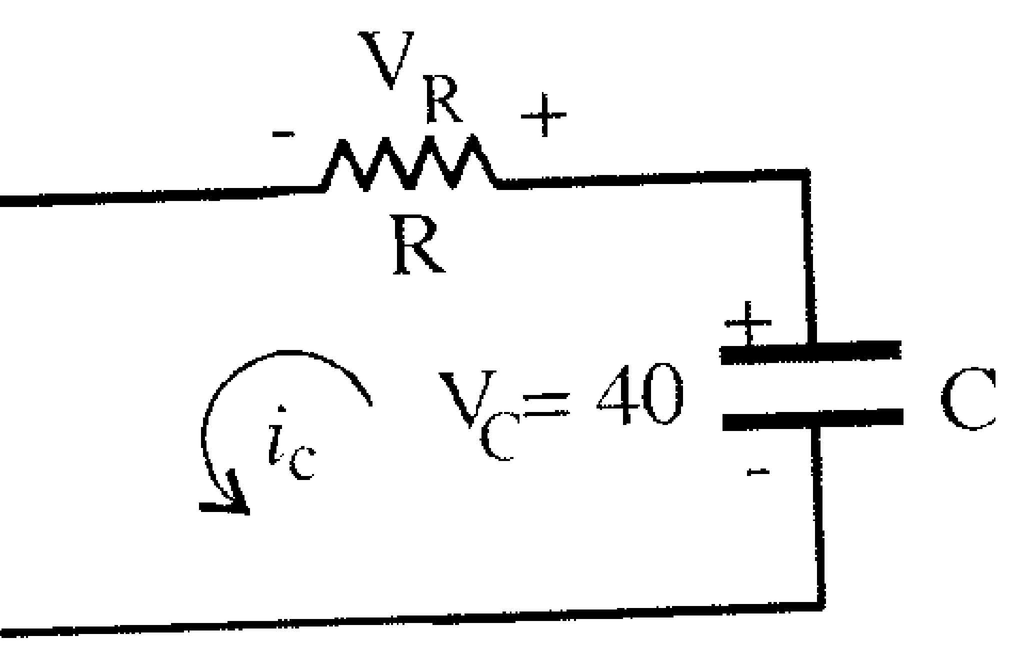
مثال من الدائرة بالشكل التالي:



عند الزمن ($t = 0$) وضع المفتاح على الوضع (2) بعد أن تم شحن المكثف إلى قيمة $40\ V$.

أوجد الصيغ الرياضية للسلوك الانتقالي لـــV_R , i_c , V_c بعد نقل المفتاح للوضع (2)،ارسم العلاقات لـــV_c, i_c , V_R

الحــل:



بعد إتمام عملية الشحن ونقل المفتاح للوضع (2) يكون شكل الدائرة كالتالي:

من دائرة التفريغ نوجد الثابت الزمني

$$\tau = RC$$

$$\tau = 32ms$$

جهد المكثف عند التفريغ

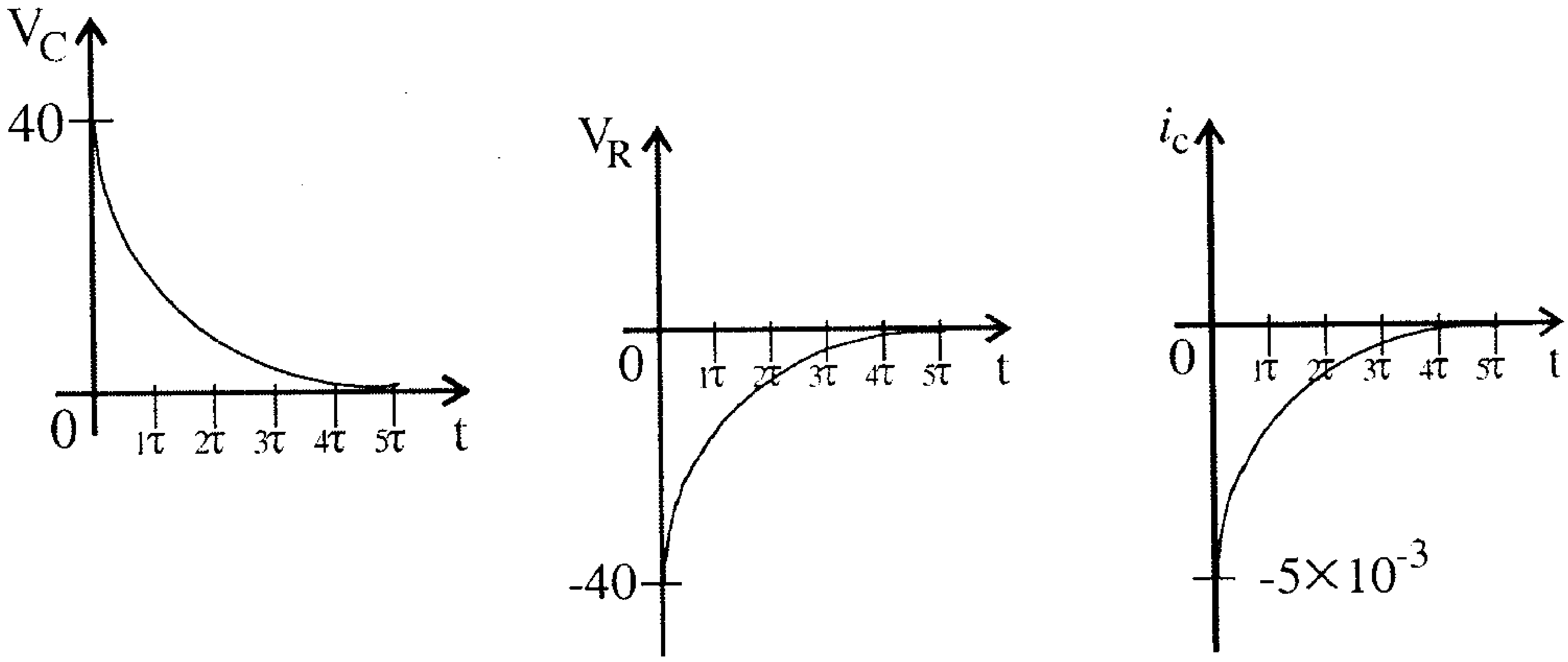
$$V_C = E\,e^{-t/\tau} = 40\,e^{-t/32\times10^{-3}}$$

تيار المكثف عند التفريغ

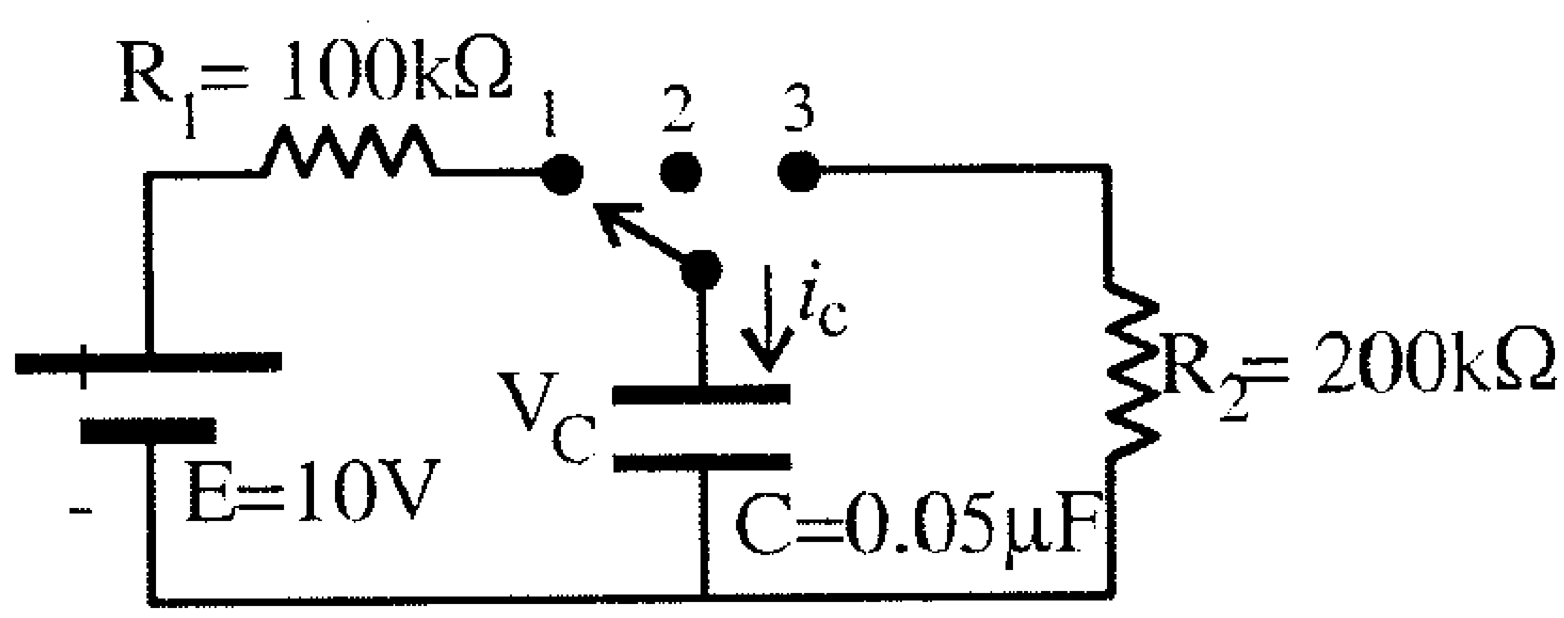
$$i_c = -\frac{E}{R}e^{-t/\tau} = (-5\times10^{-3})e^{-t/32\times10^{-3}}$$

جهد المقاومة عند التفريغ

$$V_R = -Ee^{-t/\tau} = -40e^{-t/32\times10^{-3}}$$



مثال6.7:



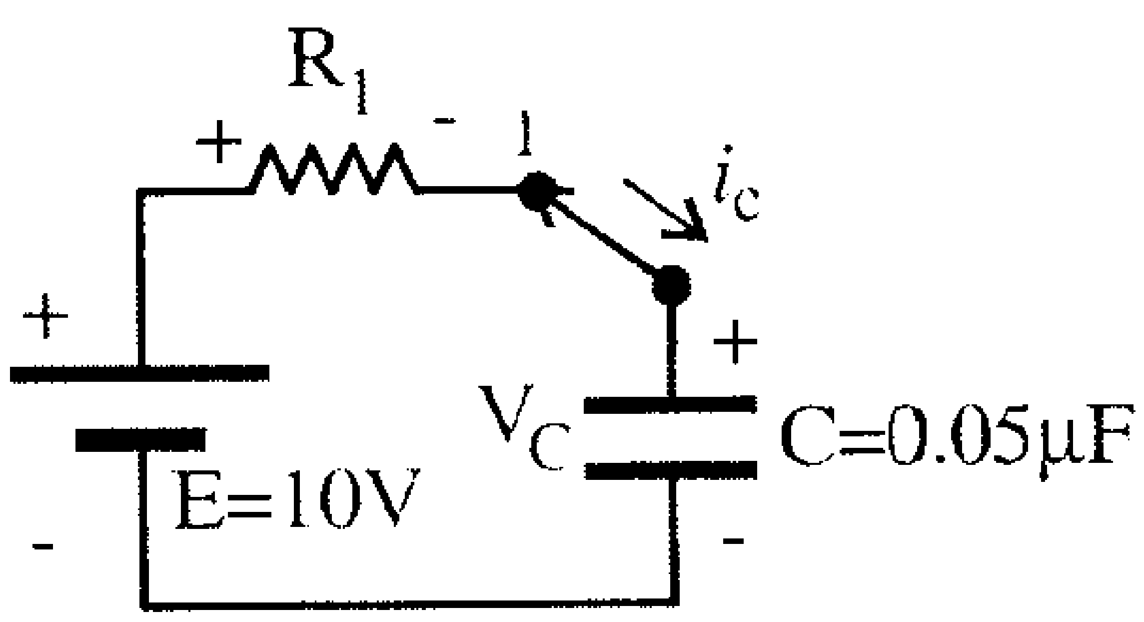
1- أوجد الصيغ الرياضية للسلوك الانتقالي لجهد وتيار المكثف في الشكل الذي أمامك عندما يكون المفتاح في الوضع (1) وعند الزمن ($t = 0s$) .

2- أوجد الصيغ الرياضية للجهد والتيار عند وضع المفتاح على الوضع (2) وعند الزمن ($t = 30ms$).

3- أوجد الصيغ الرياضية لجهد وتيار المكثف عند وضع المفتاح على الوضع (3) وعند الزمن ($t = 48ms$).

4- ارسم العلاقات للفقرات السابقة بيانيا.

الحـــل:



1- حالة الشحن و المفتاح على الوضع (1) المكثف موصل مع مصدر الجهد على التوالي.

$$\tau = R_1 C = (100k\Omega)\,(0.05\mu F)$$

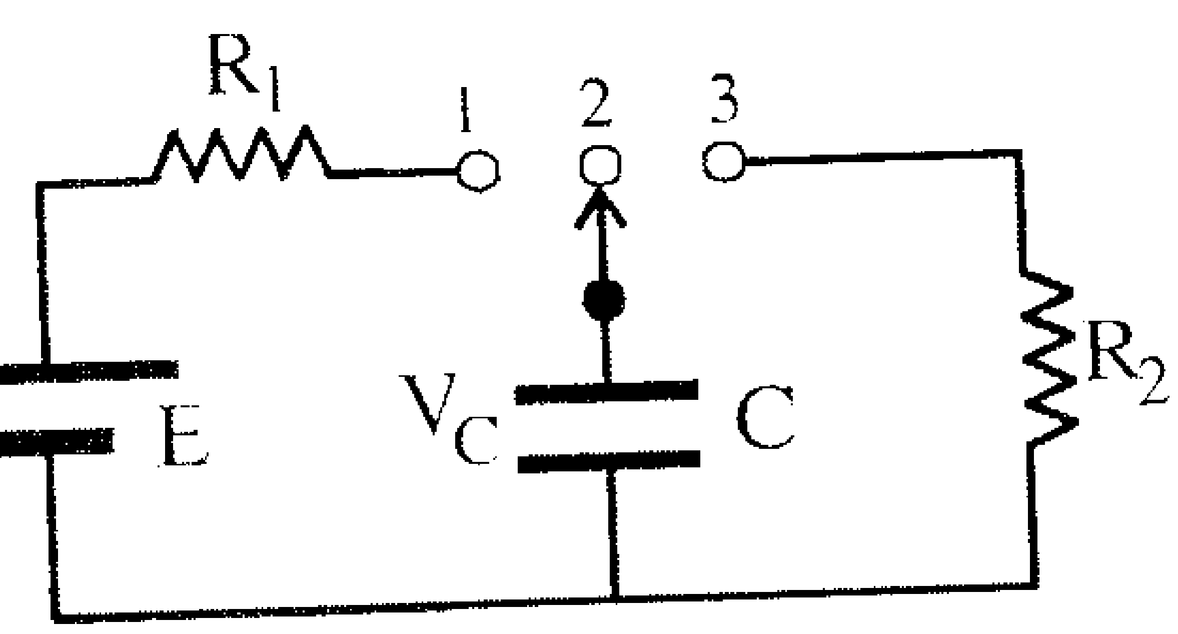
$$\tau = 5\ ms$$

$$V_c = E(1 - e^{-t/\tau})$$

$$V_C = 10(1 - e^{-t/5\times10^{-3}})$$

$$i_C = \frac{E}{R_1} e^{-t/\tau} = \frac{10}{100\times10^{+3}} e^{-t/5\times10^{-3}}$$

$$i_C = (0.1\times10^{-3})e^{-t/5\times10^{-3}}$$



2- حالة التخزين ، والمفتاح على الوضع (2)

المكثف أتم عملية الشحن وصار جهده

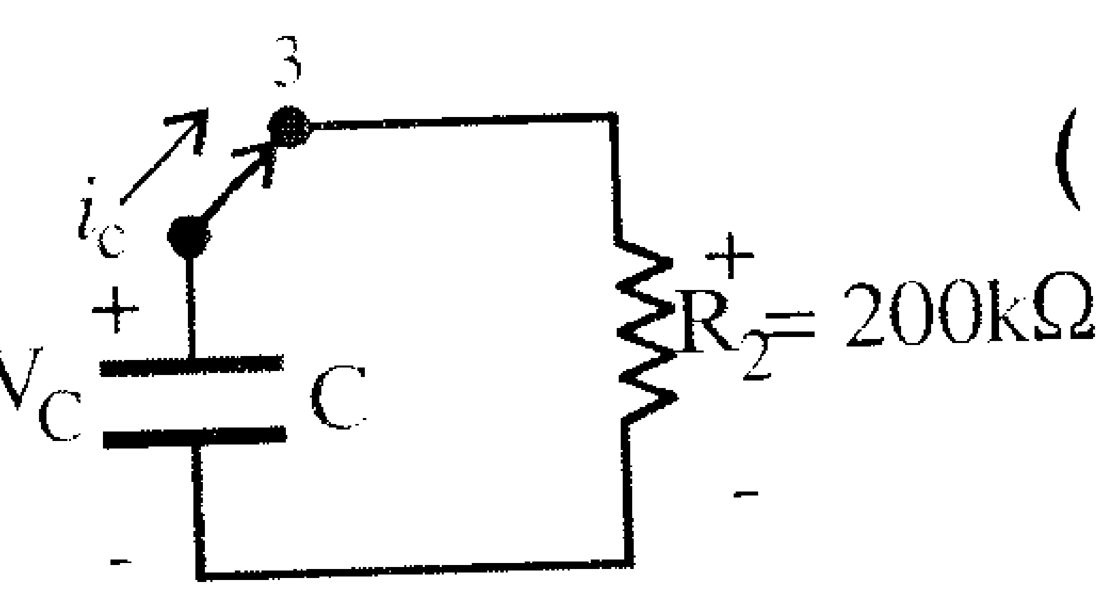
مساوياً لجهد المصدر $V_C = E = 10V$

ولحظة وضع المفتاح على الوضع (2)

تصبح جميع عناصر الدائرة في حالة دائرة مفتوحة لذلك لا يسري التيار

$$\therefore \quad i_C = 0A$$

ويظل المكثف محتفظاً بجهده $(10V)$ من الزمن ($t = 30ms$) وحتى بداية التفريغ عند الزمن ($t = 48ms$).



3- مرحلة التفريغ تبدأ عند الزمن ($t = 48ms$)

أي عند وضع المفتاح على الوضع (3).

الثابت الزمني في حالة التفريغ يتغير لأن

المكثف موصل في هذه الحالة مع المقاومة R_2

$$\tau' = R_2 C = (200k\Omega)(0.05\mu F)$$

$$\tau' = 10ms$$

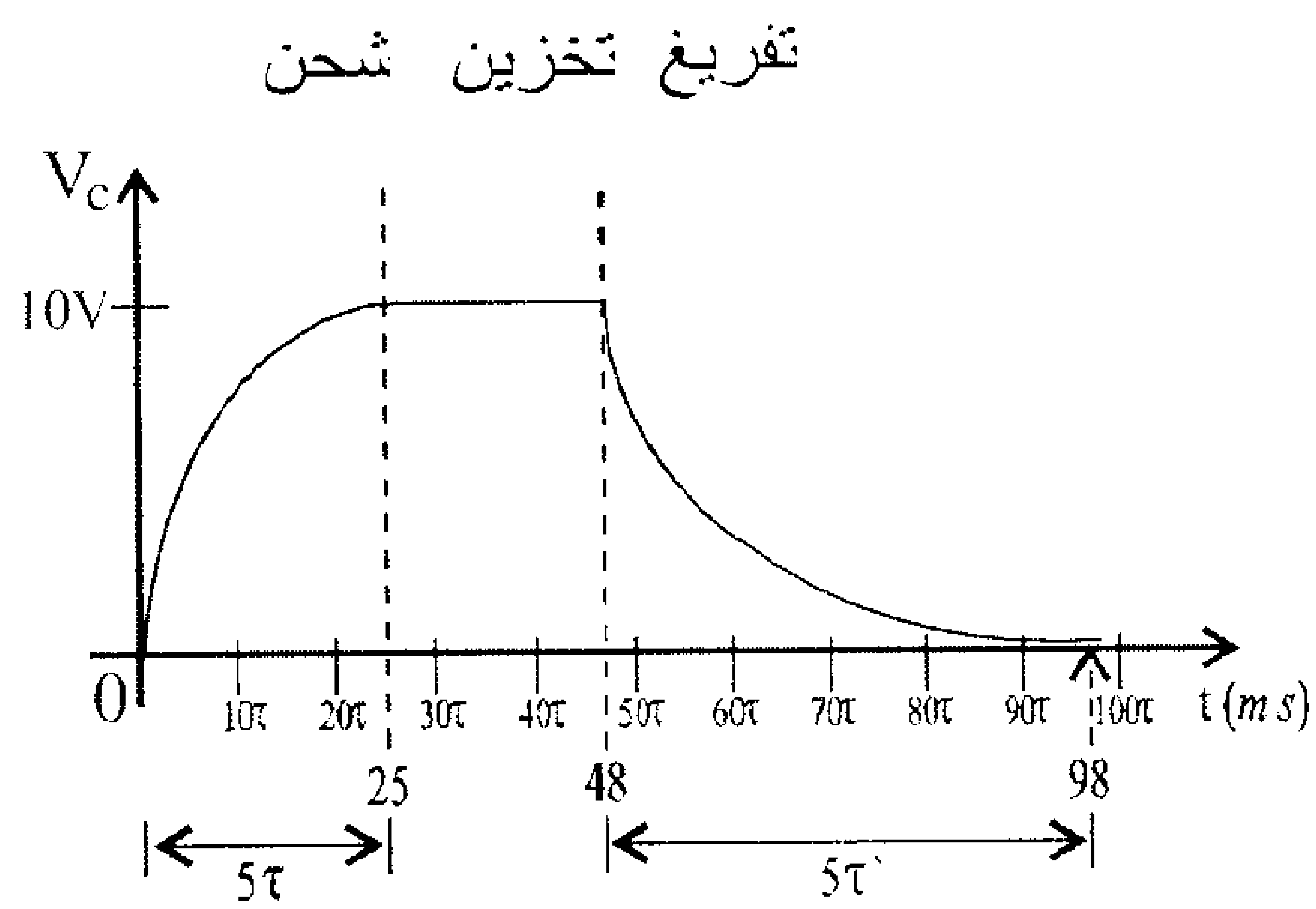
$$V_C = Ee^{-t/\tau'} = (10)e^{-t/10\times10^{-3}}$$

$$i_C = -\frac{E}{R_2}e^{-t/\tau'} = (\frac{-10}{200\times10^3})e^{-t/10\times10^{-3}}$$

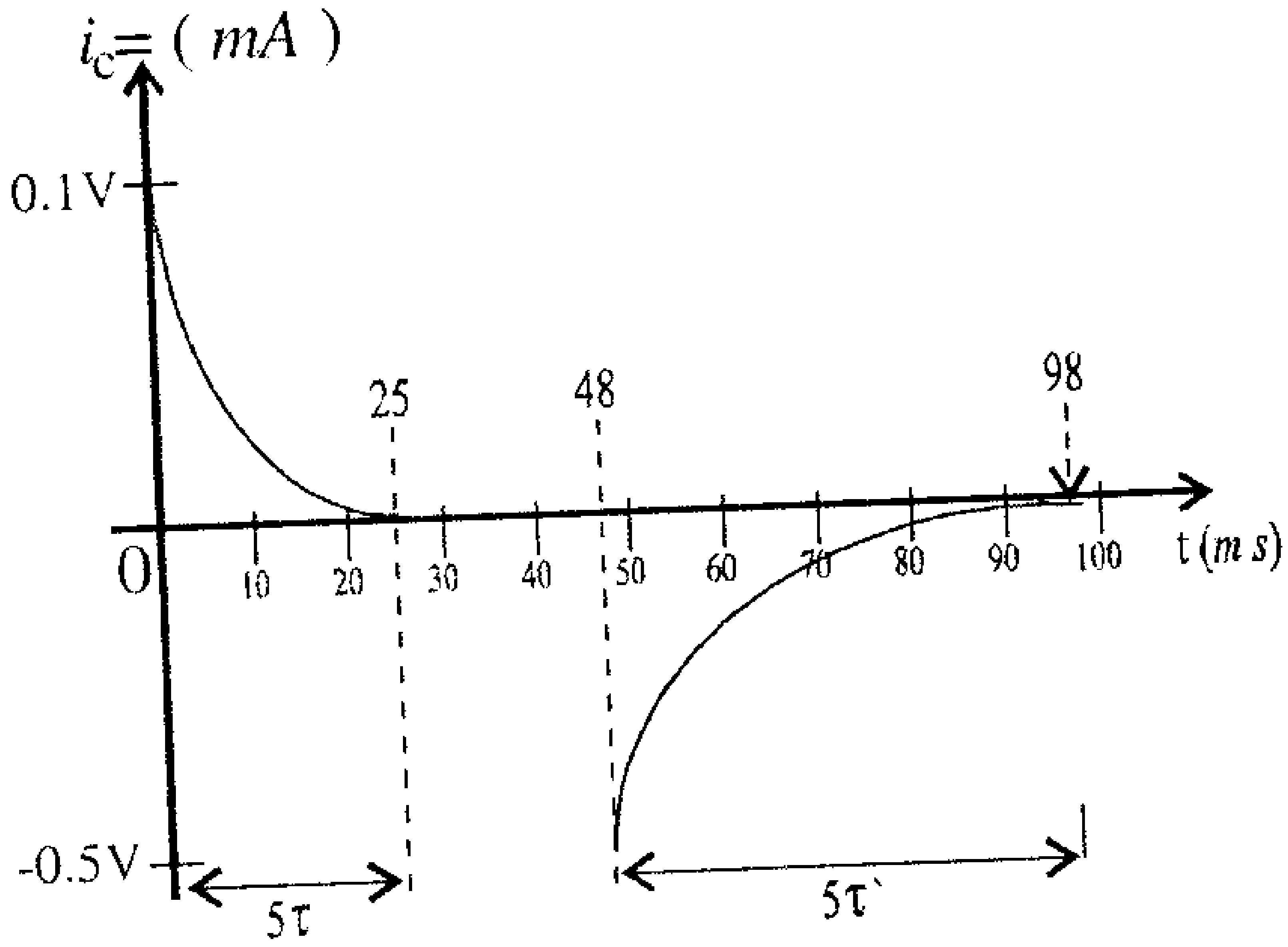
$$i_C = (-0.05\times10^{-3})e^{-t/10\times10^{-3}}$$

نلاحظ أن إشارة التيار في حالة التفريغ عكس الإشارة في حالة الشحن والتي تكون موجبة (لأن اتجاه التيار تغير).

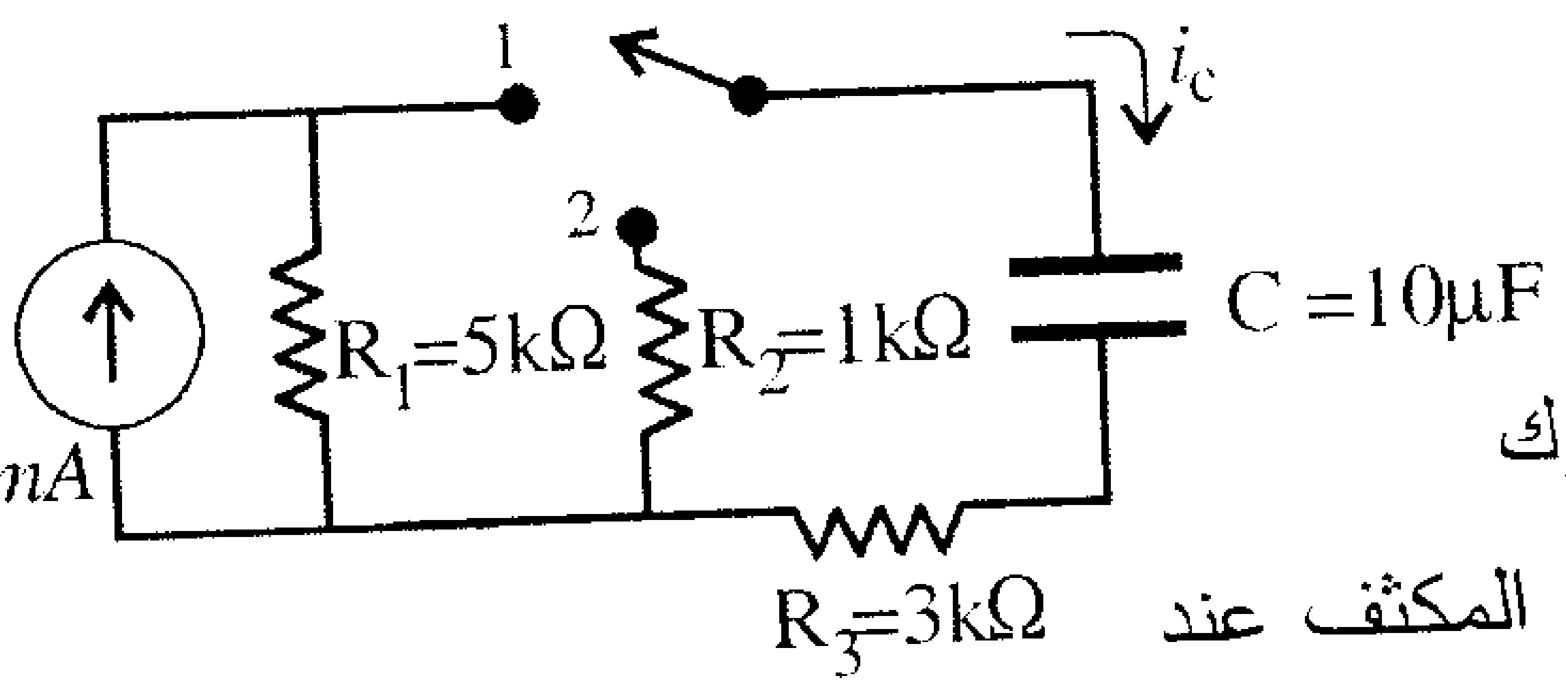
4- علاقة جهد المكثف بالزمن في حالات الشحن والتخزين والتفريغ



علاقة جهد المكثف بالزمن في حالات الشحن و التخزين والتفريغ



علاقة تيار المكثف بالزمن في حالات الشحن و التخزين والتفريغ



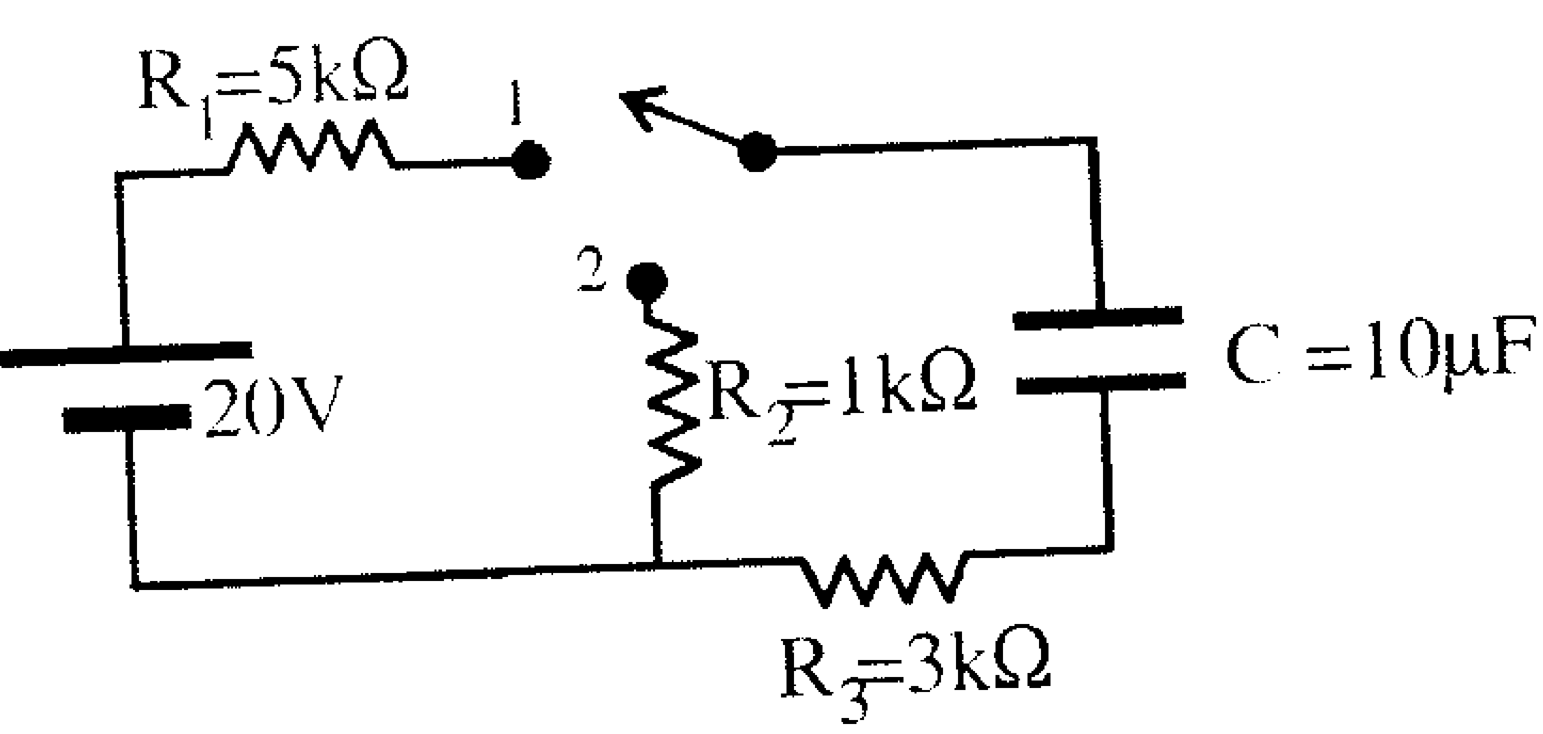
مثال 7.7:

1- أوجد الصيغ الرياضية للسلوك الانتقالي للجهد والتيار خلال المكثف عند الزمن $(t = 0)$ وعندما يكون المفتاح على الوضع (1).

2- أوجد الصيغ الرياضية للسلوك الانتقالي للجهود والتيار خلال المكثف عند الزمن $(t = 1\tau)$ من مرحلة الشحن وعند وضع المفتاح على الوضع (2).

3- مثل العلاقات بيانيا.

الحـــل:



الخطوة الأولى هي تحويل مصدر التيار إلى مصدر جهد لكي نعرف قيمة مصدر الجهد الذي سيتم شحن المكثف به

$$E = (4mA)\,(5k\Omega) = 20V$$

1- مرحلة الشحن:

$$\tau_1 = (R_1+R_3)\ C$$

$$\tau_1 = (5k+3k)10\mu F = 80ms$$

$$V_C = E(1-e^{-t/\tau_1}) = (20)(1-e^{-t/80\times10^{-3}})$$

$$i_C = \frac{E}{R_1+R_3}e^{-t/\tau_1}$$

$$= (\frac{20V}{8k\Omega})e^{-t/80\times10^{-3}}$$

$$i_C = (2.5\times10^{-3})e^{-t/80\times10^{-3}}$$

2- مرحلة التفريغ : عند الزمن

$$t = 1\tau_1$$

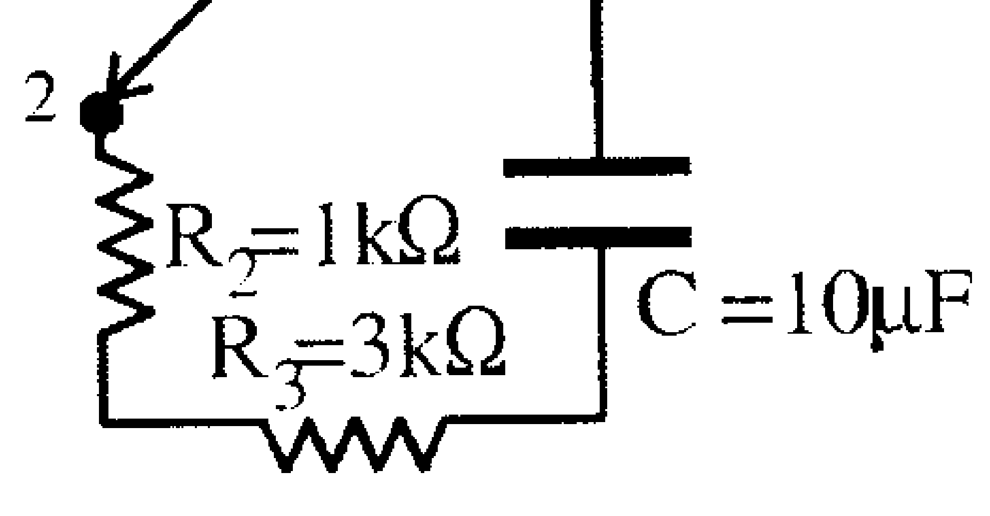
جهد نهاية الشحن = جهد بداية التفريغ

$$V_C' = E(1-e^{-t/\tau_1}) = E(1-e^{-1\tau_1/\tau_1})$$

$$= 20(1-e^{-1}) = 20(1-0.3678)$$

$$V'_C = 12.64V$$

الثابت الزمني في مرحلة التفريغ



$$\tau_2 = (R_2+R_3)\ C$$

$$= (4k\Omega)\ (10\mu F)$$

$$\tau_2 = 40ms$$

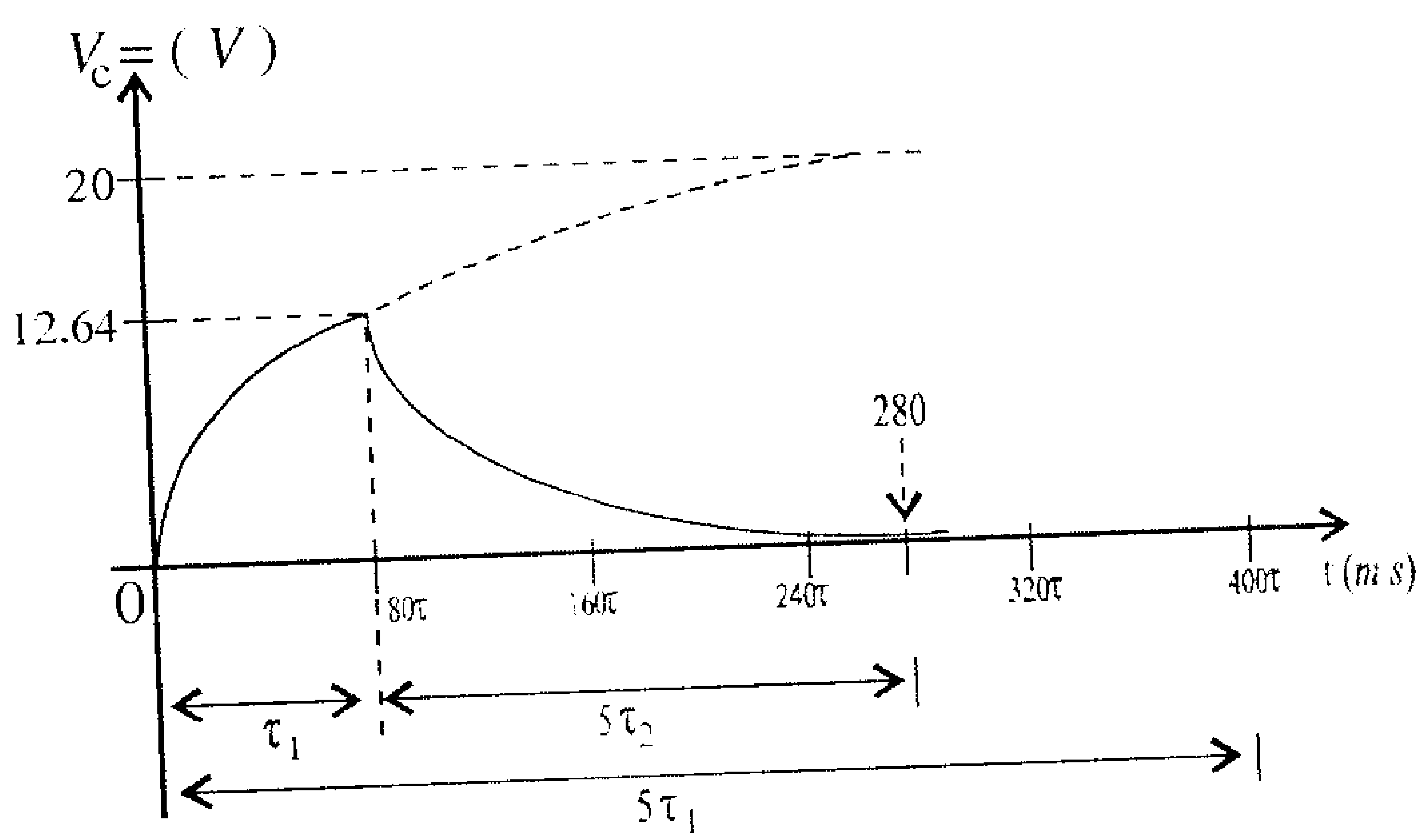
$$\therefore \quad V_C = V_C^{'} e^{-t/\tau_2}$$

$$V_C = (12.64)e^{-t/40\times10^{-3}}$$

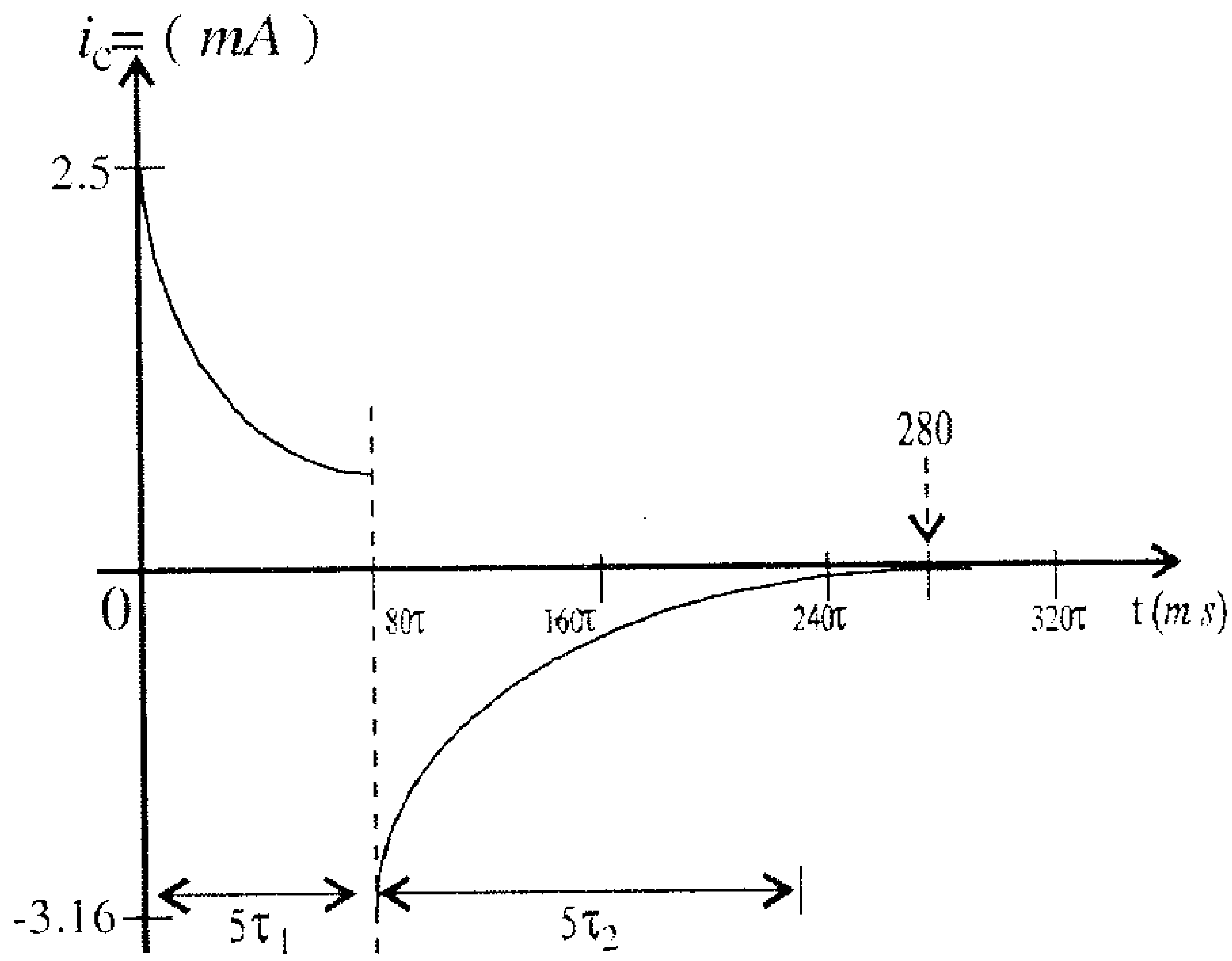
$$i_c = (\frac{-V_C^{'}}{R_2 + R_3})e^{-t/\tau_2} = (\frac{-12.64V}{4k\Omega})e^{-t/40\times10^{-3}}$$

$$i_C = (-3.16\times10^{-3})e^{-t/40\times10^{-3}}$$

3- التمثيل البياني



نلاحظ من العلاقتين أن الشحن تم قطعه بعد فترة زمنية واحدة $(1\tau_1)$ أي بعد $(80ms)$ وبدأت منذ هذا الزمن مرحلة التفريغ. أما الخط المنقط فيمثل امتداد الشحن لو سمح له.



4.7 القيم اللحظية (Instantaneous Values)

عرفنا أن جهد الشحن للمكثف يعطى بالعلاقة

$$V_C = E\,(1-e^{-t/RC})$$

فإذا علمنا جهد المصدر في الدائرة $E = 20V$

وقيمة الثابت الزمني $\tau = RC = 2ms$

ومن علاقة الجهد بالزمن عمليا نجد أن

جهد المكثف عند الزمن $t = 5ms$

أي $t = 2.5\tau$

يكون الجهد $V_C = 18.6V$ (عمليا)

وإذا أردنا معرفة قيمة جهد المكثف تحليليا:

$$V_C = 20(1-e^{-t/\tau}) = 20(1-e^{-5/2})$$

$$= 20(1 - e^{-2.5}) = 20(1 - 0.082)$$

$$V_C = 18.36V$$

وهذه القيمة التحليلية قريبة جداً من القيمة بالرسم

ومن المعادلة $V_C = E\,(1 - e^{-t/\tau})$

وباستخدام اللوغريتمات الطبيعية يمكن إيجاد الزمن t

$$\frac{V_C}{E} = 1 - e^{-t/\tau}$$

$$1 - \frac{V_C}{E} = e^{-t/\tau}$$

$$\log(1 - \frac{V_C}{E}) = \log(e^{-t/\tau})$$

$$\log(1 - \frac{V_C}{E}) = -\frac{t}{\tau}$$

$$t = -\tau \ \log(1 - \frac{V_C}{E})$$

وكذلك الحال في مرحلة التفريغ

$$V_C = E\ e^{-t/\tau}$$

$$\frac{V_C}{E} = e^{-t/\tau}$$

$$\log(\frac{V_C}{E}) = \log(e^{-t/\tau})$$

$$\log(\frac{V_C}{E}) = \frac{-t}{\tau}$$

$$t = -\tau \log(\frac{V_C}{E})$$

وباستخدام معادلة تيار المكثف يمكن إيجاد الزمن

$$i_C = \frac{E}{R} e^{-t/\tau}$$

$$\frac{R i_C}{E} = e^{-t/\tau}$$

$$\log(\frac{R i_C}{E}) = \log(e^{-t/\tau})$$

$$-\frac{t}{\tau} = \log(\frac{R i_C}{E})$$

$$t = -\tau \log(\frac{R i_C}{E})$$

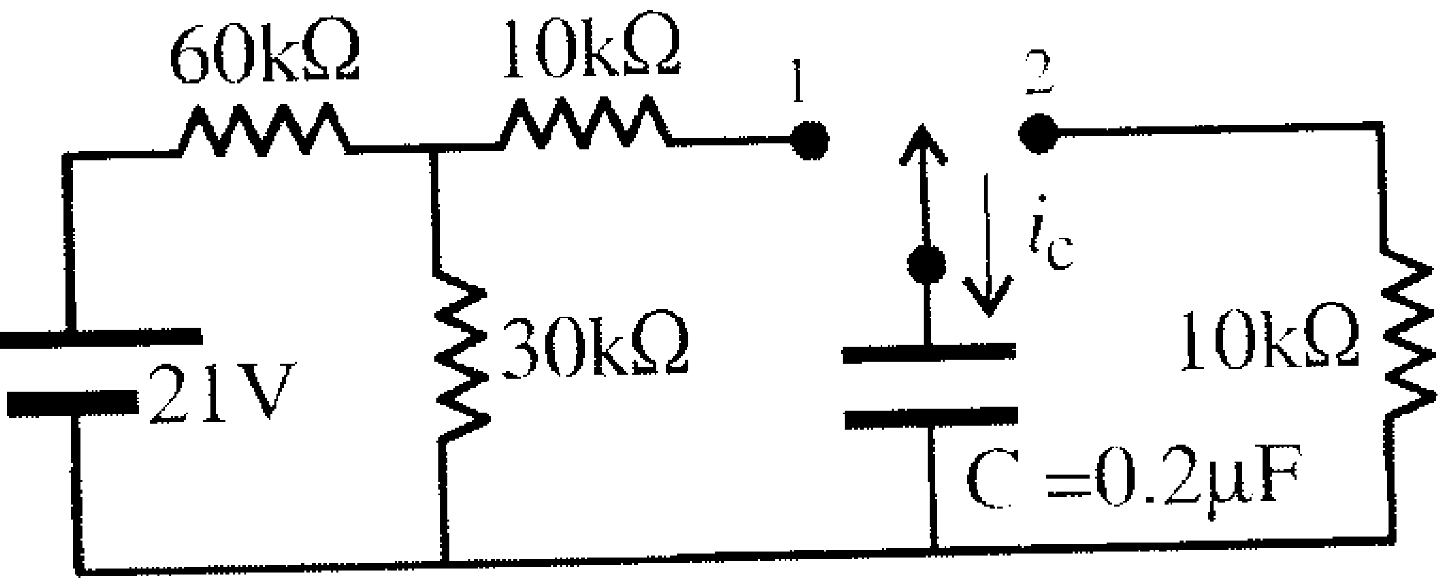
5.7 القـــيــمــة $\tau = R_{th}\,C$

عرفنا فيما سبق أن (τ) الثابت الزمني،وبواسطته نستطيع تحديد المراحل الزمنية لشحن وتفريغ المكثف ، ولكن في بعض الدوائر الكهربائية يصعب تحديد τ بطريقة مباشرة بسبب تعقيد الدائرة،وفى هذه الحالات نستخدم نظرية ثيفنن لإيجاد قيمة (R_{Th}) ومنها يمكن إيجاد (τ) حيث تساوى

$$\tau = R_{Th}C$$

والمثال التالي يوضح طريقة إيجاد (τ) بطريقة ثيفنن.

مثال8.7: من الدائرة بالشكل التالي:

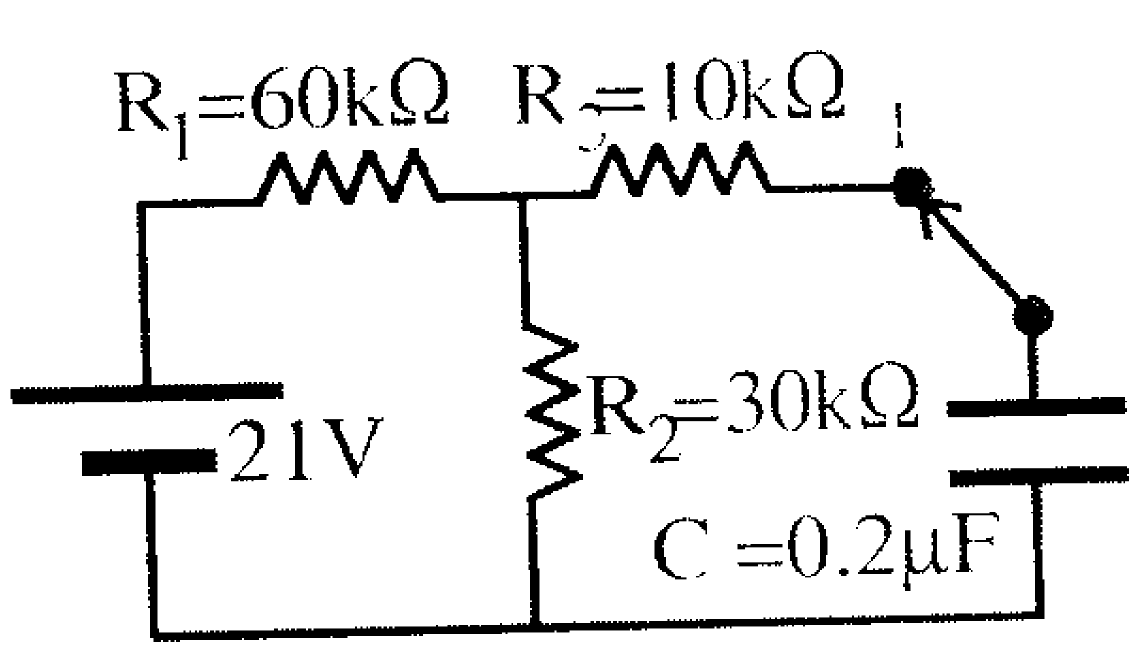


1- أوجد الصيغ الرياضية للسلوك الانتقالي للجهد(V_C) والتيار (i_c) عند وضع المفتاح على الوضع (1) وعند الزمن (t = 0s).

2- أوجد الصيغ الرياضية للسلوك الانتقالي للجهد (V_C) والتيار (i_c) عندما يتغير المفتاح على الوضع (2) وعند الزمن ($t = 9ms$).

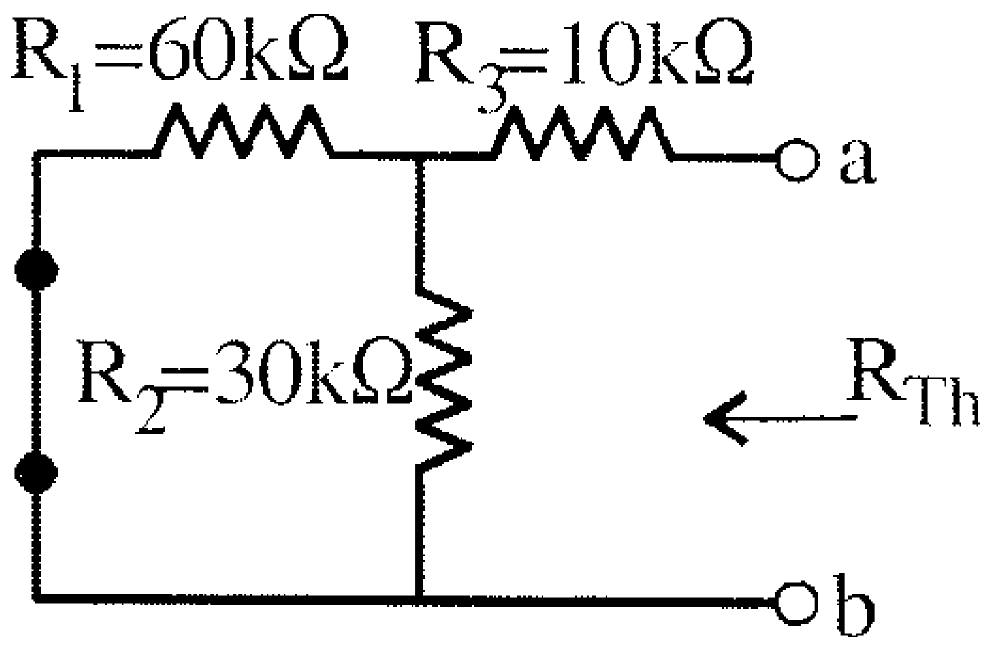
3- ارسم العلاقات في الفقرتين (1) و (2) بيانيا.

الحـــل:



1- مرحلة الشحن وضع المفتاح (1) نستخدم نظرية تيفنن لإيجاد R_{Th} ومنها يمكن حساب الثابت الزمني τ

$$R_{Th} = R_1//R_2+R_3$$

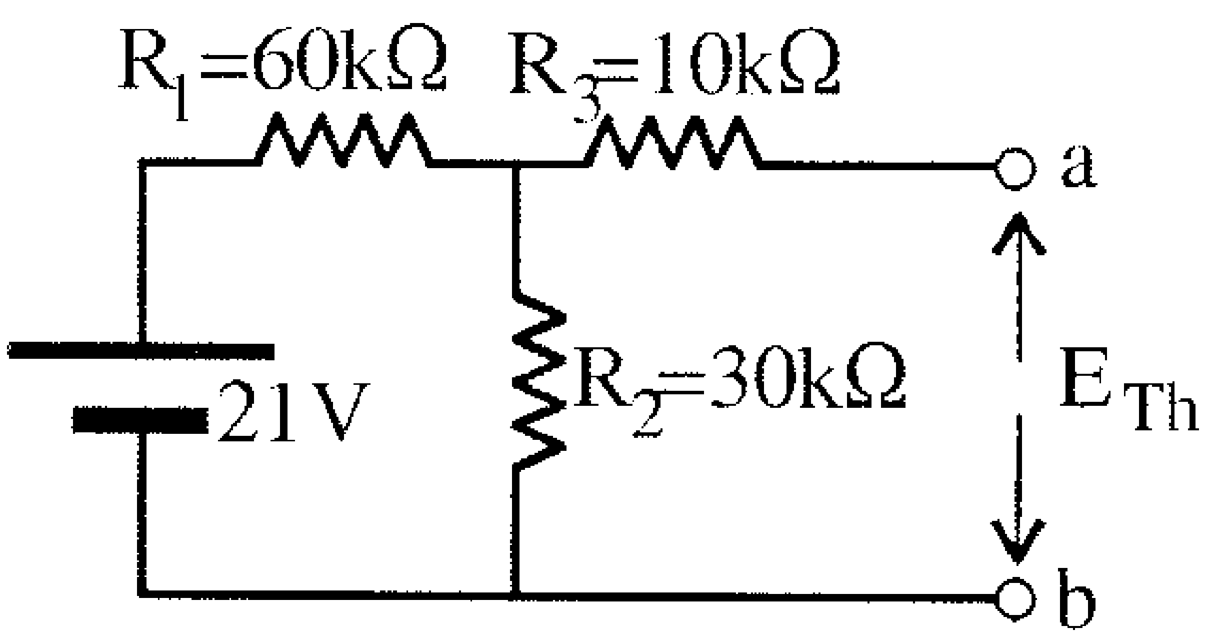


$$= \frac{(60)(30)}{60+30} + 10$$

$$= 20k\Omega + 10k\Omega$$

$$R_{Th} = 30k\Omega$$

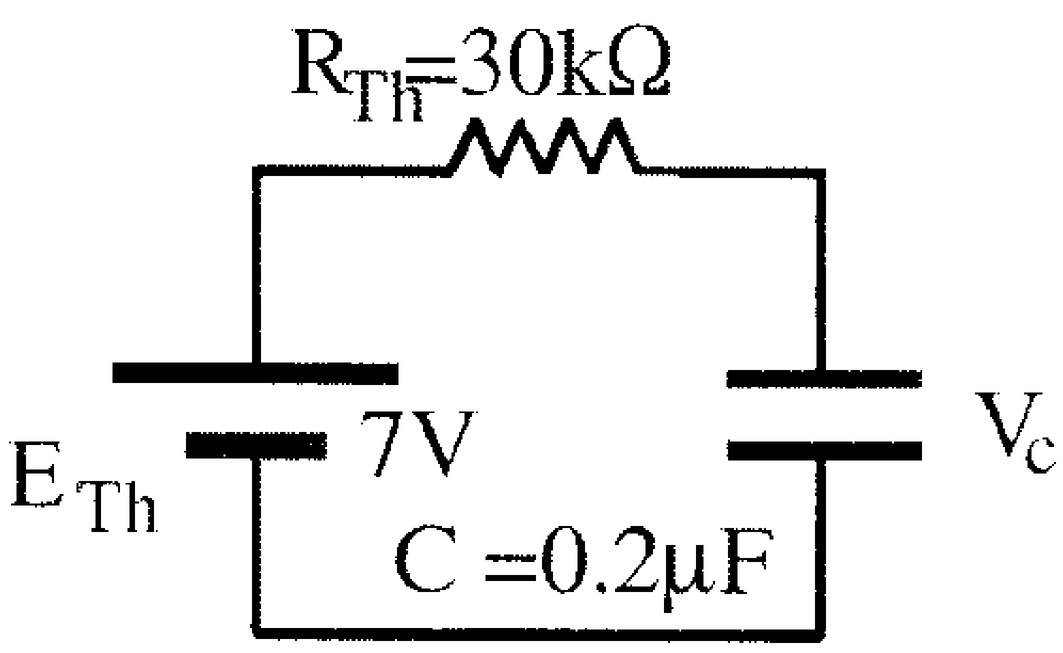
وكذلك يجب إيجاد E_{th} باستخدام قانون مجزئ الجهد



$$E_{Th} = \frac{R_2\,E}{R_1 + R_2}$$

$$E_{Th} = \frac{(30k)(21V)}{60k + 30k} = \frac{21}{3}$$

$$E_{Th} = 7V$$



وبالتالي نحصل على الدائرة المكافئة:

ومنها يمكن إيجاد كل من :-

$$\tau = R_{th}\,C$$

$$= (30k\Omega)\,(0.2\mu F) = 6ms$$

$$V_C = E_{th}\,(\,1 - e^{-t/\tau}\,)$$

$$V_C = 7\,(1 - e^{-t/6\times10^{-3}})$$

$$i_c = \frac{E_{th}}{R_{th}}\,e^{-t/\tau}$$

$$i_c = \frac{7V}{30k\Omega} e^{-t/6\times10^{-3}}$$

$$i_c = (0.233\times10^{-3}) e^{-t/6\times10^{-3}}$$

2- عند الزمن ($t = 9ms$) ينقل المفتاح إلى الوضع (2) لتنتهي بذلك عملية الشحن وتبدأ عملية التفريغ

جهد نهاية الشحن للمكثف = جهد بداية التفريغ للمكثف

$$V`_C = E_{th}(1-e^{-t/\tau})$$

$$V`_C = 7(1-e^{-9ms/6ms})$$

$$V`_C = 7(1-e^{-1.5}) = 7(1-0.223)$$

$$V`_C = 5.44V$$

وكذلك الحال بالنسبة للتيار

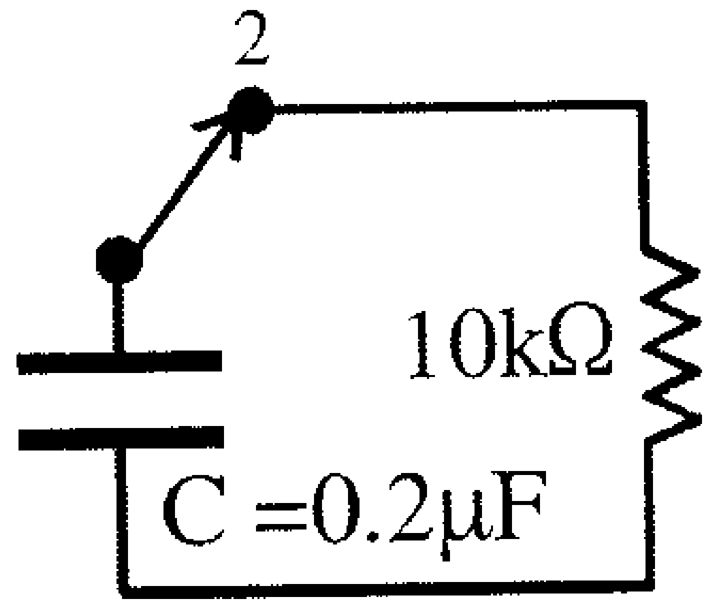
$$i'_C = \frac{E_{th}}{R_{th}} e^{-t/\tau}$$

$$= \frac{7V}{30k\Omega} e^{-9ms/6ms} = (0.233\times10^{-1.5})(e^{-1.5})$$

$$i'_C = 0.052mA$$

في دائرة التفريغ عند نقل المفتاح للوضع (2) تلغى المقاومات R_3 ، R_2 ، R_1 وكذلك مصدر الجهد لأن جميعها تقع كدائرة مفتوحة ويصبح شكل الدائرة كالتالي:

وبذلك يمكن حساب الثابت الزمني في حالة التفريغ من الدائرة التالية



$$\tau' = R_4C$$

$$= (10k\Omega)\,(0.2\mu F) = 2ms$$

ليكون جهد المكثف وتياره في حالة التفريغ كالتالي:

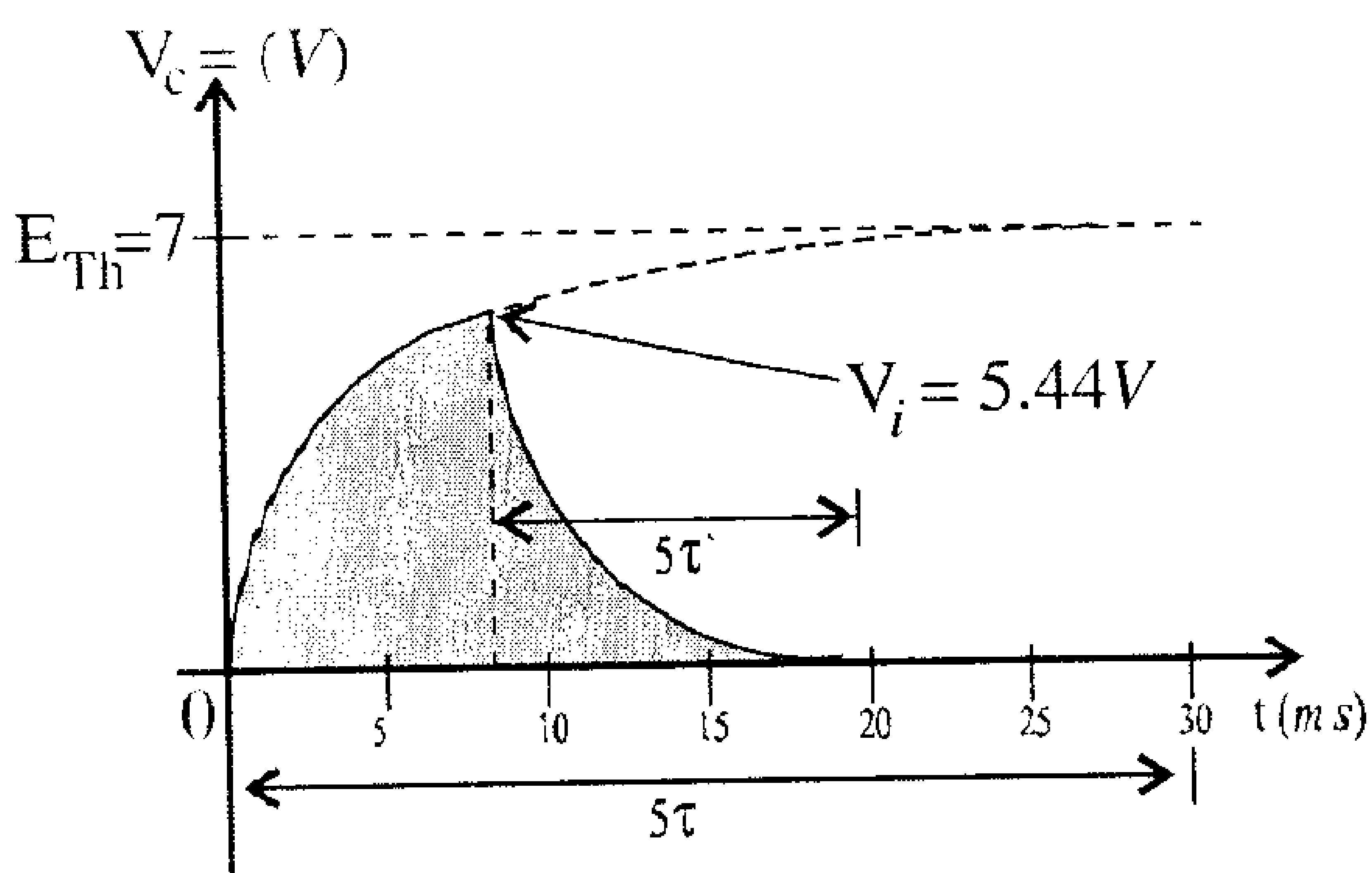
$$V_C = V_C'\, e^{-t/\tau'} = (5.44)e^{-t/2\times10^{-3}}$$

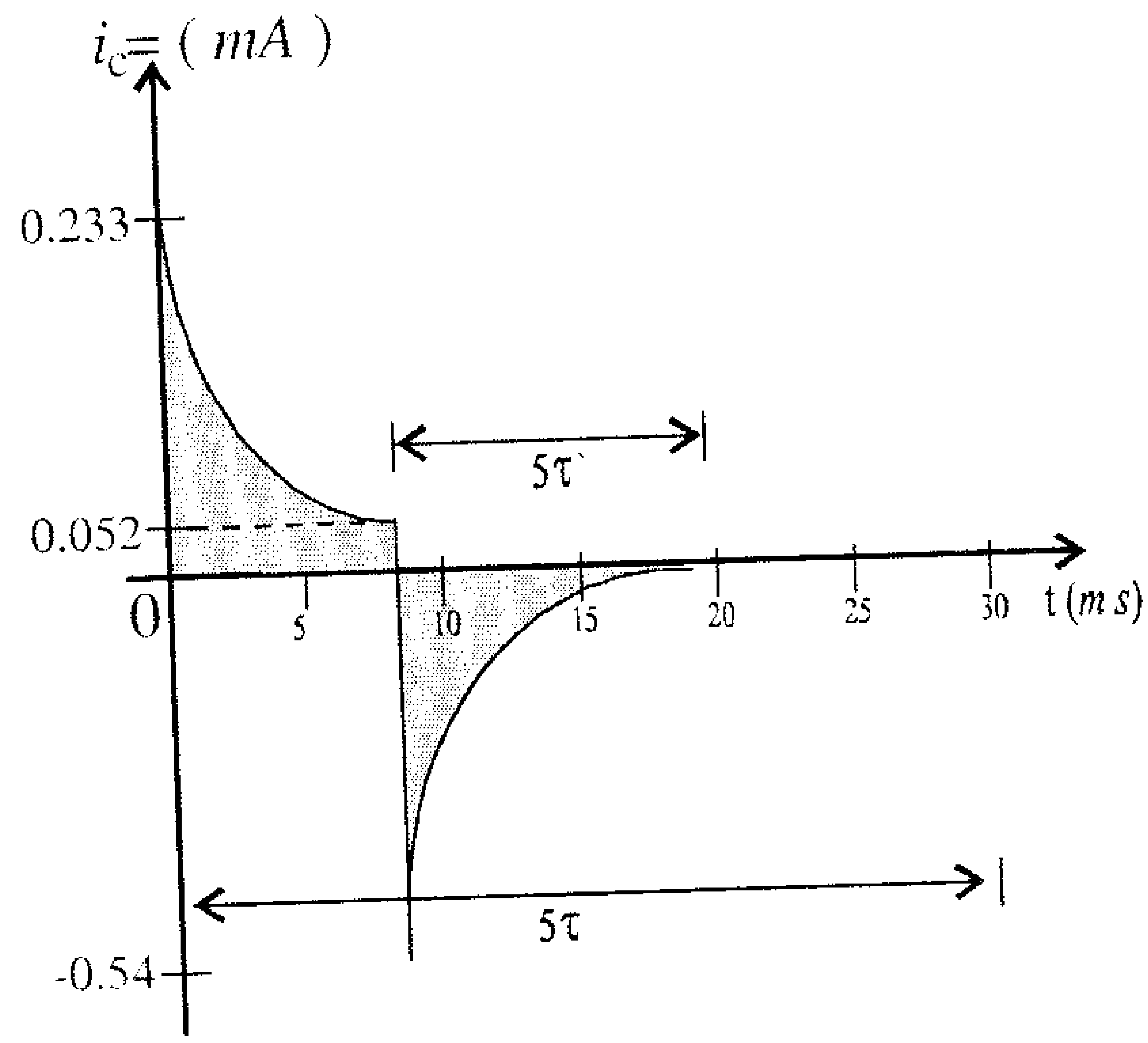
$$i_C = -\frac{V_C'}{R_4} e^{-t/\tau'}$$

$$= \frac{-(5.44V)}{10k\Omega} e^{-t/2\times10^{-3}}$$

$$i_C = -(0.544\times10^{-3})e^{-t/2\times10^{-3}}$$

−3



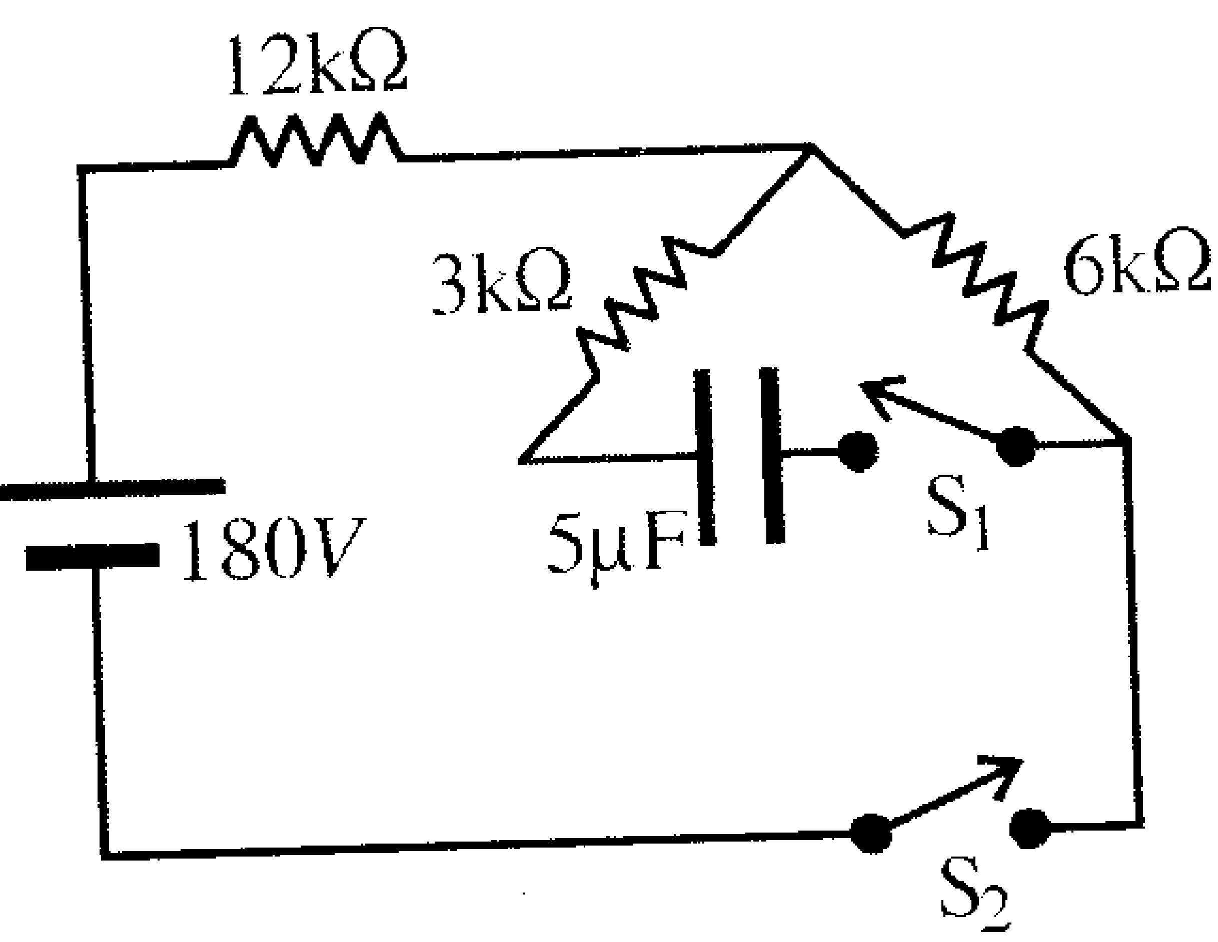


مثال 9.7:

1- عند الزمن ($t = 0s$) أغلق المفتاحان S_2 و S_1 ، أوجد :

1- الثابت الزمني.

2- جهد المكثف عند ($t = 3\tau$).



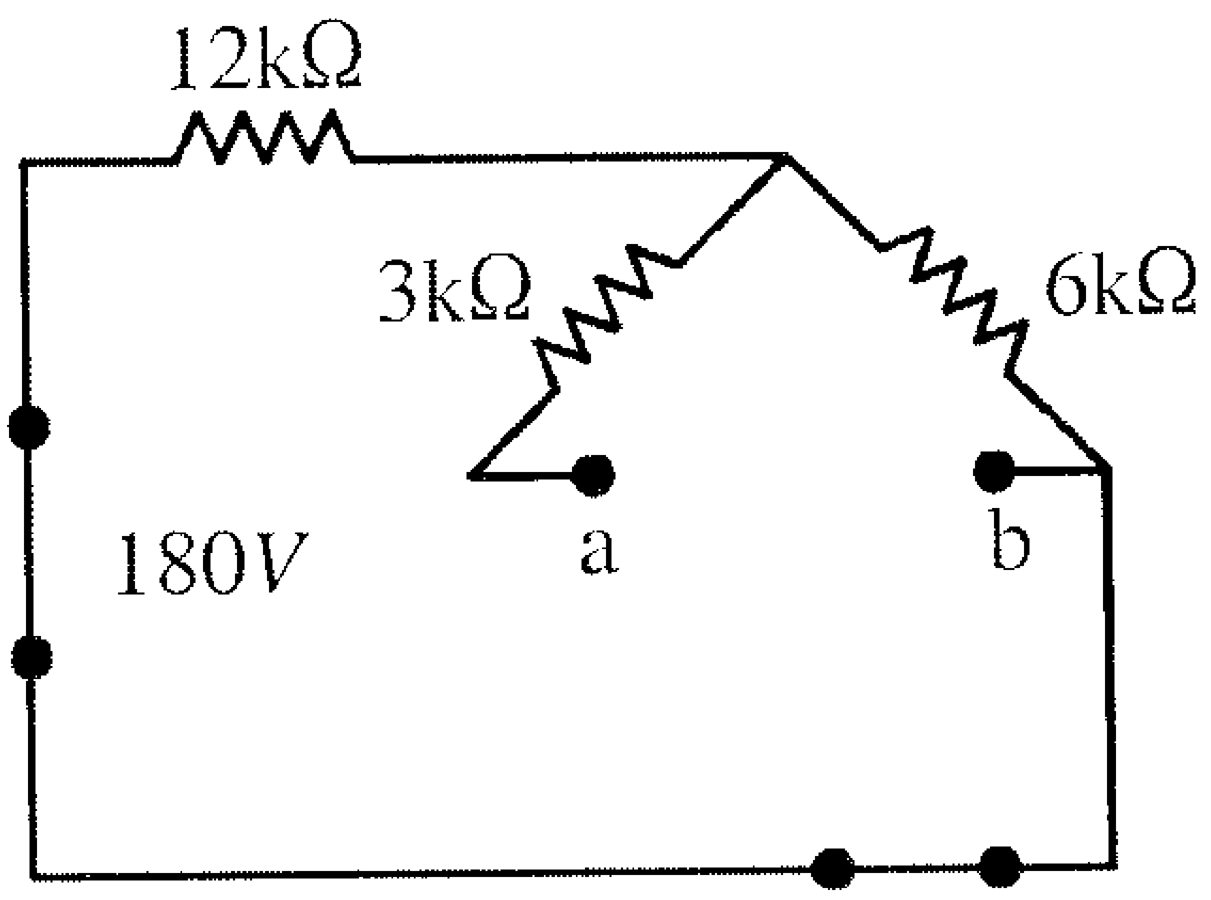
2- عند الزمن ($t = 70ms$) فتح المفتاح (S_2) وأبقى المفتاح (S_1) مغلقا أوجد:

1- الثابت الزمني.

2- الزمن اللازم قبل فتح المفتاحين S_1 و S_2 لكي تبقى شحنة مقدارها ($57.9\mu C$) على لوحي المكثف.

الحـــل:

1- عند الزمن$t = 0$ أغلق S_2 وS_1 دائرة شحن نستخدم نظرية ثيفنن لإيجادR_{Th} :



$$R_{Th} = 12k\Omega \,//\, 6k\Omega + 3k\Omega$$

$$= 4k\Omega + 3k\Omega$$

$$R_{Th} = 7k\Omega$$

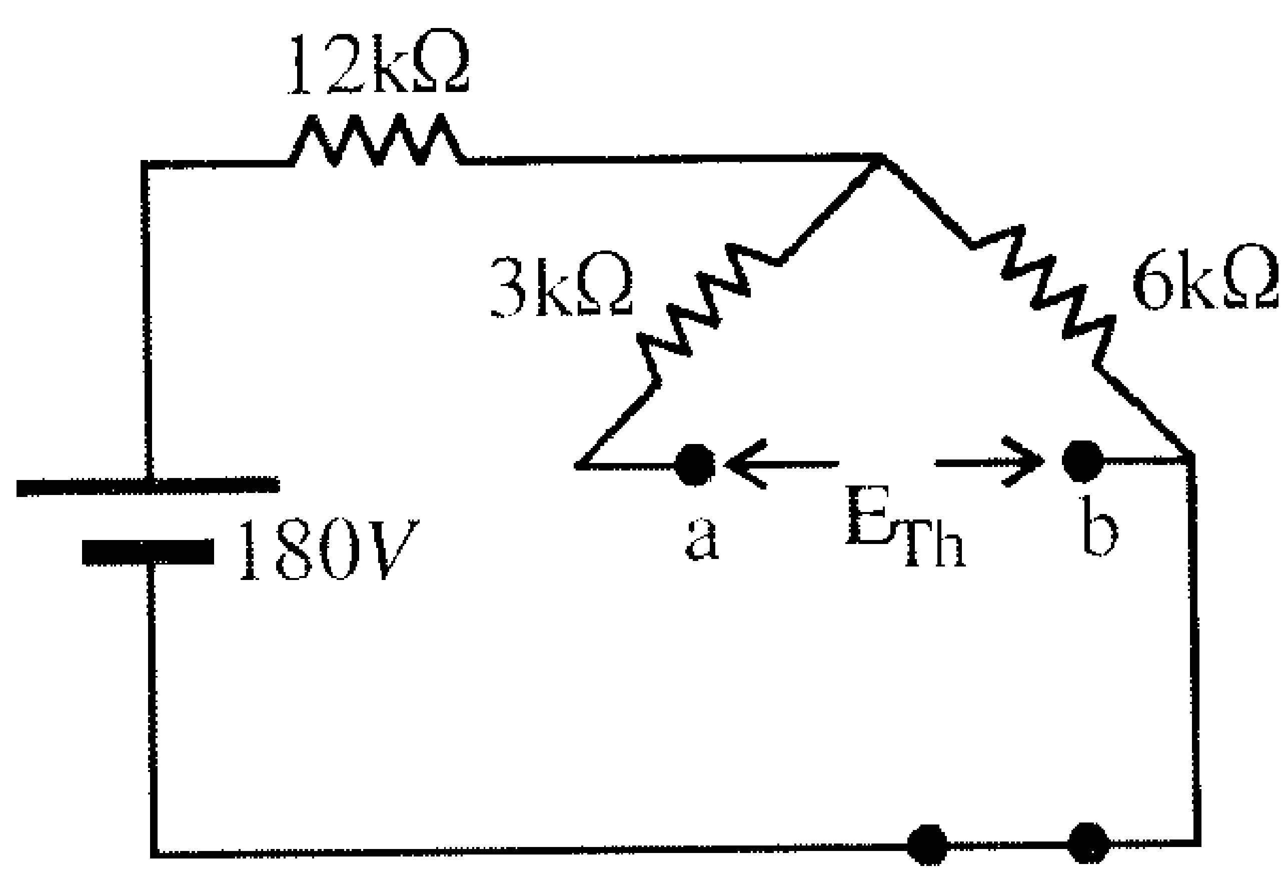
$$\tau = R_{Th}C = (\ 7k\Omega\ )\ (\ 5\mu F\ ) = 35ms$$

لإيجاد E_{Th}:

المقاومة 3k تلغى (دائرة مفتوحة)

$E_{Th} = V_{6k\Omega} \longrightarrow$ بالتوازي

نستخدم قانون مجزئ الجهد



$$E_{Th} = \frac{(180V)(6k\Omega)}{6k\Omega + 12k\Omega} = \frac{1080}{18} = 60V$$

حـــساب جهد المكثف عندما ($t = 3\tau$)

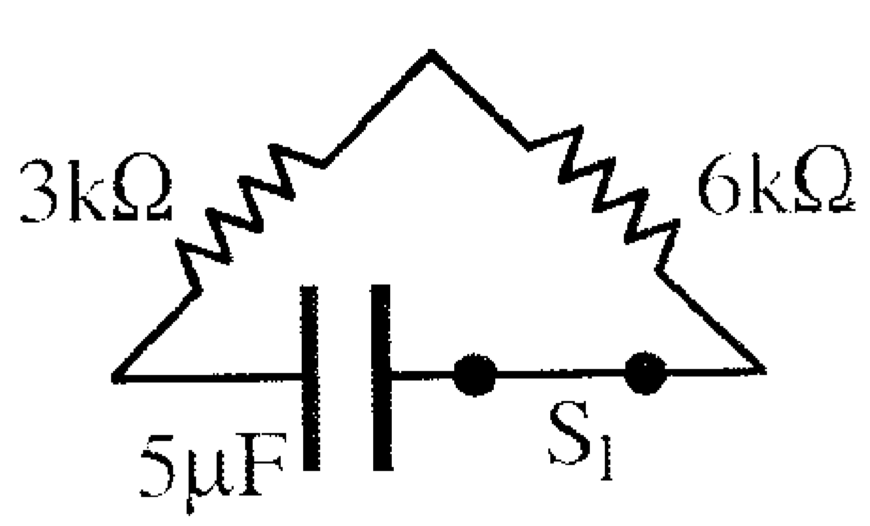
$$V_c = E_{Th}(1 - e^{-t/\tau}) = 60(1 - e^{-3\tau/\tau})$$

$$V_c = 60\ (1 - e^{-3}) = 57$$

2- عند الزمن ($t = 70ms$) فتح S_2 وبقى S_1 مغلقا

المقاومة $12k\Omega$ والمصدر $180V$ دائرة مفتوحة

بداية التفريغ



$$-1 \quad \tau' = (3k\Omega+6k\Omega)(5\mu F)$$
$$\tau' = 45ms$$

في لحظة فتح المفتاح S_2 والإبقاء على المفتاح S_1 مغلقاً تصبح الدائرة دائرة تفريغ
وفيها.

جهد نهاية الشحن =جهد بداية التفريغ للمكثف

$$V'_C = E_{th}\,(1-e^{-t/\tau})$$
$$= 60(1-e^{-70ms/35ms})$$
$$= 60(1-e^{-2})$$
$$V'_C = 51.88V$$

وبالتالي نعوض في معادلة التفريغ :

$$V_C = V'_C\, e^{-t/\tau}$$

$$\frac{Q}{C} = (51.88)(e^{-t/45\times10^{-3}})$$

$$\frac{57.9\mu c}{5\mu F} = (51.88)(e^{-t/45\times10^{-3}})$$

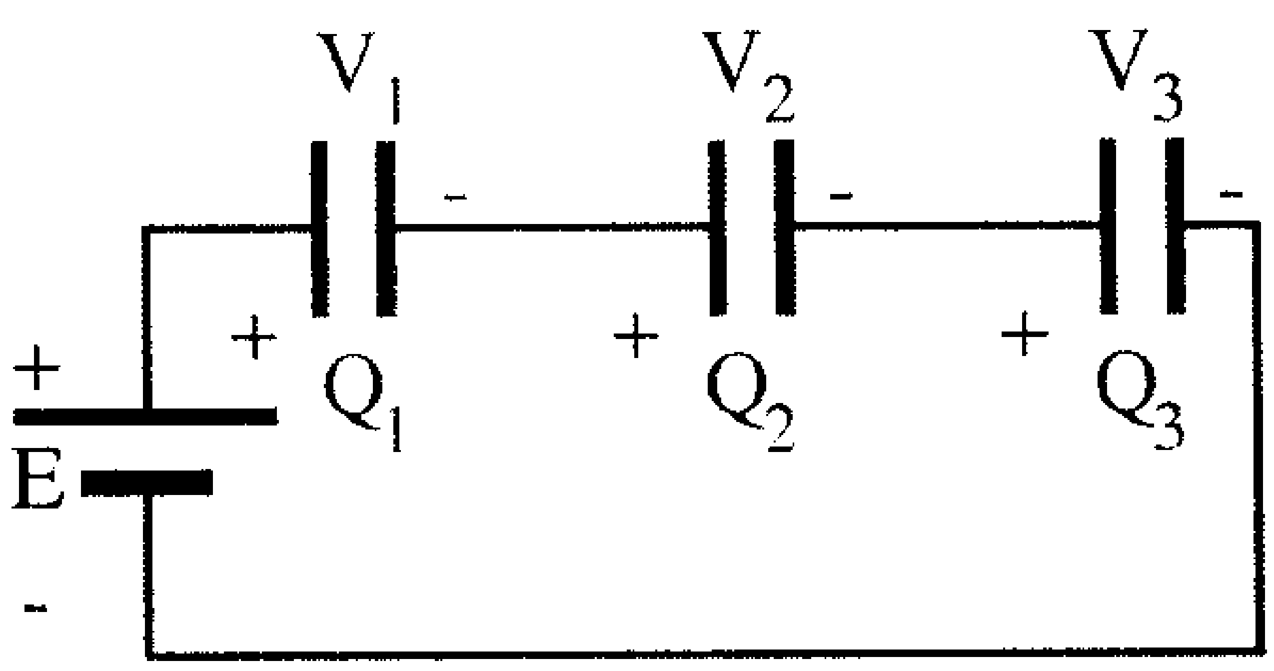
$$\frac{57.9}{(5)(51.88)} = e^{-t/45\times10^{-3}}$$

$$\log(0.223) = \frac{-t}{45\times10^{-3}}$$

$$t = -(45\times10^{-3})\ [\log(0.223)]$$

$$t = 0.0675\ s = 67.5\ \text{ms}$$

6.7 توصيل المكثفات على التوالي .



الشحنة الكلية Q_T :

$$Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

وباستخدام قانون كرشوف للجهد

$$E = V_1 + V_2 + V_3$$

وبما أن

$$V = \frac{Q}{C}$$

إذا

$$\frac{Q_T}{C_T} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3}$$

وباعتبار أن جميع الشحنات متـــساوية

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

وفـــي حالة مكثفين اثنين فقط

$$C_T = \frac{C_1\ C_2}{C_1 + C_2}$$

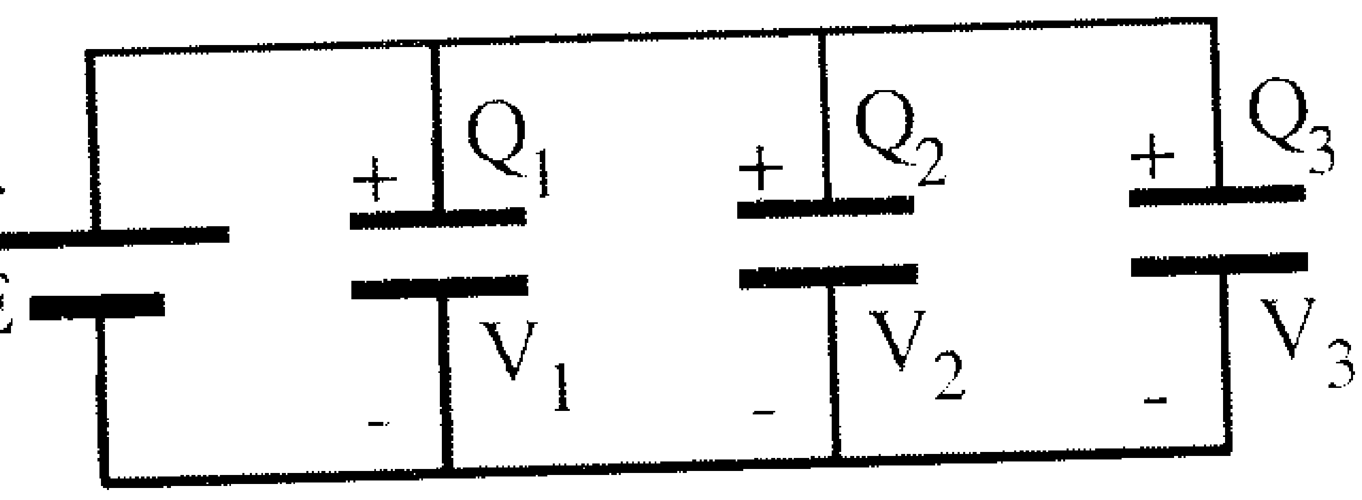
7.7 توصيل المكثفات على التوازي

الشحنة الكليـــة

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

والجهود على التوازي متساوية

$$E = V_1 = V_2 = V_3$$



وبما أن

$$Q = CV$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_T \cancel{E} = Q_1 \cancel{V_1} + Q_2 \cancel{V_2} + Q_3 \cancel{V_3}$$

$$\therefore\ C_T = C_1 + C_2 + C_3$$

8.7 الطاقة المخزنة في المكثف :

يخزن المكثف طاقة على شكل مجال كهربائي

$$W_C = \frac{1}{2} C E^2$$

حيث أن W_C الطاقة بالجول و E الجهد الكهربائي بالفولت

وبصيغة عامة

$$W_C = \frac{1}{2} C V^2$$

وبما أن

$$V = \frac{Q}{C}$$

إذاً

$$W_C = \frac{1}{2} C \left(\frac{Q}{C}\right)^2$$

$$\boxed{W_C = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}}$$

أو $C = \dfrac{Q}{V}$

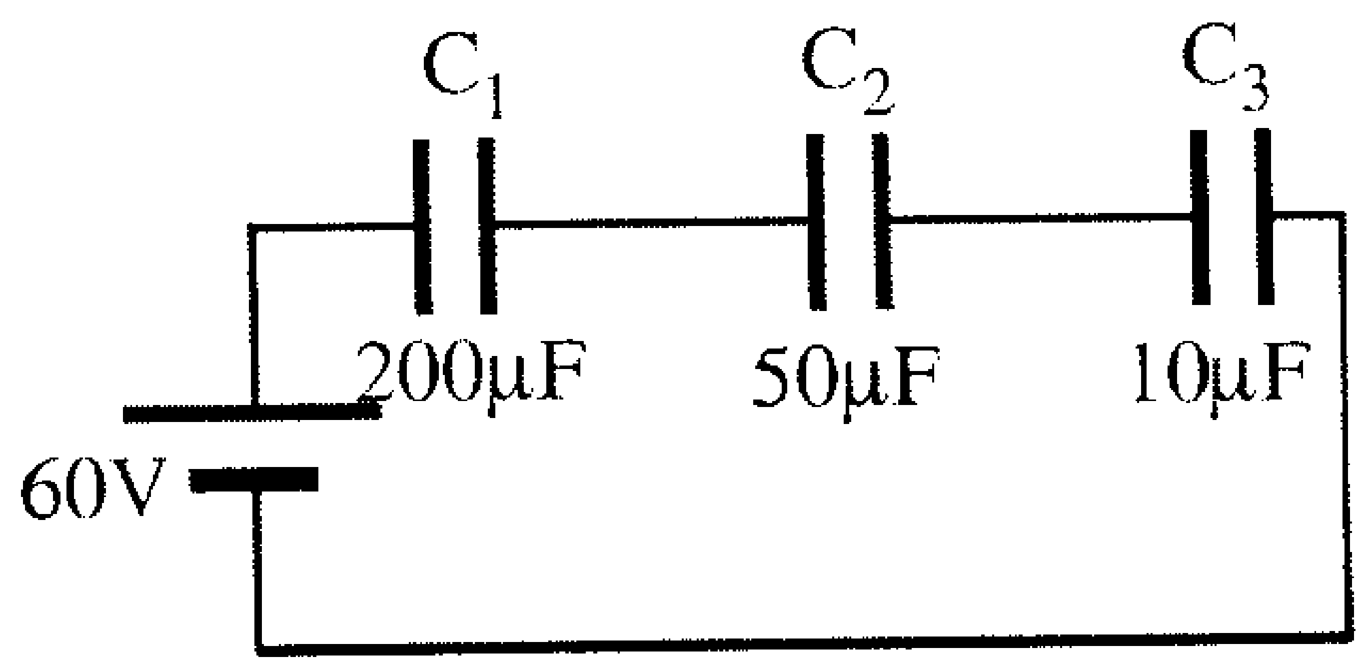
إذاً

$$W_C = \frac{1}{2} \frac{Q}{\cancel{V}} V^{\cancel{2}}$$

$$\boxed{W_C = \frac{1}{2} QV}$$

9.7 أمثلة محلولة

مثال10.7:



من الشكل التالي أوجد :

1- السعة الكلية.

2- الشحنة على كل لوح.

3- الجهد خلال كل مكثف.

الحـــل:

-1
$$\frac{1}{C_T}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}$$

$$=\frac{1}{200\times10^{-6}}+\frac{1}{50\times10^{-6}}+\frac{1}{10\times10^{-6}}=\frac{25}{200\times10^{-6}}$$

$$\therefore C_T=\frac{200\times10^{-6}}{25}=8\times10^{-6}=8\mu F$$

2- في دائرة التوالي:
$$Q_T=Q_1=Q_2=Q_3$$

$$Q_T=C_T\,E=(8x10^{-6})(60)=480\mu C$$

-3
$$V_1=\frac{Q_1}{C_1}=\frac{480\times10^{-6}}{200\times10^{-6}}=2.4V$$

$$V_2=\frac{Q_2}{C_2}=\frac{480\times10^{-6}}{50\times10^{-6}}=9.6V$$

$$V_3 = \frac{Q_3}{C_3} = \frac{480\times10^{-6}}{10\times10^{-6}} = 48V$$

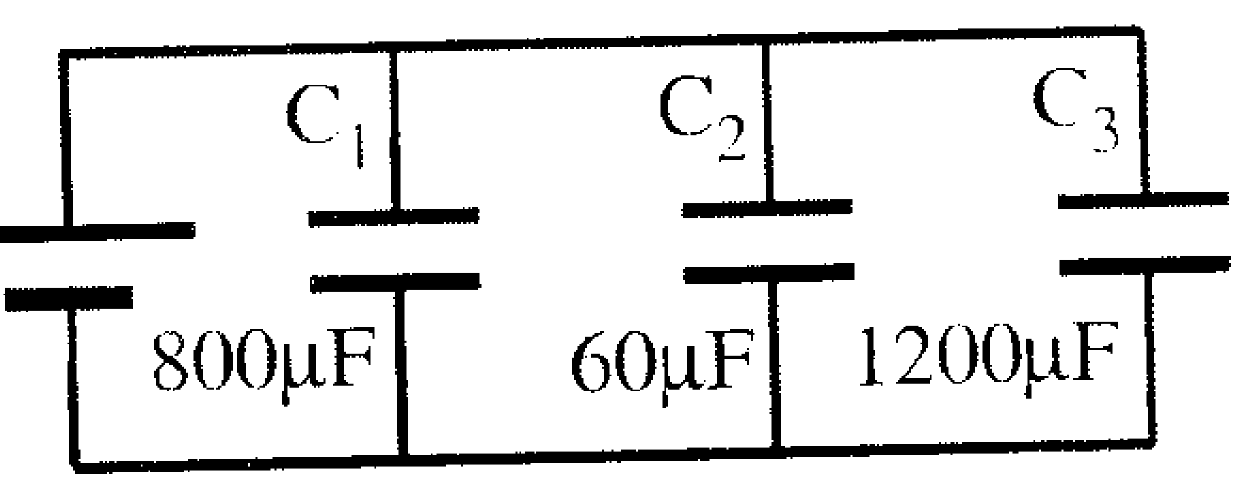
لإثبات صحة الحل نطبق قانون (KVL)

$$E = V_1 + V_2 + V_3$$

$$60V = 2.4V + 9.6V + 48V$$

$$60V = 60V$$

مثال11.7:



من الدائرة بالشكل التالي أوجد:

1- السعة الكلية .
2- الشحنة على كل لوح.
3- الشحنة الكلية.

الحـــل

1-

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3$$

$$= 800\mu F + 60\mu F + 1200\mu F$$

$$C_T = 2060\mu F$$

2-

$$Q_1 = C_1E = (800x10^{-6})\ (48) = 38.4\ mC$$

$$Q_2 = C_2E = (60x10^{-6})\ (48) = 2.88\ \ mC$$

$$Q_3 = C_3E = (1200x10^{-6})\ (48) = 57.6\ mC$$

لأن جهود دائرة التوازي متساوية $E = V_1 = V_2 = V_3$

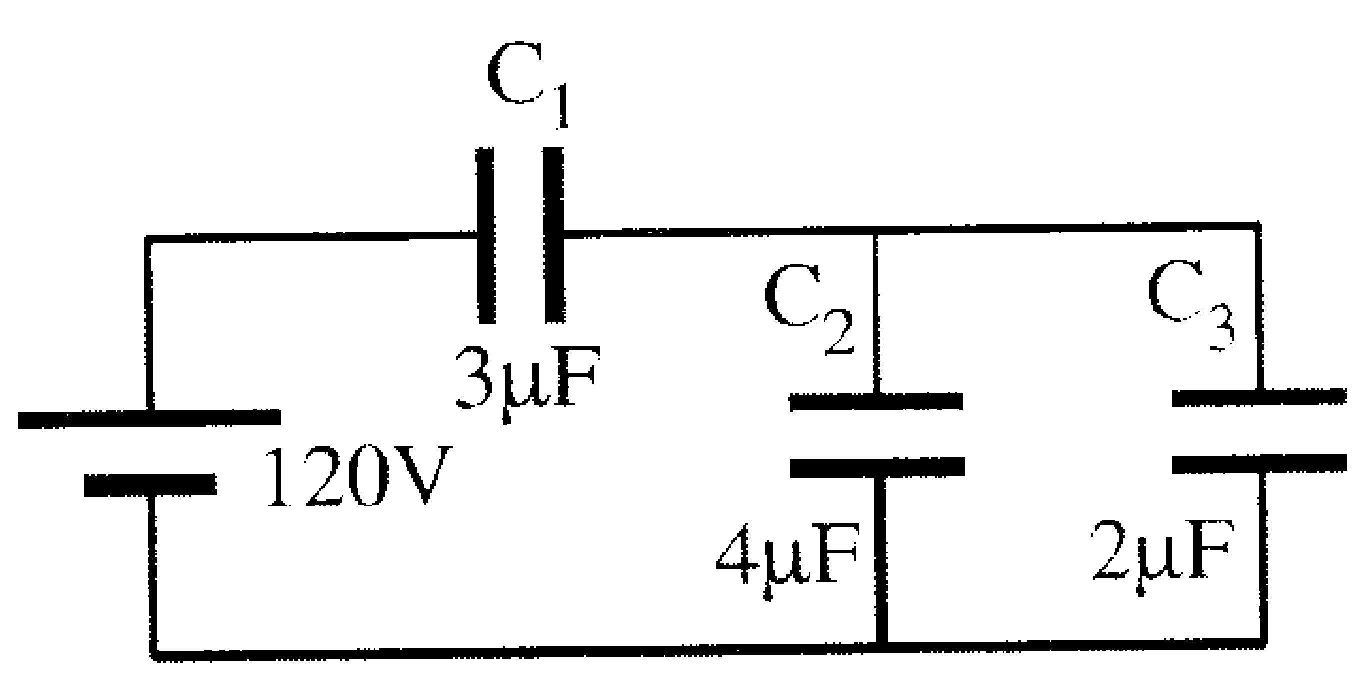
3- $Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$

$= 38.4mC + 2.88mC + 57.6mC$

$Q_T = 98.88mC$

مثال12.7:

أوجد جهد وشحنة كل مكثف من الدائرة في الشكل التالي:



الحـــل:

توازى $C_2//C_3$

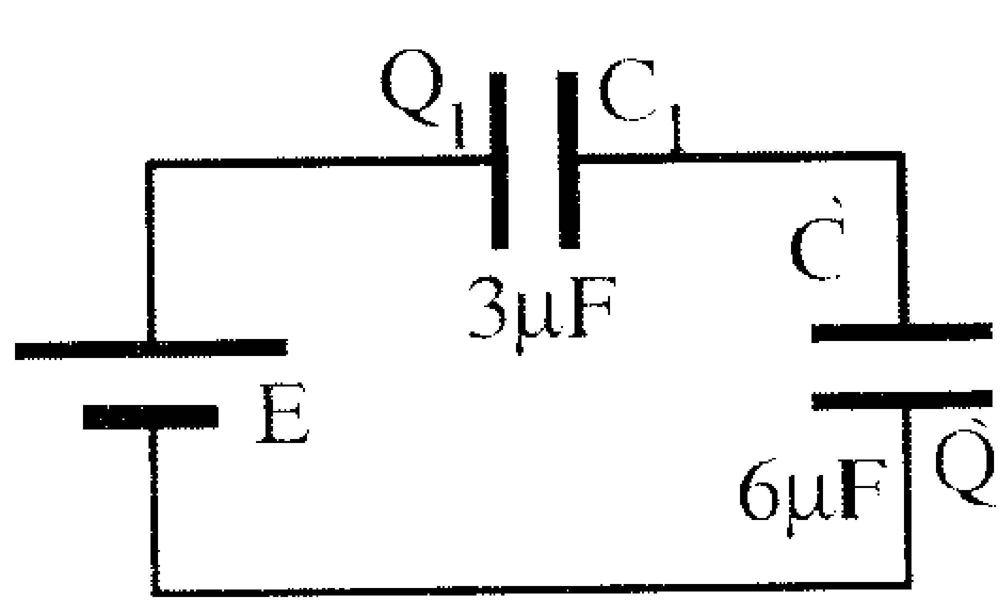
$$4\mu F \ // \ 2\mu F = 6\mu F$$

$$C_T = \frac{(3\mu F)(6\mu F)}{3\mu F + 6\mu F} = \frac{18}{9} = 2\mu F$$

$$Q_T = C_T E = (2\text{x}10^{-6}F)\ (120\ V)$$

$$Q_T = 240\mu C$$

دائرة توالٍ فيها



$$Q_T = Q_1 = Q'$$

$$\therefore \ \ Q_1 = 240\ \mu C$$

$$V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{240\mu C}{3\mu F} = 80V$$

$$V' = \frac{Q'}{C'} = \frac{240\mu C}{6\mu F} = 40V$$

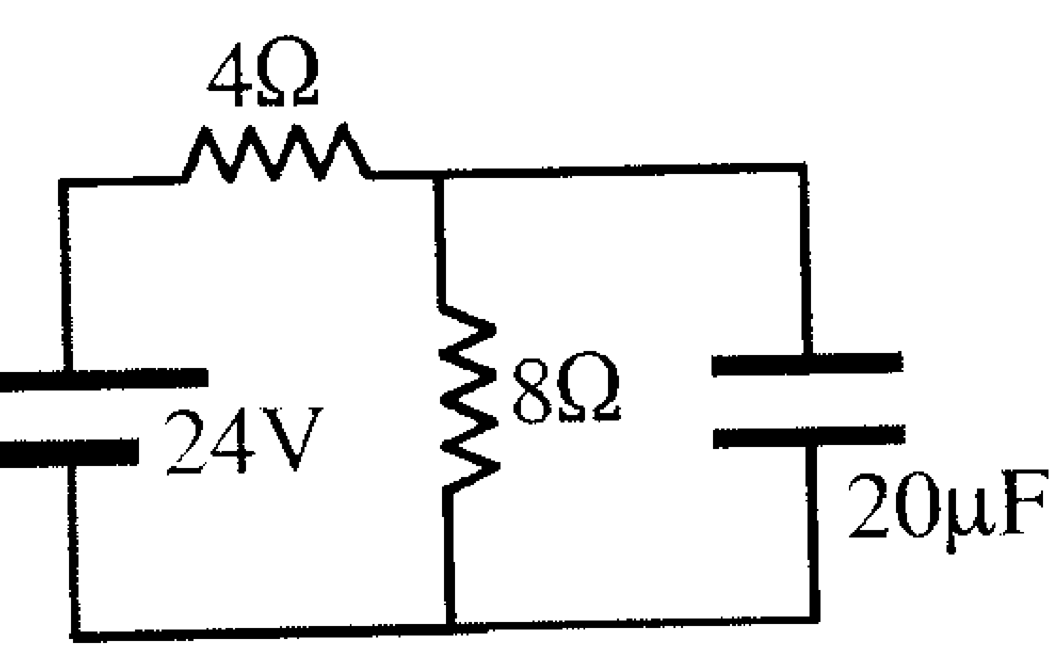
في التوازي الجهود متساوية $V_2 = V_3 = V'$

$$Q_2 = C_2 V' = (4\mu F)(40V) = 160\mu C$$

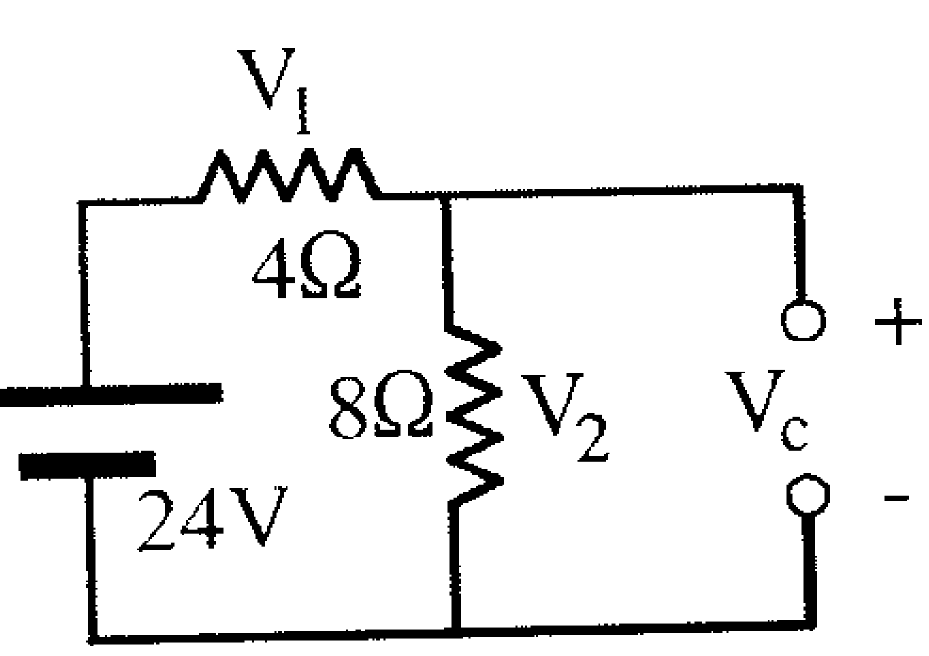
$$Q_3 = C_3 V' = (2\mu F)(40V) = 80\mu C$$

مثال13.7:

من الدائرة في الشكل التالي أوجد جهد وشحنة المكثف (C_1) وذلك بعد شحنه إلى حد قيمته النهائية.



الحــل:



جهد المقاومة (8Ω) يساوى جهد المكثف بالتوازي.
ويمكن إيجاد جهد المقاومة (8Ω) باستخدام قانون مجزئ الجهد.
والمكثف بعد الانتهاء من شحنه يصبح دائرة مفتوحة

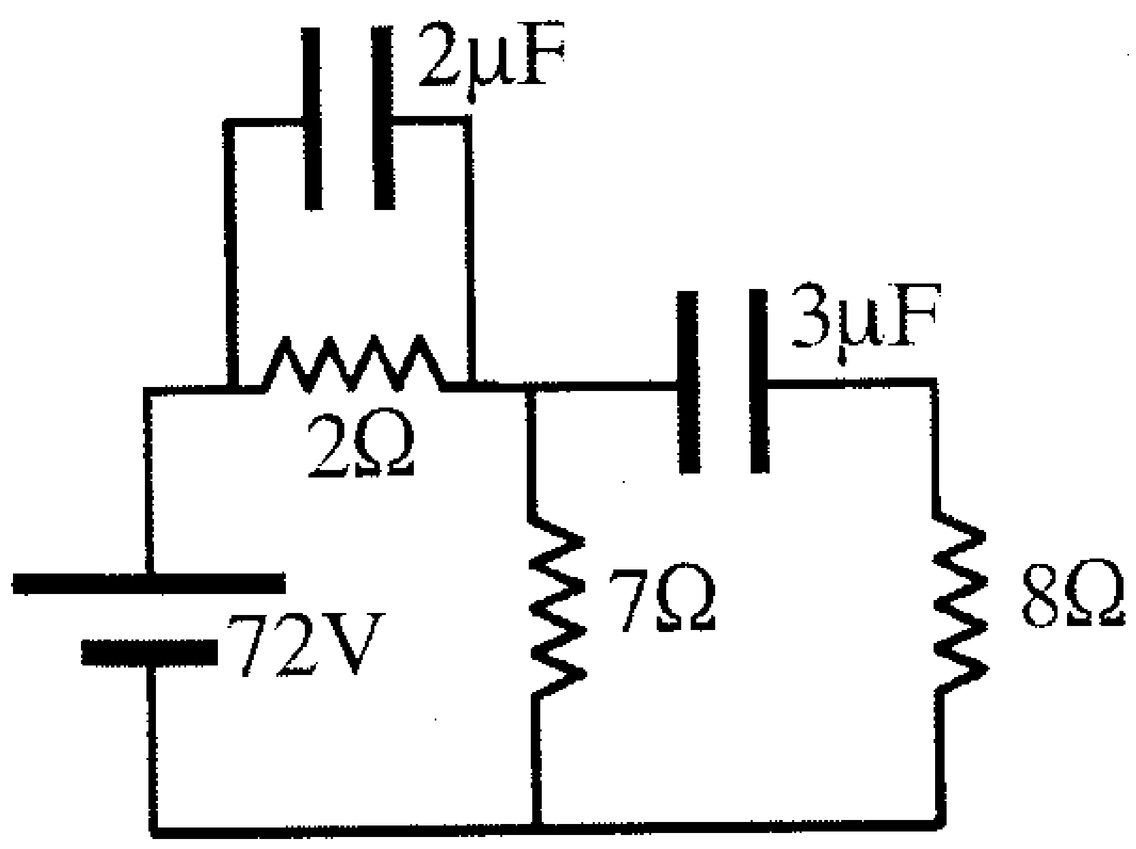
$$V_C = V_2 = \frac{(E)(R_2)}{R_1 + R_2} = \frac{(24V)(8\Omega)}{4\Omega + 8\Omega} = \frac{192}{12}$$

$$\therefore \quad V_C = 16V$$

$$Q_1 = C_1 V_C = (20\text{x}10^{-6}\,F)\,(16V)$$

$$Q_1 = 320\mu C$$

مثال 14.7 من الدائرة في الشكل التالي:

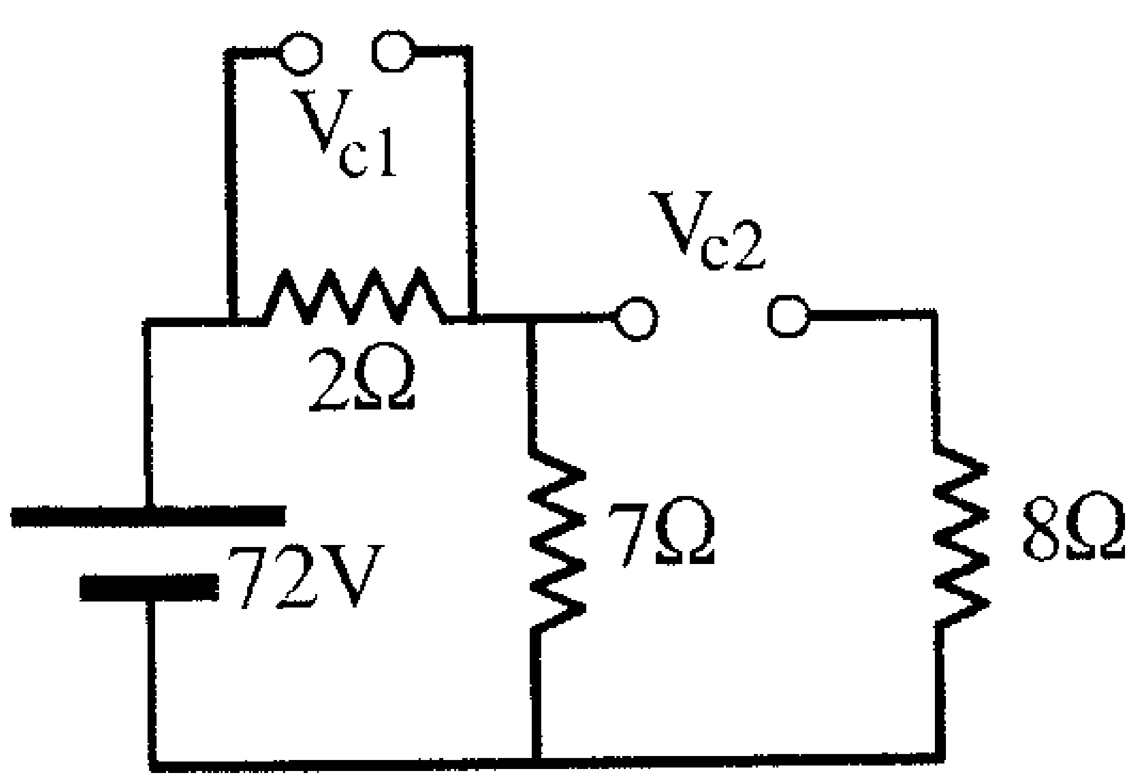


1- أوجد جهد وشحنة كل مكثف بالدائرة وذلك بعد عملية شحنه إلى حد قيمته النهائية.

2- أحسب الطاقة المخزنة في كل مكثف.

الحـــل:

المكثف بعد نهاية شحنه يعتبر دائرة مفتوحة



-1

$$V_{C2} = V_2$$

$$V_{C1} = V_1$$

إذا نستخدم قانون مجزئ الجهد لإيجاد V_{C2} , V_{C1}

$$V_{C_1} = \frac{(E)(R_1)}{R_1 + R_2} = \frac{(72V)(2\Omega)}{2\Omega + 7\Omega} = \frac{144}{9} = 16V$$

$$V_{C2} = \frac{(E)(R_2)}{R_1 + R_2} = \frac{(72)(7)}{2+7} = \frac{504}{9} = 56V$$

$$Q_1 = C_1 \ V_{C1} = (2\mu F)\ (16V) = 32\mu C$$

$$Q_2 = C_2 \ V_{C2} = (3\mu F)\ (56V) = 168\mu C$$

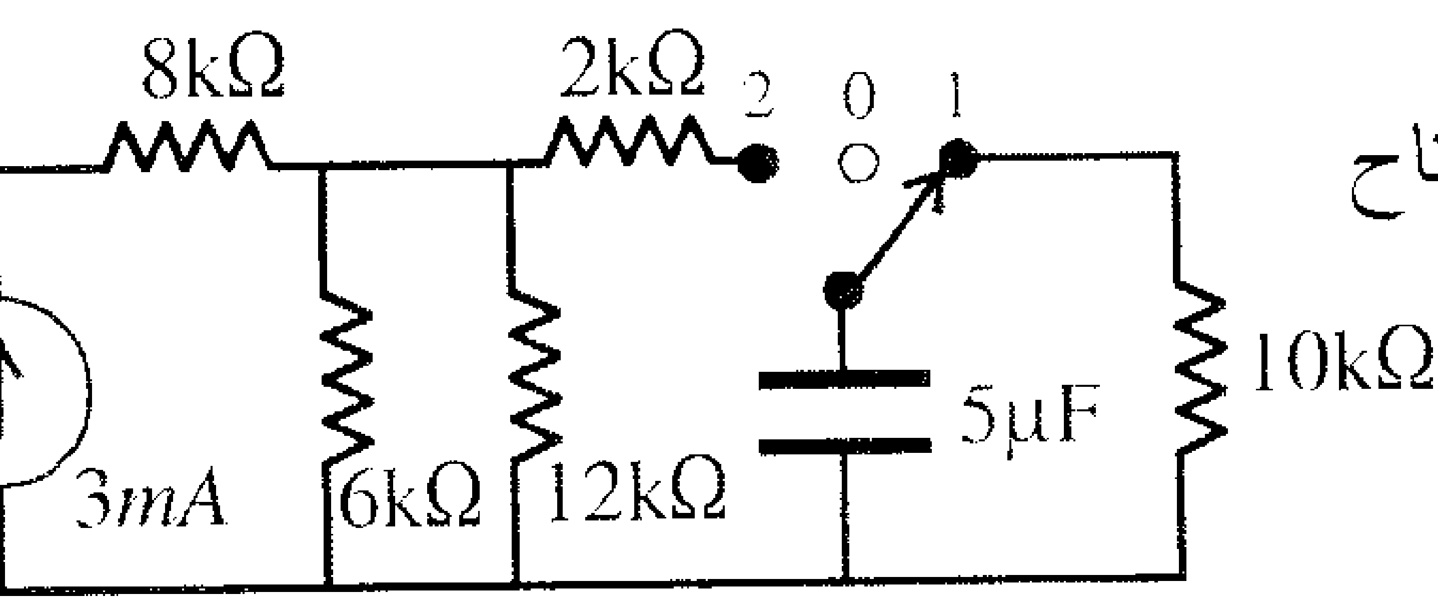
$$W_{C_1} = \frac{1}{2} C_1 V_{C_1}^2 = \frac{1}{2}(2\mu F)(16V)^2$$

$$W_{C_1} = 256\mu J$$

$$W_{C_2} = \frac{1}{2} C_2 V_{C_2}^2 = \frac{1}{2}(3\mu F)(56V)^2$$

$$W_{C_2} = 4704\mu\ J$$

مثال15.7:



1- عند الزمن ($t = 0$) نقل المفتاح للوضع (2)، أوجد :

أ- الثابت الزمني.

ب- التعبير الرياضي لجهد وتيار المكثف.

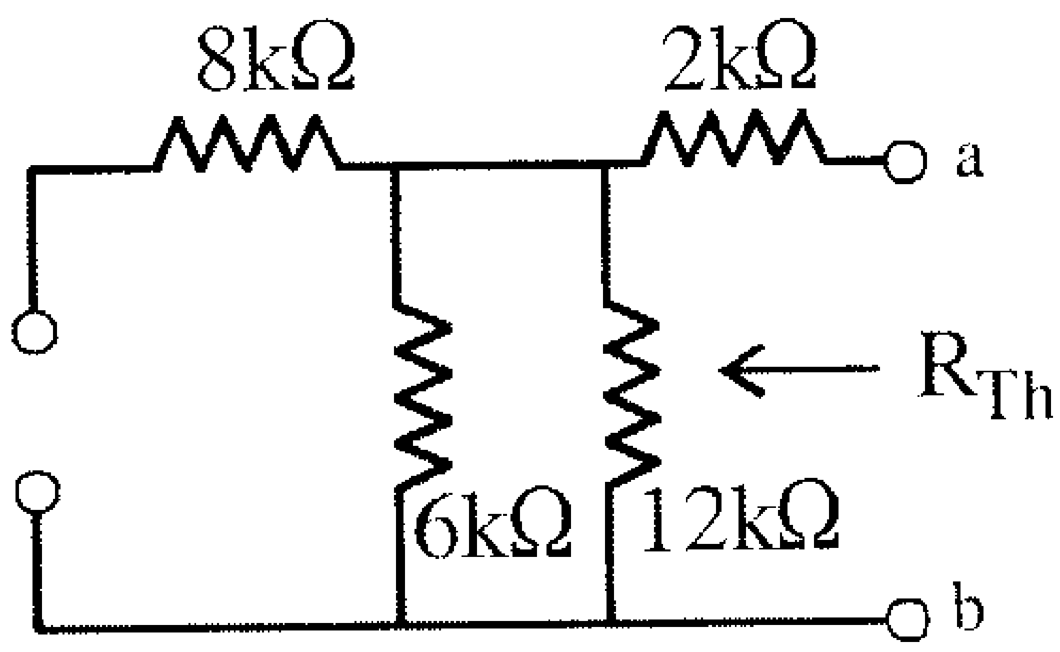
2- وعند الزمن ($t = 60ms$) نقل المفتاح للوضع (1)، أوجد :

أ- الثابت الزمني.

ب- الوقت اللازم قبل نقل المفتاح للوضع (0) لكي تبقى شحنة مقدارها ($7.02\mu C$) على لوحي المكثف.

الحــل:

أ- المفتاح في الوضع (2) دائرة مفتوحة، إيجاد R_{Th} و E_{Th} المقاومة (8k) تلغى (دائرة مفتوحة)

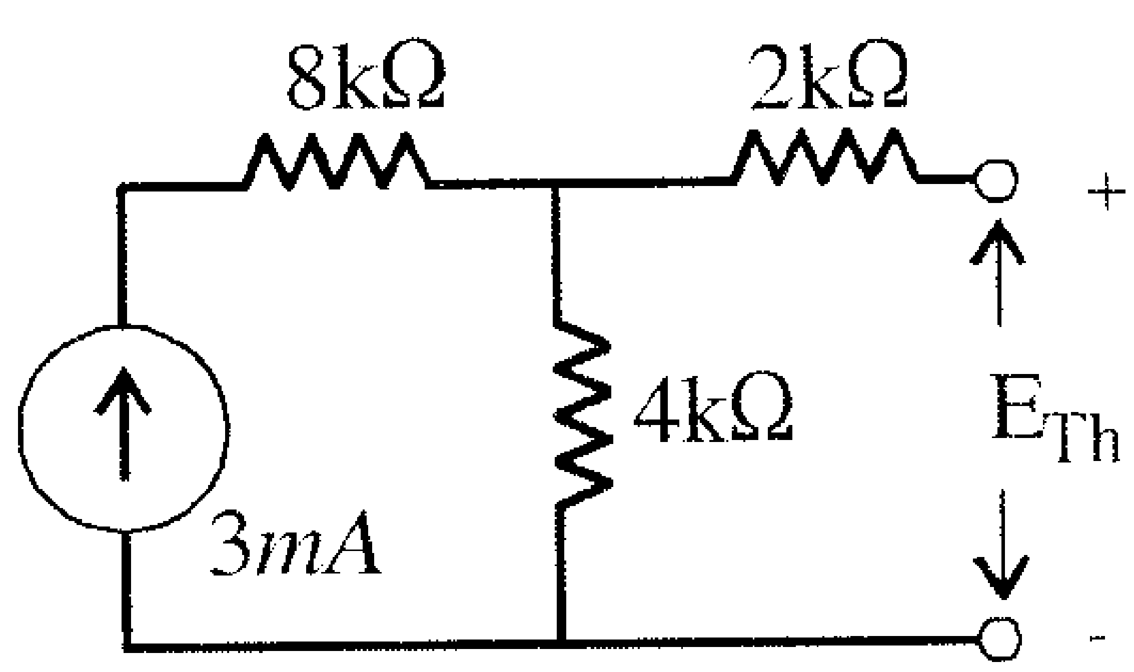


$$6k\Omega \,//\, 12k\Omega \longrightarrow 4k\Omega$$

$$R_{Th} = 2k\Omega + 4k\Omega$$

$$R_{Th} = 6k\Omega$$

$$\tau = R_{Th}\, C = (6k\Omega)\,(5\mu F) = 30ms$$



$$E_{Th} = V_{4k\Omega}$$
$$E_{Th} = I\, R_{4k}$$

$$= (3mA)\,(4k\Omega)$$

$$E_{Th} = 12V$$

$$V_C = E_{Th}(1 - e^{-t/\tau})$$

$$V_C = 12(1 - e^{-t/30\times10^{-3}})$$

$$i_C = \frac{E_{th}}{R_{th}} e^{-t/\tau} = \frac{12V}{6k\Omega} e^{-t/30\times10^{-3}}$$

$$i_C = (2\times10^{-3})e^{-t/30\times10^{-3}}$$

2- عند نقل المفتاح الوضع (1) عند الزمن ($t = 60ms$) تبدأ عملية التفريغ

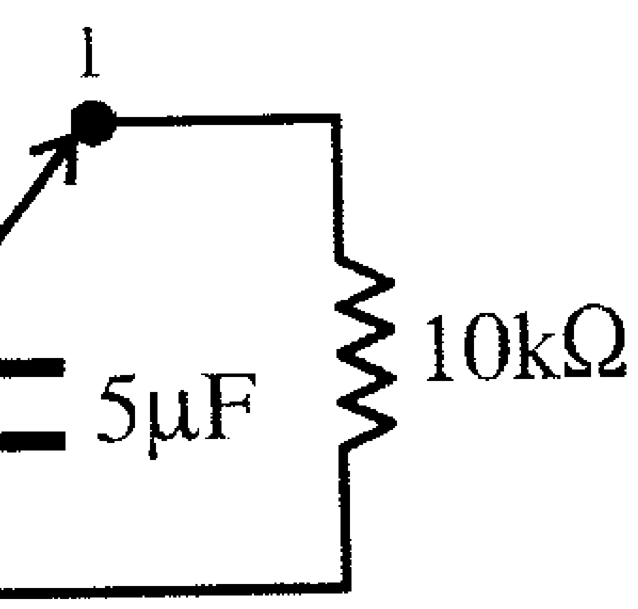
V'_C = جهد نهاية شحن المكثف = جهد بداية التفريغ للمكثف

$$V'_C = 12(1-e^{-60/30})$$

$$= 12(1-e^{-2})$$

$$V'_C = 10.376V$$

أ- دائرة التفريغ هي كما بالشكل التالي:



$$\tau' = (10k\Omega)\ (5\mu F) = 50ms$$

ب-

$$V_C = \frac{Q}{C} = \frac{7.02\times10^{-6}}{5\times10^{-6}}$$

$$V_C = 1.404V$$

$$V_C = V'_C\, e^{-t/\tau'}$$

$$1.404 = (10.376)e^{-t/50\times10^{-3}}$$

$$\frac{1.404}{10.376} = e^{-t/50\times10^{-3}}$$

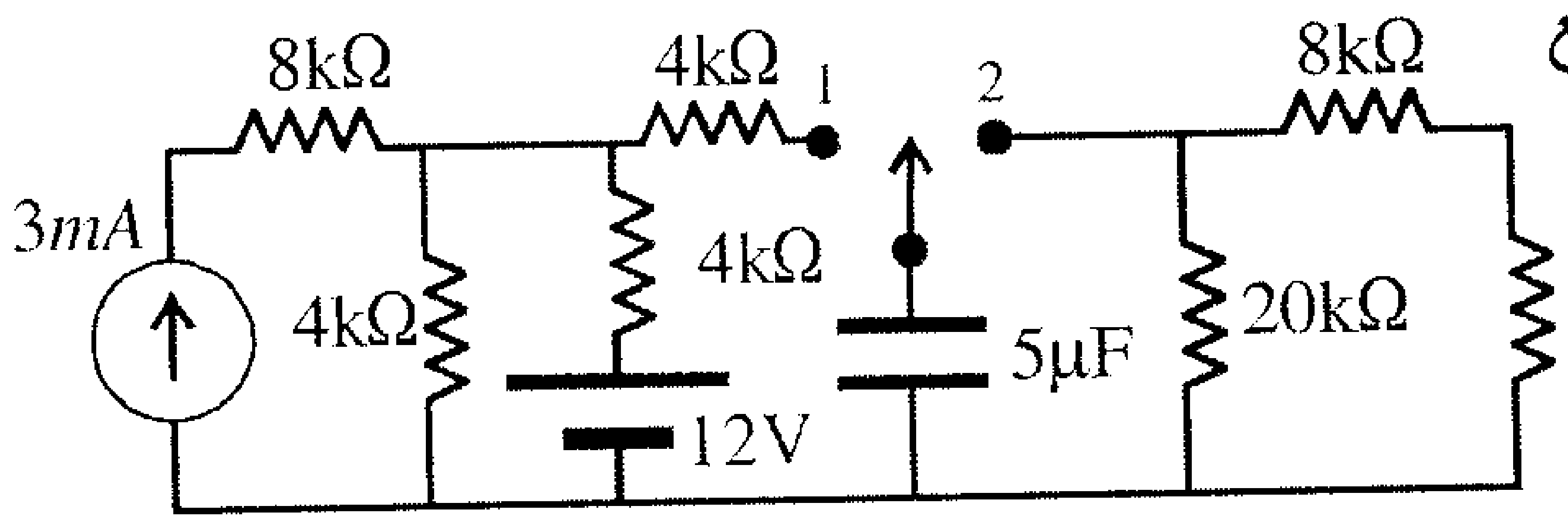
$$0.1353 = e^{-t/50\times10^{-3}}$$

$$\log(0.1353) = \frac{-t}{50\times10^{-3}}$$

$$t = (-50x10^{-3})\log(0.1353)$$

$$t = 0.1s = 100ms$$

مثال16.7: من الدائرة بالشكل التالي:



1- عند الزمن ($t = 0s$) ضع المفتاح على الوضع (1)

أوجد :

أ- الثابت الزمني.

ب- التعبير الرياضي لجهد وتيار المكثف.

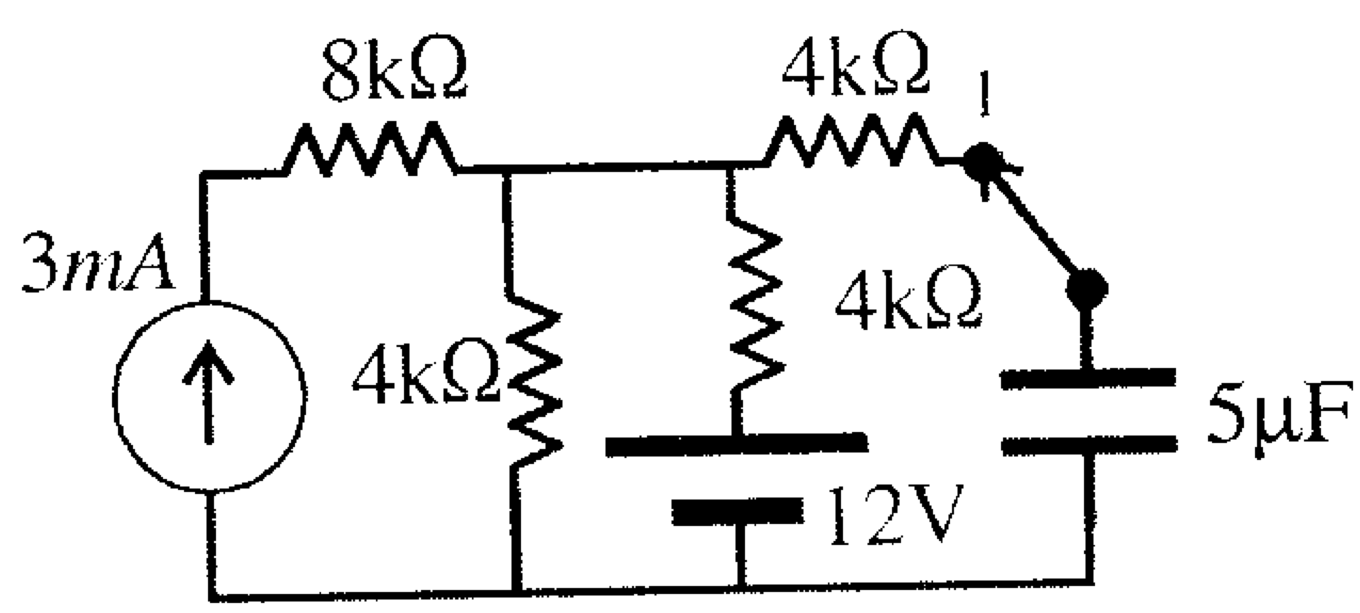
2- عند الزمن ($t = 30ms$) نقل المفتاح إلى الوضع (2) أوجد:

أ- الثابت الزمني.

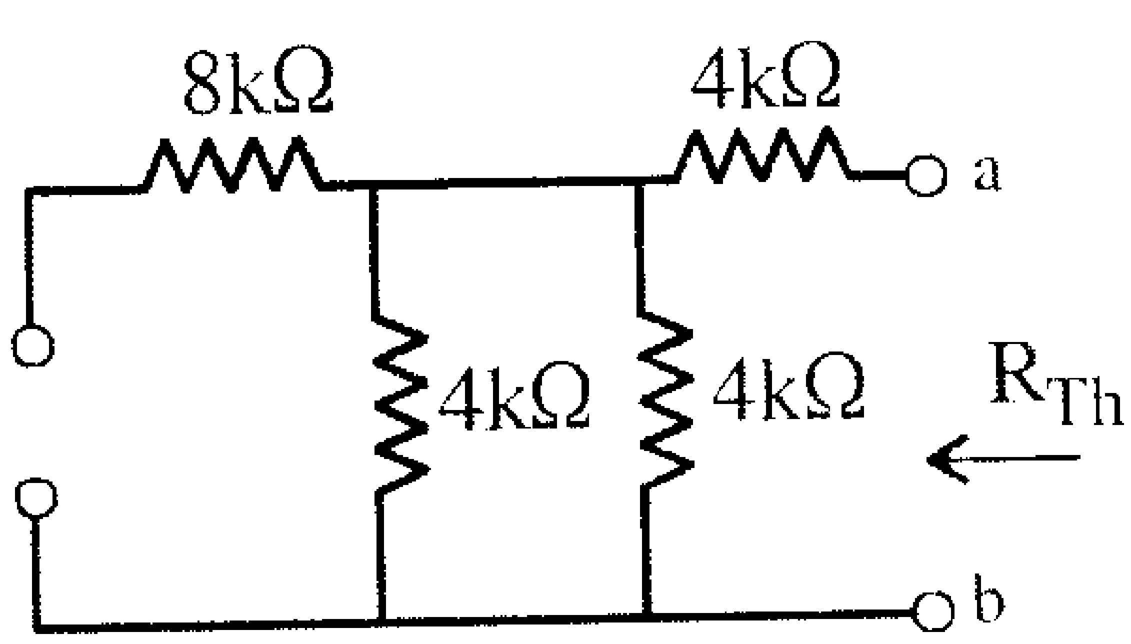
ب- جهد المكثف عند الزمن ($t = 100ms$).

الحـــل:

1- الوضع (1) شحن المكثف لتصبح دائرة الشحن كالتالي:



إيجاد R_{Th}

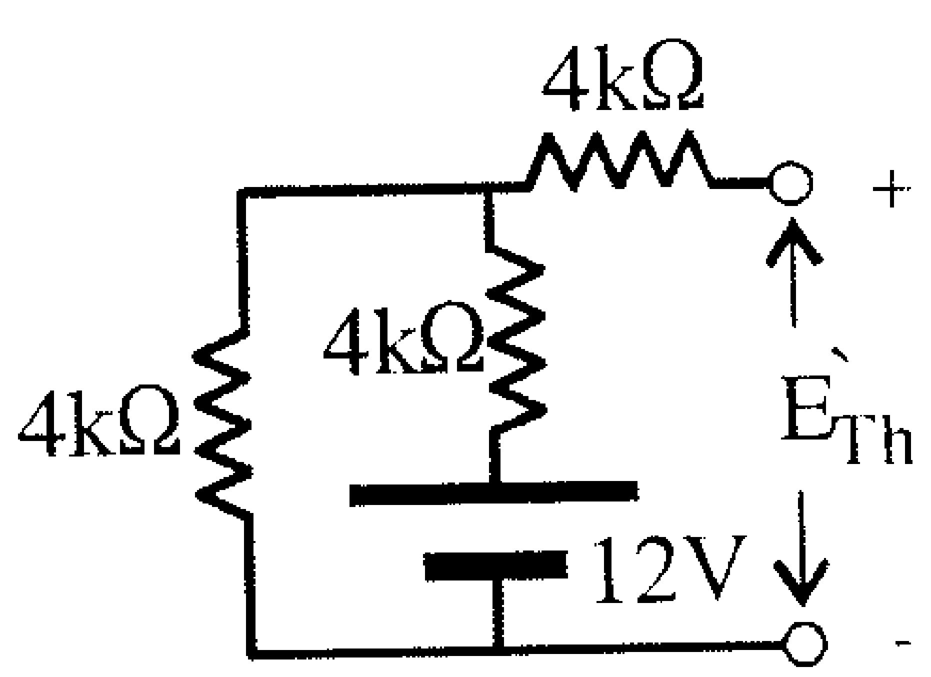


$$R_{Th} = 4k\Omega \,//\, 4k\Omega + 4k\Omega$$

$$= 2k\Omega + 4k\Omega$$

$$R_{Th} = 6k\Omega$$

إيجاد E_{Th} (الدائرة بها مصدران) تأثير المصدر ($12V$)



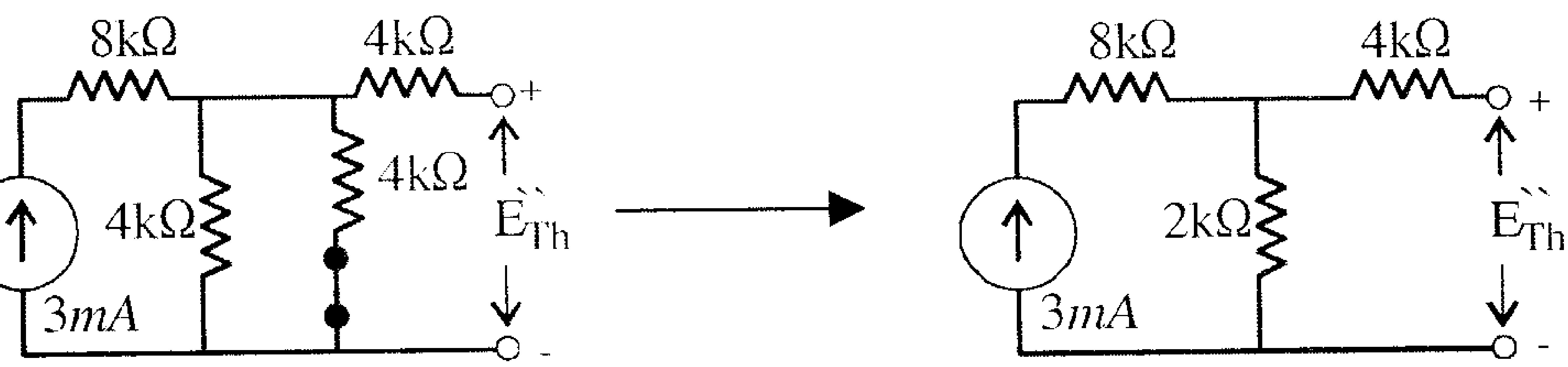
$$R_t = 8k\Omega$$

$$I_S = \frac{12V}{8k\Omega} = 1.5mA$$

$$V_{4\Omega} = (4k\Omega)\,(1.5mA) = 6V$$

VL: $$12V - 6V - E'_{Th} = 0$$

$$E'_{Th} = 6V$$



$$V_{2K\Omega} = E''_{Th}$$

$$\therefore\ V_{2K\Omega} = (2k\Omega)\,(3mA) = 6V$$

$$\therefore\ E''_{Th} = 6V$$

$$E_{Th} = E'_{Th} + E''_{Th} = 6V + 6V$$

$$E_{Th} = 12V$$

الثابت الزمني في مرحلة الشحن .

$$\tau = E_{Th}C = (6k\Omega)\,(5\mu F) = 30ms$$

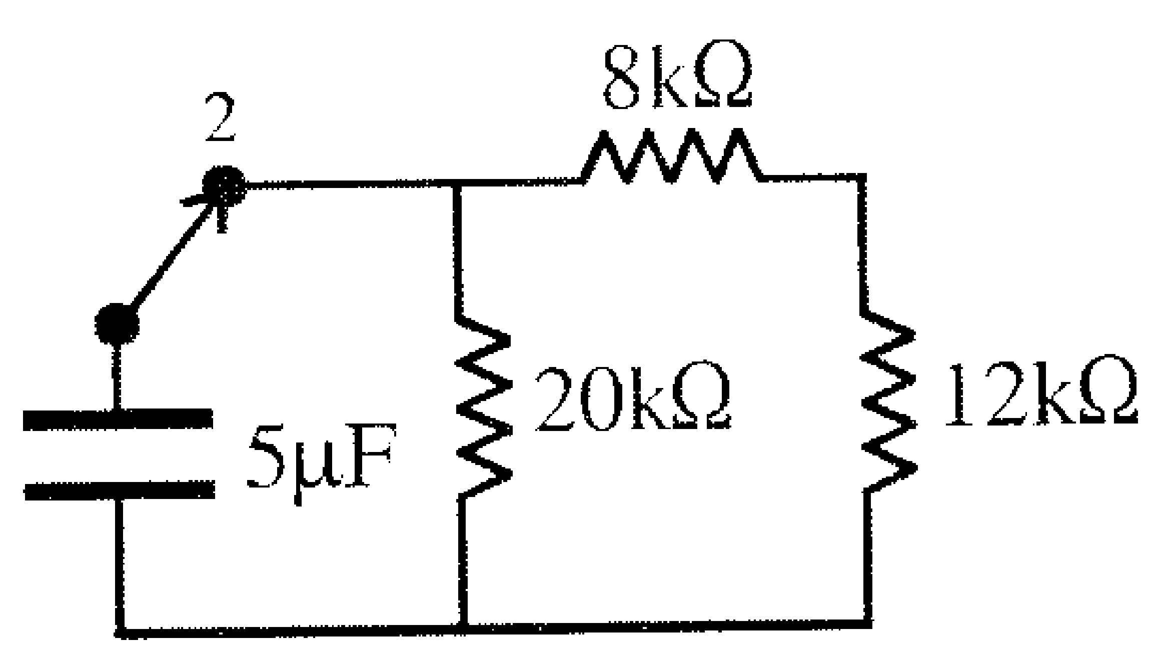
$$V_C = E_{Th}(1 - e^{-t/\tau})$$

$$V_C = 12(1 - e^{-t/30\times10^{-3}})$$

$$i_C = \frac{E_{Th}}{R_{Th}} e^{-t/\tau} = \frac{12V}{6k\Omega} e^{-t/30\times10^{-3}}$$

$$i_C = (2\times10^{-3})e^{-t/30\times10^{-3}}$$

2) الوضع (2) تفريغ المكثف لتكون الدائرة كالتالي:



عند الزمن (t =30ms)

R_T = 8kΩ + 12kΩ // 20kΩ

= 20kΩ // 20kΩ

R_T =10kΩ

ثابت الزمن في حالة التفريغ

τ' = (10kΩ) (5μF) = 50ms

جهد نهاية الشحن للمكثف = جهد بداية التفريغ

$$V_C^{'} = E_{th}(1 - e^{-T/\tau}) = 12(1 - e^{-30\times10^{-3}/30\times10^{-3}})$$

$$V_C^{'} = 12(1 - e^{-1}) = 7.585V$$

وبالتالي يمكن إيجاد جهد المكثف عند الزمن (t =100ms)

$$V_C = V_C^{'} e^{-t/\tau^1} = (7.585)e^{-100\times10^{-3}/50\times10^{-3}}$$

$$V_C = (7.585)\ e^{-2} = 1.03V$$

10.7 مسائل متنوعة

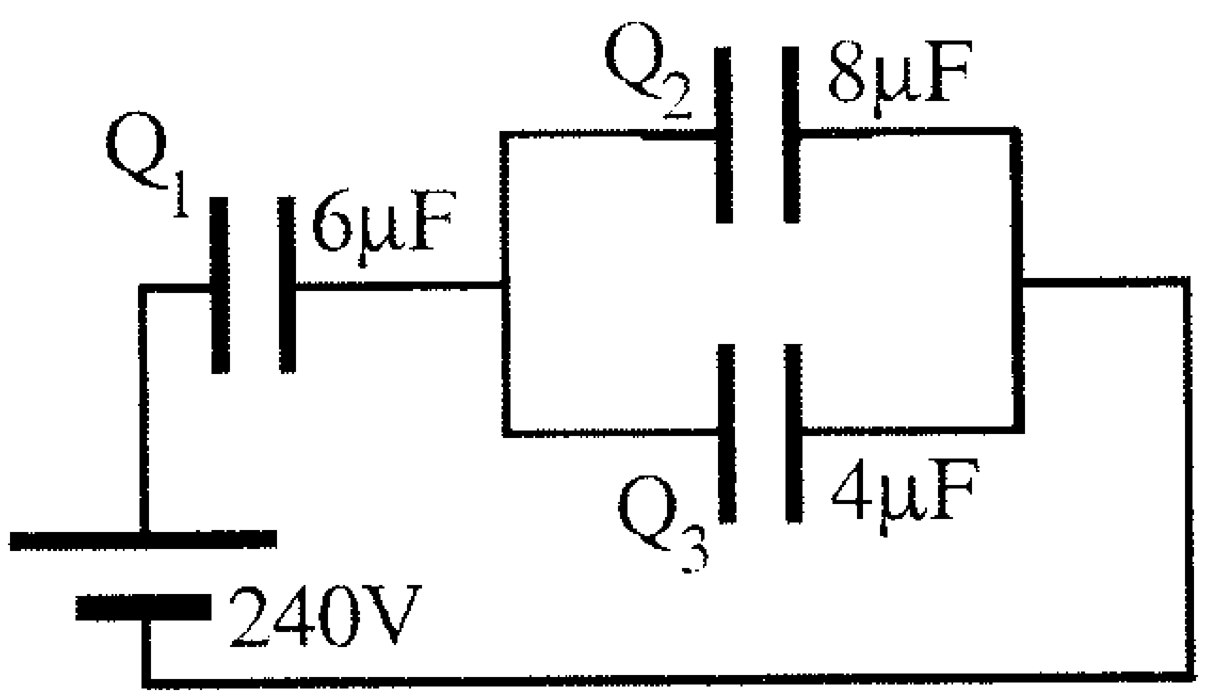
(1) مكثف متوازي اللوحين مساحة لوحه $(2cm^2)$ وضعت قطعة من الميكا سمكها $(4mm)$ بين لوحيه ، أوجد كمية الشحنة المخزنة على لوحيه عندما يكون فرق الجهد $(250V)$ ، علما بأن العزل الكهربائي للميكا يساوى (5) و سماحية الفراغ

$$\varepsilon_o = 8.85\times10^{-12}\,\frac{C^2}{N.m^2}$$

(2) في الدائرة بالشكل التالي أوجد:

1- السعة الكلية للدائرة .

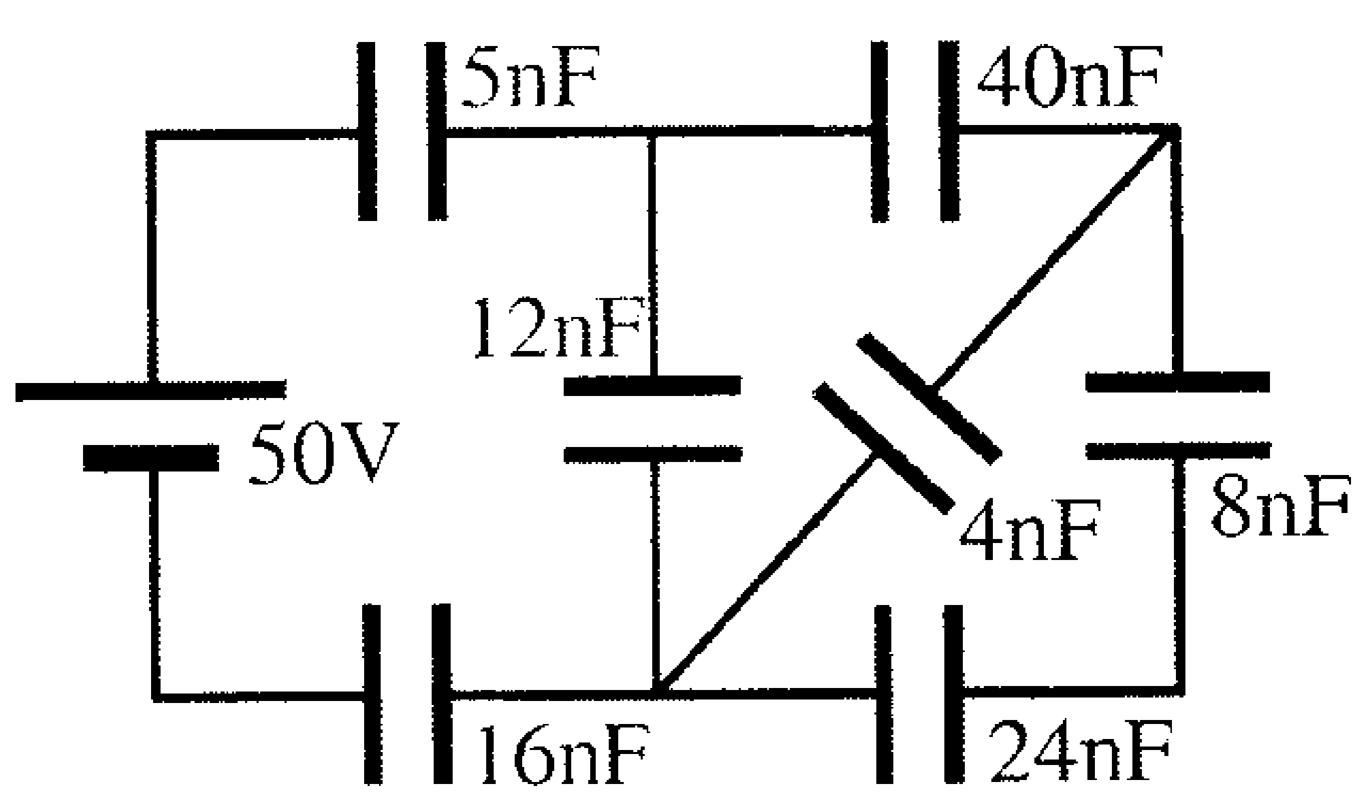
2- الشحنة المتجمعة على كل مكثف.



(3) للدائرة بالشكل التالي أوجد:

1- السعة الكلية C_T.

2- الشحنة الكلية Q_T.

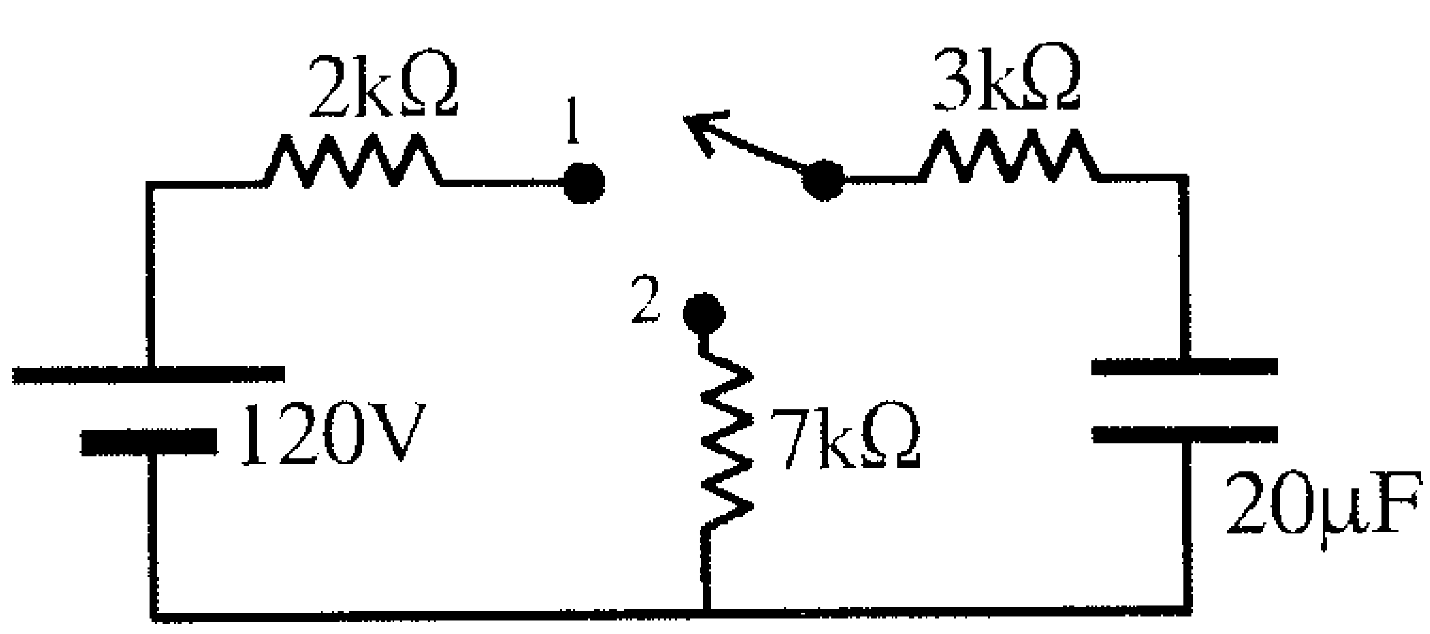


(4) للدائرة بالشكل التالي:

(5)

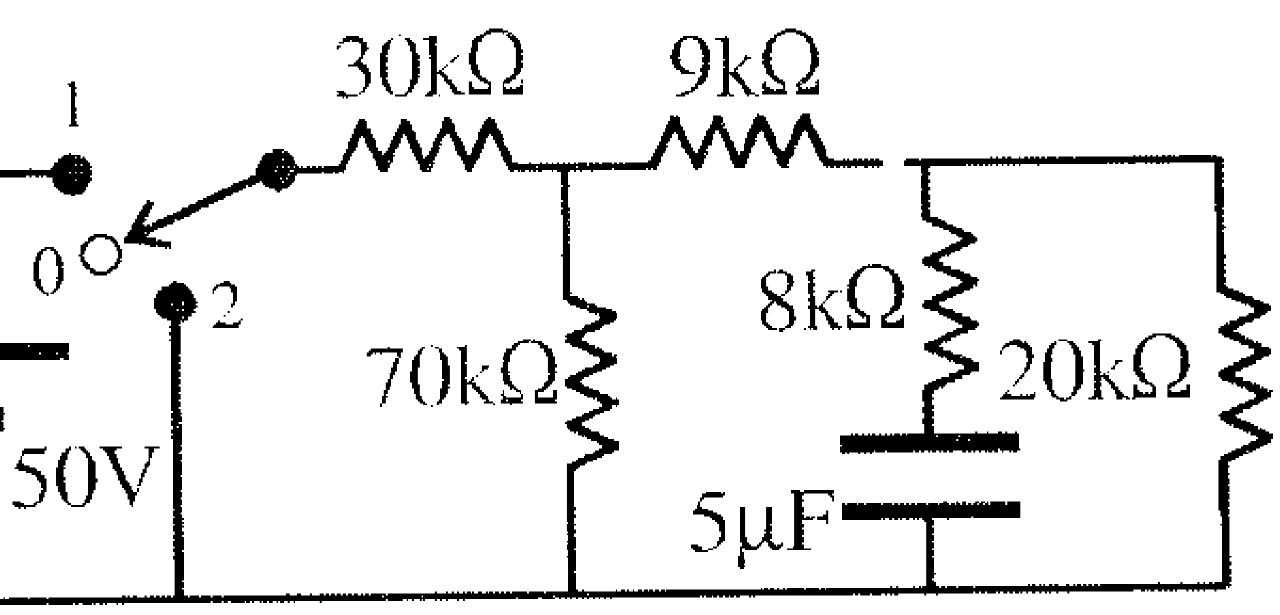
1- المكثف خالٍ من الشحنة وعند الزمن

(t = 0s) نقل المفتاح على الوضع (1)



أوجد كلاً من : V_C , V_R , i_c عند الزمن ($t = 100ms$).

2- عند الزمن ($t = 200ms$) نقل المفتاح إلى الوضع (2) . اكتب التعبير الر
لـــ V_C , i_c واحسب الزمن اللازم لتفريغ شحنة المكثف بالكامل.



(6) من الدائرة بالشكل التالي:

1-عند الزمن ($t = 0s$) نقل المفتاح إلى الوضع (1) أوجد :

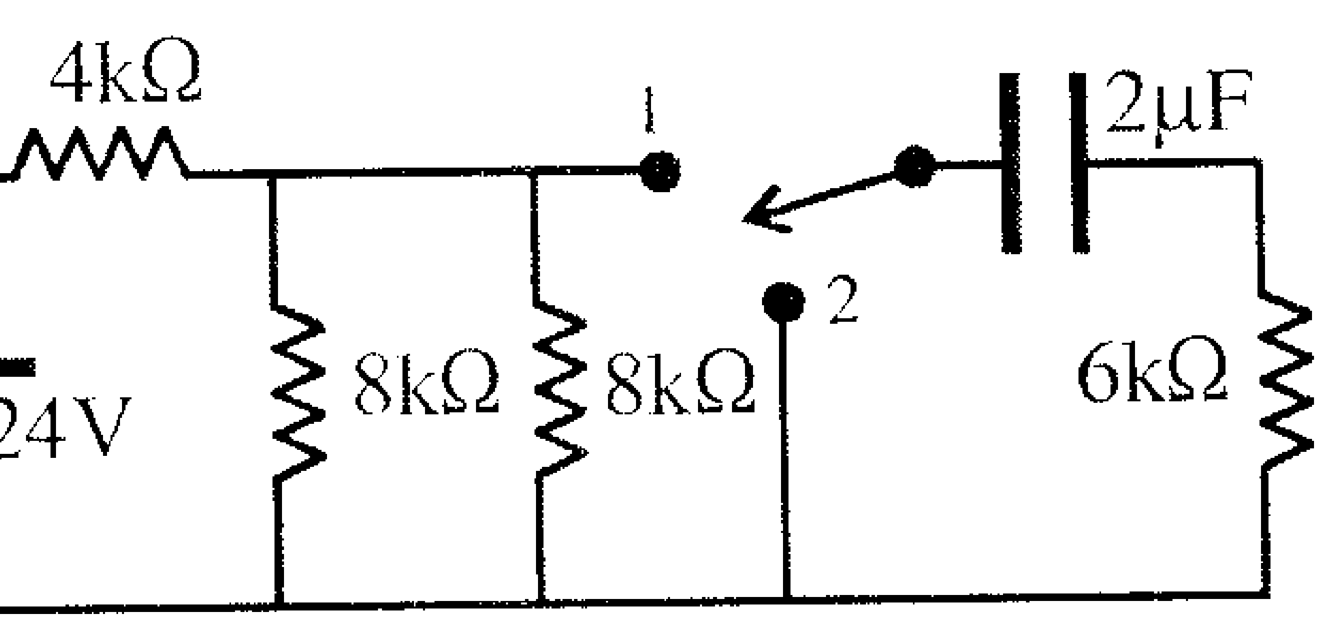
أ- الثابت الزمني.

ب- جهد المكثف كدالة زمنية.

2- وعند الزمن ($t = 600ms$) نقل المفتاح إلى الوضع (2) أوجد:

أ- الثابت الزمني.

ب- الزمن اللازم قبل نقل المفتاح إلى الوضع (0) لكي تبقى شحنة مقدارها (C
28.4) على لوحي المكثف.



(6) 1- في البداية المكثف فارغ من الشحنة تماماً وعند ($t = 0s$) نقل المفتاح إلى الوضع (1) أوجد :

أ- الثابت الزمني.

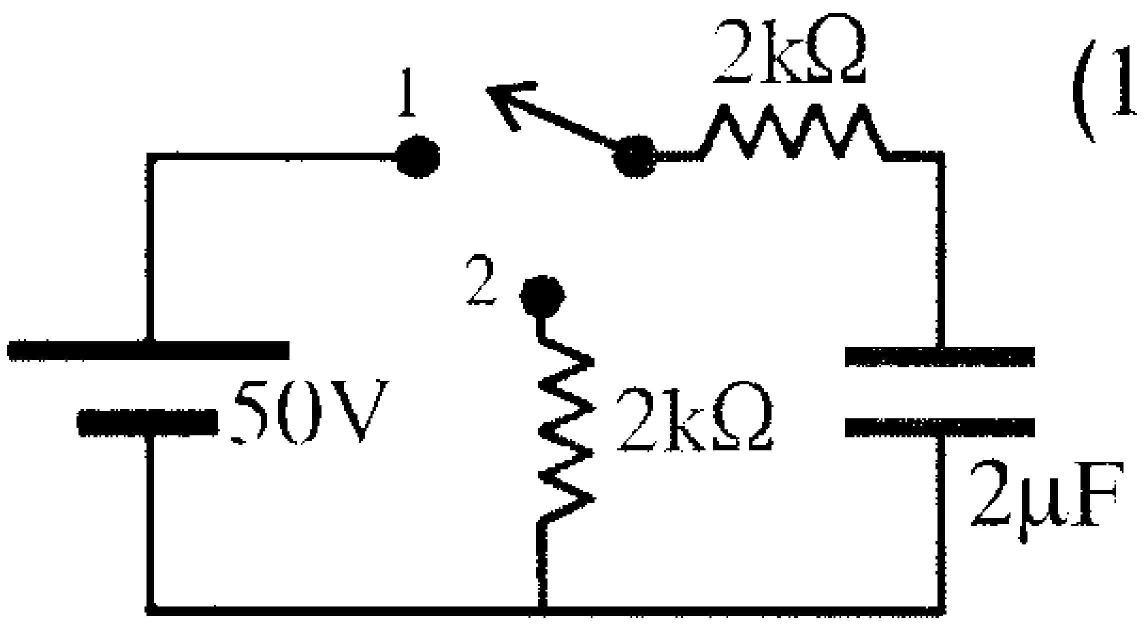
ب- الزمن اللازم لكي يصل جهد المكثف إلى ($6V$).

2- وعند الزمن ($t = 48ms$) نقل المفتاح إلى الوضع (2) أوجد :

أ- الثابت الزمني.

ب- الشحنة المتبقية على لوحي المكثف عند الزمن ($t = 24ms$).

(7) من الدائرة بالشكل التالي:



عند الزمن ($t = 0$) وضع المفتاح على الوضع (1)

أوجد:

أ- الزمن الذي يصل فيه الجهد على مقاومة الشحن إلى $(18.5V)$.

ب- الزمن الكلي للشحن.

ج- قيمة التيار المار بالمكثف في اللحظة التي تكون فيها الشحنة على المكثف $(63\mu C)$.

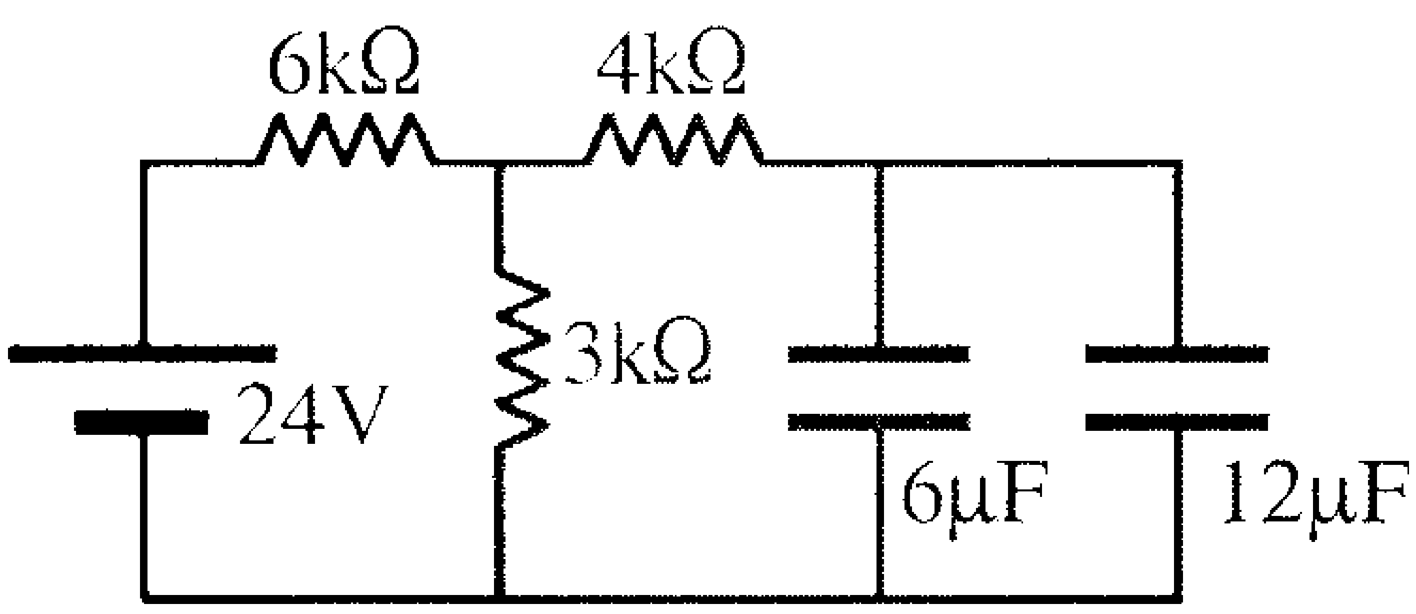
د- الطاقة المخزنة في المكثف عند حالة الاستقرار.

وعند الزمن ($t = 10ms$) نقل المفتاح إلى الوضع (2):

أ- أوجد i_C , V_C كدوال زمنية .

ب- أوجد الثابت الزمني لمرحلة التفريغ.

(8) من الدائرة في الشكل التالي:



أ- احسب الطاقة المخزنة في كل مكثف عند حالة الاستقرار.

ب- إذا وصّل المكثفان في الدائرة على التوالي احسب الطاقة المخزنة في كل مكثف عند حالة الاستقرار.

الفصل الثامن

1.8 مكونات الذرة.
2.8 نظرية الحزم في المواد الصلبة.
3.8 أشباه الموصلات.
4.8 الصمام الثنائي.
5.8 نماذج دوائر الثنائي المكافئة.
6.8 توصيل الثنائي في الدوائر الإلكترونية.
7.8 خط الحمل ونقطة التشغيل.

التركيب الذري
Atomic Structure

1.8. مكونات الذرة

تتكون الذرة من :

1- نواة وتوجد بها بروتونات (p) موجبة الشحنة ونيترونات (n) متعادلة الشحنة.

2- إلكترونات (e) سالبة الشحنة تدور في مدارات حول النواة، هذه المدارات تسمى الأغلفة الرئيسية وهي مرقمة كالتالي:

$n = 1, 2, 3, 4, \ldots$

ويرمز لها بـــ $K, L, M, N, \ldots$

أقصى عدد للإلكترونات في الغلاف الواحد = $2n^2$

$n = 1; \quad 2n^2 = 2(1)^2 = 2 \quad \rightarrow K$

$n = 2; \quad 2n^2 = 2(2)^2 = 8 \quad \rightarrow L$

$n = 3; \quad 2n^2 = 2(3)^2 = 18 \quad \rightarrow M$

$n = 4; \quad 2n^2 = 2(4)^2 = 32 \quad \rightarrow N$

تحتوي الأغلفة الرئيسية على أغلفة ثانوية ويرمز لها بالحروف:

s, p, d, f, …..

والجدول التالي يوضح عدد الأغلفة الثانوية لكل غلاف رئيسي:

غلاف رئيسي	K	L	M	N
أغلفة ثانوية	1s	2s 2p	3s 3p 3d	4s 4p 4d 4f

تملأ الأغلفة الرئيسية بالإلكترونات الواحدة بعد الأخرى مبتدئة بأقلها طاقة. أما ضمن الغلاف الرئيسي الواحد فتملأ الأغلفة الثانوية على التوالي s , p , d , f وهكذا . الجدول التالي يبين أقصى عدد من الإلكترونات في الغلافين الرئيسي والثانوي:

الغلاف الرئيسي		الغلاف الثانوي	أقصى عدد من الإلكترونات في الغلاف الرئيسي	أقصى عدد من الإلكترونات في الغلاف الثانوي
n = 1	K	s	2	2
n = 2	L	s p	8	2 6
n = 3	M	s p d	18	2 6 10
n = 4	N	s p d f	32	2 6 10 14

أمثلة من الجدول الدوري للعناصر:

الكربون C^{6}

$K : 1s^2$

$L : 2s^2 \quad 2p^2$

السليكون Si^{14}

$K : 1s^2$

$L : 2s^2 \quad 2p^6$

$M : 3s^2 \quad 3p^2$

الكلور Cl^{17}

$K : 1s^2$

$L : 2s^2 \quad 2p^6$

$M : 3s^2 \quad 3p^5$

الجرمانيوم Ge^{32}

$K : 1s^2$

$L : 2s^2 \quad 2p^6$

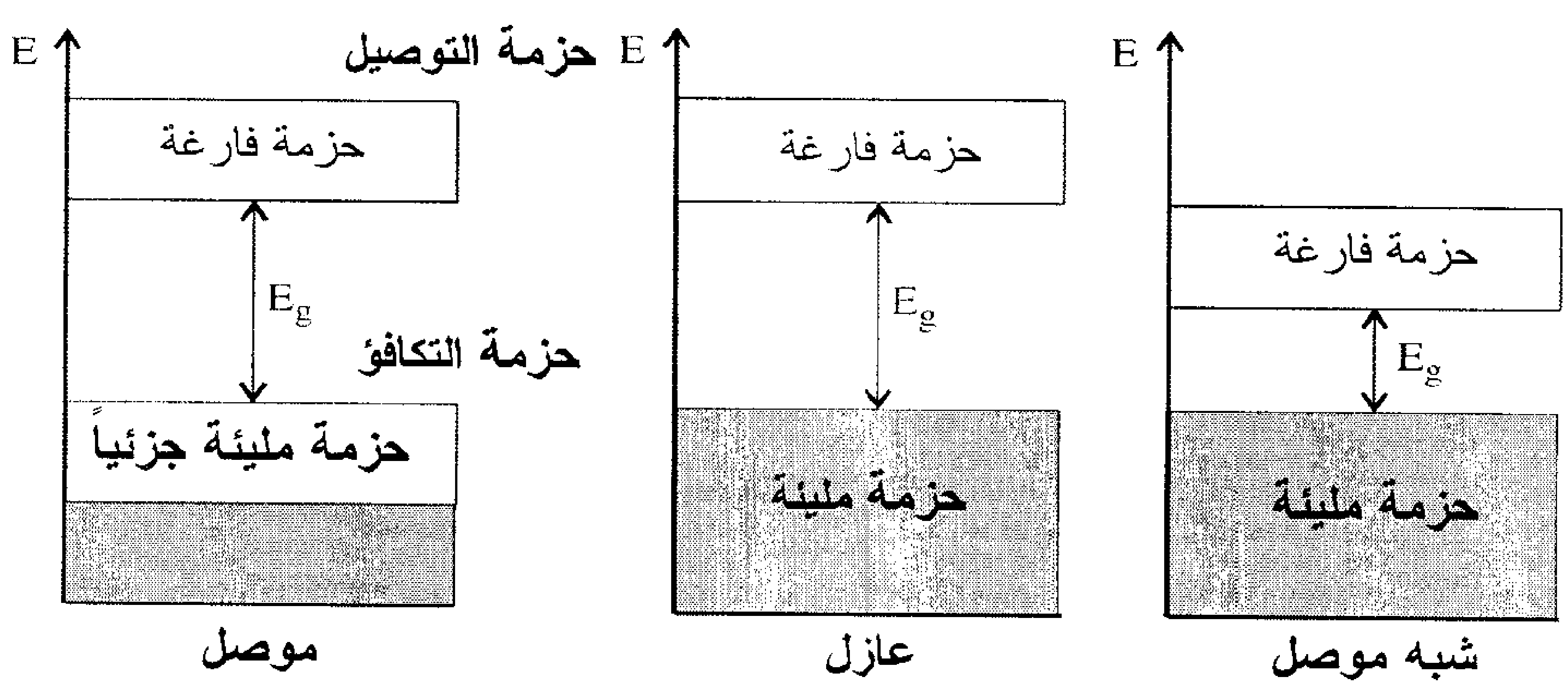
$M : 3s^2 \quad 3p^6 \quad 3d^{10}$

$N : 4s^2 \quad 4p^2$

2.8 نظرية الحزم في المواد الصلبة (Band Theory in Solids)

- تمتلك المواد الصلبة حزمة (نطاق) متكونة من عدد كبير من مستويات الطاقة (Energy Levels) قريبة من بعضها البعض.
- حزم الطاقة يمكن أن تكون مفصولة عن بعضها البعض بمناطق محظورة (Forbidden Zones) حيث تمنع إلكترونات التوصيل من احتلالها أو التواجد فيها،وتسمى هذه المناطق أيضاً بفجوة الطاقة (Energy Gap).
- يتطلب التوصيل الكهربائي انتقال إلكترون من حزمة التكافؤ المملوءة بالإلكترونات إلى حزمة التوصيل الفارغة من الإلكترونات عبر الفجوة المحظورة بينها. أي يجب على الإلكترون أن يكتسب طاقة لكي يتمكن من الانتقال من حزمة إلى أخرى،ويطلق على هذه الطاقة طاقة الفجوة (E_g).
- فجوة الطاقة للموصل صغيرة جداً لكي يسهل انتقال الإلكترون من حزمة إلى أخرى، أما بالنسبة للعازل فإن هذه الفجوة كبيرة لذلك يصعب انتقال الإلكترون وبالتالي يكون التوصيل الكهربائي في المواد العازلة قليلاً جداً.

إذا بناءاً على نظرية الحزم يمكن تصنيف المواد الصلبة إلى مواد موصلة،و مواد شبه موصلة، ومواد عازلة. الشكل التالي يوضح الفرق بين هذه المواد من ناحية التوصيل الكهربائي.



المواد الموصلة : هي المواد التي لها القدرة على إيصال التيار الكهربائي مثل النحـ والألمنيوم والفضة.

المواد شبه الموصلة: هي المواد التي تكون عازلة عند درجات الحرارة المنخفضة وموصلة في درجات الحرارة العالية،أو عند إضافة مواد أخرى لها وهو ما يسمى بالشوائب ومنها السليكون والجرمانيوم.

المواد العازلة: هي المواد التي ليس لها القدرة على إيصال التيار الكهربائي مثل الزجاج والمطاط والميكا.

3.8. أشباه الموصلات (Semiconductors)

شبه موصل كلمة مركبة من جزأين (semi) وهي بادئة بمعنى شبه او جز و (conductor) معناها الموصل وهي المادة التي تسمح بانسياب الشحنات أي المـ الموصلة. فالموصلات هي المواد التي لها موصلية كهربائية عالية مثل النحاس و مقاومة صغيرة، أما العوازل فمقاومتها عالية جداً وبالتالي فإن موصليتها ضعيفة. و درسنا في الفصل الأول العلاقات التالية:

المقاومة النوعية (ρ) : $\rho = R \,.\, A / L$

والموصلية وهي مقلوب المقاومة النوعية (σ) :

$$\sigma = 1/\rho$$
$$\sigma = L / (R \,.\, A)$$

والجدول التالي يوضح الفرق في المقاومة النوعية للمواد الصلبة:

عازل	شبه موصل	موصل
الميكا $\rho \sim 10^{12}\ \Omega\,.\,cm$	الجرمانيوم $\rho \sim 50\ \Omega\,.\,cm$ السليكون $\rho \sim 5 \times 10^{4}\ \Omega\,.\,cm$	النحاس $\rho \sim 10^{-6}\ \Omega\,.\,cm$

أشباه الموصلات تكون مواد عازلة عند درجات الحرارة المنخفضة،ولكنها تصبح موصلة نوعا ما عندما ترتفع درجة حرارتها. فإذا كانت حزمة التكافؤ مملوءة تماماً بالإلكترونات،ولكي يتمكن الإلكترون من عبور الفجوة الصغيرة نسبياً للوصول إلى حزمة التوصيل فإنه يحتاج إلى طاقة حرارية مقدارها (k_BT) حيث أن (k_B) ثابت بولتزمان و (T) درجة الحرارة. وتلعب الطاقة الحرارية دوراً هاماً في مساعدة الإلكترونات على عبور فجوة الطاقة.

الإلكترون فولت (Electron Volt)

علاوة على وحدة قياس الطاقة الجول (J) هناك وحدة قياس أخرى للطاقة تسمى الإلكترون فولت (eV)،وعادة ما تستخدم في التطبيقات العملية ومن العلاقات التالية والتي سبق دراستها في الفصل الأول يمكننا استنباط العلاقة بين الجول والإلكترون فولت:

$W = P \,.\, t \qquad P = I \,.\, V \qquad Q = I \,.\, t \qquad I = Q / t$

$W = P \,.\, t = I \,.\, V \,.\, t = (Q/t) \,.\, V \,.\, t$

$W = Q \,.\, V$

وباستبدال الشحنة الكهربائية (Q) بشحنة الإلكترون النوعية (e) نحصل على العلاقة:

$W = e \,.\, V \qquad e = 1.6 \times 10^{-19}\ C$

$\mathbf{1eV = 1.6 \times 10^{-19}\ J}$

وهي علاقة وحدة القياس (eV) بوحدة القياس (J).

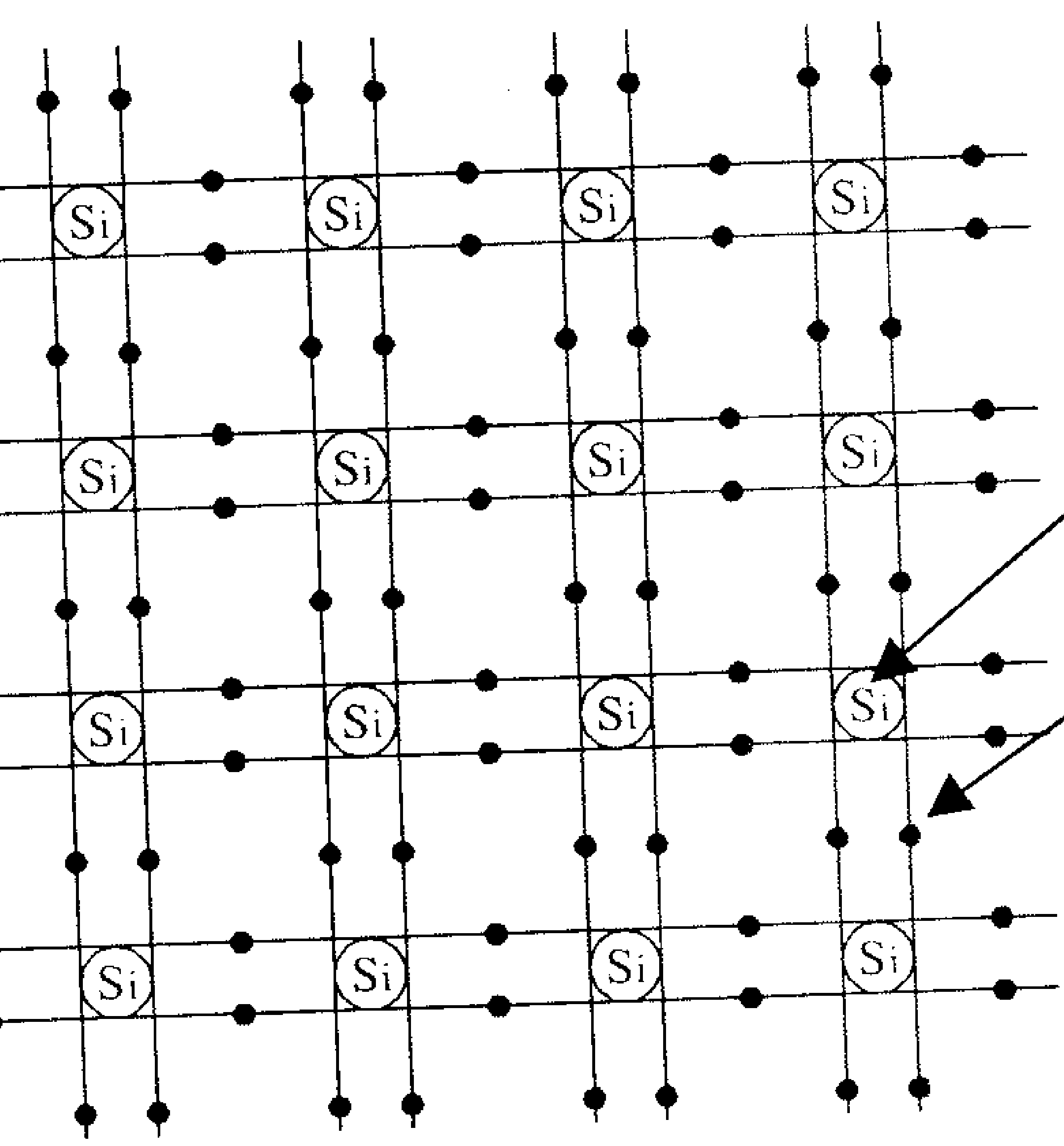
يعتبر عنصرا السليكون (Si) والجرمانيوم (Ge) من أهم العناصر التي تدخل في صناعة أشباه الموصلات والتي تستخدم في الدوائر و الأجهزة الإلكترونية،وهما

عنصران من عناصر المجموعة الرابعة في الجدول الدوري للعناصر والتي ي
غلافها الخارجي على (4) إلكترونات ويحتاج إلى (4) إلكترونات أخرى لكي يمتلئ

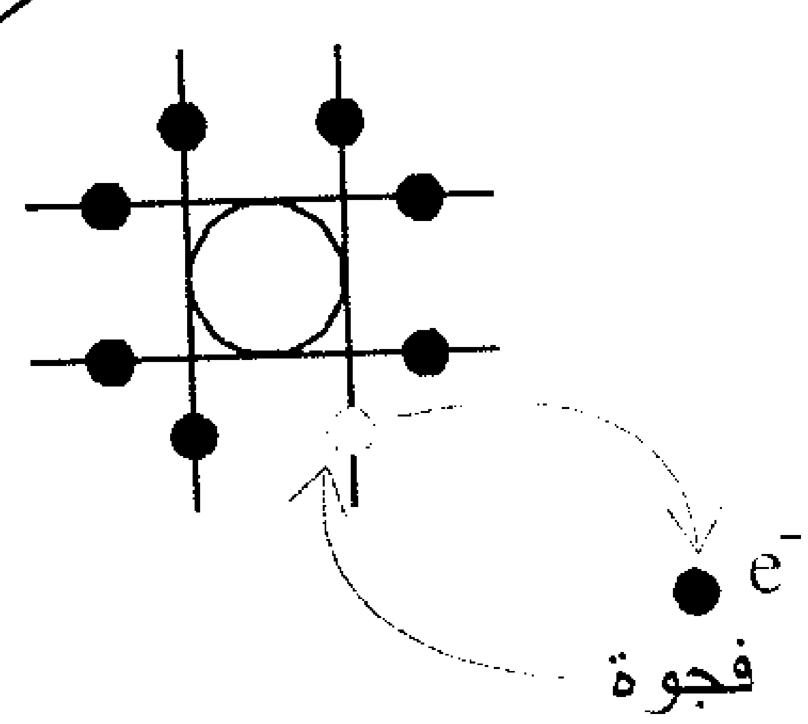
مثال على بلورة السليكون:

(البلورة هي عبارة عن مجموعة من الذرات)

- ترتبط ذرات السليكون بروابط تساهمية حيث أن كل ذرة محاطة بأربع ذ وتشارك هذه الذرات الأربع في ملء الغلاف الخارجي للذرة الوسطية و بمساهمة إلكترون واحد من كل منها كما في الشكل (1)، فعند درجات الحر المنخفضة يعتبر السليكون عازلاً على الرغم من أن تكافؤه رباعي.
- بارتفاع درجة الحرارة فإن الطاقة الحرارية تكون كافية لتحطيم الرو التساهمية بانطلاق أحد الإلكترونات من مكانه تاركاً فجوة كما في الشكل (2
- الطاقة اللازمة لاتمام العملية السابقة في السليكون تقدر بـ (1.22 eV) و الجرمانيوم بـ (0.75 eV).
- للفجوات الناتجة أهمية كبيرة في انتقال التيار الكهربائي.



الشكل (2)



الشكل (1)

أشباه الموصلات النقية (Intrinsic Semiconductors)

أشباه الموصلات النقية الخالية من الشوائب تسمى بأشباه الموصلات الذاتية،وفيها يكون عدد الإلكترونات مساوياً لعدد الفجوات.

$$\textbf{Electrons} \equiv \textbf{Holes}$$

التطعيم (Doping)

هو إضافة متعمدة للشوائب من مادة معينة إلى أشباه الموصلات النقية،وهذه الشوائب قد تعمل على السيطرة على الصفات الكهربائية لأشباه الموصلات.

هناك احتمالان لعملية التطعيم:

1- النوع السالب (n-type)

الشوائب المضافة تزيد من عدد الإلكترونات الحرة ويكون التطعيم من عناصر المجموعة الخامسة وتسمى بالعناصر المانحة (Donors)،ومن أمثلتها عنصر الزرنيخ (As^{33}) وتوزيعه الإلكتروني كالتالي:

$$As^{33} \quad \underbrace{1s^2}_{K} \quad \underbrace{2s^2 \ 2p^6}_{L} \quad \underbrace{3s^2 \ 3p^6 \ 3d^{10}}_{M} \quad \underbrace{4s^2 \ 4p^3}_{N}$$

2- النوع الموجب (p-type)

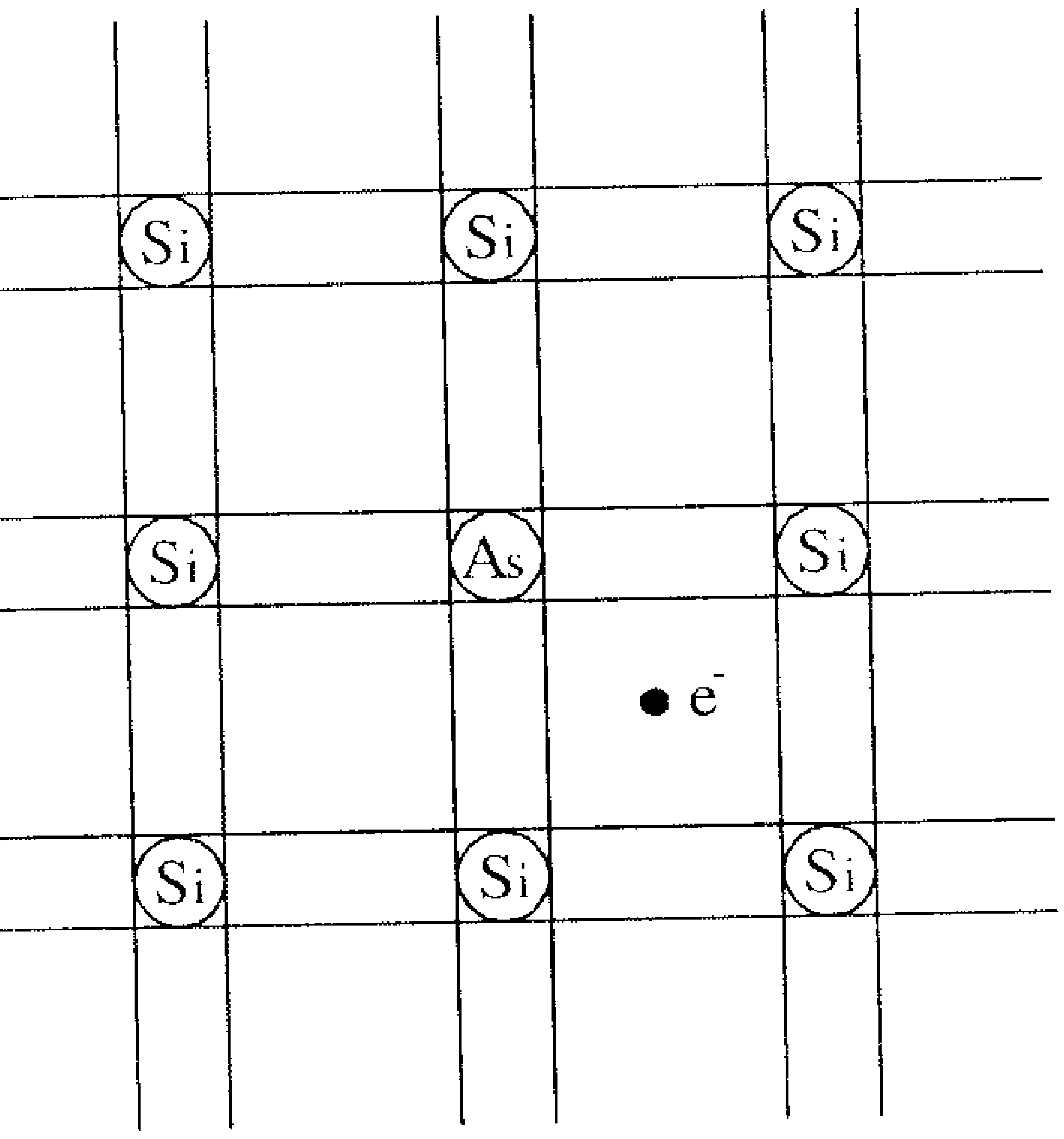
يكون التطعيم من عناصر المجموعة الثالثة وتسمى بالعناصر القابلة (Acceptors) مثل عنصر الأنديوم (In^{49}) وتوزيعه الإلكتروني كالتالي:

$$In^{49} \quad \underbrace{1s^2}_{K} \quad \underbrace{2s^2 \ 2p^6}_{L} \quad \underbrace{3s^2 \ 3p^6 \ 3d^{10}}_{M} \quad \underbrace{4s^2 \ 4p^6 \ 4d^{10}}_{N} \quad \underbrace{5s^2 \ 5p^1}_{O}$$

١٥

شبه الموصل السالب (n-type semiconductor)

نحصل عليه بإضافة كميات ضئيلة من عناصر المجموعة الخامسة من الجدول الدوري للعناصر كالفسفور (P^{15}) أو الزرنيخ (As^{33}) أو الأنتيمون (Sb^{51}) إلى أشباه الموصلات النقية كالسليكون مثلاً، إذ أن الذرات الشائبة التي لها خمسة إلكترونات تكافؤ تدخل ضمن تركيب السليكون وتكَون روابط تساهمية مع الذرات الأربع المحيطة بكل منها ويبقى إلكترون واحد معلقاً بالذرة الأم؛ فبعدد أربعة إلكترونات من السليكون وأربعة إلكترونات من الزرنيخ يصبح الغلاف مشبعاً ويحتوي على ثمانية إلكترونات ويظل الإلكترون الخامس حراً داخل التشابك البلوري ولا يترك خلفه ثقباً عندما يتحرك وبذلك يمكنه نقل التيار الكهربائي. يتجه الإلكترون الحر لكسر بعض الإلكترونات في ذرات الجرمانيوم أو السليكون لروابطها لتترك خلفها فجوات تنتج تياراً موجباً يتحرك عكس التيار السالب. إذاً في شبه الموصل هناك تياران:



1. **تيار الأغلبية (Majority)** والناتج عن حركة الإلكترونات الحرة وهو تيار سالب.
2. **تيار الأقلية (Minority)** والناتج عن حركة بعض الفجوات وهو تيار موجب.

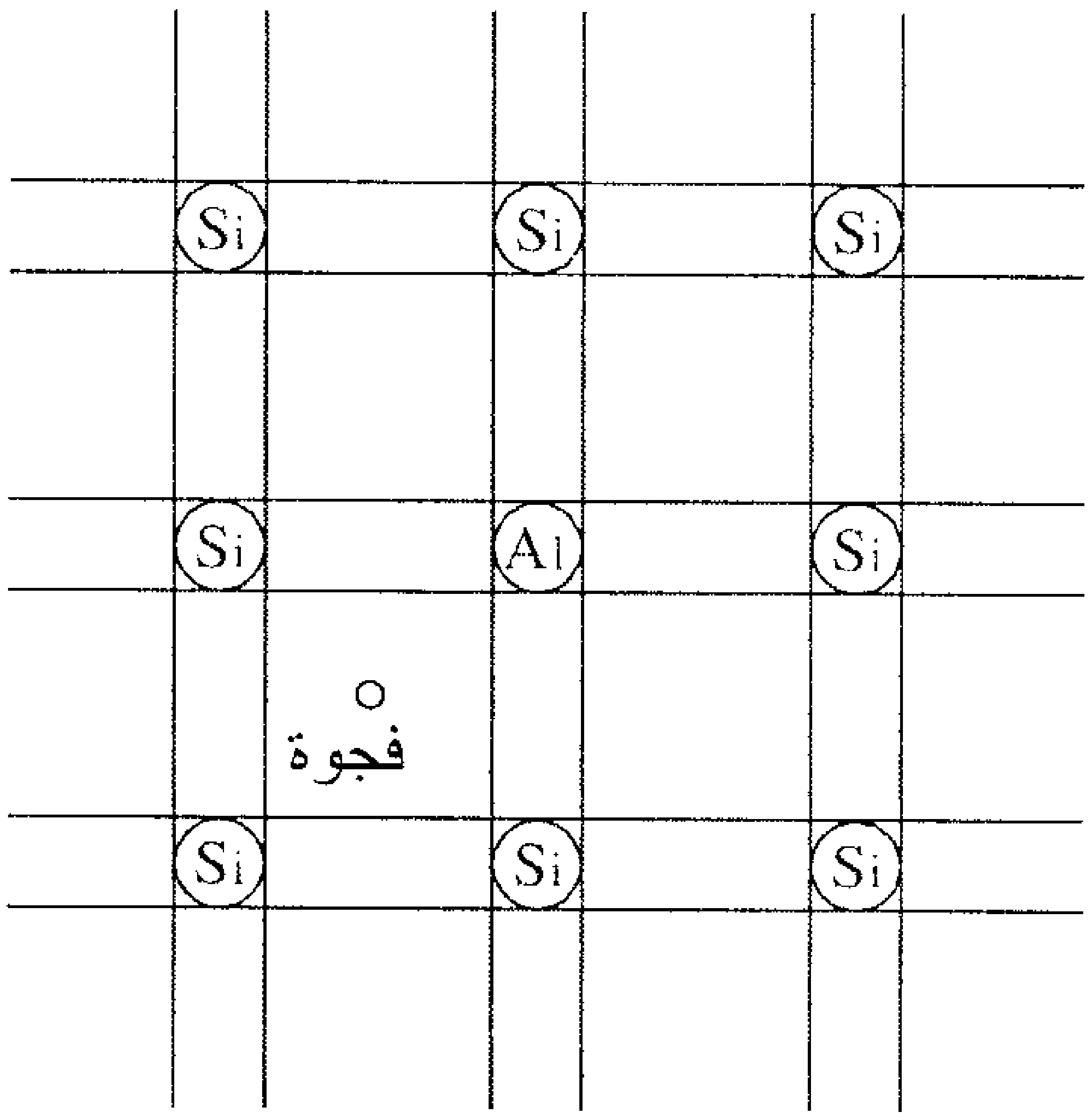
تسمى الذرات الشائبة (الزرنيخ) بالذرات المانحة (Donors)

عدد الذرات المانحة (الشائبة) = عدد الإلكترونات الفائضة الحرة.

شبه الموصل الموجب (p-type semiconductor)

يمكن الحصول على هذا النوع بإضافة شائبة من عناصر المجموعة الثالثة كالبورون (B^5) أو الألمنيوم (Al^{13}) أو الأنديوم (In^{49}) إلى أشباه الموصلات النقية كالسليكون لينتج عنها نوع جديد من أشباه الموصلات تستحدث فيها فجوات بدلاً من إلكترونات.

تحتل ذرات الشوائب مواقع ذرات السليكون لتكوّن مع ذرات السليكون الأربع المحيطة بكل واحدة منها أواصر تساهمية. وبما أن ذرات الشوائب تحتوي على ثلاثة إلكترونات فقط في غلافها الخارجي لهذا سوف تبقى رابطة تساهمية واحدة تحوي إلكترونا واحداً و تحتاج إلى إلكترون آخر لاستكمال البنية البلورية الاعتيادية لشبه الموصل.

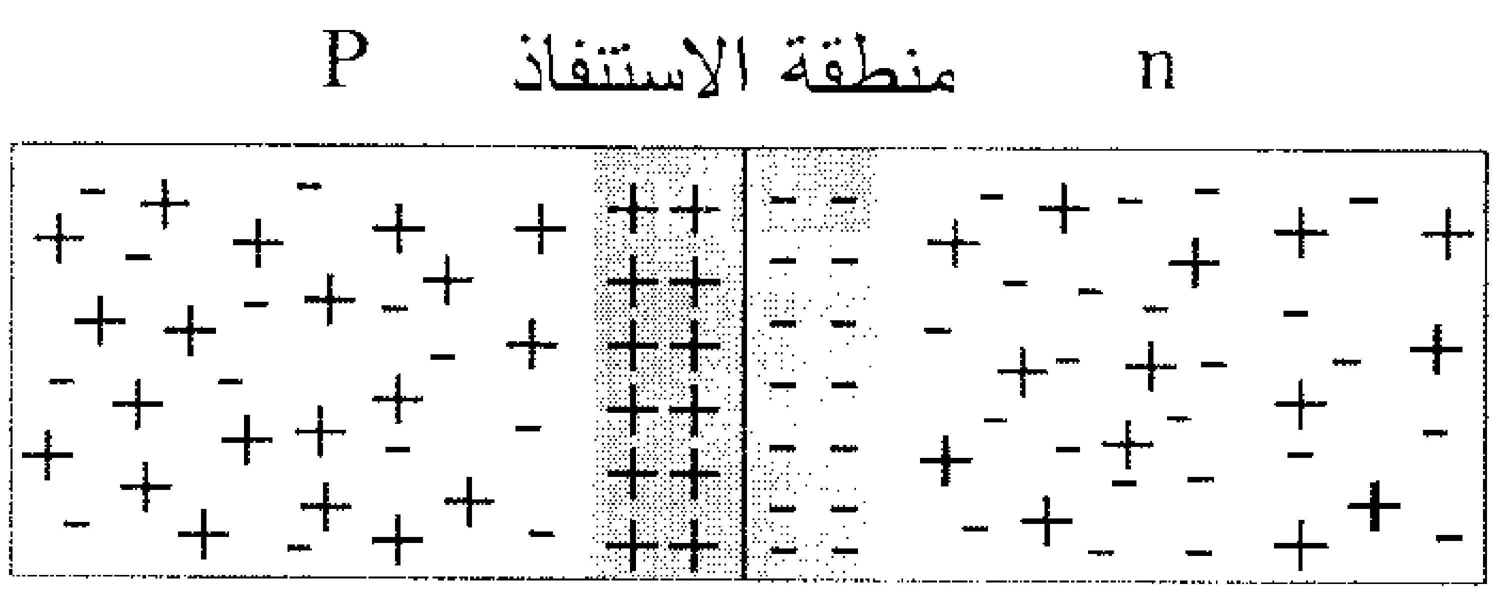


الذرة الشائبة تكتسب بسهولة إلكترونا من الروابط المجاورة لتكمل روابطها إلا أن هذا يترك فجوة موجبة عند تلك الرابطة. وهكذا تتحرك الفجوات ونحصل على تيار موجب،ولهذا السبب يسمى هذا النوع بشبه الموصل الموجب.

تيار الغالبية (Majority) هو للفجوات (Holes)، أما تيار الأقلية (Minority) فهو للإلكترونات (Electrons). وتسمى الذرات الشائبة بالمتقبلة (Acceptors).

وصلة الموجب بالسالب (p-n junction)

عند إيصال النوعين السالب (n) بالموجب (p) نتحصل على أشباه الموصلات، فعند التوصيل معاً تندفع الإلكترونات الحرة من المنطقة (n) والقريبة من منطقة الاستنفاذ إلى المنطقة (p) لتملأ الفجوات القريبة من منطقة الاستنفاذ

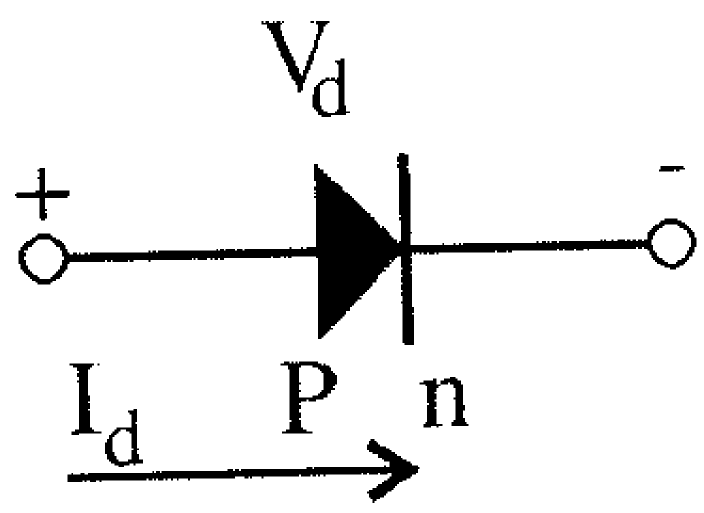


وذلك بفعل التجاذب،و يستمر هذا الانتقال فترة وجيزة ثم يحدث التوازن ويتكون بذلك حاجز يفصل بين المنطقة (n) والمنطقة (p)،ويسمى هذا الحاجز بحاجز الجهد (Potential Barrier)، والشكل السابق يوضح عملية الحصول على وصلة الموجب بالسالب.

4.8. الصمام الثنائي (Diode)

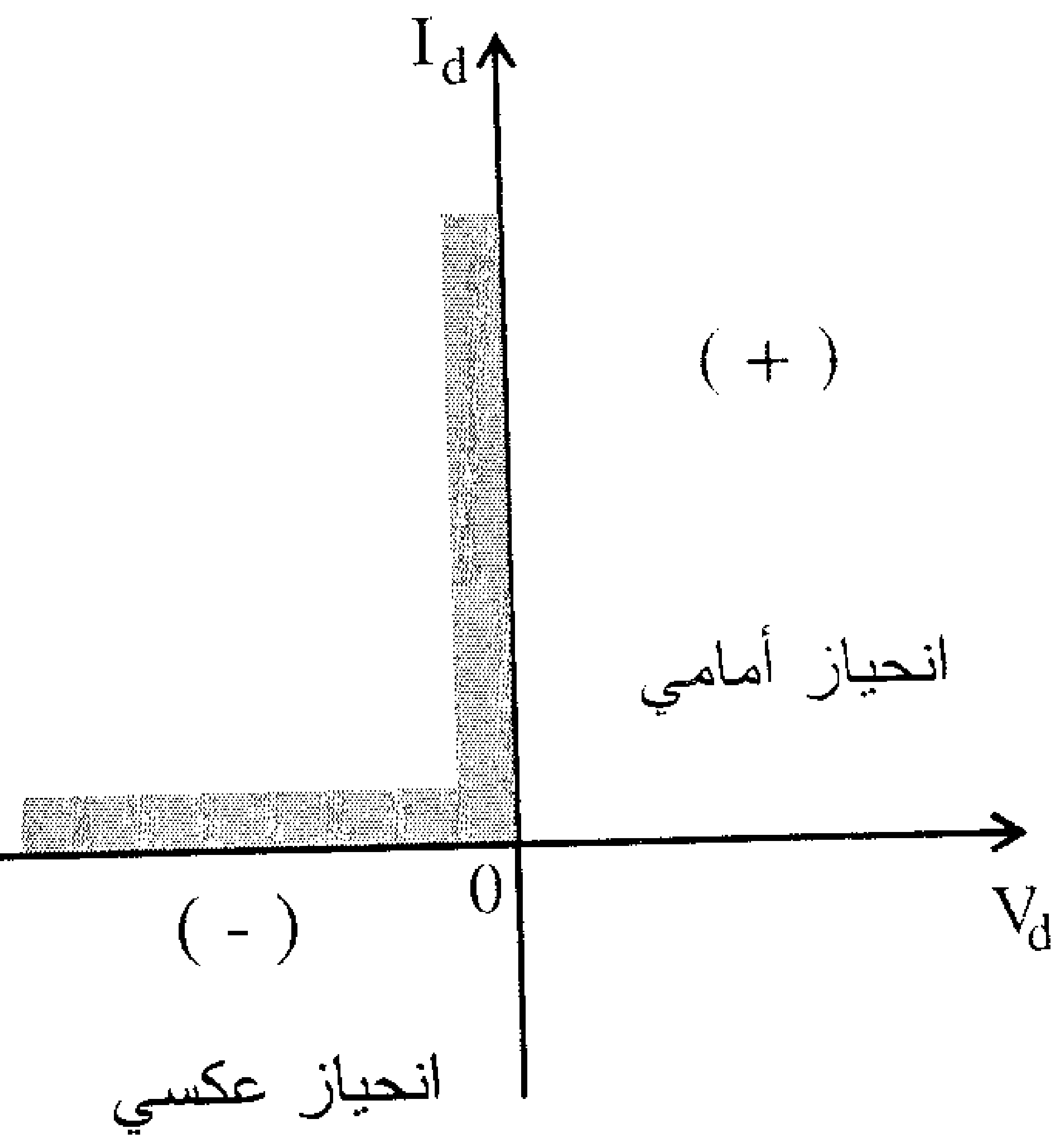
هو عبارة عن وصلة ثنائية (n-p) تستخدم في الدوائر الكهربائية.

الثنائي المثالي (Ideal Diode)



ويرمز له كما في الشكل التالي

حيث أن V_d جهد الثنائي و I_d تيار الثنائي.و منحنى الخواص للثنائي هو العلاقة ما بين جهد وتيار الثنائي، والشكل التالي يوضح منحنى الخواص بالنسبة للثنائي المثالي:



ينقسم منحنى الخواص إلى ثلاث مناطق وهي:

1- المنطقة عند مركز المحنى وهي النقطة (0،0) وفيها يكون الجهد المسلط على الثنائي مساوياً صفراً وبالتالي فإن التيار يساوي أيضا صفراً:

$$I_d = 0A \qquad V_d = 0V$$

2- منطقة الانحياز الأمامي (forward bias Resistance) : وهي منطقة الجزء العلوي الموجب للمنحنى،وفيها الجهد يساوي صفراً والتيار له قيمة موجبة،ويمكن حساب مقاومة الانحياز الأمامي

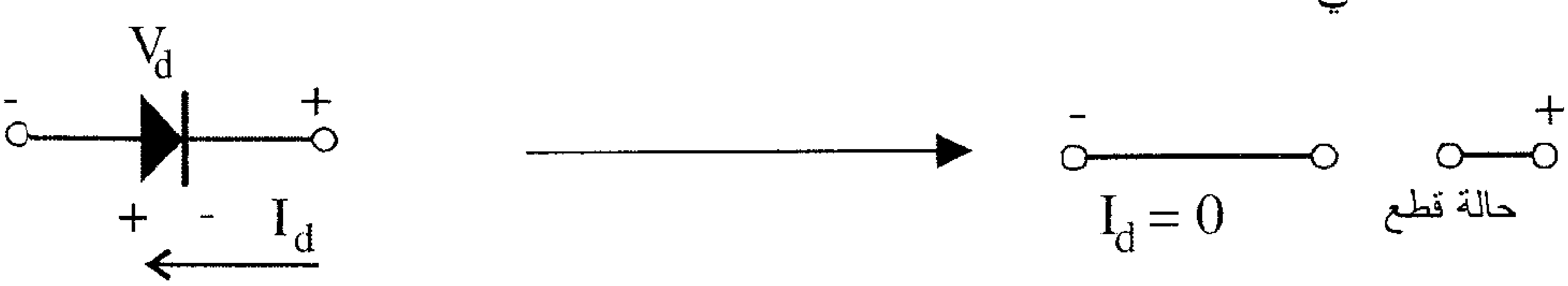
$$R_f = \frac{V_f}{I_f} = \frac{0V}{2,3,4,...mA} = 0\Omega$$

ويعتبر الثنائي في هذه الحالة دائرة مغلقة (short circuit) أي في حالة توصيل (on state) $(I_d \neq 0)$،ويستبدل الثنائي في هذه الحالة بدائرة مغلقة كما في الشكل التالي:

3- منطقة الانحياز العكسي (reverse bias Resistance) : وهي منطقة الجزء السفلي الأيسر السالب للمنحنى وفيها الجهد يساوي قيمة سالبة أقل من الصفراً والتيار يساوي صفر، ويمكن حساب مقاومة الانحياز العكسي وقيمة المقاومة كبيرة جداً:

$$R_r = \frac{V_r}{I_r} = \frac{-5,-10,-20,...V}{0mA} = \infty$$

ويعتبر الثنائي في هذه الحالة دائرة مفتوحة (open circuit) أي في حالة قطع (off state) (عدم توصيل)،ويستبدل الثنائي في هذه الحالة بدائرة مفتوحة كما في الشكل التالي:

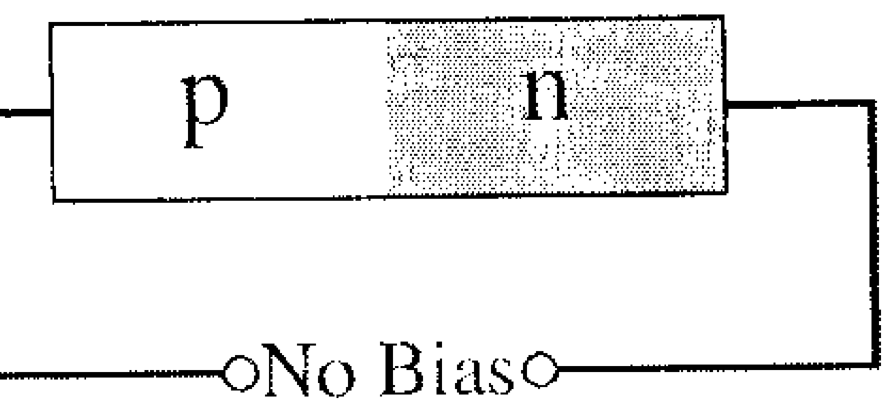


كل ما تقدم هو مقدمة لدراسة دوائر الثنائي والدوائر المكافئة له،

وفي الأجزاء القادمة سوف ندرس كيفية عمل الثنائي الحقيقي ومنحنى الخواص مع شرح للحالات الثلاث سالفة الذكر.

(1) الحالة الأولى للثنائي: الجهد المسلط عليه يساوي صفراً (No Applied Bias)

عندما يكون الجهد المسلط على الثنائي يساوي الصفر ($V_D = 0V$) يتولد في هذه الحالة حاجز للجهد بين (n) السالبة و (p) الموجبة ويمنع هذا الحاجز مرور التيار السالب من (n) إلى (p) ويسمى هذا الحاجز (Potential Barrier).



$I_d = 0A$

$V_d = 0V$

(1) الحالة الثانية للثنائي

الانحياز العكسي (Reverse Bias Condition)

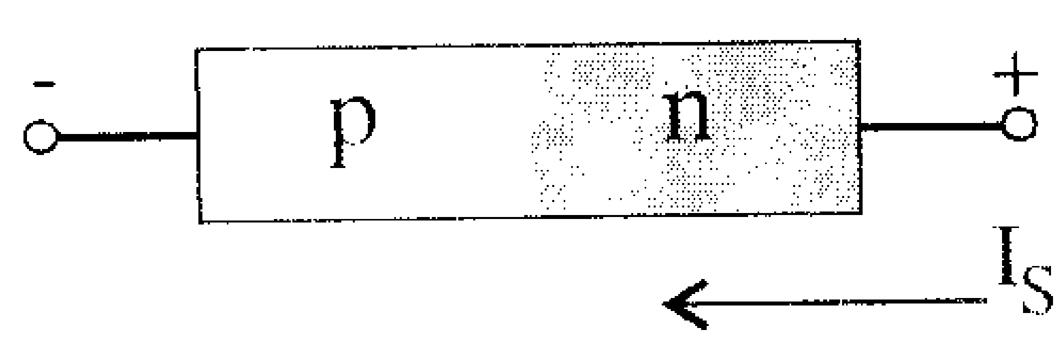
وهي المنطقة التي يكون فيها جهد الثنائي أقل من الصفر (قيمة سالبة) $(V_d < 0)$.

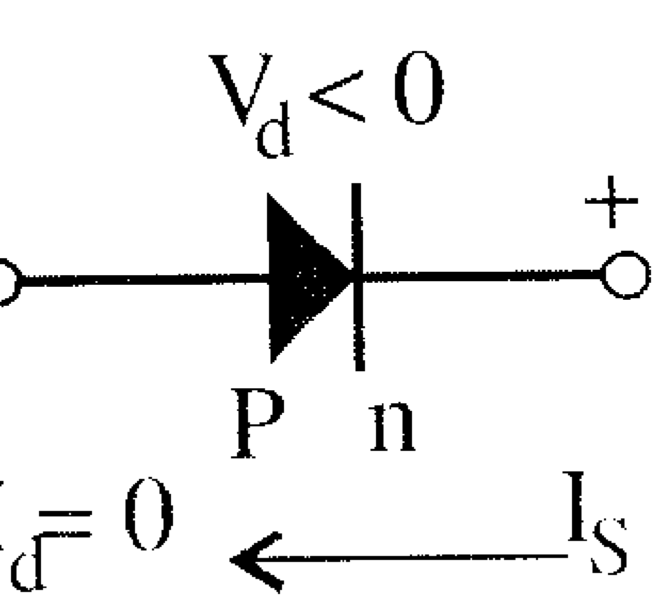
في الانحياز العكسي يتم ايصال (n) بالقطب الموجب لمصدر الجهد و(p) بالقط السالب لمصدر الجهد لتنتج عن ذلك زيادة في منطقة الاستنفاد ليزداد بذلك عرض حاجز الجهد،والأسباب كالتالي:

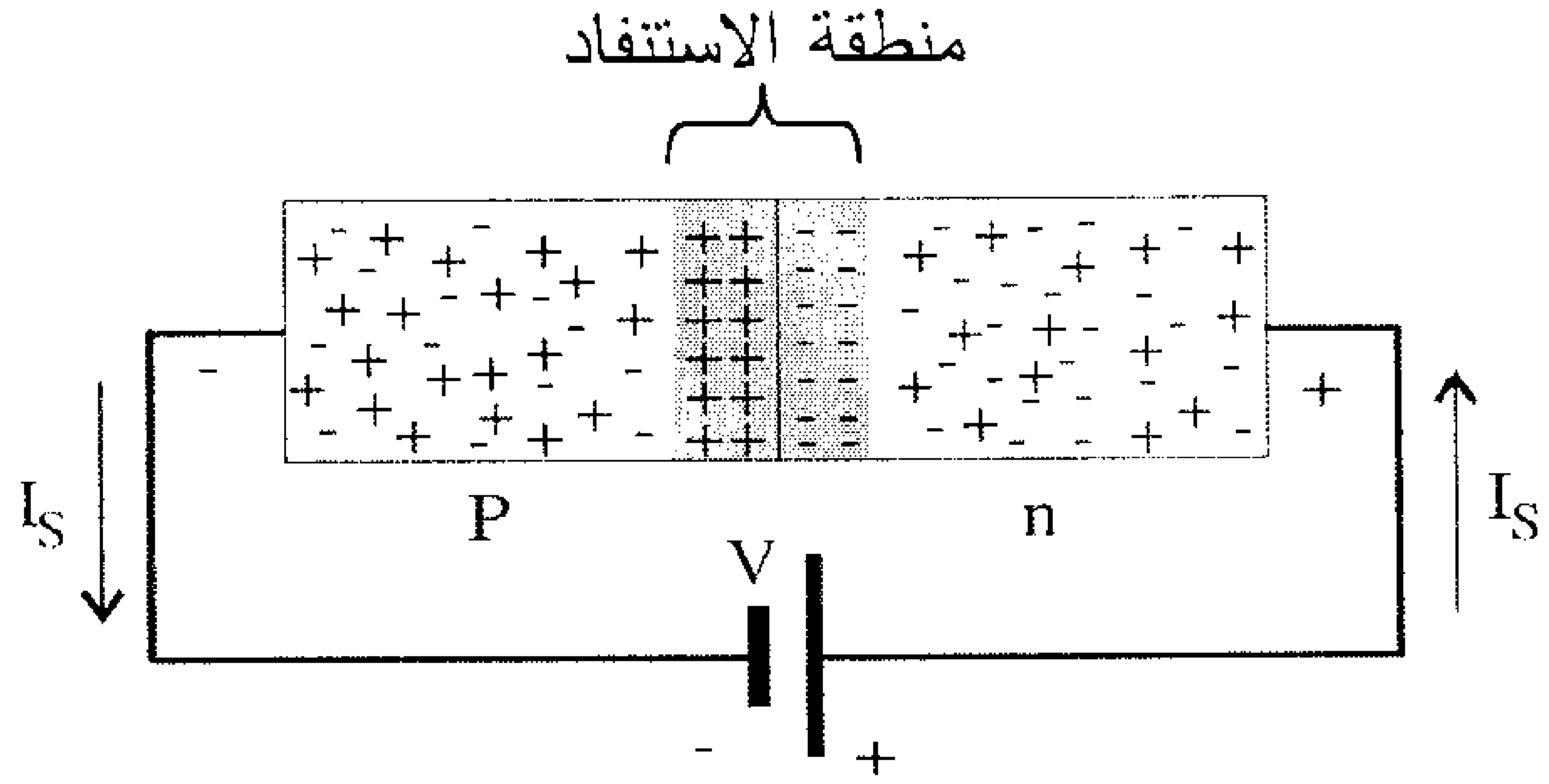
1) تتجه الإلكترونات الحرة والتي تمثل الأقلية (تيار الأقلية) من (n) إلى القط الموجب والفجوات في (p) نحو القطب السالب (تيار الأغلبية) مما يؤد إلى زيادة مساحة حاجز الجهد.
2) لا يتمكن تيار الأغلبية من عبور منطقة الاستنفاد وتقل قيمته.
3) تيار الأقلية الناتج عن الإلكترونات في (p) والفجوات في (n) يسري ويرم له بالرمز (I_S) ويسمى أيضاً تيار التشبع العكسي

Reverse saturation current)

وهو تيار صغير جداً بحدود النانو أمبير (nA) في ثنائي السليكون وفي حدو المايكرو أمبير (μA) في الجرمانيوم. ومن ميزات هذا التيار أنه ثابت ولا يزد بزيادة الجهد V_d ، ويعبر عن الثنائي في هذه الحالة كما في الشكل التالي:







(3) الحالة الثالثة للثنائي: الانحياز الأمامي Forward-Bias Condition:

وهي المنطقة التي يكون فيها جهد الثنائي أكبر من الصفر (موجب) ($V_d > 0$) .

في الانحياز الأمامي يتم توصيل (n) بالقطب السالب و(p) بالقطب الموجب لمصدر الجهد ،وسيجبر الجهد المسلط الإلكترونات الحرة في(n) والفجوات في (p) إلى إعادة ارتباطها بالأيونات القريبة من منطقة الاستنفاد وبالتالي يقل عرض حاجز الجهد.

الإلكترونات وهي حاملات الشحنة الأقلية (−) في (p) تنتقل إلى (n) .

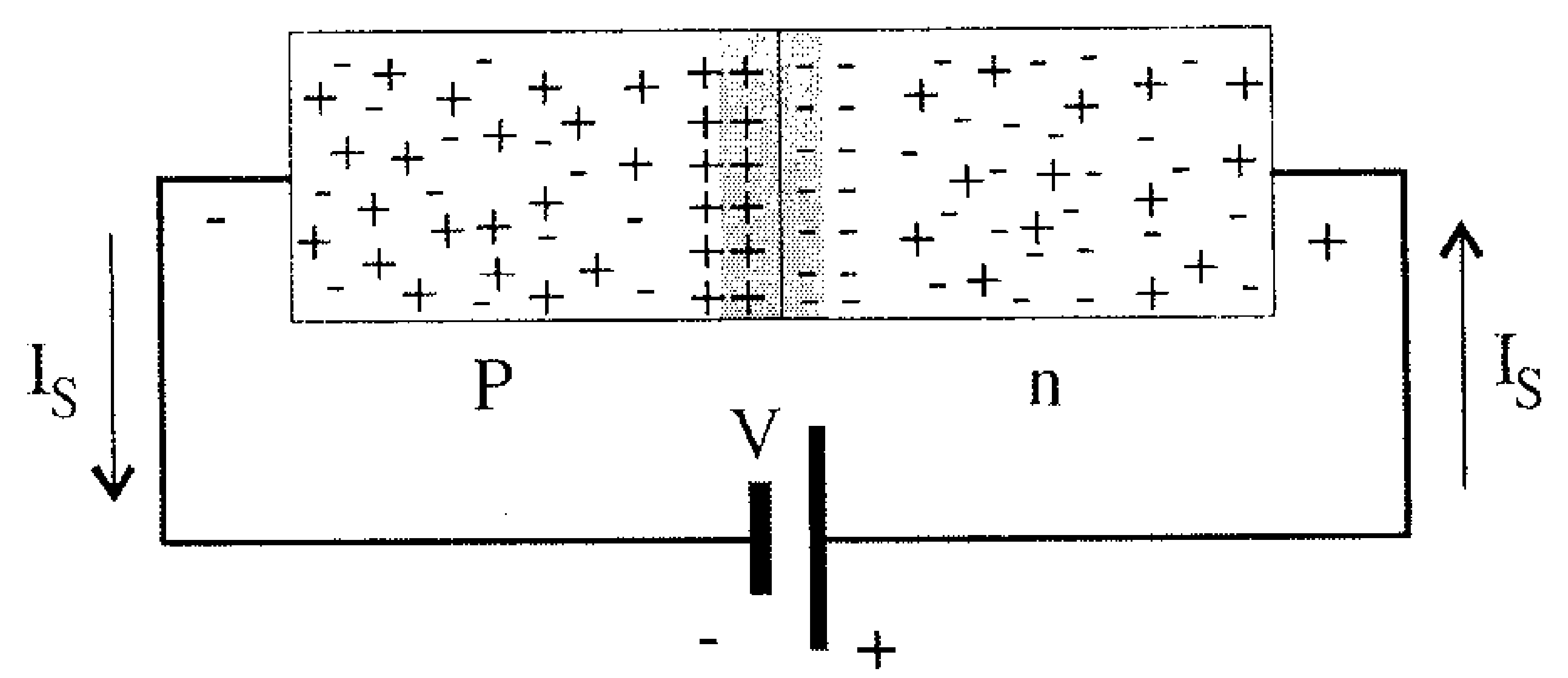
الفجوات وهي حاملات الشحنة الأقلية (+) في (n) تنتقل إلى (p) .

وبالتالي يبقى تيار الأقلية (I_S) ثابتاً.

يزداد في هذه الحالة تيار الأغلبية والناتج عن الإلكترونات في (n) والفجوات في (p) .

كلما زادت قيمة الجهد للثنائي (V_d) يقل عرض منطقة الاستنفاد (أي يقل حاجز الجهد) إلى أن يحدث انهيار للمنطقة.

يرمز للثنائي في هذه الحالة:

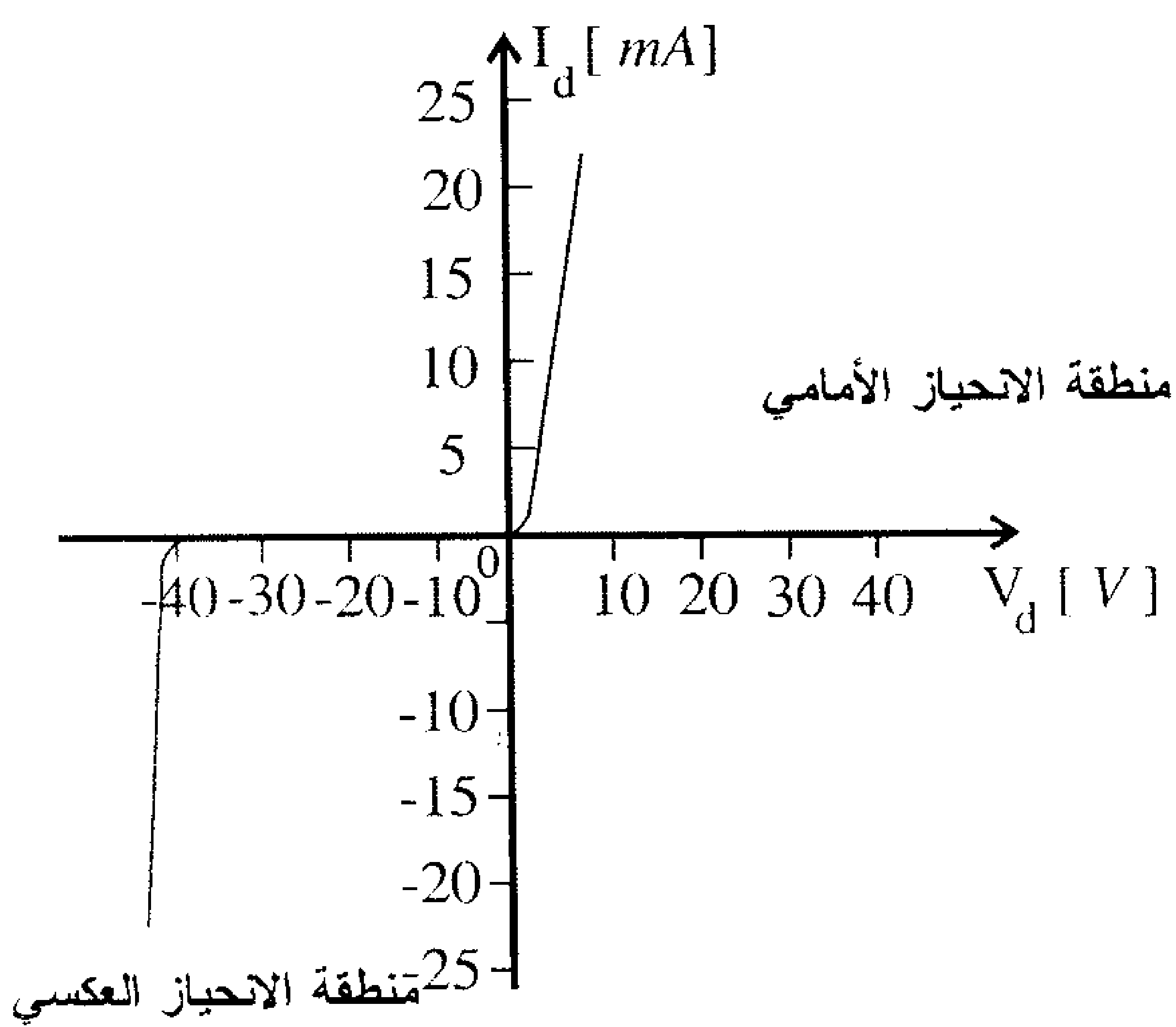


تكون قيمة تيار الثنائي كالتالي:

$$I_D = I_{Majority} - I_S$$

منحنى الخواص للثنائي Semiconductor Diode Characteristics

يمثل منحنى الخواص للثنائي العلاقة بين جهد الثنائي V_d وتيار الثنائي I_d حيث أن لكل ثنائي منحنى خواص خاص به.



حساب تيار الثنائي نظرياً:

يمكن حساب تيار الثنائي رياضياً بمعلومية درجة الحرارة (T_k) وجهد الانحياز الساقط

(V) وذلك باستخدام المعادلة التالية:

$$I = I_S \left(e^{(kV/Tk)} - 1 \right)$$

حيث أن:

I_S : تيار التشبع العكسي.

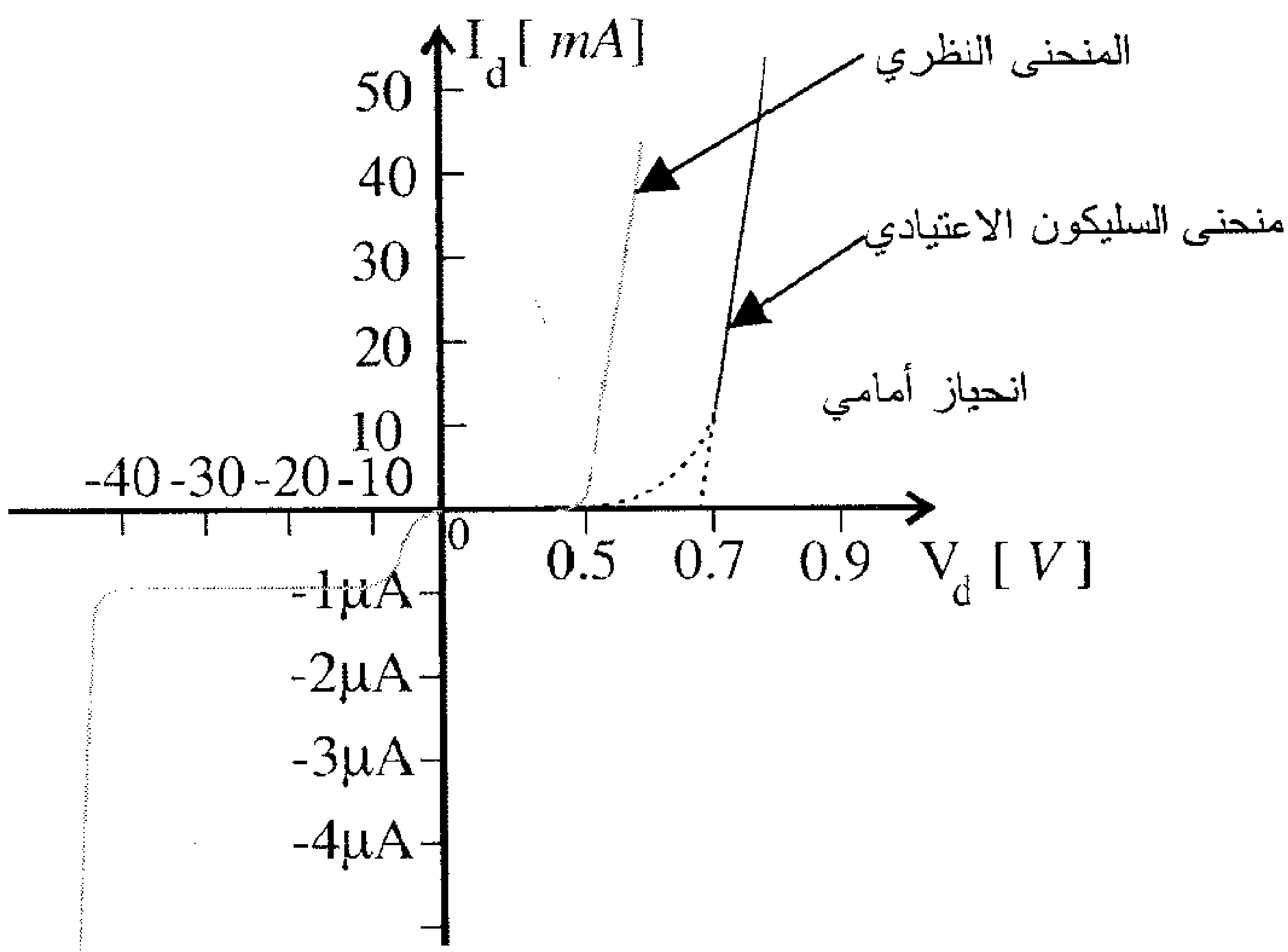
k : مقدار ثابت يساوي 5800 للسليكون و11600 للجرمانيوم.

$$T_k = T_C + 273$$

T_C: درجة الحرارة معطاة بالدرجة المئوية.

T_k: درجة الحرارة معطاة بالدرجة المطلقة (كلفن).

منحنى الخواص لثنائي السليكون:



مثال1.8:

باستخدام المعادلة السابقة والاستعانة بمنحنى الخواص لثنائي السليكون يمكن حساب تيار الثنائي عند درجة حرارة الغرفة ($T_C = 25\ ^oC$) .

$$T_k = 25 + 273 = 298\ K$$

ومن المنحنى نحصل على قيمة :

$$I_S = 1\mu A$$

$$V = 0.5V$$

$$K = 5800 \quad (\text{للسليكون})$$

$$\frac{KV}{T_k} = \frac{(5800)(0.5)}{298} = 9.732$$

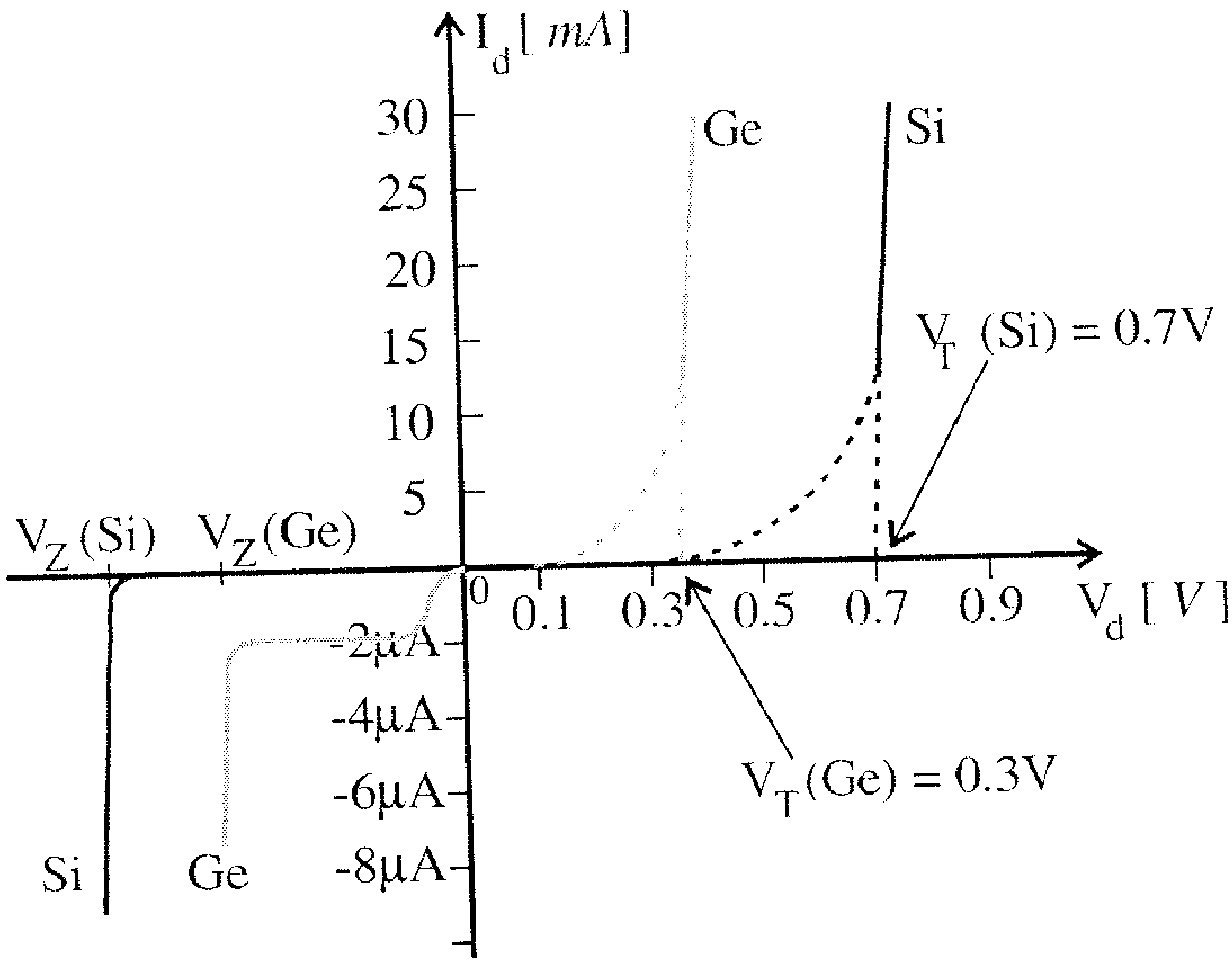
$$I = I_S\,(e^{9.732} - 1)$$

$$I = 1\times10^{-6}\,(e^{9.732} - 1)$$

$$I = 16.8mA$$

مقارنة بين السليكون و الجرمانيوم:

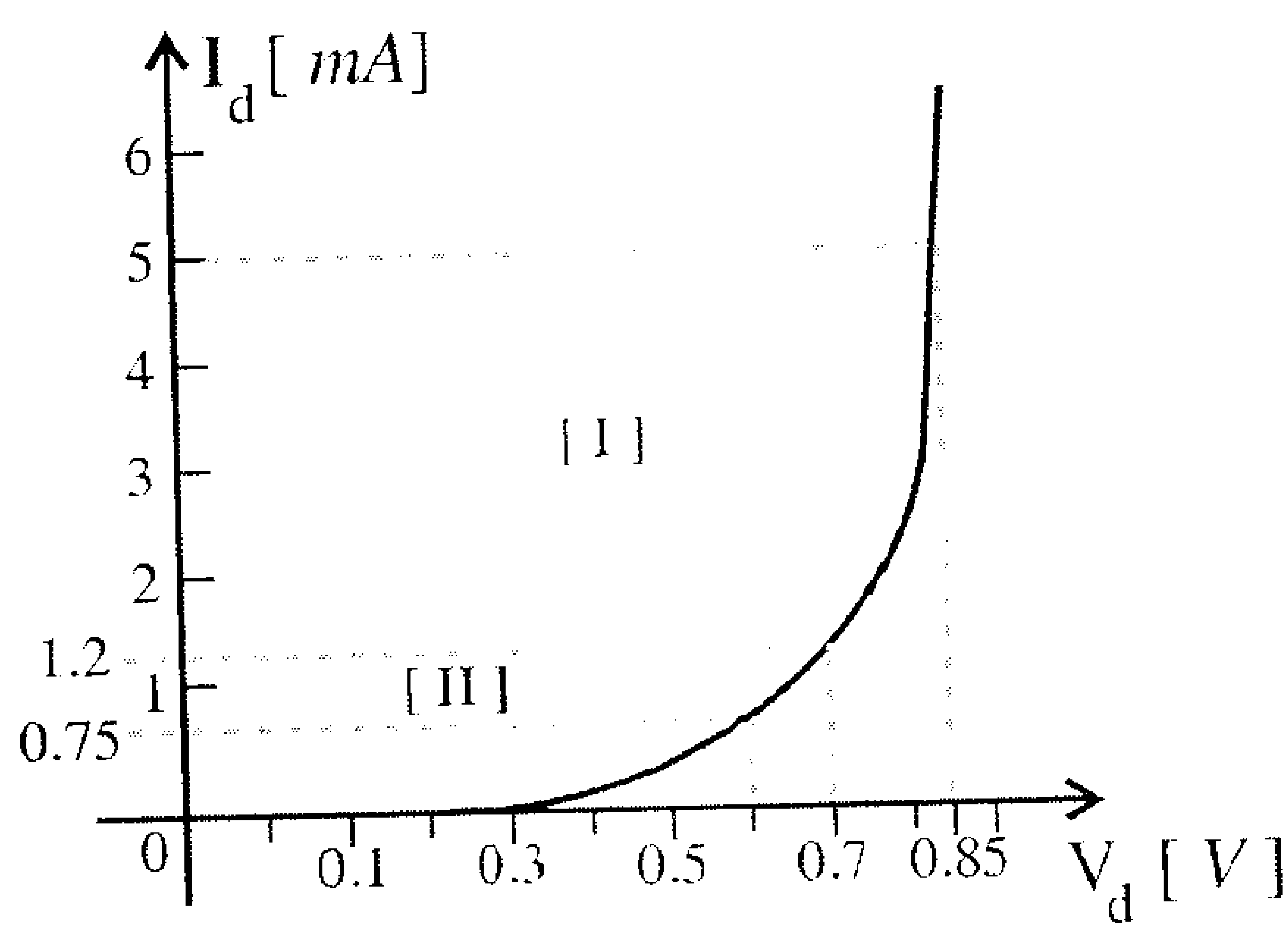
التفصيل	جرمانيوم (Ge)	سليكون (Si)
أقصى جهد عكسي يمكن أن يسلط	400V	1000V
يمكن استخدامه في درجات حرارة تصل	100 °C	200 °C
جهد الانحياز الأمامي (V_T)	0.3 V	0.7V
طاقة الفجوة (E_g)	0.67 eV	1.1 eV
تيار التسرب العكسي	يقاس بـ (μA)	يقاس بـ (nA)



مقارنة منحنى الخواص للسليكون و الجرمانيوم

متوسط مقاومة التيار المتردد Average AC Resistance

يمكن إيجاد قيمة متوسط المقاومة من منحنى الخواص للثنائي وذلك برسم خط مستقيم من محور التيار وآخر من محور الجهد ليتقاطعا عند المنحنى كما بالشكل التالي:



$$r_{av} = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d}$$

حيث:

r_{av}: متوسط المقاومة.

V_d: جهد الثنائي.

I_d: تيار الثنائي.

ومن المنطقة (I) من الرسم يمكن حساب r_{av} بتحديد قيمة كبرى للجهد لتكون ($0.85V$)، وقيمة صغرى للجهد ($0.6V$) ليكون الفرق بينهما ΔV_d :

$$\Delta V_d = 0.85V - 0.6V = 0.25V$$

يقابلها قيمة كبرى للتيار (5mA) وقيمة صغرى (0.75mA) ليكون الفرق بينهما ΔI_d :

$$\Delta I_d = 5mA - 0.75mA = 4.25mA$$

$$\therefore \; r_{av} = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} = \frac{0.25V}{4.25\times10^{-3}A} = 58.82\Omega$$

وكذلك بالنسبة للمنطقة (II) من المنحنى:

$$r_{av} = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} = \frac{0.7V}{1.2\times10^{-3}A} = 583.3\Omega$$

5.8 نماذج دوائر الثنائي المكافئة Equivalent Circuits Diode Models

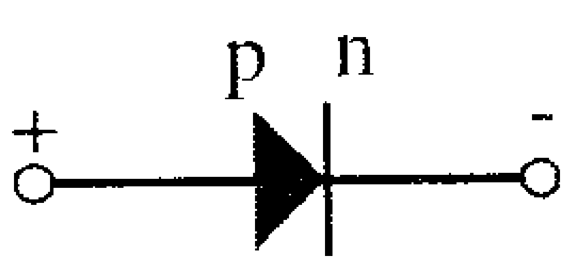
الغرض من نماذج دوائر الثنائي المكافئة هو تحليل سلوكيات الثنائي في الدوائر ويمكن تفسيرها بدراسة النماذج الآتية:

1- نموذج الثنائي المثالي (التقريب الأول):

هذا النموذج يفترض أن يكون الثنائي إما مفتوحاً (off state) أو مغلقاً (on state) .

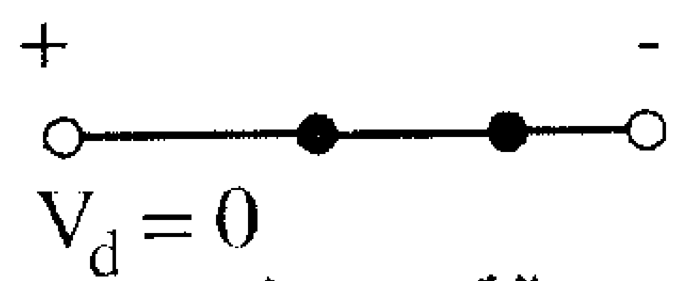
أ- في حالة الإغلاق (التوصيل) أثناء الانحياز الأمامي يكون الجهد على طرفي الثنائي مساوياً صفراً وبالتالي فإن المقاومة الأمامية:

$$R_f = \frac{V_f}{I_f} = \frac{0V}{I_f} = 0\Omega$$



انحياز أمامي

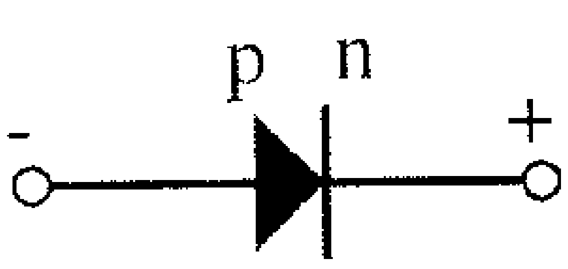
=



حالة توصيل

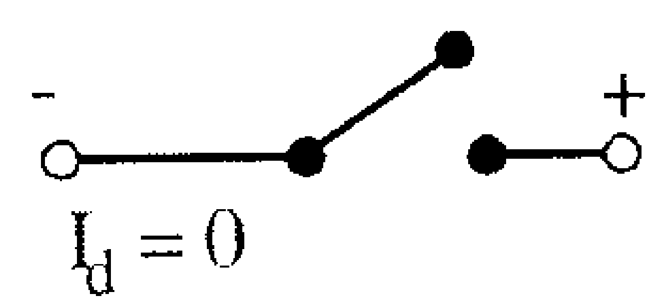
ب-في حالة الفتح (القطع) أثناء الانحياز العكسي يكون التيار مساوياً صفراً وتكون المقاومة العكسية R_R:

$$R_R = \frac{V_R}{I_R} = \frac{V_R}{0} = \infty$$



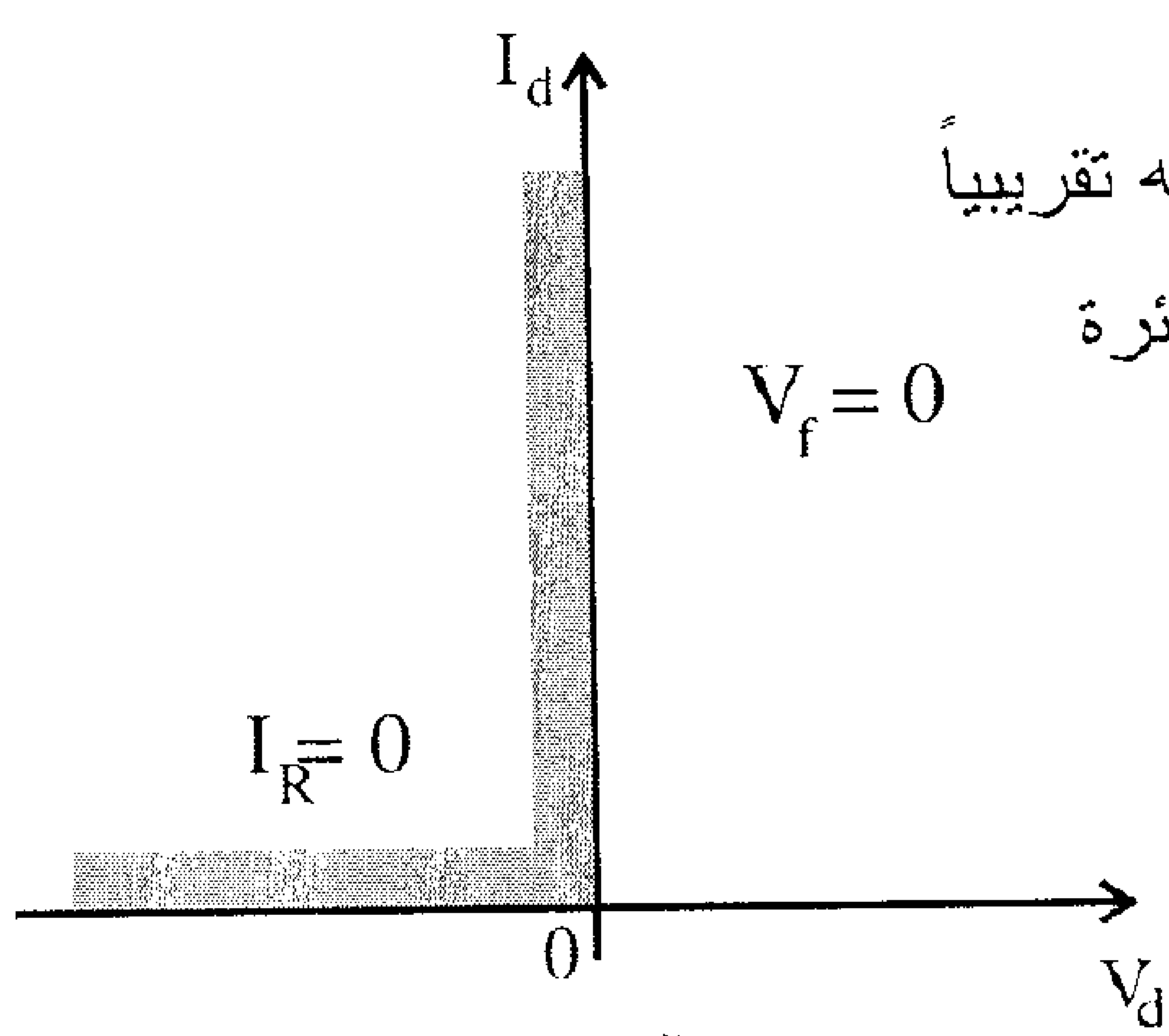
انحياز عكسي

=



حالة قطع

هذا النموذج يستخدم لمعرفة ما ستكون عليه تقريبياً قيمة التيارات والفروق في الجهود في الدائرة وكذلك جهد الحاجز لهذا الثنائي المثالي ($V_T = 0V$) .



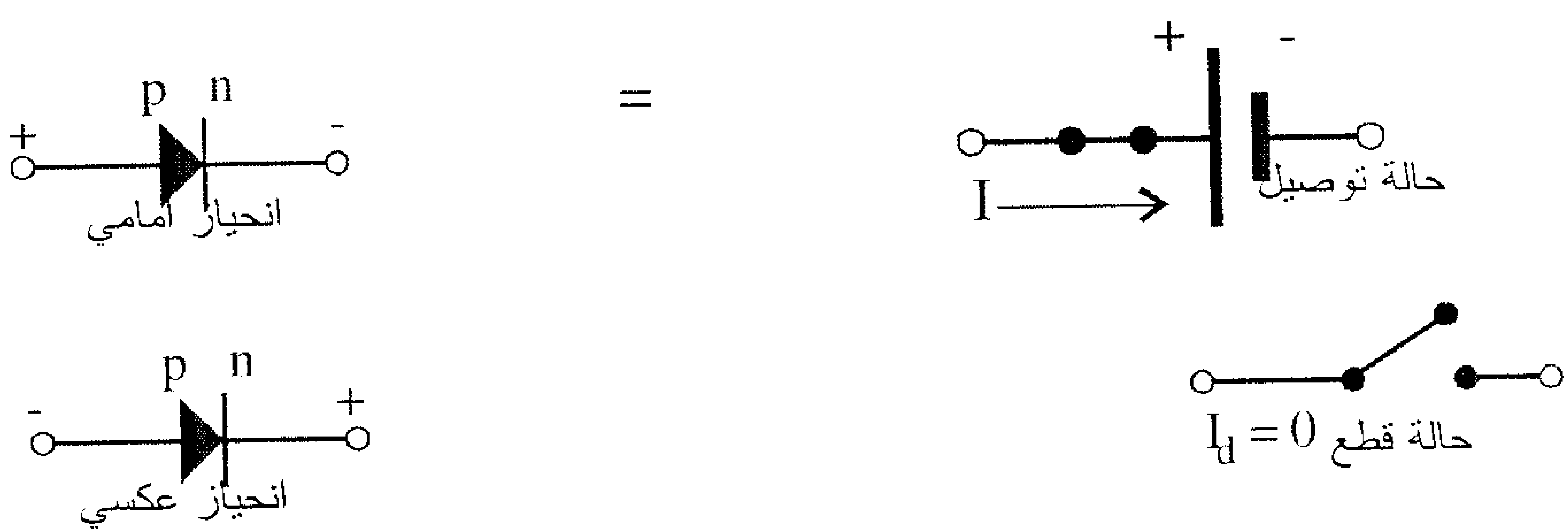
منحنى الخواص للثنائي المثالي

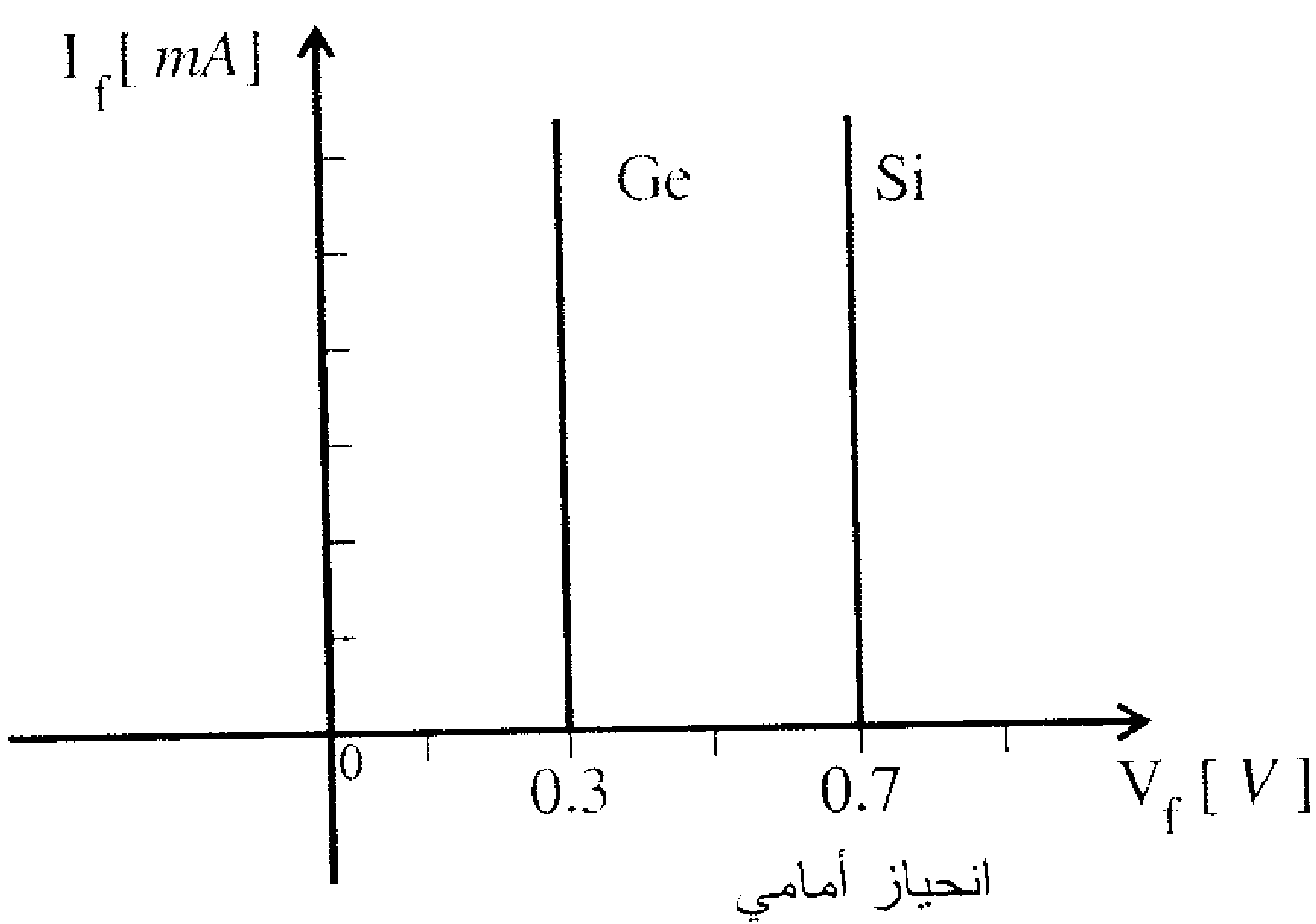
2- نموذج مصدر الجهد الثابت (التقريب الثاني) للثنائي:

هذا النموذج مبني على أساس أن الثنائي يبدأ في التوصيل بعد اجتياز جهد الحاجز بين النوع السالب والموجب (p-n) في وصلة الثنائي وهذا الجهد هو (0.7V) بالنسبة للسليكون و(0.3V) بالنسبة للجرمانيوم.

في هذا التقريب يعتبر الثنائي مثالياً وموصل على التوالي بمصدر جهد مقداره (0.7V) بالنسبة لثنائي السليكون ومصدر جهد مقداره (0.3V) بالنسبة لثنائي الجرمانيوم في حالة الانحياز الأمامي.

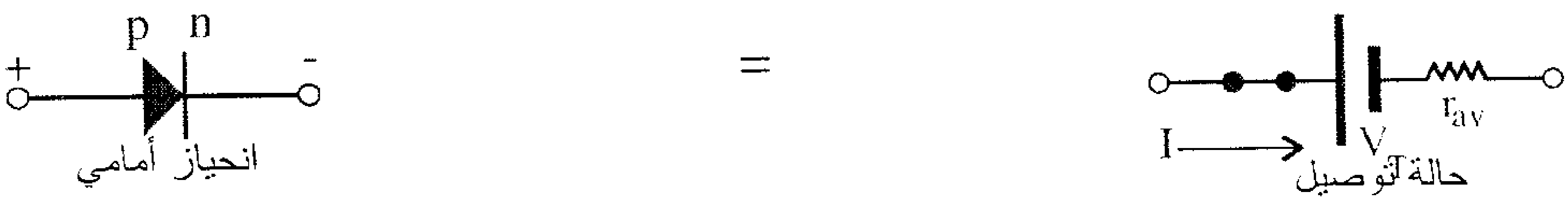
أما في حالة الانحياز العكسي فمثله مثل التقريب الأول حيث يعتبر الثنائي دائرة مفتوحة وتياره يساوي صفراً.





3- نموذج الثنائي الحقيقي (التقريب الثالث):

في هذا النموذج يتم أخذ المقاومة (r_{av}) بعين الاعتبار ليصبح الثنائي في حالة الانحياز الأمامي كثنائي مثالي موصل على التوالي مع مصدر جهد مقداره (0.7V) للسليكون و(0.3V) للجرمانيوم ،وكذلك مع مقاومة على التوالي (r_{av}) .

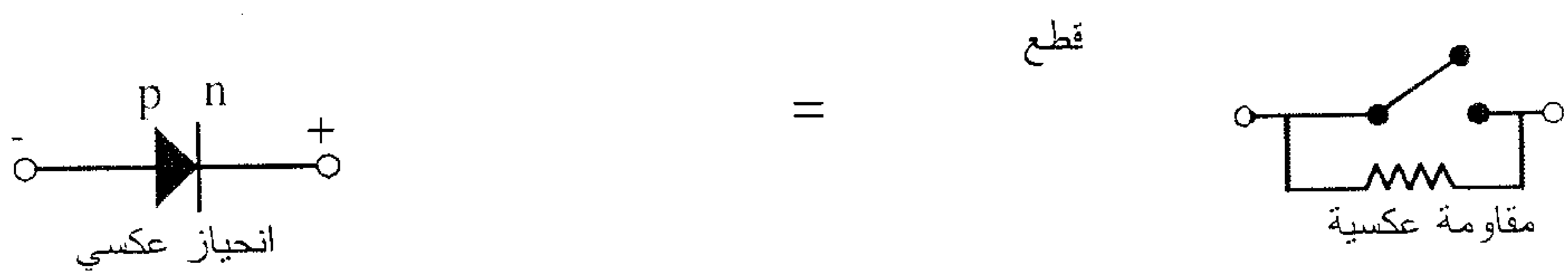


ليكون جهد الثنائي في حالة الانحياز الأمامي كالتالي:

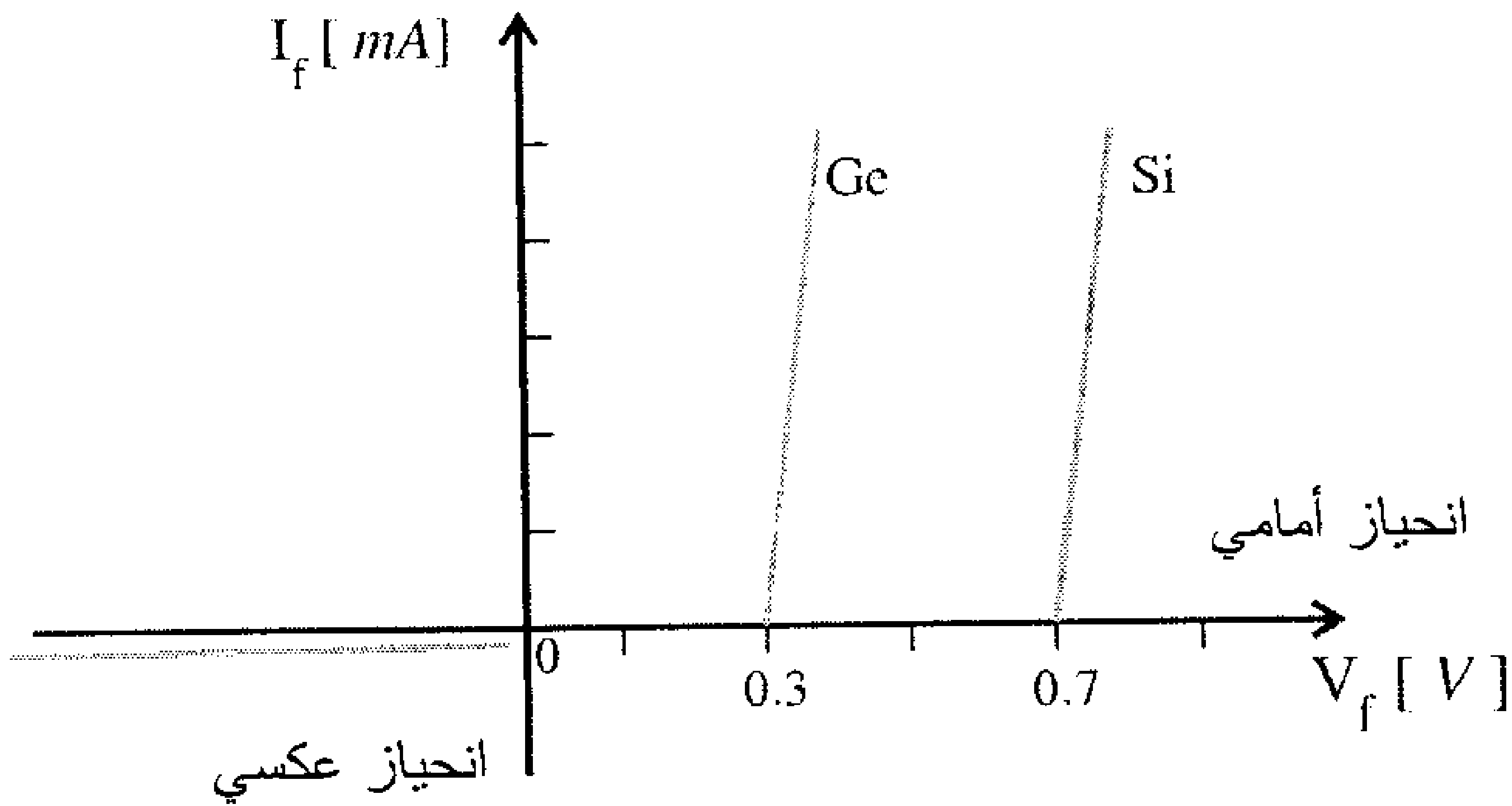
$$V_d = V_T + I_d\, r_{av}$$

بزيادة المقاومة (r_{av}) يزداد الجهد للثنائي V_d مع زيادة التيار I_d .

أما في حالة الانحياز العكسي فيكون التقريب الثالث مثل التقريبين الأول و الثاني مع وجود مقاومة عكسية عالية وهي التي يمر من خلالها تيار التسرب العكسي



نلاحظ أن التقريب الثالث هو أقرب النماذج إلى الحالة الفعلية للثنائي،و على هذا الأساس تمت تسميته نموذج الثنائي الحقيقي.



منحنى الخواص للتقريب الثالث

هناك بعض الشروط إذا تحققت نتعرف بها على نوع التقريب للثنائي:

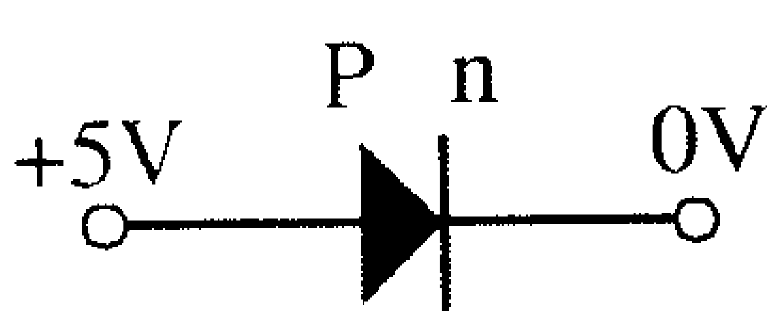
1- إذا كانت مقاومة الدائرة بالكامل (R) أكبر من (r_{av}) نستخدم التقريب الثاني ($R >> r_{av}$) .

2- إذا كانت ($R >> r_{av}$) وكذلك ($V >> V_T$) ، أي مصدر جهد الدائرة أكبر بكثير من الحاجز (V_T) ففي هذه الحالة نستخدم التقريب الأول.

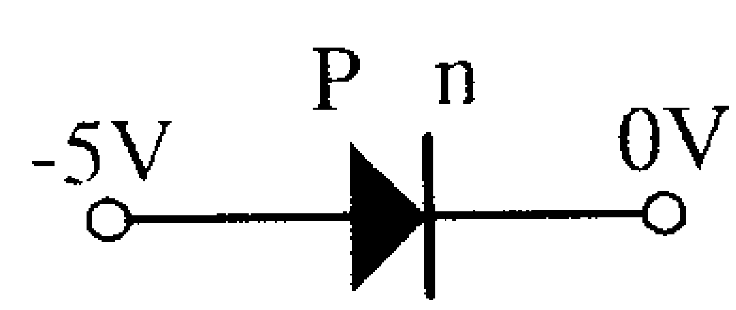
ولكن في التطبيقات العملية وتحليل الدوائر غالباً ما نستخدم التقريب الثاني أو الثالث.

مثال2.8 :

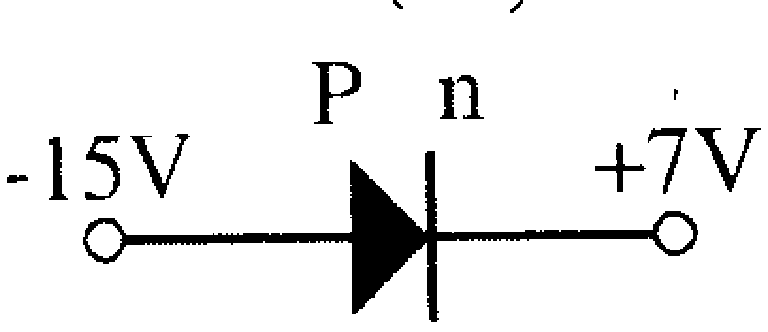
حدد نوع الانحياز (عكسي أو أمامي) للثنائيات في الأشكال التالية:



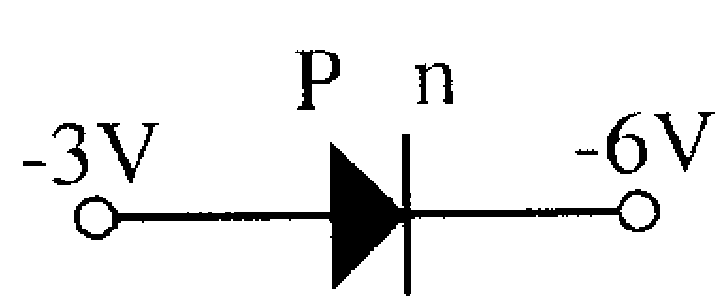
(a)



(b)



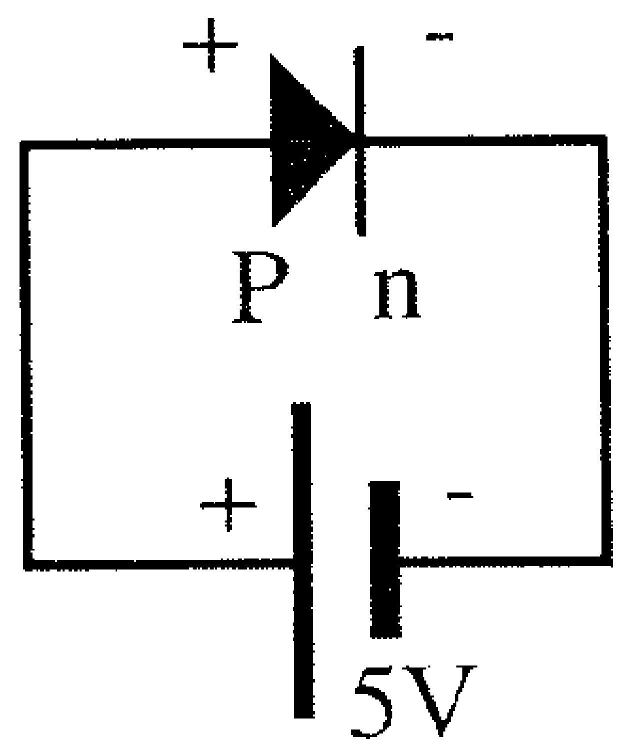
(c)



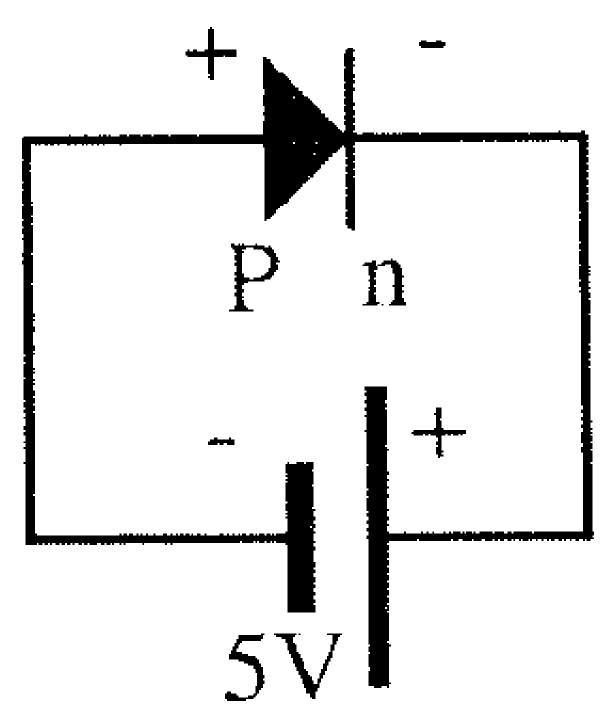
(d)

الحــل:

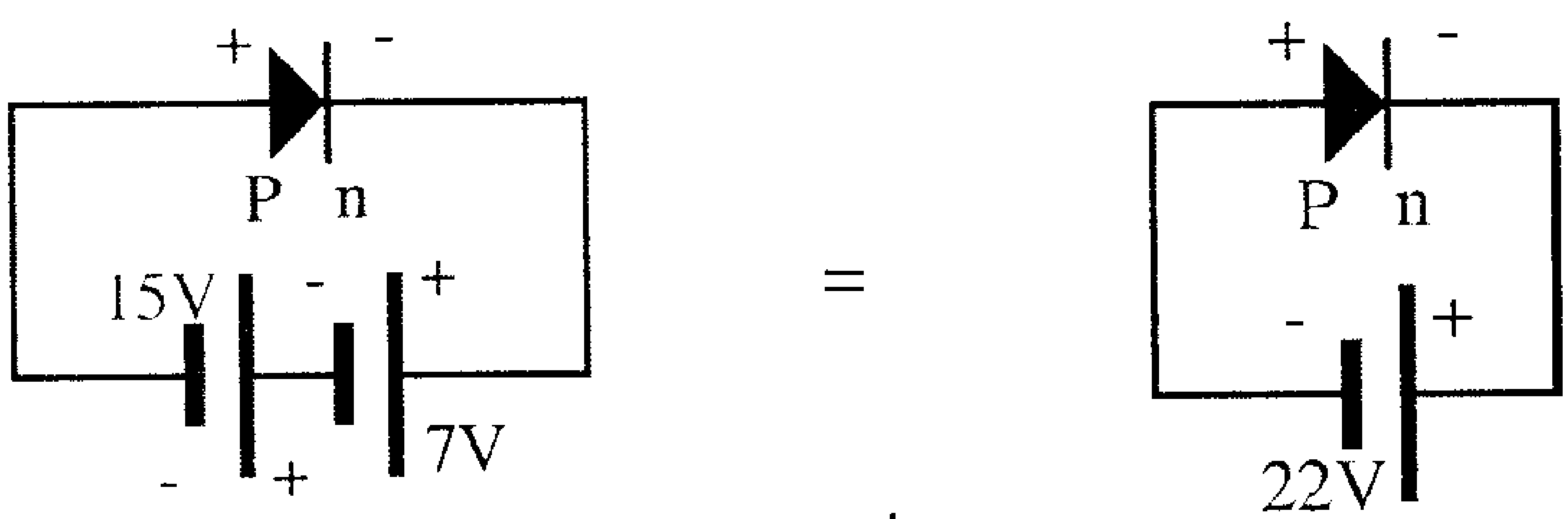
a- انحياز أمامي لأن القطب السالب لمصدر الجهد موصل بالوصلة (n) والموجب بالوصلة (p) .



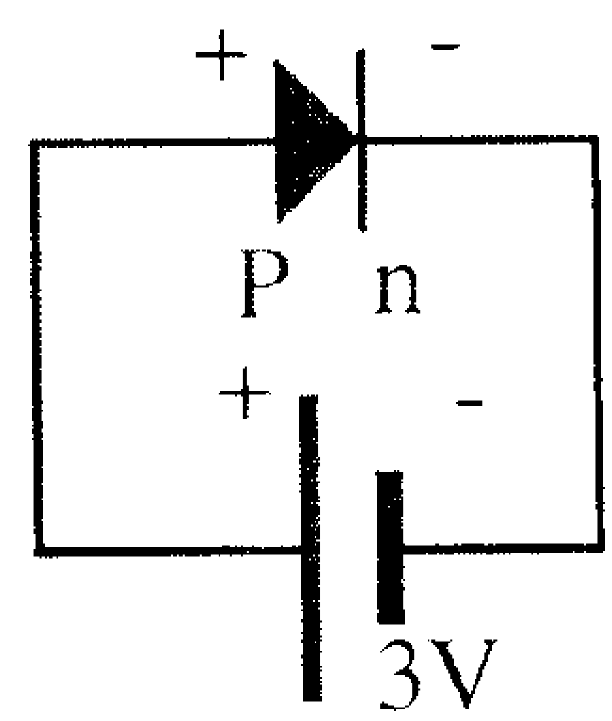
b- انحياز عكسي لأن القطب الموجب لمصدر الجهد موصل بالوصلة (n) والسالب بالوصلة (p) .

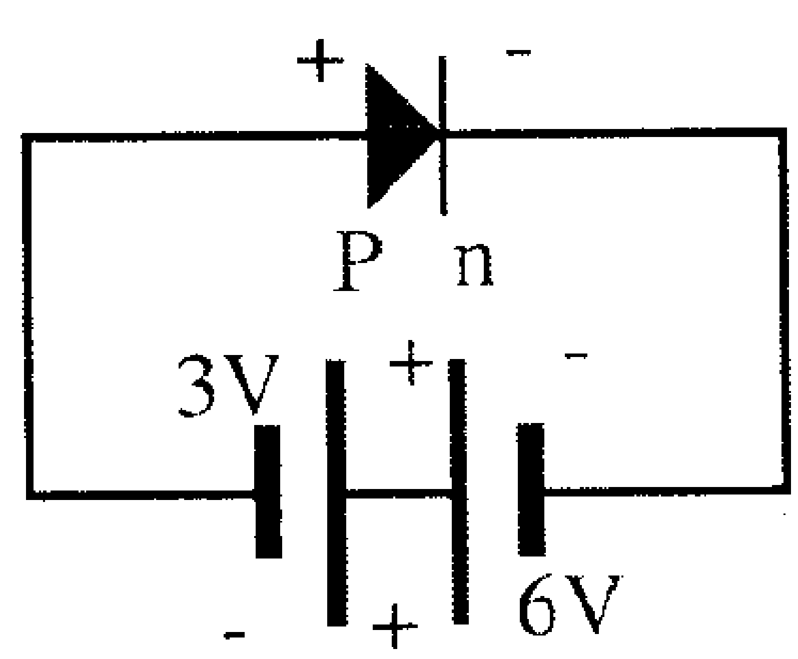


c- انحياز عكسي .



d-
انحياز أمامي.





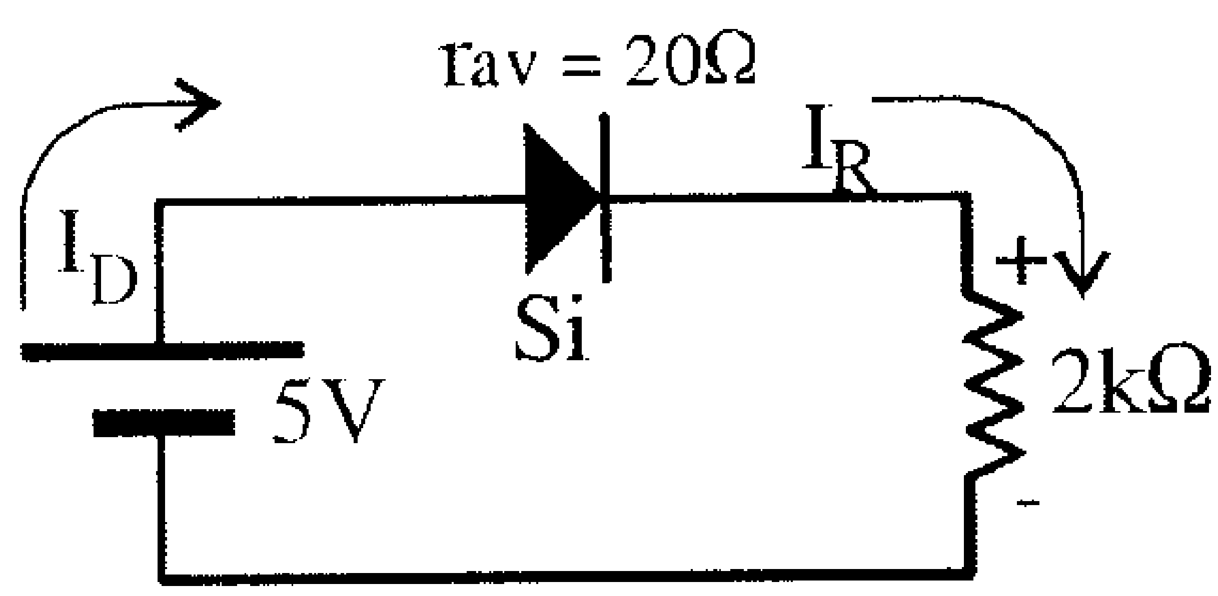
=

مثال3.8:

من الدائرة بالشكل :

1- حدد نوع التقريب لثنائي السليكون.

2- احسب تيار وجهد المقاومة (R) .

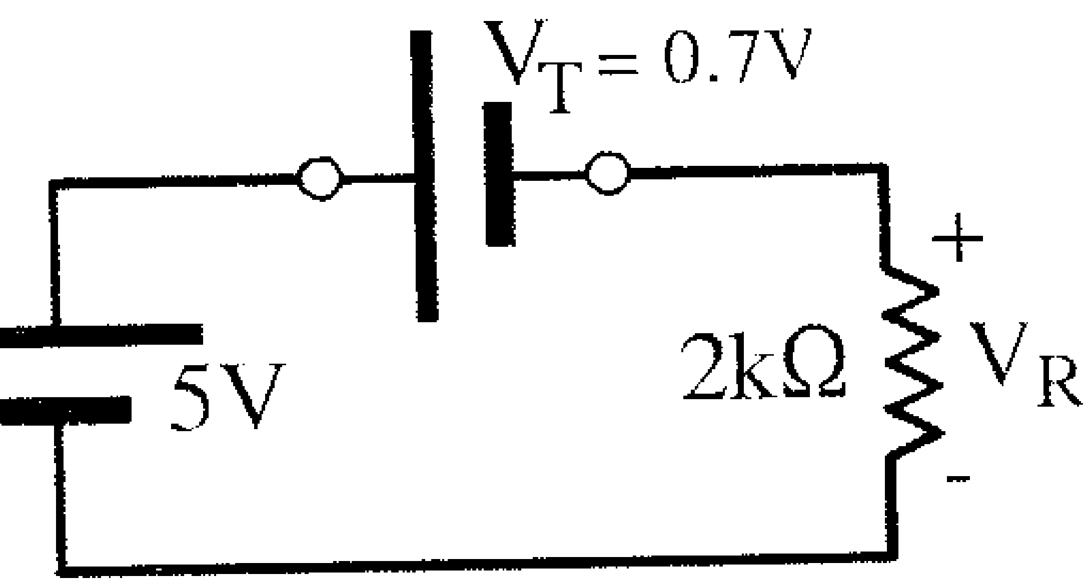


الحــل:

1- بما أن R أكبر بكثير من r_{av} للثنائي وقيمة جهد الحاجز للسليكون ($V_T = 0.7V$) تساوي 14% من قيمة المصدر V:

$$\frac{0.7V}{5V} \times 100 = 14\,\%$$

إذاً يكون نوع التقريب في هذه الحالة هو التقريب الثاني.



2- في التقريب الثاني يستبدل الثنائي بمصدر جهد ($V_T = 0.7V$) للسليكون وباستخدام (KVL) يمكن إيجاد V_R

$$V - V_T - V_R = 0$$

$$5V - 0.7V - V_R = 0$$

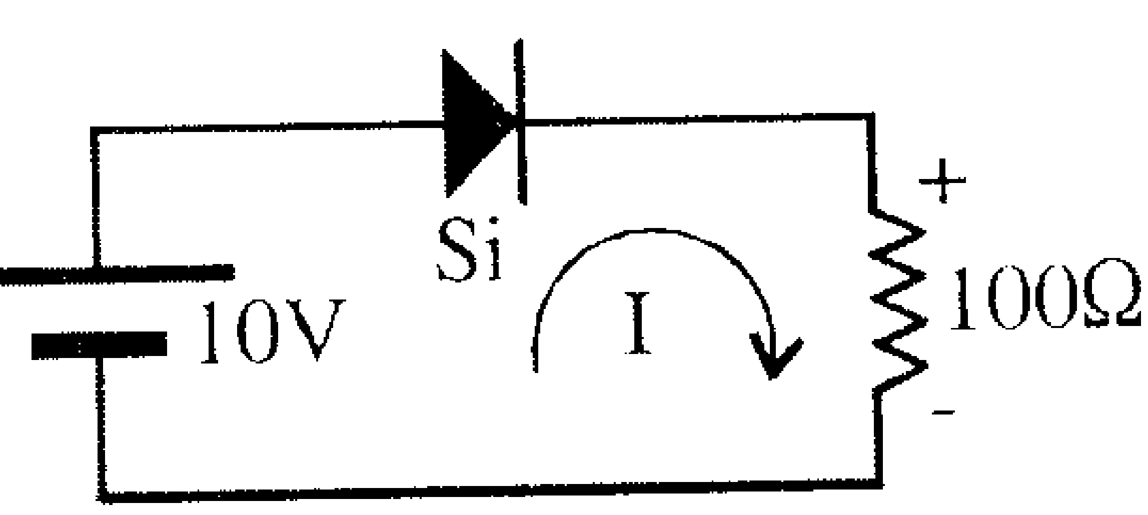
$$\therefore\ V_R = 5V - 0.7V = 4.3V$$

وباعتبار أن الدائرة دائرة توالٍ وتيارها ثابت فإن $I_D = I_R$

$$I_R = I_D = \frac{V_R}{R} = \frac{4.3V}{2k\Omega} = 2.15mA$$

مثال4.8 :

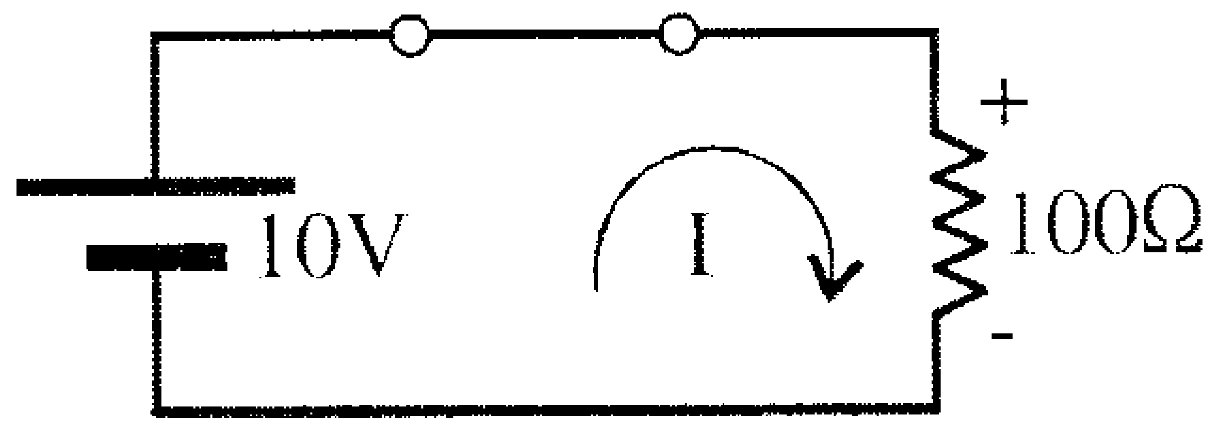
باستخدام النماذج الثلاثة أوجد التيار المار في الدائرة (I) والجهد على المقاومة R (V_R). مع الآخذ بعين الاعتبار عند استخدام التقريبين الثاني والثالث أن الثنائي من السليكون وعند استخدام التقريب الثالث أن



المقاومة ($r_{av} = 50\Omega$).

الحـــل:

1- التقريب الأول:



KVL:

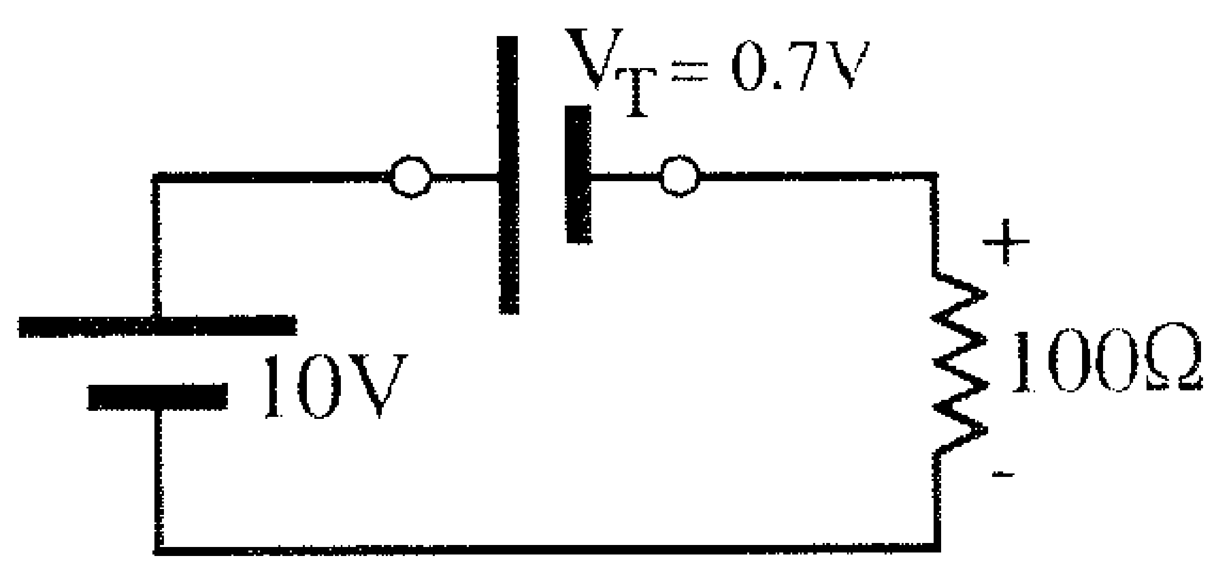
$$10V - 0V - I\,R = 0$$

$$\therefore \; I = \frac{10V}{R} = \frac{10}{100} = 0.1A$$

$$\therefore \; I = 100mA$$

$$V_R = I\,R = (100mA)\,(100\Omega) = 10V$$

2- التقريب الثاني:



KVL:

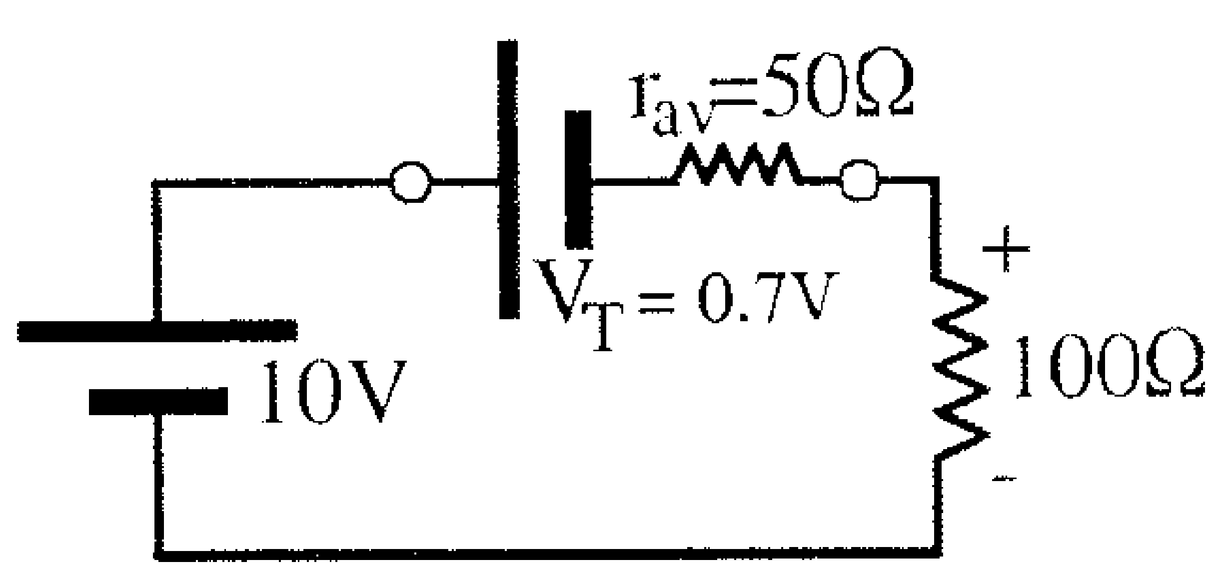
$$10V - 0.7V - I\,R = 0$$

$$10V - 0.7V - I\,(100\Omega) = 0$$

$$I = \frac{9.3V}{100\Omega} = 0.093A = 93mA$$

$$V_R = I\,R = (93mA)\,(100\Omega) = 9.3V$$

3- التقريب الثالث:



KVL:

$$10V - 0.7V - (50\Omega)\,I - 100\,I = 0$$

$$I = \frac{9.3V}{150\Omega} = 0.062A = 62mA$$

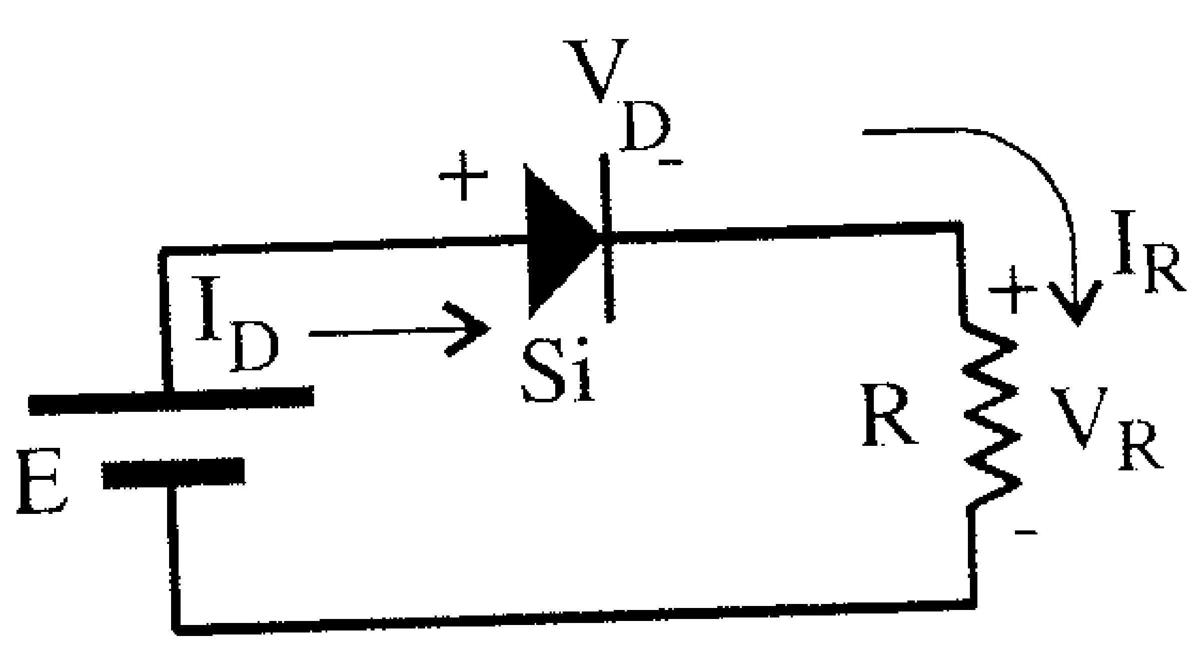
$$V_R = I\,R = (62mA)\,(100\Omega) = 6.2V$$

6.8 توصيل الثنائي في الدوائر الإلكترونية.

أولاً:التوصيل على التوالي.

الخطوة الأولى في تحليل دائرة الثنائي هي معرفة حالة الثنائي في الدائرة، أي حالة توصيل أو حالة قطع. ففي حالة القطع يعتبر التيار مساوياً صفراً، أما في حالة التوصيل فالتيار يمر خلال الثنائي وبالتالي في الدائرة. كذلك يمكن معرفة حالة الثنائي بالنظر إلى اتجاه السهم للثنائي: فإذا كان اتجاهه هو اتجاه التيار فإنه في حالة توصيل ،كذلك يجب أن يكون جهد المصدر في الدائرة أكبر من جهد الحاجز للثنائي $(E > V_T)$.

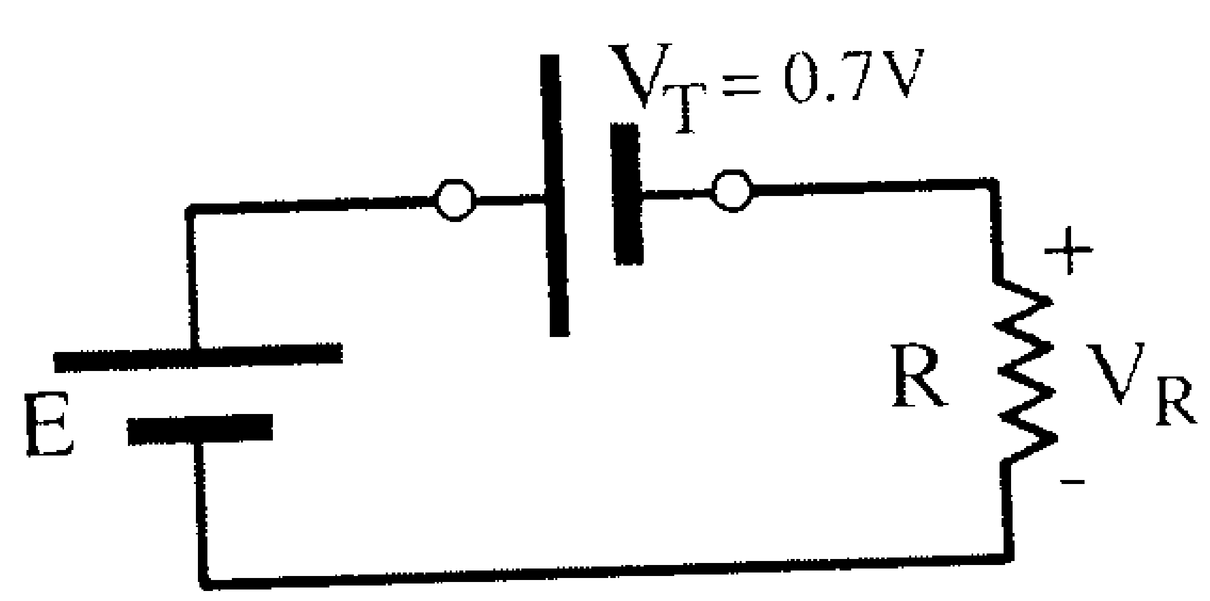
والدائرة في الشكل التالي توضح عملية توصيل الثنائي في دائرة توالٍ وكيفية حساب مستوى الجهد للمقاومة واتجاه وقيمة التيار:



$$V_D = V_T$$

الثنائي في حالة توصيل

وباستخدام قانون كرشوف للجهد (KVL) :



$$E - V_T - V_R = 0$$

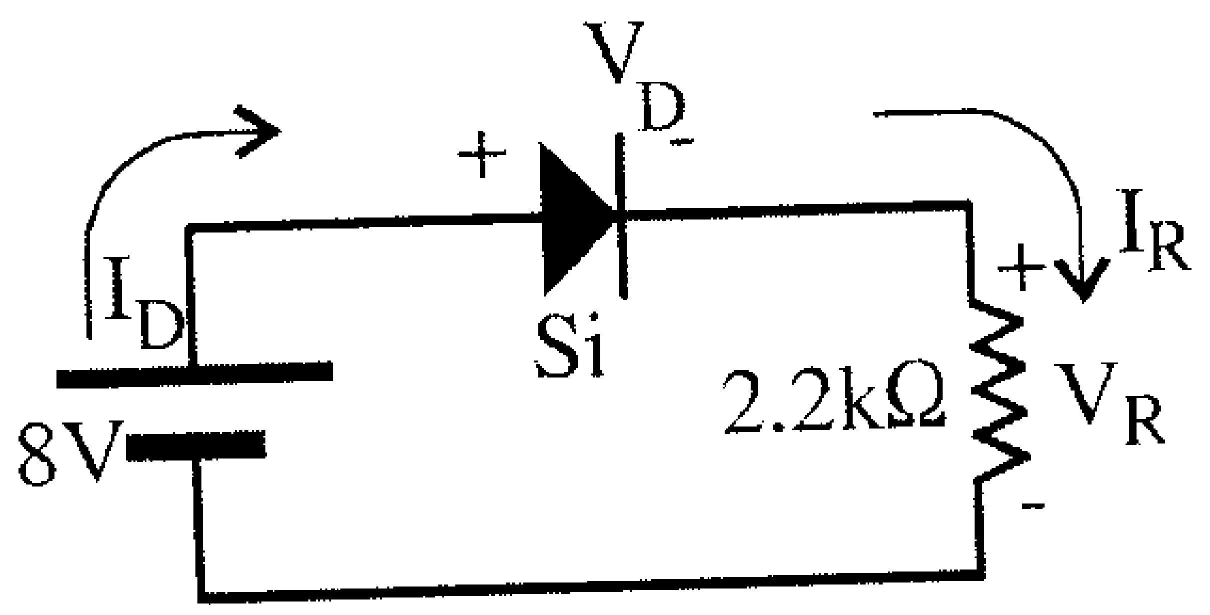
$$\therefore \quad V_R = E - V_T$$

وبما أن التيار في دائرة التوالي ثابت

$$I_D = I_R = I$$

$$\therefore \; I_D = I_R = V_R / R$$

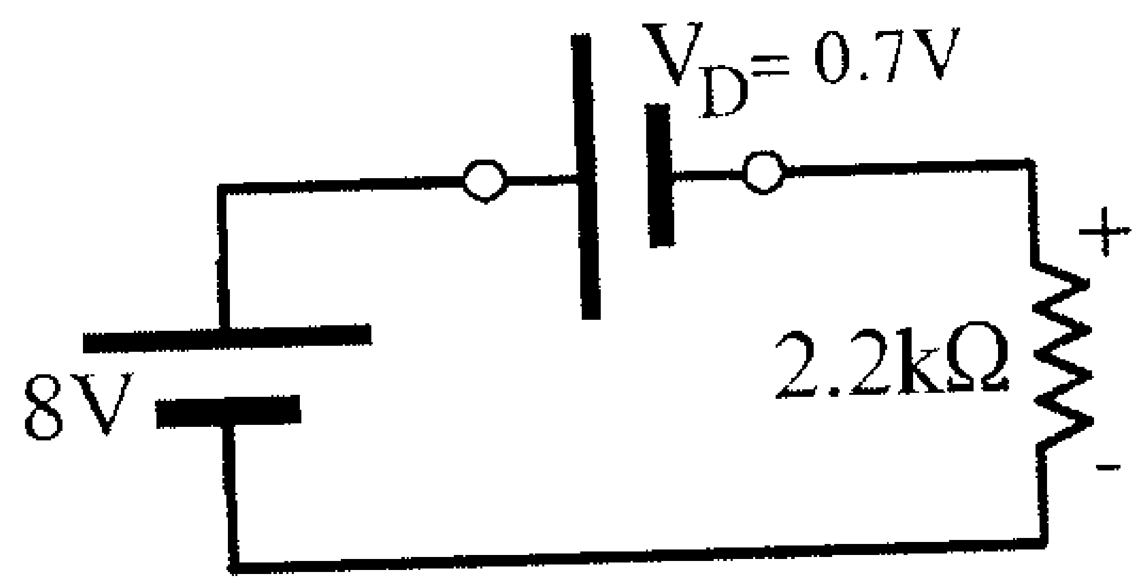
مثال5.8 :



من دائرة الثنائي في الشكل أوجد:

. I_D , V_R , V_D

الحــل:

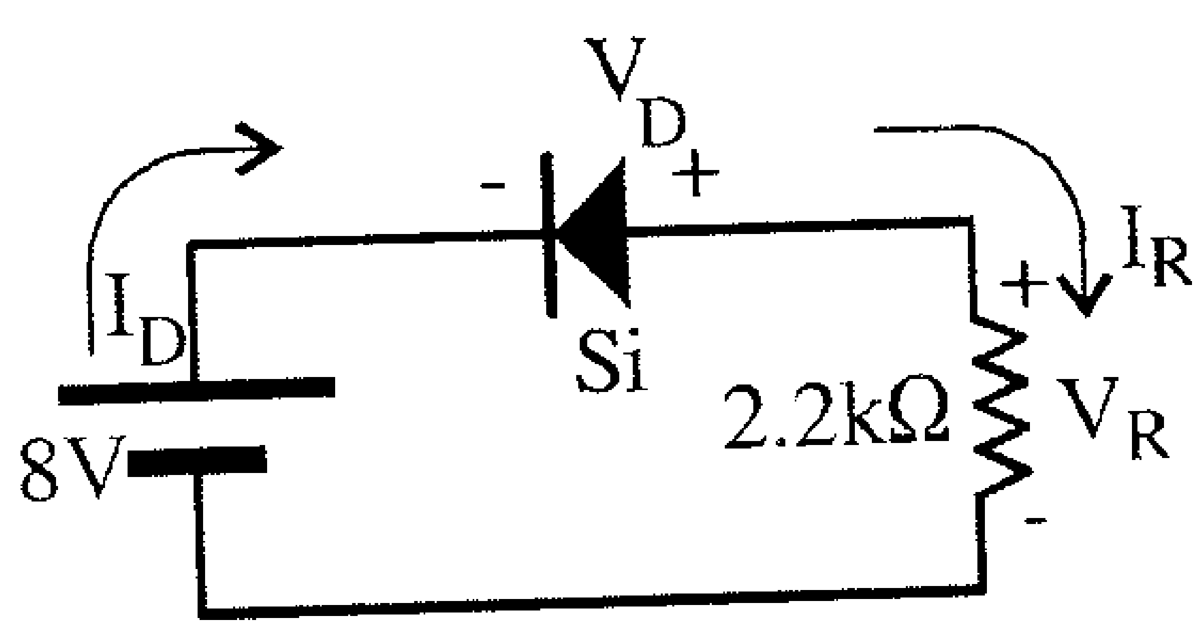


الثنائي في حالة توصيل ($V_D = 0.7V$) للسليكون .

$$V_R = E - V_D = 8V - 0.7V = 7.3V$$

$$I_D = I_R = \frac{7.3V}{2.2k\Omega} = 3.32mA$$

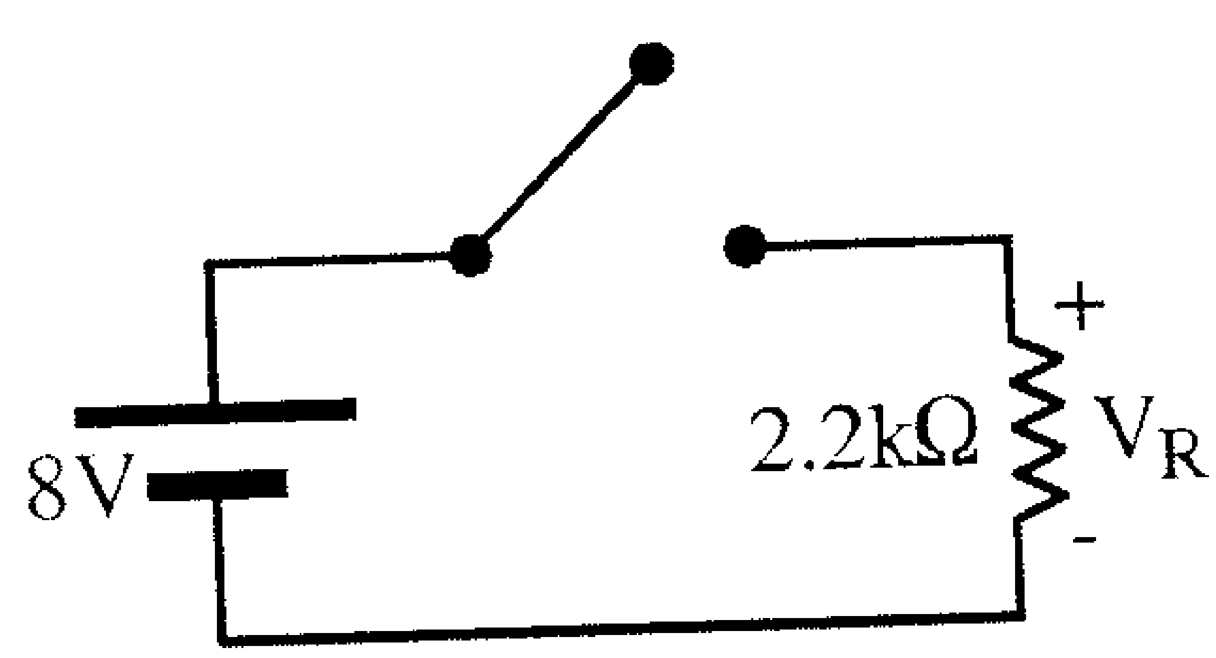
مثال6.8:



استبدل اتجاه الثنائي في الدائرة بالمثال السابق.

الحــل:

تيار الدائرة عكس اتجاه السهم للثنائي إذا كان الثنائي في حالة قطع (لا يمر التيار في الدائرة):



$$I_D = 0A \;,\; I_R = 0A$$

$$V_D = E - V_R$$

$$= E - I_R R$$

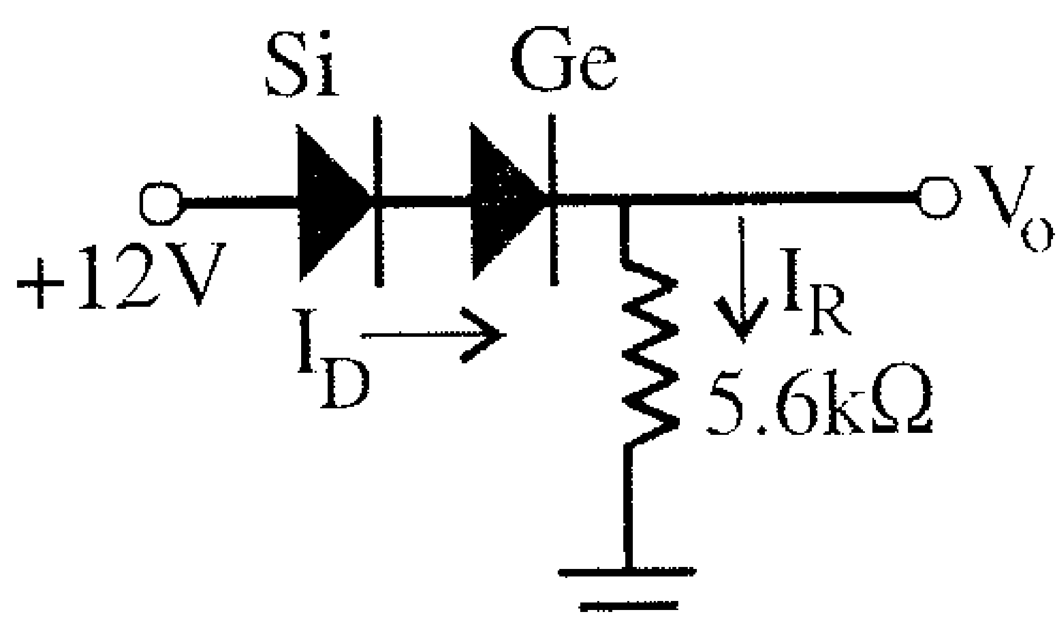
$$= 8V - (0A)(2.2k\Omega)$$

$$= 8V - 0 = 8V$$

$$\therefore\ V_D = E = 8V$$

مثال7.8:

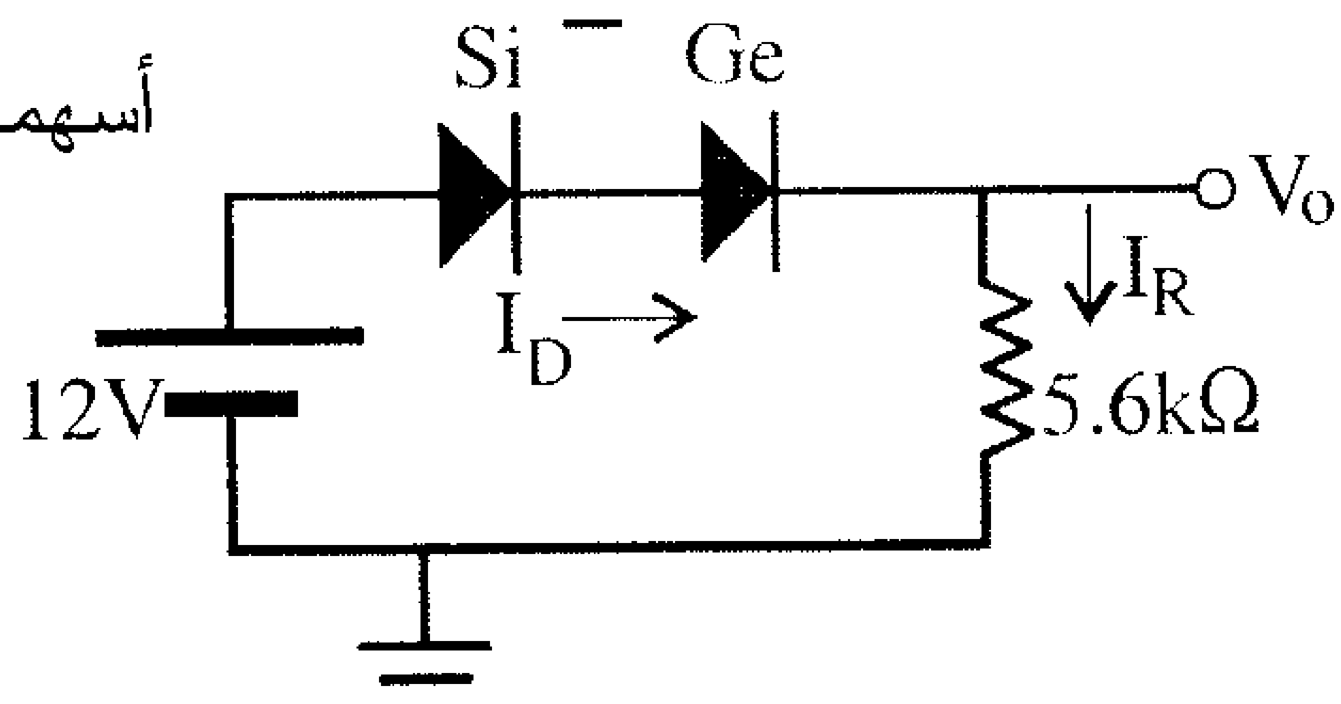
من الدائرة بالشكل أوجد : I_D , V_o .



الحــل:

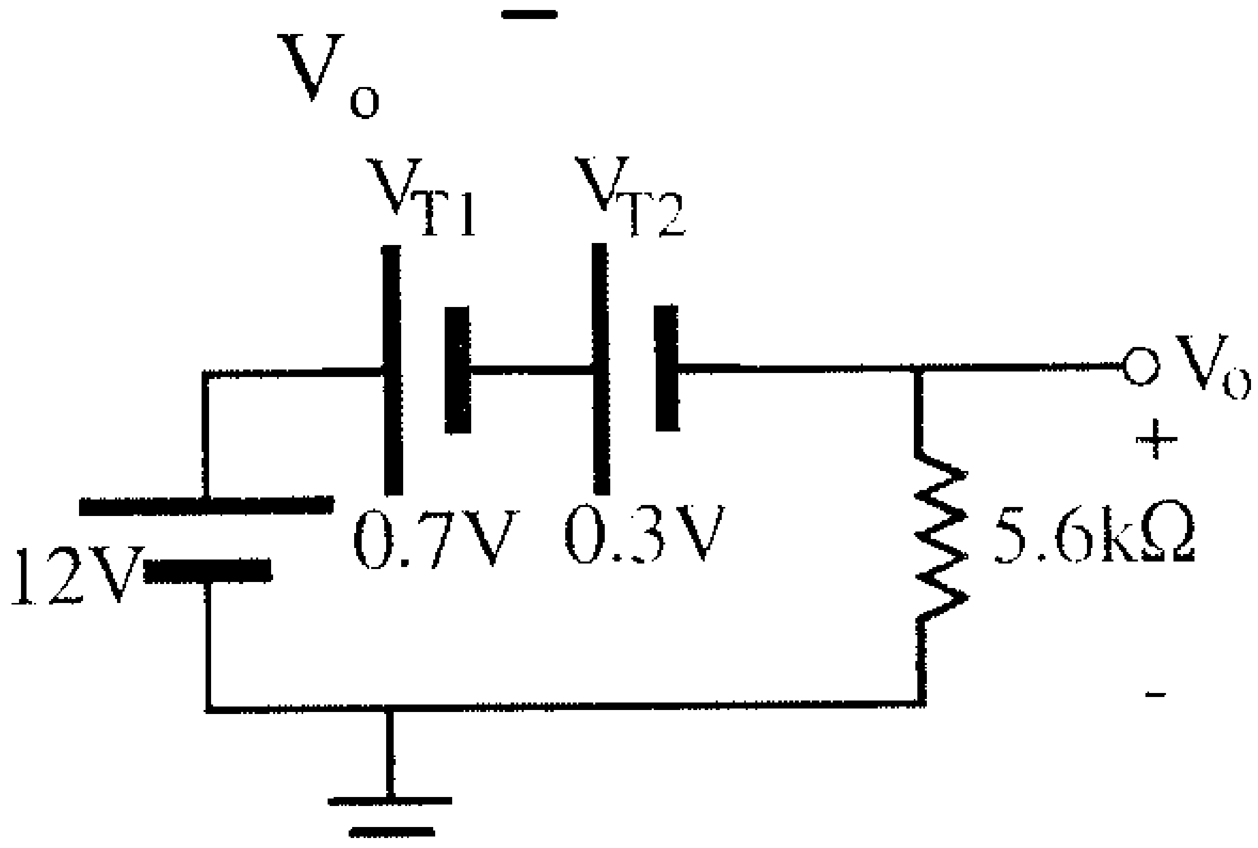
الثنائيان في حالة توصيل لأن اتجاه أسهمهما

مع اتجاه التيار:



KVL

$$E - V_{T1} - V_{T2} - V_o = 0$$



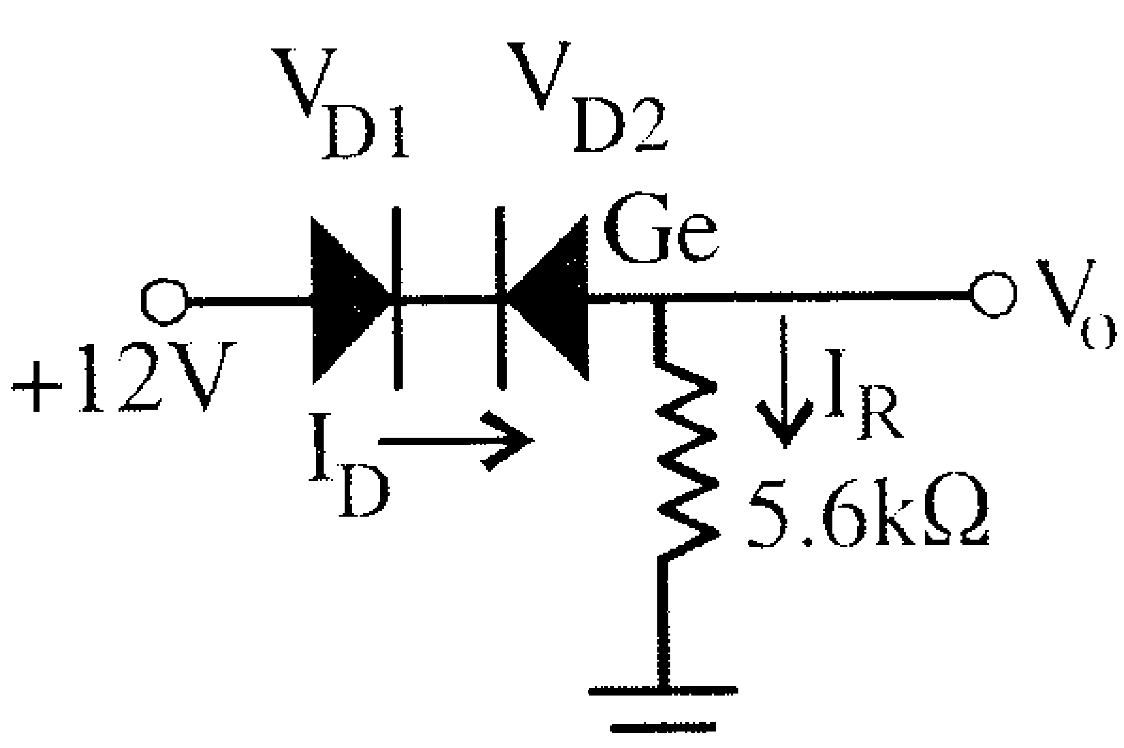
$$= E - V_{T1} - V_{T2}$$

$$= 12V - 0.7V - 0.3V = 11V$$

$$I_D = I_R = \frac{11V}{5.6k\Omega} = 1.96mA$$

مثال8.8:

من الدائرة بالشكل أوجد : V_o , V_{D2} , I_D .

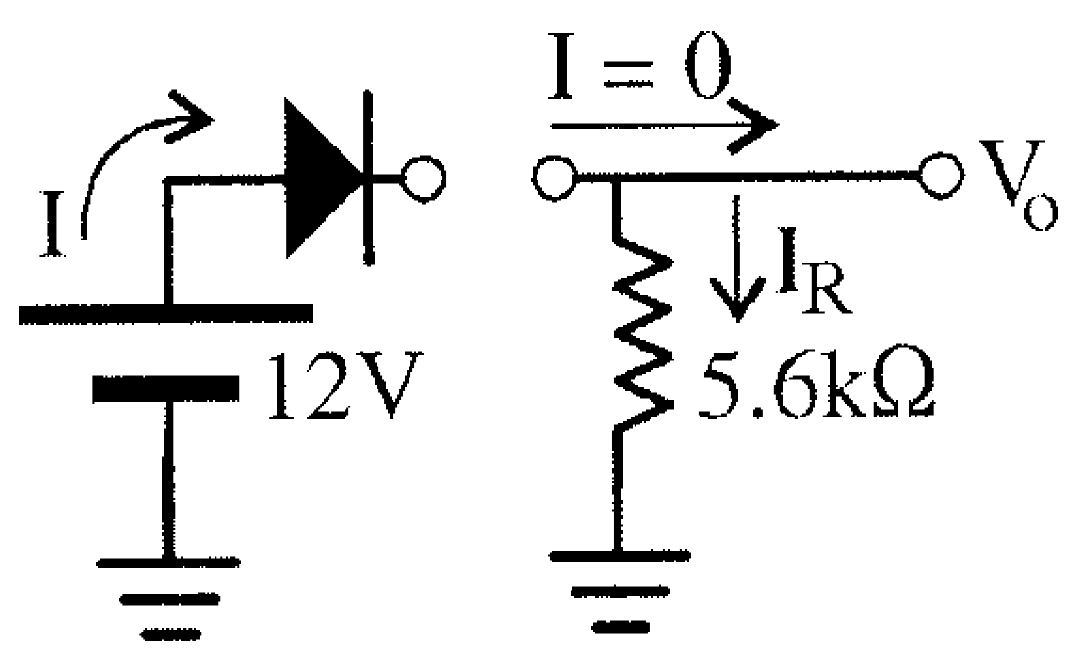


الحــل:

سهم ثنائي الجرمانيوم عكس اتجاه التيار يجعله في حالة قطع ويستبدل بدائرة مفتوحة

الدائرة المفتوحة إذا كان تيار الدائرة يساوي صفراً ($I = 0A$) وبالتالي فإن تيار الثنائيين

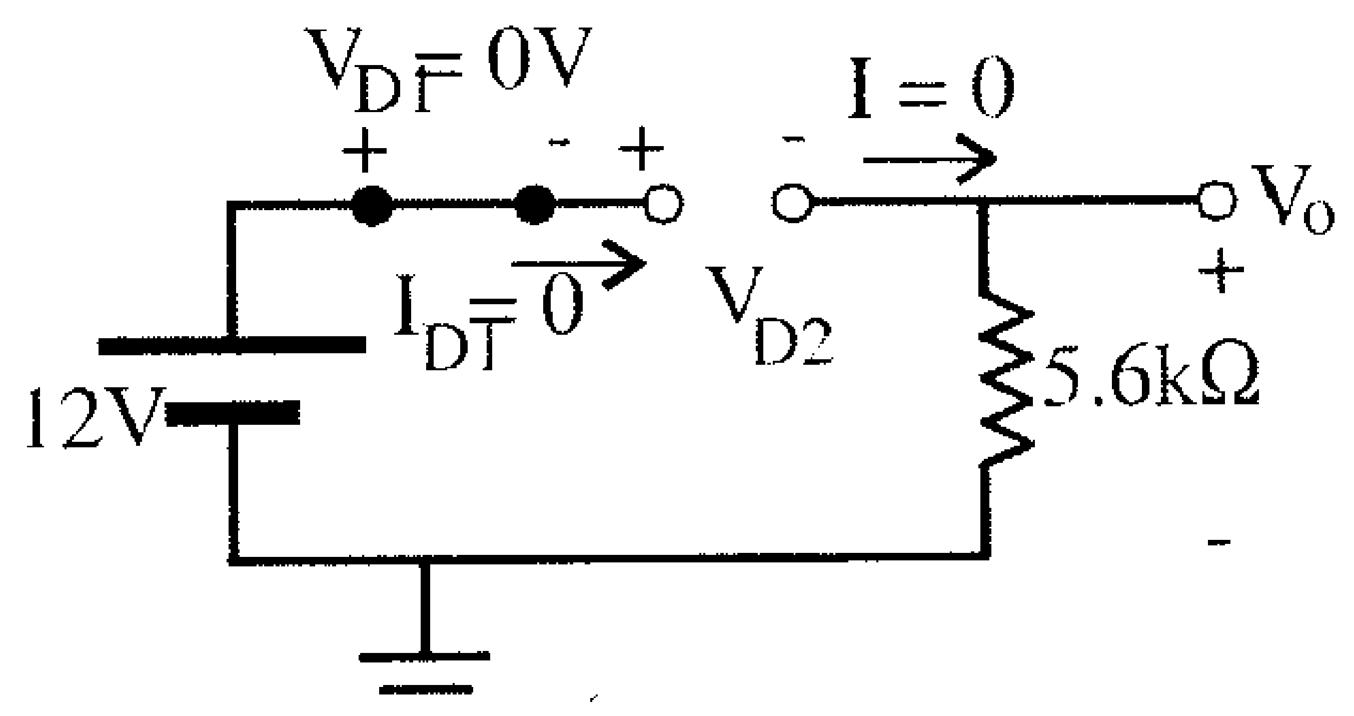
يساوي صفراً ($I_D = 0A$) .



يستبدل الثنائي الأول (مثالي) بدائرة مغلقة لأنه في حالة توصيل

$$V_o = I_R R$$

$$= I_D R$$



$$V_o = (0)R = 0V$$

:KVL

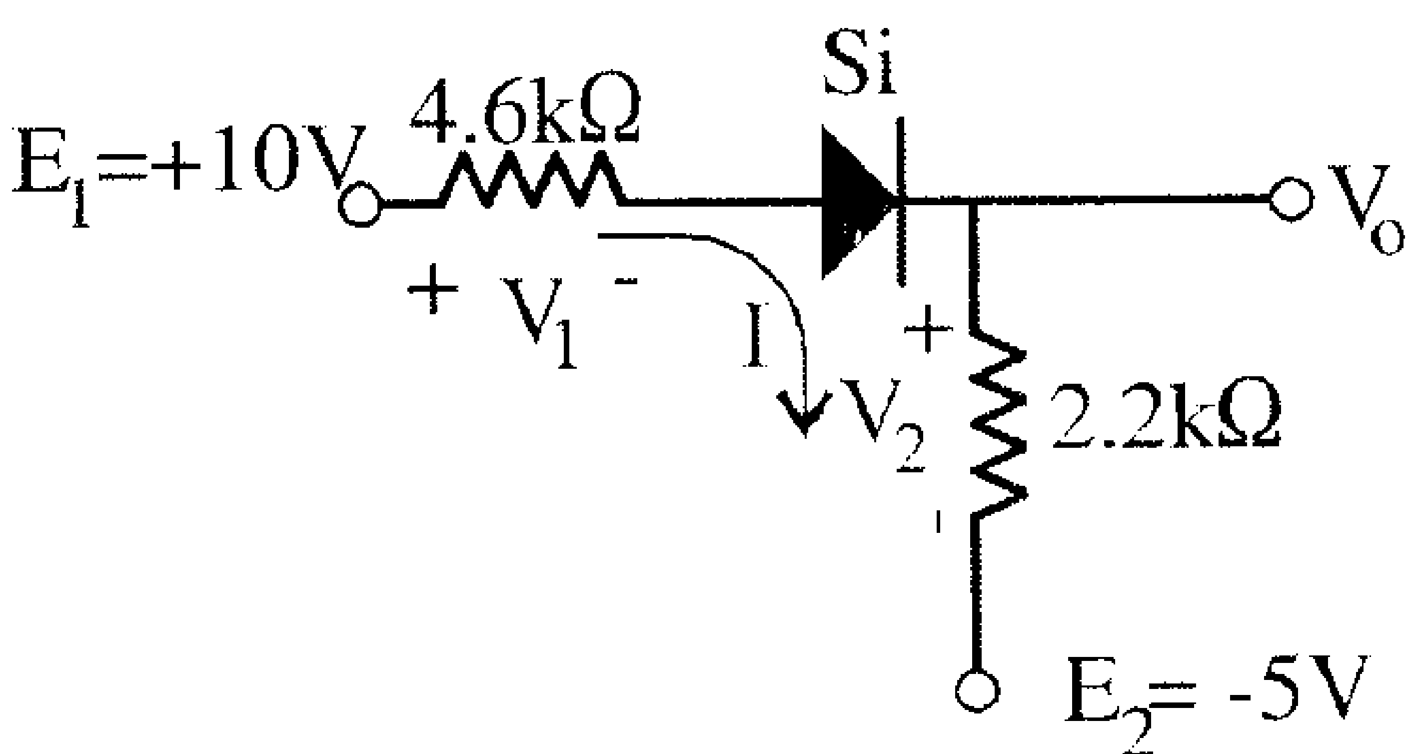
$$E - V_{D1} - V_{D2} - V_o = 0$$

$$12V - 0V - V_{D2} - 0V = 0$$

$$12V - V_{D2} = 0$$

$$V_{D2} = 12V = E$$

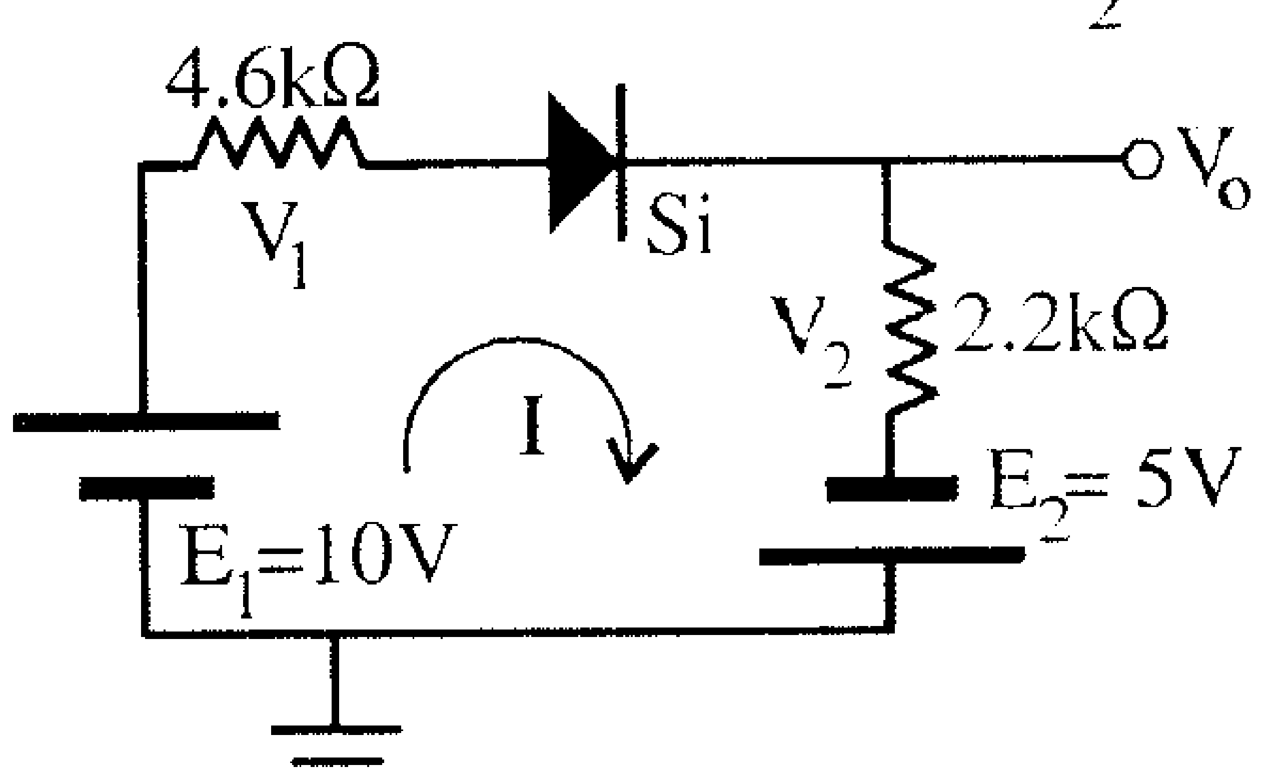
مثال9.8:



من الدائرة بالشكل أوجد:

V_o , V_2 , V_1 , I .

الحــل:

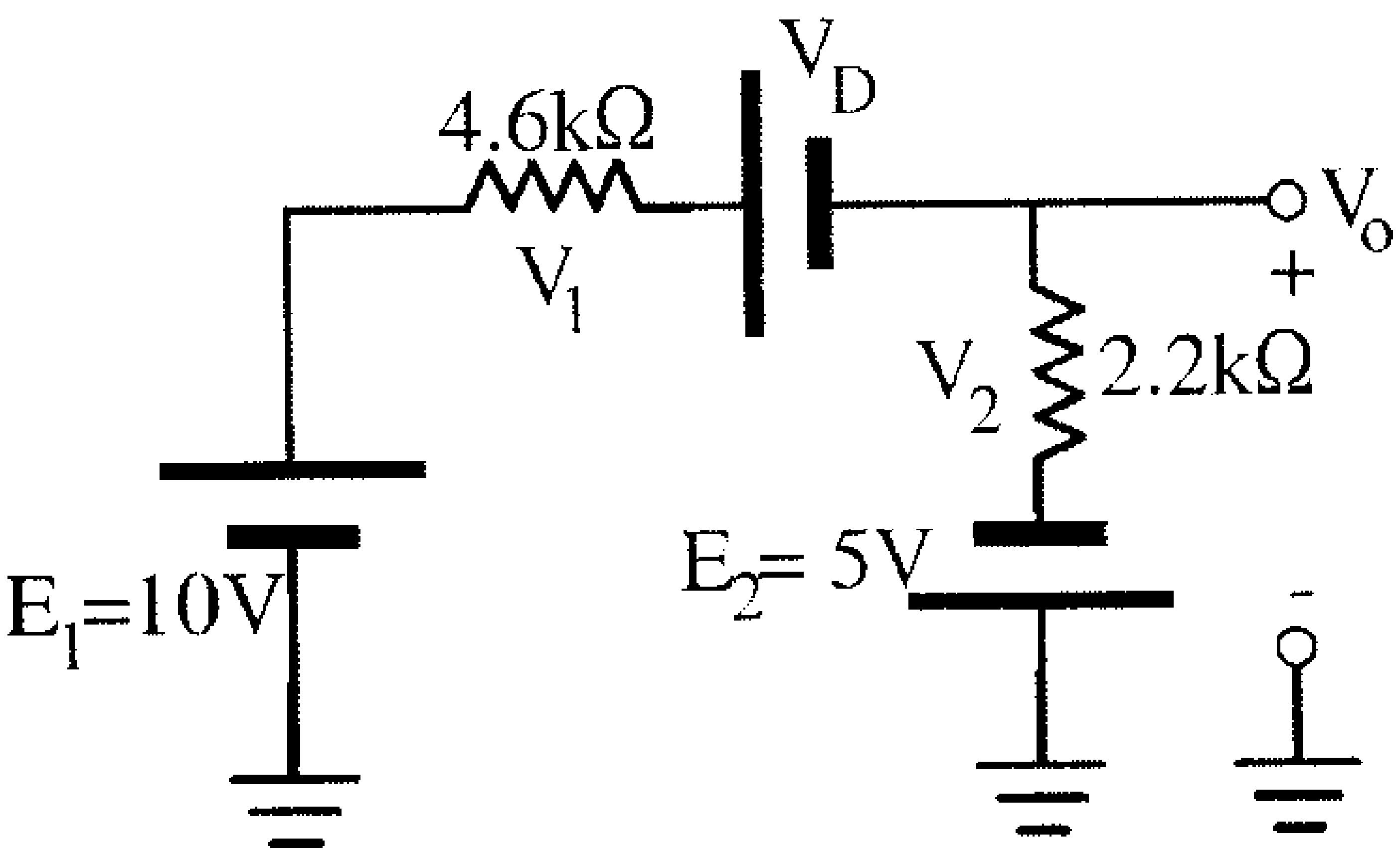


إعادة رسم الدائرة لمعرفة ما إذا كان الثنائي في وضعية قطع أم توصيل.

من الرسم :

الدائرة في حالة توصيل لذلك يستبدل الثنائي بمصدر جهد $V_D = 0.7V$

$$R_T = R_1 + R_2$$



$$= 4.6k\Omega + 2.2k\Omega = 6.8k\Omega$$

$$E_T = E_1 + E_2 - V_D$$

$$= 10V + 5V - 0.7V = 14.3V$$

ومنها يمكن حساب تيار دائرة التوالي:

$$I = \frac{E_T}{R_T} = \frac{14.3V}{6.8k\Omega} = 2.1mA$$

$$\therefore V_1 = I R_1 = (2.1mA)(4.6k\Omega) = 9.66V$$

$$V_2 = I R_2 = (2.1mA)(2.2k\Omega) = 4.62V$$

باستخدام قانون الجهد لكرشوف في المسار الأيمن للدائرة:

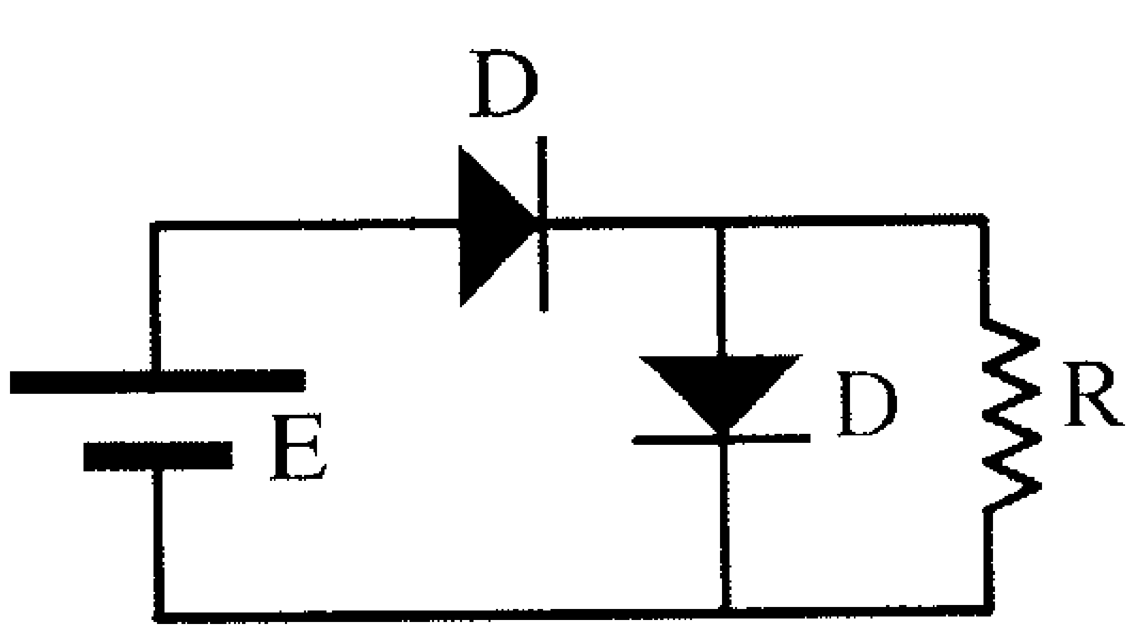
$$-E_2 + V_2 - V_o = 0$$

$$V_o = V_2 - E_2 = 4.62V - 5V$$

$$V_o = -0.38V$$

ثانياً:دوائر التوالي والتوازي:

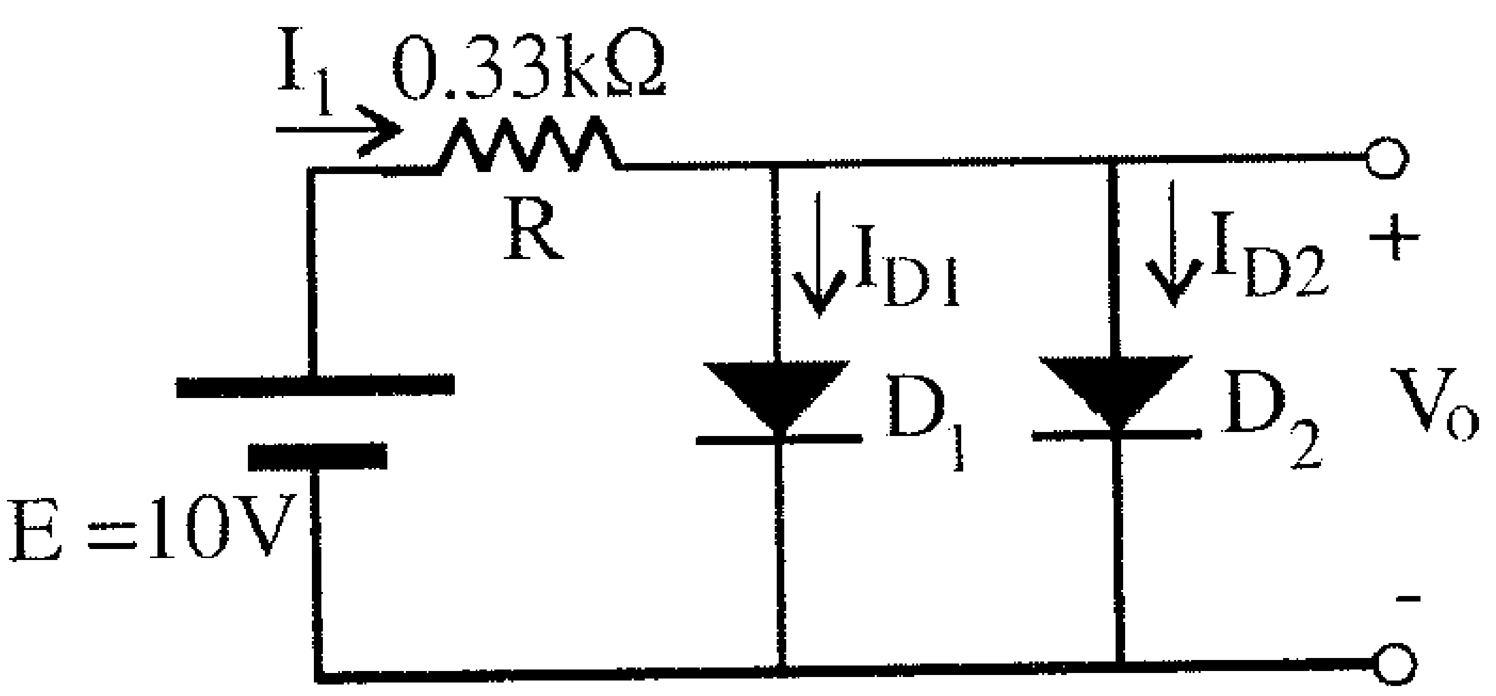
يمكن توصيل الثنائي في دوائر التوالي والتوازي معاً كما في الشكل التالي:



مثال10.8:

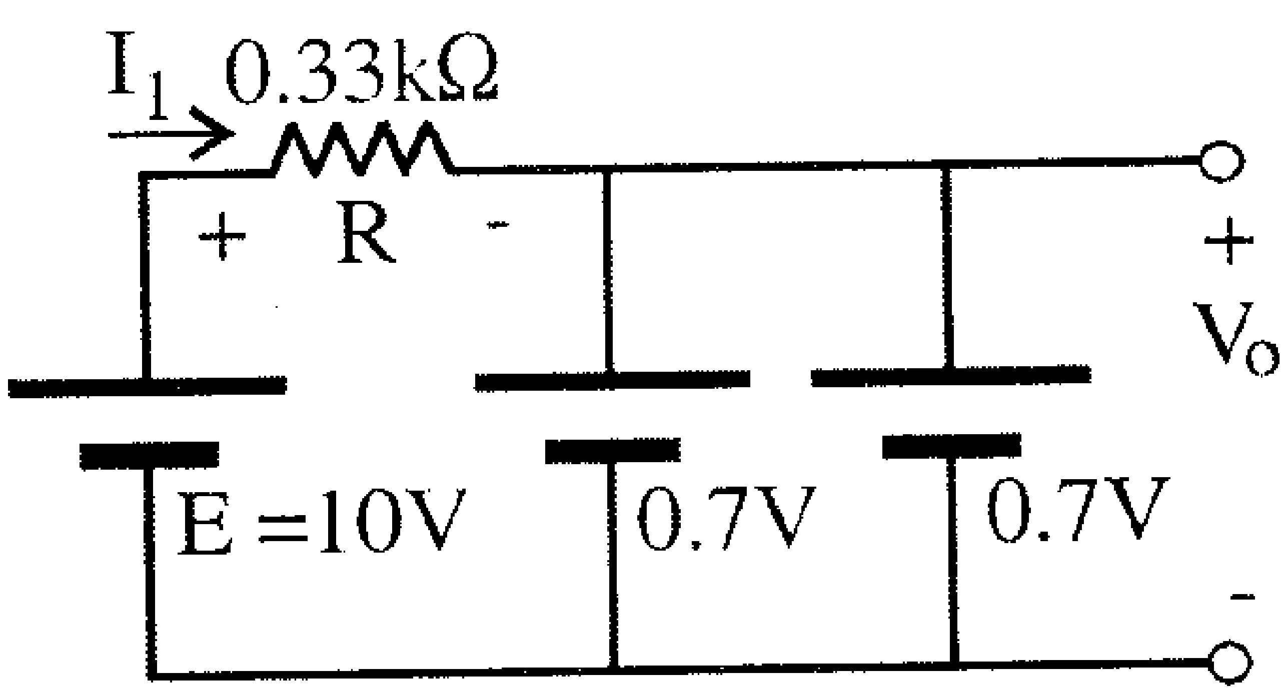
من الدائرة بالشكل التالي أوجد: , I_{D1} , I_{D2}

I_1 , V_o.



الحـــل:

من الشكل نلاحظ أن أسهم الثنائيين الأول والثاني مع اتجاه التيار إذا الثنائيان في حالة توصيل (On state):



$$V_o = 0.7V$$

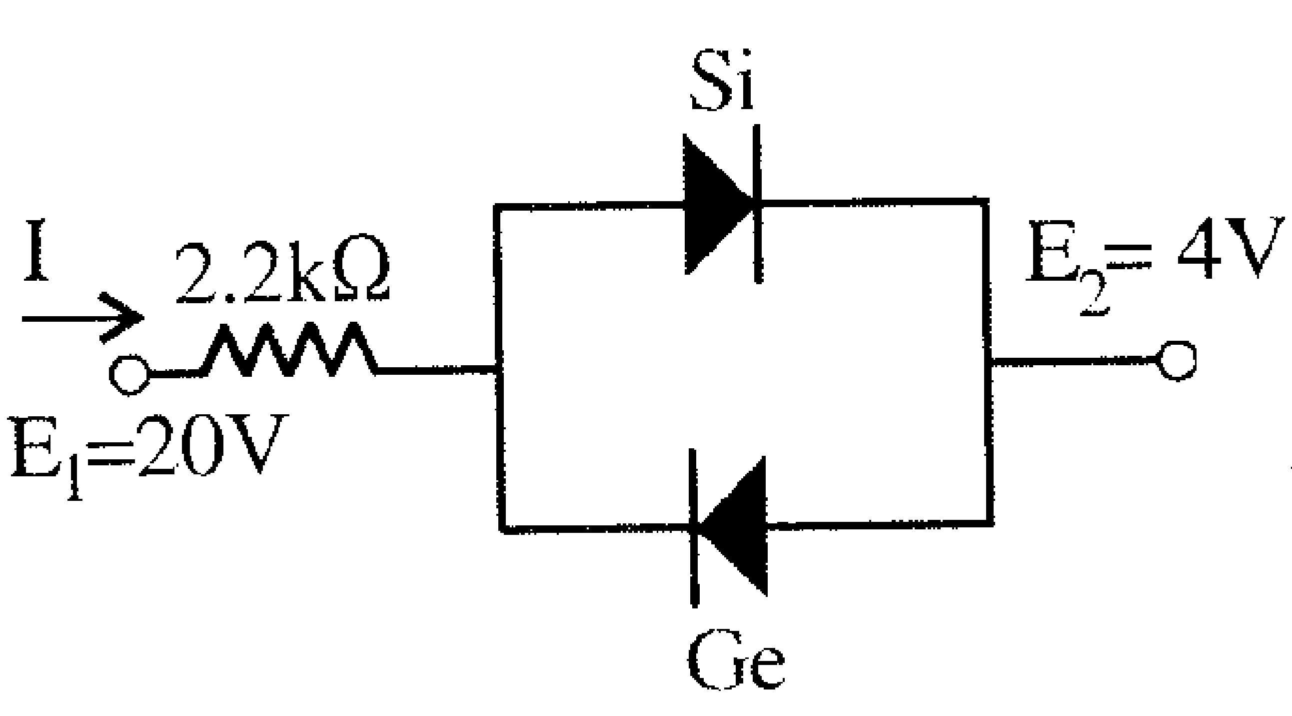
$$I_1 = \frac{V_R}{R} = \frac{E - V_{D1}}{R} = \frac{10V - 0.7V}{0.33k\Omega} = 28.18m$$

بما أن الثنائيين من نفس النوع وجهدهما متساو فإن التيار I_1 يتجزأ بينهما بالتساوي:

$$I_{D1} = I_{D2} = \frac{I_1}{2} = \frac{28.18mA}{2} = 14.09mA$$

مثال11.8:

من الدائرة بالشكل التالي أحسب التيار I .

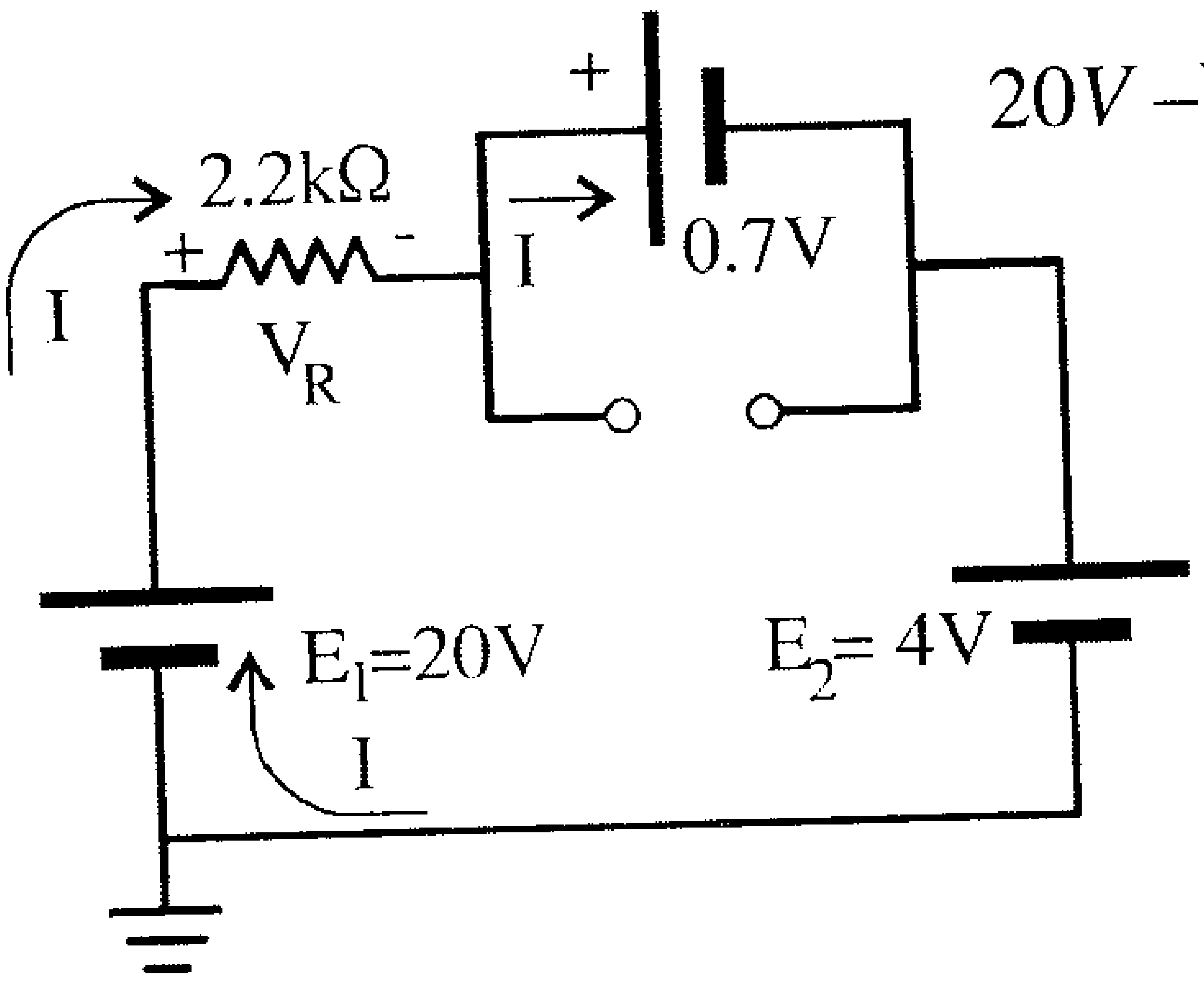


الحـــل:

اتجاه التيار يجعل ثنائي السليكون في حالة توصيل وثنائي الجرمانيوم في حالة قطع.

باستخدام (KVL) يمكن إيجاد (V_R) :

$$E_1 - V_R - V_D - E_2 = 0$$



$$20V - V_R - 0.7V - 4V = 0$$

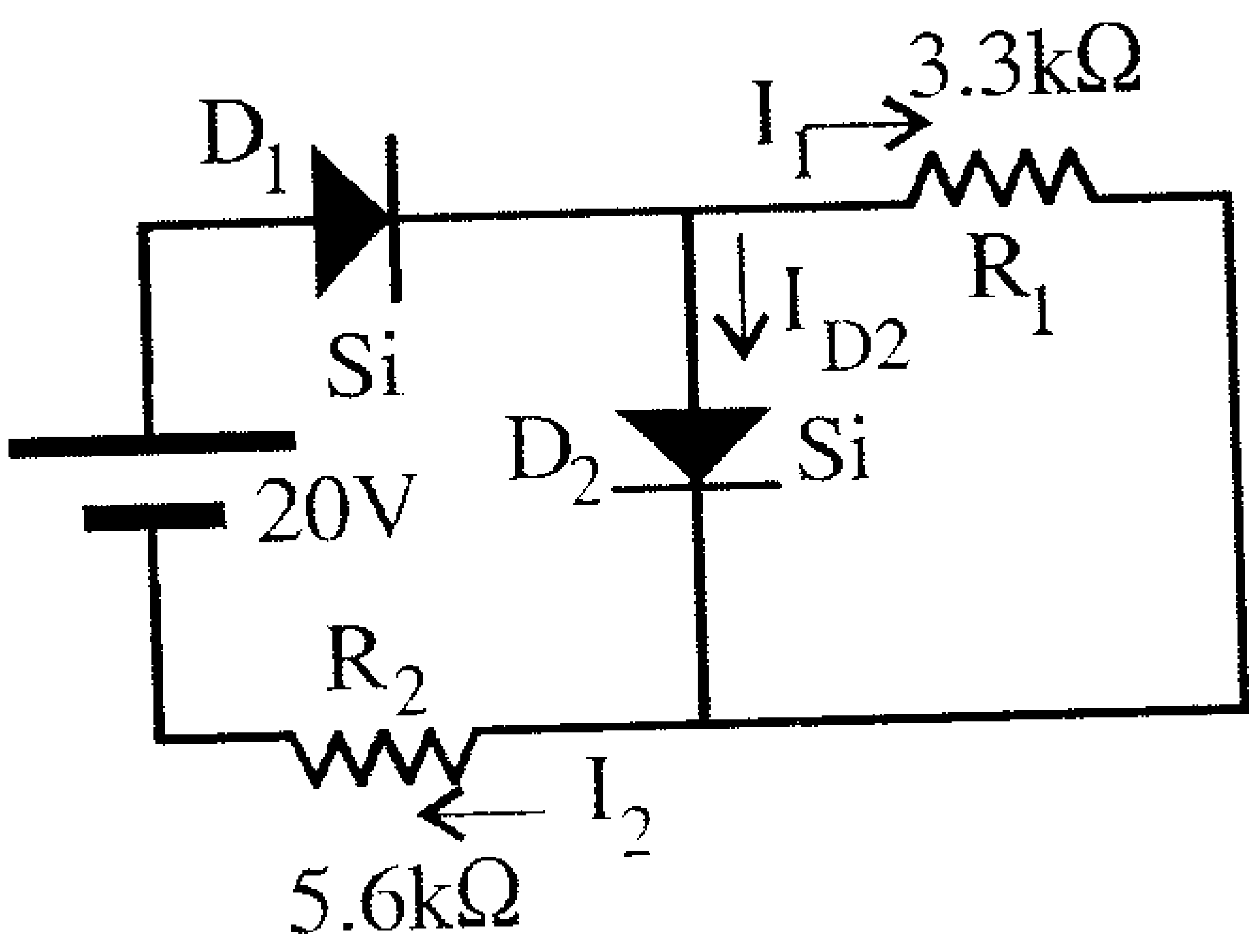
$$V_R = 20V - 0.7V - 4V = 15.3V$$

$$\therefore\ I = \frac{V_R}{R} = \frac{15.3V}{2.2k\Omega} = 6.95mA$$

مثال12.8:

من الدائرة بالشكل التالي أوجد:

. I_{D2} , I_2 , I_1

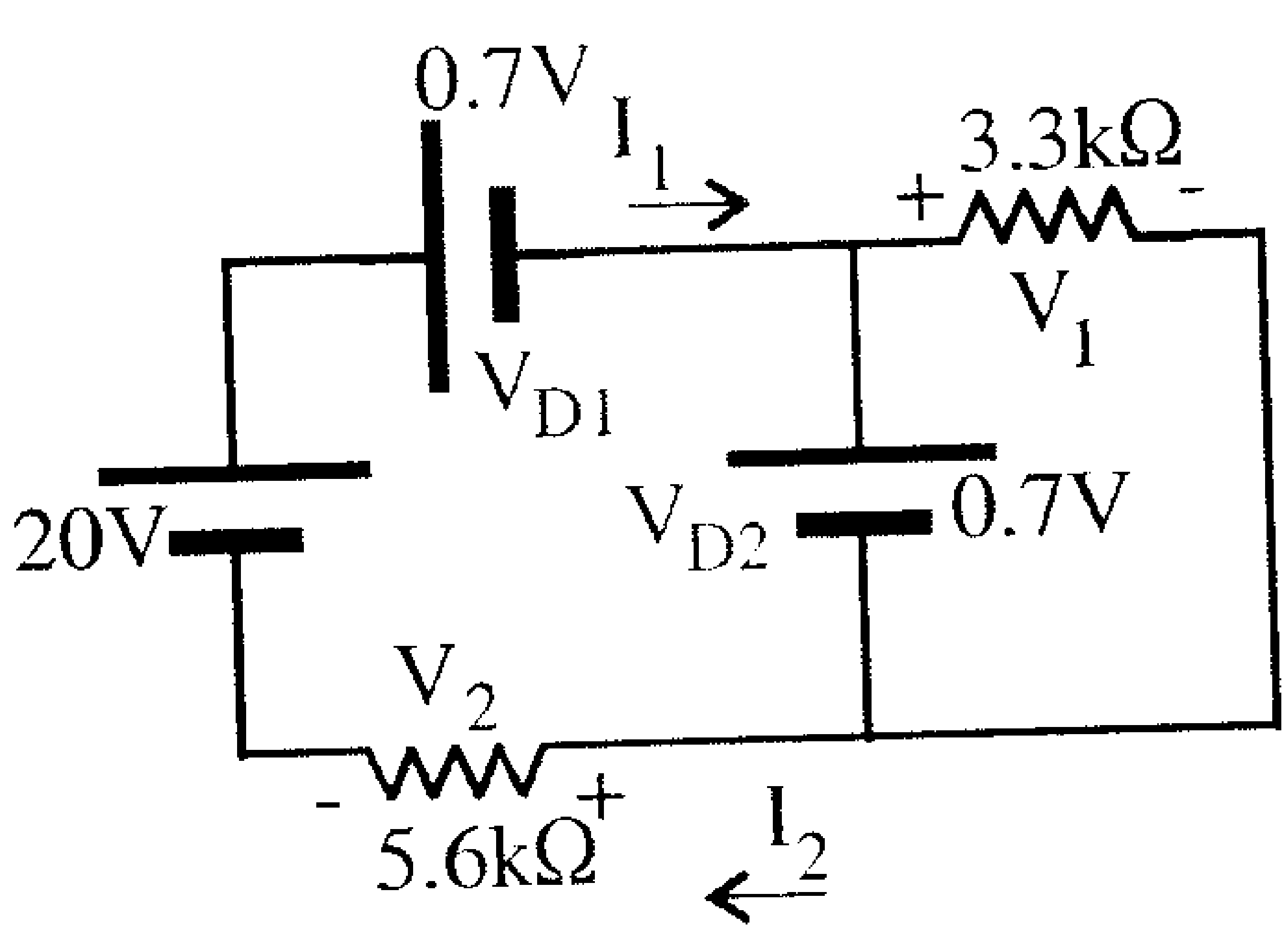


الحــل:

الثنائي D_1 وكذلك D_2 في حالة توصيل.

:KVL

$$E - V_{D1} - V_{D2} - V_2 = 0$$



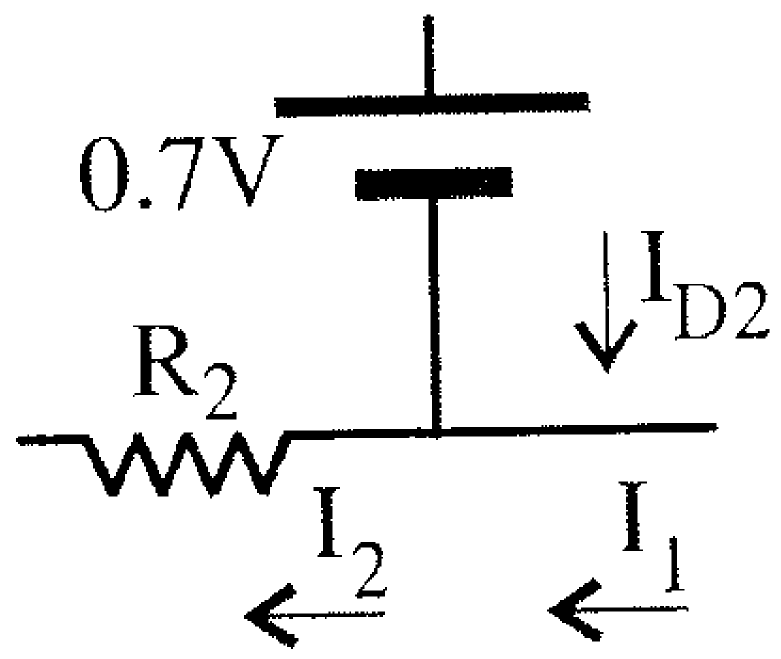
$$20V - 0.7V - 0.7V - V_2 = 0$$

$$V_2 = 18.6V$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{18.6V}{5.6k\Omega} = 3.32mA$$

بما أن $V_{D2} = V_1$ بالتوازي وتساوي $0.7V$

$$\therefore \quad I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{0.7V}{3.3k\Omega} = 0.212mA$$



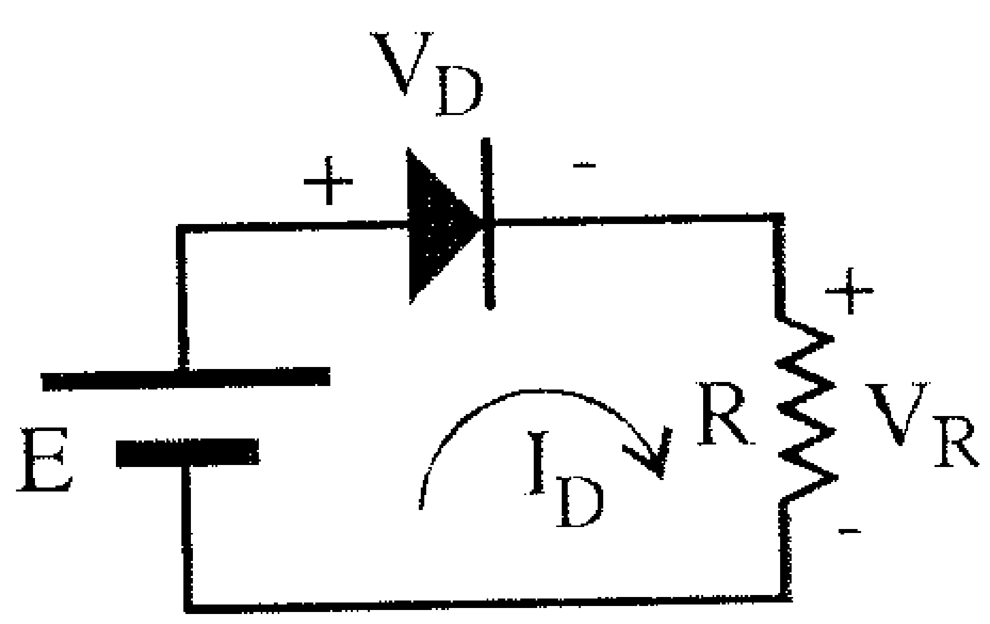
أخيراً وباستخدام قانون التيار لكرشوف يمكن إيجاد التيار I_{D2}

$$I_{D2} = I_2 - I_1$$

$$= 3.32mA - 0.212mA$$

$$I_{D2} = 3.108mA$$

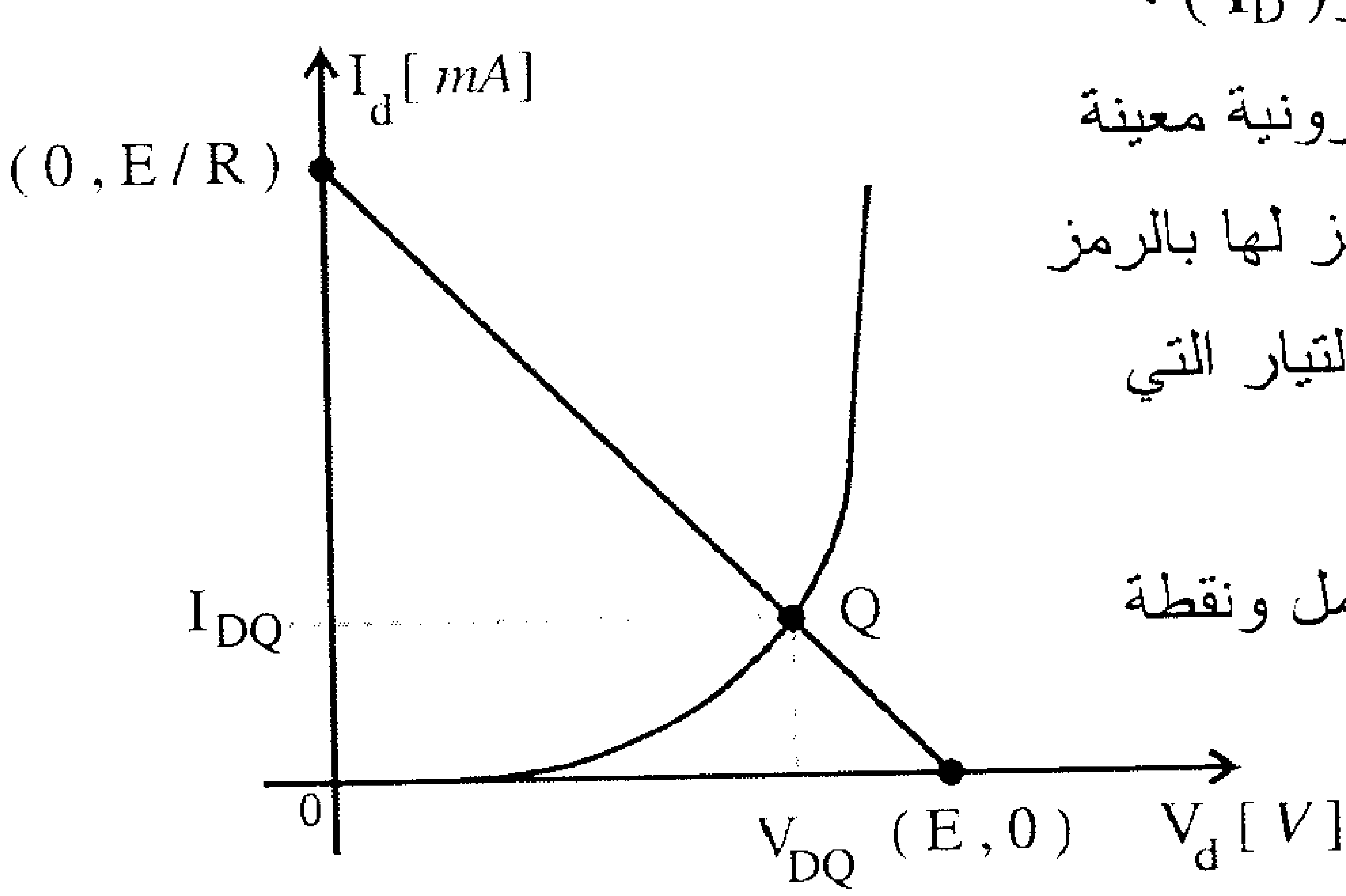
7.8 خط الحمل للثنائي Load Line



عند استعمال الثنائي في دوائر التيار المستمر (DC) فالدائرة هي التي تحدد نقطة تشغيل الثنائي،وقد عرفنا مما سبق أن للثنائي منحنى خاصية يبين العلاقة بين الجهد(V_D) والتيار(I_D) ،

فعند استعمال الثنائي في دائرة إلكترونية معينة يتحتم تحديد نقطة تشغيل معينة يرمز لها بالرمز (Q) والتي تمثل أفضل قيم للجهد والتيار التي من الممكن أن يعمل عندها الثنائي.

الدائرة والمنحنى يوضحان خط الحمل ونقطة التشغيل للثنائي.



من دائرة الثنائي نطبق (KVL) :

$$E - V_D - V_R = 0$$

وهذه المعادلة تسمى معادلة خط الحمل للدائرة.
وبرسم هذه المعادلة على نفس منحنى الخاصية للثنائي نجد أن نقطة التقاطع لخط المعادلة مع منحنى الخاصية للثنائي تسمى نقطة التشغيل (Q) كما هو موضح بالرسم

$$E = V_D + V_R$$

$$E = V_D + I_D R$$

1- عند التعويض في المعادلة السابقة عن قيمة تيار الثنائي ($I_D = 0A$) نحصل على:

$$E = V_D$$

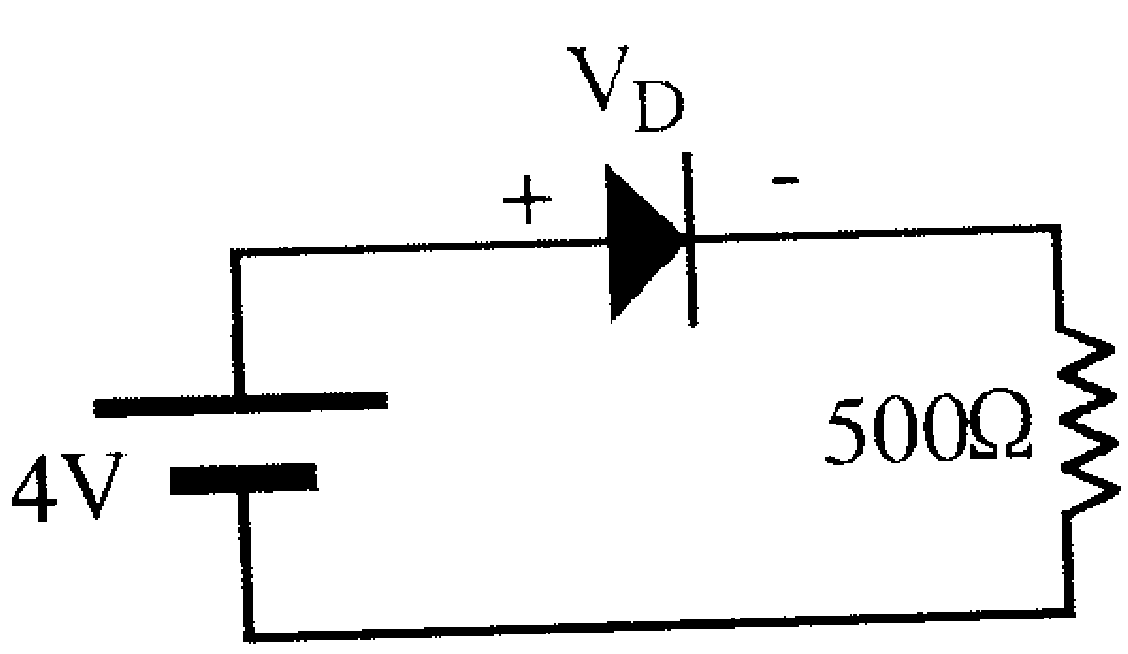
وهذا يظهر على الرسم كنقطة تقاطع مع محور السينات (E , 0) .
2- أما عند التعويض عن قيمة جهد الثنائي ($V_D = 0V$) فنحصل على المعادلة

$$E = I_D R$$

$$\therefore I_D = E / R$$

وهذا يظهر في المنحنى كنقطة تقاطع مع محور الصادات (0 , E / R) .

مثال13.8:



في الدائرة بالشكل التالي:
1- ارسم خط الحمل موضحاً نقطة التشغيل.
2- أوجد قيمة كل من V_{DQ} , I_{DQ} التي تعمل عندها الدائرة.

الحـــل:

الدائرة في حالة توصيل لأن الثنائي في وضع انحياز أمامي ،من قانون (KVL) نحصل على خط الحمل:

$$E - V_D - V_R = 0$$

$$E - V_D - I_D R = 0$$

$$E = V_D + I_D R$$

$$4V = V_D + I_D\ (500\Omega)$$

على محور السينات:

$$I_D = 0A$$

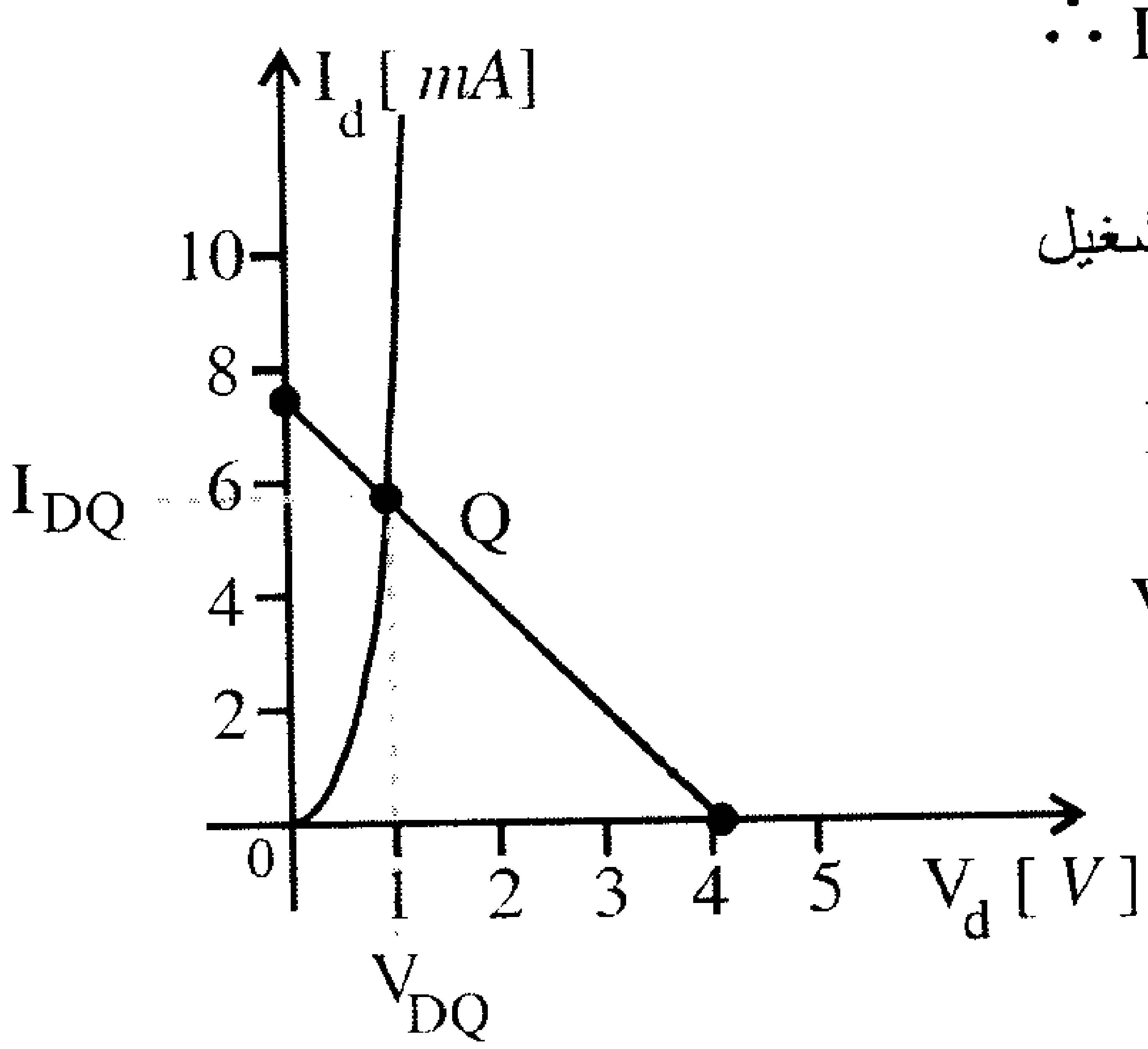
$$\therefore V_D = 4V$$

على محور الصادات:

$$V_D = 0$$

$$\therefore 4V = 500\ I_D$$

$$\therefore I_D = 4/500 = 8mA$$



نرسم العلاقة في المنحنى ونحدد نقطة التشغيل

$$I_{DQ} \approx 5.9mA$$

$$V_{DQ} \approx 1V$$

$$(1V, 5.9mA)$$

الفصل التاسع

1.9 دوائر التقويم.

1.1.9 مقوم نصف الموجة.

2.1.9 مقوم الموجة الكاملة.

2.9 دوائر التقليم (القص).

تطبيقات دوائر الثنائي

1.9 دوائر التقويم Rectification Circuits .

تنقسم تطبيقات دوائر الثنائي إلى تطبيقات الدوائر التناظرية Analogue Circuit Application وتطبيقات الدوائر الرقمية Digital Circuit Application .

فمن تطبيقات الدوائر التناظرية :

1- دوائر التقويم (Rectification Circuits) .

2- دوائر التقليم (Clipping Circuits) .

أولاً:دوائر التقويم.

وظيفتها تحويل التيار أو الجهد المتردد (AC) إلى تيار أو جهد مستمر (DC) حيث أن جهد الخروج (V_o) يعتمد على نوع الدائرة المستعملة، فإما أن يكون مقوم نصف موجة أو مقوم موجة كاملة.

1.1.9 مقوم نصف الموجة Half-Wave Rectifier

في دوائر التقويم نتناول تحليل دوائر الثنائي التي تشمل دوال في الزمن $V_i(t)$ مثل الموجة الجيبية والموجة المربعة .

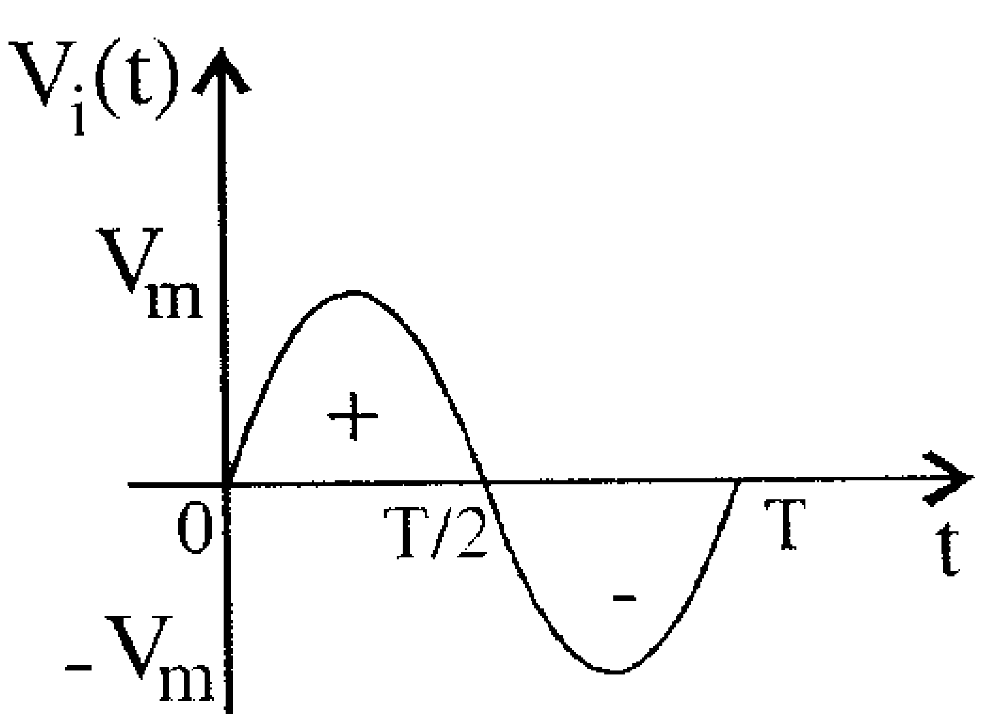
فإذا كانت موجة الدخول على مقوم نصف الموجة موجة جيبية (Sin Wave) :

$$V_i(t) = V_m \sin \omega t$$

حيث: V_m سعة الموجة.

$\omega = 2\pi f$ ، حيث : f تردد الموجة

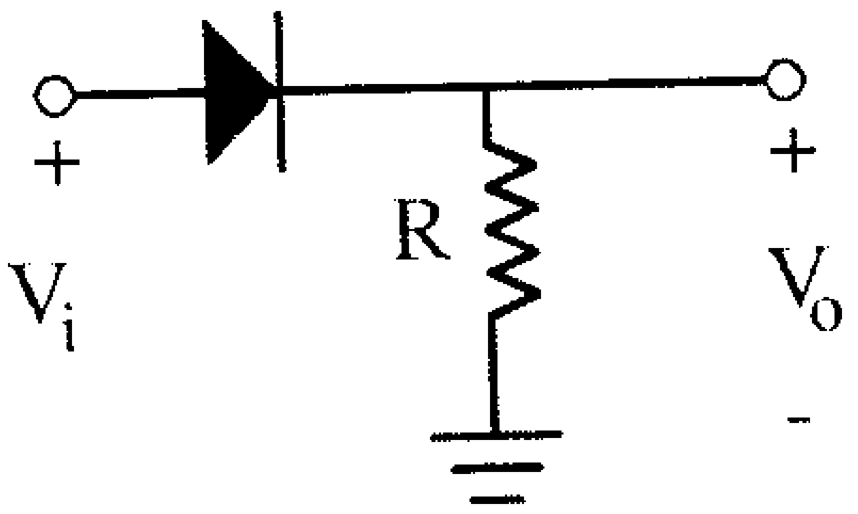
(t) الزمن.

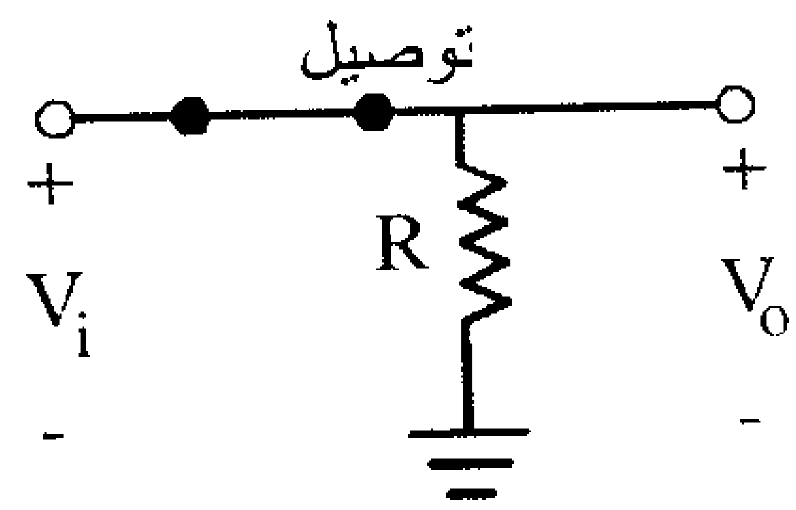


فمن العلاقة بين جهد الدخول $V_i(t)$ والزمن نجد أن شكل الموجة موجة جيبية سعتها (V_m) وزمنها الدوري لدورة كاملة (T) ونصفها (T/2) نصف الموجة الأول موجب والنصف الثاني سالب .

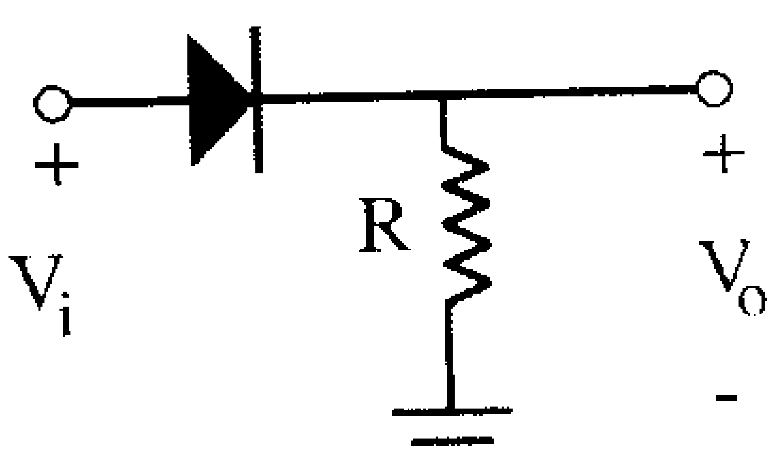
فعند مرور هذه الموجة في دائرة مقوم نصف الموجة فإنه سيتم قطع نصف الموجة الموجب أو السالب والإبقاء على النصف الآخر وذلك حسب وضعية الثنائي في الدائرة.

والدائرة التالية توضح مقوم نصف الموجة حيث يتم تمرير نصف الموجة الموجب (V_i) خلال هذا المقوم لتكون الخطوات موضحة بالرسم كالتالي:

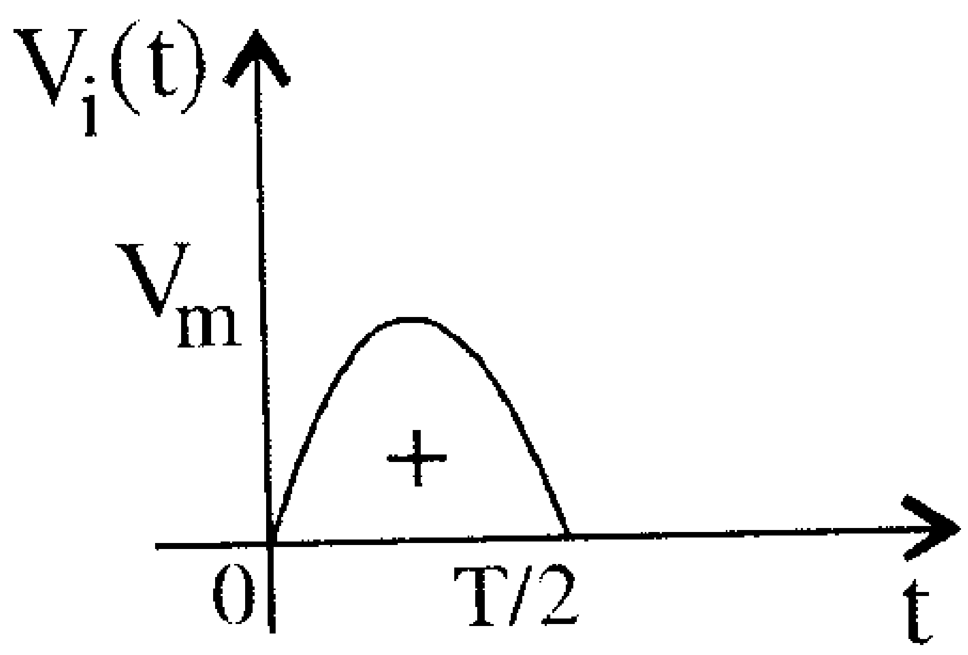




الدائرة المكافئة $(V_o = V_i)$

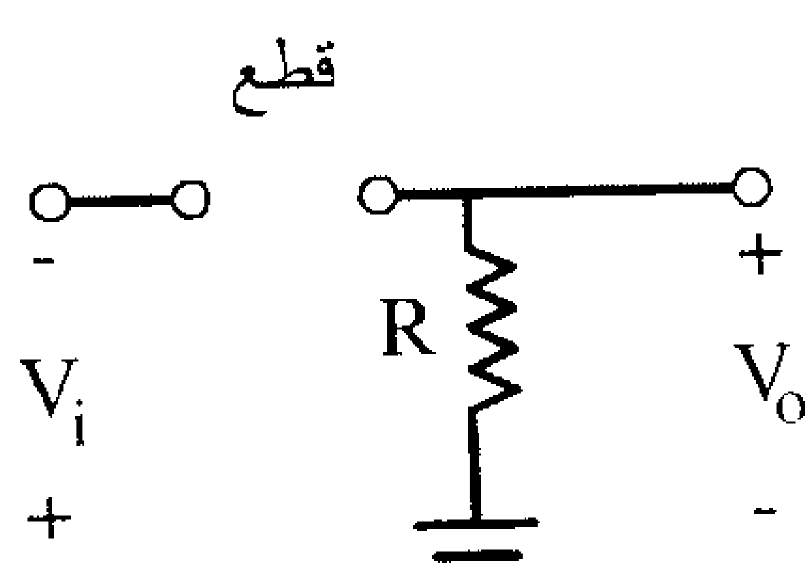


انحياز أمامي

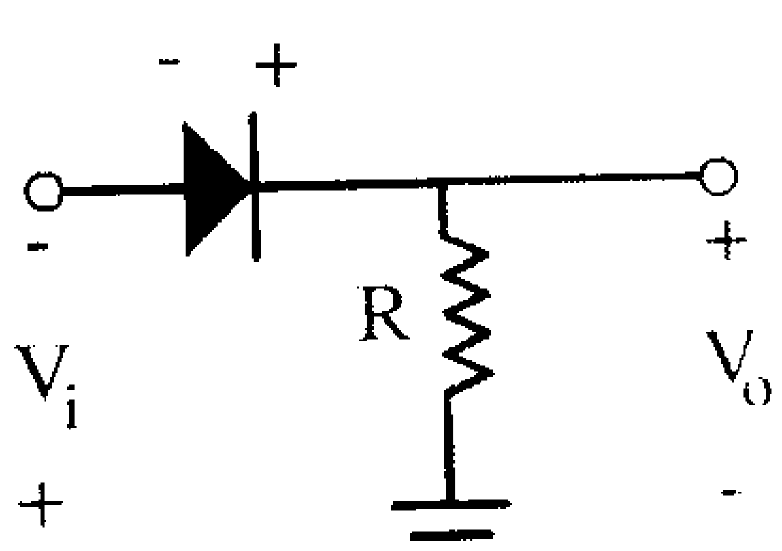


جهد الدخول(نصف الموجة الموجب)

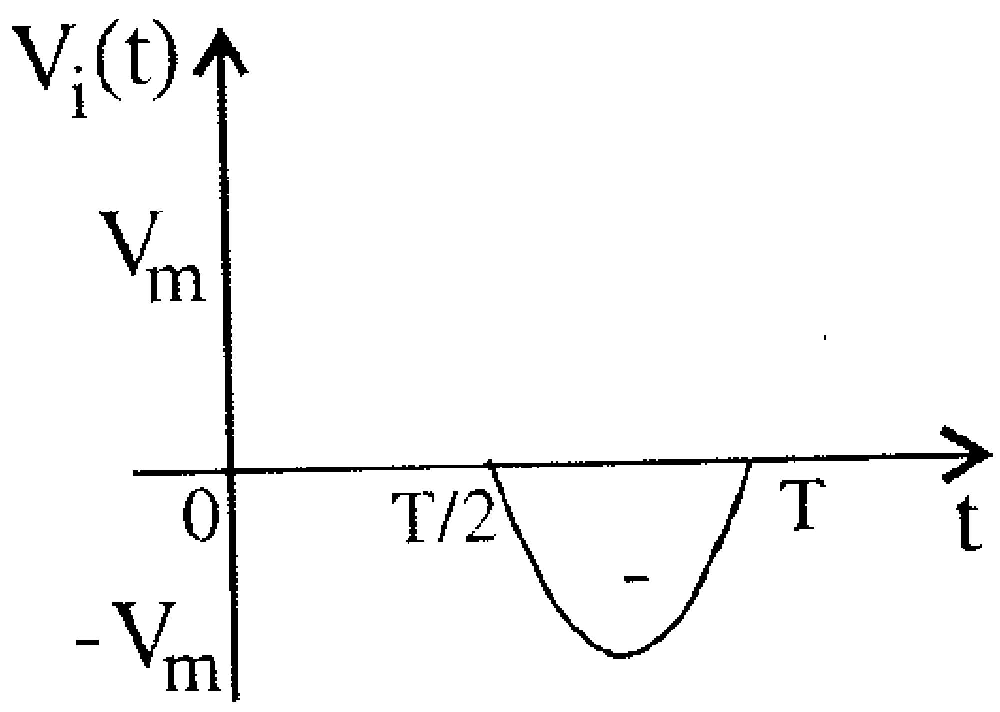
أما عند مرور نصف الموجة السالب:



لتيار =0 ، $(V_o = 0V)$

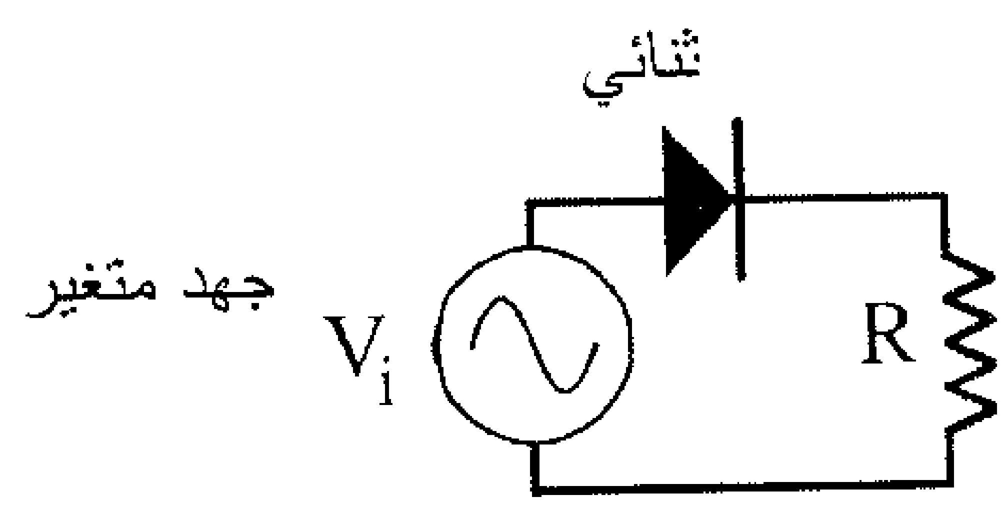


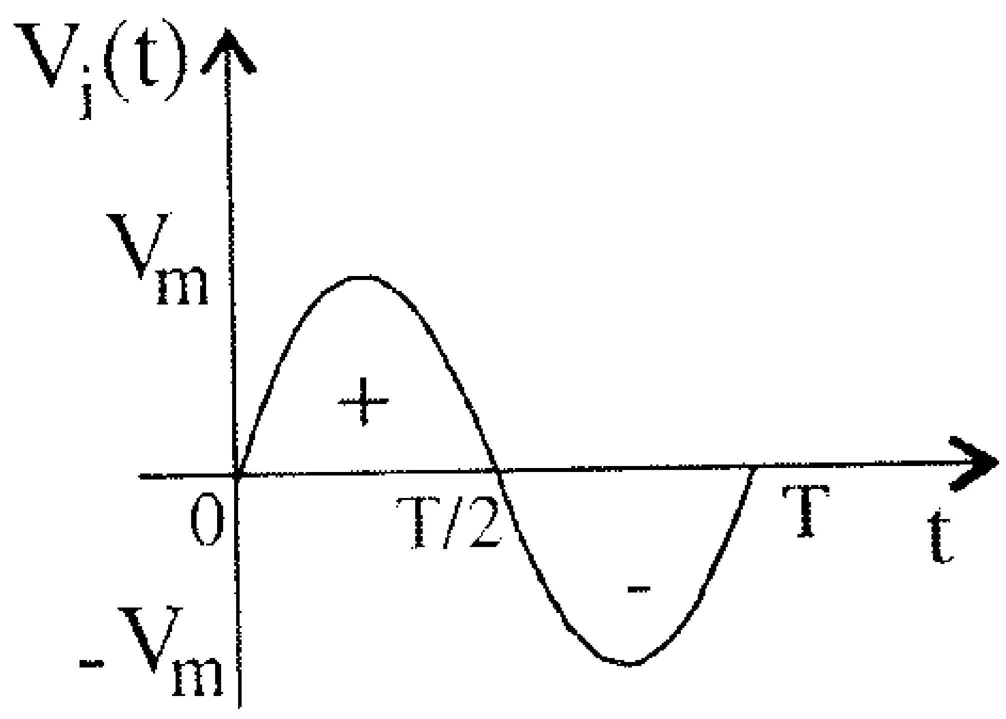
انحياز عكسي



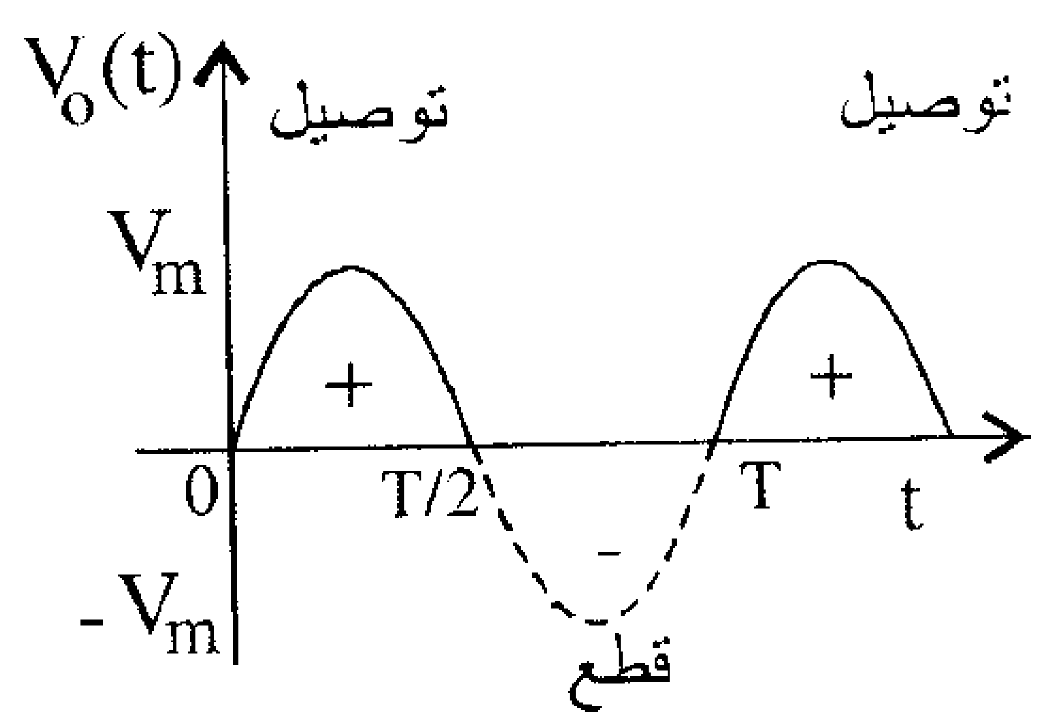
جهد الدخول(نصف الموجة السالب)

لنحصل على شكل نهائي لجهد الخروج كما بالرسم التالي:





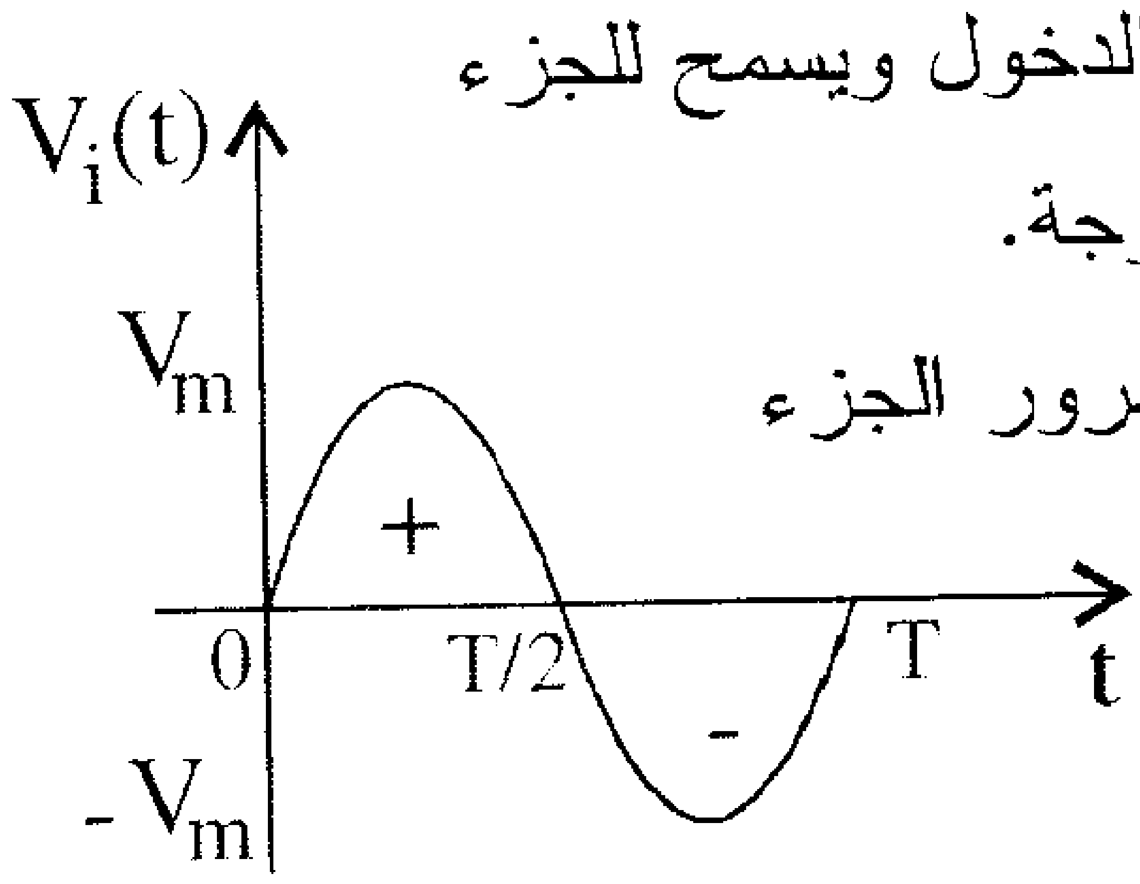
موجة الدخول

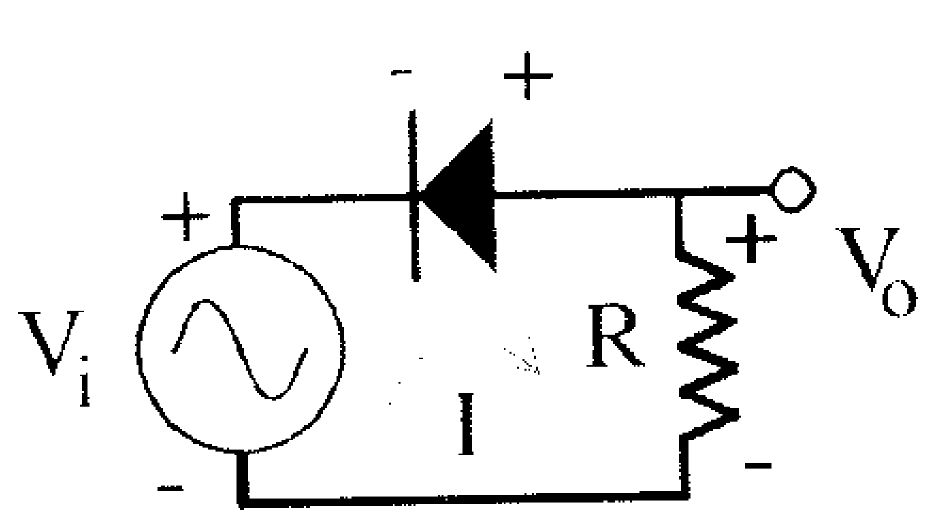


موجة الخروج

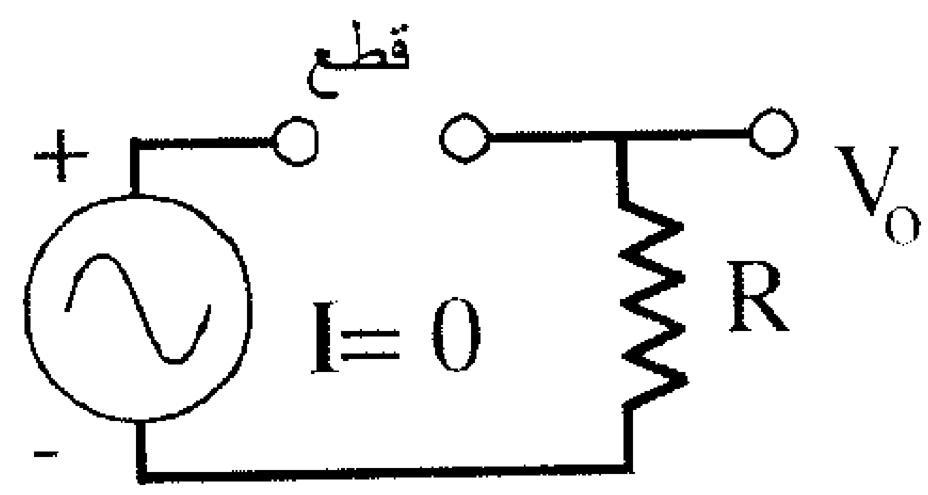
إذاً في هذه الدائرة يتم قطع الجزء السالب من موجة الدخول ويسمح للجزء الموجب بالمرور،و لهذا السبب تسمى مقوم نصف موجة.

أما إذا عكسنا قطبية الثنائي في الدائرة فإنه سيسمح بمرور الجزء السالب فقط وقطع الجزء الموجب من موجة الدخول:وهذا ما يتضمنه الرسم التالي

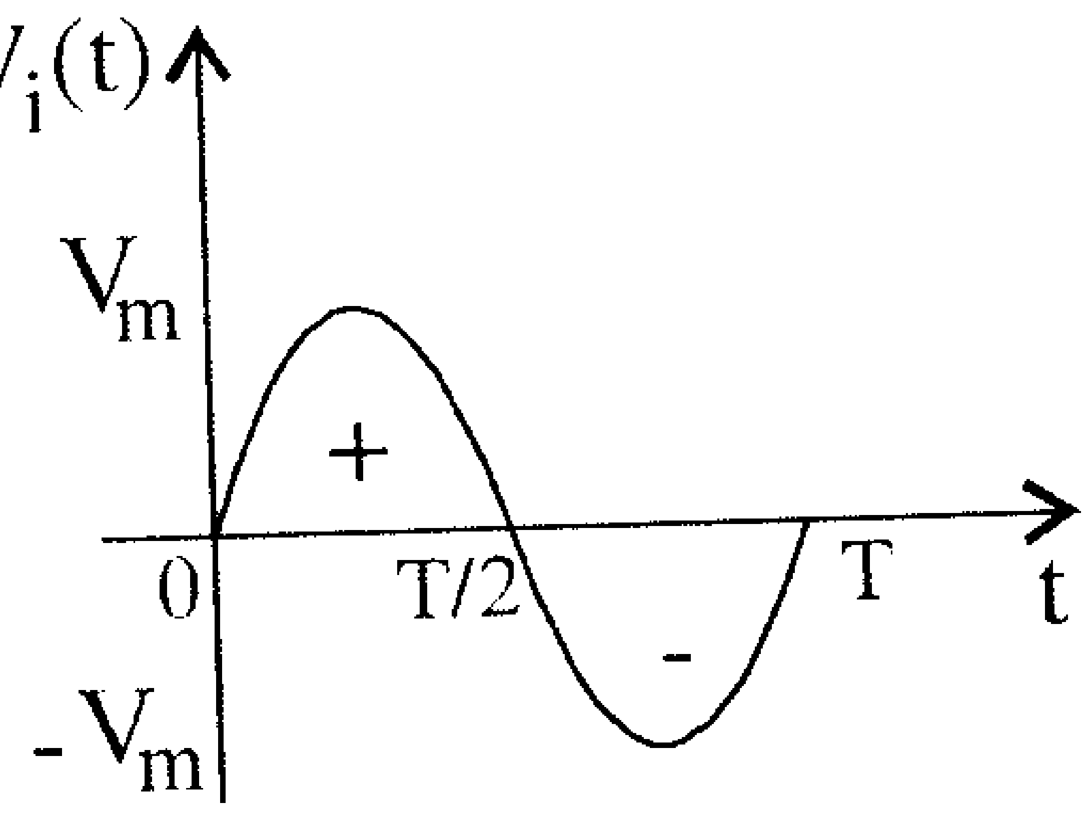


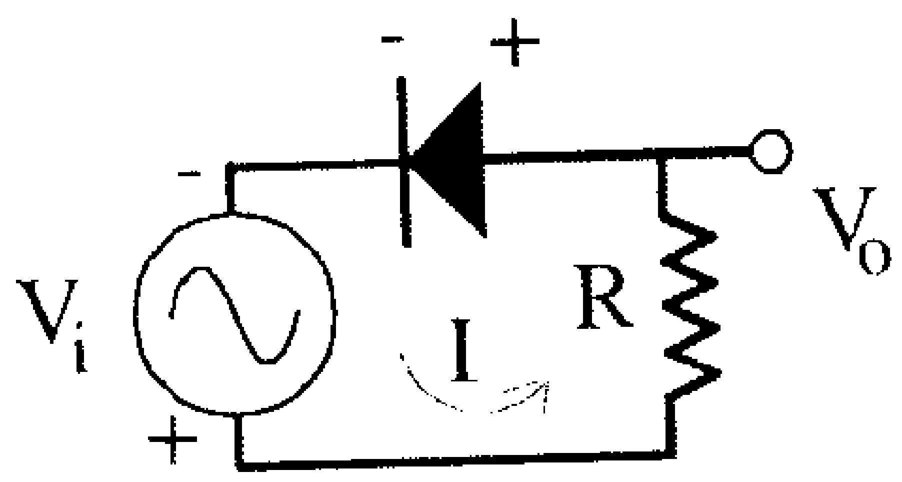


انحياز عكسي النصف الموجب

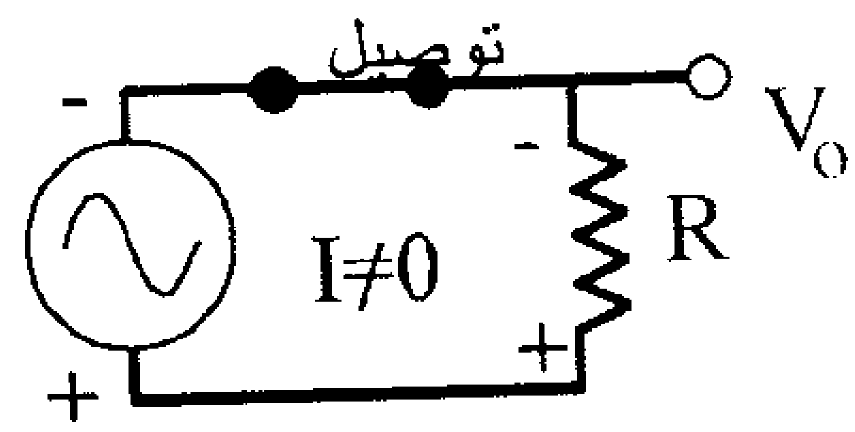


الدائرة المكافئة في حالة قطع





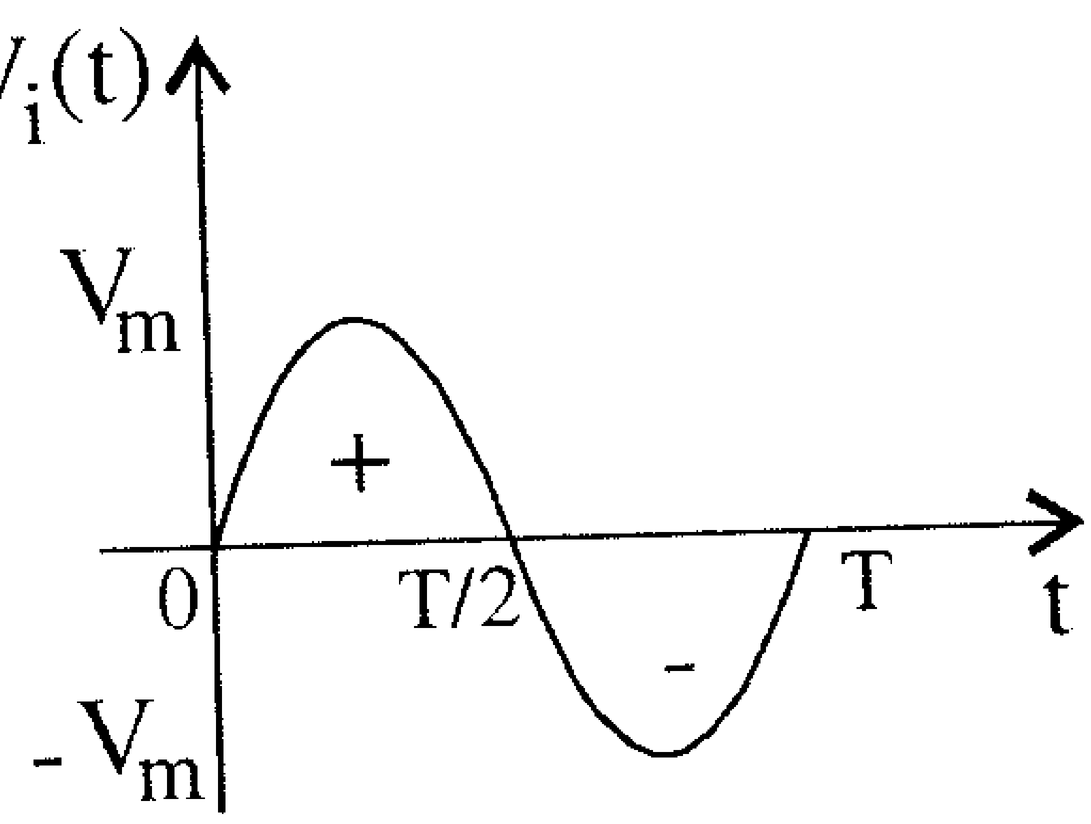
انحياز أمامي النصف السالب



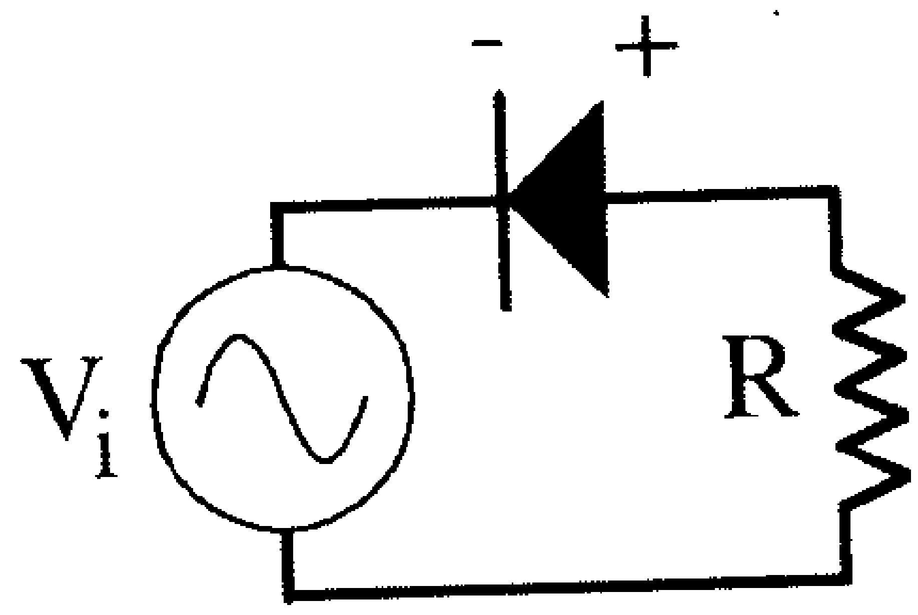
الدائرة المكافئة في حالة توصيل

$V_o = V_i$

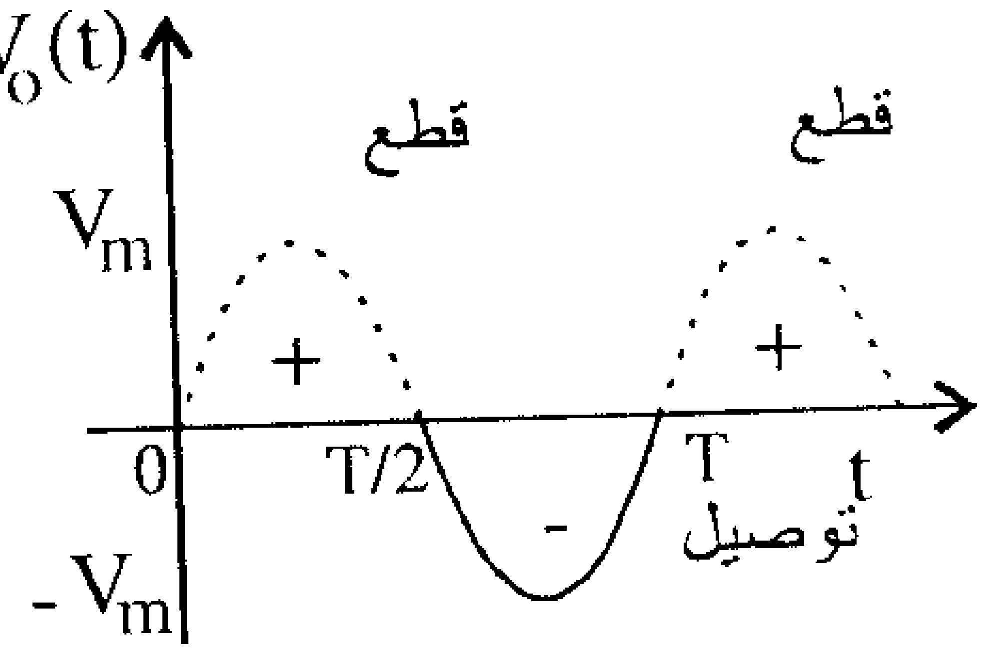
∴ في هذه الدائرة يتم قطع الجزء الموجب والسماح للجزء السالب بالمرور:



جهد الدخول V_i



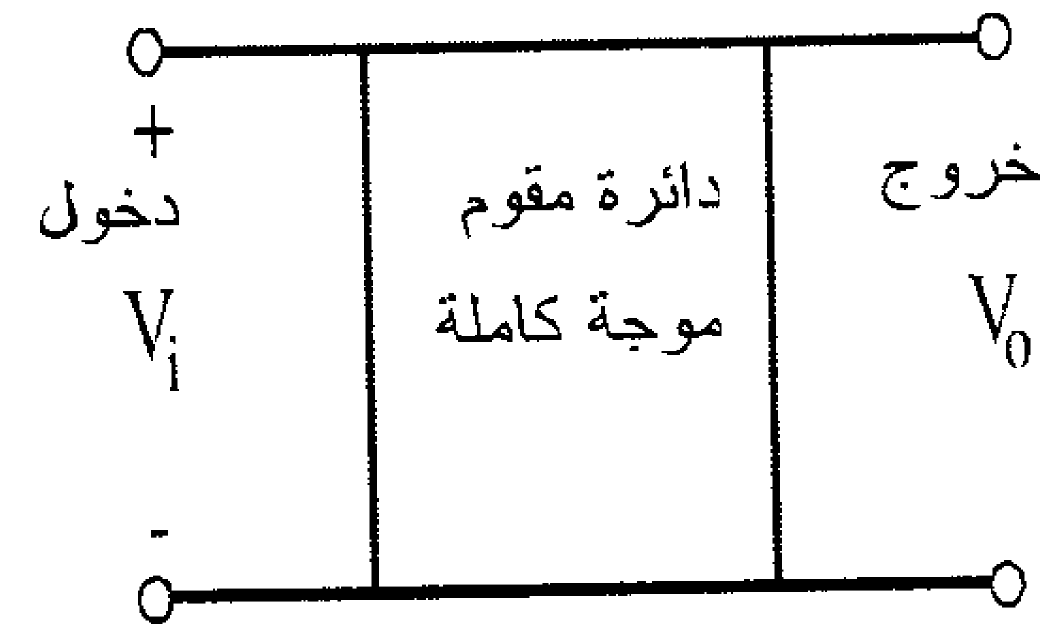
مقوم نصف الموجة

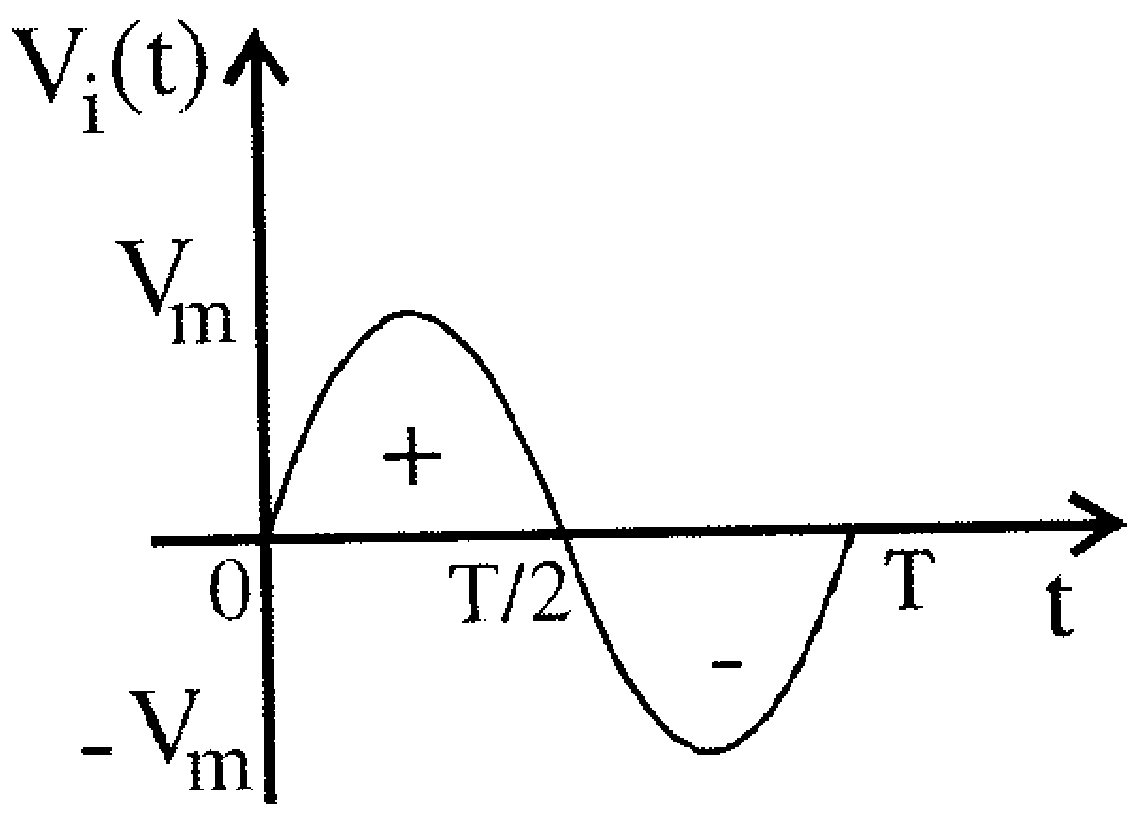


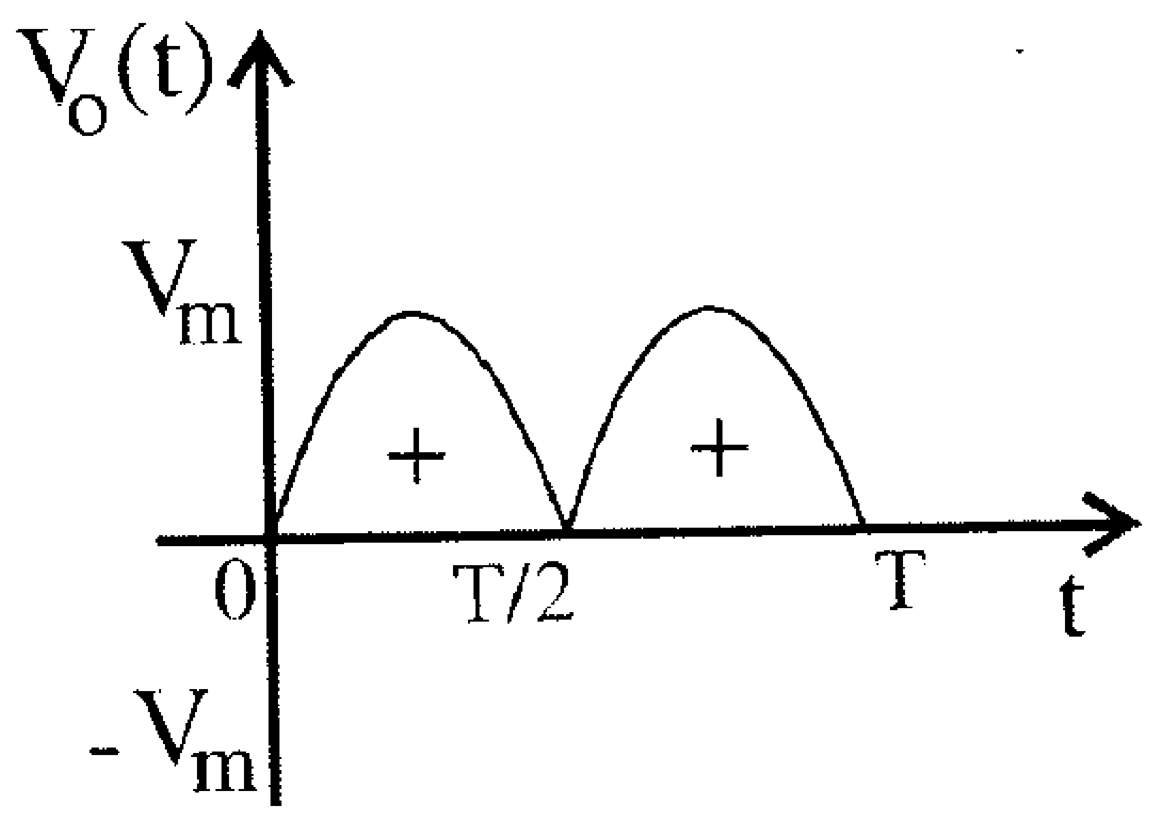
جهد الخروج V_o

2.1.9 مقوم الموجة الكاملة Full-Wave Rectifier

في مقوم الموجة الكاملة يتم التقويم بالحصول على موجة خروج كاملة كما في الشكل التالي:

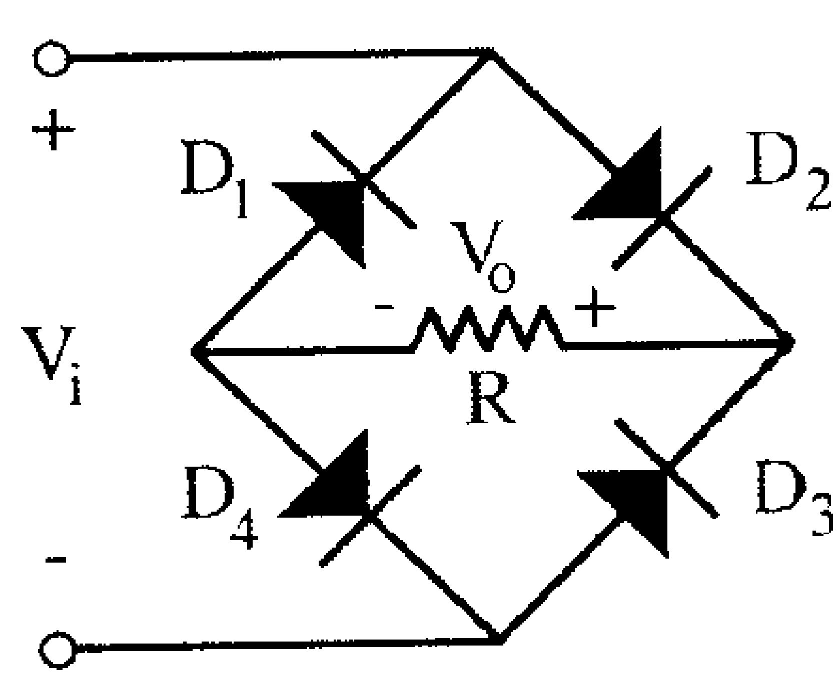


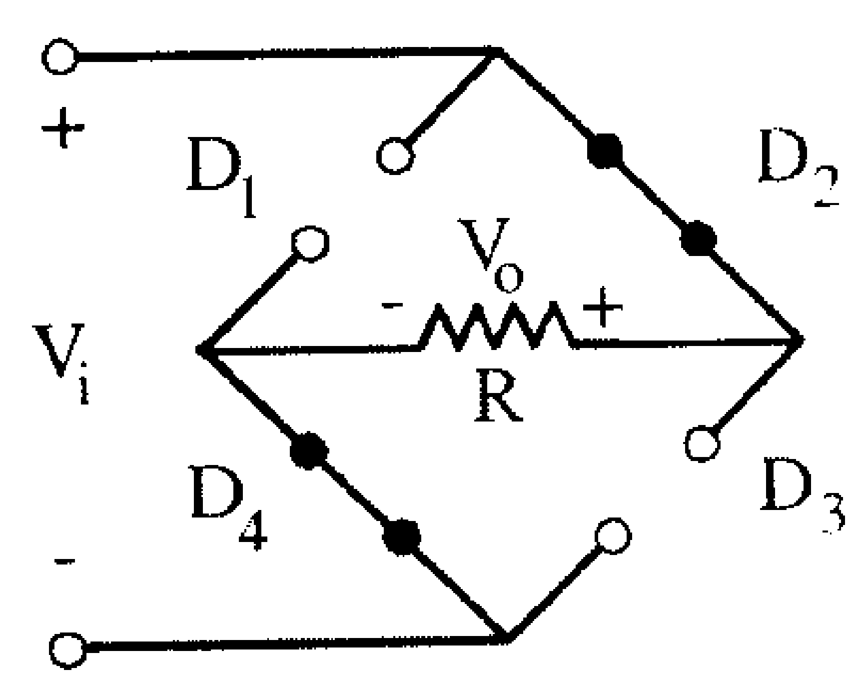




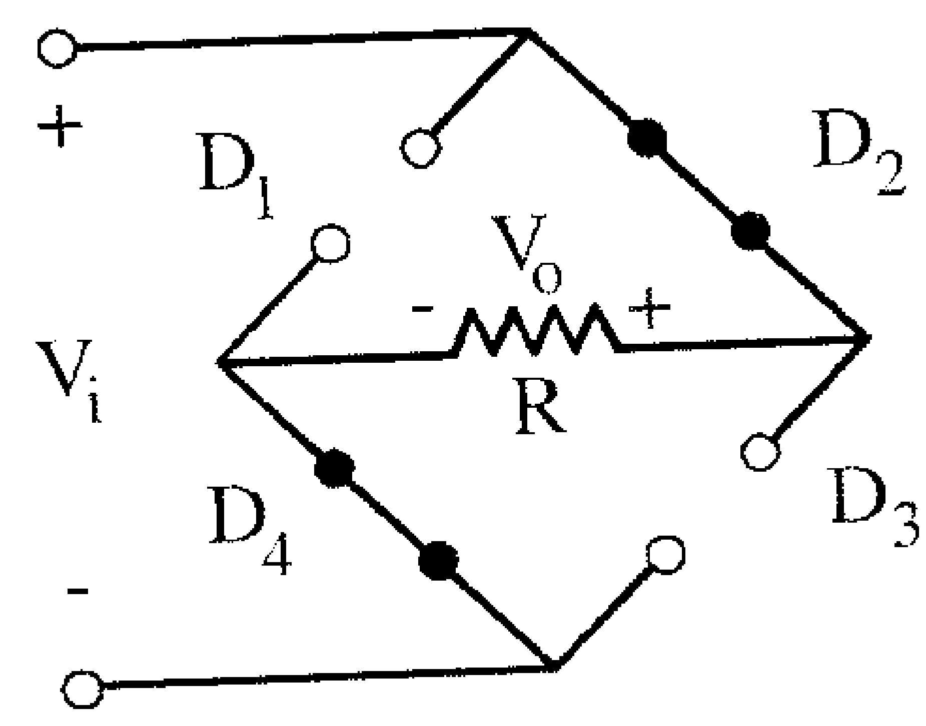
1- دائرة القنطرة لتقويم الموجة الكاملة Bridge Rectifier

أكثر الأنواع استخداماً للحصول على مقوم موجة كاملة هو استخدام أربعة ثنائيات موصلة في نظام القنطرة كما في الشكل التالي:

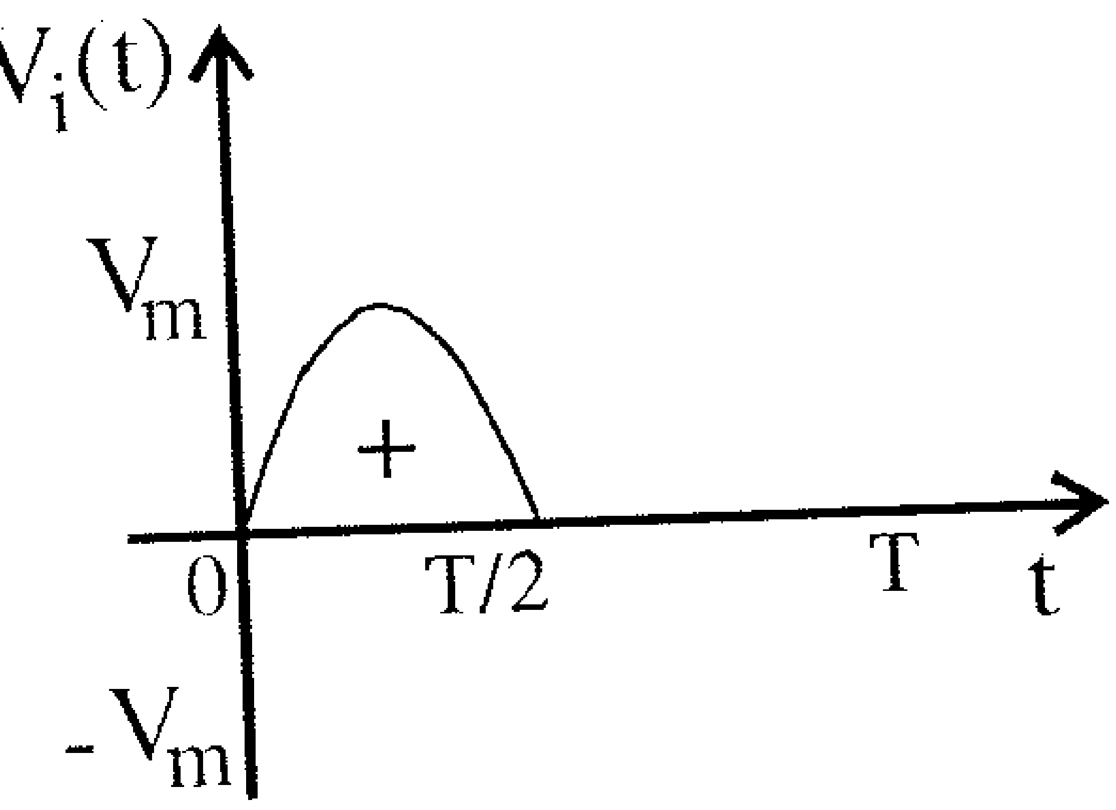




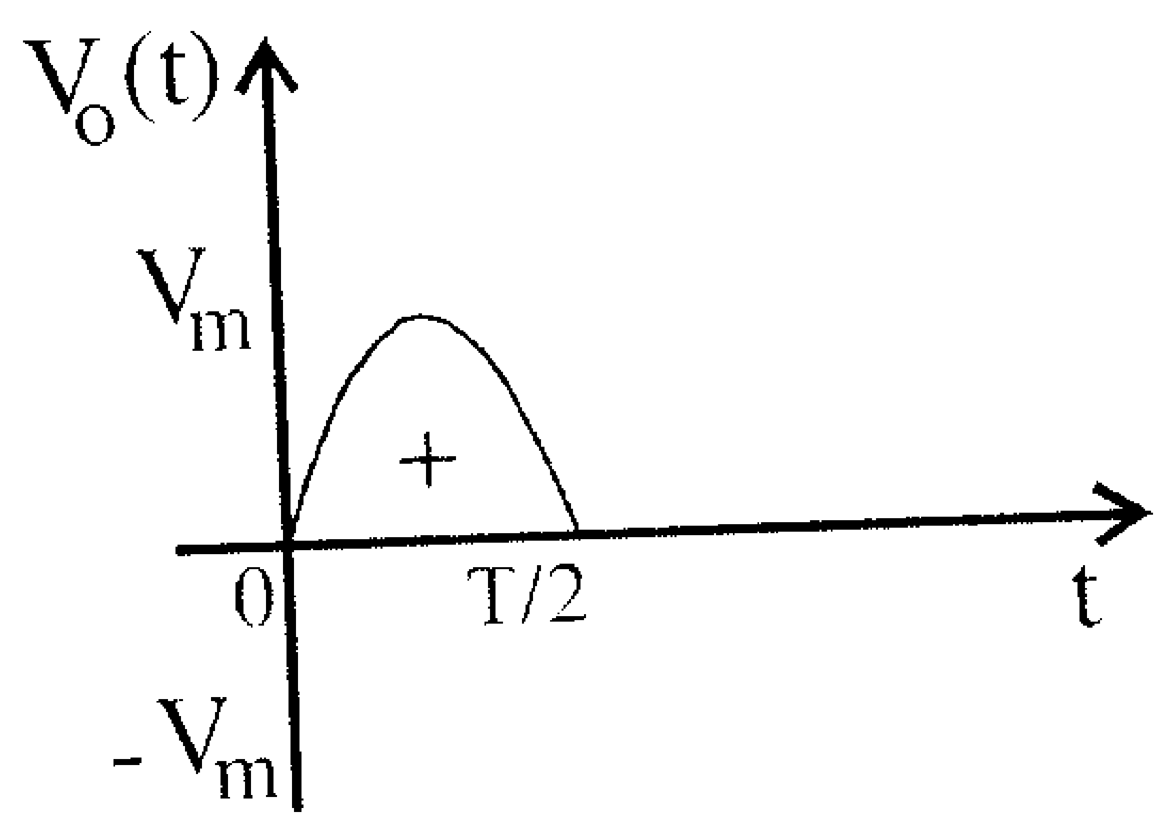
خلال زمن نصف الموجة الموجب (0 ⟵ T/2) يكون الثنائيان D_3 و D_1 في حالة قطع والثنائيان D_2 , D_4 في حالة توصيل،وإذا كانت جميع الثنائيات من النوع المثالي نتحصل على الدائرة المكافئة التالية للنصف الموجب من موجة الدخول.



الدائرة المكافئة

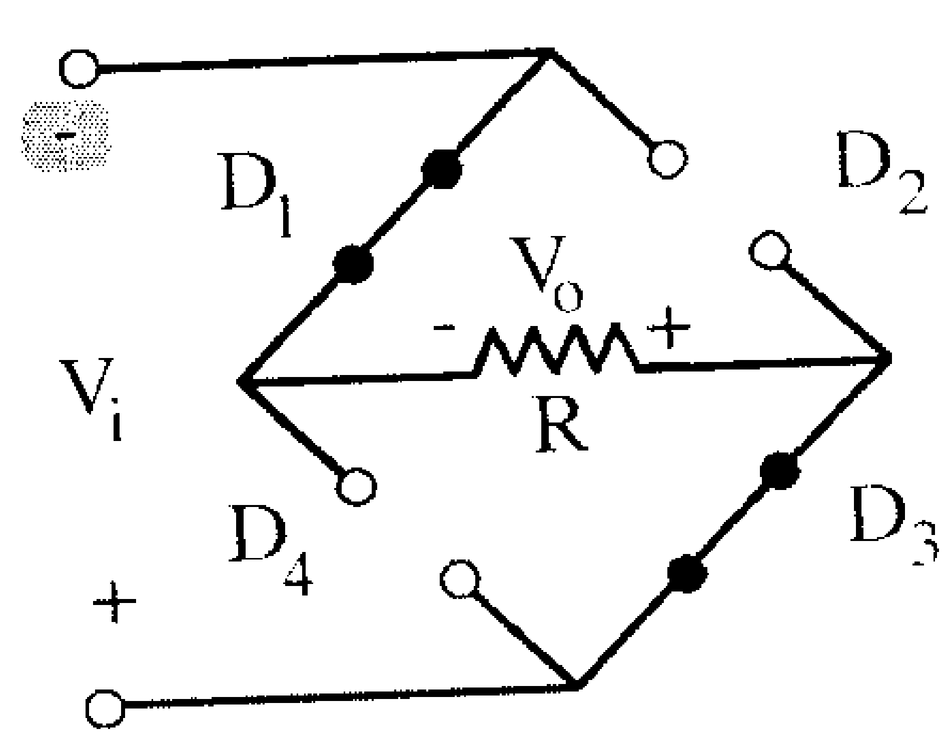


جهد دخول نصف الموجة الموجب

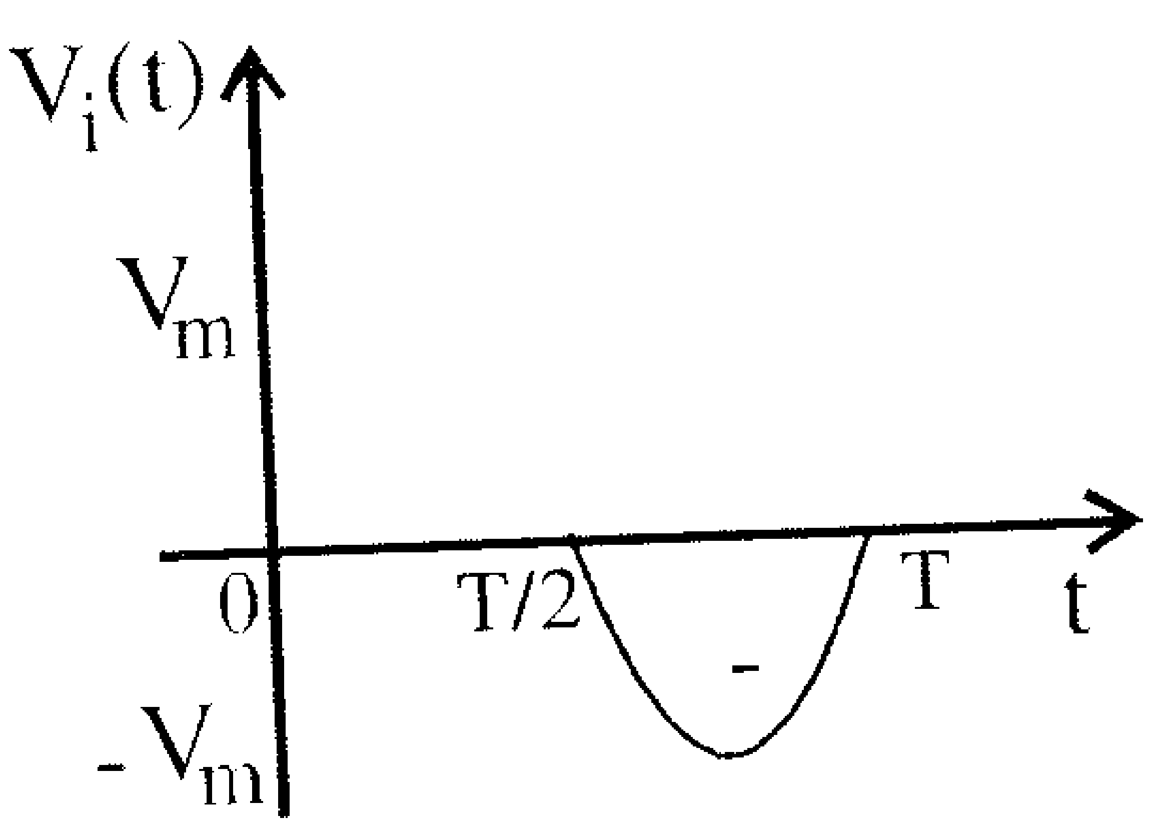


$V_o = V_i$ جهد الخروج

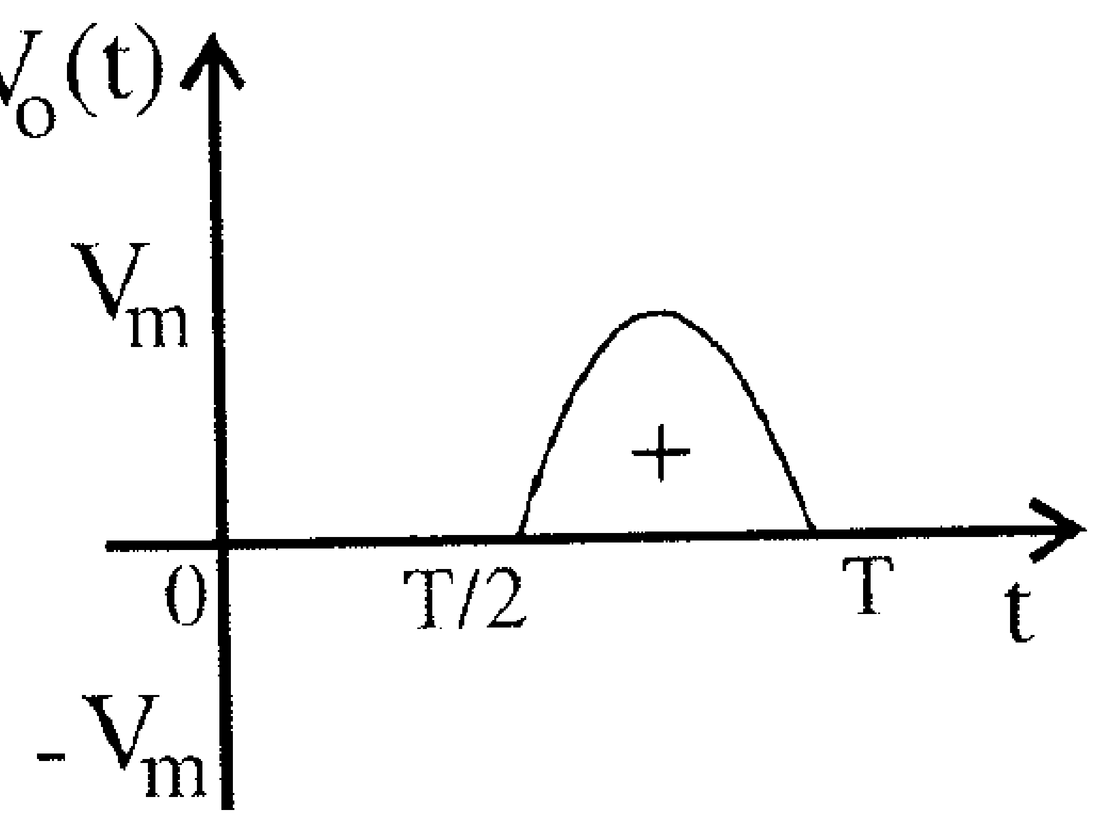
أما النصف السالب لموجة الدخول فهو كالتالي:



الدائرة المكافئة

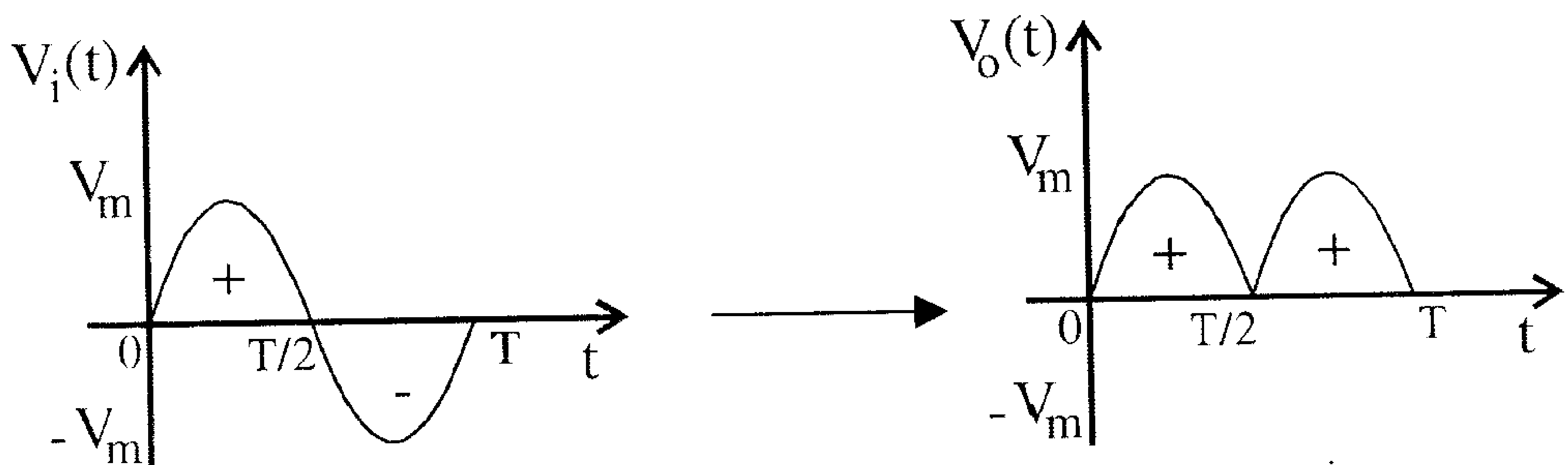


جهد دخول نصف الموجة السالب

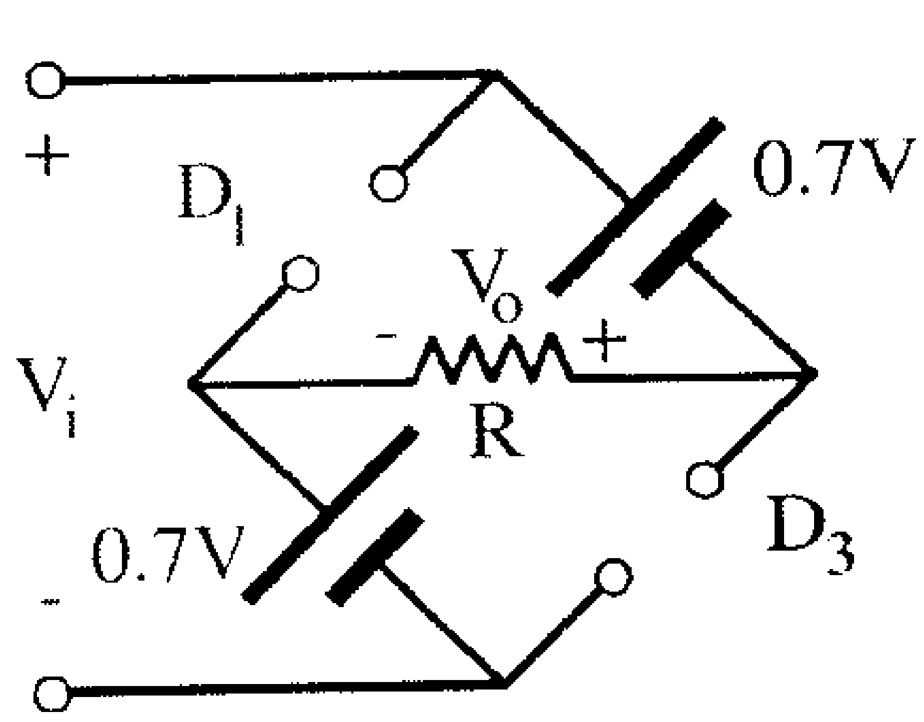


جهد الخروج $V_o = V_i$

أهم ما نلاحظه من الحالتين أن التيار يمر عبر المقاومة في نفس الاتجاه وهذا تنتج عنه نبضتان موجبتان:



في الحالة السابقة تم استخدام الثنائي المثالي ، والسؤال الآن كيف يكون شكل الدائرة وجهد الخروج لو أن جميع الثنائيات من السليكون؟



في هذه الحالة يمكن إيجاد V_o باستخدام قانون (KVL)

$$V_i - 0.7V - 0.7V - V_o = 0$$

$$V_o = V_i - 1.4V$$

2- تقويم الموجة الكاملة باستعمال المحول

نبذة مختصرة عن المحول الكهربائي (Transformer) :

من وظائف المحول الكهربائي خفض أو رفع الجهد وذلك حسب عدد لفات الملف الابتدائي (N_p) والملف الثانوي (N_S). فإذا رمزنا إلى جهد الملف الابتدائي بالرمز (V_p) وجهد الملف الثانوي أو الجهد الناتج بالرمز (V_S) فإن :

$$\frac{N_p}{N_S}=\frac{V_p}{V_S}$$

$$V_S=V_p\,(\frac{N_S}{N_P})$$

فإذا كان لدينا جهد دخول ($V_p=240V$) ونريد خفضه (تحويله) وكان عدد اللفات للمحول

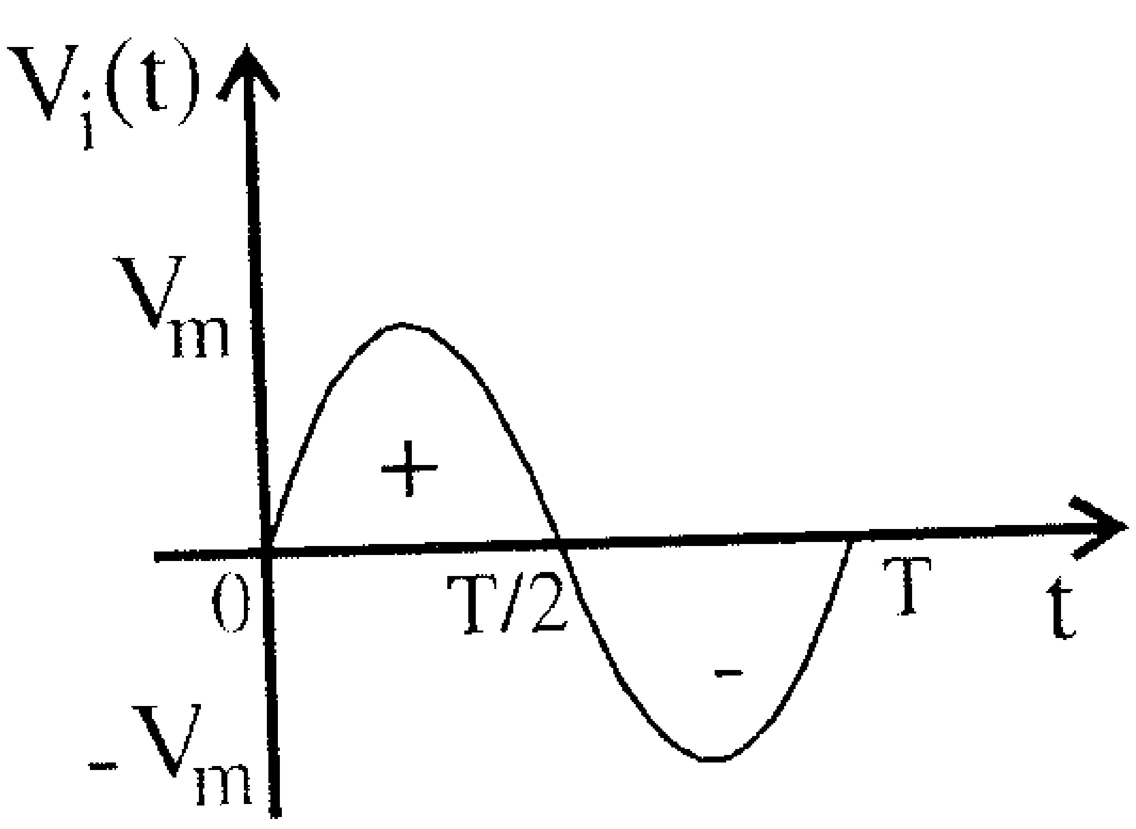
$N_S = 100$ لفة , $N_p = 1000$ لفة

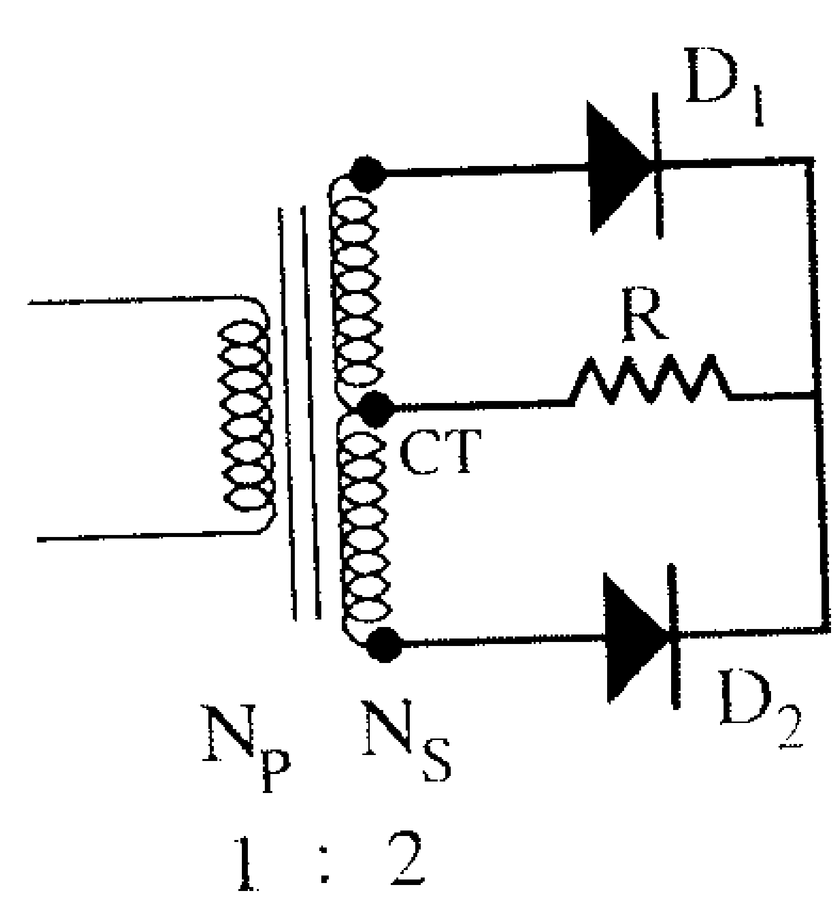
فإن جهد الخروج:

$$V_S=(240V)(\frac{100}{1000})=24V$$

في هذه الحالة يسمى المحول بالخافض لأنه يحول الجهد من(240V) إلى(24V) .

نعود إلى مقوم الموجة الكاملة باستخدام المحول، ففي الشكل التالي رسم لدائرة مقوم الموجة الكاملة باستعمال المحول

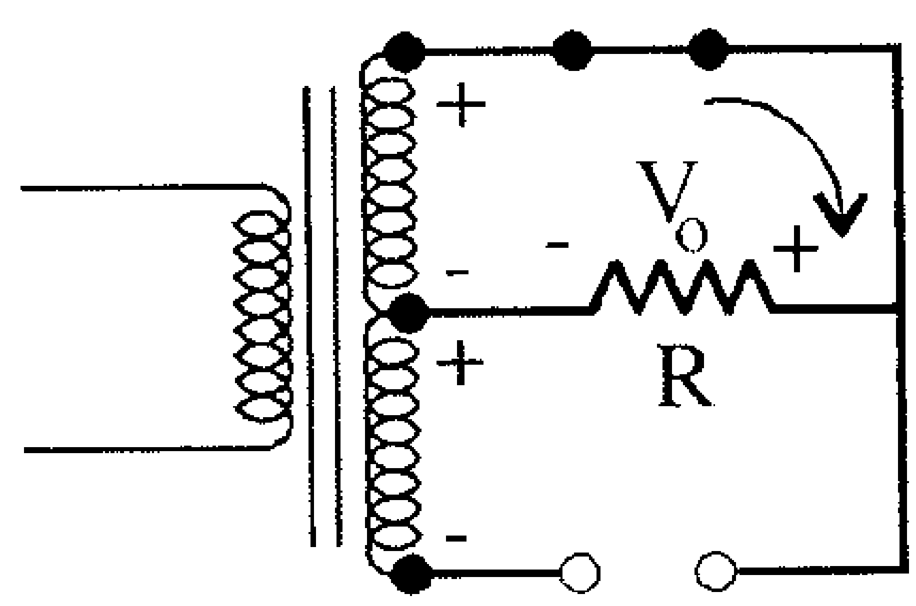


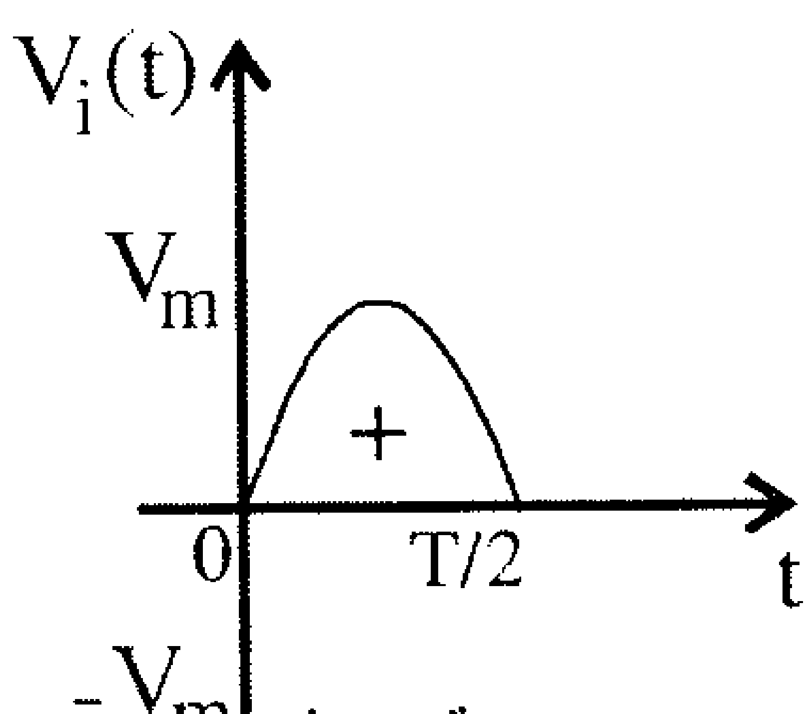


هذه الدائرة بها ثنائيان فقط حيث يتم تنصيف المحول الثانوي للحصول على جهدي خروج (V_i) متساويين على نصفي الملف الثانوي،ويعرف هذا النوع من المحولات بالمحول ذي النقطة الوسطية أي النقطة المنصفة للملف الثانوي
. [Center Tapped Transformer (CT)]

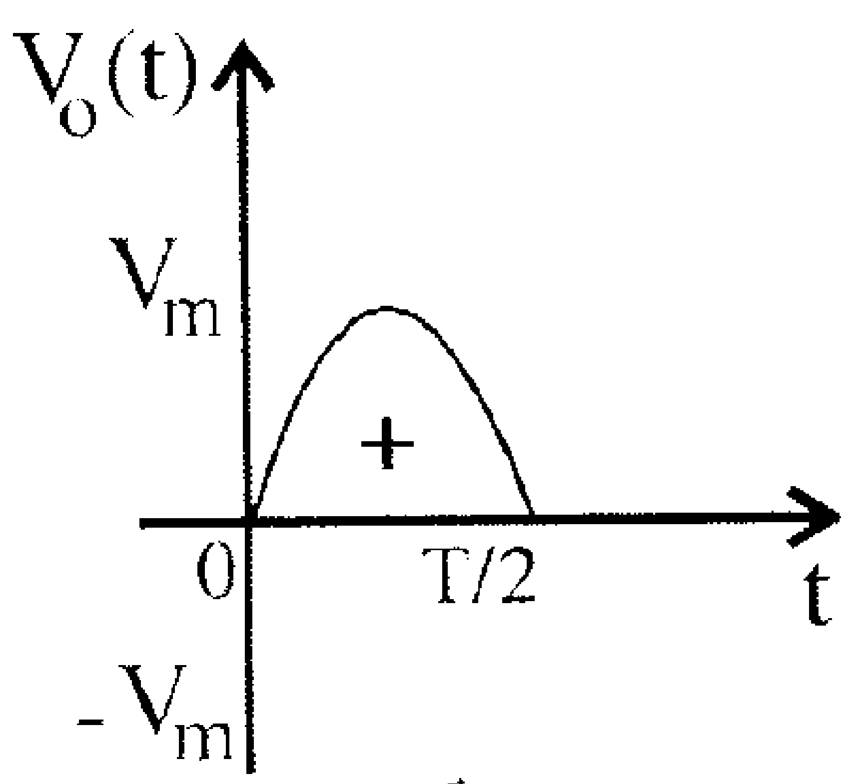
ويمكن شرح طريقة تقويم الموجة الكاملة باستخدام محول كالتالي:

1- في زمن نصف الموجة الموجب من (0 ⟵ T/2) يكون الثنائي D_1 في حالة انحياز أمامي (توصيل) والثنائي D_2 في حالة انحياز عكسي (قطع).



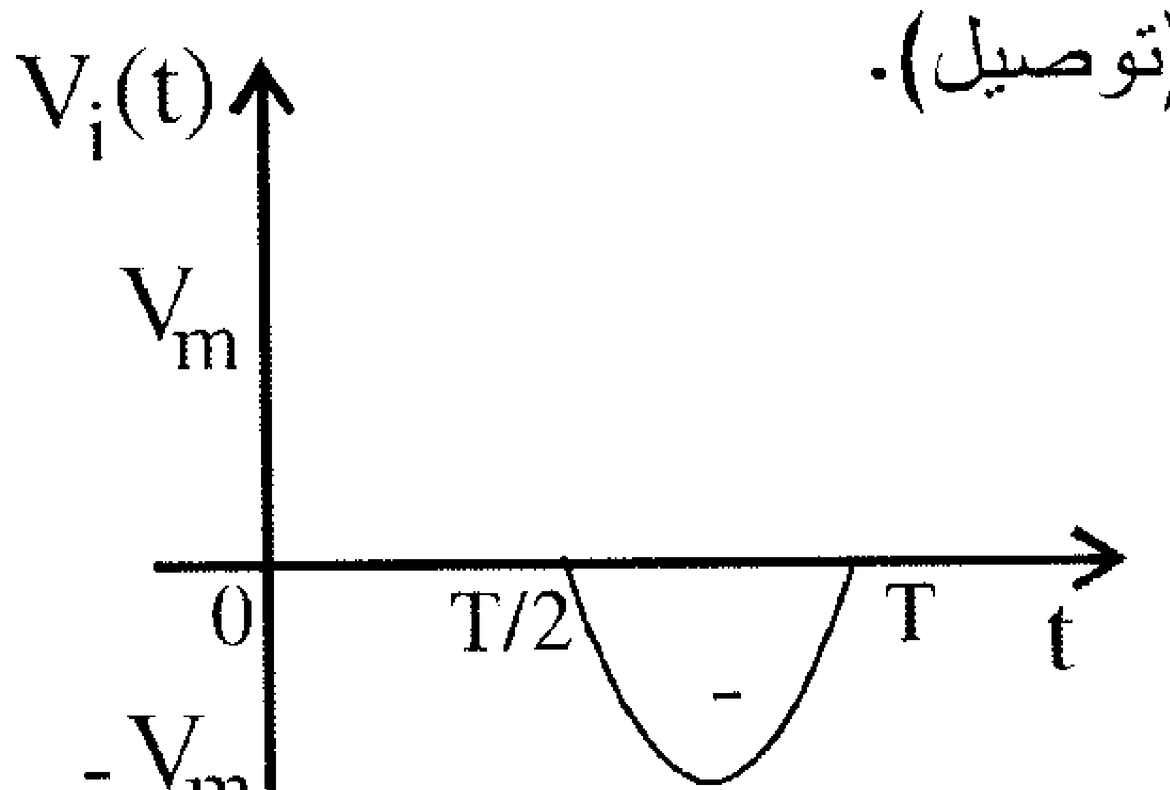


موجة دخول

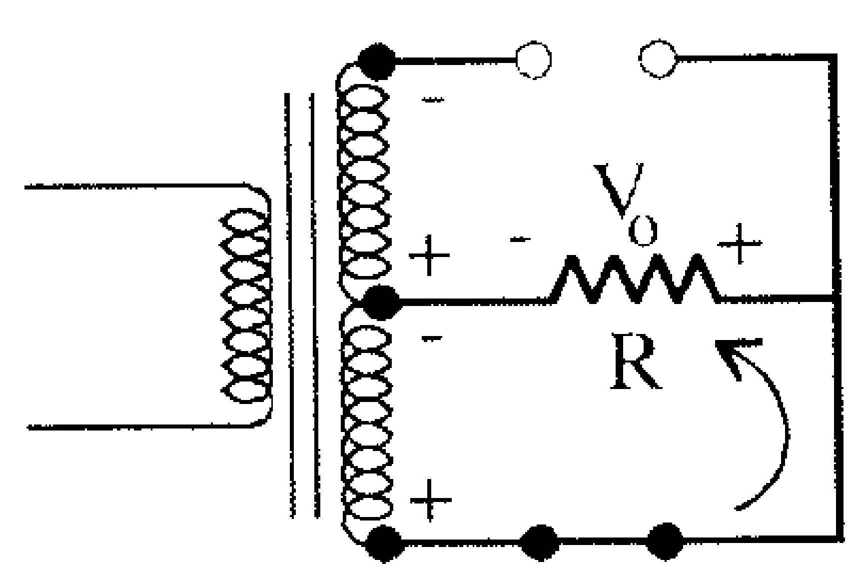


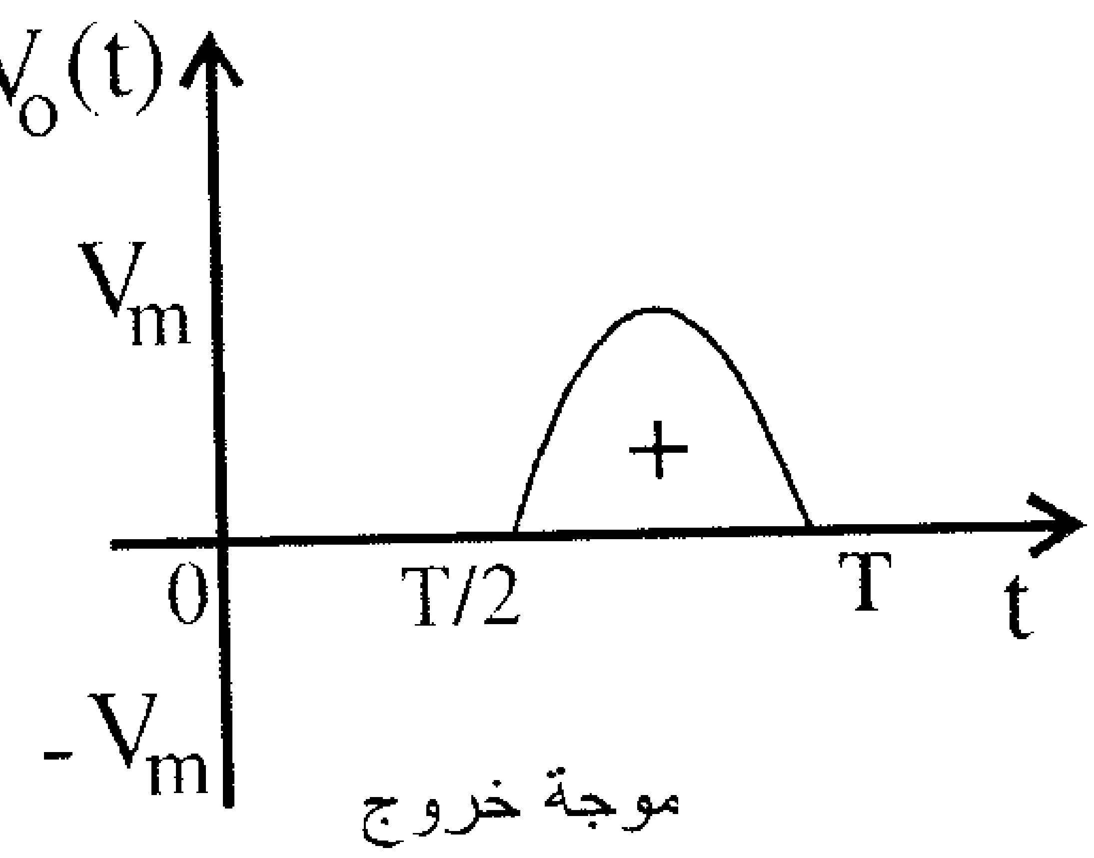
موجة خروج

2- في زمن نصف الموجة السالب (T/2 ⟵ T) يكون الثنائي D_1 في حالة انحياز عكسي (قطع) والثنائي D_2 في حالة انحياز أمامي (توصيل).



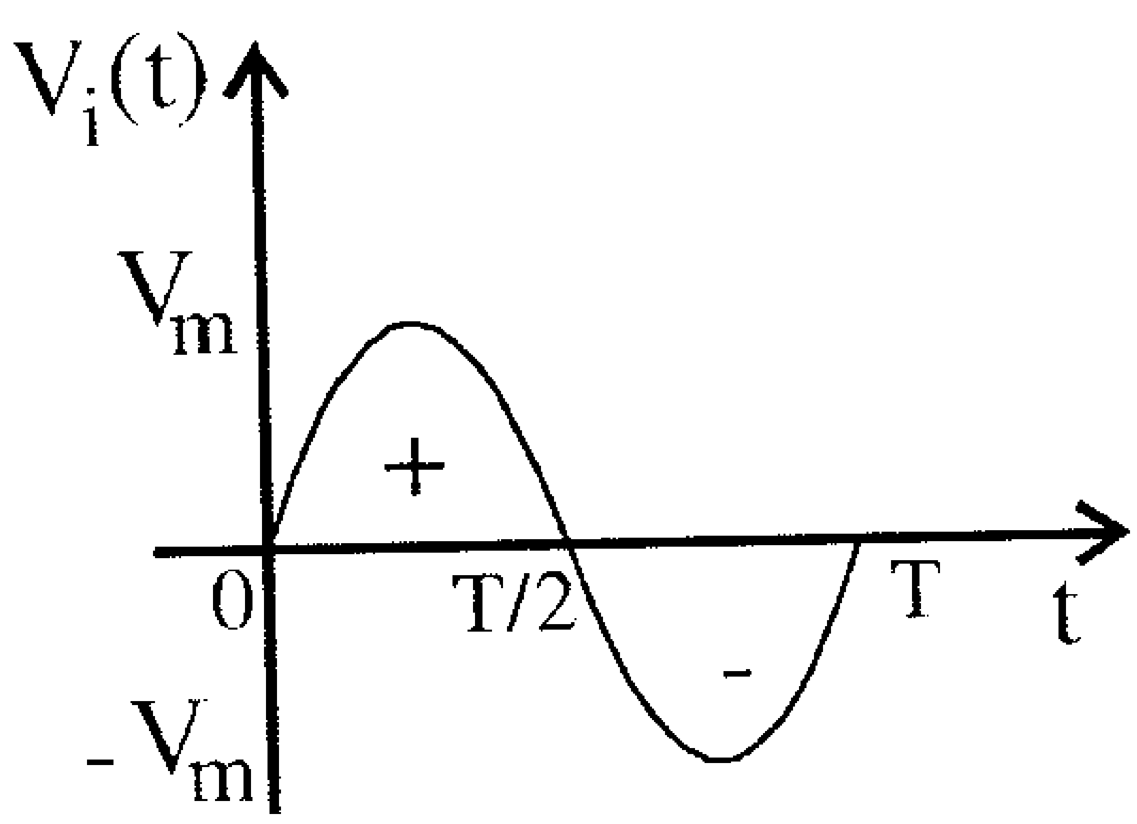
موجة دخول



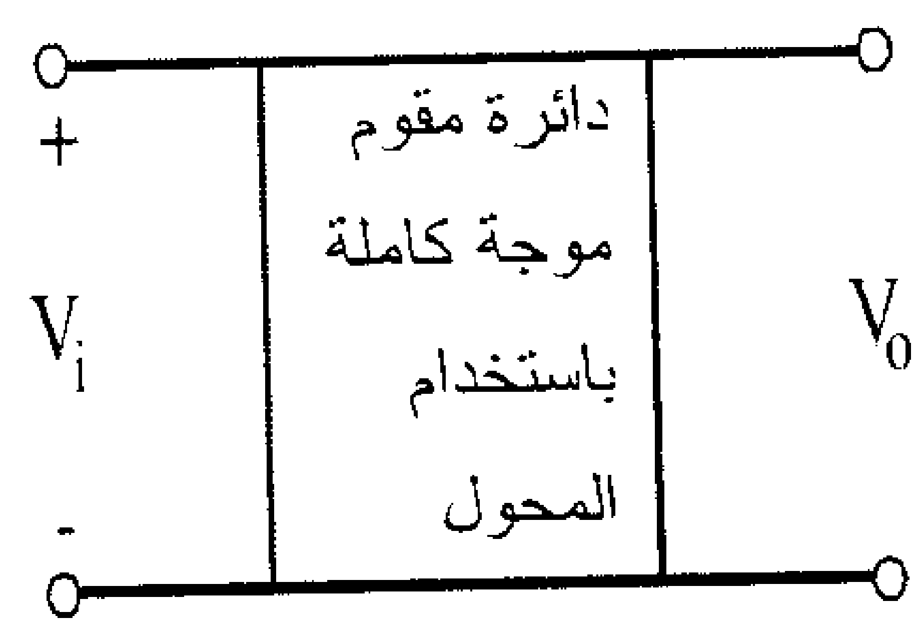


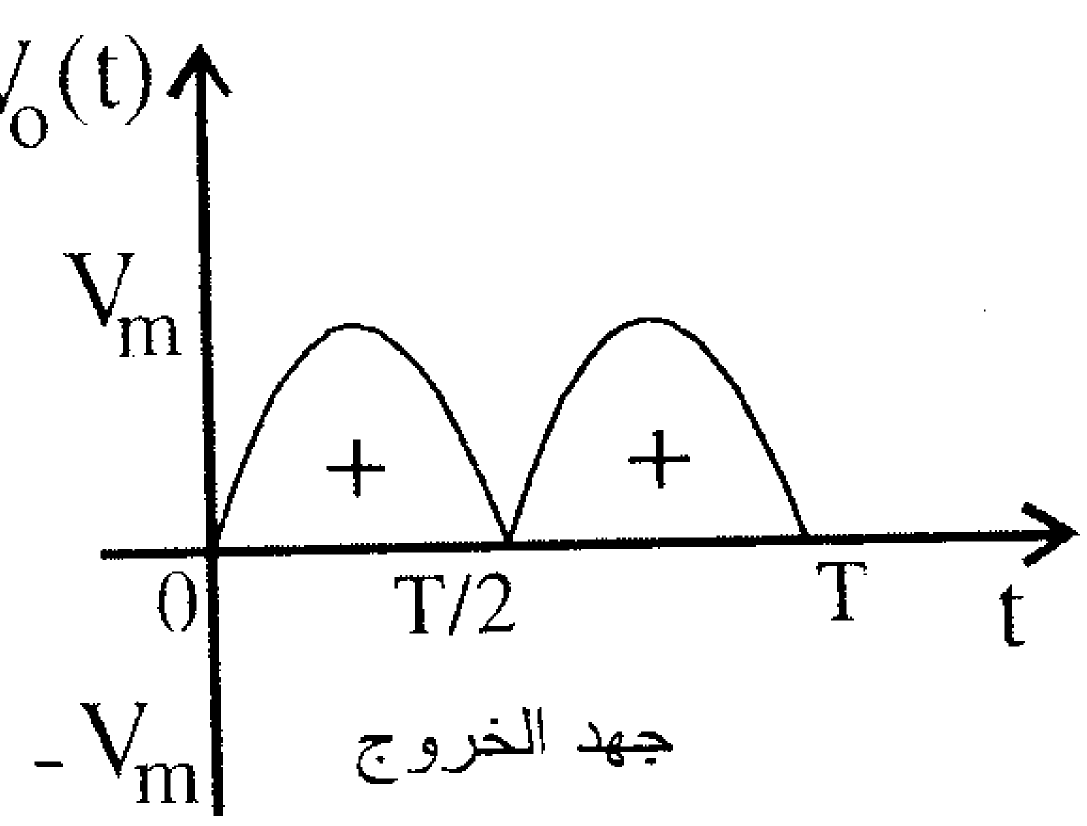
موجة خروج

من الحالتين نلاحظ أن اتجاه التيار في دخوله على المقاومة R لم يتغير، لذلك فإن جهد الخروج موجب في الحالتين .



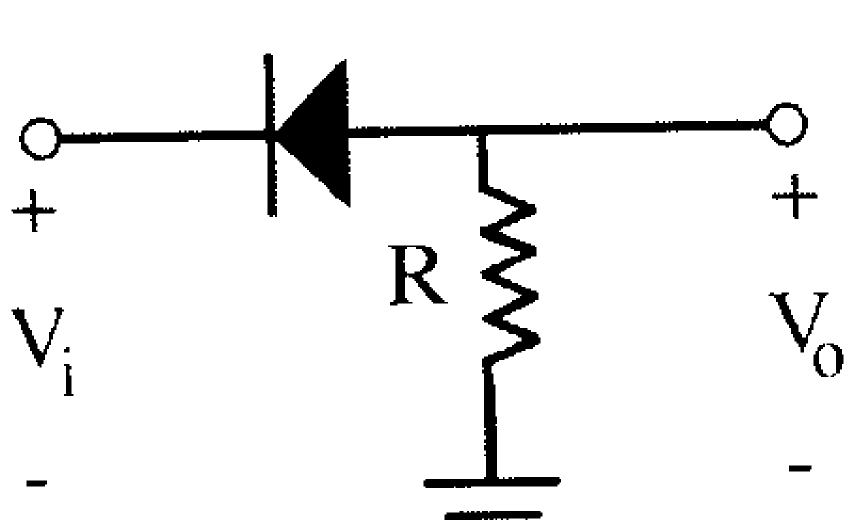
جهد الدخول





جهد الخروج

مثال1.9 من الدائرة التي في الشكل التالي إذا كان جهد الدخول يعطى بالعلاقة



$$V_i = 20 \sin \omega t$$

ارسم الدائرة التقريبية المكافئة لكل من نصف الموجة الموجب والسالب ثم احسب جهد الخروج V_o في الحالتين:

1- إذا كان الثنائي مثالياً.

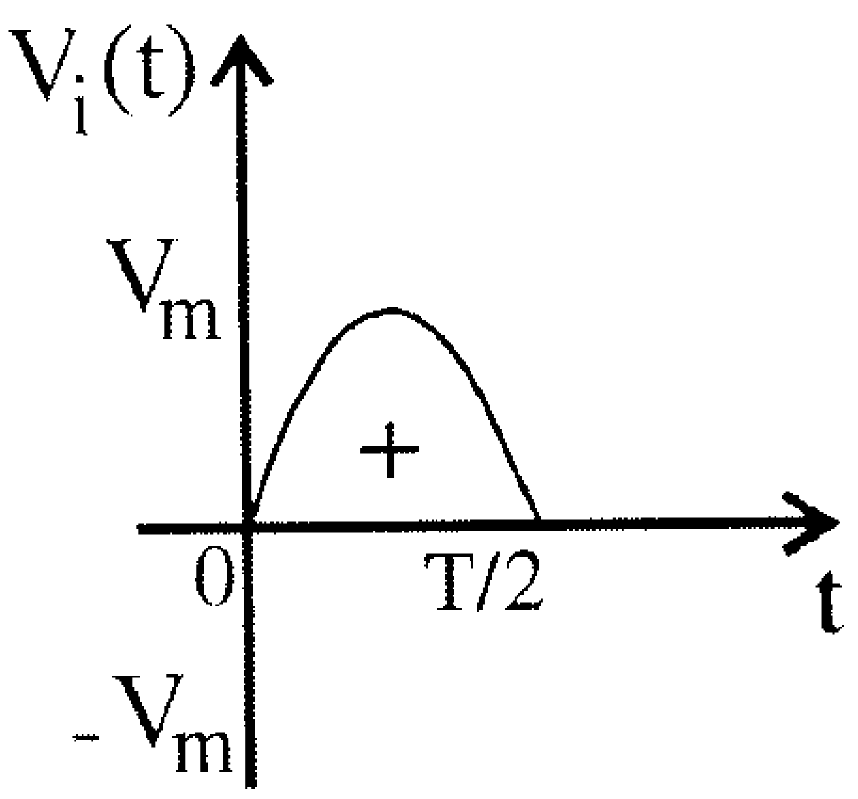
2- إذا كان الثنائي من السليكون.

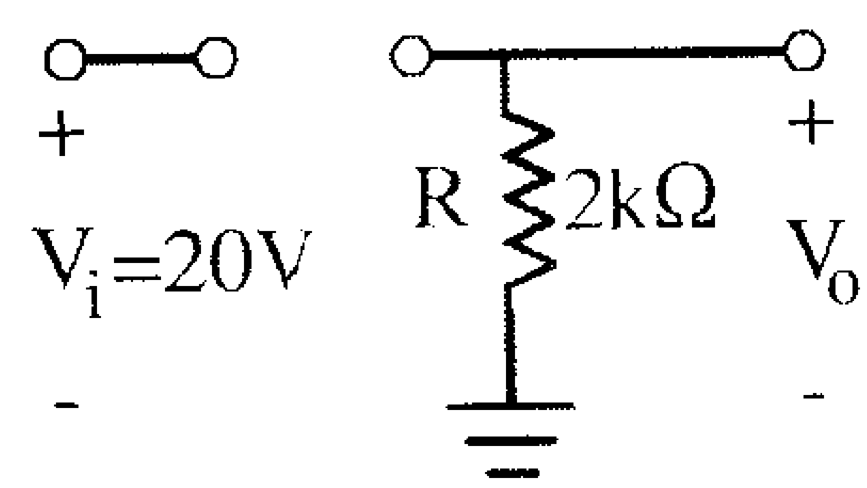
الحــل:

1- عندما يكون جهد الدخول نصف الموجة الموجب:

يكون الثنائي في حالة قطع

$$V_o = 0V$$

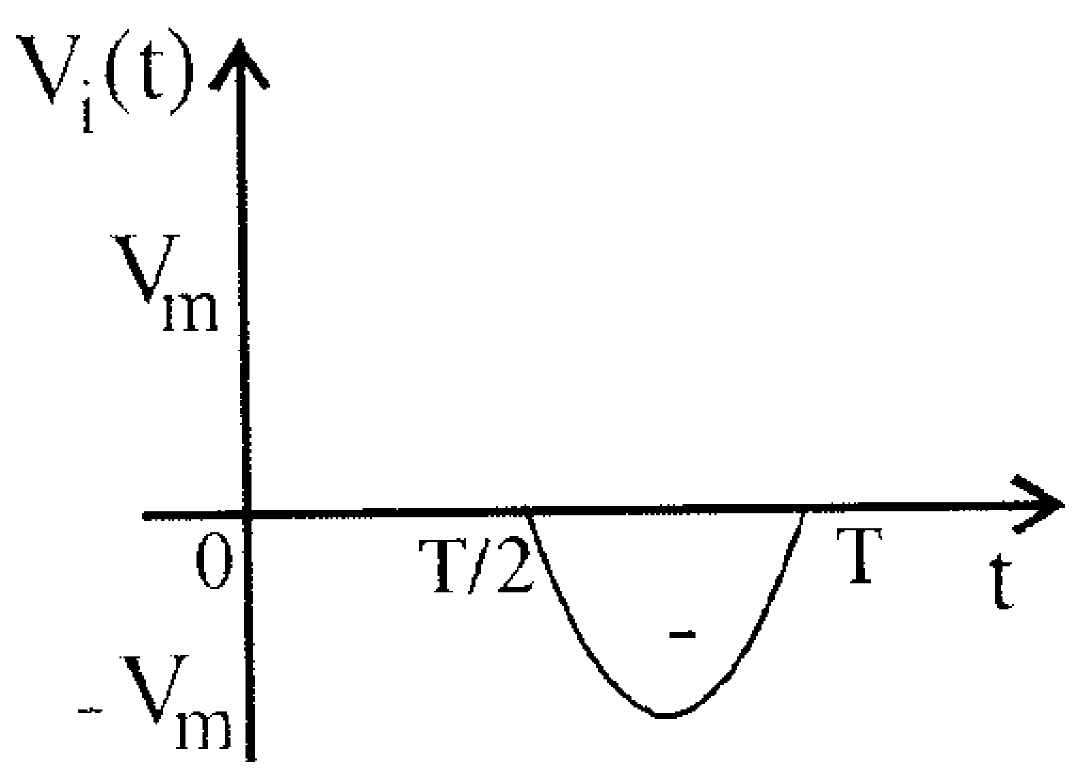


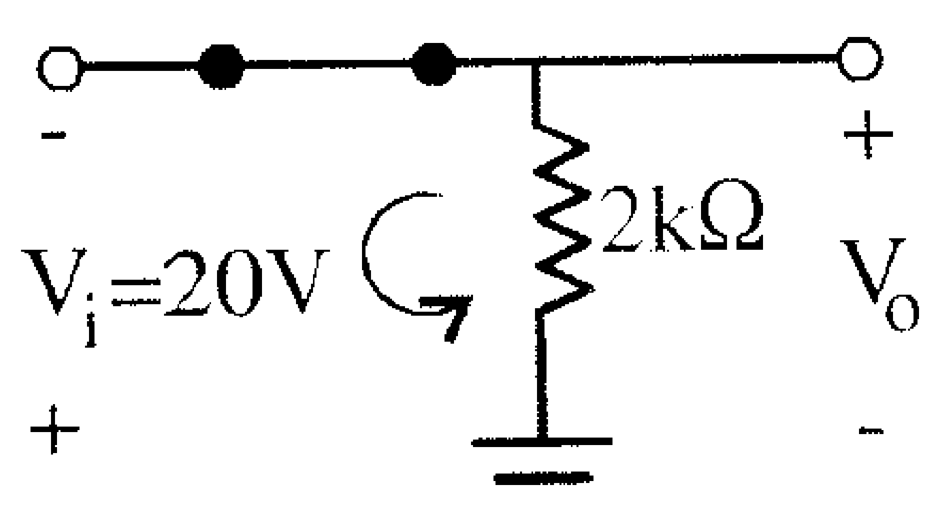


عندما يكون جهد الدخول نصف الموجة السالب يكون الثنائي في حالة توصيل

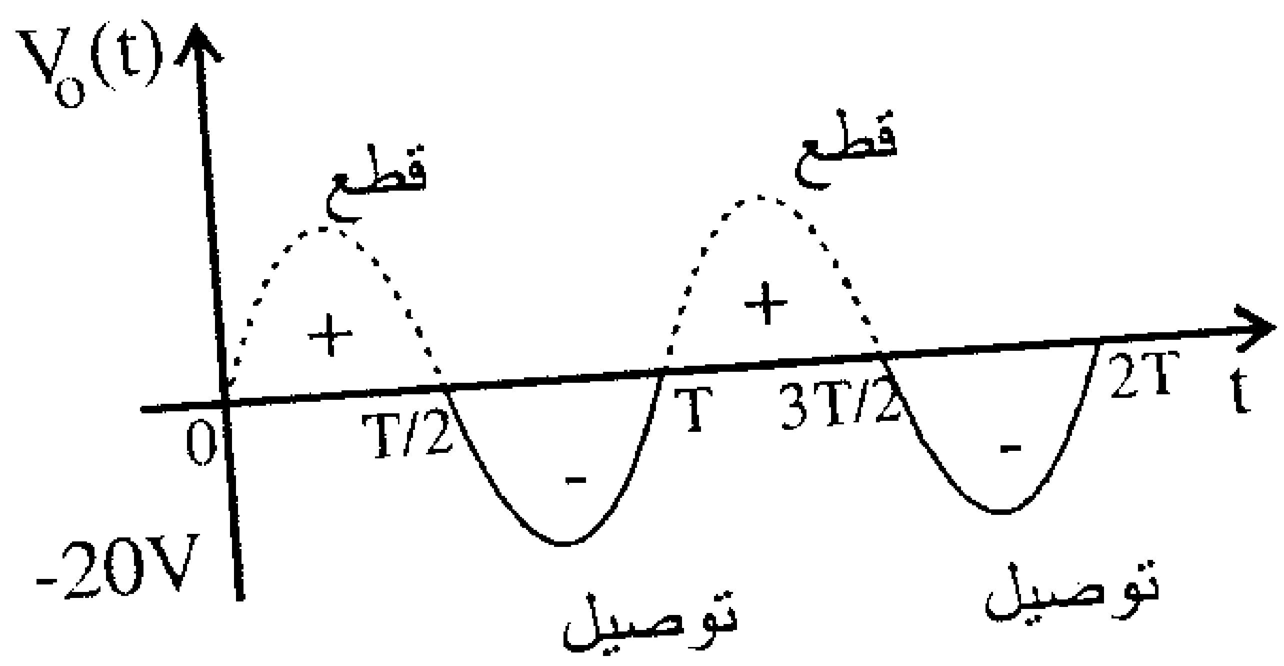
$$\therefore \; V_o = -V_R = -V_i$$

$$V_o = -20V$$



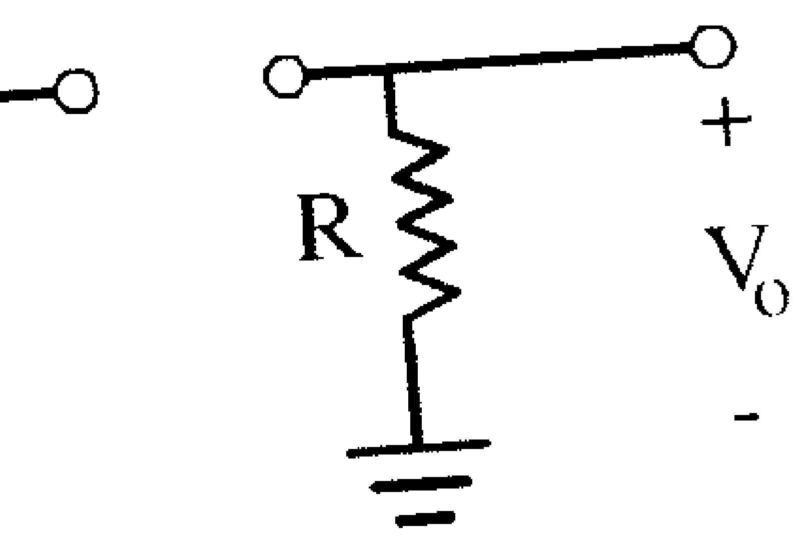


لنحصل على جهد خروج (مقوم نصف موجة) كما بالشكل التالي:



2- عند استخدام ثنائي السليكون :

:KVL

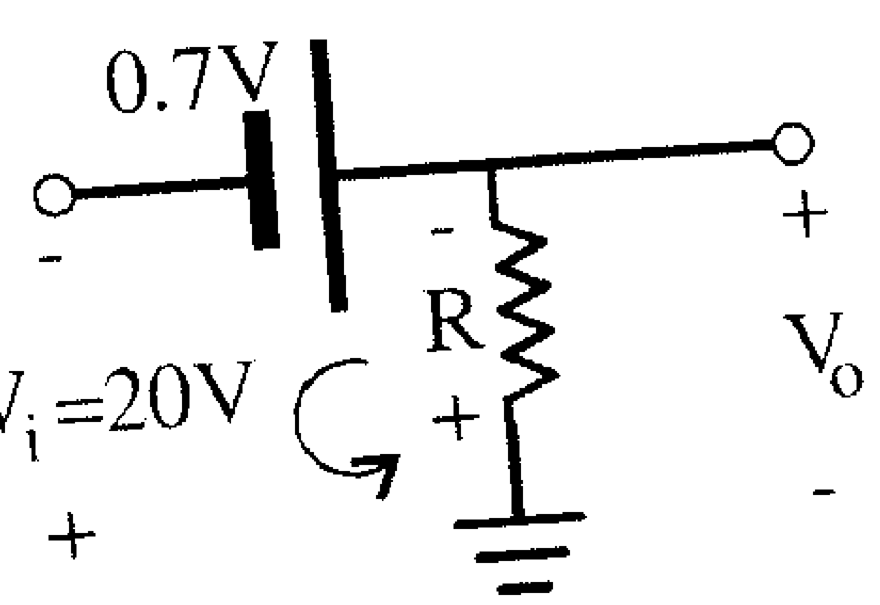


$$-V_i + V_D + V_R = 0$$

$$\because \qquad V_R = 0$$

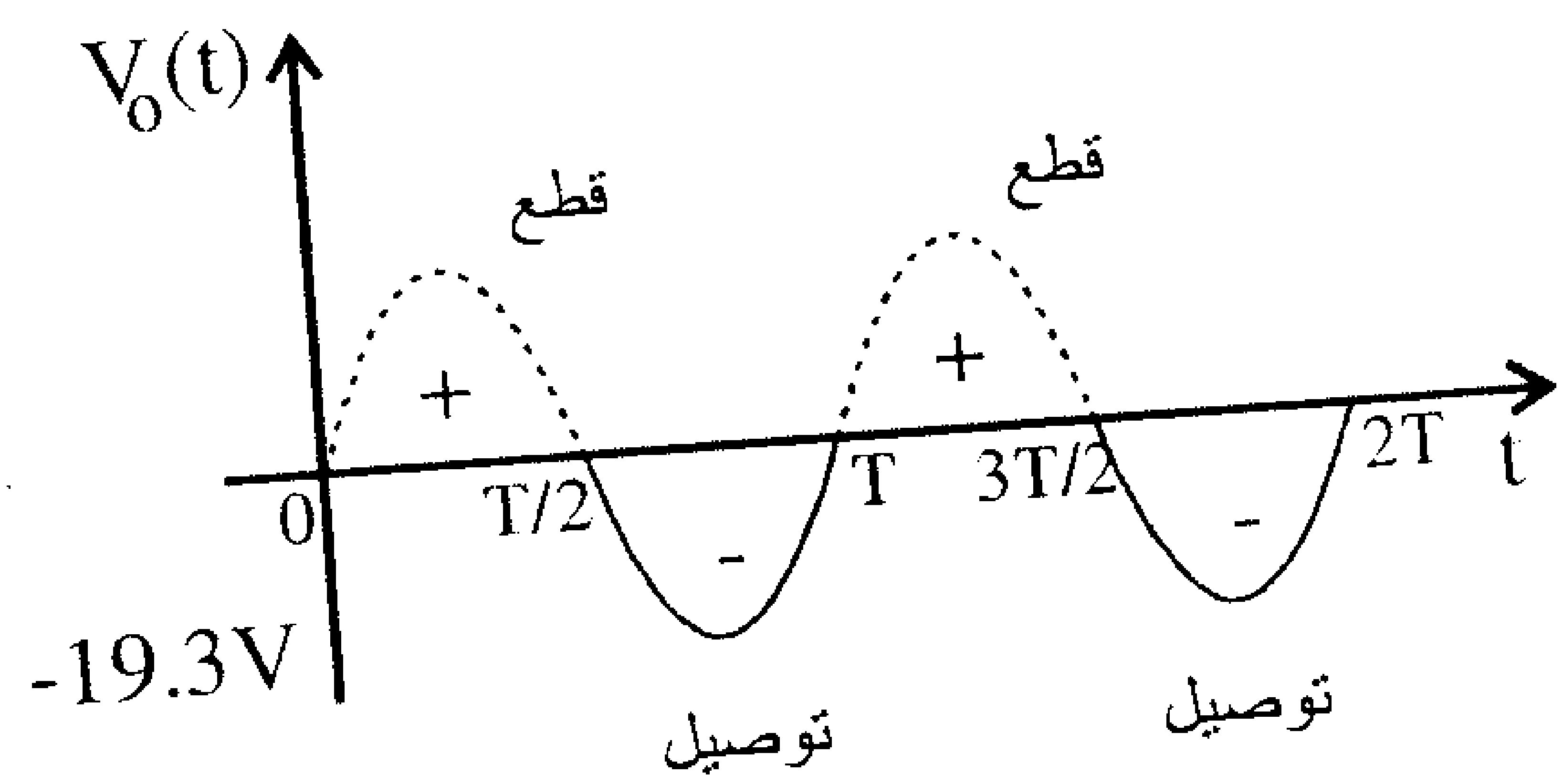
$$-V_i + V_D + V_o = 0$$

$$\therefore \qquad V_o = V_i - V_D$$

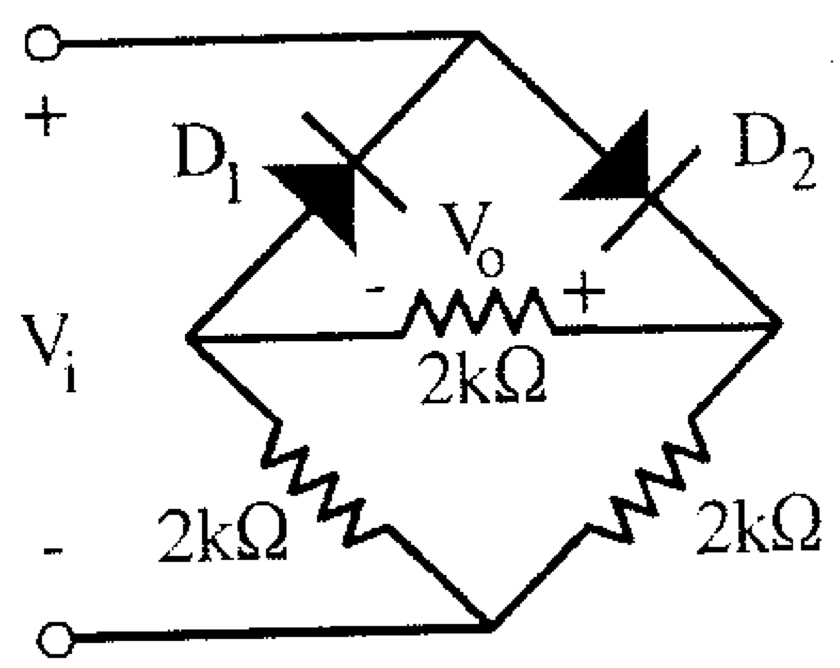


$$V_o = 20V - 0.7V = 19.3V$$

وبالتالي يكون شكل منحنى جهد الخروج كالتالي:



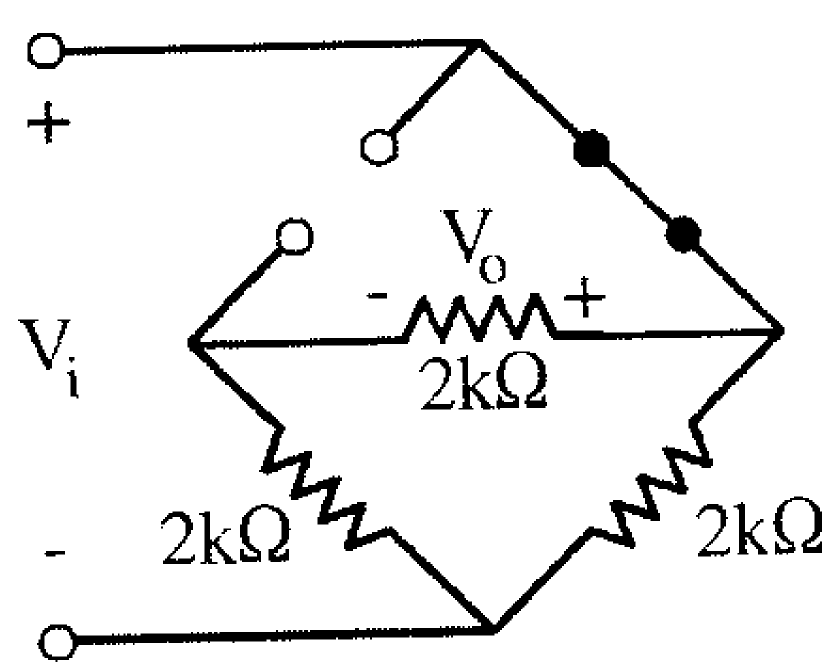
مثال2.9 من الدائرة بالشكل التالي أوجد قيمة وشكل موجة الخروج (V_o) .



إذا كان جهد الدخول معطى بالعلاقة:

$$V_i = 10 \sin \omega t$$

الحــل:

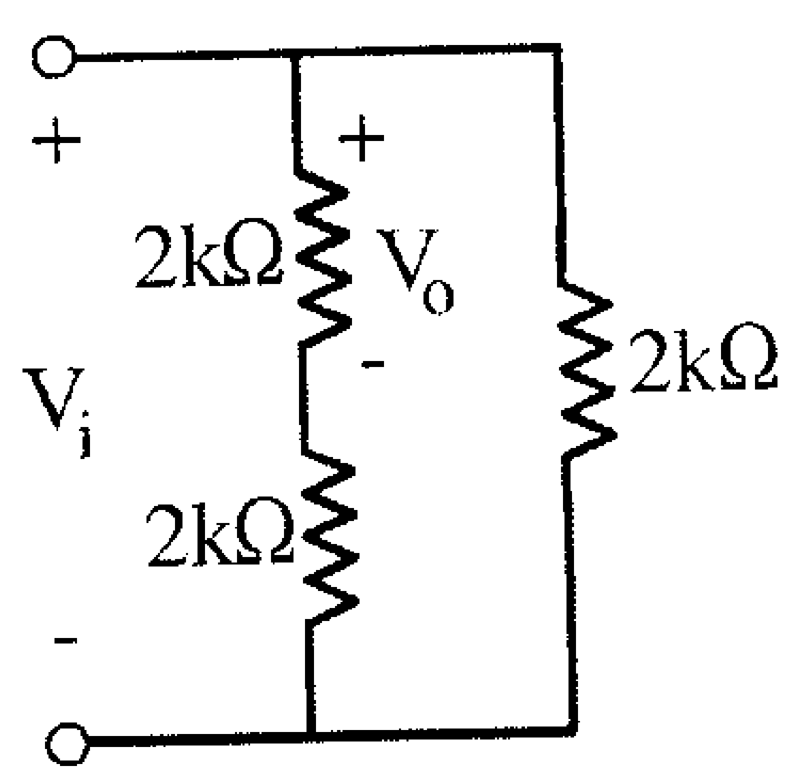


نصف الموجة الموجب:

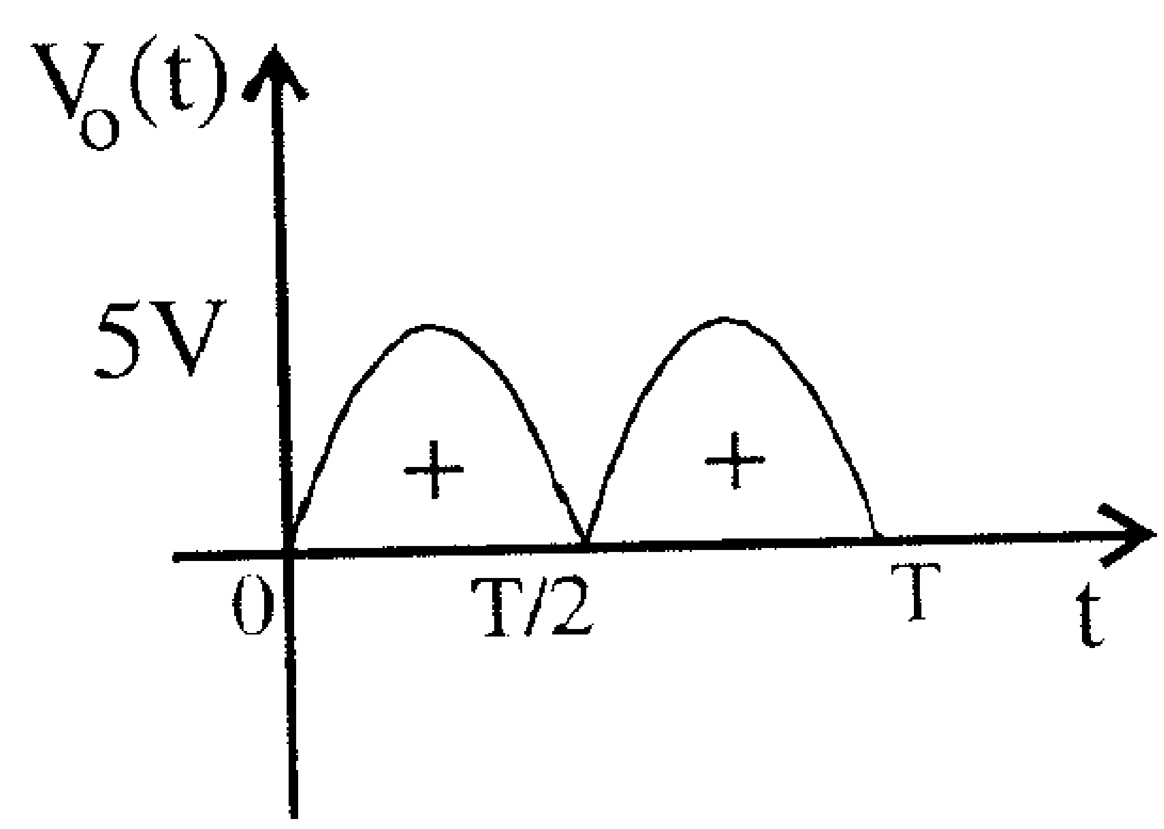
حالة قطع D_1

حالة توصيل D_2

$$V_o = \frac{(10V)(2k\Omega)}{2k\Omega + 2k\Omega} = \frac{20}{4} = 5V$$

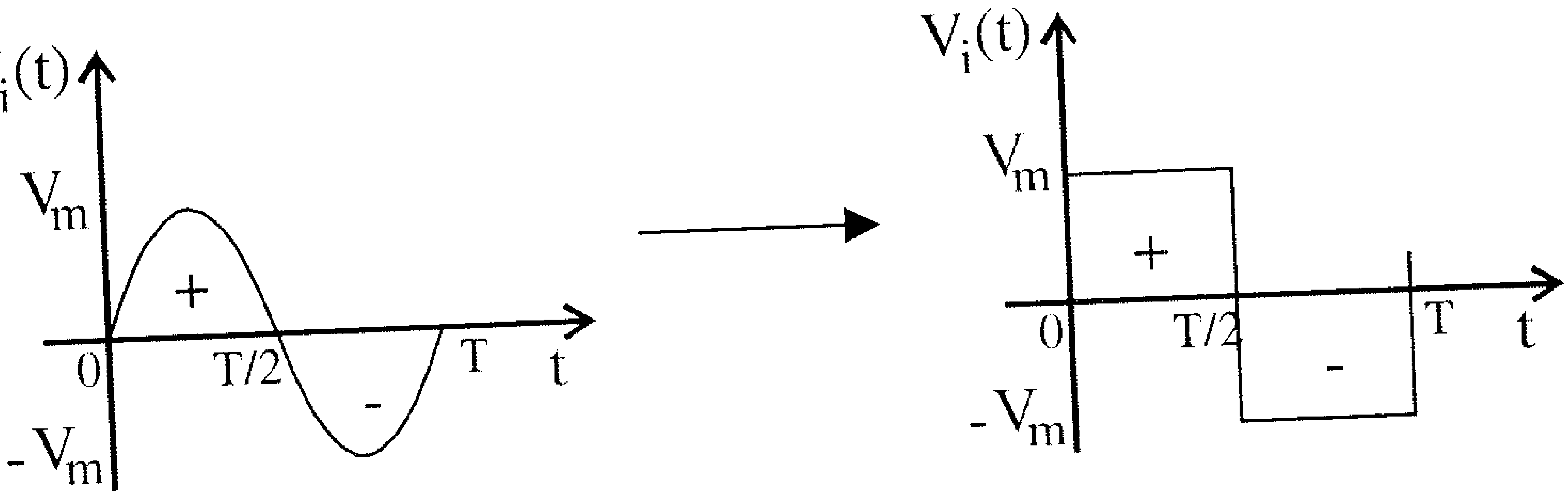


وفي حالة نصف الموجة السالب نتحصل على نفس الناتج ليكون شكل موجة الخروج:

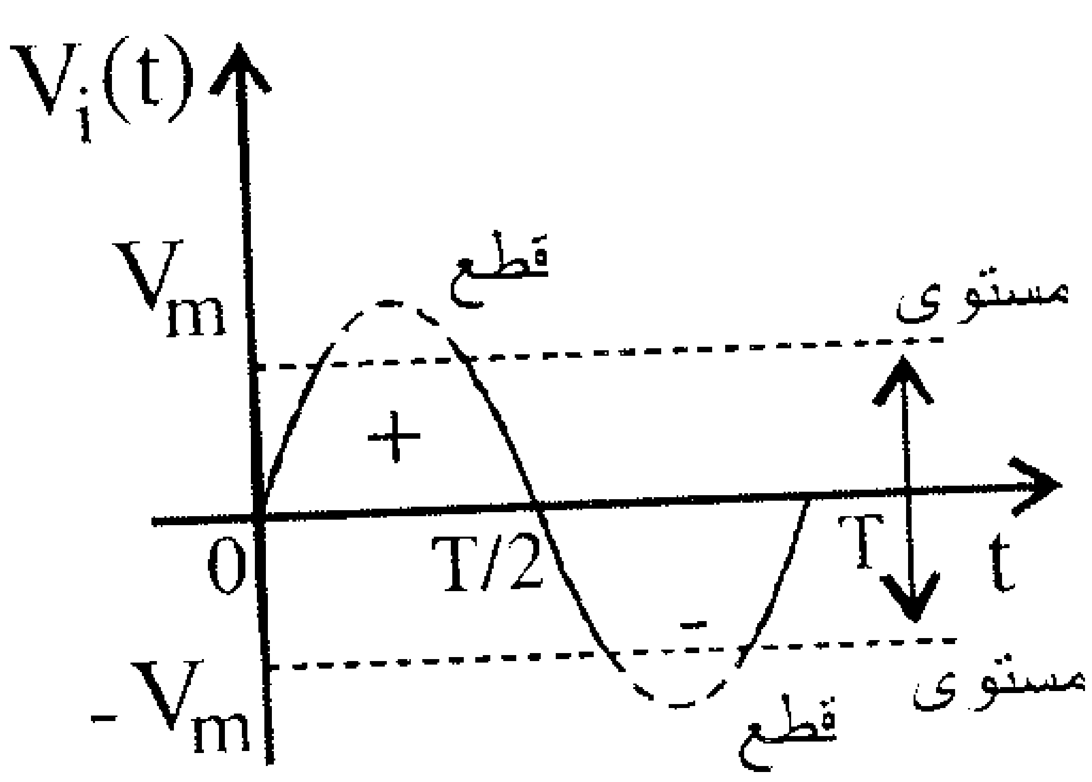


2.9 دوائر التقليم (القص) Clipping Circuits

في هندسة الإلكترونيات قد نجد ضرورة في بعض الأحيان إلى تغيير الشكل الهندسي لموجة ما من شكل معين إلى شكل آخر. مثال على ذلك تحويل الموجة الجيبية (Sin Wave) إلى موجة مربعة (Square Wave) كما بالشكل التالي:



لهذا الغرض يمكن استعمال دوائر التقليم للتخلص من الأجزاء غير المرغوب فيها من شكل موجة الدخول V_i دون تغيير الأجزاء المتبقية من الموجة ، ومن الأمثلة على ذلك:

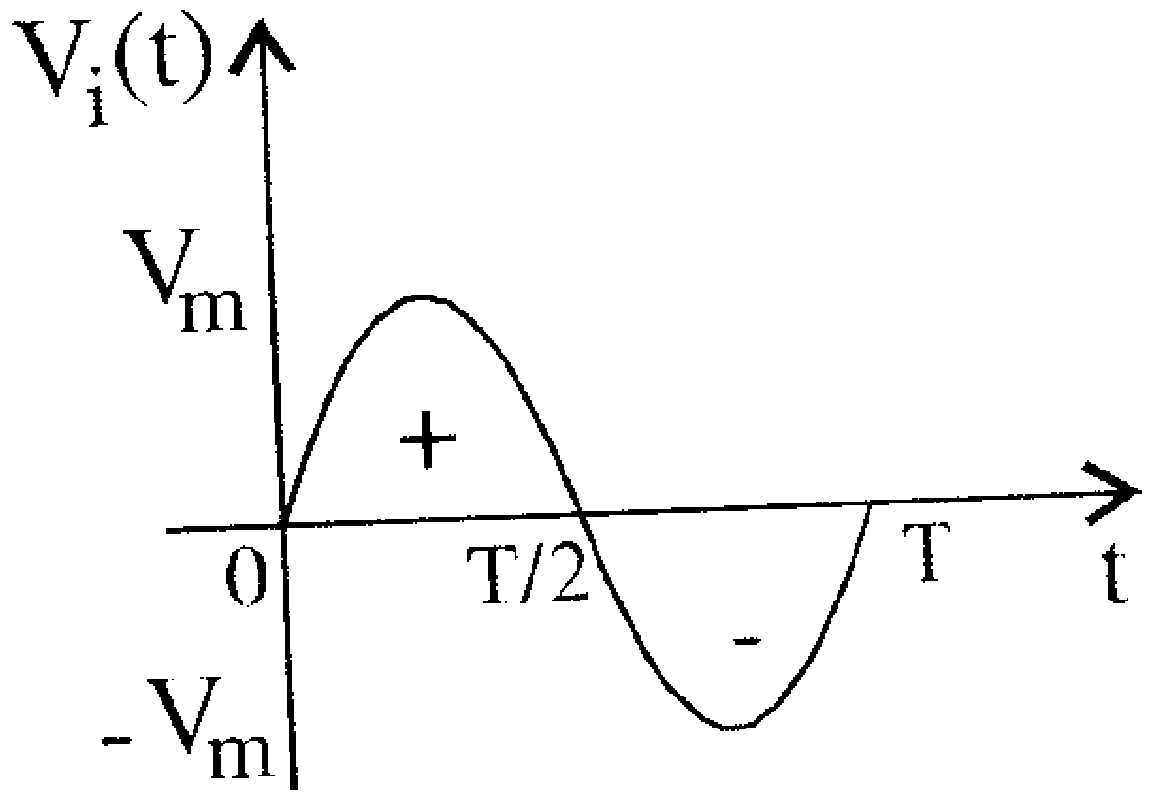


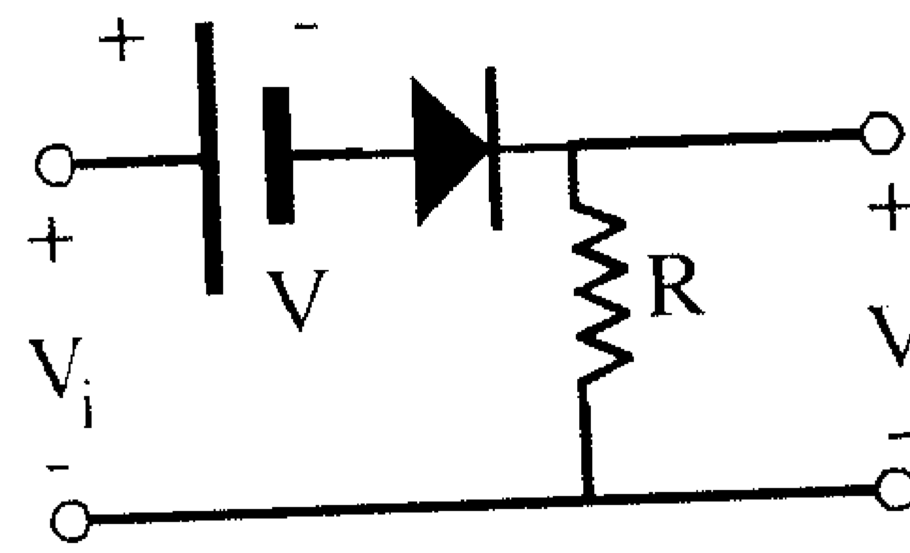
- التخلص من نبضات الضوضاء (التشويش) عالية المقدار.
- منع ازدياد الجهد عند مستوى معين (حصره بين مستويين) في الاتجاهين الموجب والسالب.

والثنائي يمكن أن يستخدم كمقلم نموذجي لأنه يسمح بمرور التيار في اتجاه واحد . ولذلك فهو يستخدم في تقليم أي جزء من الجهد وتوصيل دوائر التقليم على التوالي أو على التوازي.

أولاً : توصيل دوائر التقليم على التوالي.

يوصل الثنائي على التوالي مع Vi .





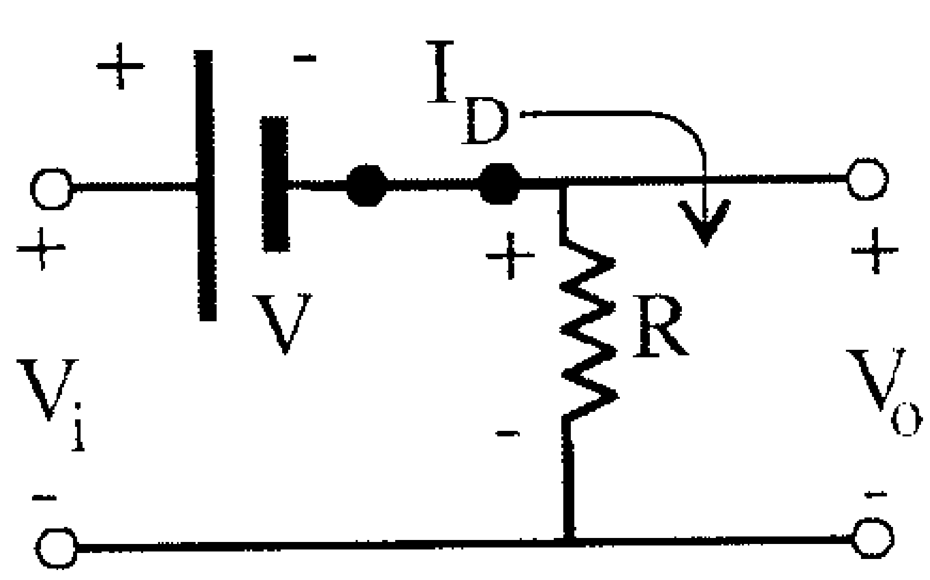
نلاحظ وجود مصدر جهد مستمر (DC) إضافي في الدائرة .

- في حالة ما يكون الجهد $V < Vi$: يكون الثنائي في حالة توصيل،أي انحياز أمامي (الجزء الموجب من موجة الدخول Vi).
- أما في حالة ما يكون جهد الدخولVi أقل من V فإن الثنائي في هذه الحالة يكون في حالة قطع أي انحياز عكسي (الجزء السالب من موجة الدخول Vi).
- يتم تحديد مستوى الانتقال للثنائي بوضع ($I_D = 0A$, $V_D = 0V$) هذا إذا كان الثنائي مثالياً.

أما إذا كان الثنائي من السليكون فنضع ($I_D = 0A$, $V_D = 0.7V$)

من الجرمينيوم ($I_D = 0A$, $V_D = 0.3V$)

ومن الدائرة المكافئة في الشكل التالي يمكن تحديد مستوى الانتقال :



باستخدام (KVL):

$$V_i - V - V_R = 0$$

$$V_i - V - V_o = 0$$

لأن $V_R = V_o$ بالتوازي

$$\because \; V_o = I_R R$$

$$= I_D R$$

ومن الفرضية:

$$\because \; I_D = 0A$$

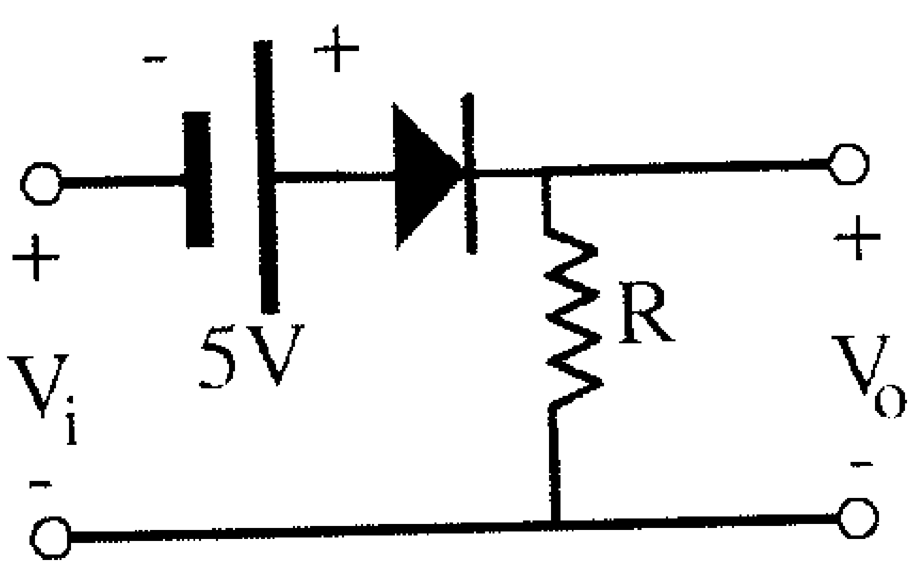
$$\therefore \; V_o = (0A)\, R = 0V$$

$$\therefore \; V_i - V - V_o = 0$$

$$V_i - V - 0 = 0$$

$$V_i = V$$

مثال3.9 للدائرة في الشكل التالي حدد شكل موجة الخروج إذا علمت أن :



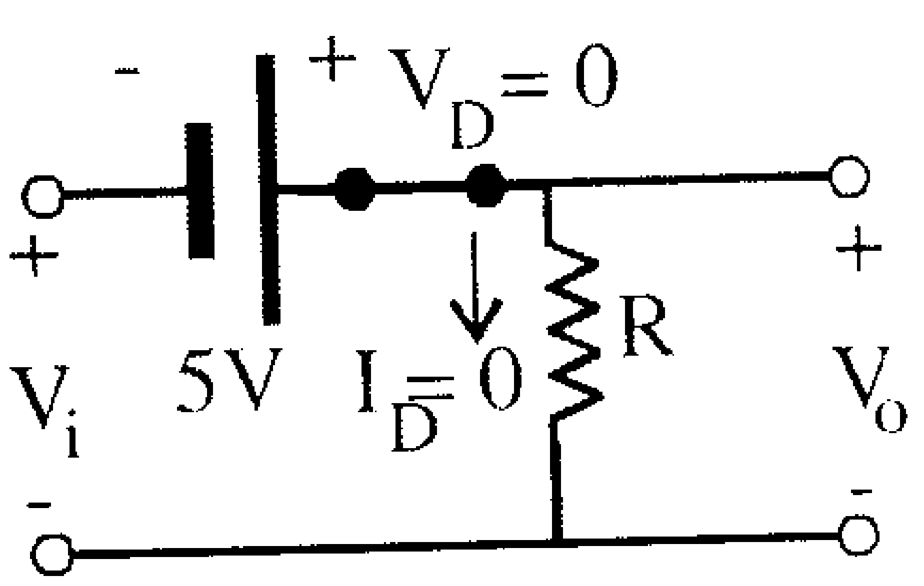
$$V_i = 20 \sin \omega t$$

والثنائي من النوع المثالي.

الحــل:

في الجزء الموجب من موجة الدخول يكون الثنائي في حالة توصيل لأن $V_i > V$
لأن $20V > 5V$

من (KVL) :



$$V_i + V - V_R = 0$$

$$V_i + V - V_o = 0$$

$$V_o = V_i + 5V$$

لتحديد مستوى الانتقال للثنائي المثالي :
$(I_D = 0A\ ,\ V_D = 0V)$

$$\therefore\ V_o = V_R = I_R R = I_D R = 0V$$

$$\because\ V_o = V_i + 5V$$

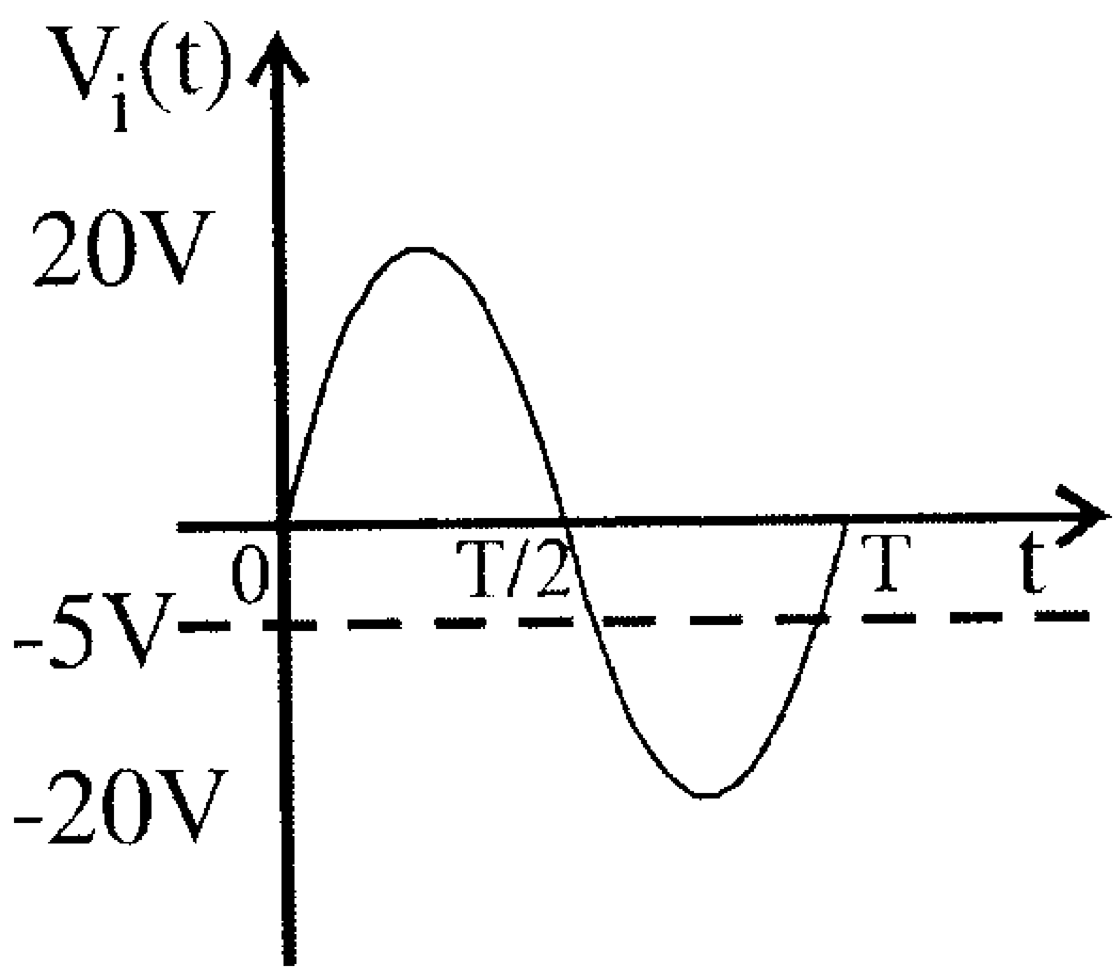
$$0V = V_i + 5V$$

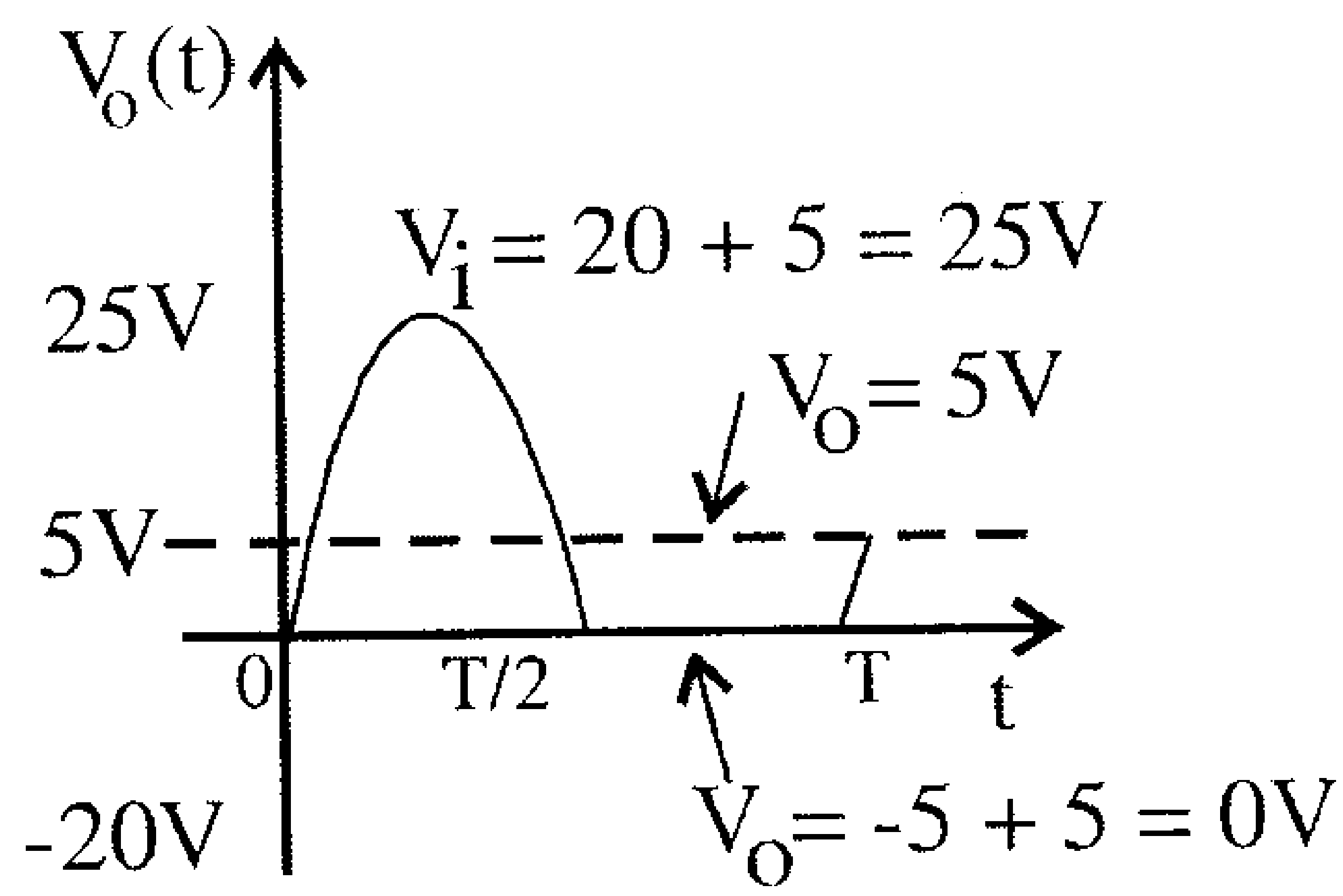
$$\therefore\ V_i = -5V$$

إذا يكون مستوى الانتقال عندما يكون الجهد ($V_i = -5V$) وبالتالي يكون الثنائي:

في حالة توصيل $V_i > -5V$

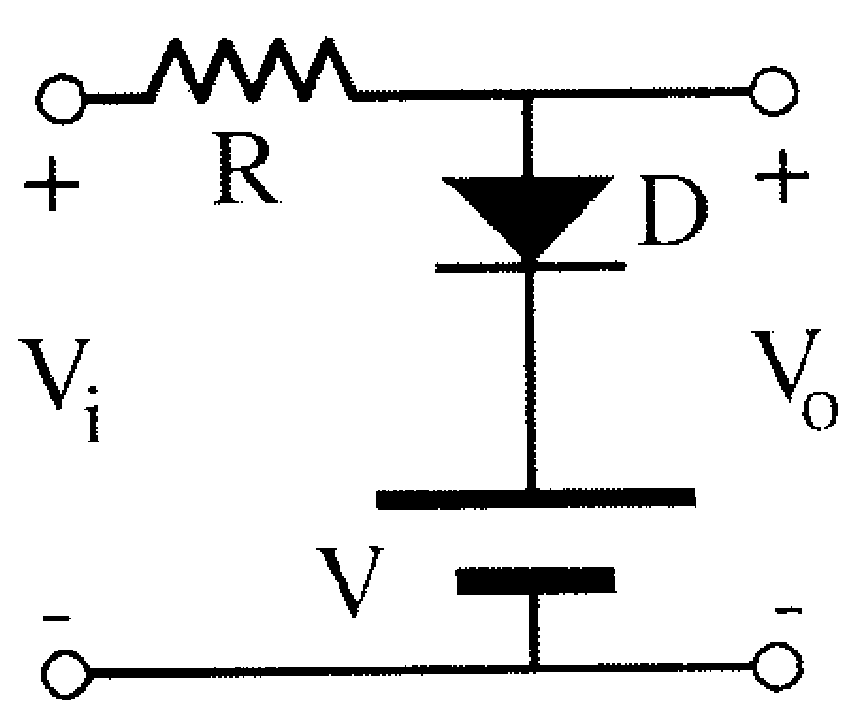
في حالة قطع $V_i < -5V$



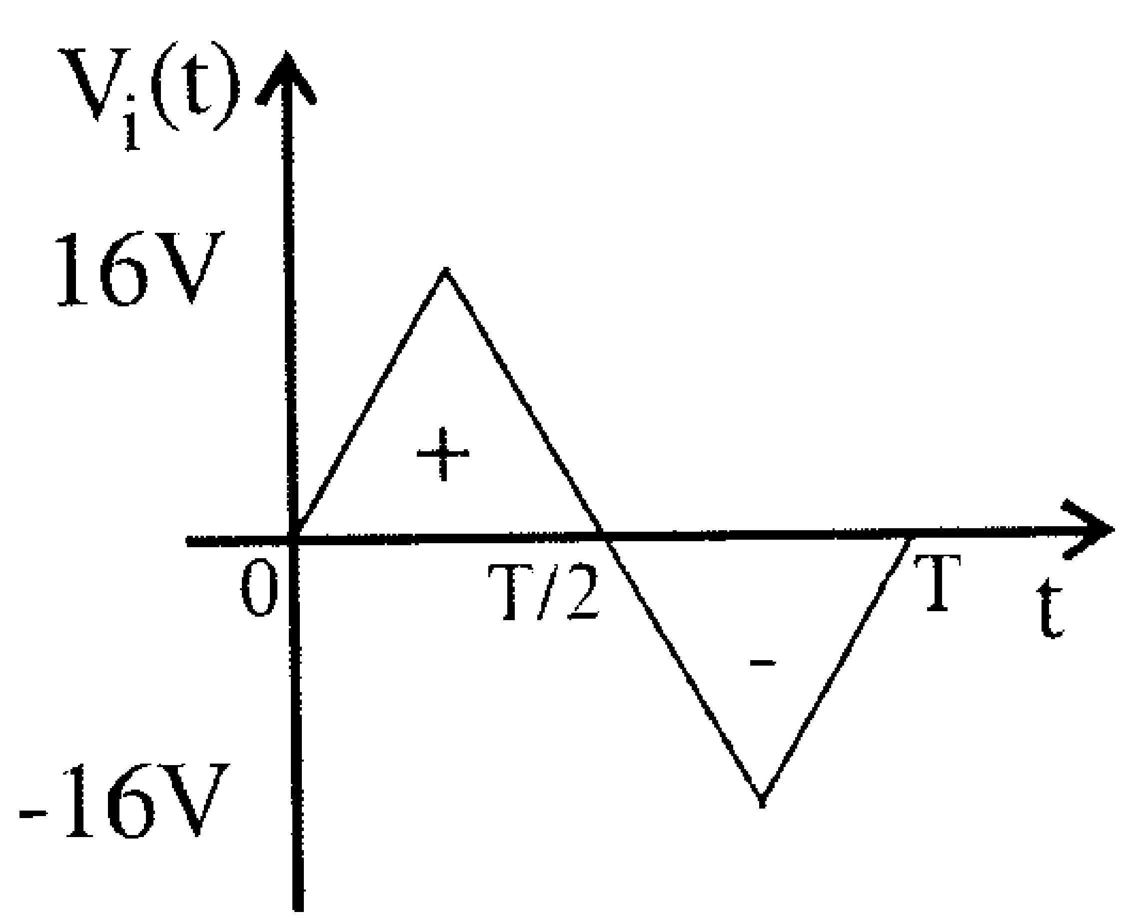


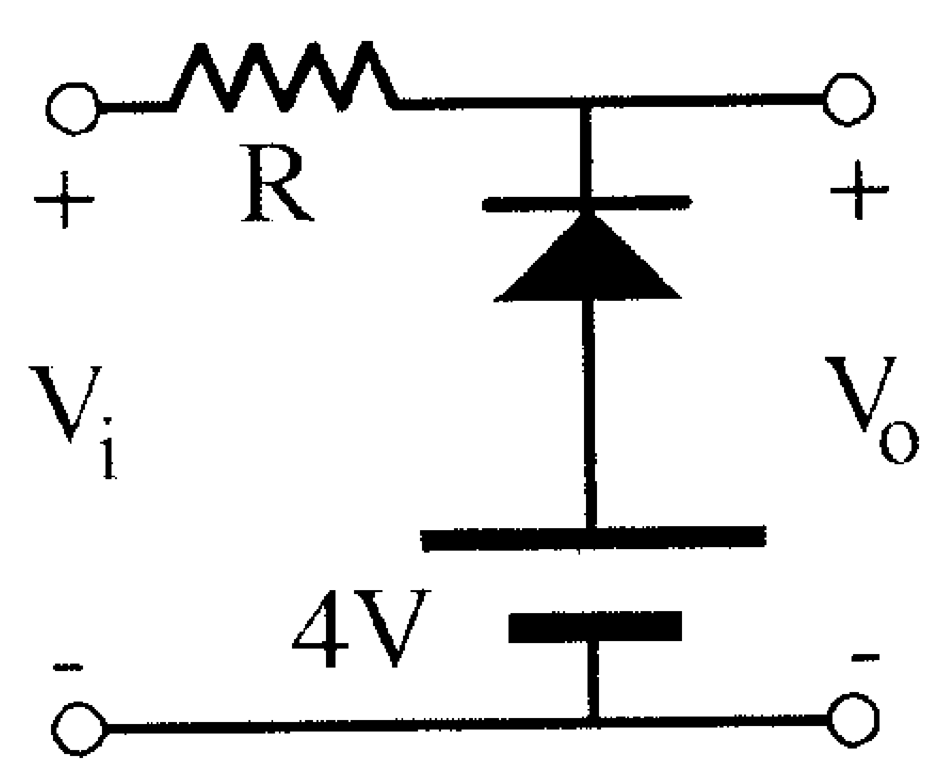
ثانياً:توصيل دوائر التقليم على التوازي.

يوصل الثنائي على التوازي مع جهد الدخول V_i كما بالشكل التالي:

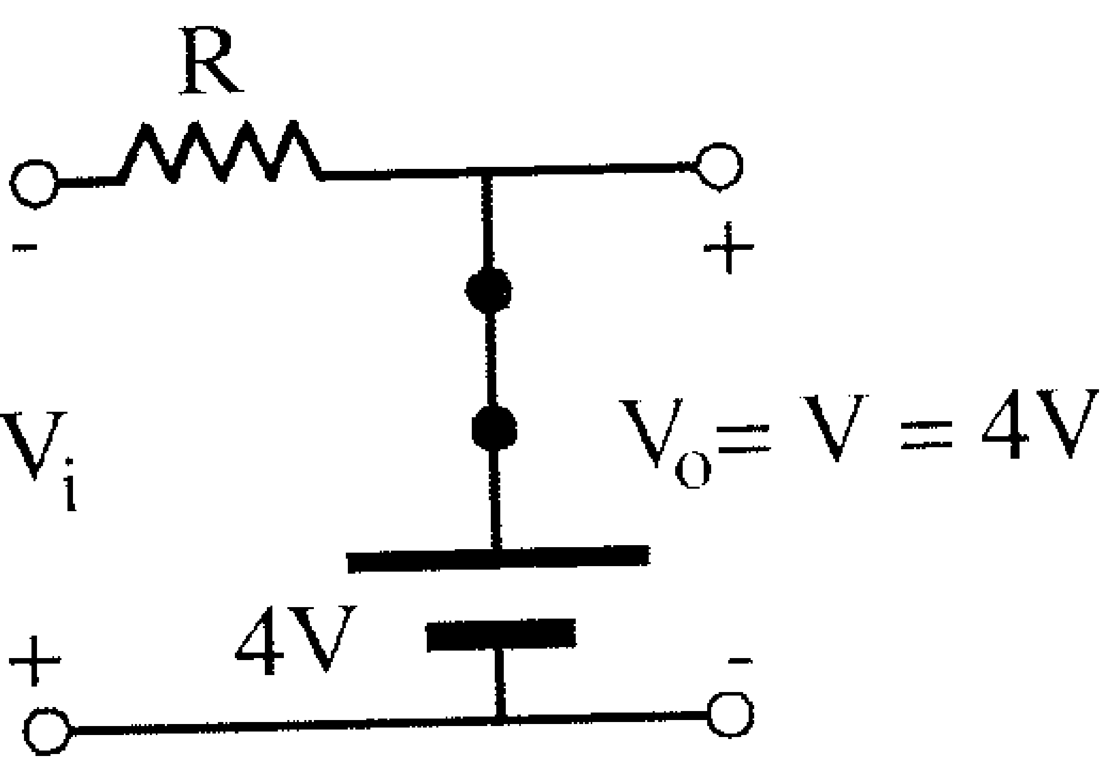


مثال4.9 من دائرة الثنائي بالشكل التالي حدد شكل موجة الخروج V_o ،(علماً بأن الثنائي من النوع المثالي).

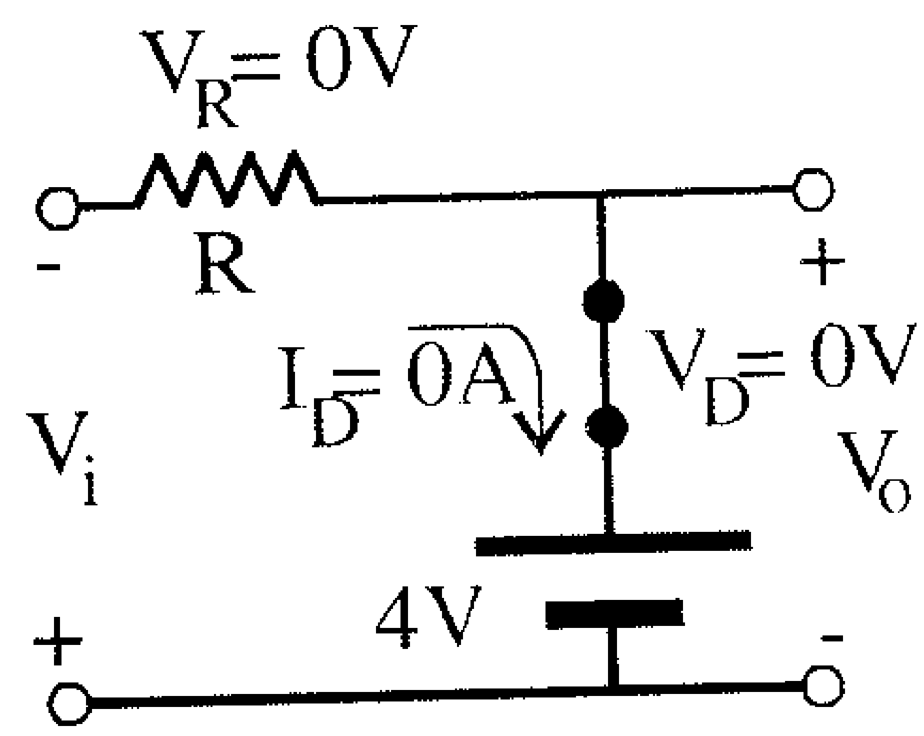




الحـــل:



الجزء الموجب من موجة الدخول ($16V$) يجعل الثنائي في حالة قطع (انحياز عكسي)،أما الجزء السالب من موجة الدخول($-16V$) فيجعل الثنائي في حالة توصيل (انحياز أمامي) ،وهذا يرجع إلى وضعية مصدر الجهد (V) واتجاه سهم الثنائي:



لتحديد مستوى الانتقال للثنائي المثالي نضع

$$(\ I_D = 0A\ ,\ V_D = 0V\ )$$

:KVL

$$V_i - V_R - V_D - V = 0$$

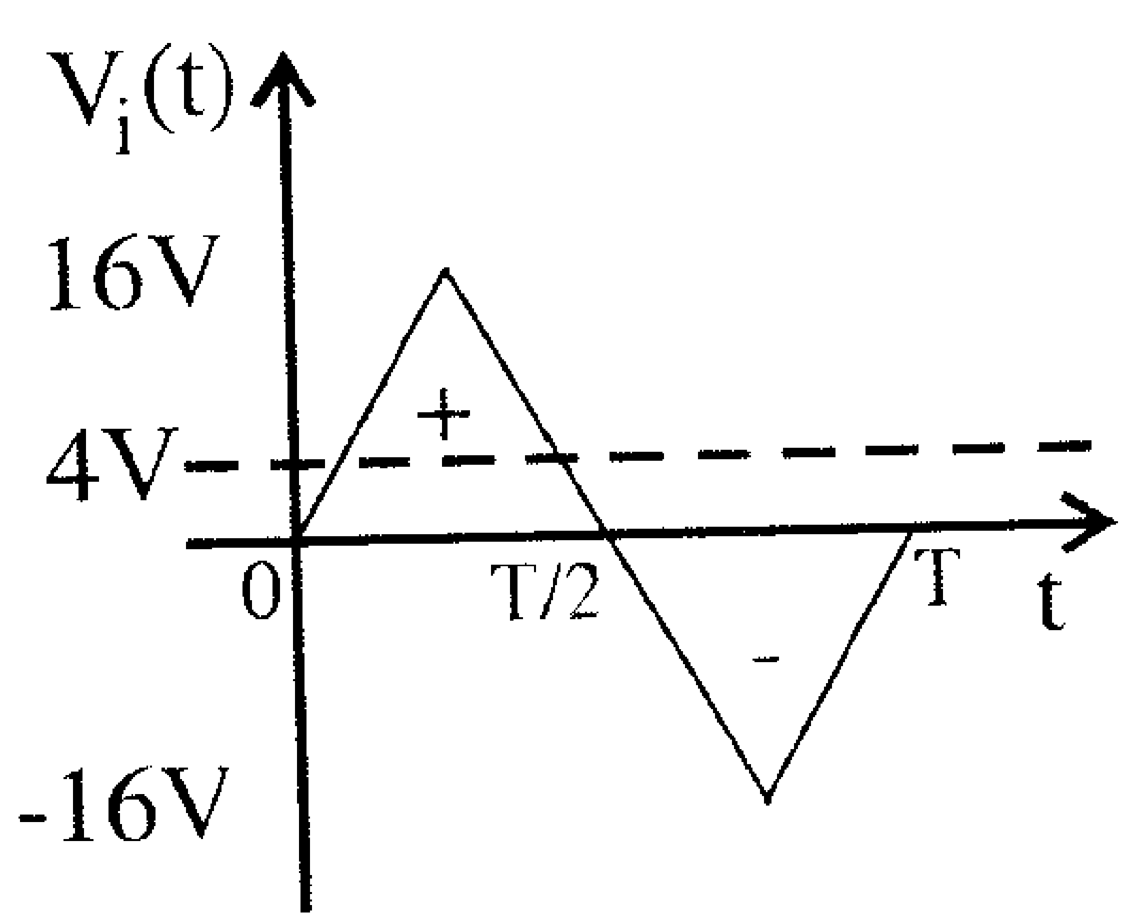
$$\because\ \ V_R = I_D\, R$$

$$= (\ 0A\ )\, R = 0$$

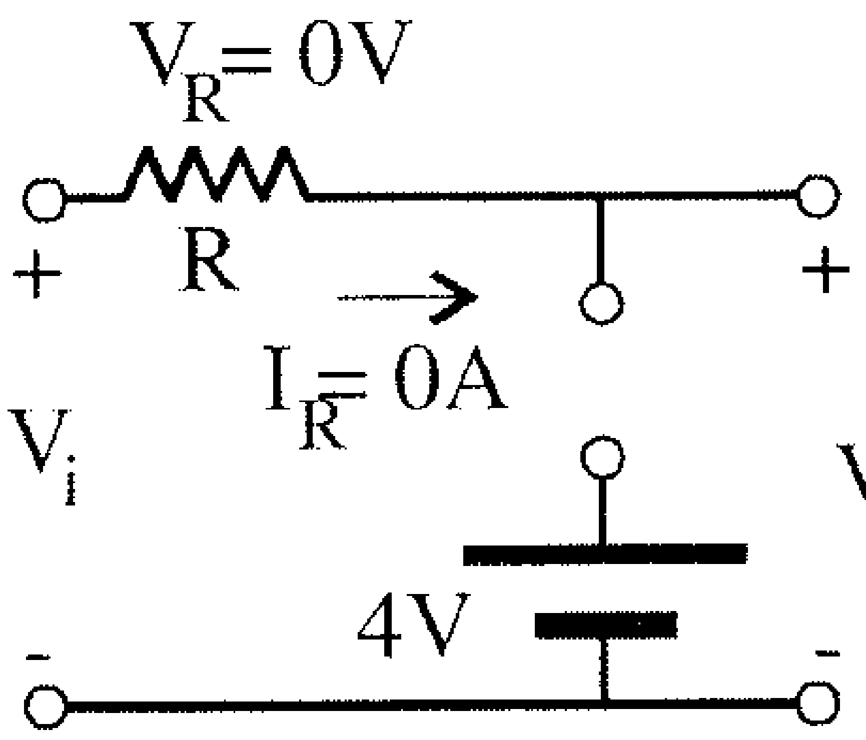
$$\therefore\ V_i - 0 - 0 - V = 0$$

$$V_i = V = 4V$$

إذاً لكي يكون الثنائي في حالة قطع يجب أن يكون جهد الدخول ($V_i > 4V$) وأي جهد دخول ($V_i < 4V$) يكون الثنائي في حالة توصيل. وتحديد مستوى الانتقال على موجة الدخول كالتالي:

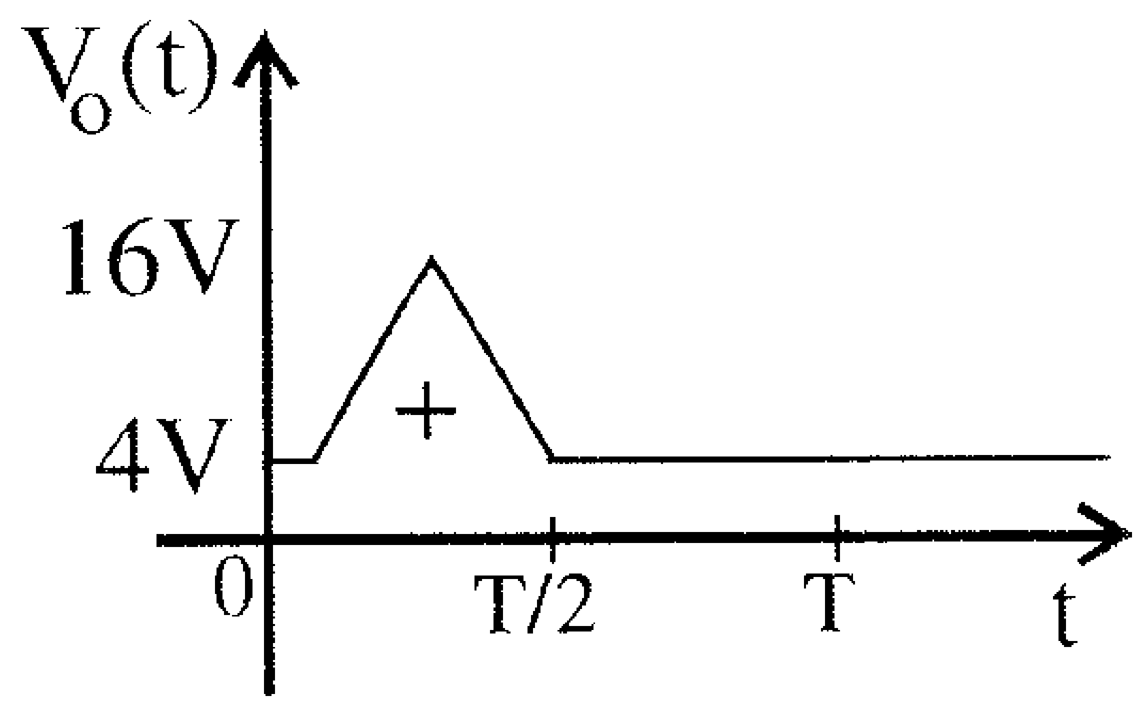


وحالة القطع للثنائي يمكن تمثيلها في الدائرة المكافئة التالية:



$$V_i = V_o$$

لتكون موجة الخروج على الشكل التالي:

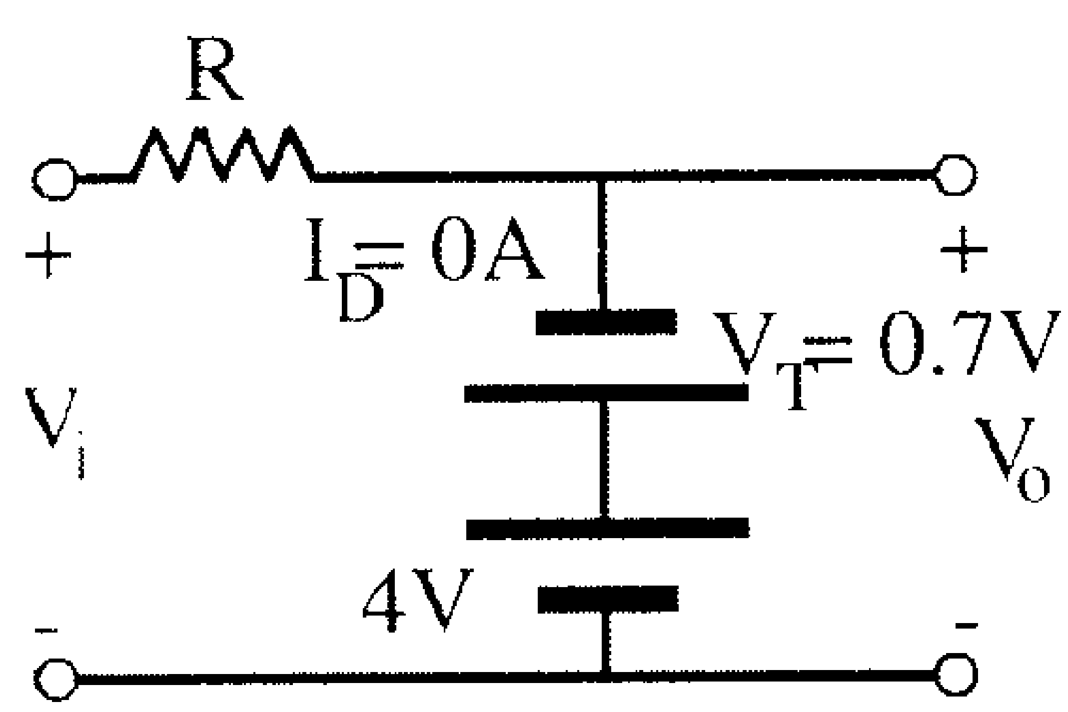


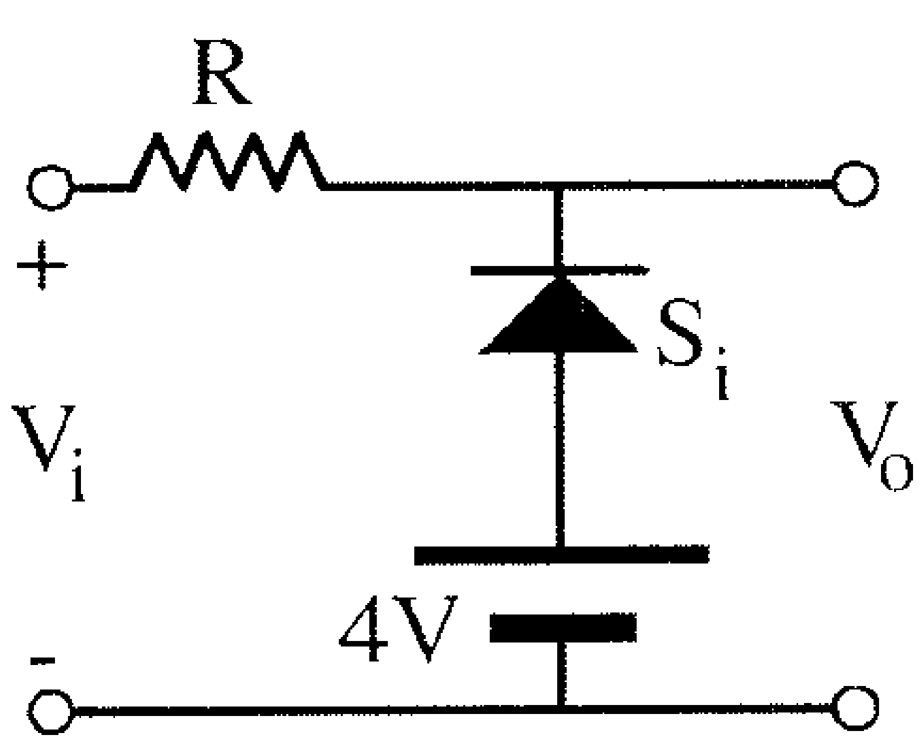
مثال5.9 من المثال السابق استبدل الثنائي المثالي بثنائي السليكون لتقليم الموجة:

$$V_i = 16 \sin \omega t$$

الحــل:

نفس الخطوات المتبعة في حل المثال السابق مع الأخذ بعين الاعتبار عند تحديد مستوى الانتقال ($V_D = 0.7V$) لثنائي السليكون ($I_D = 0A$) .





KVL:

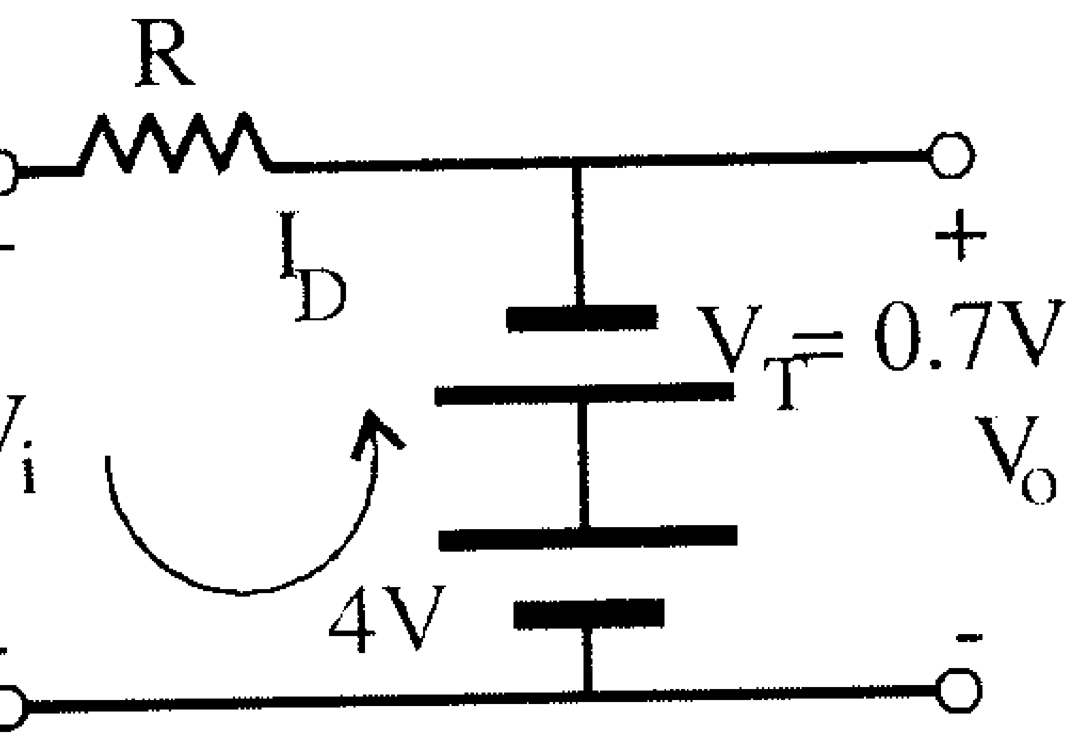
$$V_i - V_R + V_T - V = 0$$

$$V_i + V_T - V = 0$$

$$V_i = V - V_T = 4V - 0.7V$$

$$V_i = 3.3V$$

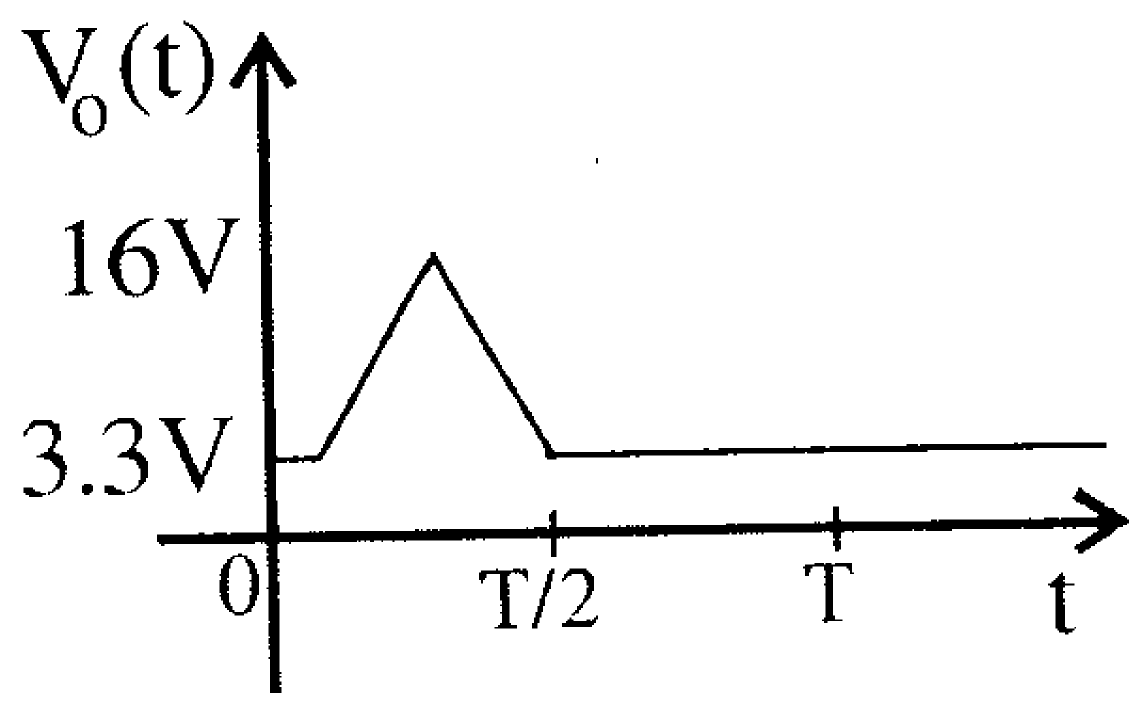
إذاً لكي يكون الثنائي في حالة توصيل يجب أن يكون ($V_i < 3.3V$) ،وأي جهد دخول
($V_i > 3.3V$) يكون الثنائي في حالة قطع.



KVL:

$$V - V_T - V_o = 0$$

$$V_o = V - V_T = 4V - 0.7V = 3.3V$$



الفصل العاشر

1.10 طريقة عمل ثنائي زينر

2.10 ثنائي زينر كمنظم للجهد.

ثنائي زينر Zener Diode

1.10 طريقة عمل ثنائي زينر

الثنائي العادي يشتغل في حالة الانحياز الأمامي ولا يشتغل في حالة الانحياز العكسي، لأن الزيادة في التيار عند جهد الانهيار سوف تؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الثنائي وبالتالي إلى إتلافه لأنه غير مصمم لتبديد هذا الارتفاع في درجات الحرارة.

أما ثنائي زينر،الذي سمي بهذا الاسم نسبة إلى العالم زينر، فهو يعمل كثنائي عادي في حالة الانحياز الأمامي،ولكن في حالة الانحياز العكسي تتكون منطقة مستنفدة (خالية من حاملات الشحنة)،وبزيادة جهد الانحياز العكسي تزداد هذه المنطقة في الاتساع ولكن إلى حد معين لأن هذا الاتساع تحكمه أبعاد البلورة المستخدمة.

سؤال: ما الذي يجعل ثنائي زينر يشتغل في حالة الانحياز العكسي؟

هناك تيار تسرب عكسي يعرف بتيار التشبع العكسي يمر عبر الثنائي في حالة الانحياز العكسي،وهذا التيار يعتمد على حاملات الشحنة الأقلية في كل من النوع السالب والموجب وكذلك على تحرير حاملات الشحنة الأقلية في المنطقة المستنفدة نتيجة للإثارة الحرارية وقيمة تيار التسرب هذه تبقى ثابتة بزيادة جهد الانحياز العكسي حتى نقطة الوصول إلى جهد الانهيار لثنائي زينر (V_Z) .

عند هذا الجهد،والذي يعرف بجهد الانهيار العكسي، فإن التيار المار في الثنائي يزداد بسرعة.

تقدير القدرة:

زيادة التيار العكسي عن الحد المسموح به وهو القيمة القصوى للتيار (I_{zMax}) سوف تتسبب في إتلاف الثنائي وثنائي زينر صمم بحيث يستطيع تبديد القدرة المتولدة بداخله نتيجة مرور التيار فيه، أي التخلص من الحرارة الناتجة بداخله ،ولكل ثنائي تيار أقصى محدد لا يجب تجاوزه حتى يتم المحافظة عليه من التلف.

من قانون القدرة:

$$P = I\,V$$

أقصى قدرة لثنائي زينر:

$$P_{Zmax} = I_{Zmax}\, V_Z$$

حيث :

V_Z جهد زينر

I_{Zmax} أقصى تيار لزينر

ويتم التحكم في التيار المار عبر الثنائي في منطقة الانهيار بتوصيله على التوالي مع مقاومة خارجية،ويجب عدم تخطي القدرة القصوى للثنائي أي عدم تشغيل الثنائي بتيار أكبر من تيار زينر الأقصى(I_{Zmax}) .

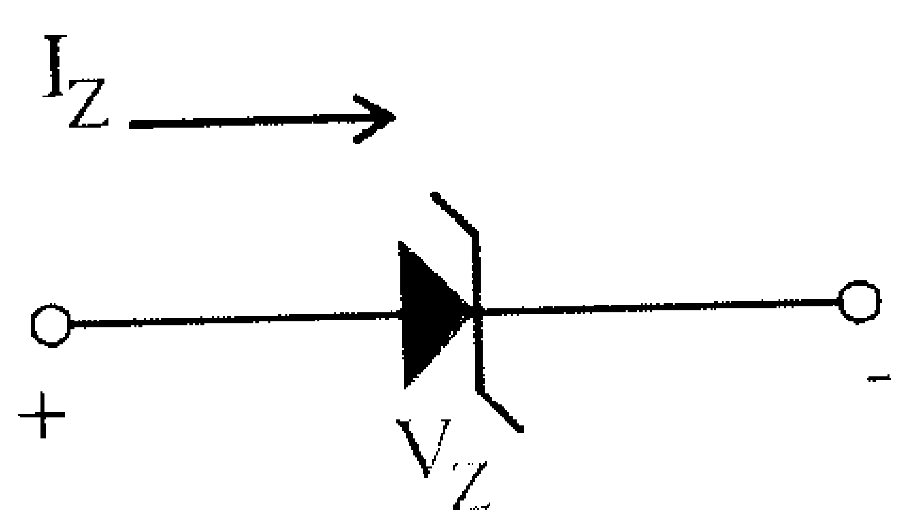
استعمالات ثنائي زينر:

من أهم استخداماته:

1- منظم للجهد لأنه بتغير التيار يبقى الجهد ثابتاً.

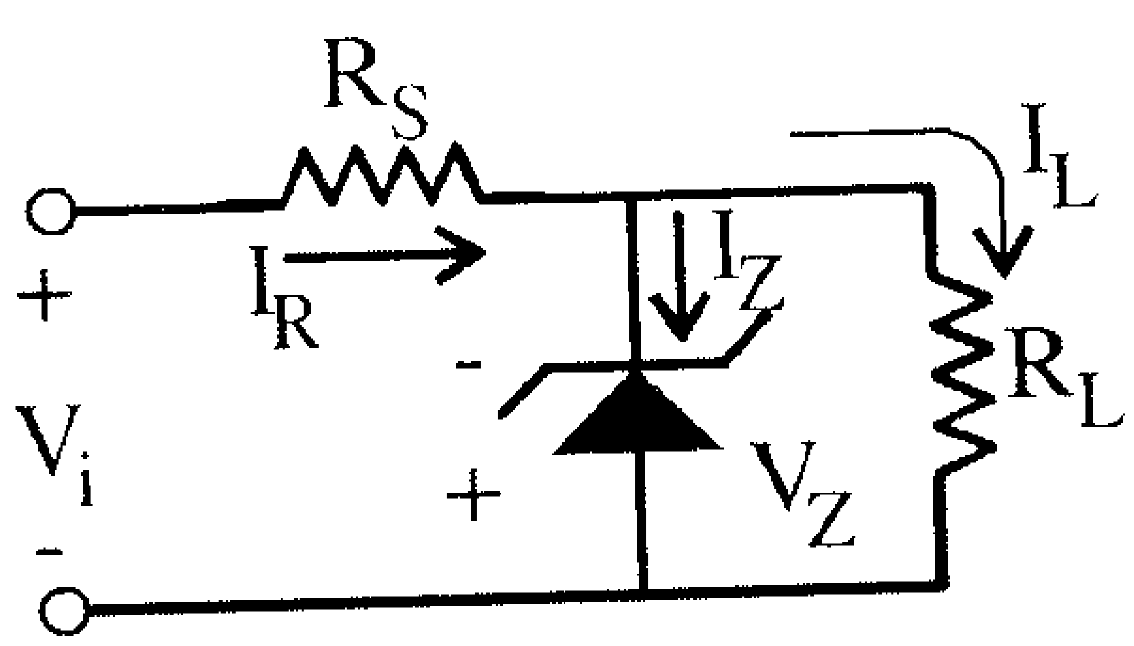
2- مقلم للجهد المتغير مع الزمن أي تحديد جهد الخروج بين مستويين.

رمز ثنائي زينر:



2.10 ثنائي زينر كمنظم للجهد.

<u>أولاً: مقاومة حمل متغيرة (R_L) وجهد دخول ثابت (V_i) .</u>

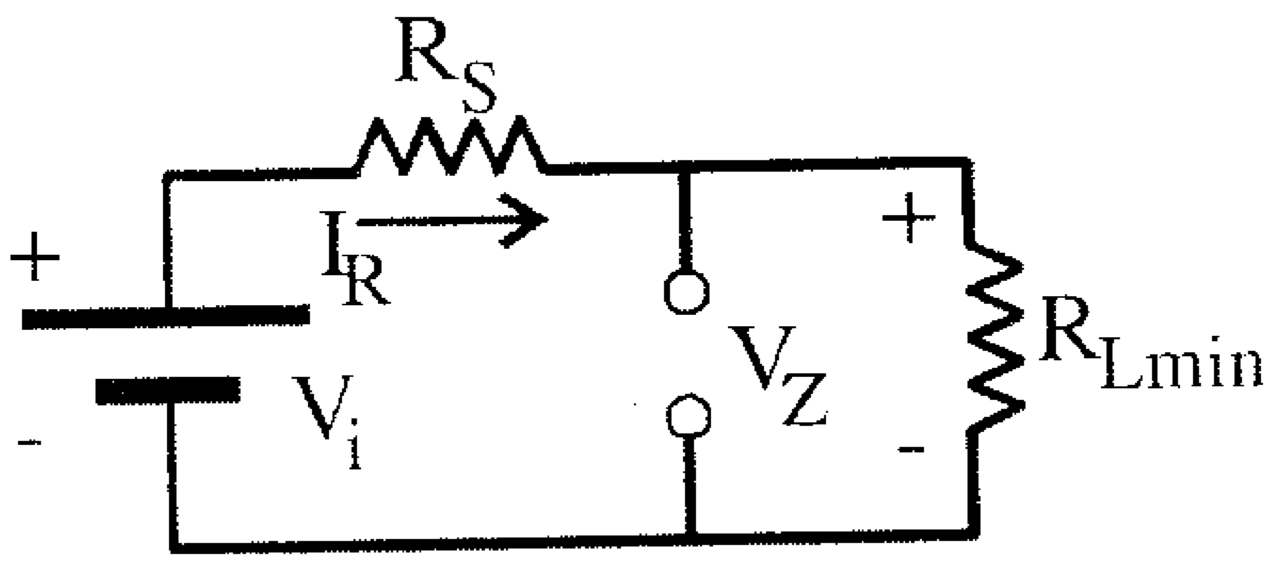


في هذه الحالة تكون دائرة زينر كالتالي:

يجب تعيين أقل قيمة لمقاومة الحمل (R_{Lmin}) التي تجعل الثنائي في حالة توصيل (أي الوصول إلى جهد الانهيار V_Z).

ويتم تعيين هذه المقاومة بفرض أن الثنائي مازال في حالة قطع لتكون الدائرة المكافئة

كالتالي:



من قانون مجزئ الجهد وباعتبار أن $V_L = V_Z$ بالتوازي:

$$V_L = V_Z = \frac{(R_{L\min})(V_i)}{R_S + R_{L\min}}$$

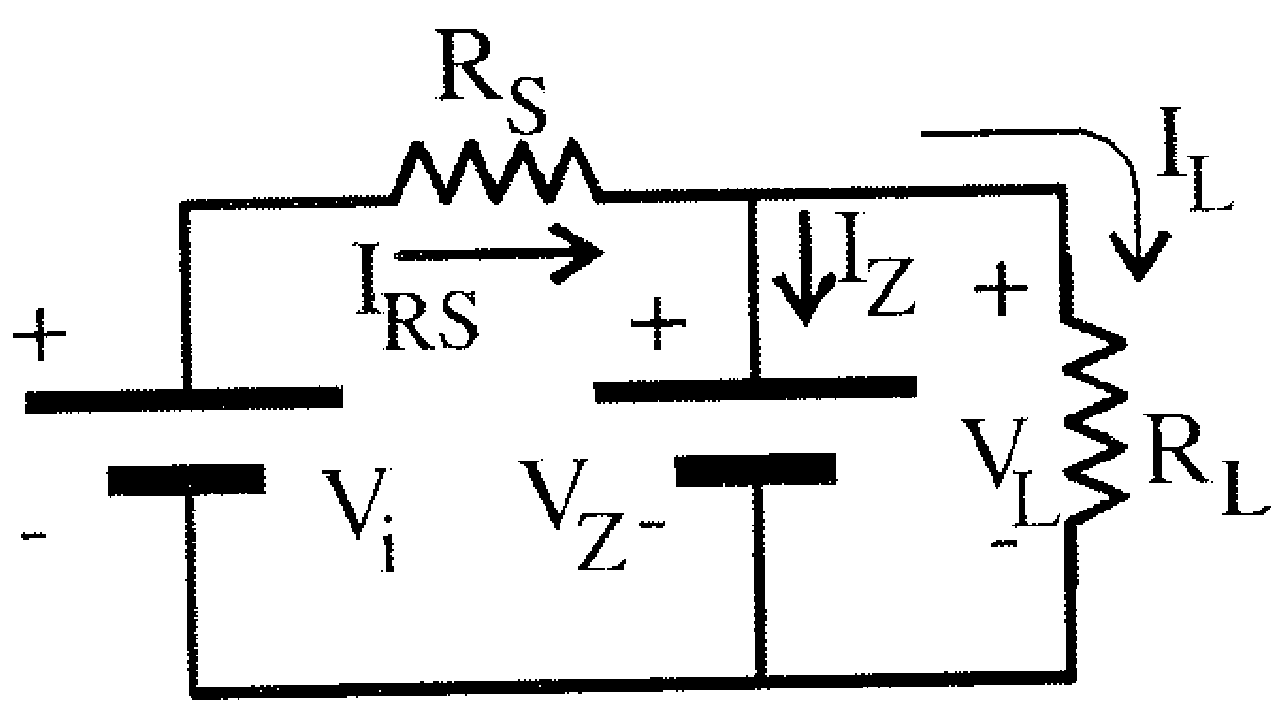
ومنها يمكن إيجاد R_{Lmin}

$$V_Z R_S + V_Z R_{Lmin} = V_i R_{Lmin}$$

$$R_{Lmin} (V_i - V_Z) = V_Z R_S$$

$$R_{L\min} = \frac{V_Z R_S}{V_i - V_Z}$$

وأي مقاومة أكبر من R_{Lmin} تجعل الثنائي في حالة توصيل،ويمكن في هذه الحالة استبدال الثنائي بمصدر جهد مكافئ كما في الشكل التالي:



من قانون أوم :

$$R = \frac{V}{I}$$

أي أن (R) تتناسب عكسياً مع (I)، فعندما تكون المقاومة R_{Lmin} يكون التيار I_{Lmax}

وبما أن $V_L = V_Z$ بالتوازي إذاً:

$$I_{L\max} = \frac{V_L}{R_{L\min}} = \frac{V_Z}{R_{L\min}}$$

بوصول الثنائي إلى حالة التوصيل عند جهد زينر يبقى جهد المقاومة V_{RS} ثابتاً :

KVL:

$$V_i - V_{RS} - V_Z = 0$$

$$V_Z = V_i - V_{RS} \qquad , V_{RS} = V_i - V_Z$$

وكذلك التيار يبقى ثابتاً:

$$I_{RS} = \frac{V_{RS}}{R_S}$$

من قانون كرشوف للتيار:

KCL:

$$I_{RS} = I_Z + I_L$$

$$I_L = I_{RS} - I_Z$$

ولكن للثنائي تيار معين لا يمكن تجاوزه حفاظاً على الثنائي من التلف يسمى (I_{Zmax}) وتحدده الشركة المصنعة ومبين في مواصفات كل ثنائي:

وحيث أن I_{RS} = ثابت إذاً:

$$I_Z\,(\,Min\,) \longrightarrow I_L\,(\,Max\,)$$

$$I_Z\,(\,Max\,) \longrightarrow I_L\,(\,Min\,)$$

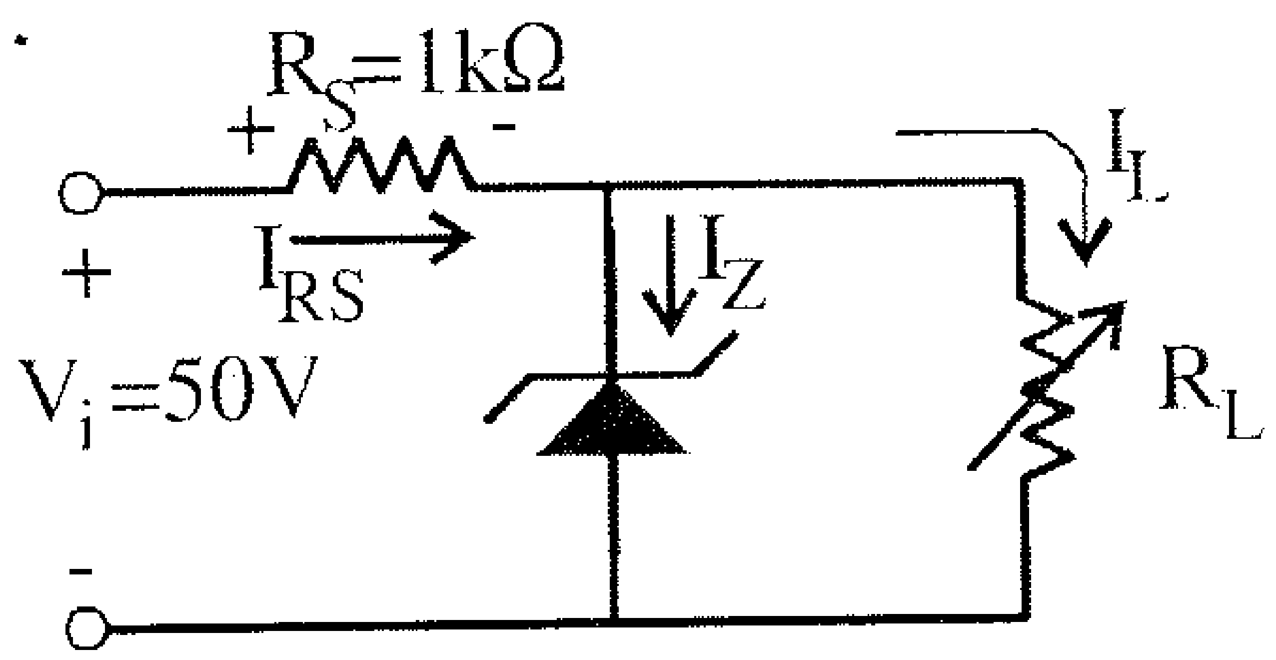
$$\therefore\ I_{Lmin} = I_{RS} - I_{Zmax}$$

$$I_{Lmax} = I_{RS} - I_{Zmin}$$

وأقصى مقاومة حمل تبقي الثنائي في حالة توصيل دون اجتياز الحد الأقصى المسموح به لتيار زينر هي :

$$R_{L\max} = \frac{V_Z}{I_{L\min}}$$

مثال1.10 في الدائرة المبينة بالشكل التالي :



1- أوجد أصغر وأكبر قيمة لتيار ومقاومة الحمل.

2- أحسب أقصى قدرة لثنائي زينر إذا علمت أن:

. ($I_{Z\max} = 32mA$, $V_Z = 10V$)

الحــل:

تعيين $R_{L\min}$ التي تجعل الثنائي في حالة توصيل:

$$R_{L\min} = \frac{V_Z\,R_S}{V_i - V_Z} = \frac{(10)(1000)}{50-10} = \frac{10000}{40} = 250\,\Omega$$

$$V_{RS} = V_i - V_Z = 50V - 10V = 40V$$

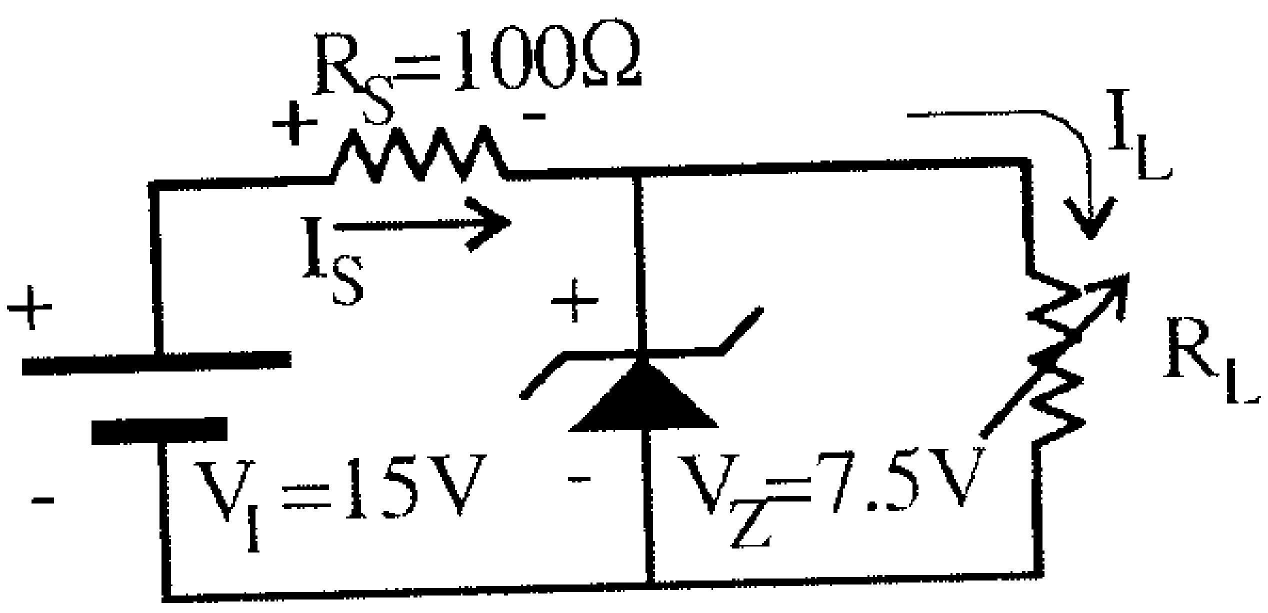
$$I_{RS} = \frac{V_{RS}}{R_S} = \frac{40}{1000} = 40mA$$

$$I_{L\min} = I_{RS} - I_{Z\max} = 40mA - 32mA = 8mA$$

$$I_{L\max} = \frac{V_L}{R_{L\min}} = \frac{V_Z}{R_{L\min}} = \frac{10V}{250\Omega} = 40mA$$

$$R_{L\max} = \frac{V_Z}{I_{L\min}} = \frac{10V}{8mA} = 1.25k\Omega$$

$$P_{Z\max} = V_Z\,I_{Z\max} = (10V)(32mA) = 320mW$$



مثال2.10 في الدائرة المبينة بالشكل التالي أوجد أصغر وأكبر قيمة للتيار المار في مقاومة الحمل (I_L)،وكذلك التيار المار في ثنائي زينر (I_Z)، ثم احسب أقصى قدرة لثنائي زينر علماً بأن : $R_{Lmin} = 150\Omega$, $R_{Lmax} = 250\Omega$.

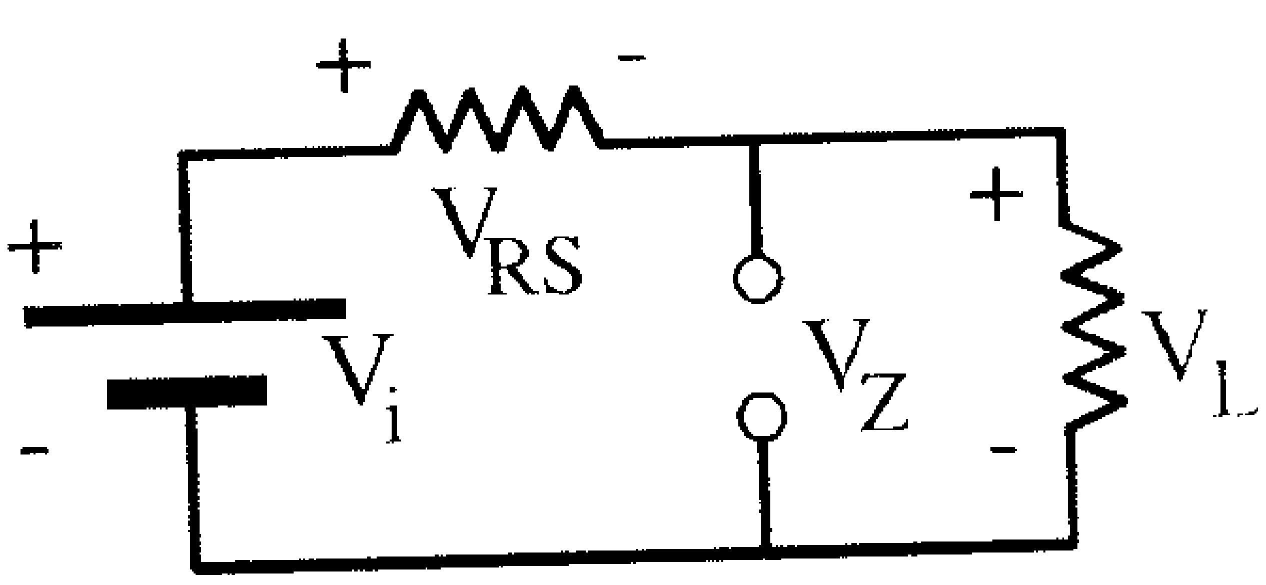
الحـــل:

الثنائي في حالة توصيل $V_i \geq V_Z$

الثنائي في حالة قطع $V_i < V_Z$

$$V_Z = V_L = \frac{V_i\, R_{L\min}}{R_S + R_{L\min}}\ \frac{(15)(150)}{100+150} = 9V$$

حالة توصيل $\therefore\ 15V > 9V$



نحذف الثنائي من الدائرة

$$V_L = V_Z = 7.5V$$

$$I_{L\min} = \frac{V_L}{R_{L\max}} = \frac{7.5V}{250\Omega} = 30mA$$

$$I_{L\max} = \frac{V_L}{R_{L\min}} = \frac{7.5V}{150\Omega} = 50mA$$

KVL:

$$V_i - V_{RS} - V_L = 0 \quad , \quad V_i - V_{RS} - V_Z = 0$$

$$V_{RS} = V_i - V_Z = 15V - 7.5V = 7.5V$$

$$I_{RS} = \frac{V_{RS}}{R_S} = \frac{7.5V}{100\Omega} = 75mA$$

وبما أن تيار المصدر I_{RS} ثابت :

$$I_{Zmax} = I_{RS} - I_{Lmin}$$

$$= (75mA) - (30mA) = 45mA$$

$$I_{Zmin} = I_{RS} - I_{Lmax}$$

$$= (75mA) - (50mA) = 25mA$$

$$P_{Zmax} = V_Z\, I_{Zmax} = (7.5V)(45mA) = 337.5mW$$

ثانياً:جهد دخول متغير (V_i) ومقاومة حمل ثابتة (R_L) .

عندما تكون مقاومة الحمل ثابتة فإن جهد الدخول يجب أن يكون كافياً لجعل الثنائي في حالة توصيل وهذا الجهد يحدد كالتالي:

$$V_L = V_Z = \frac{V_i\, R_L}{R_S + R_L}$$

القيمة الصغرى لجهد الدخول :

$$V_{i\,min} = \frac{(R_L + R_S)V_Z}{R_L}$$

أما القيمة القصوى لجهد الدخول فهي تعتمد على القيمة القصوى لتيار زينر (I_{Zmax}) حيث أن:

$$I_{Zmax} = I_{RSmax} - I_L$$

$$I_{RSmax} = I_{Zmax} + I_L$$

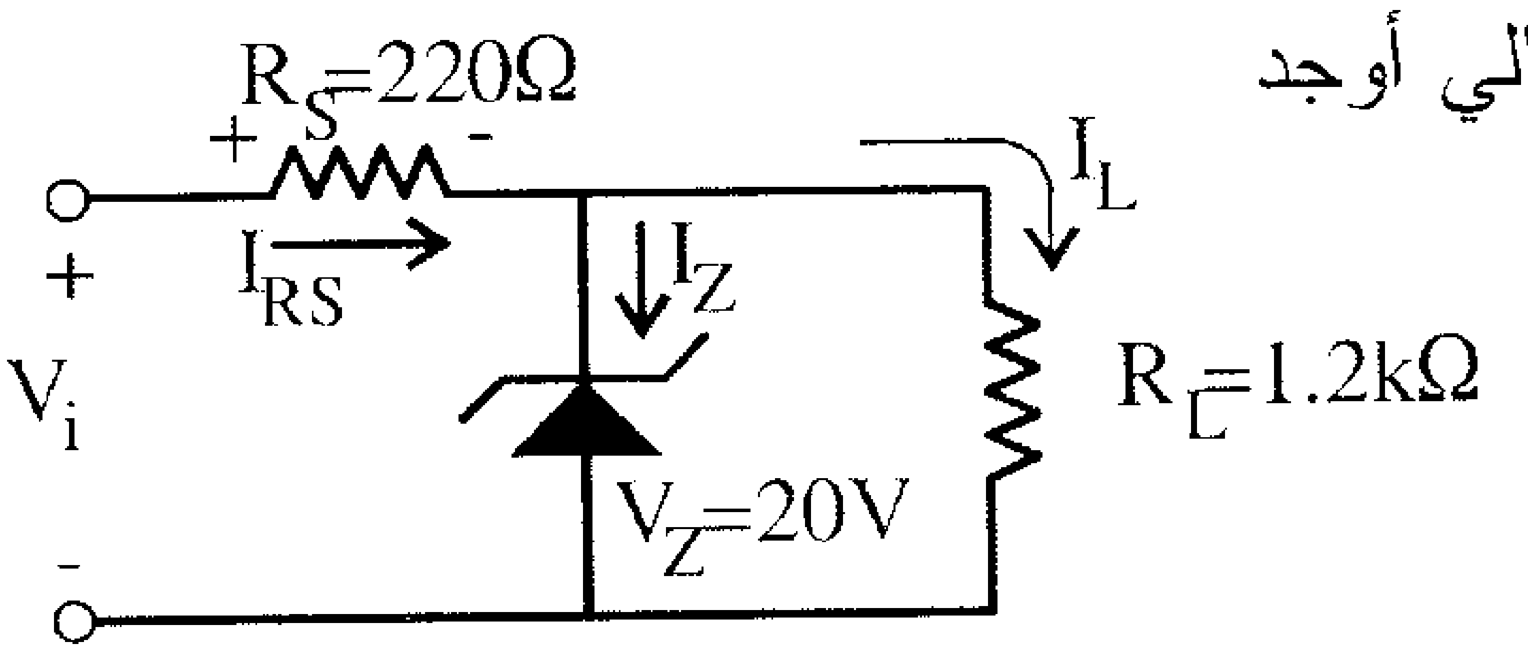
وبما أن I_L ثابت:

$$I_L = \frac{V_Z}{R_L}$$

$$V_{imax} = V_{Rsmax} + V_Z$$

$$V_{imax} = R_S\, I_{Rsmax} + V_Z$$

مثال3.10 في الدائرة المبينة بالشكل التالي أوجد
أصغر وأكبر قيمة لجهد الدخول:
إذا علمت أن$(I_{Zmax} = 60mA)$



الحـــل:

$$V_{i\min} = \frac{(R_L + R_S)V_Z}{R_L} = \frac{(1200+220)(20)}{1200} = 23.67V$$

$$I_L = \frac{V_Z}{R_L} = \frac{20V}{1200\Omega} = 16.67mA$$

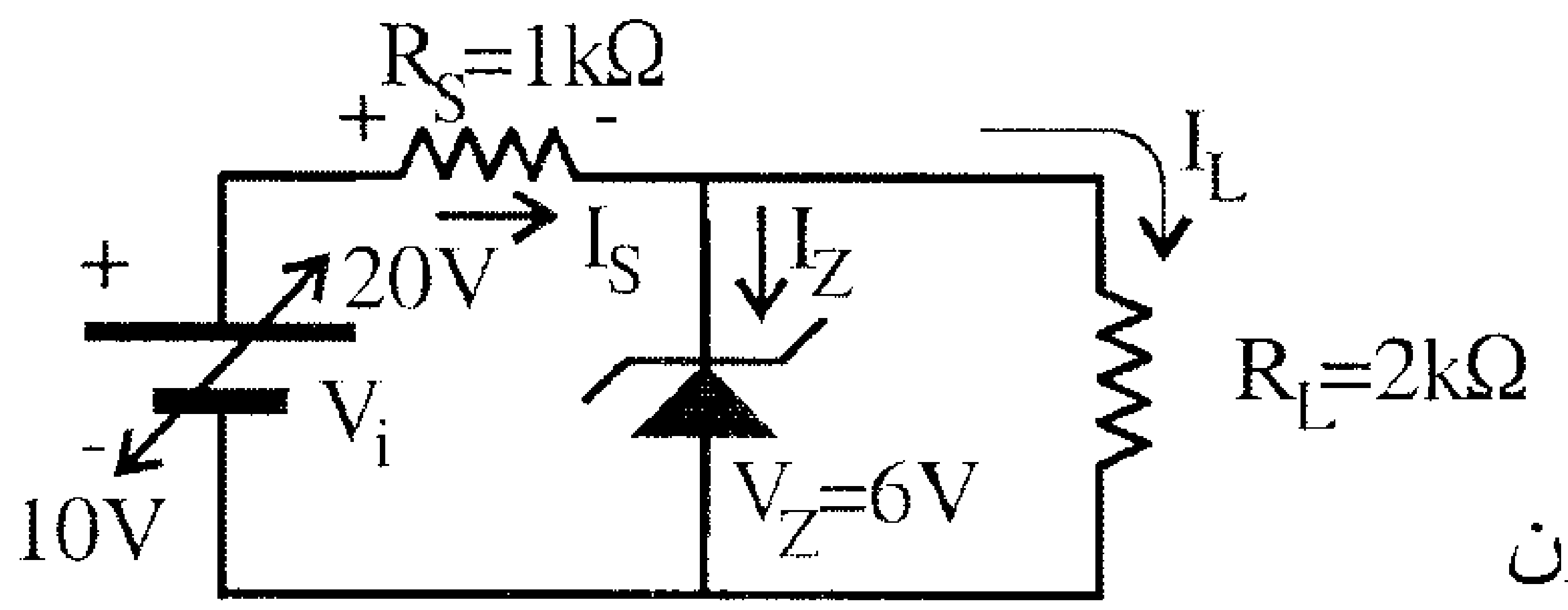
$$I_{RSmax} = I_{Zmax} + I_L = (60mA) + (16.67mA) = 76.67mA$$

$$V_{imax} = R_S\, I_{Rsmax} + V_Z = (220\Omega)(76.67mA) + 20V = 36.87V$$

تظهر النتيجة أنه عند ثبوت R_L يظل جهد الخروج ثابتاً على قيمة ($20V$) على

الرغم من تغير جهد الدخول من $23.67V$ إلى $36.87V$.

مثال4.10 من الدائرة المبينة بالشكل التالي أوجد أصغر وأكبر قيمة لتيار المصدر(I_S) وكذلك لتيار زينر(I_Z) .



الحـــل:

هل الثنائي في حالة توصيل عندما يكون

جهد الدخول الأدنى $V_{imin} = 10V$

$$V_L = V_Z = \frac{V_i\ R_L}{R_L + R_S} = \frac{(10V)(2k\Omega)}{1k\Omega + 2k\Omega} = 6.67V$$

جهد الدخول أكبر من جهد زينر $6.67V > 6V$ ، إذا الثنائي في حالة توصيل (انحياز عكسي عند جهد زينر)

KVL:

$$V_i - V_{RS} - V_Z = 0$$

$$V_{Rsmin} = V_{imin} - V_Z = 10V - 6V = 4V$$

$$I_{S\min} = \frac{V_{RS\min}}{R_S} = \frac{45V}{1000\Omega} = 4mA$$

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{6V}{2000\Omega} = 3mA$$

$$I_{Smin} = I_{Zmin} + I_L$$

$$I_{Zmin} = I_{Smin} - I_L = 4mA - 3mA = 1mA$$

عندما يتغير جهد الدخول إلى قيمته القصوى ($V_{imax} = 20V$)

KVL:

$$V_{imax} - V_{Rsmax} - V_Z = 0$$

$$V_{Rsmax} = V_{imax} - V_Z = 20V - 6V = 14V$$

$$I_{S\max} = \frac{V_{RS\max}}{R_S} = \frac{14V}{1000\Omega} = 14mA$$

$$I_{Smax} = I_{Zmax} + I_L$$

$$I_{Zmax} = I_{Smax} - I_L = 14mA - 3mA = 11mA$$

النتيجة:

للمحافظة على ثبات جهد الخروج V_L عند ارتفاع جهد الدخول للثنائي فإنه يأخذ أكبر قدر من التيار،وعند انخفاض جهد الدخول يأخذ الثنائي أقل قدر من التيار.

الفصل الحادي عشر

1.11. بوابة الاختيار ((أو)) OR - Gate.
2.11 بوابة الإضافة ((و)) AND - Gate.
3.11 مسائل متنوعة عن الجزء الثاني.

تصميم البوابات المنطقية باستخدام الثنائي

1.11. بوابة الاختيار ((أو)) OR - Gate

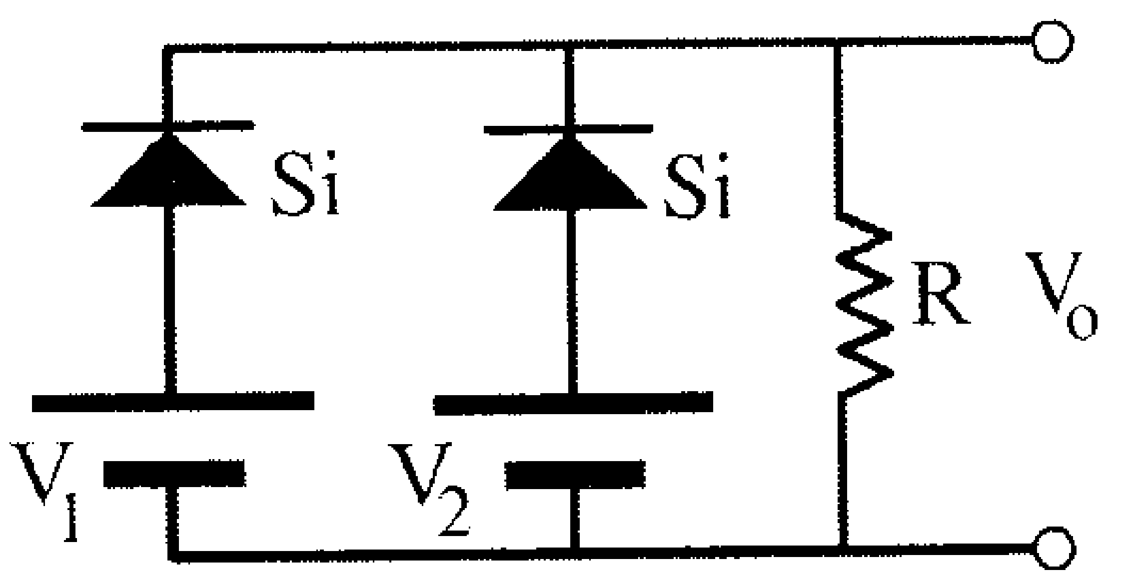
تستخدم البوابات المنطقية لإجراء عمليات معينة منها الجمع والضرب، ولهذه البوابات عدة مداخل (Inputs) ومخرج واحد فقط (output). فلو فرضنا أن المدخل رقم (1) هو V_1 والمدخل رقم (2) هو V_2 فإن جهد الخروج يكون V_0 وقيمة الجهد تأخذ قيمة من اثنتين إما قيمة منخفضة ويعبر عنها بـــ (Low)، أو (0) أو مرتفعة ويعبر عنها بـــ (High) أو (1). فعلى سبيل المثال إذا أردنا التمثيل المنطقي لقيمتين إحداهما منخفضة (0V) والأخرى مرتفعة (5V) فإن القيمة المنخفضة تعطى الرقم (0) والقيمة المرتفعة تعطى الرقم (1) كما هو موضح في الجدول التالي:

قيمة الجهد	القيمة المنطقية المقابلة
$0\ V$	0
$5\ V$	1

في بوابة الاختيار (أو) يعتمد جهد الخروج V_0 على قيمتي جهد الدخول V_1 ، V_2 . فلو أعطينا الرمز المنطقي (A) للمدخل (V_1)، والرمز (B) للمدخل (V_2) ، والرمز (Y) لجهد الخروج (V_0) فإن العملية المنطقية التي تحدث في هذه الدائرة هي عملية جمع:

$$Y = A + B$$

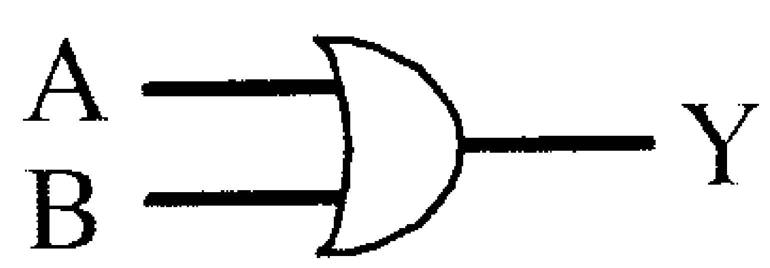
الخروج	الدخول	
V_o	V_2	V_1
4.3	**5**	**5**
4.3	**0**	**5**
4.3	**5**	**0**
0	**0**	**0**



بوابة الاختيار ((أو)) OR-Gate

جدول المنطق لدائرة ((أو))

A	B	Y
1	1	1
1	0	1
0	1	1
0	0	0



الرمز المنطقي لبوابة ((أو)) (OR)

وعملية الجمع المنطقية : $\mathbf{Y = A + B}$

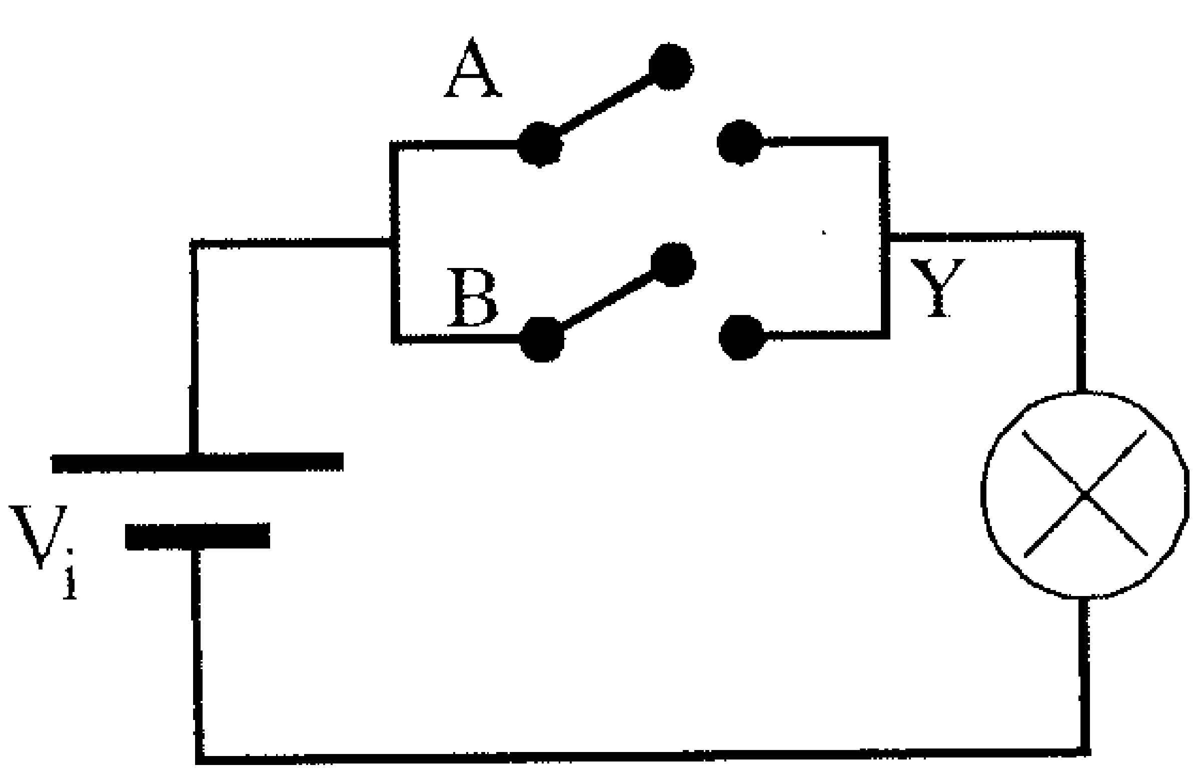
مثال 1.11 :

في الدائرة بالشكل التالي (1) مغلق ، (0) مفتوح

المصباح في هذه الدائرة يضيء

إذا كان (A) مغلقا أو (B) مغلقا

أو الاثنان معا في حالة إغلاق،

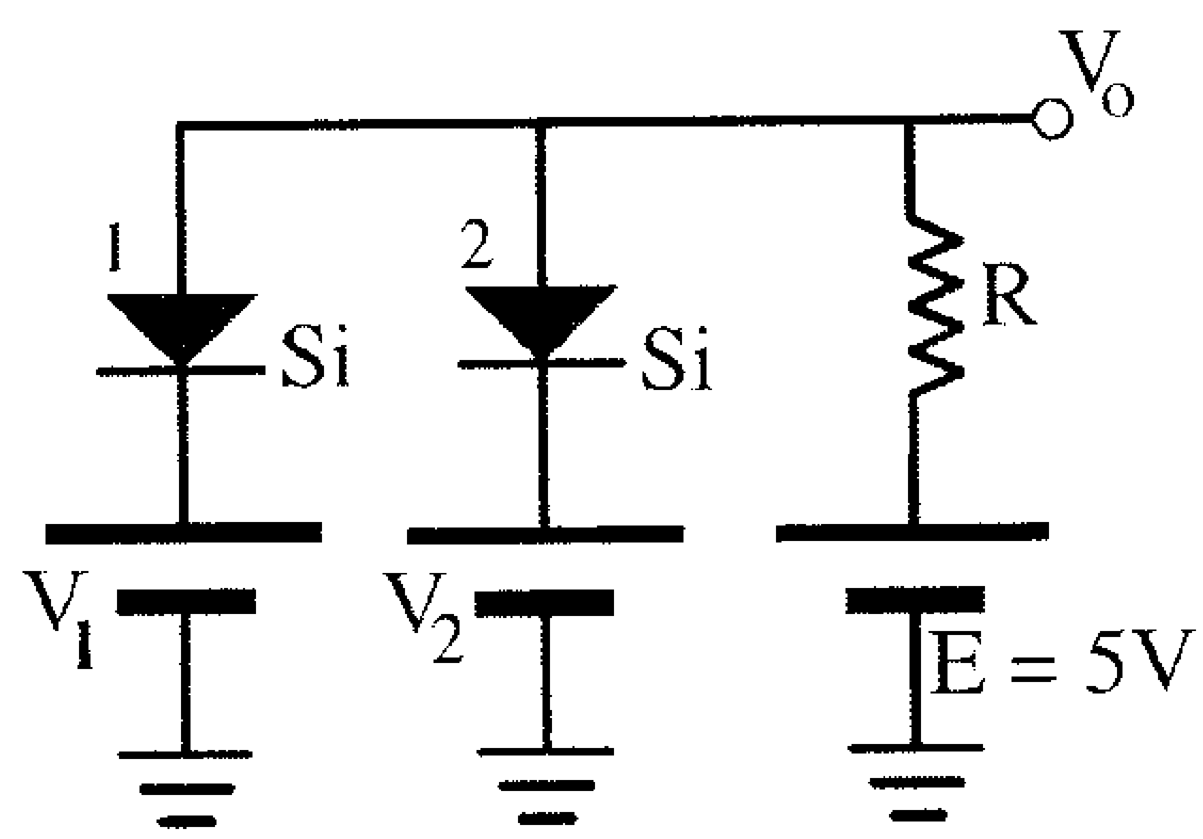


ولن يضيء المصباح إذا كان (A) و (B) في حالة فتح معا.

2.11 بوابة الإضافة ((و)) AND - Gate

في بوابة الإضافة تكون العملية المنطقية التي تحدث في هذه الدائرة هي عملية ضرب:

$$Y = A \cdot B$$

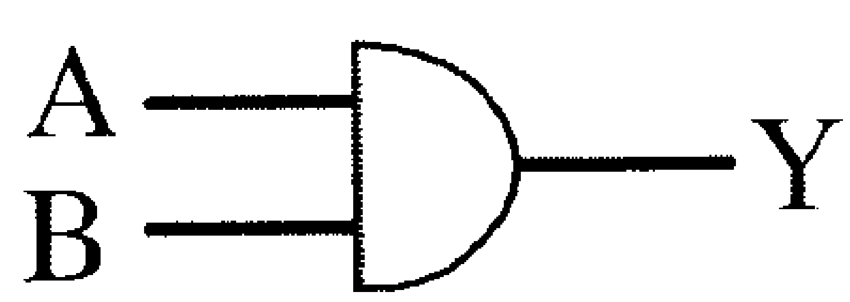


بوابة ((و)) AND - Gate

جدول المنطق

الخروج	الدخول	
V_o	V_2	V_1
0.7	0	5
0.7	5	0
0	0	0
5	5	5

A	B	Y
1	0	0
0	1	0
0	0	0
1	1	1

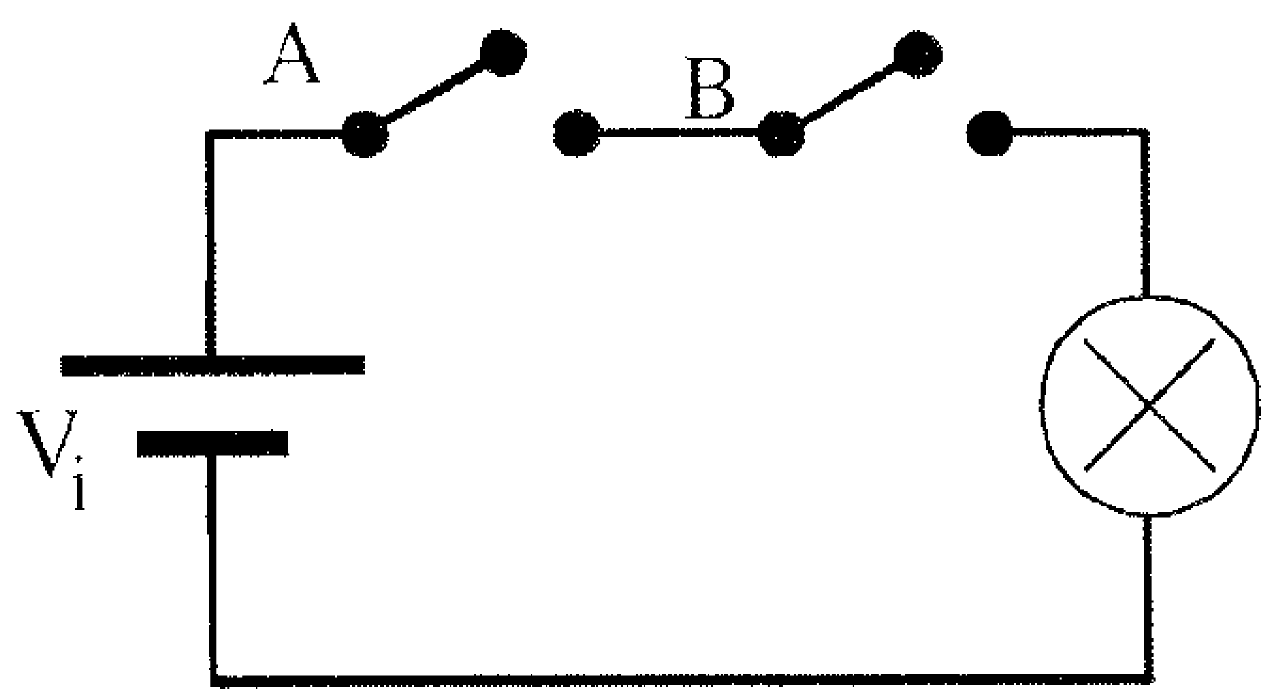


الرمز المنطقي لبوابة ((و)) (AND)

وعملية الضرب المنطقية : $Y = A \cdot B$

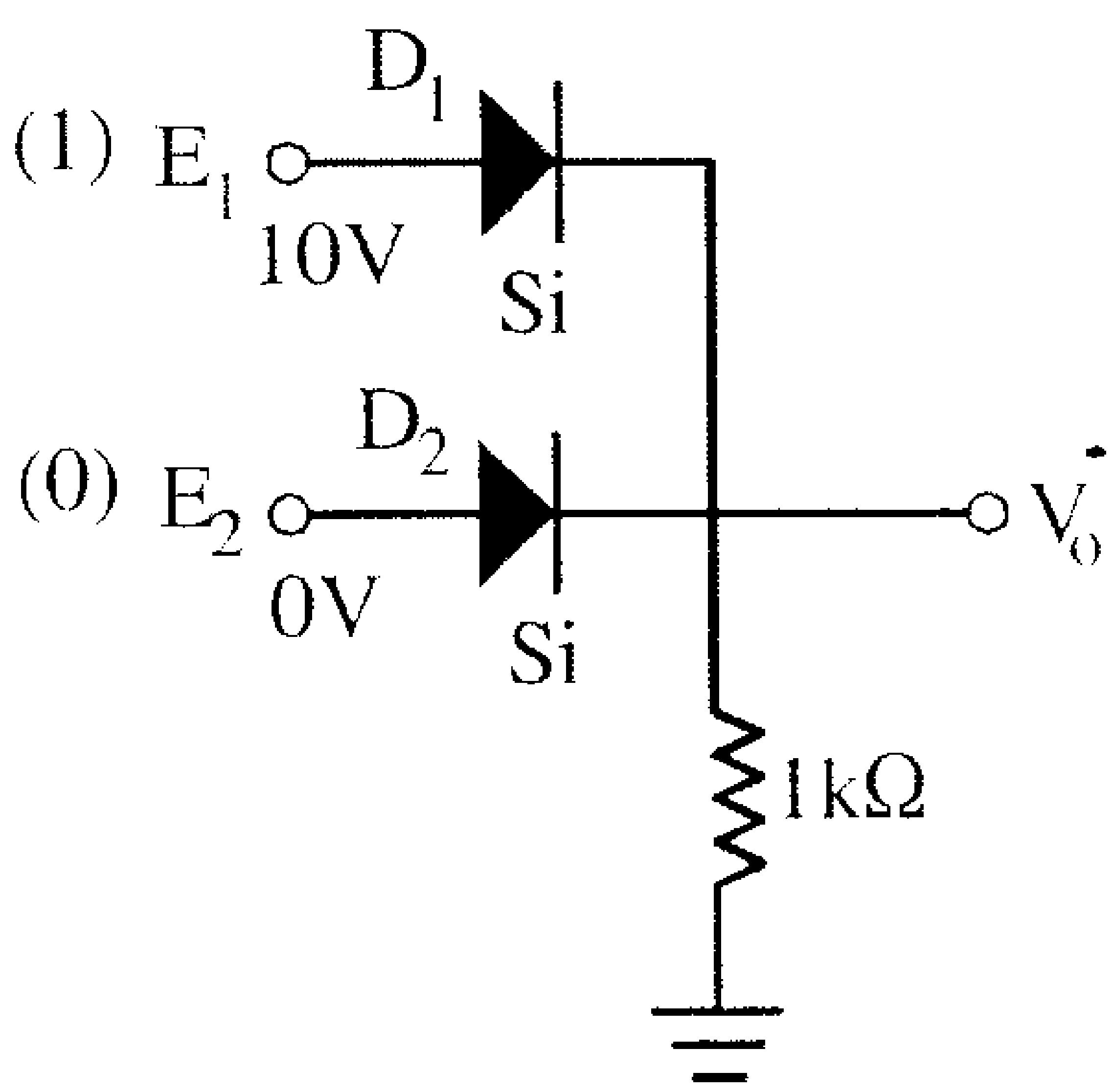
مثال 2.11 :

في الدائرة بالشكل التالي (1) مغلق ، (0) مفتوح، المصباح في هذه الدائرة لن يضيء إلا عندما يكون (A) و (B) معا في حالة إغلاق،و ماعدا ذلك فالمصباح يبقى منطفئ.



مثال 3.11 :

للدائرة في الشكل التالي أوجد V_o وحدد نوع بوابة الاختيار مع وضع جدول المنطق واحسب التيار المار في الدائرة.

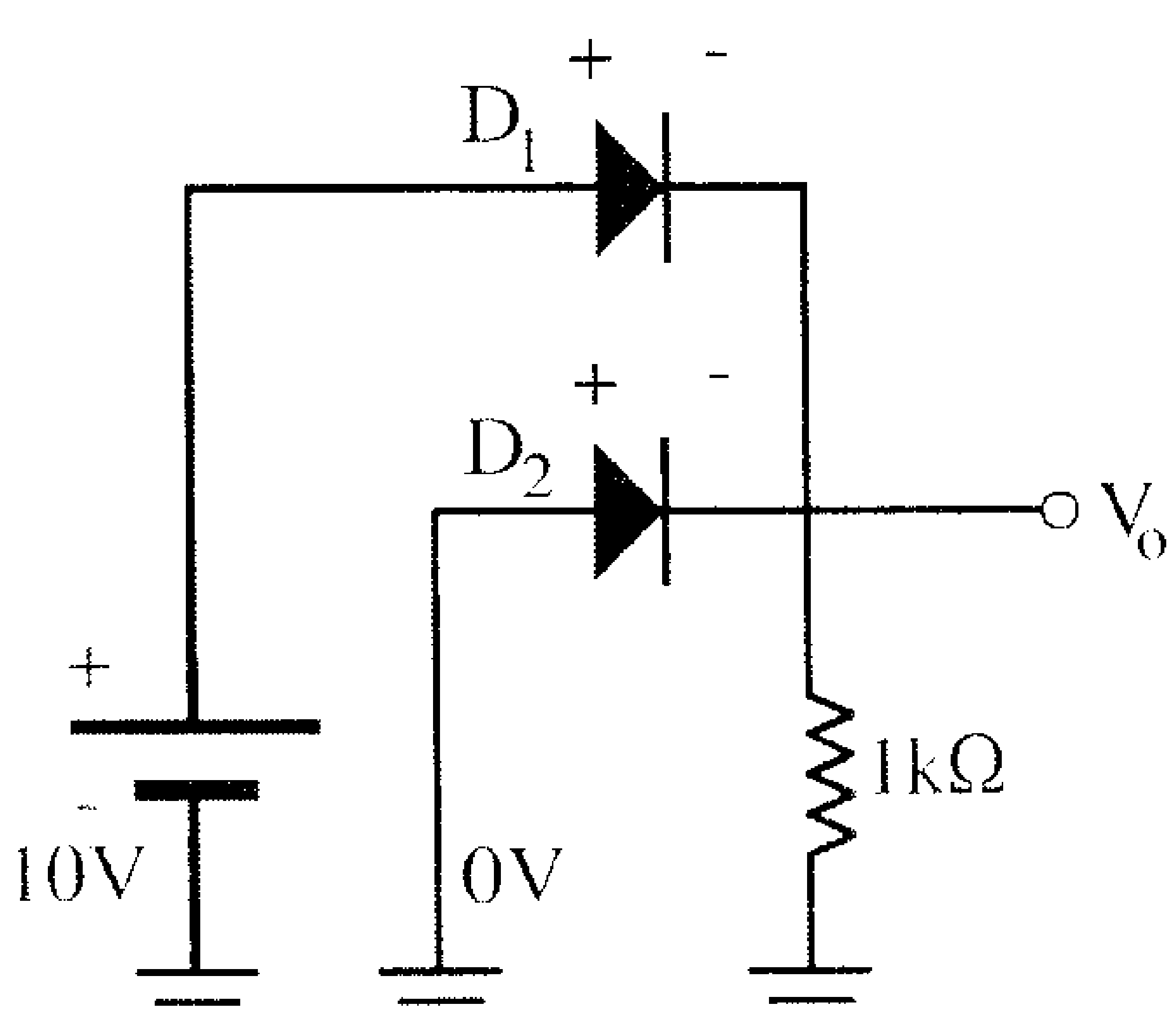


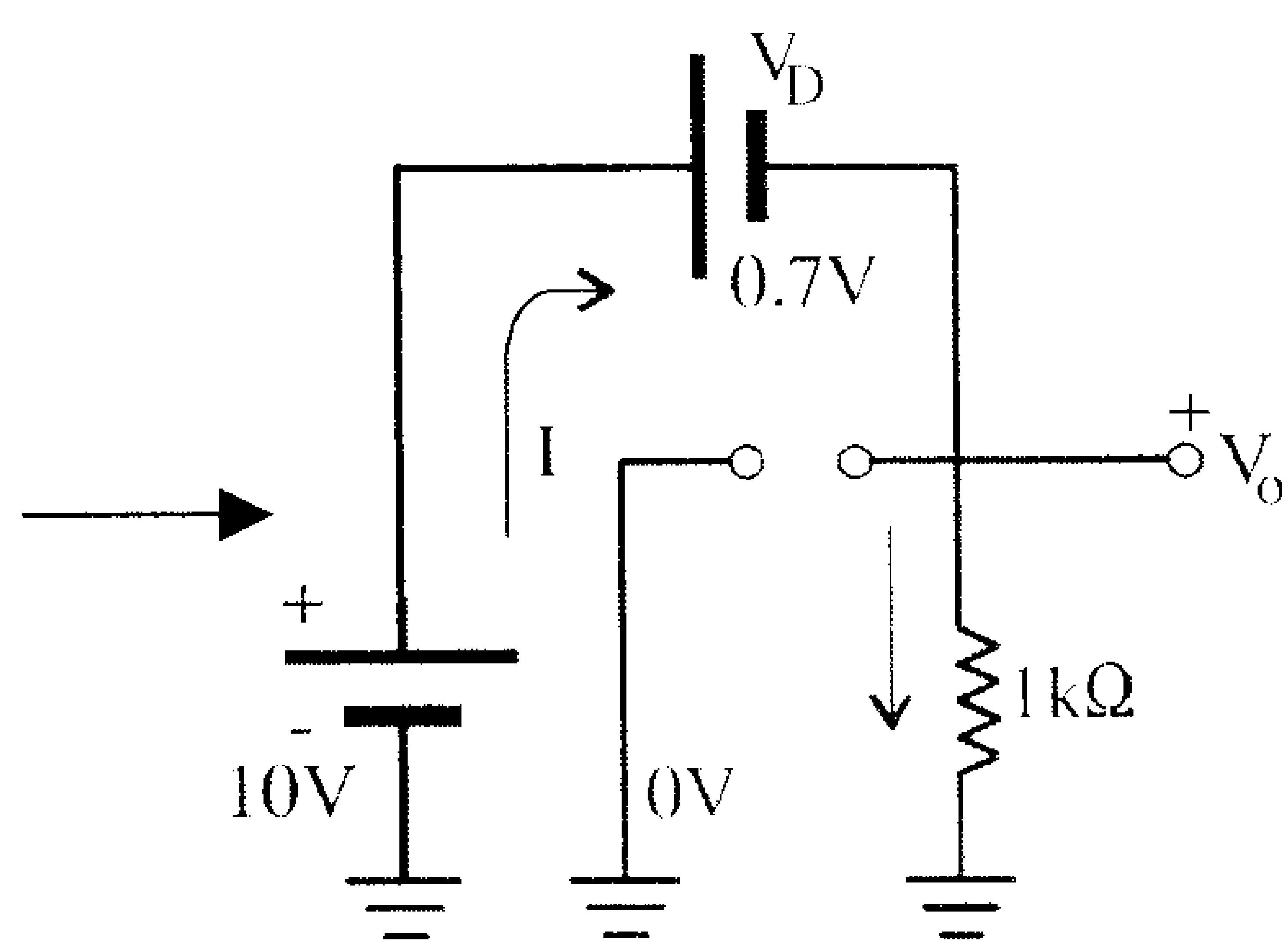
الحــل:

المدخل رقم (1) مطبق عليه جهد قدره $(10\ V)$

المدخل رقم (2) غير مطبق عليه جهد $(0\ V)$

الدائرة المكافئة للثنائي D_1 في حالة توصيل (انحياز أمامي) والثنائي D_2 في حالة قطع (انحياز عكسي).





باستخدام قانون (KVL) :

$$E_1 - V_D - V_o = 0$$

$$V_o = E_1 - V_D = 10\ V - 0.7\ V = 9.3\ V$$

ويمكن إيجاد التيار المار بالدائرة:

$$I = \frac{E_1 - V_D}{R} = \frac{10V - 0.7V}{1000\Omega} = 9.3mA$$

لهذا فإن هذه الدائرة من نوع الاختيار (OR) والجدول التالي يوضح ذلك:

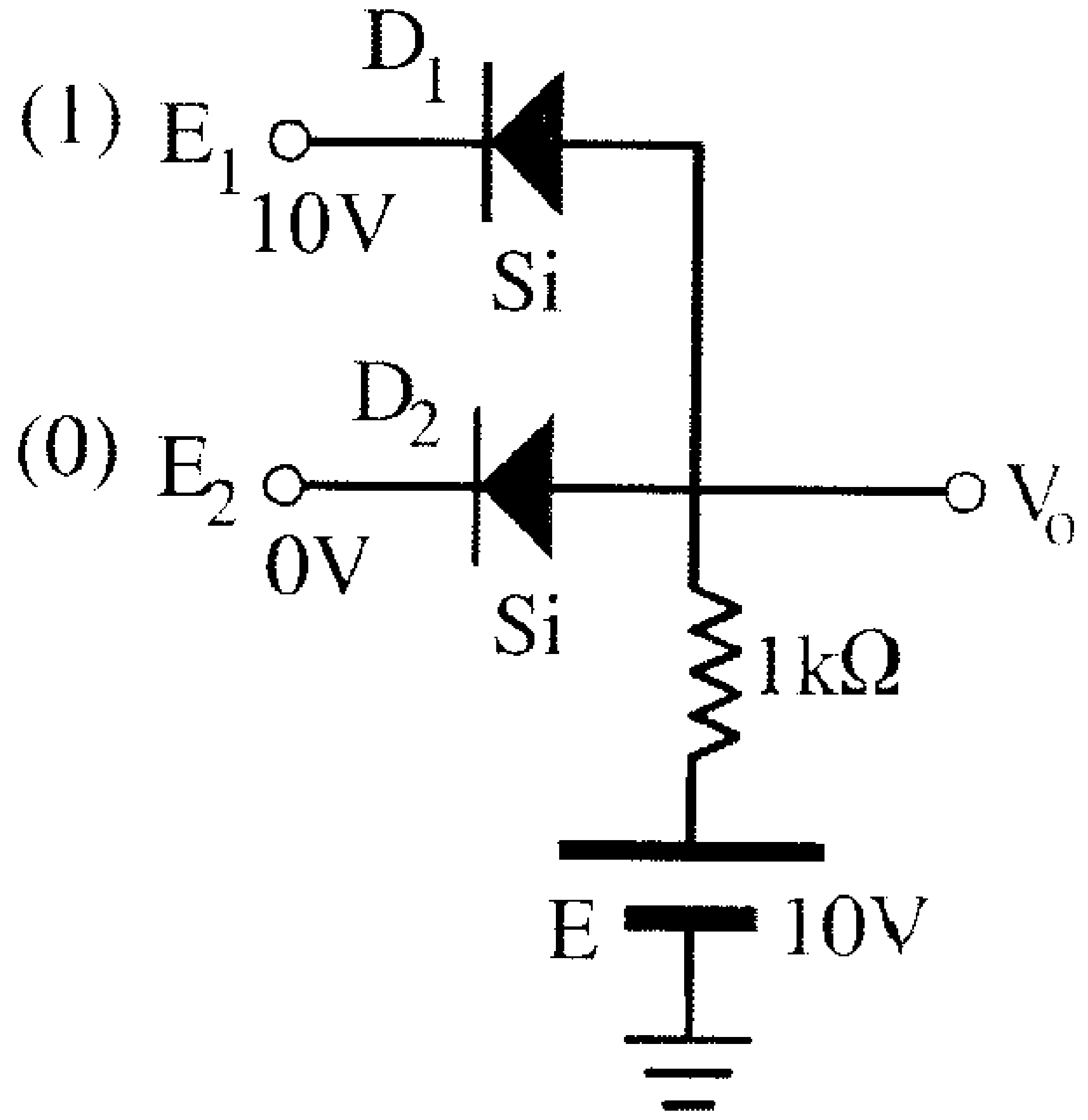
جدول المنطق

الدخول		الخروج
E_1	E_2	V_o
10	0	9.3
0	10	9.3
10	10	9.3
0	0	0

A	B	Y
1	0	1
0	1	1
1	1	1
0	0	0

مثال 4.11 :

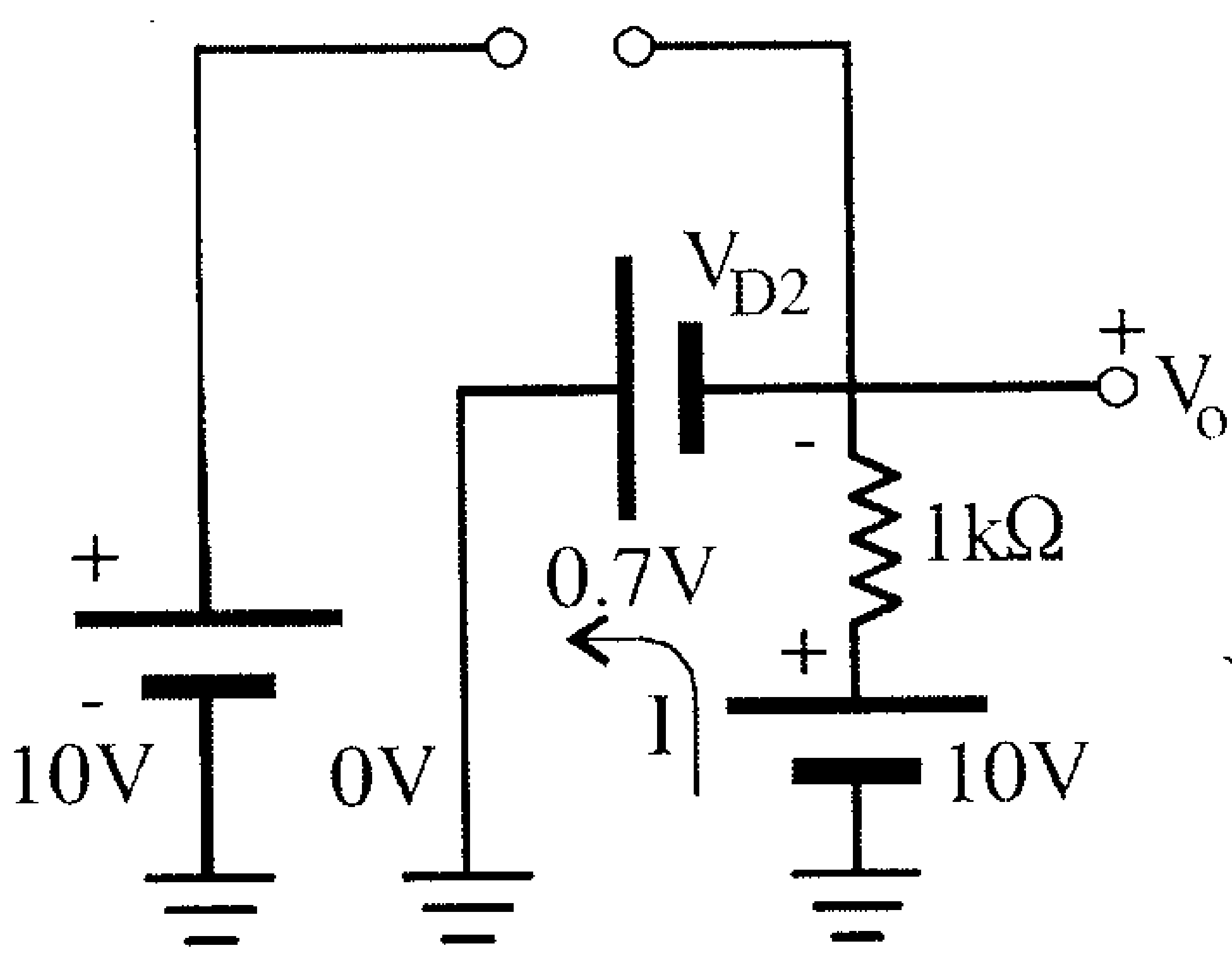
للدائرة في الشكل التالي أوجد V_o وحدد نوع بوابة الاختيار ثم احسب التيار المار في الدائرة.



الحـــل:

الثنائي D_1 في حالة قطع (انحياز عكسي)

والثنائي D_2 في حالة توصيل (انحياز أمامي)



باستخدام قانون (KVL):

$$V_{D2} + V_R - E = 0$$

$$V_R = E - V_{D2} = 10\ V - 0.7\ V = 9.3\ V$$

باستخدام قانون (KVL):

$$E - V_R - V_o = 0$$

$$V_o = E - V_R = 10\ V - 9.3\ V = 0.7\ V$$

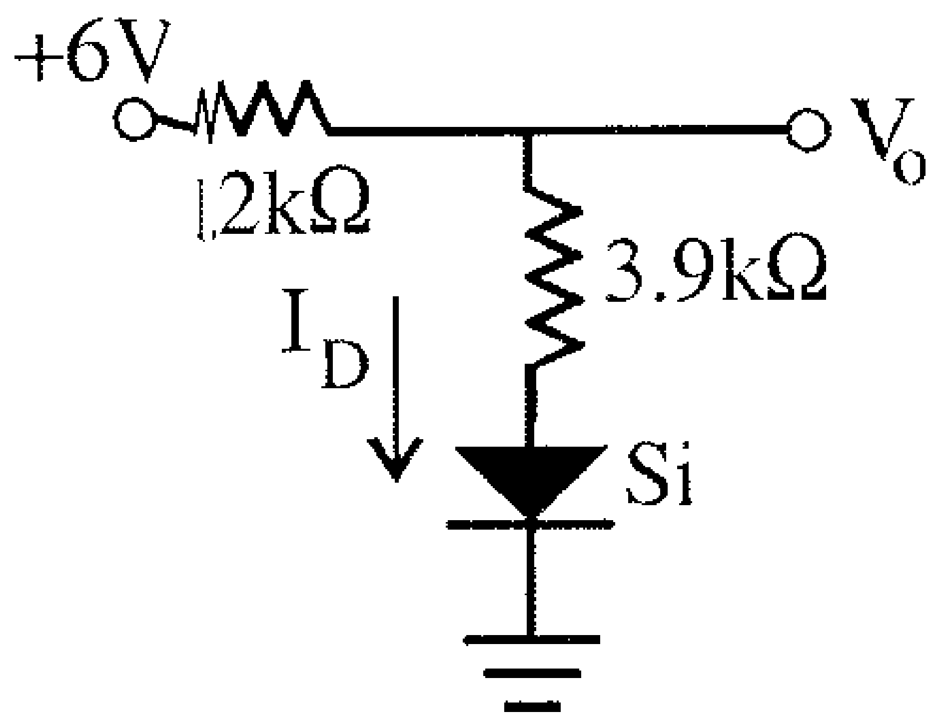
ويمكن إيجاد التيار المار بالدائرة:

$$I = \frac{E - V_{D2}}{R} = \frac{10V - 0.7V}{1000\Omega} = 9.3mA$$

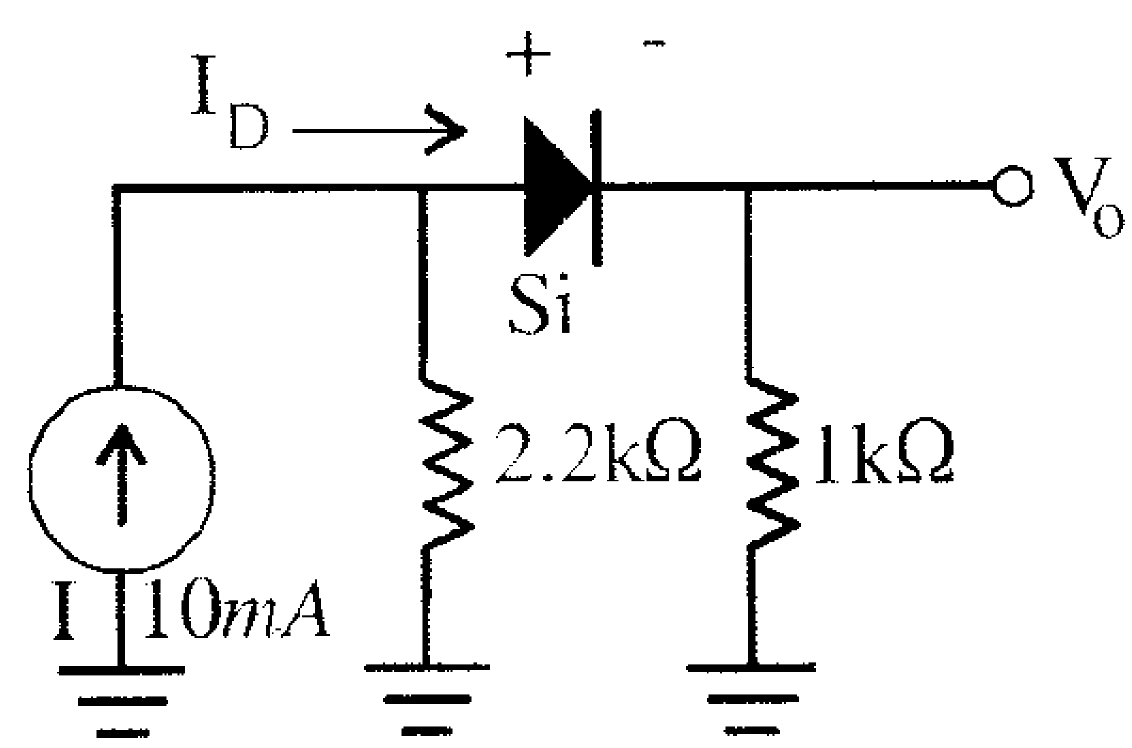
نوع البوابة (AND – Gate)

3.11 مسائل متنوعة عن الجزء الثاني

(1) من الدائرة بالشكلين (b) و (a) أوجد I_D و V_o .



(a)



(b)

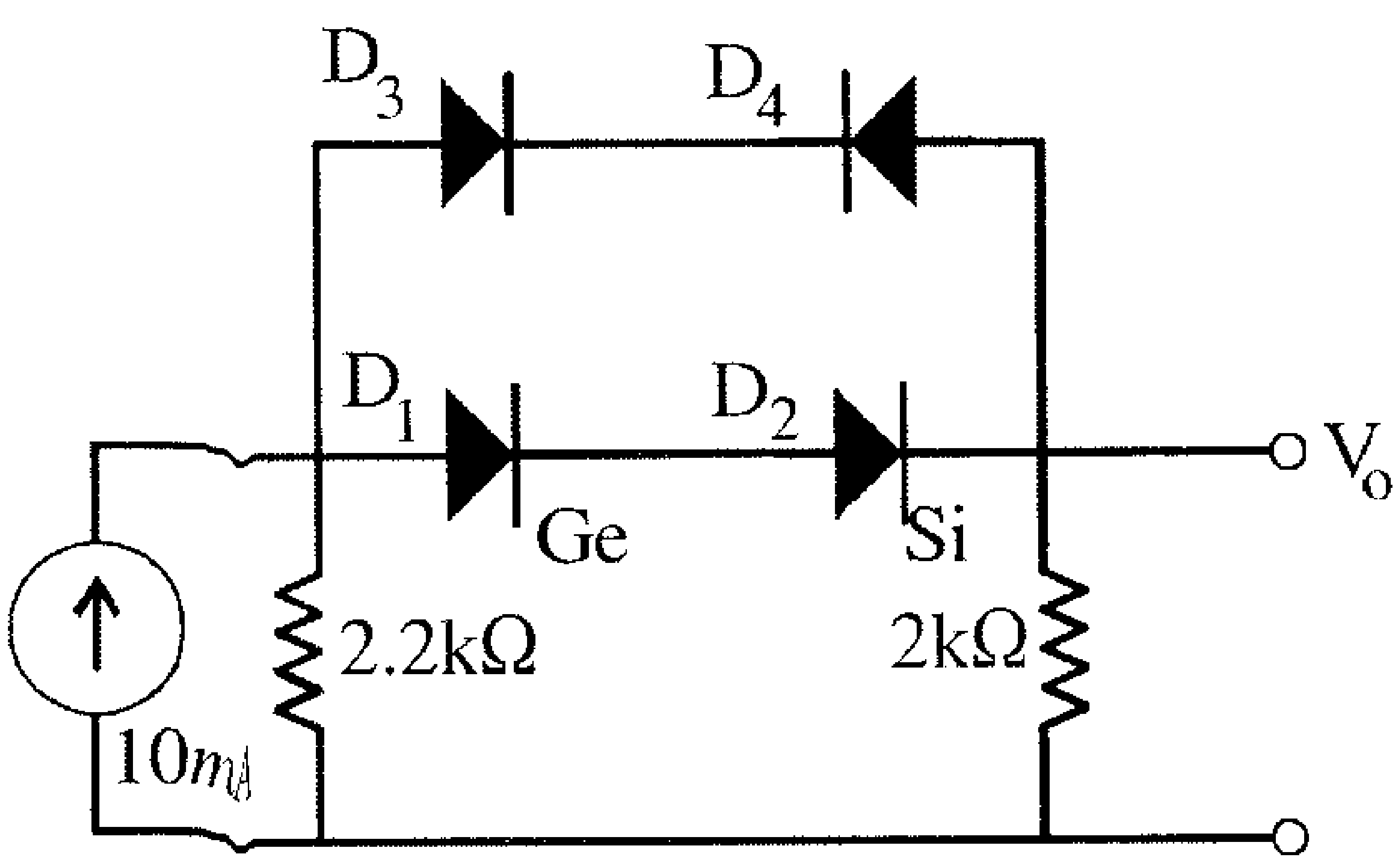
(2) من الدائرة بالشكل التالي:

1- ارسم الدائرة التقريبية المكافئة.

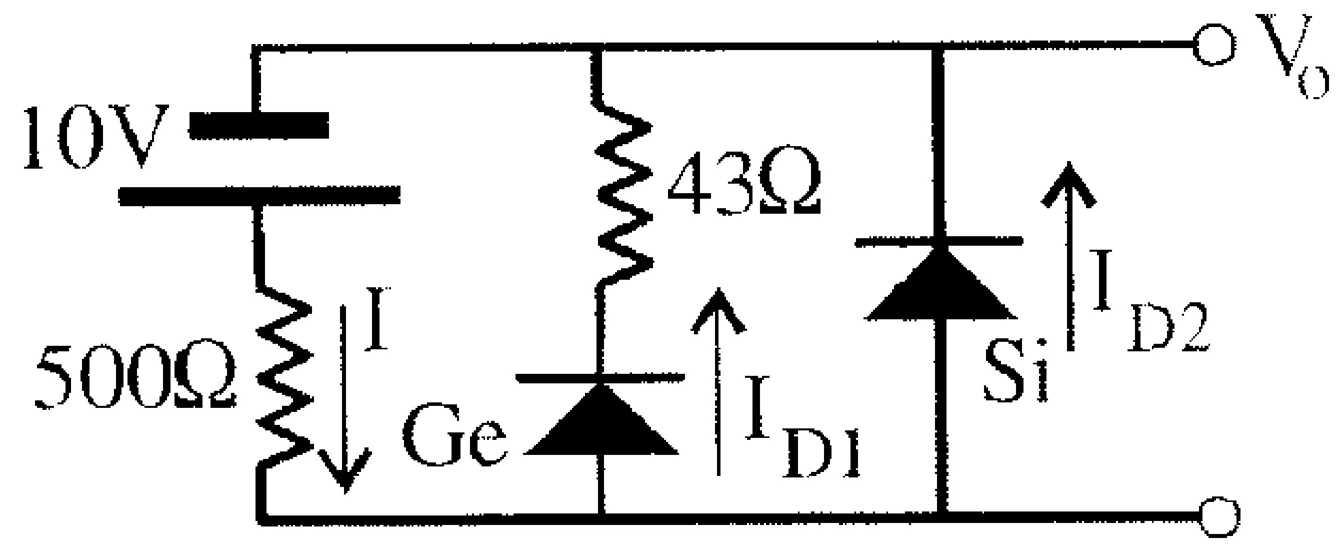
2- أوجد قيمة التيار المار في الثنائي D_1 .

3- أوجد قيمة الجهد خلال الثنائي D_4 .

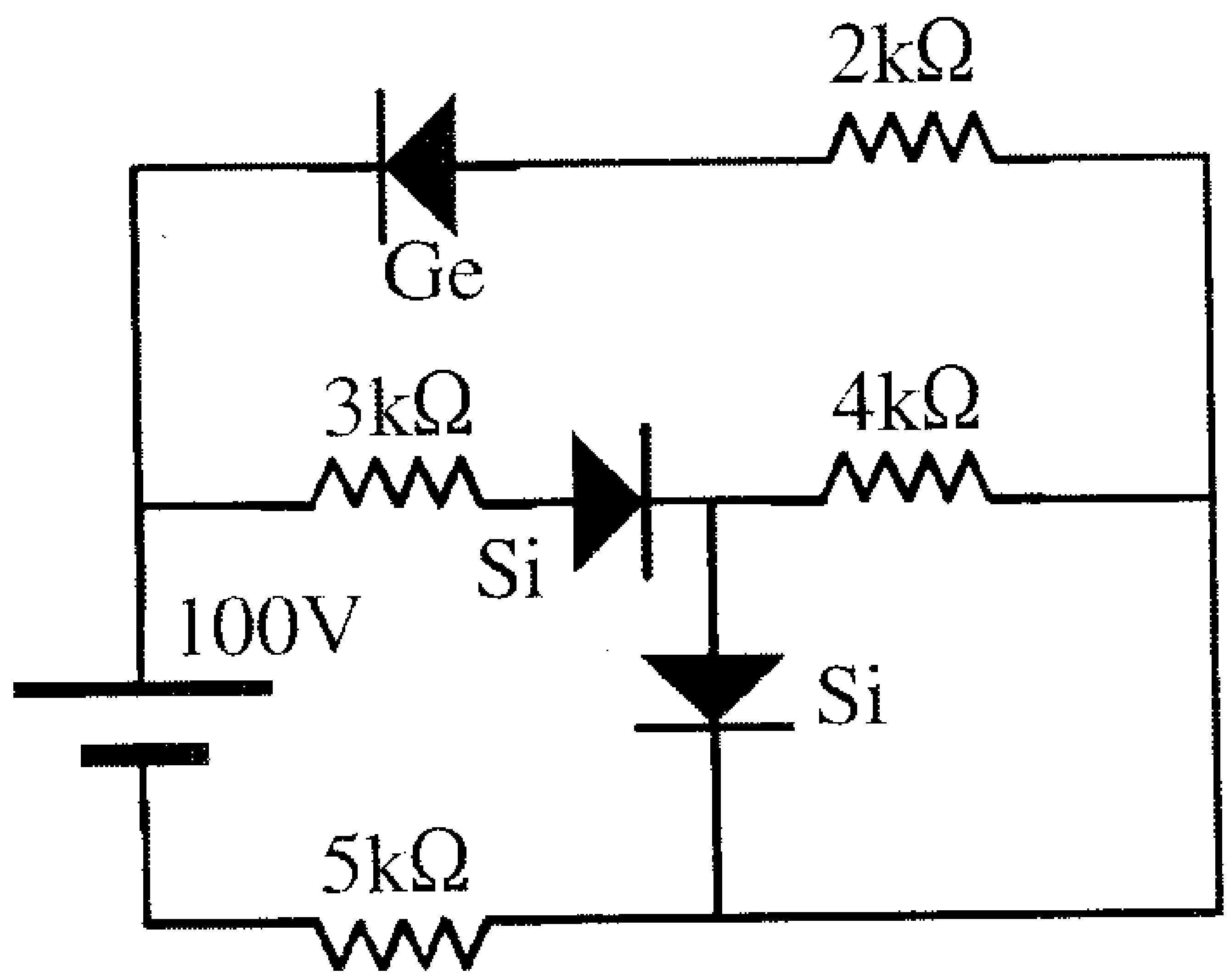
4- أوجد قيمة جهد الخروج V_o .



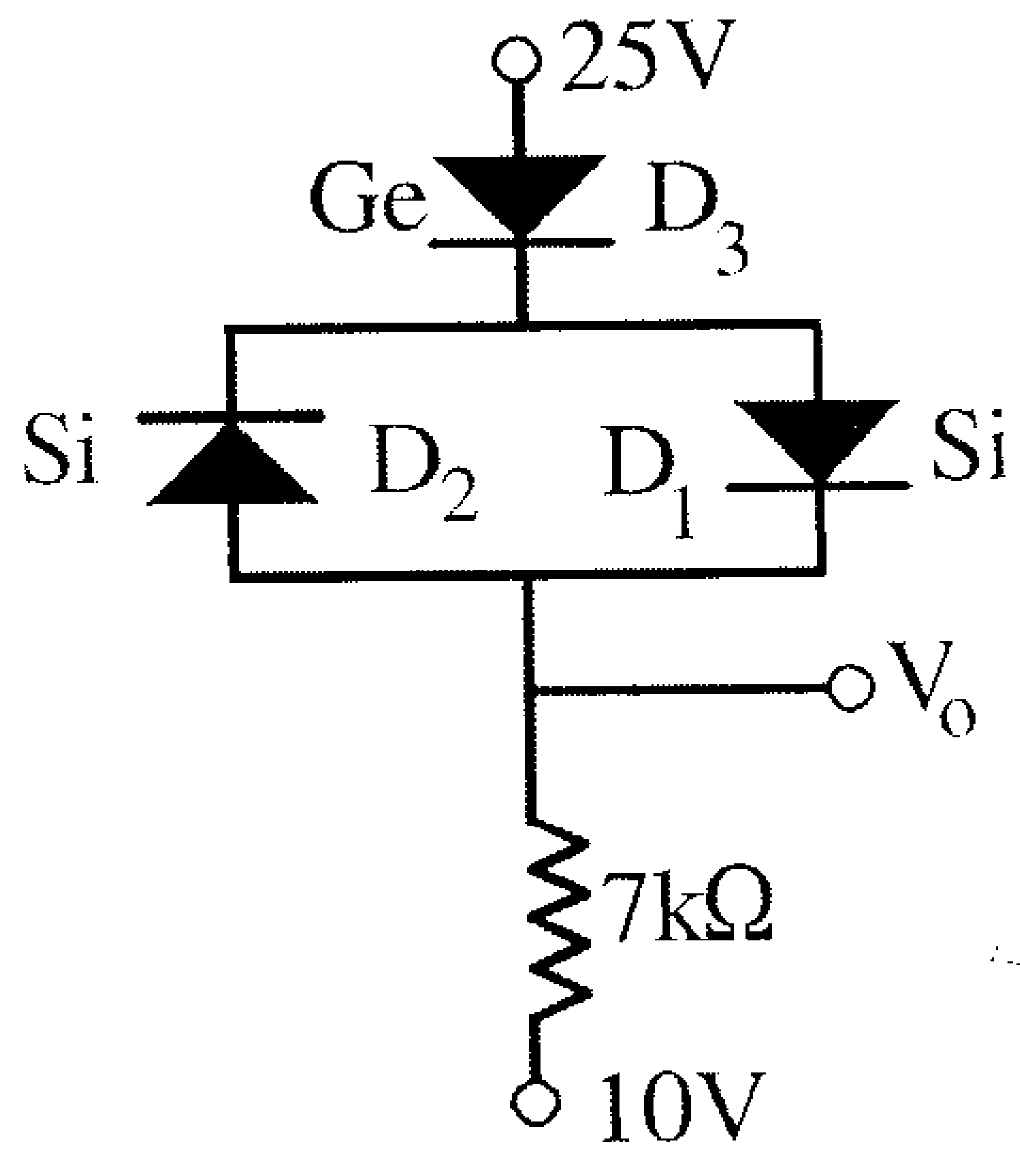
(3) من الدائرة التي بالشكل التالي أوجد: V_o , I , I_{D1} , I_{D2} .



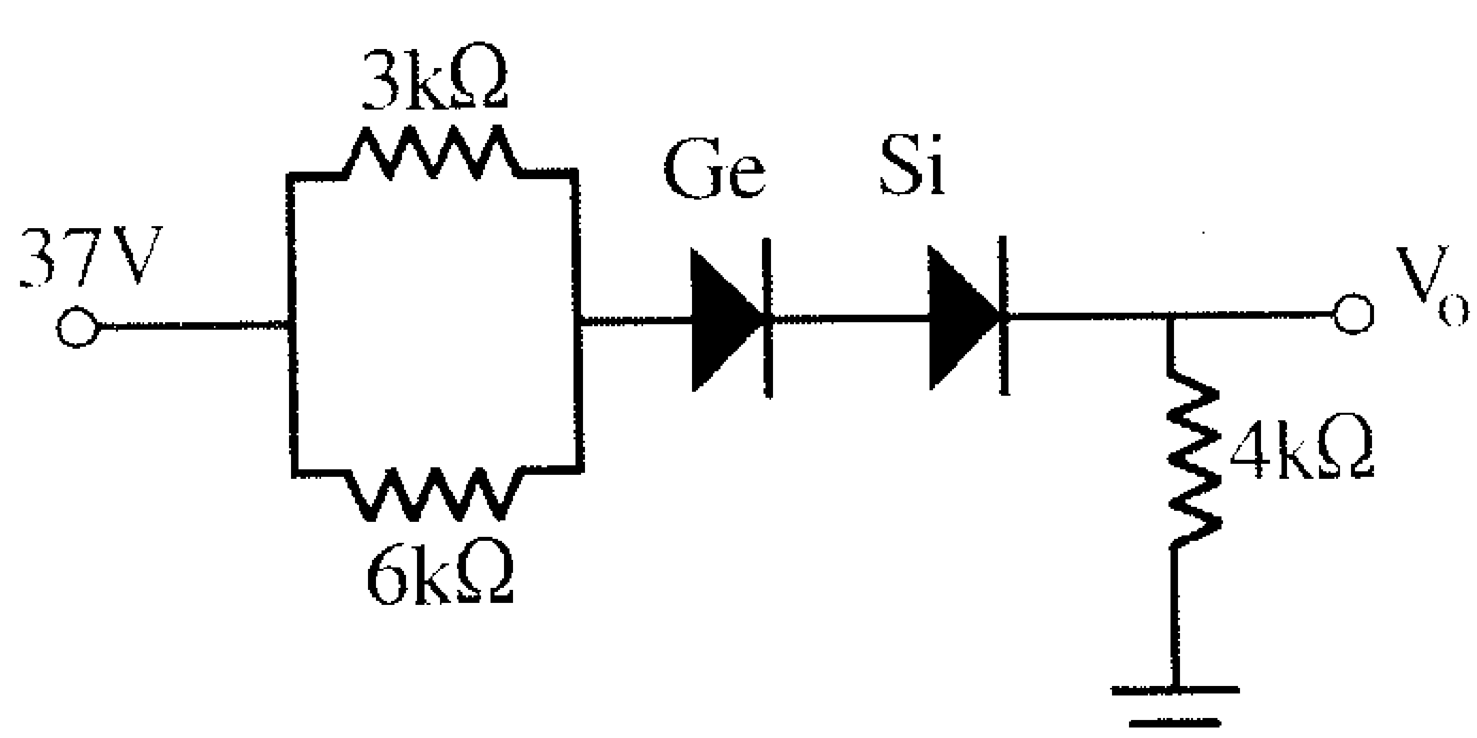
(4) للدائرة في الشكل التالي أوجد التيار المار في كل ثنائي وكذلك فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة.



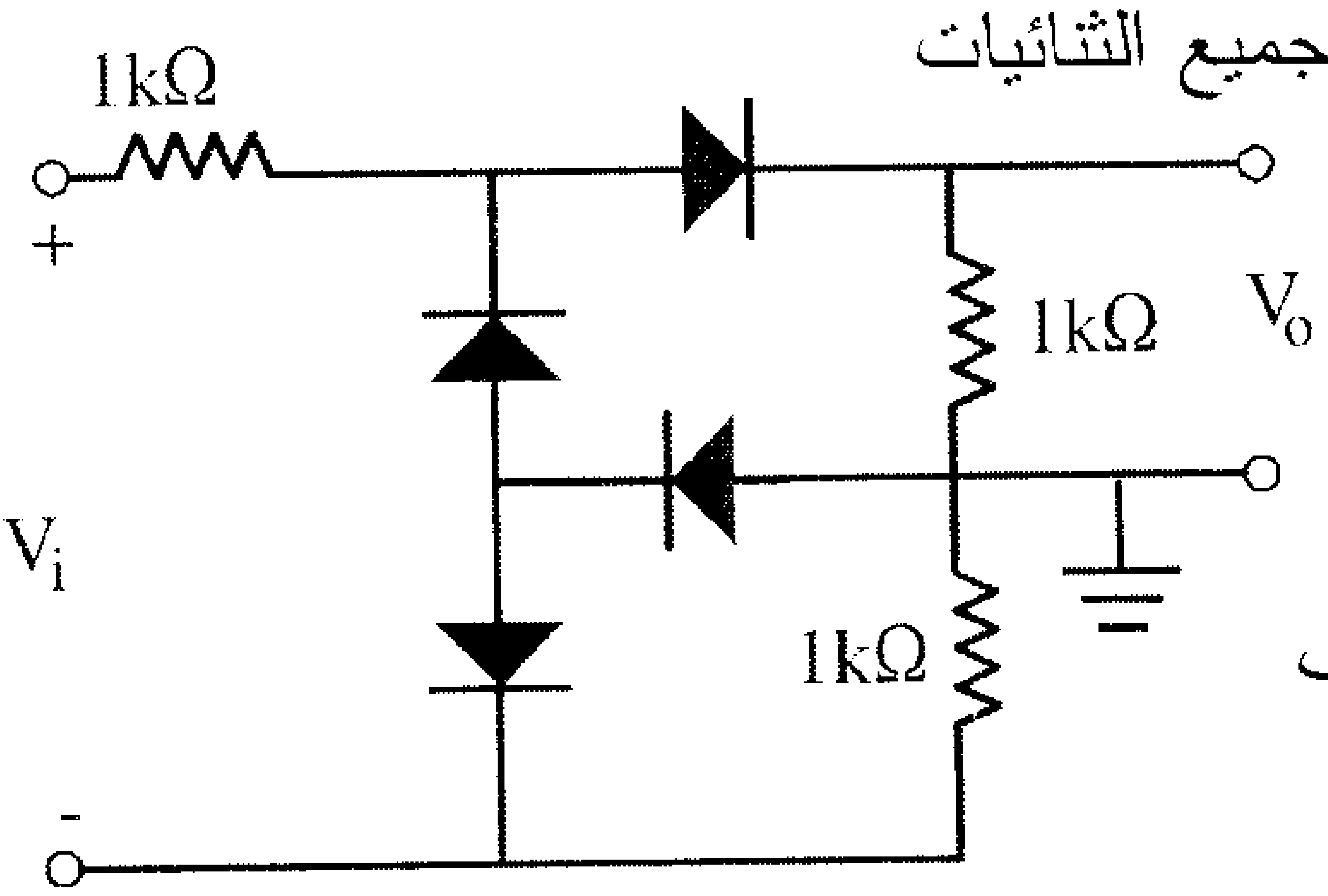
(5) للدائرة في الشكل التالي أوجد كلاً من: I_R , I_{D1} , I_{D2} , V_{D2} , V_o .



(6) من الدائرة في الشكل التالي أوجد قيمة التيار المار في المقاومة (6kΩ) .



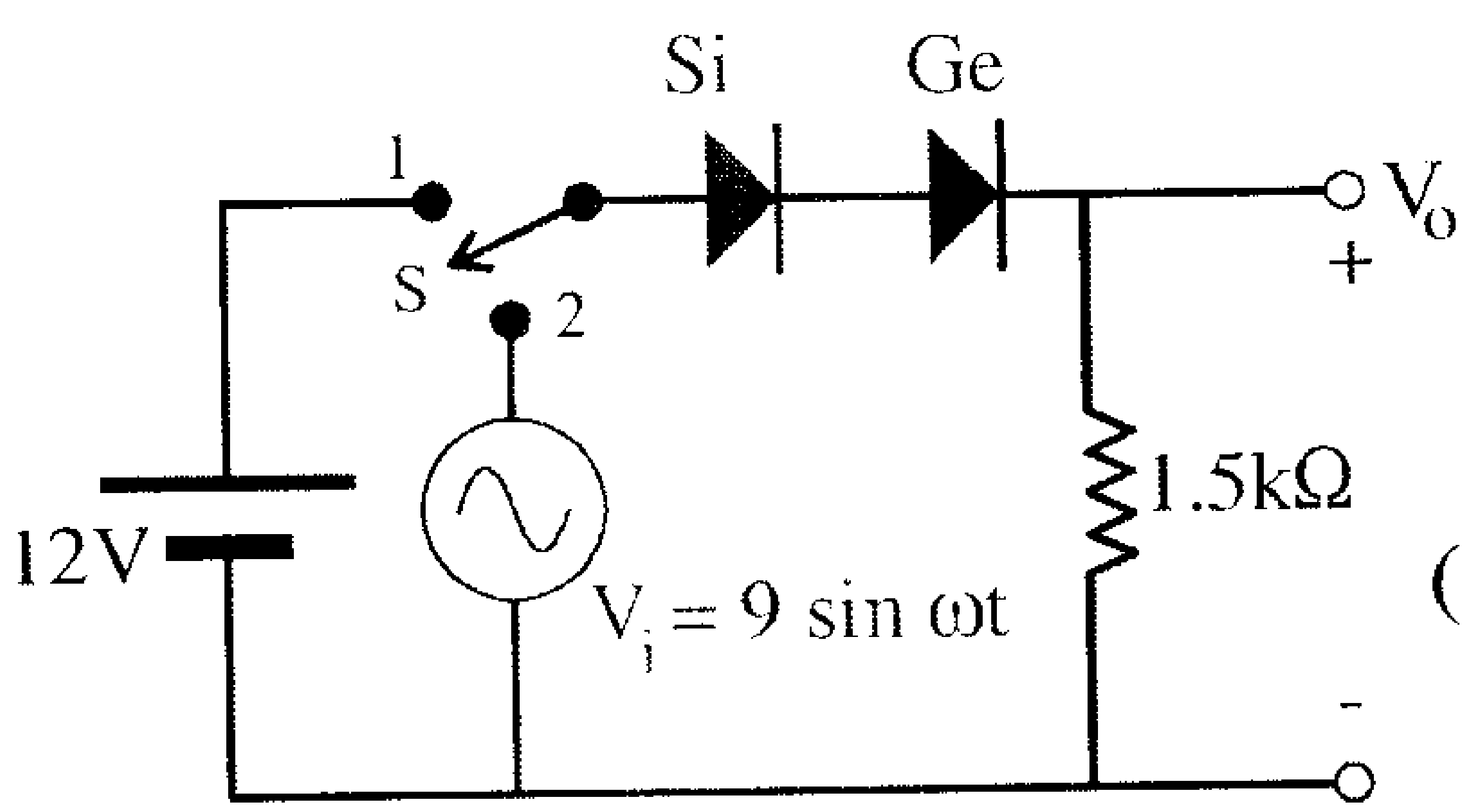
(7) للدائرة في الشكل التالي،و باعتبار أن جميع الثنائيات مثالية وجهد الدخول معرف بالمعادلة ($V_i = 12 \sin \omega t$)، ارسم :



1- الدائرة التقريبية المكافئة لكل من نصف الموجة السالب والنصف الموجب.

2- شكل جهد الخروج النهائي (V_o) .

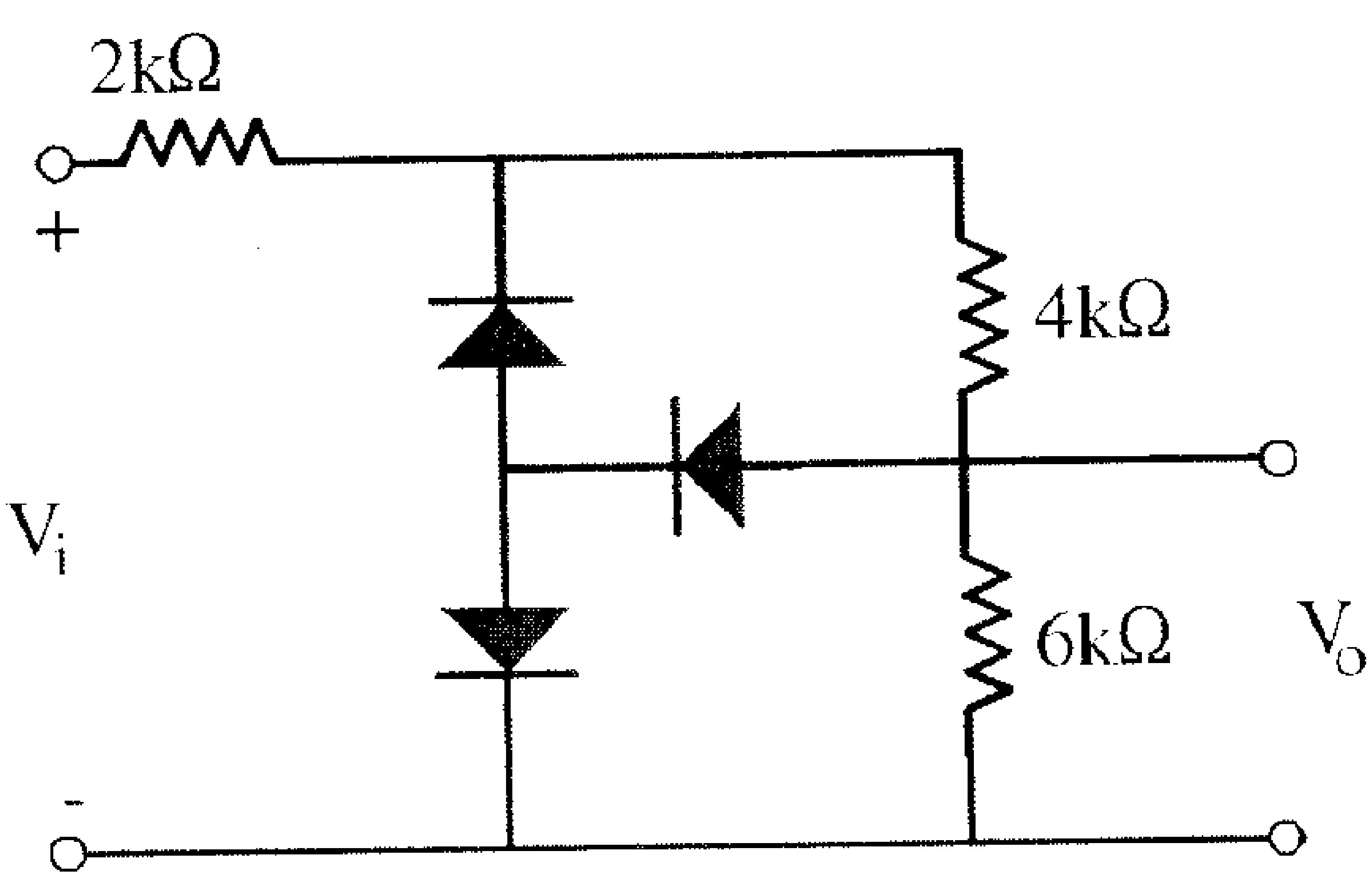
(8) في الدائرة بالشكل التالي :



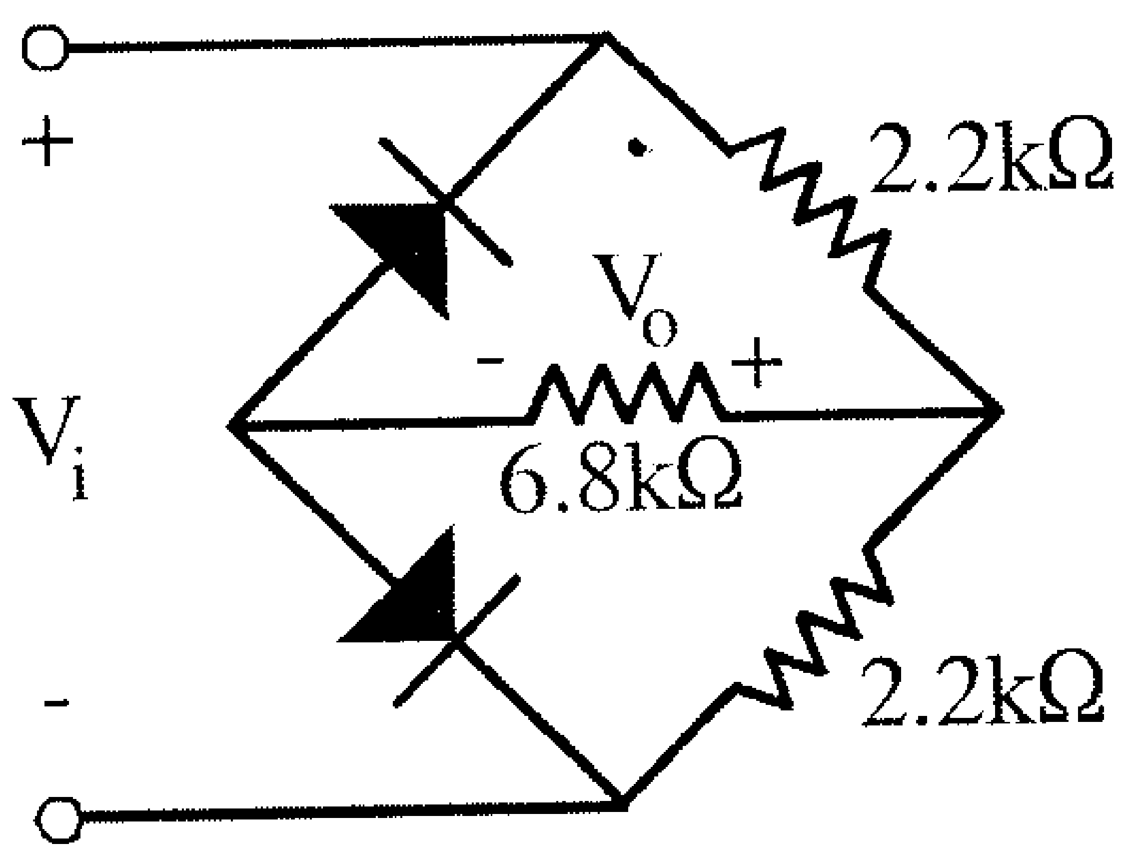
1- أوجد قيمة الجهد V_o والتيار I عندما يكون المفتاح (S) على الوضع (1).

2- ارسم شكل جهد الخروج (V_o) عندما يكون المفتاح على الوضع(2).

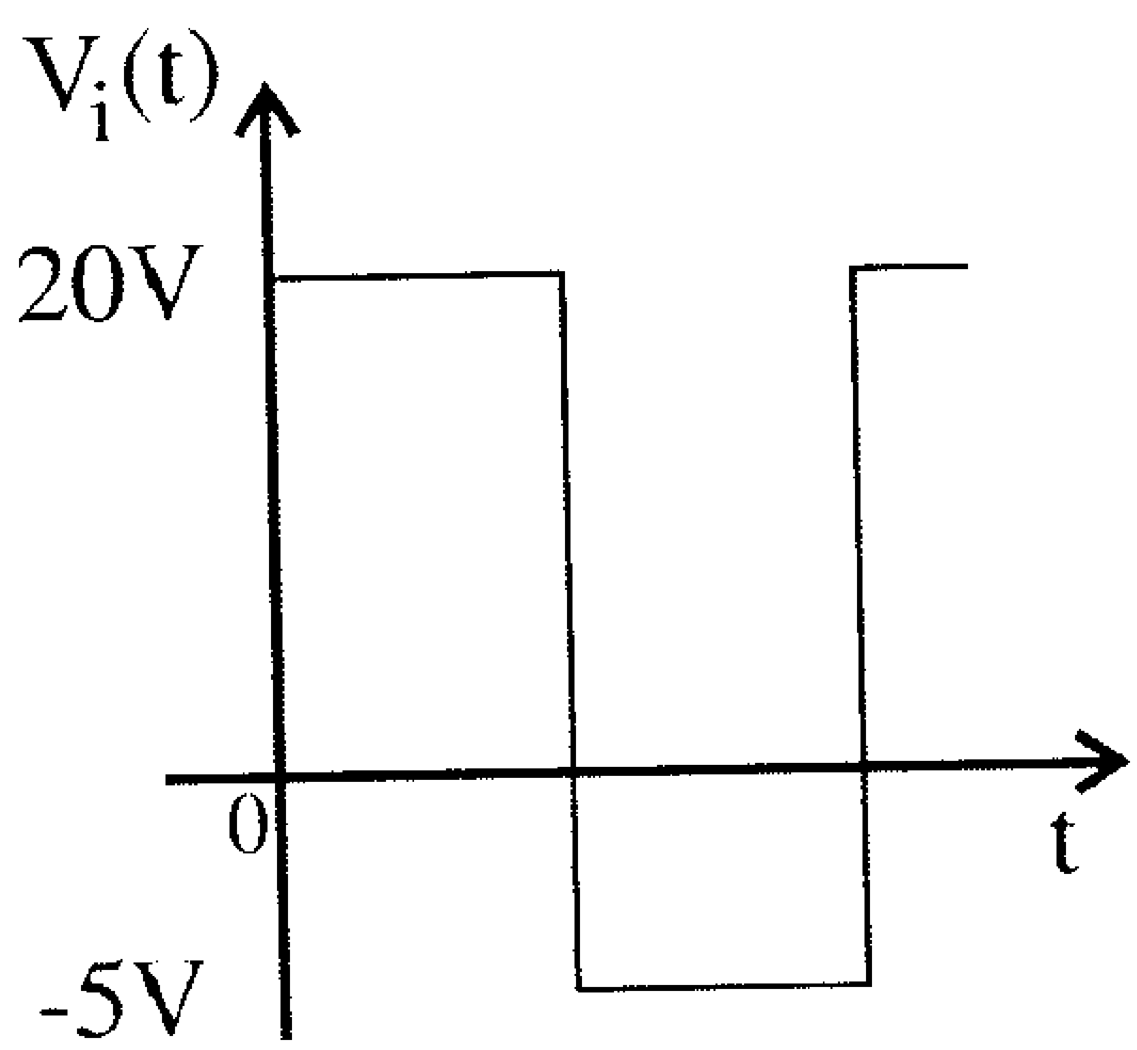
(9) في الدائرة بالشكل التالي،و باعتبار أن جميع الثنائيات مثالية وجهد الدخول معرف بالمعادلة ($V_i = 24 \sin \omega t$) ،ارسم الدائرة المكافئة لكل من نصف الموجة الموجب والنصف السالب ثم احسب قيمة جهد الخروج النهائي (V_o) مع التمثيل بيانياً ،ثم اذكر نوع هذا المقوم.

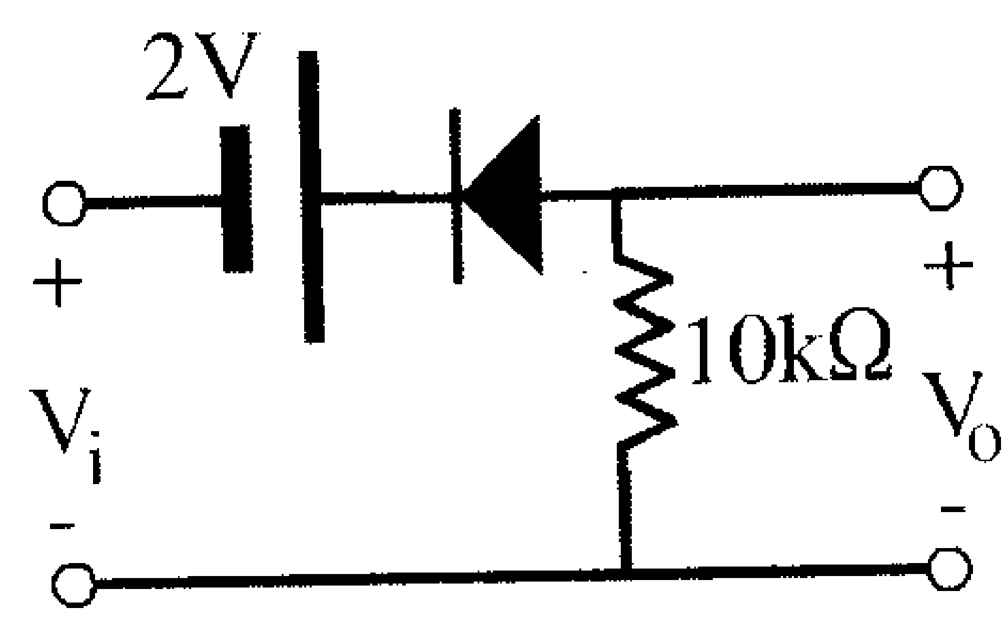


(10) باستخدام مقوم الموجة الكاملة ،أوجد شكل موجة الخروج V_o للدائرة التي بالشكل التالي إذا علمت أن جهد الدخول معرف بالمعادلة ($V_i = 10 \sin \omega t$) وأن جميع الثنائيات مثالية.

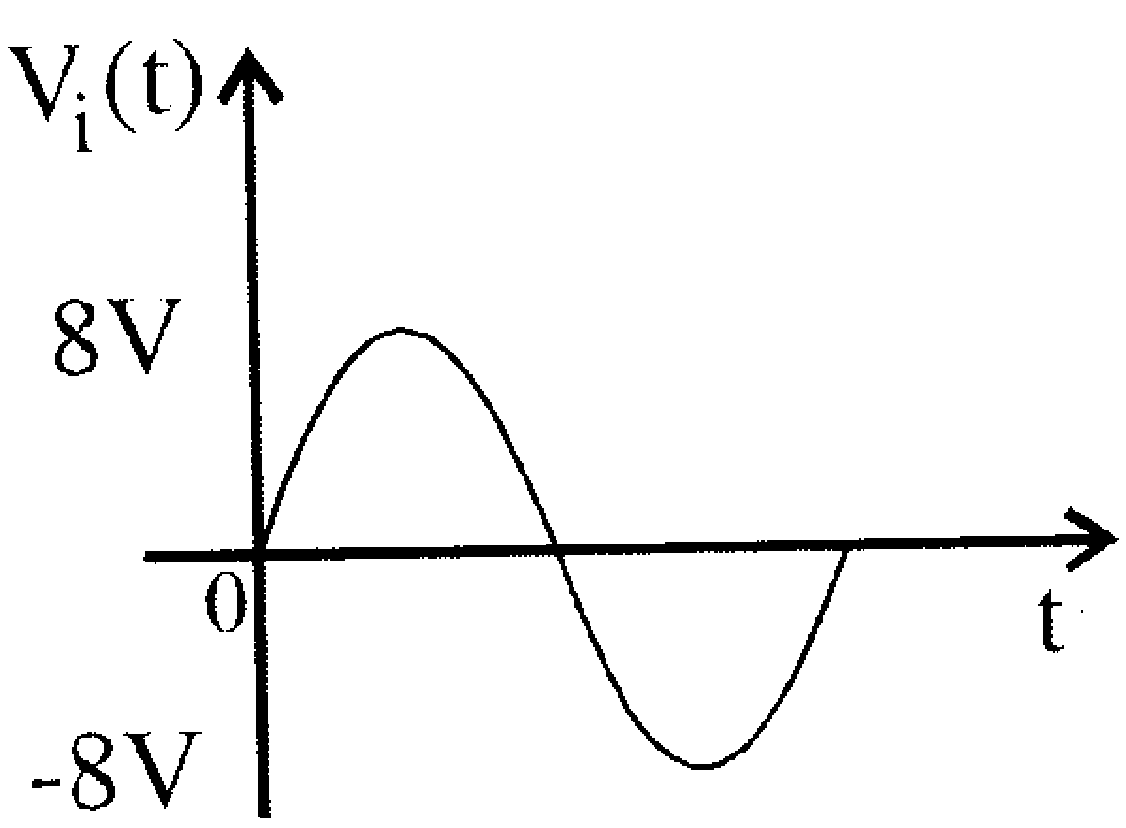


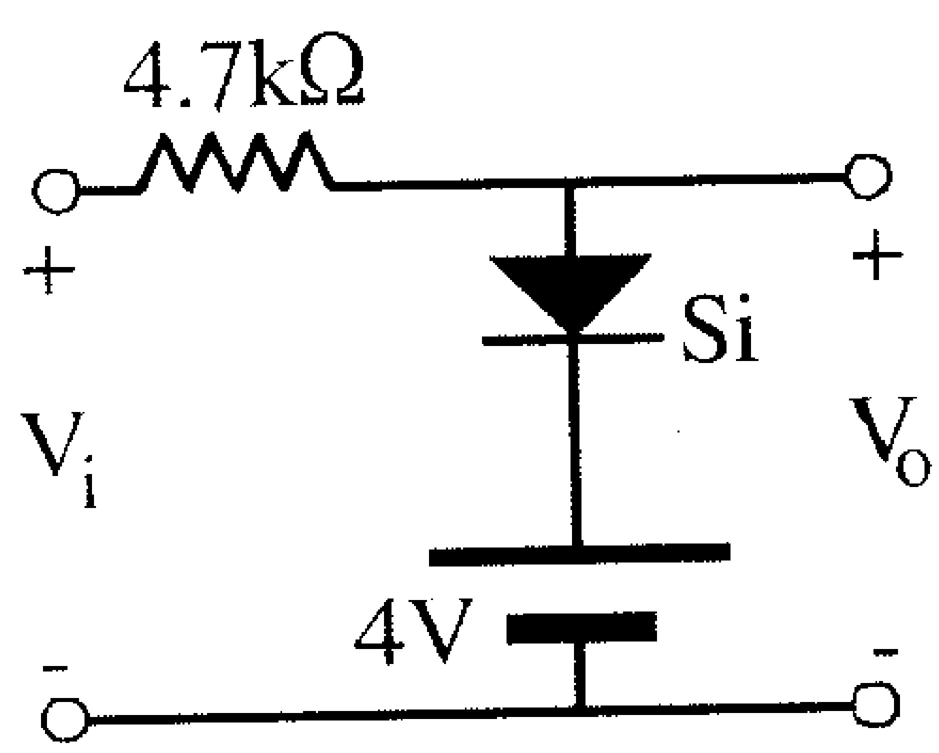
(11) من الدائرة بالشكل التالي حدد شكل موجة الخروج V_o إذا علمت أن الثنائي من النوع المثالي.





(12) من الدائرة بالشكل التالي حدد شكل موجة الخروج V_o .

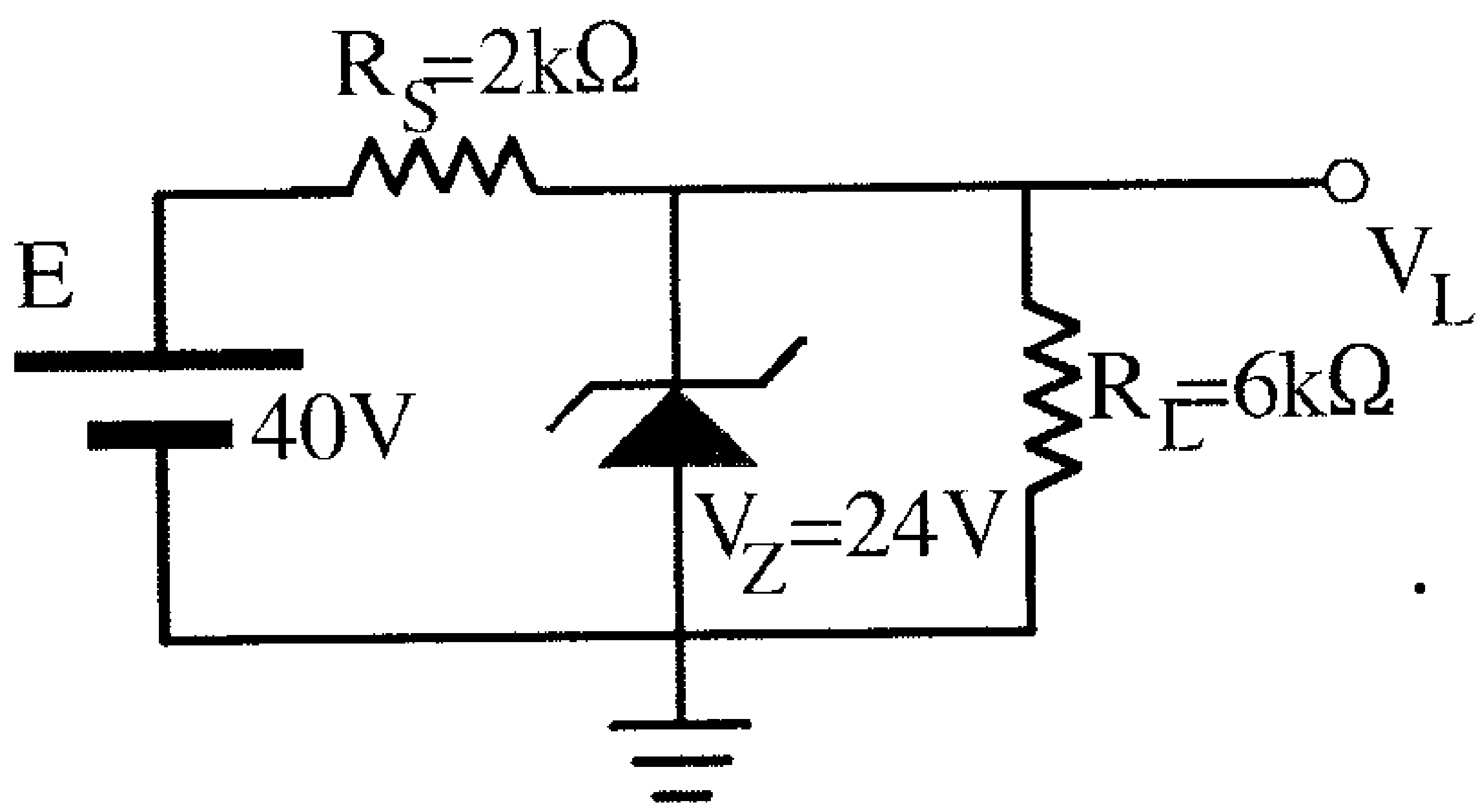




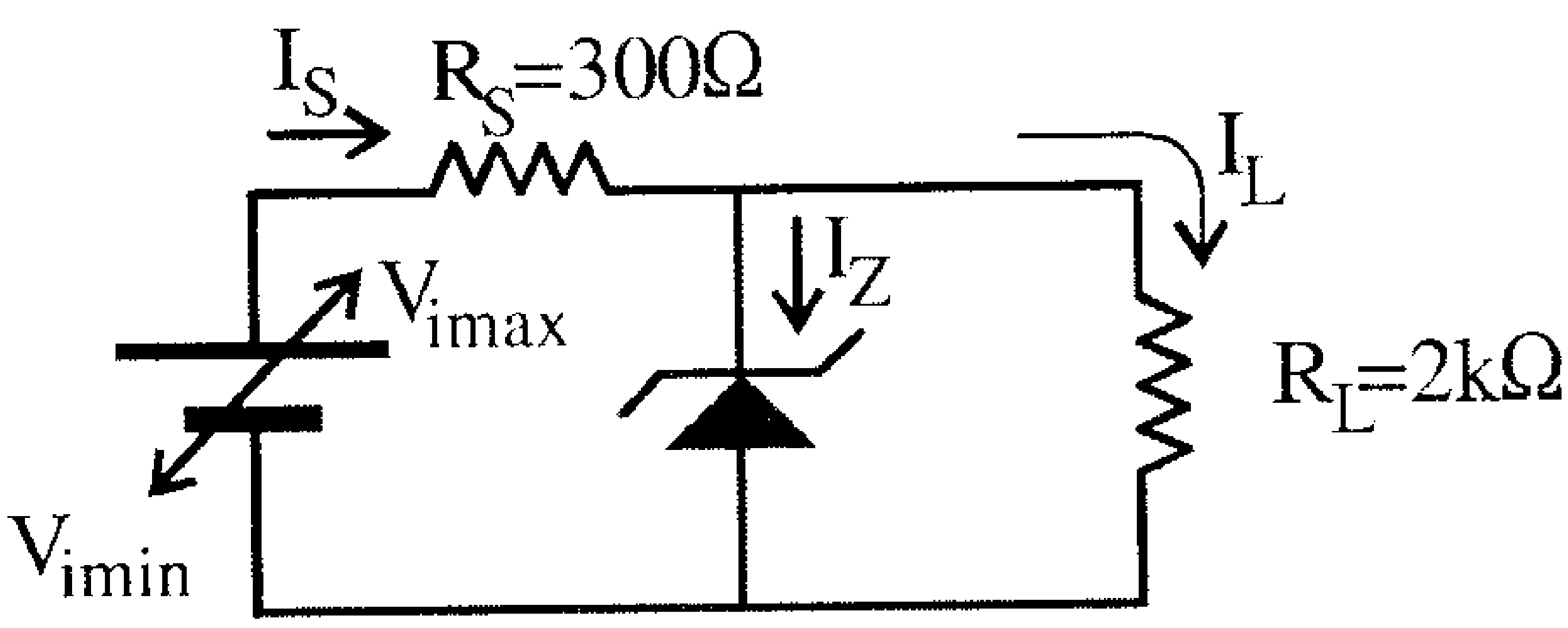
(13) من الدائرة بالشكل التالي :

1- أوجد قيمة الجهد(V_L) .

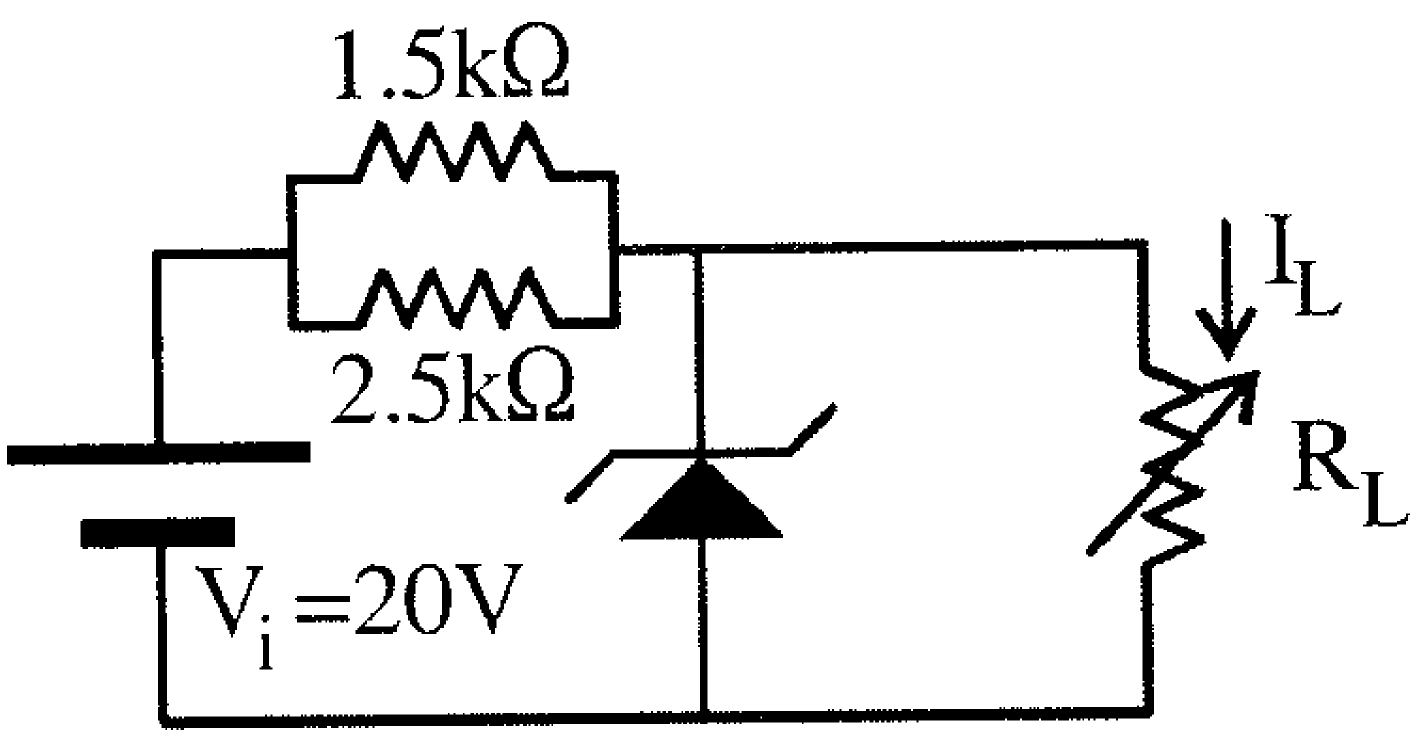
2- أوجد القدرة المستهلكة على ثنائي زينر($I_{Zmax} = 18mA$) .



(14) أوجد أدنى وأقصى قيمة لجهد الدخول (V_i) وكذلك احسب P_{Zmax} من الدائرة في الشكل التالي.إذا علمت أن $I_{Zmax} = 30mA$, $V_Z = 10V$



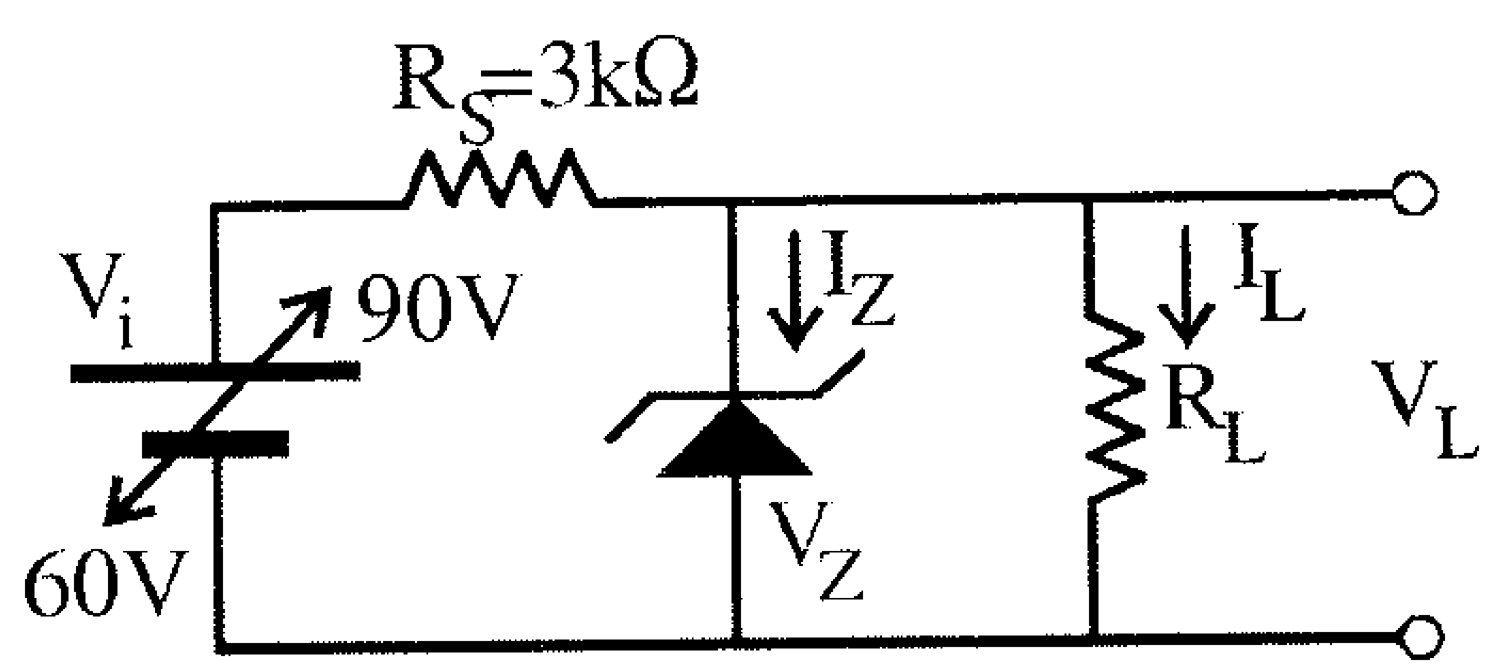
(15) أوجد أدنى وأقصى قيمة لكل من I_L و R_L من الدائرة بالشكل التالي إذا علمت أن $P_{Zmax} = 96mW , V_Z = 8V$.



(16) من الدائرة في الشكل التالي :

1- أوجد كلاً من (V_L , I_L , R_L) التي تجعل ثنائي زينر يعمل.

2- أوجد كلاً من I_{Zmin} و I_{Zmax} وI_{Smin} I_{Smax} .



إذا علمت أن $V_Z = 24V$, $P_{Zmax} = 432mW$.

المراجع

1. Robert L. Boylestad; Introductory Circuit Analysis; USA; Prentice-Hall Inc. 2000

2. Robert L. Boylestad; Electronics Circuits: Prentice-Hall Inc. 1998.

3. Yahya Al-Jammal; Solid State Physics;
فيزياء الحالة الصلبة، الدكتور يحي نوري الجمّال – جامعة الموصل، دار الحكمة للطباعة والنشر– الموصل 1990.

4. D.Halliday, R. Resnick and J. Walker; Fundamental of Physics; John Wiley & Sons, Extended 6th Edition 2001.

5. R. Wolfson and J. M. Pasachoff; Physics for Scientists and Engineers; Harper Collins College Publisher, Second Edition 1995.

المؤلف

د. عبدالقادر مصباح الأمين

المكتب الوطني للبحث والتطوير

B. Sc. : Technical University of Dresden, **Germany**

M. Sc. : Technical University of Dresden, **Germany**

Ph. D. : Huazhong University of Science and Technology, **China**

المؤلف د. عبد القادر مصباح الأمين

- باحث ثان بالمكتب الوطني للبحث العلمي

- B.Sc.: Technical University of Dresden (Germany)
- M.Sc. : Technical University of Dresden (Germany)
- Ph.D. : Huazhong University of Science and Technology (China)