

الأكاديمية العربية الدولية



الأكاديمية العربية الدولية
Arab International Academy

الأكاديمية العربية الدولية المقررات الجامعية

الجمهورية العربية الليبية الشعبية الاشتراكية العظمى

المكتب الوطني للبحث والتطوير

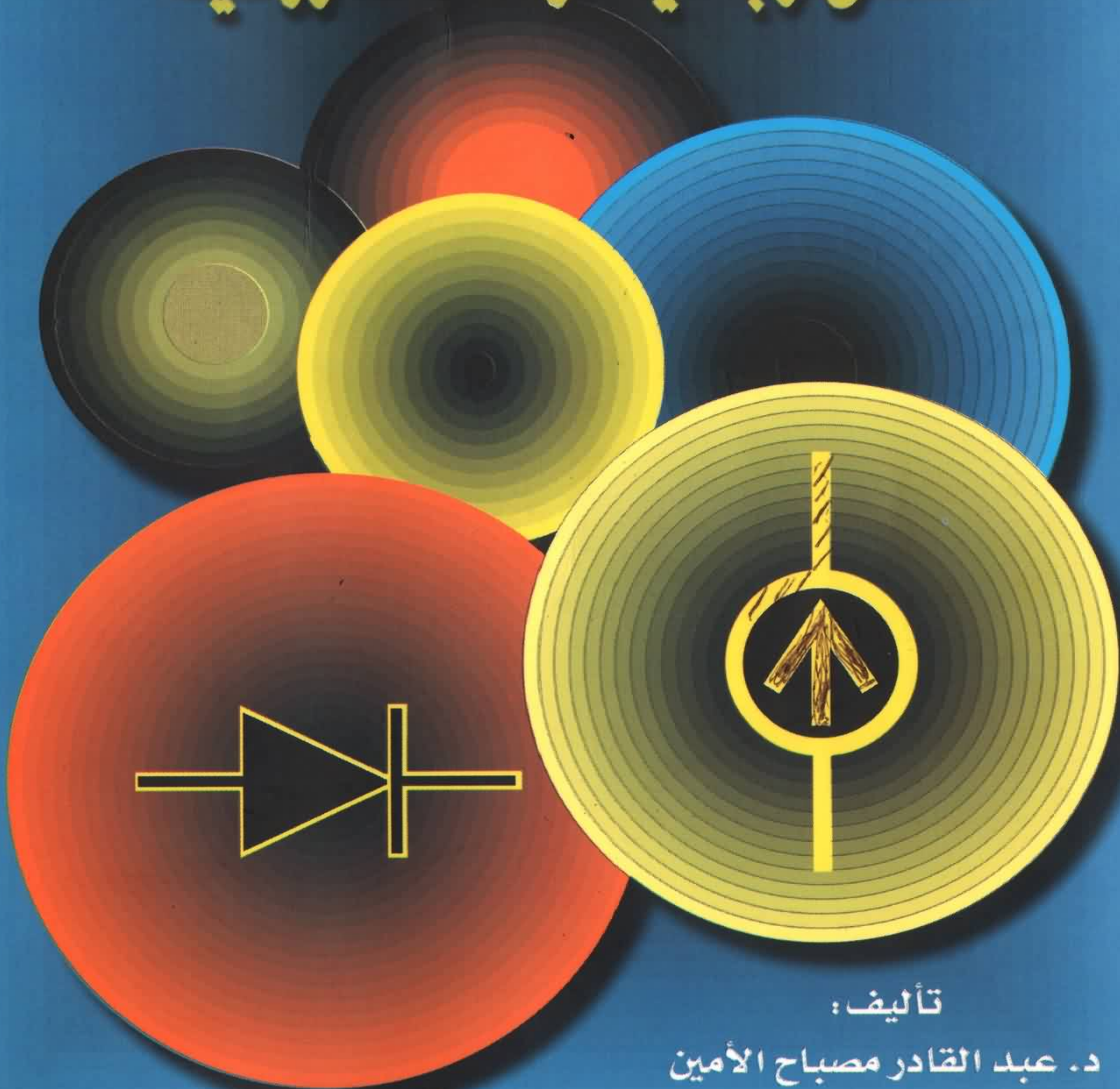


تحليل الدوائر

الكهربائية والإلكترونية

هواد موصلة

نقل دوائر



تأليف:

د. عبد القادر مصباح الأمين

الجمهورية العربية السورية
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

جميع الحقوق محفوظة للناشر:
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 : 7 - 49 - 818 - 9959 ISBN



﴿ 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 الله العلي القدير أن يتمتعهما 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

مقدمة

الحمد لله الذي وفقنا لإتمام هذا الجهد المتواضع، الذي يتناول عرضاً 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 المحولة 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 المحولة وغير المحولة، واحتوى الكتاب في مجمله على ما يقرب من ثلاثمائة مثال ومسألة محلولة وغير محلولة. و ينقسم هذا الكتاب إلى جزأين رئيسيين: 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 التقليل 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 تقدماً 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 إلا 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 أمل أن يحقق هذا الكتاب الغرض الذي وضع من أجله ليكون عوناً 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

21	القياسات ووحدات القياس	1.1
21	قياس الكميات الفيزيائية	1.1.1
21	النظام الدولي لوحدات القياس	2.1.1
22	مضاعفات وكسور الوحدات	3.1.1
23	جمع، طرح، ضرب وقسمة الأسس	4.1.1
25	التيار الكهربائي والشحنة الكهربائية	2.1
27	الجهد الكهربائي	3.1
27	الشغل الكهربائي والطاقة الكهربائية	4.1
28	القدرة الكهربائية	5.1
28	المقاومة الكهربائية وقانون أوم	6.1
30	المقاومة النوعية	7.1
31	الموصلية الكهربائية	8.1
32	علاقة قانون أوم بقانون القدرة	9.1
33	أمثلة متنوعة	10.1

الفصل الثاني : دوائر التوالي

43	أهم عناصر الدائرة الكهربائية	1.2
43	التيار المباشر والتيار المتردد	2.2
43	دوائر التوالي	3.2
44	توصيل المقاومات على التوالي	4.2
48	توصيل مصادر الجهد على التوالي	5.2
48	قانون الجهد لكرشوف	6.2
53	قانون مجزئ الجهد	7.2
57	مصادر الجهد و التأسيس	8.2
65	أمثلة متنوعة	9.2
73	مسائل	10.2

الفصل الثالث : دوائر التوازي

79	توصيل المقاومات على التوازي	1.3
79	المقاومة الكلية والمواصلة الكلية	2.3
85	دوائر التوصيل على التوازي	3.3
89	توصيل مصادر التيار على التوازي وتحويل المصادر	4.3

90	قانون التيار لكرشوف	5.3
94	قانون مجزئ التيار	6.3
98	الدوائر المفتوحة والدوائر المغلقة	7.3
103	أمثلة متنوعة	8.3
114	مسائل	9.3
الفصل الرابع : تطبيقات دوائر التوالي والتوازي		
119	تطبيقات دوائر التوالي والتوازي	1.4
133	أمثلة متنوعة	2.4
144	مسائل	3.4
الفصل الخامس : طرق تحليل الدوائر الكهربائية		
159	التحليل الحلقي (الشبكي)	1.5
172	مسائل عن التحليل الحلقي	2.5
175	التحليل العقدي	3.5
191	مسائل عن التحليل العقدي	4.5
الفصل السادس : نظريات في تحليل الدوائر الكهربائية		
195	نظرية التراكيب	1.6
203	مسائل عن نظرية التراكيب	2.6

205	نظرية ثيفن	3.6
217	مسائل عن نظرية ثيفن	4.6
219	نظرية نورتن	5.6
227	مسائل عن نظرية نورتن	6.6
228	نظرية انتقال أقصى قدرة	7.6
237	مسائل عن نظرية أقصى قدرة	8.6
الفصل السابع: المكثفات		
241	السعة	1.7
247	شحن المكثفات	2.7
254	تفريغ المكثفات	3.7
263	القيم اللحظية	4.7
266	القيمة ($\tau = R_{Th} C$)	5.7
273	توصيل المكثفات على التوالي	6.7
274	توصيل المكثفات على التوازي	7.7
274	الطاقة المخزنة في المكثف	8.7
277	أمثلة محلولة	9.7
289	مسائل متنوعة	10.7

الجزء الثاني : الدوائر الإلكترونية

الفصل الثامن: نظرية عمل الصمام الثنائي

295	مكونات الذرة	1.8
297	نظرية الحزم في المواد الصلبة	2.8
298	أشباه الموصلات	3.8
304	الصمام الثنائي	4.8
312	نماذج دوائر الثنائي المكافئة	5.8
320	توصيل الثنائي في الدوائر الإلكترونية	6.8
327	خط الحمل ونقطة التشغيل	7.8

الفصل التاسع: تطبيقات دوائر الثنائي

333	دوائر التقويم	1.9
333	مقوم نصف الموجة	1.1.9
337	مقوم الموجة الكاملة	2.1.9
345	دوائر التقليم (القص)	2.9

الفصل العاشر: الثنائي زينر

355	طريقة عمل ثنائي زينر	1.10
356	ثنائي زينر كمنظم للجهد	2.10

الفصل الحادي عشر : تصميم البوابات المنطقية باستخدام الثاني

367	1.11	بوابة الاختيار (أو)
369	2.11	بوابة الاضافة (و)
373	3.11	مسائل متنوعة عن الجزء الثاني
379		المراجع

الفصل الأول

- 1.1 القياسات ووحدات القياس.
- 1.1.1 قياس الكميات الفيزيائية.
- 2.1.1 النظام الدولي لوحدات القياس .
- 3.1.1 مضاعفات وكسور الوحدات.
- 4.1.1 جمع – طرح – ضرب – قسمة الأسس.
- 2.1 التيار الكهربائي والشحنة الكهربائية.
- 3.1 الجهد الكهربائي.
- 4.1 الشغل الكهربائي و الطاقة الكهربائية.
- 5.1 القدرة الكهربائية.
- 6.1 المقاومة الكهربائية وقانون أوم.
- 8.1 الموصلية الكهربائية.
- 9.1 علاقة قانون أوم بقانون القدرة.
- 10.1 أمثلة متنوعة.
- 11.1 مسائل متنوعة.

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.

تقاس 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 (كيلوجرام)، والزمن (الثانية). 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} وتتكون 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

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

$$35600000000 \text{ m} = 3.56 \times 10^9 \text{ m}$$

$$0.0000000492 \text{ s} = 4.92 \times 10^{-7} \text{ s}$$

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	ميلي	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 $1.27 \times 10^9 \text{ W} = 1.27 \text{ GW}$

وفي حساب الزمن $2.35 \times 10^{-9} \text{ s} = 2.35 \text{ ns}$

$$\therefore 1 \text{ min} = 60 \text{ s}$$

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

∴ لتحويل دقيقتين إلى ثوان

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

- حول (20mm) إلى المتر

$$20 \text{ mm} = 20 \times 10^{-3} \text{ m}$$

- حول (5mg) إلى الكيلوجرام

$$\begin{aligned} 5 \text{ mg} &= 5 \times 10^{-3} \text{ g} \\ &= 5 \times 10^{-3} \times 10^{-3} \text{ kg} \\ &= 5 \times 10^{-6} \text{ kg} \end{aligned}$$

4.1.1 - جمع - طرح - ضرب - قسمة الأسس

- الجمع : $1 \times 10^n + 1 \times 10^n = 2 \times 10^n$

$$1 \times 10^6 + 1 \times 10^6 = 2 \times 10^6 \quad -1$$

$$1 \times 10^3 + 1 \times 10^4 = 1 \times 10^3 + 10 \times 10^3 = 11 \times 10^3 \quad -2$$

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

- الطرح : $1 \times 10^n - 1 \times 10^n = 0$

$$3 \times 10^n - 1 \times 10^n = 2 \times 10^n \quad -1$$

$$1 \times 10^6 - 1 \times 10^6 = 0 \quad -2$$

$$4 \times 10^4 - 2 \times 10^4 = 2 \times 10^4 \quad -3$$

$$1 \times 10^8 - 1 \times 10^6 = 100 \times 10^6 - 1 \times 10^6 = 99 \times 10^6 \quad -4$$

- الضرب : $(1 \times 10^n)(1 \times 10^m) = 1 \times 10^{n+m}$

-1 $(1 \times 10^3)(1 \times 10^4) = 1 \times 10^{3+4} = 1 \times 10^7$

-2 $(1 \times 10^{-5})(1 \times 10^2) = 1 \times 10^{-5+2} = 1 \times 10^{-3}$

- القسمة : $\frac{1}{1 \times 10^n} = 1 \times 10^{-n}$, $\frac{1}{1 \times 10^{-n}} = 1 \times 10^n$, $\frac{1 \times 10^n}{1 \times 10^m} = 1 \times 10^{(n-m)}$

-1 $\frac{1}{1 \times 10^6} = 1 \times 10^{-6}$, $\frac{1}{1 \times 10^{-3}} = 1 \times 10^3$

-2 $\frac{1}{1000} = \frac{1}{1 \times 10^3} = 1 \times 10^{-3}$

-3 $\frac{1}{0.00001} = \frac{1}{1 \times 10^{-5}} = 1 \times 10^5$

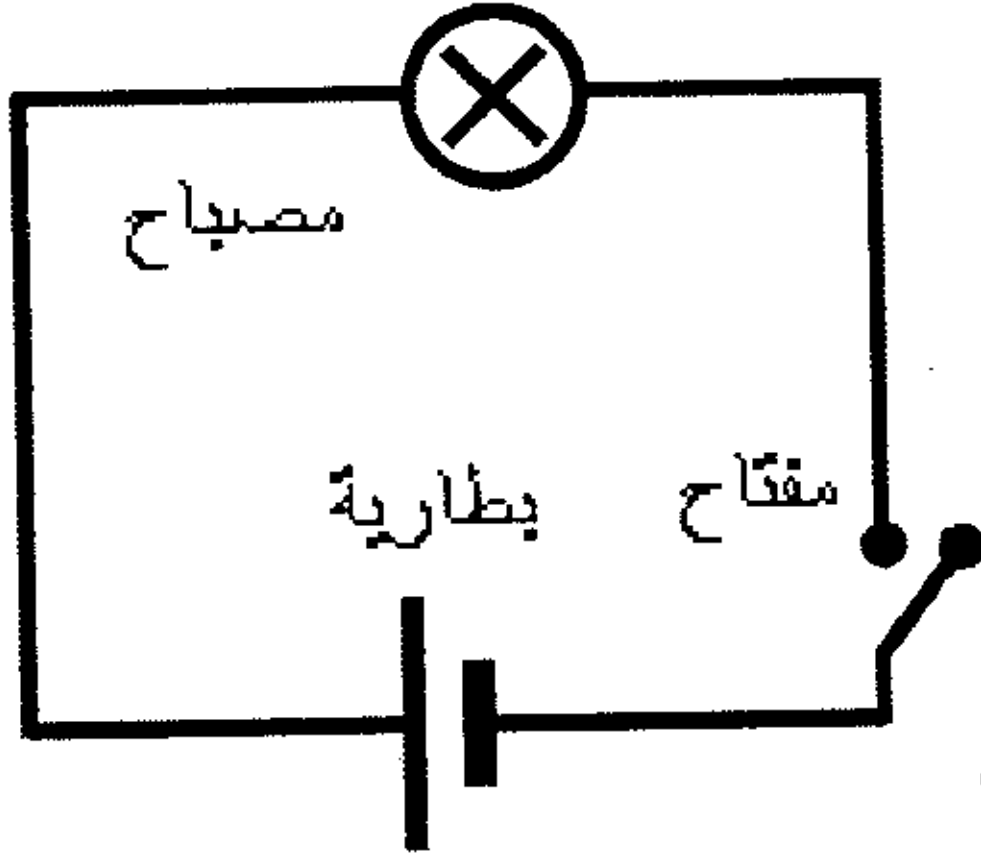
-4 $\frac{1 \times 10^5}{1 \times 10^2} = 1 \times 10^{(5-2)} = 1 \times 10^3$

-5 $\frac{1 \times 10^3}{1 \times 10^{-4}} = 1 \times 10^{3+(+4)} = 1 \times 10^7$

-6 $\frac{1 \times 10^{-13}}{1 \times 10^{-9}} = (1 \times 10^{-13})(1 \times 10^9) = 1 \times 10^{-4} = \frac{1}{1 \times 10^4}$

2.1 التيار الكهربائي والشحنة الكهربائية 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 تتساب

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):

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

$$q[C] = I[A] \cdot t[s]$$

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:

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

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

الحل:

$$q = I \cdot t$$

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

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

الحل:

الشحنة = عدد الإلكترونات $\times$ الشحنة النوعية للإلكترون

$$q = n e$$

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

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

مثال 3.1 احسب عدد الإلكترونات التي تكون شحنة كهربائية مقدارها (320 μC) .

الحل:

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

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].

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

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

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

مثال 4.1 احسب الطاقة الكهربائية اللازمة لتحريك شحنة (50 μ C) بين نقطتين فرق الجهد بينهما (6V) .

الحل:

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

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

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) .

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

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

ووحدة قياس الشغل والطاقة الجول [J].

5.1 القدرة الكهربائية (Electric Power)

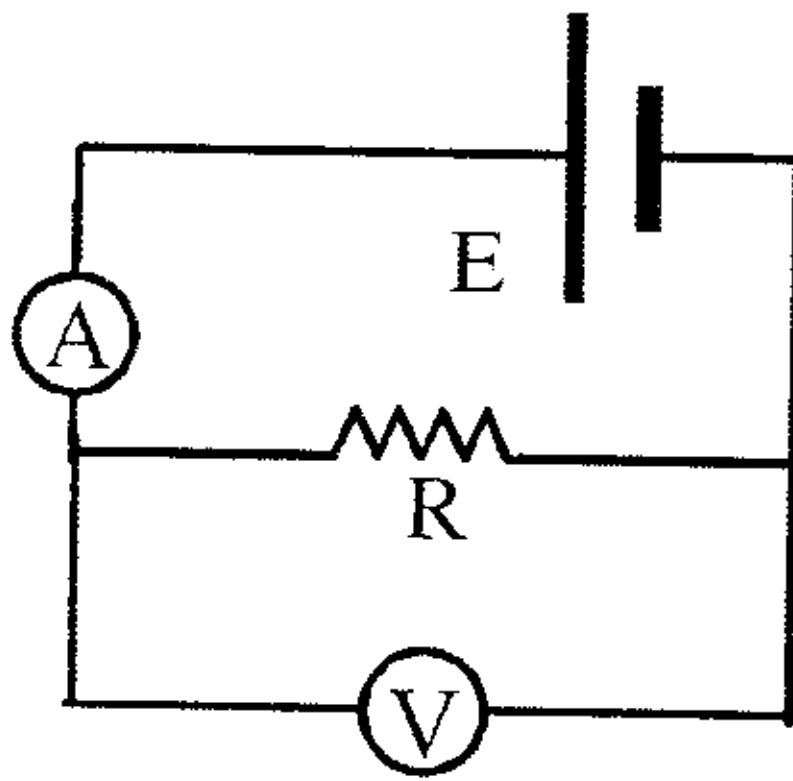
هي الشغل المبذول على وحدة الزمن ، ووحدة قياسها [W] .

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

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

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

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) .

$$\therefore I \propto V$$

$\therefore$ I تتناسب طردياً مع V عند ثبوت درجة الحرارة فإن:

$$I = G.V$$

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

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

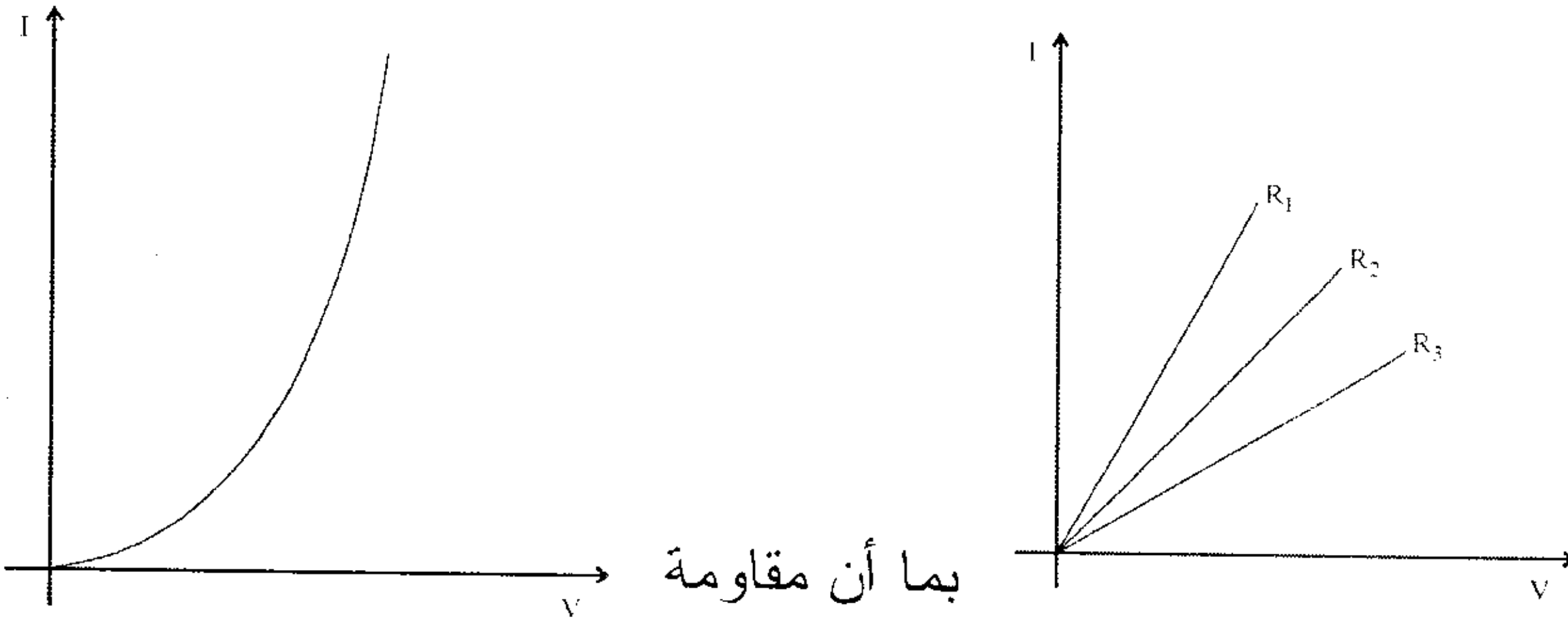
$$\therefore I = \frac{1}{R} V$$

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

وحدة قياس المقاومة الأوم (Ω) ووحدة قياس الموصلة 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 الأومية.

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 وغير 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:

$$R = R_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

حيث: (R) و (ρ) المقاومة النوعية والمقاومة عند درجة الحرارة الجديدة على التوالي.
 (R₀) و (ρ₀) المقاومة النوعية والمقاومة عند درجة الحرارة المعلومة.
 α : معامل المقاومة النوعية ووحدته [1/C°] أو [1/k°].
 ΔT : التغير في درجة الحرارة (T₂-T₁) ووحدته [C°] أو [k°].

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).

$$\therefore R \propto L \quad , \quad R \propto \frac{1}{A}$$

$$R \propto \frac{L}{A} \quad \text{ومنها}$$

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

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

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 ρ ($\Omega.m$) @ 20C°	المعامل الحراري للمقاومة النوعية α [1/ C°]
موصل	الفضة	1.47×10^{-8}
	النحاس	1.72×10^{-8}
	الذهب	2.44×10^{-8}
شبه موصل	الكربون	3.5×10^{-5}
	جرمانيوم	0.6
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

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

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

9.1 علاقة قانون أوم بقانون القدرة.

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

تعرفنا في السابق على قانون أوم:

$$P = V \cdot I \text{ وقانون القدرة}$$

إذاً من العلاقتين وبمعلومية (V, I) أو (R, I) أو (R, V) يمكن حساب القدرة الكهربائية

$$\therefore P = V \cdot I \quad , \quad V = R \cdot I$$

$$\therefore P = R \cdot I \cdot I = R \cdot I^2$$

$$P = V \cdot I \quad , \quad I = \frac{V}{R} \quad \text{أو}$$

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

10.1 أمثلة متنوعة

مثال (1)

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

1- كم من الميكرومتر في ($1 km$) ؟

2- كم من السنتيمتر في ($1 \mu m$) ؟

الحل :

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

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

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؟

الحل :

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

-2

$$\therefore P = V \cdot I$$

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

-3

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

مثال (3)

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

- 1- شدة التيار والقدرة الكهربائية.
- 2- الطاقة الكهربائية المستهلكة عند استخدام السخانة لمدة (20 min).
- 3- الشحنة الكهربائية التي تمر في الجهاز خلال هذا الزمن.

الحل :

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

-1

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

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

-2

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

$$\therefore W = 2 M J$$

-3

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

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- الموصلة الكهربائية للسلك.
- 3- مقاومته.
- 4- الموصلية الكهربائية للسلك.

الحل :

$$L = 5m, r = 1mm = 1 \times 10^{-3} m, q = 90C, t = 2min \times 60 = 120 s, V = 1.5V$$

$$\therefore \quad q = I \cdot t \quad \therefore \quad I = \frac{q}{t} = \frac{90}{120} = 0.75 A$$

-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

$$\rho = R \frac{A}{L} = (2) \frac{\pi (1 \times 10^{-3})^2}{5} = 3.14 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$$

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) .

الحل :

$$R = 5 \Omega , L = 150 m , \rho = 1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$$

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

$$\therefore \quad A = \pi \cdot r^2 \quad A = (1.7 \times 10^{-8}) \frac{(150)}{5} = 5.1 \times 10^{-7} m^2$$

$$\therefore \quad r^2 = \frac{A}{\pi} = \frac{5.1 \times 10^{-7}}{3.14} = 1.62 \times 10^{-7} m^2$$

$$r = 4.03 \times 10^{-4} m$$

$$d = 2 r = (2) (4.03 \times 10^{-4}) = 8.06 \times 10^{-4} m$$

$$d = 0.8 mm$$

مثال (6)

سلك من النحاس طوله (5 m) ومقاومته عند درجة حرارة الغرفة تساوي (34.12 Ω)
احسب مقاومة السلك عند درجة حرارة (-20 °C) .
إذا علمت أن معامل المقاومة الحراري يساوي (0.00393 °C⁻¹) .
الحل :

نفرض أن درجة حرارة الغرفة تساوي (27 °C) .

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

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

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

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

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

مثال (7)

سلك طوله (32.3m) ومساحة مقطعه (5 mm²) ومقاومته عند درجة حرارة الصفر
المئوي تساوي (120 Ω) وعندما ارتفعت درجة حرارته إلى (50 °C) أصبحت
مقاومته (144 Ω) احسب كلاً من :

- 1- معامل المقاومة الحراري
- 2- المقاومة النوعية عند (0 °C) .

الحل:

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

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

$$144 = 120 [1 + \alpha 50]$$

$$144 = 120 + 6000\alpha$$

$$6000\alpha = 144 - 120$$

$$6000\alpha = 24$$

$$\alpha = 0.004 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\therefore \rho = R \frac{A}{L}, \quad \rho_0 = R_0 \frac{A}{L}$$

$$\therefore \rho_0 = (0.12) \frac{(5 \times 10^{-6})}{(32.3)} = 0.0186 \times 10^{-3} \Omega.m$$

$$\rho_0 = 18.6 \times 10^{-6} \Omega.m$$

11.1 مسائل متنوعة

(1) احسب 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) موصل كهربائي مساحة مقطعه على شكل مربع طول ضلعه $(2 mm)$ ، فإذا كان طول هذا الموصل $(12 m)$ ومقاومته (0.072Ω) احسب مقاومة 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 كان التيار 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 $(15 A)$ وفرق الجهد بين طرفيه $(0.25 V)$ ؟

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

(7) سلك موصل مقاومته (1.72Ω) عند درجة حرارة ($20^\circ C$) ،احسب مقاومته عند درجات الحرارة التالية:

$$0^\circ C -1 \quad 100^\circ C -2$$

(8) موصل كهربائي مقاومته (150.4Ω) عند درجة حرارة ($20^\circ C$) وعند ارتفاع درجة حرارته إلى ($40^\circ C$) أصبحت مقاومته (162.4Ω) 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 ($20^\circ C$) هي $\rho = 0.055 \Omega \cdot mm^2/m$ ومعامل المقاومة الحرارية ($\alpha = 4.1 \times 10^{-3} ^\circ C^{-1}$) وذلك في الحالتين :

- 1- عند بدء التشغيل حيث تكون درجة حرارة السلك ($20^\circ C$) .
- 2- عند الإنارة حيث يكون السلك متوهجاً ودرجة حرارته ($2300^\circ C$) .
- 3- احسب القدرة الكهربائية المستهلكة في المصباح.

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

(11) سلك من النحاس طوله ($1000 m$) تغيرت مقاومته من (0.2Ω) إلى (0.8Ω) 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.

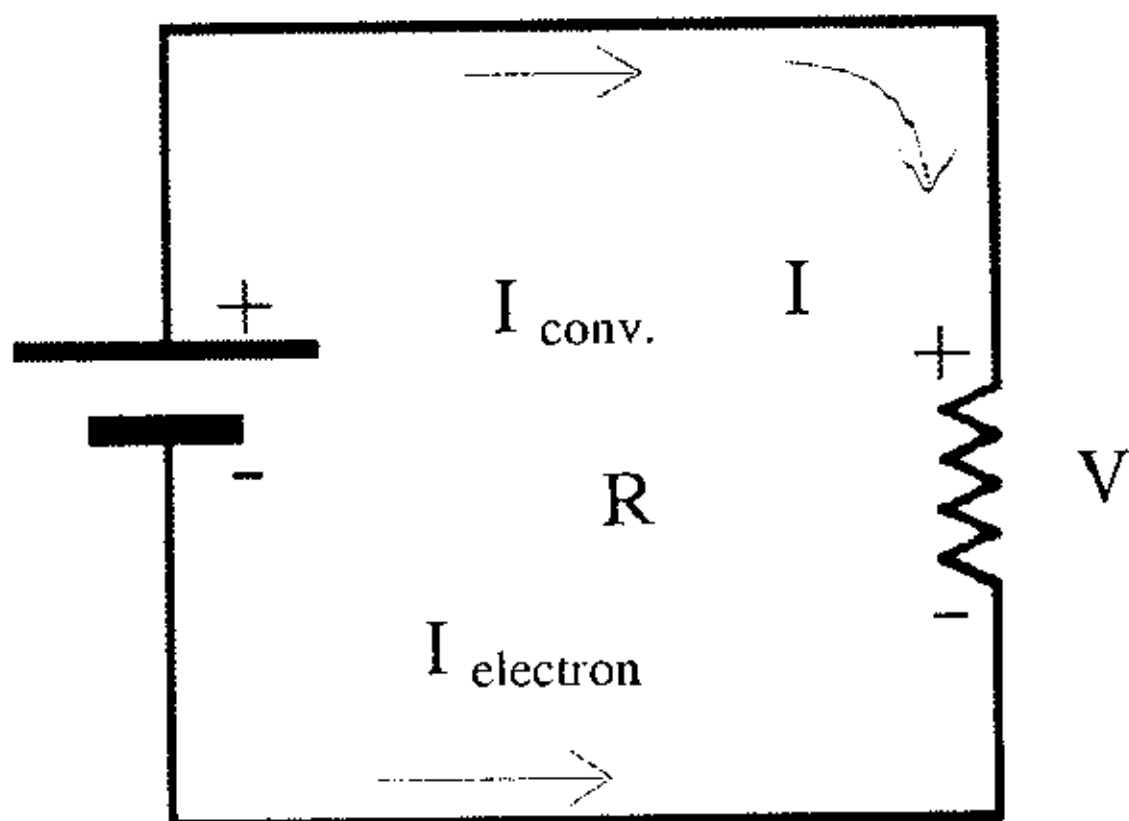
الجدول التالي يوضح بعض عناصر الدائرة الكهربائية التي سنتناولها في دراستنا لهذا الجزء من المنهج :

عنصر الدائرة	الرمز	الشكل	وحدة القياس
مقاومة	R		Ω
مصدر الجهد (القوة الدافعة الكهربائية)	E		V
مصدر التيار	I		A

2.2 التيار المباشر (المستمر) (DC) Direct Current .

التيار المتردد (المتعاقب) (AC) Alternate Current .

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 من القطب الموجب للبطارية وهو

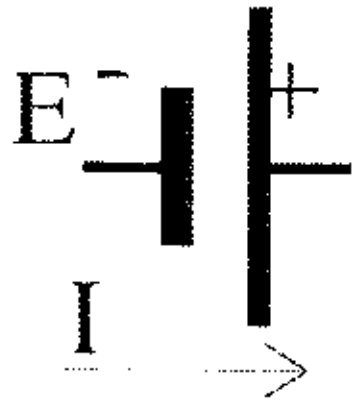
عكس اتجاه تيار الإلكترونات.

∴ 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:

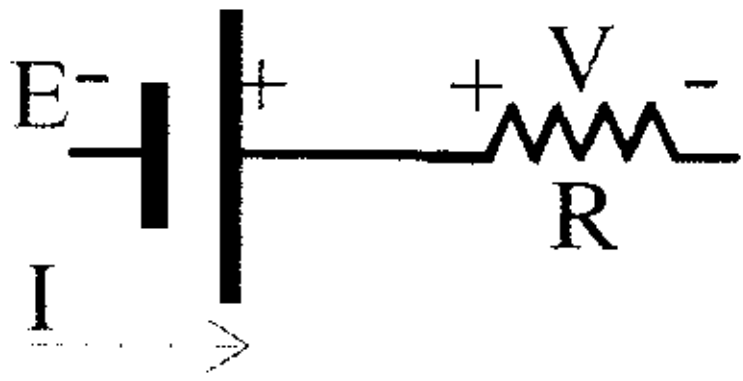
تيار الدائرة هو التيار الافتراضي.



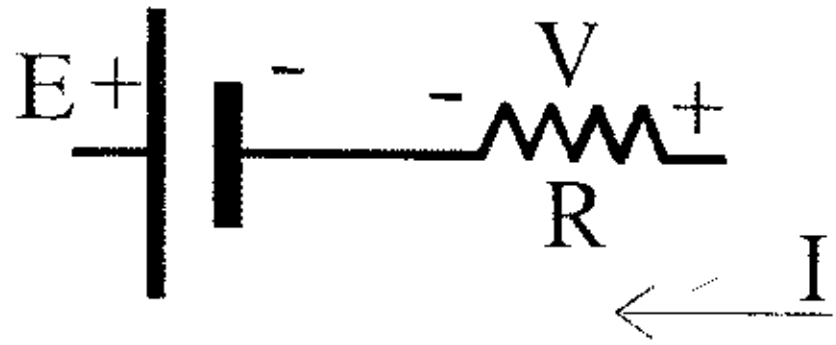
التيار يمر من مصدر الجهد من الجهد الأدنى (-) إلى الجهد الأعلى (+).



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



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

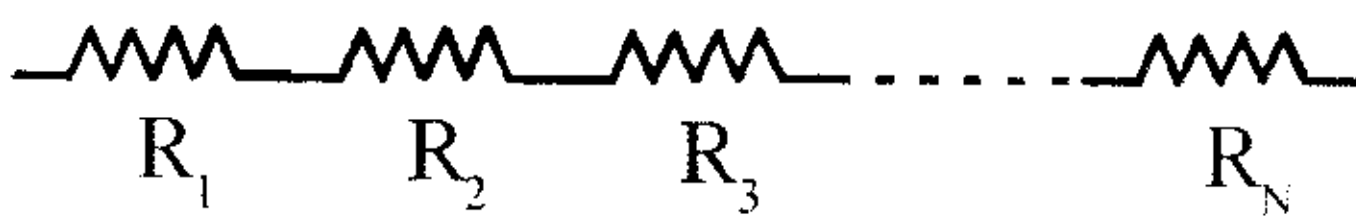


المقاومة من (+) إلى (-).

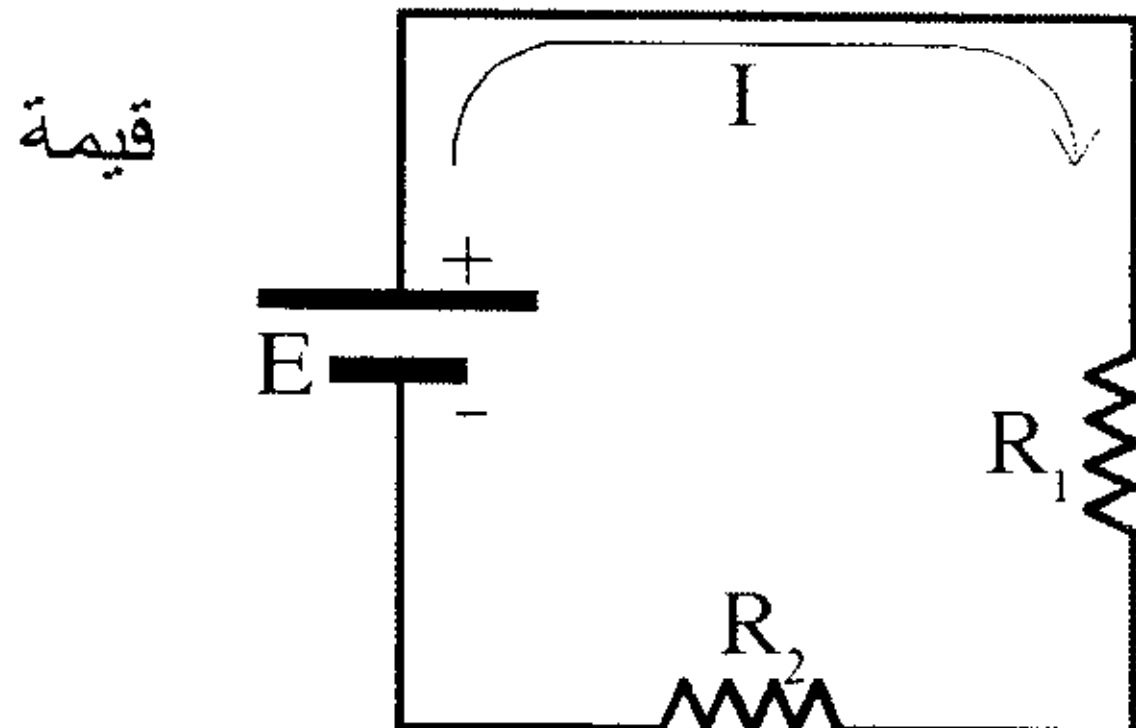
(قانون كيرشوف لاحقاً يقدم توضيحاً أكثر)

4.2 توصيل المقاومات على التوالي

المقاومة المكافئة (الكلية) لمجموع المقاومات المتصلة على التوالي



$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N$$



قيمة

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

$$R_T = R_1 + R_2$$

$$I = E / R_T$$

وكذلك يمكن حساب جهود المقاومة كل على حدة
 $V_1 = IR_1$, $V_2 = IR_2$

وبالتالي فإن القدرة المولدة من المصدر

$$P_s = P_{del} = EI$$

والقدرة المستهلكة في المقاومات

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

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

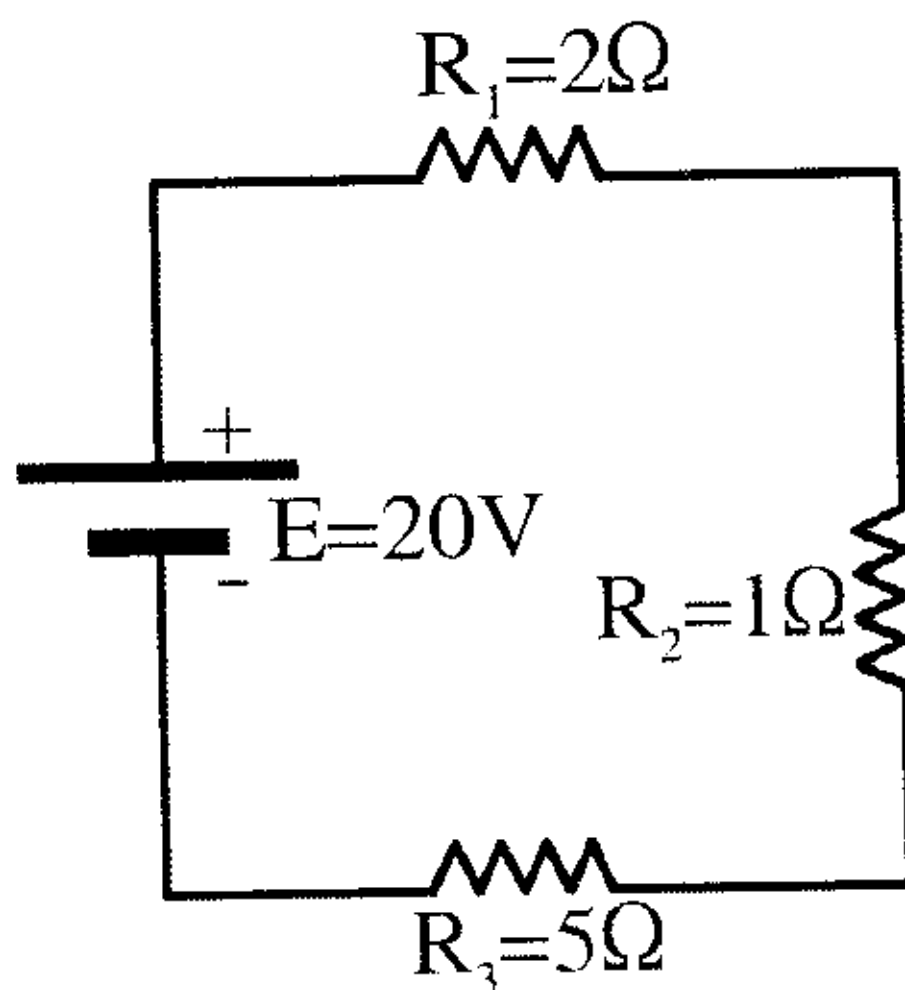
ملاحظة هامة : التيار المار في دائرة التوالي ثابت، أي أن $I = I_1 = I_2$ ، أما الجهد فهو متغير

$$E \neq V_1 \neq V_2$$

قانون بقاء القدرة :

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

$$P_s = P_1 + P_2 + \dots + P_N$$



مثال 1.2 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 :

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

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

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

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

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

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

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

$$P_3 = V_3 I = (12.5)(2.5) = 31.25 W$$

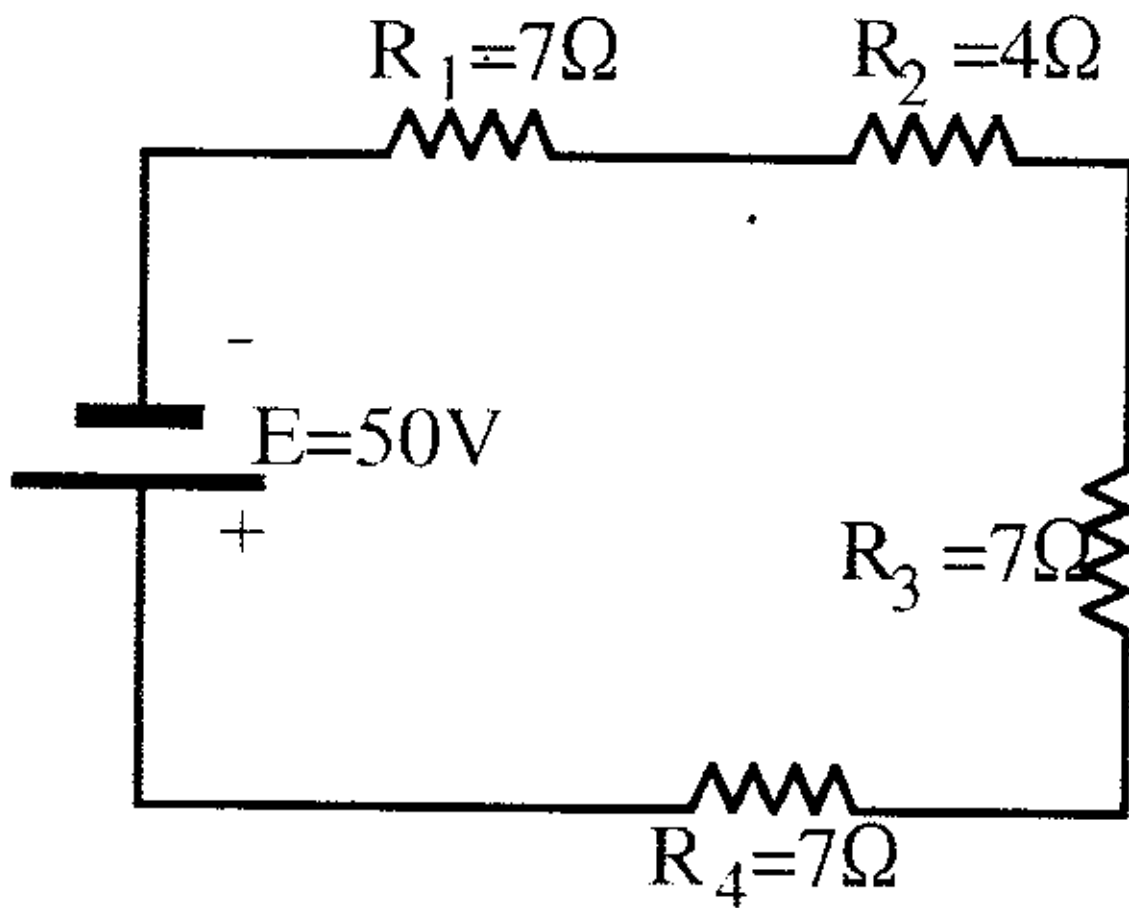
$$P_s = E I = (20)(2.5) = 50 W$$

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 .



مثال 2.2 من الدائرة في الشكل أوجد :
 V_2, I, R_T

الحل :

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

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

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

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

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)

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

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

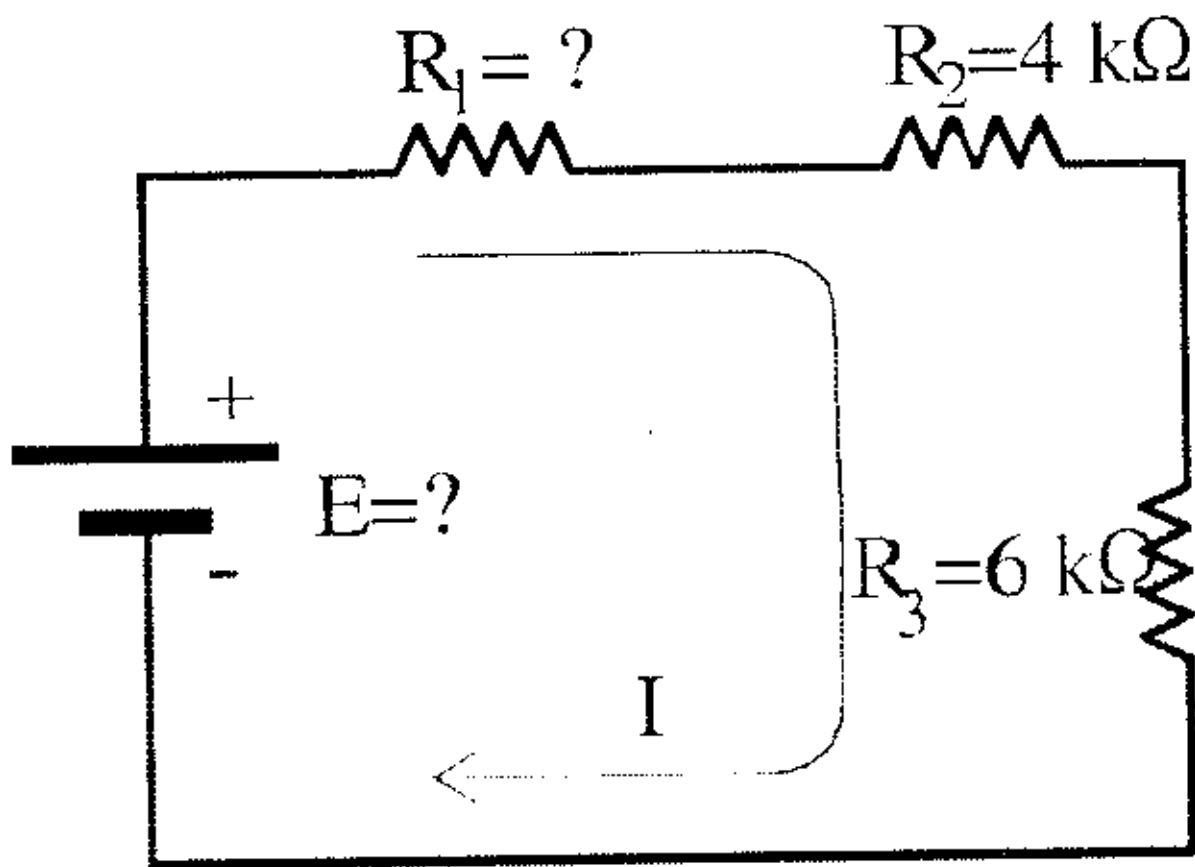
مثال 3.2 من الدائرة بالشكل أوجد E , R_1

إذا علمت أن : $R_T = 12 \text{ k}\Omega$

$$I = 6 \text{ mA}$$

الحل :

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$



$$R_1 = R_T - R_2 - R_3$$

$$= (12 \text{ k}\Omega) - (4 \text{ k}\Omega) - (6 \text{ k}\Omega)$$

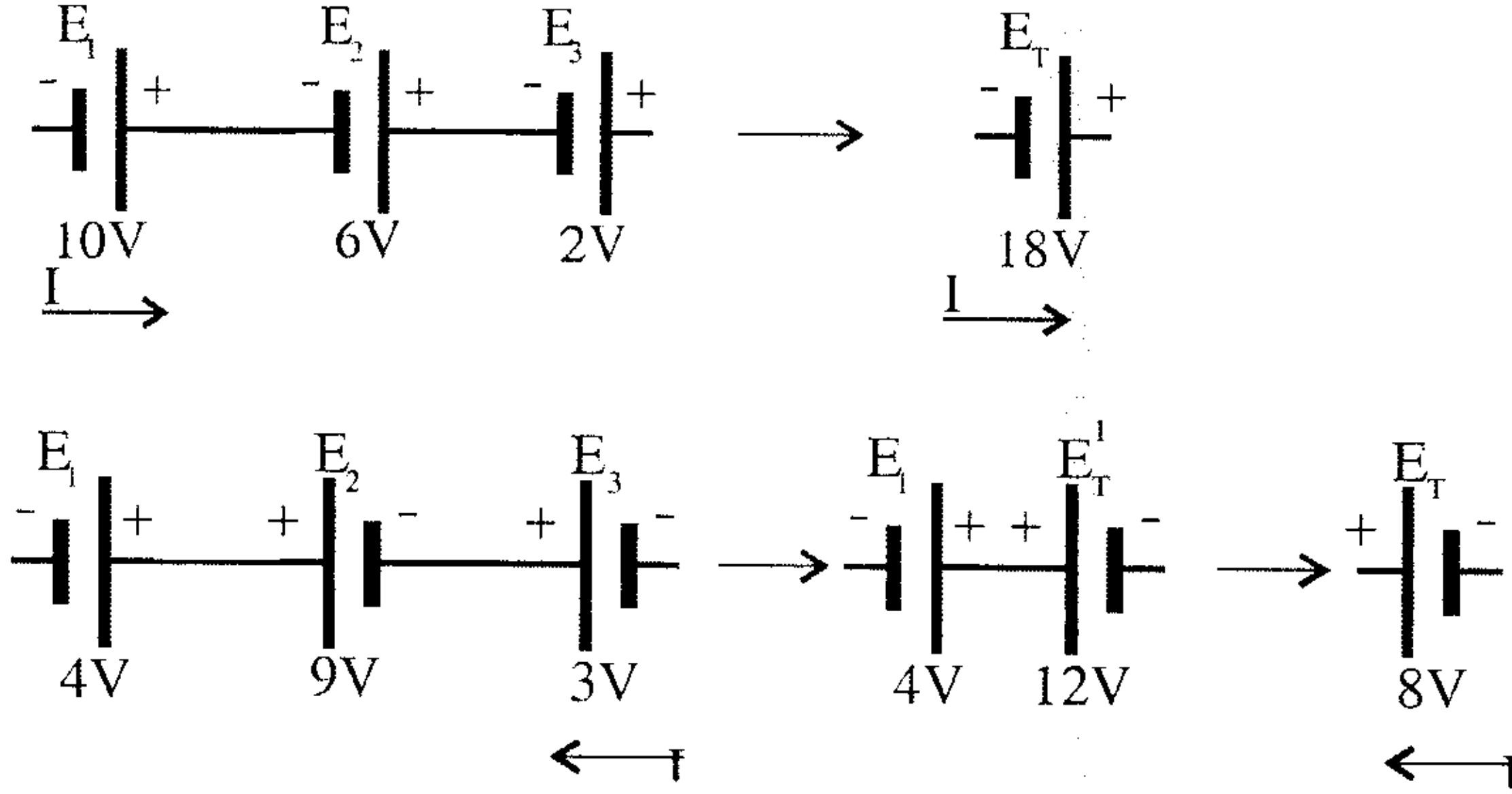
$$R_1 = 2 \text{ k}\Omega.$$

$$I = \frac{E}{R_T} \rightarrow E = I R_T = (6 \times 10^{-3}) (12 \times 10^3)$$

$$\therefore E = 72 V$$

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:

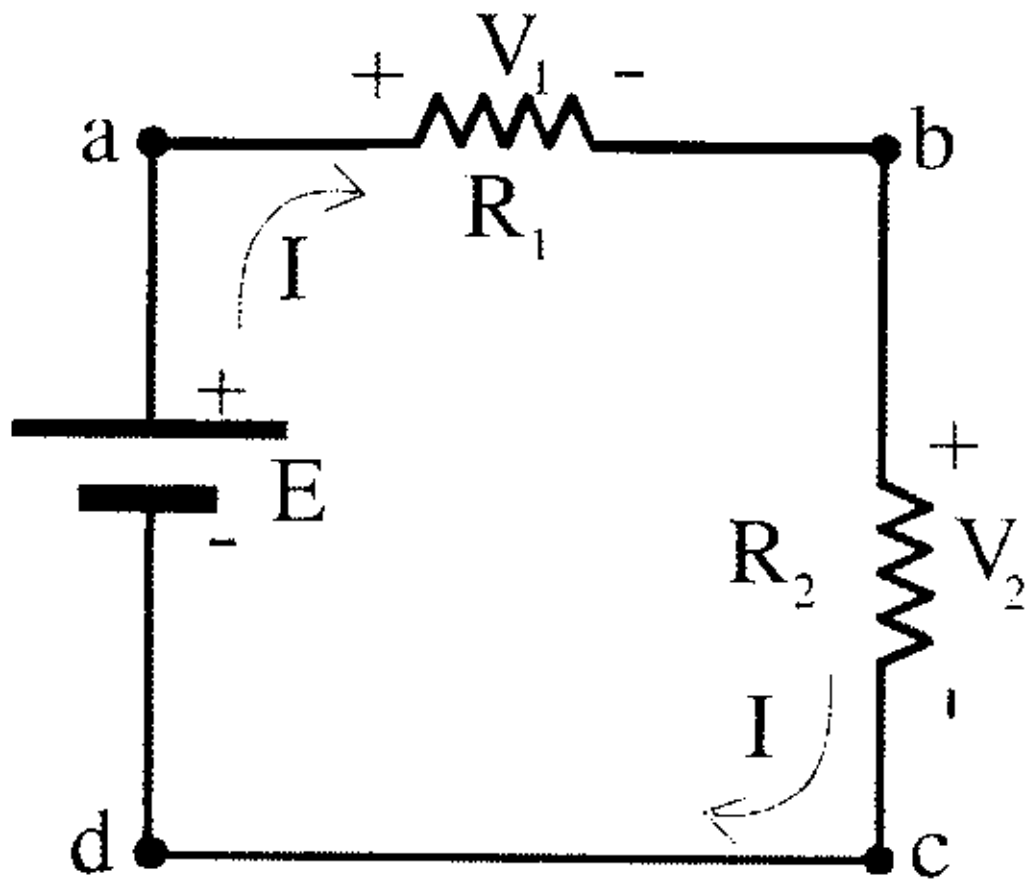
$$E_T = E_1 + E_2 + E_3 = 10 \text{ V} + 6 \text{ V} + 2 \text{ V} = 18 \text{ V}$$

في الشكل الثاني:

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

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

" 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 كـر شوف للجهود. 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

$$\sum V = 0 \quad \therefore$$

ومن الدائرة نطبق قانون كرف شوف كالتالي:

(يكون المسار في اتجاه عقارب الساعة)

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

$$\therefore E = V_1 + V_2$$



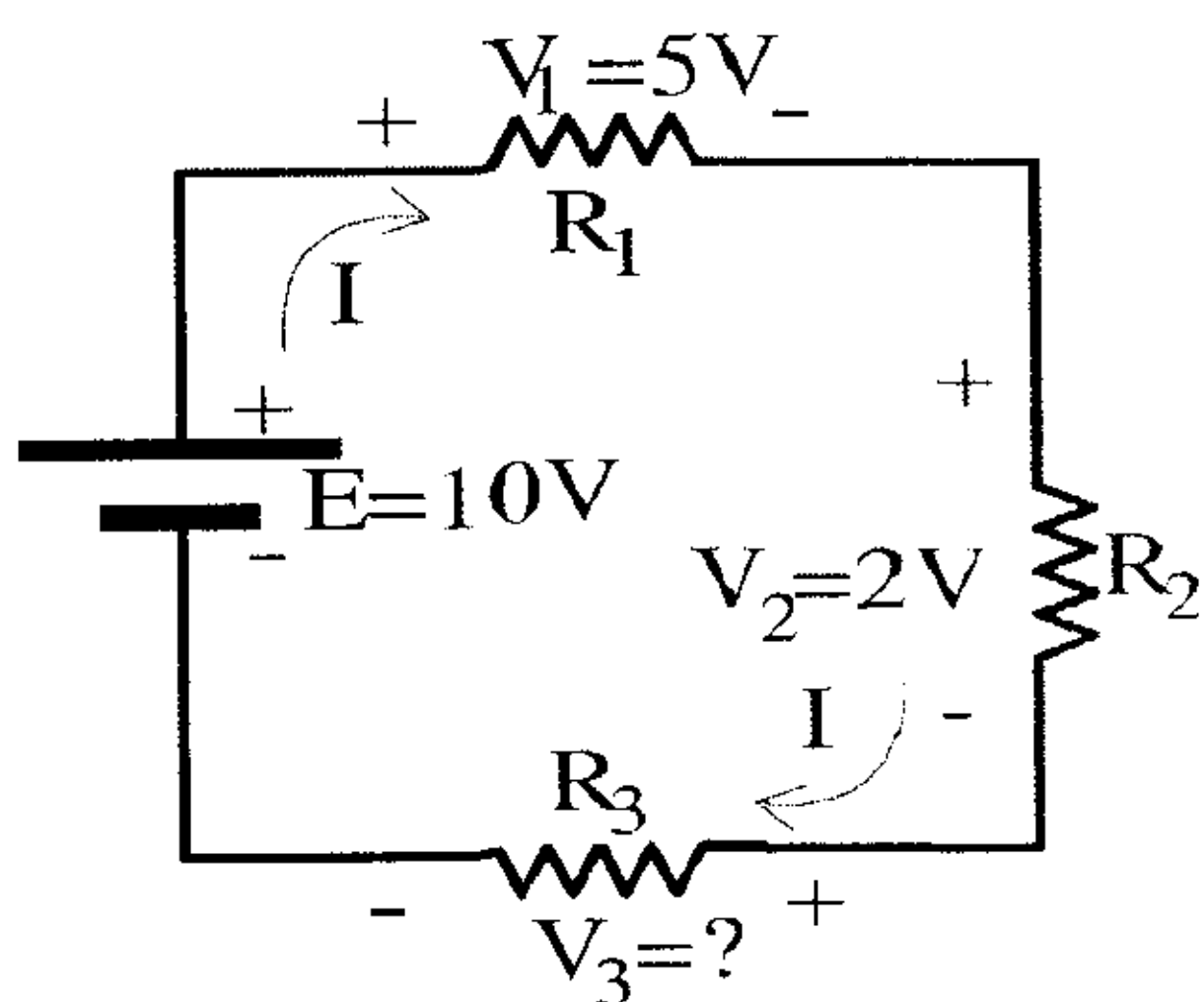
$$\sum V_{\text{rises}} = \sum V_{\text{drop}}$$

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.



مثال 4.2 أوجد قيمة الجهود المجهولة في الدائرة التالية:

الحل:

نحدد اتجاه التيار وبالتالي الإشارات.

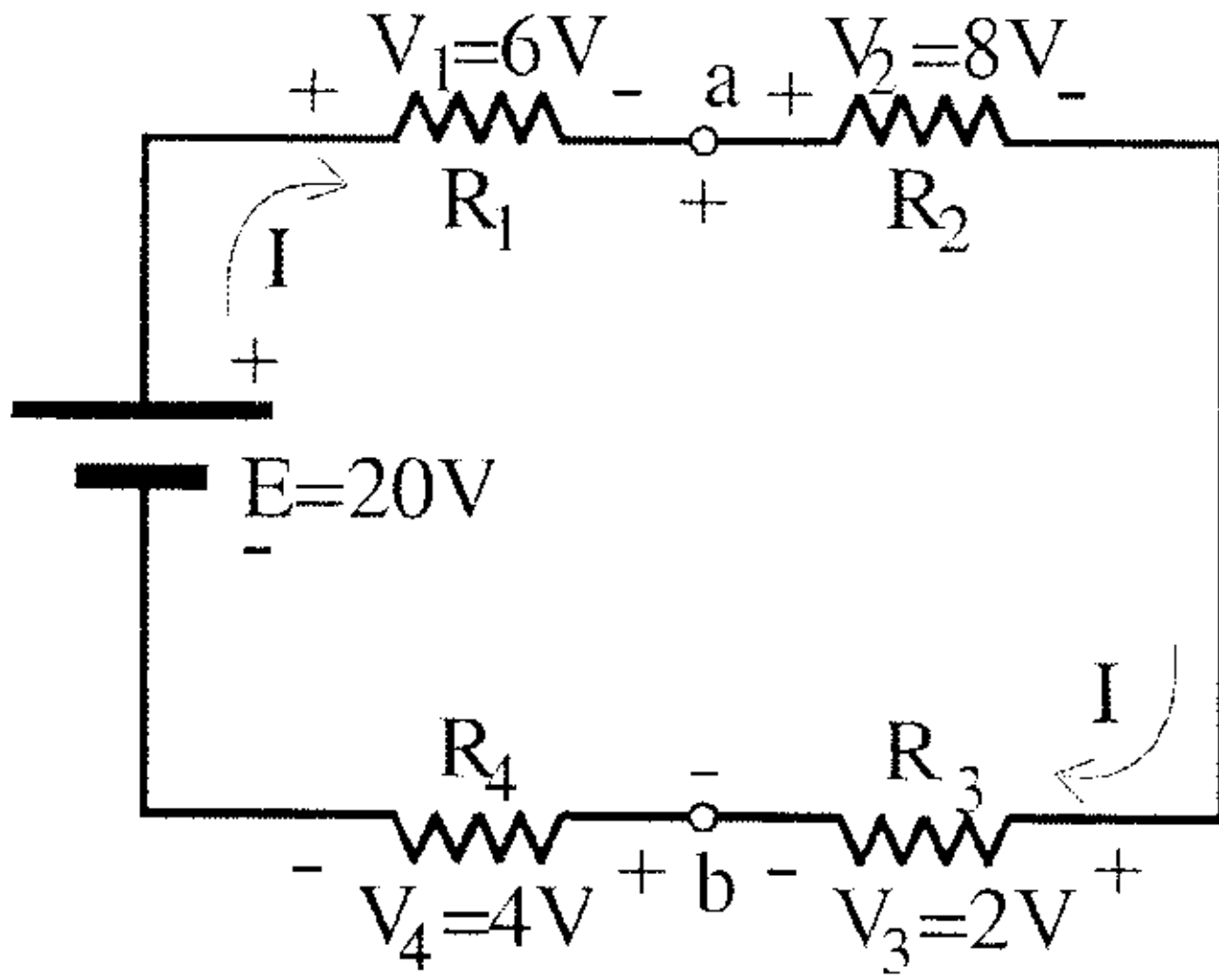
نطبق قانون كرف شوف للجهد في اتجاه عقارب الساعة (مع اتجاه التيار).

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

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

$$= 10 \text{ V} - 5 \text{ V} - 2 \text{ V} = 3 \text{ V}$$

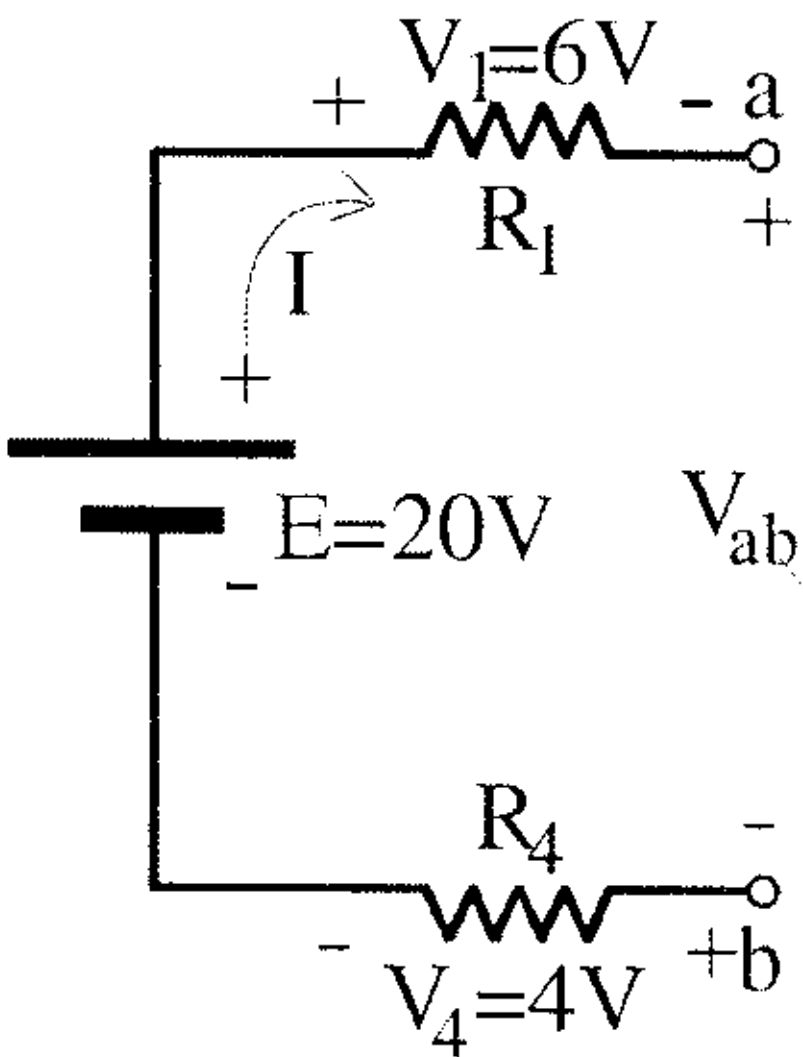
مثال 5.2 أوجد قيمة الجهد ما بين النقطتين b,a (V_{ab}) في الدائرة التالية :



الحل :

هناك طريقتان للحل :

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

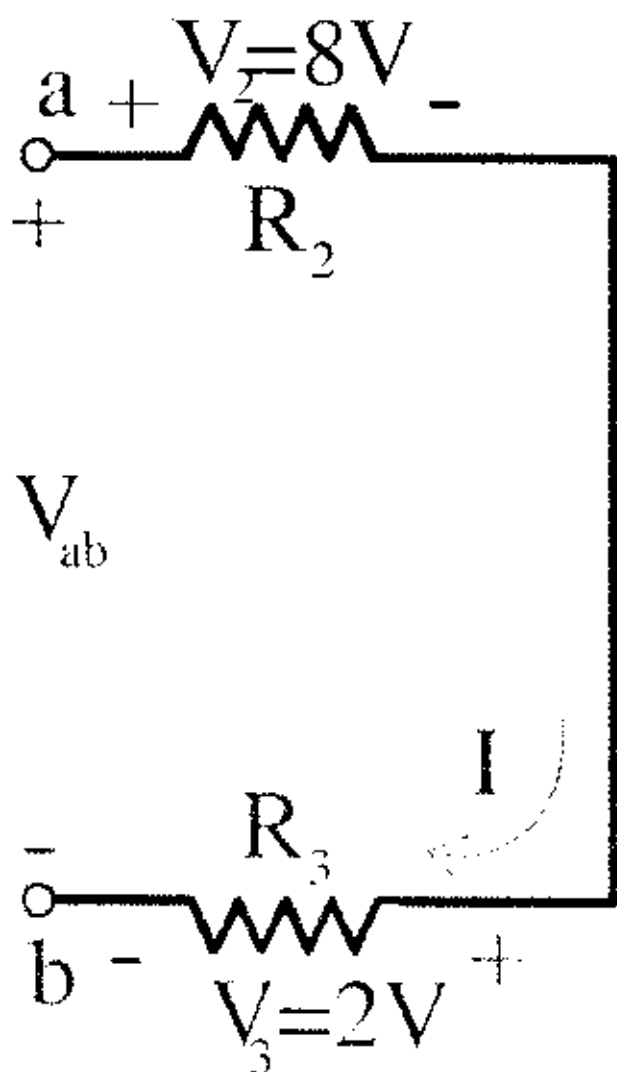


$$+ E - V_1 - V_{ab} - V_4 = 0$$

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

$$= 20 \text{ V} - 6 \text{ V} - 4 \text{ V} = 10 \text{ V}$$

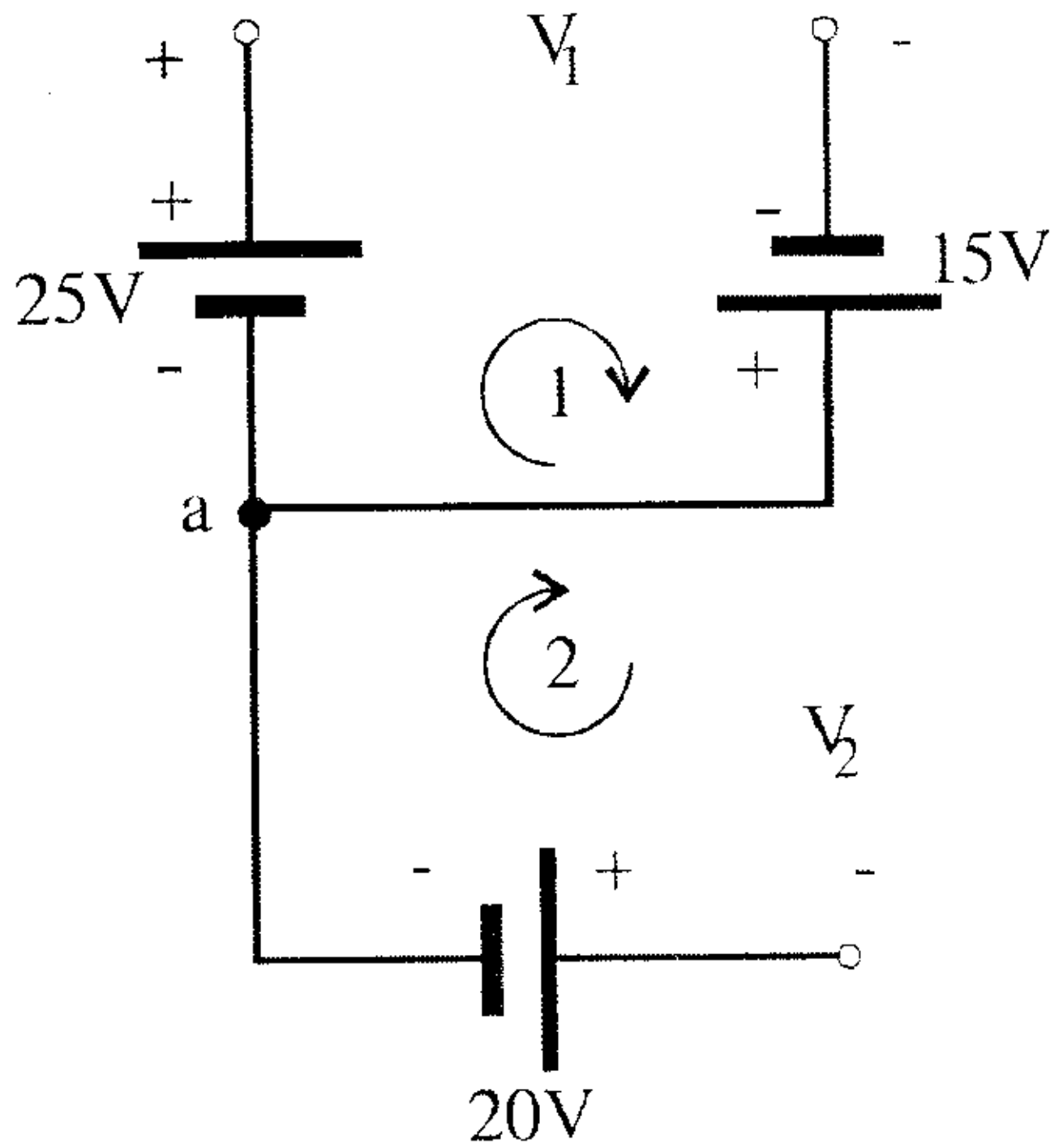
الثانية : نطبق قانون كرف شوف على الجزء الأيمن من الدائرة في اتجاه عقارب الساعة وفي مسار مغلق أيضاً.



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

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

$$= 8 \text{ V} + 2 \text{ V} = 10 \text{ V}$$



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

الحل :

المسار الأول وانطلاقاً من النقطة (a) وفي اتجاه عقارب الساعة نطبق (KVL)
 $+ 25V - V_1 + 15V = 0$

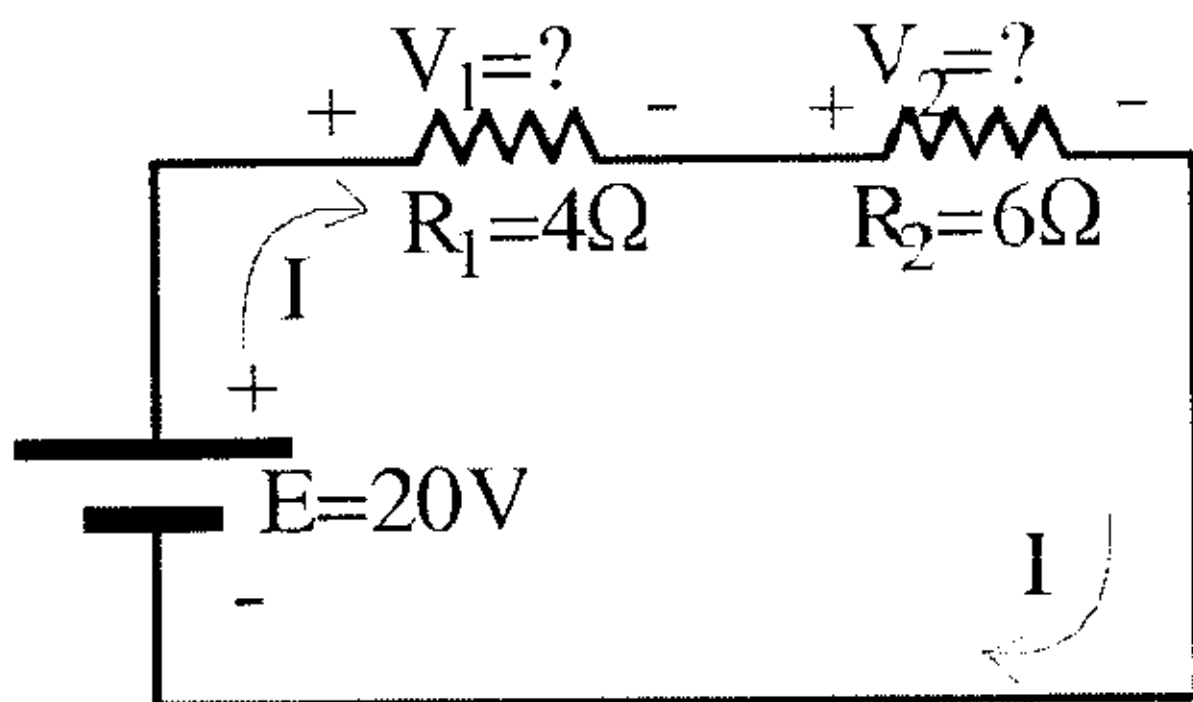
$$\therefore V_1 = 40 V$$

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

$$-V_2 - 20V = 0$$

$$\therefore V_2 = -20V$$

الإشارة السالبة للجهود (-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).

الحل :

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

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

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

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

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

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

$$P_E = E . I = (20V) (2A) = 40 W$$

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

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

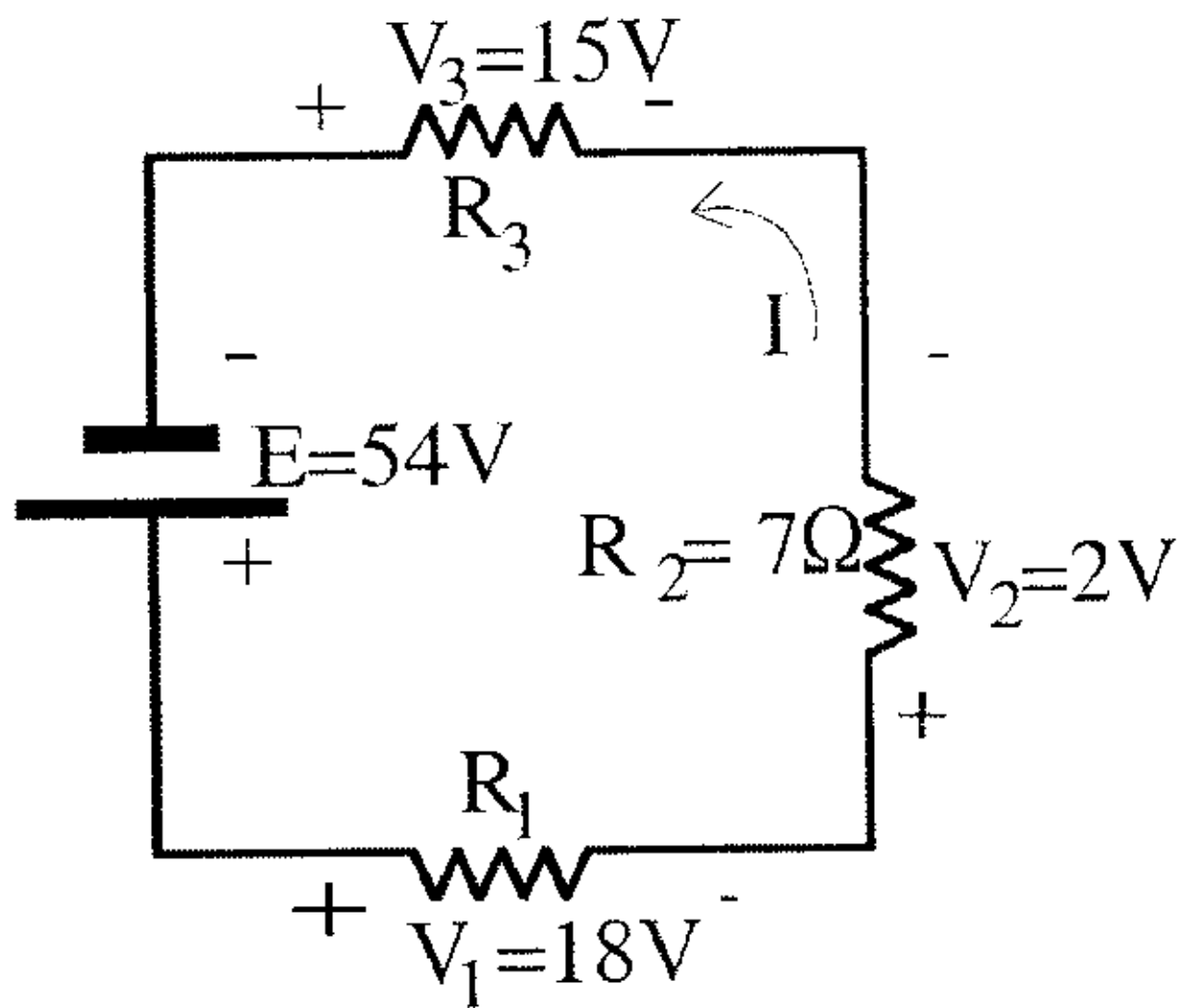
$$40 W = 40 W$$

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

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

$$0 = 0$$

مثال 8.2 من الدائرة في الشكل التالي أوجد :



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

الحل :

من قانون (KVL) وفي اتجاه عقارب الساعة.

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

$$E = V_1 + V_2 + V_3$$

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

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

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

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

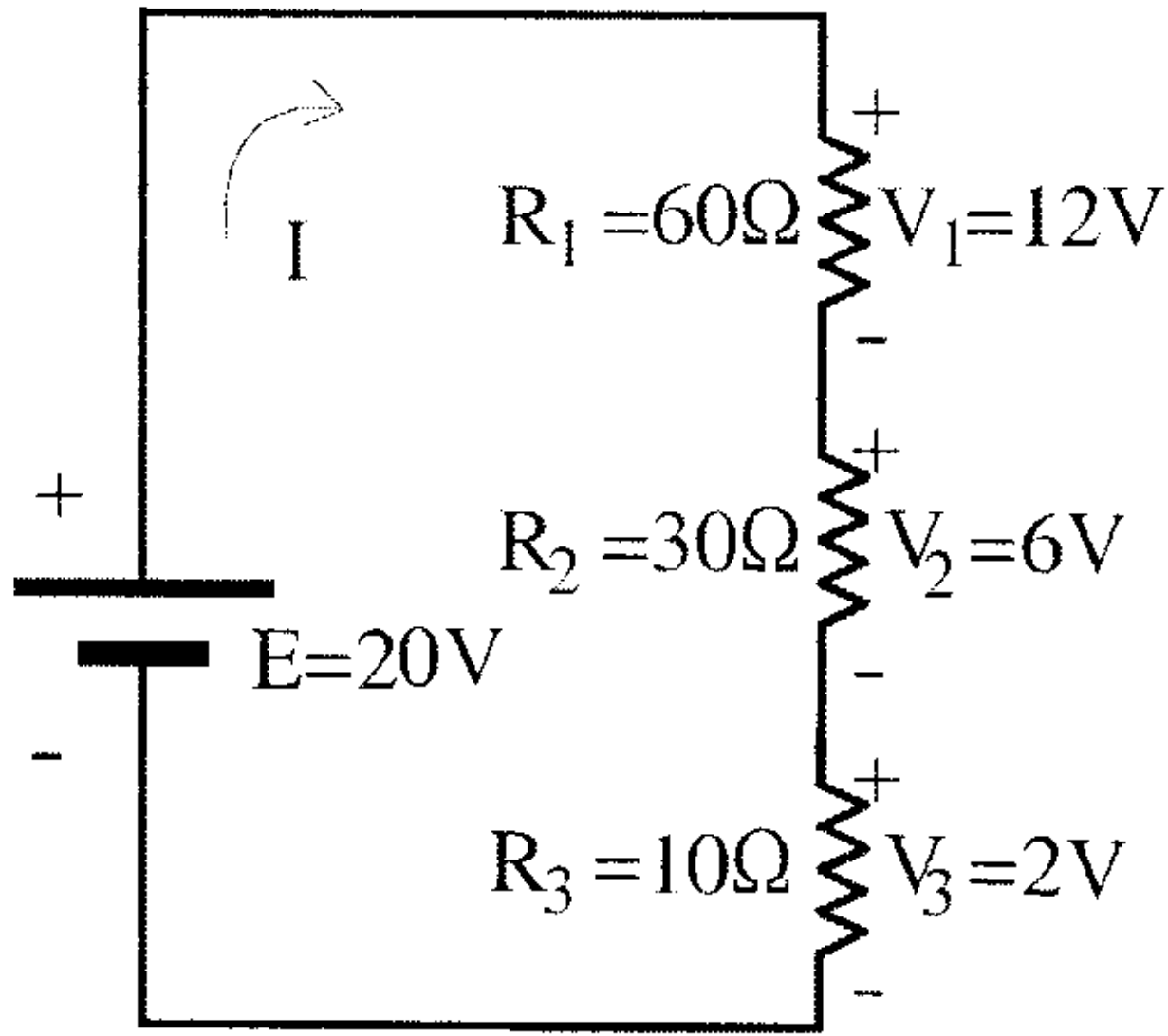
7.2 قانون مجزئ الجهد (VDR) Voltage Divider Rule

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.

مثال 9.2 الدائرة في المثال التالي توضح طريقة استخدام قانون (VDR) .



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

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

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

ومن هنا يمكن استنتاج قانون (VDR) .

استنباط قانون (VDR) :

$$\therefore R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$I = E / R_T$$

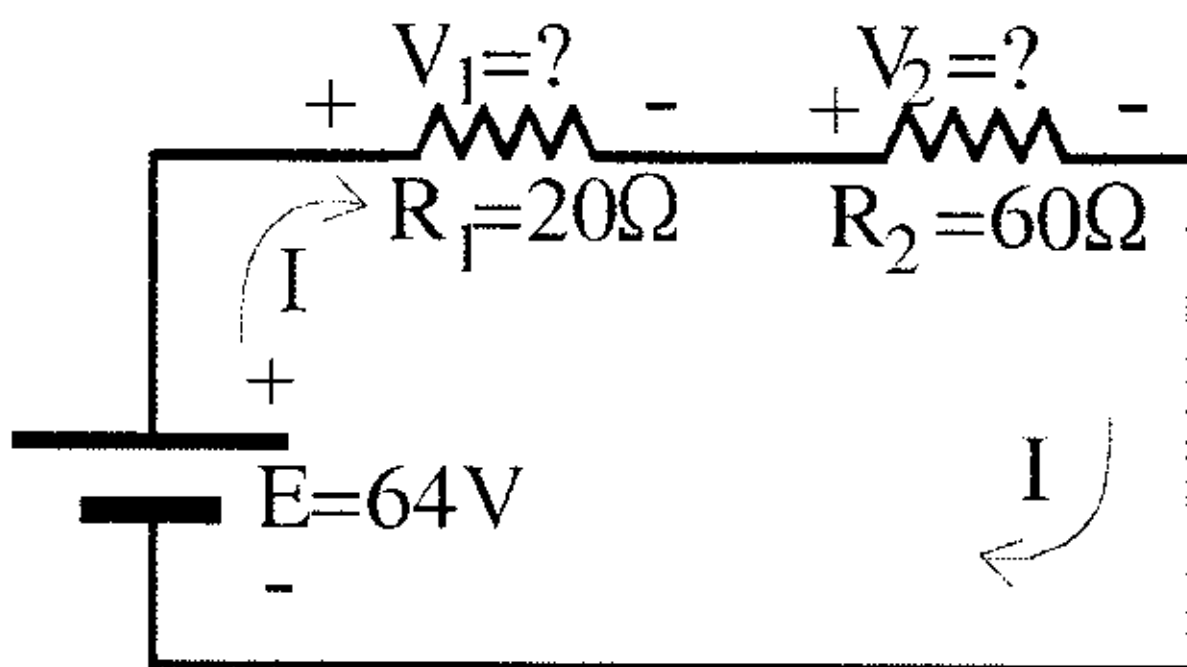
$$V_1 = I R_1 = (E / R_T) (R_1)$$

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

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

$$\therefore V_x = (E / R_T) (R_x)$$

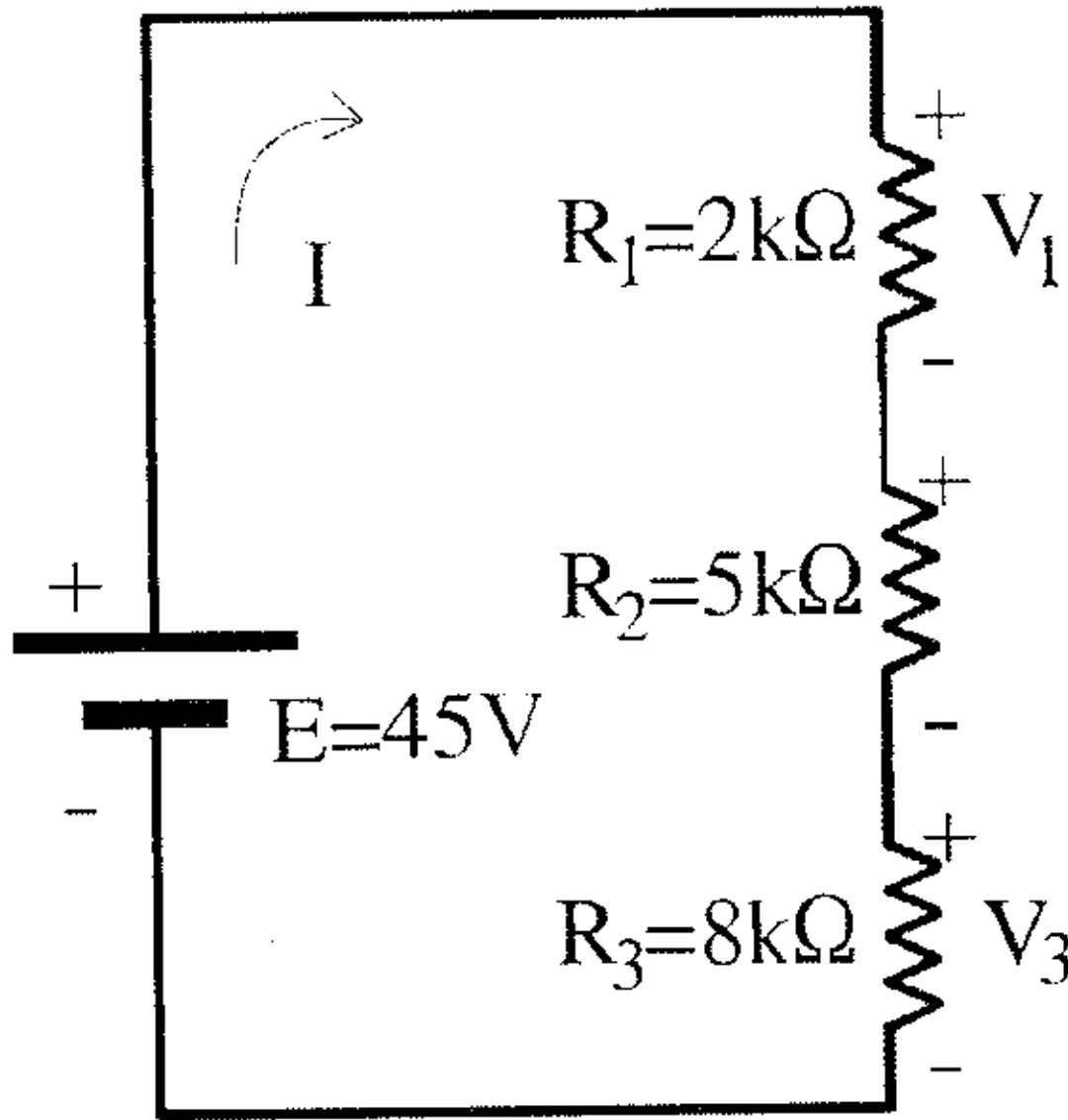
مثال 10.2 في الدائرة بالشكل احسب الجهد V_1 باستخدام قانون مجزئ الجهد .



الحل : بالاستخدام المباشر للقانون

$$V_x = (E / R_T) (R_x)$$

$$R_T = 80 \Omega$$



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

∴

مثال 11.2 من الدائرة التالية وباستخدام (VDR)

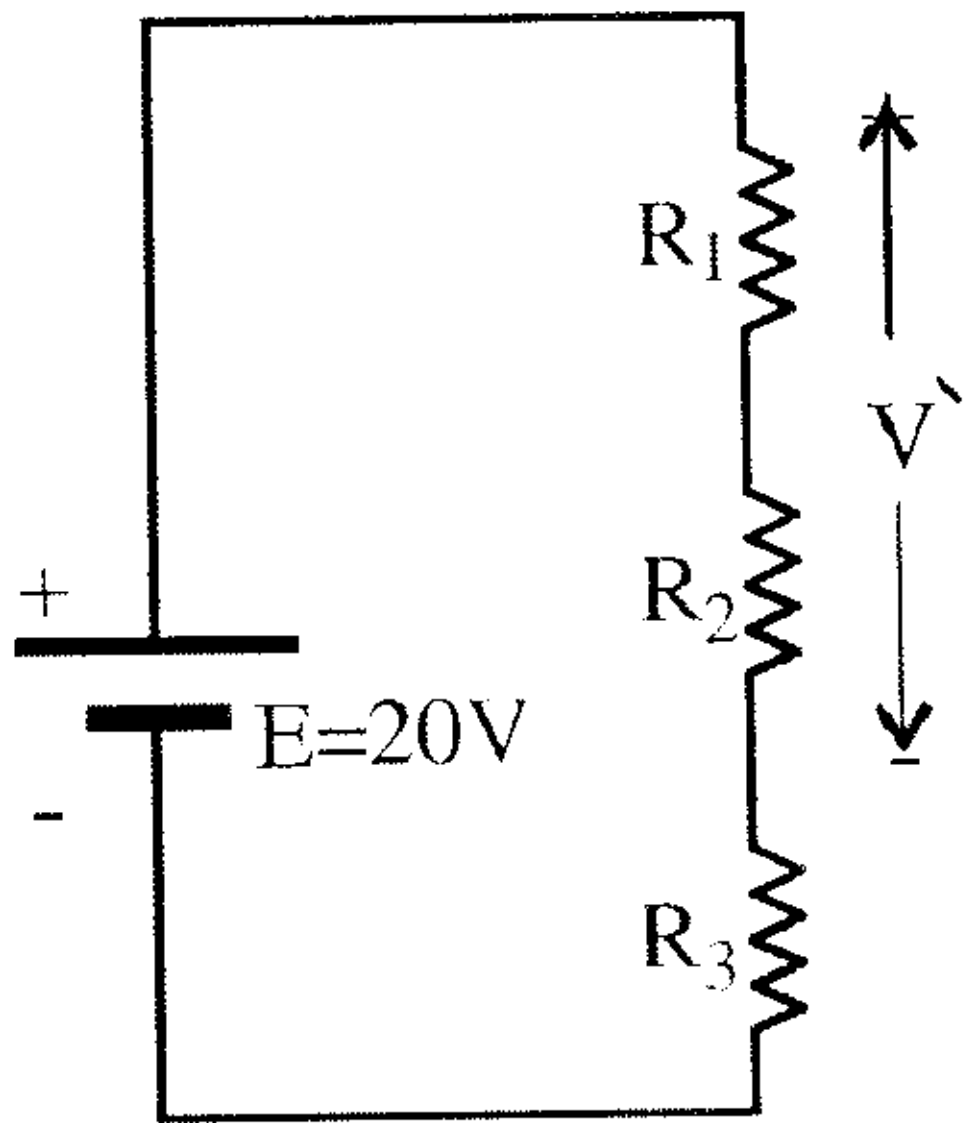
أوجد V_1 و V_3 .

الحل:

$$R_T = 15k\Omega$$

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

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



مثال 12.2 من المثال السابق احسب الجهد V' باستخدام

(VDR) .

الحل :

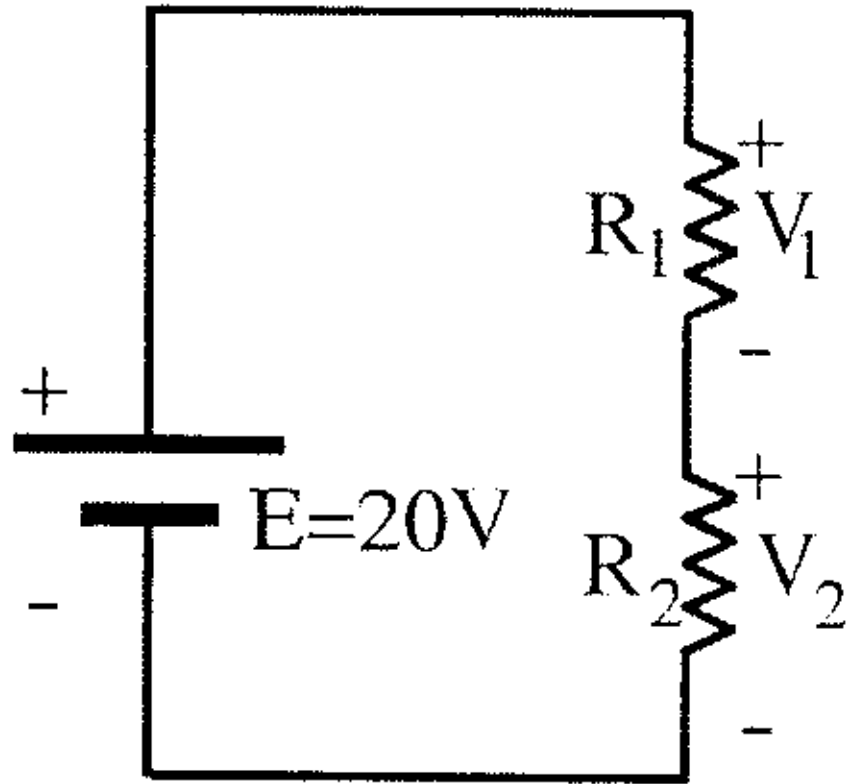
الجهد V' هو جهد المقاومتين R_1 و R_2 ، إذاً يمكن

اعتبارهما

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

$$V' = \frac{E}{R_T} \cdot R' = \frac{45 \times 7 \times 10^3}{15 \times 10^3} = 21 V \therefore$$

مثال 13.2 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 $I = 4mA$

$$V_1 = 4 V_2 \text{ و}$$

$$\therefore I = E / R_T$$

$$\therefore R_T = \frac{E}{I} = \frac{20V}{4 \times 10^{-3} A} = 5k\Omega$$

$$\therefore V_1 = I R_1$$

$$V_2 = I R_2$$

$$\therefore V_1 = 4 V_2$$

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

$$\therefore R_1 = 4 R_2$$

$$R_T = R_1 + R_2$$

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

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

$$R_1 = 4 R_2 = (4)(1k\Omega) = 4k\Omega$$

ومنها

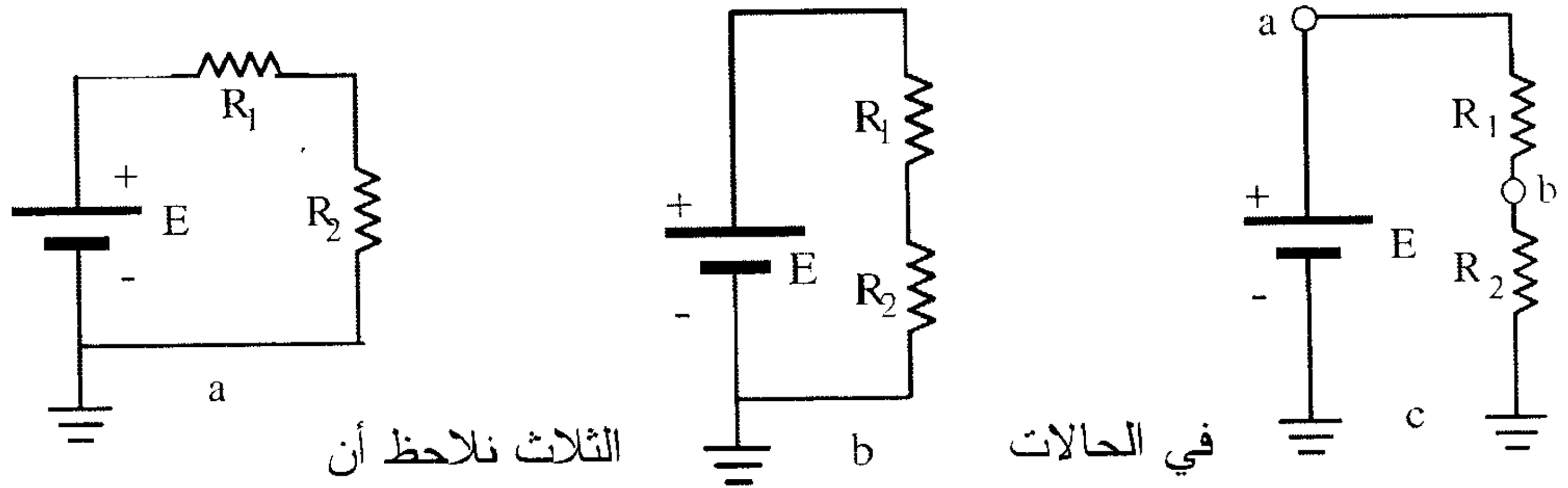
وباستخدام (VDR)

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

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

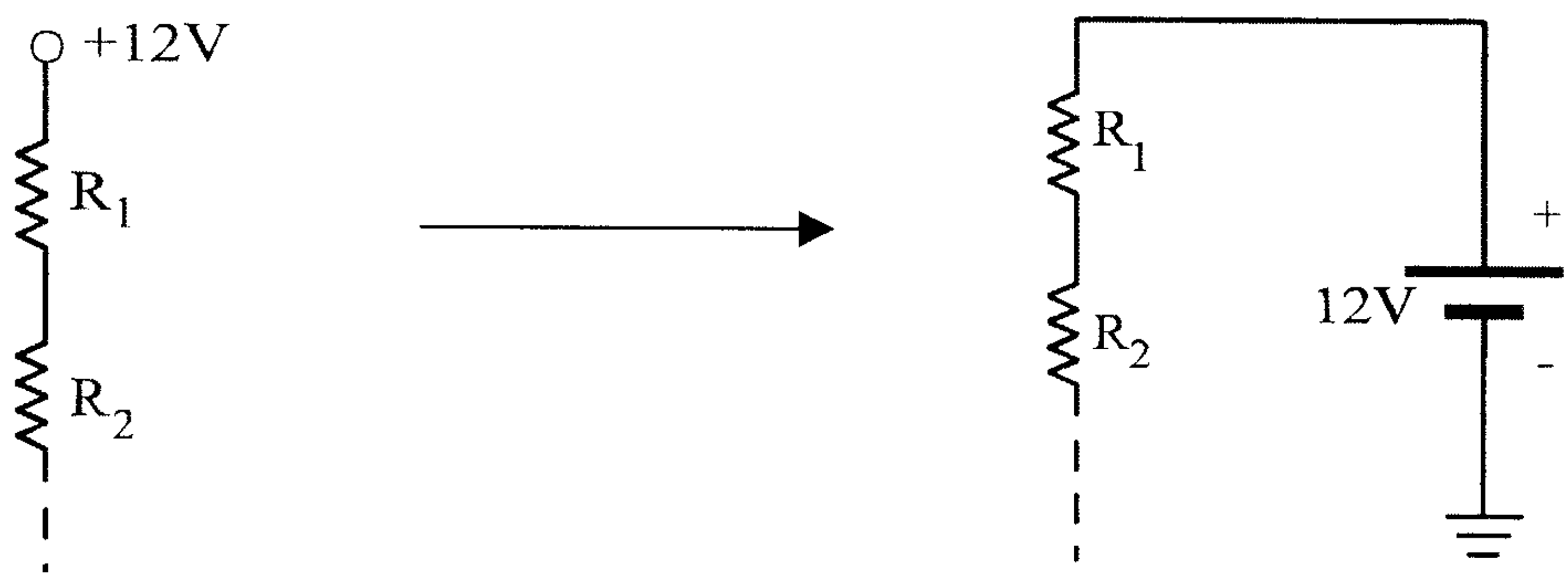
8.2 مصادر الجهد والتأريض . Voltage Source and Grounding

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.

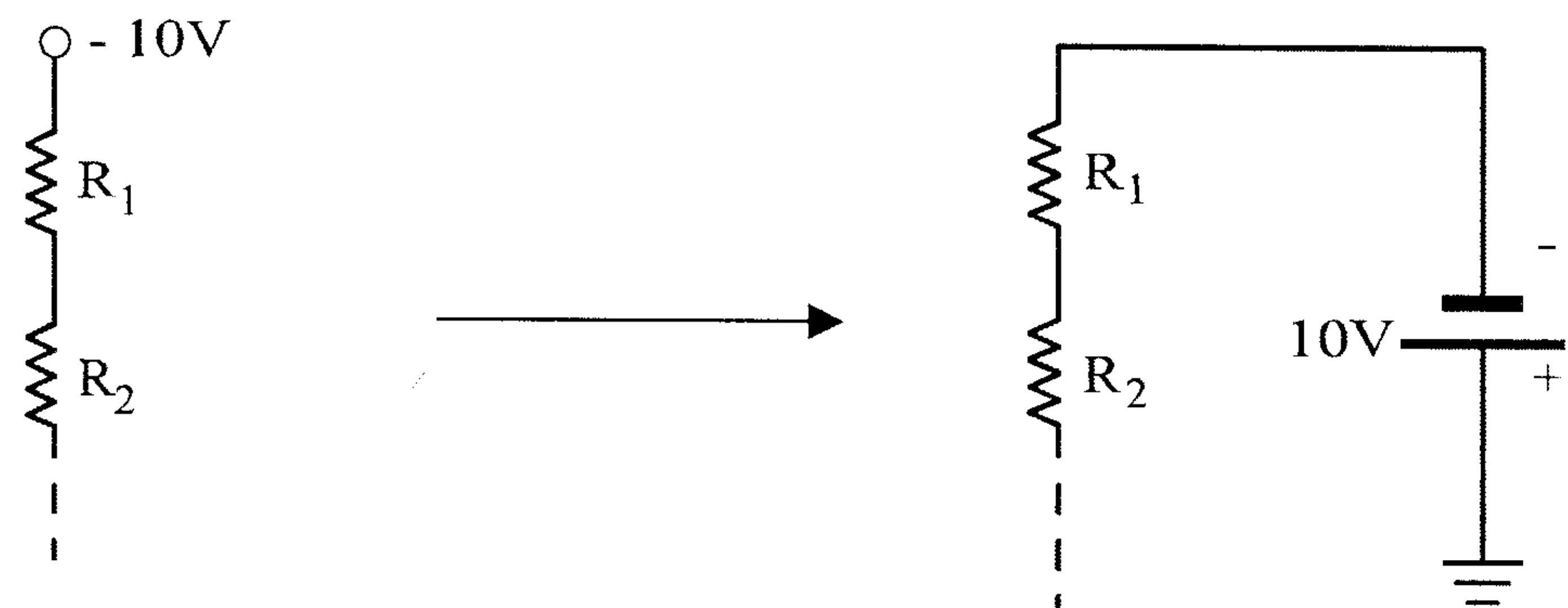


القطب السالب لمصدر الجهد أسفل
المقاومة R₂ موصل بالأرض.
وفي الشكل (c) نلاحظ أنه لا توجد وصلة بين التأريضين في الدائرة، و مثل هذه
الوصلات توضح أنه يوجد انسياب مستمر للشحنات.

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

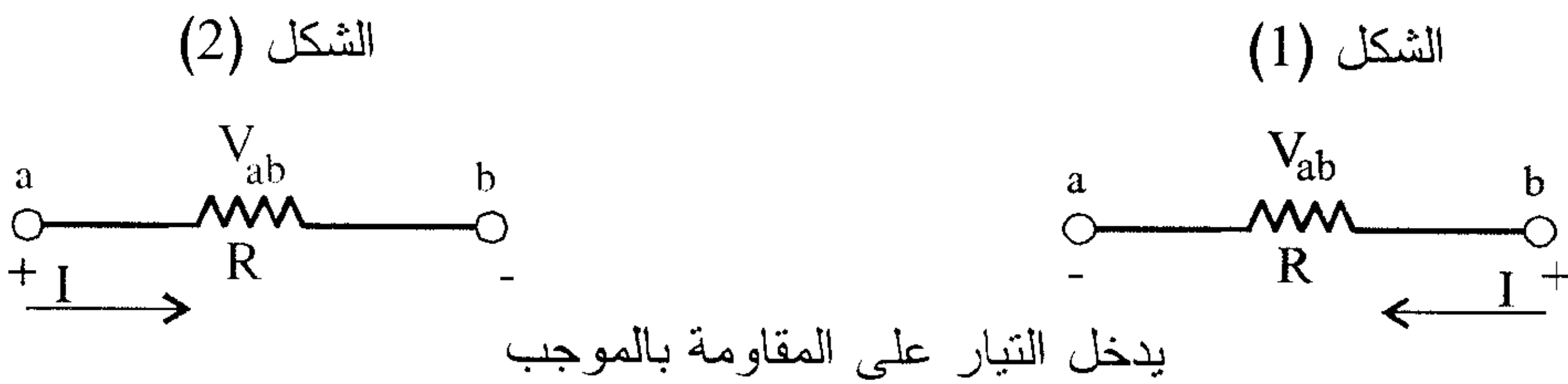


أي أن القطب الموجب لمصدر الجهد موصل بالدائرة وقطبه السالب موصل بالأرضي



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

الرمز السفلي المزدوج Double Subscript Notation



ويخرج منها بالسالب

يكون الجهد في الشكل (1)

V_{ab} (سالب)

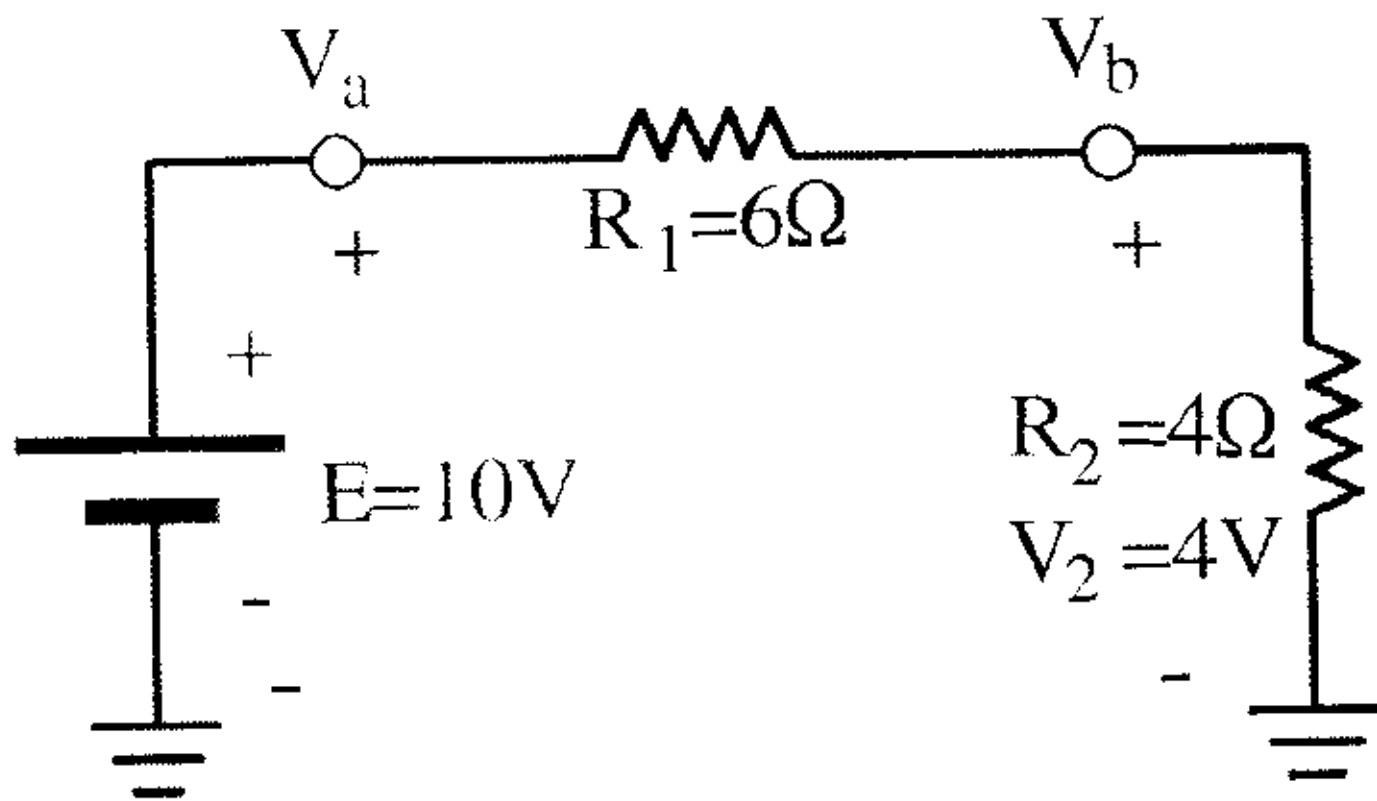
يكون الجهد في الشكل (2)

V_{ab} (موجب)

أي أن النقطة (b) أعلى جهداً من (a)

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

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

∴ جهد المقاومة $R_1 = 6V$

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

مثال 14.2 في الدائرة بالشكل التالي أوجد قيمة الجهد (V_{ab}) .

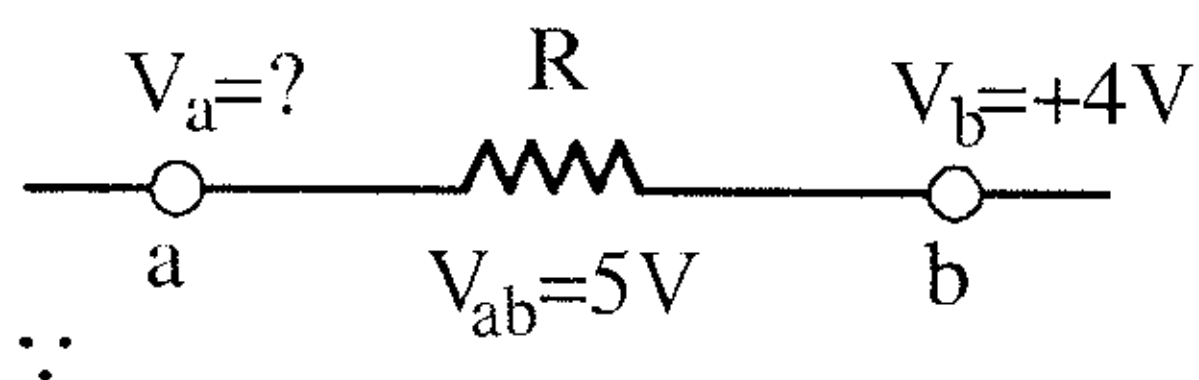


الحل :

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

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

مثال 15.2 من الدائرة التالية أوجد قيمة الجهد (V_{ab}) .



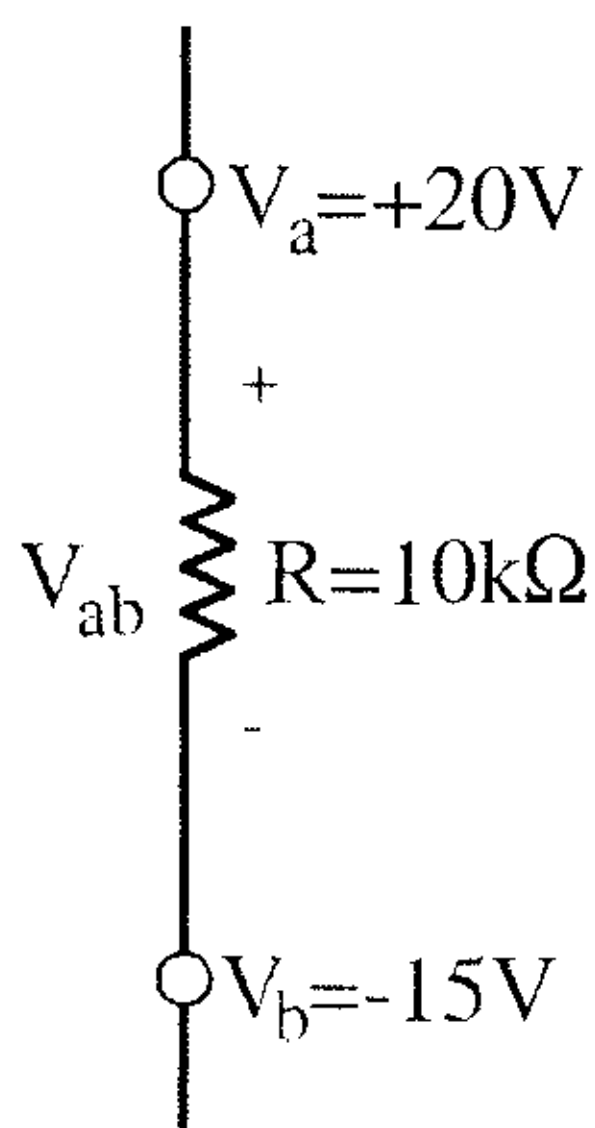
الحل:

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

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

مثال 16.2 أوجد قيمة الجهد (V_{ab}) من الشكل التالي:

الحل:

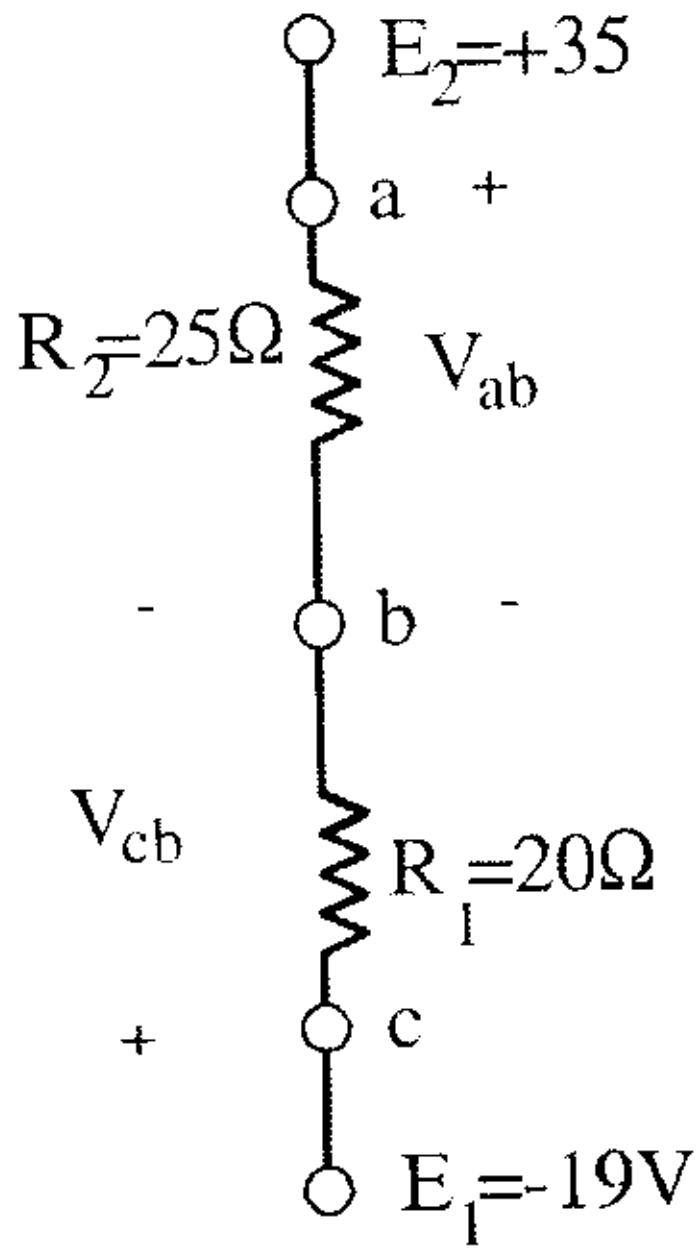


$$V_{ab} = V_a - V_b = 20V - (-15V) = 20V + 15V = 35V$$

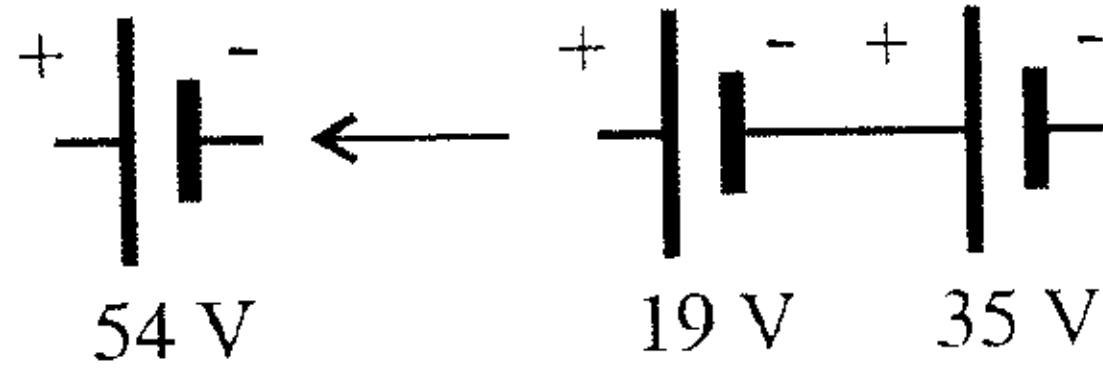
مثال 17.2 من الدائرة في الشكل التالي أوجد قيمة كل من: V_c , V_{cb} , V_{ab}

الحل :

يمكن إعادة رسم الدائرة كالتالي:

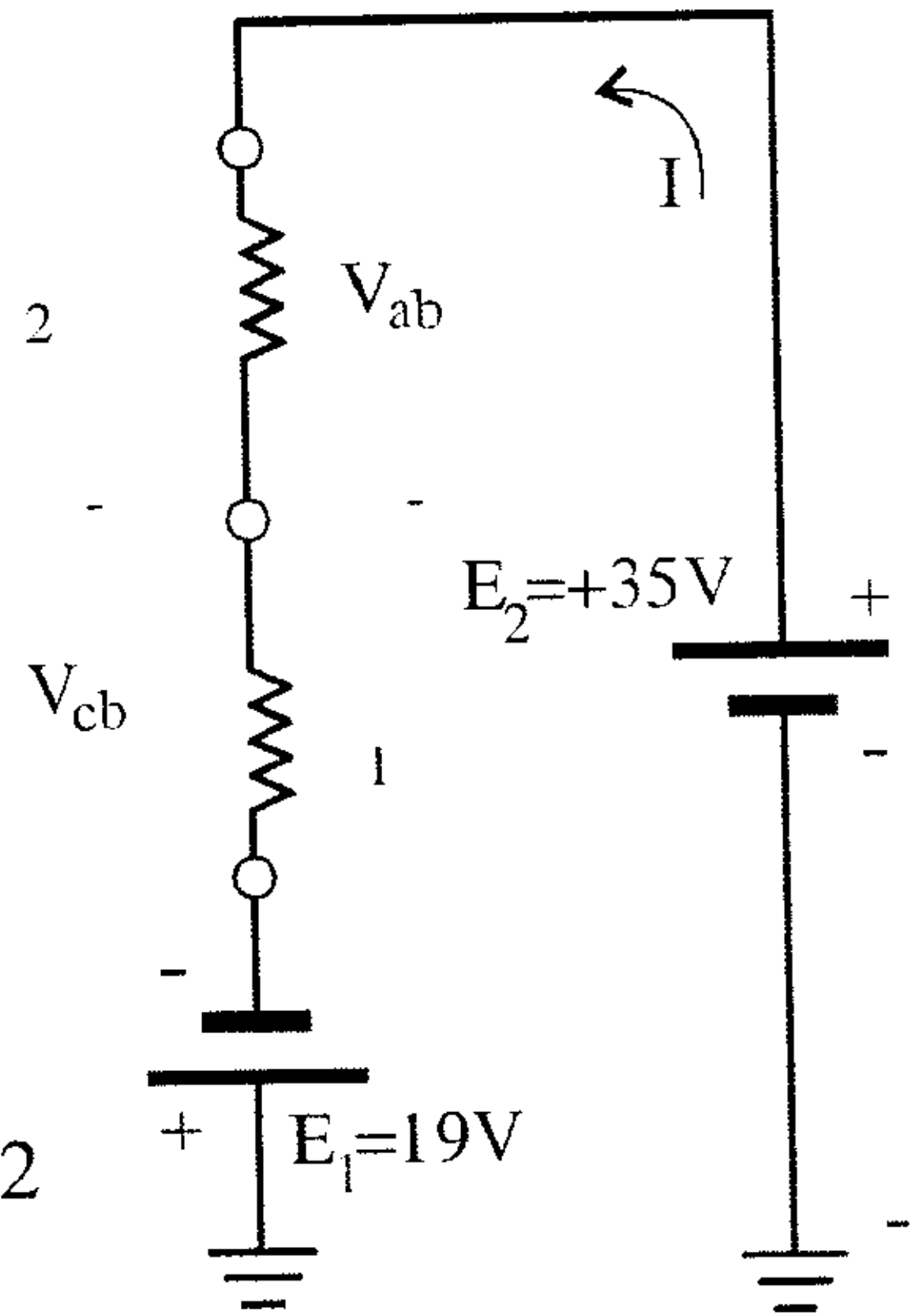


1- نجمع مصادر الجهد:



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:

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

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

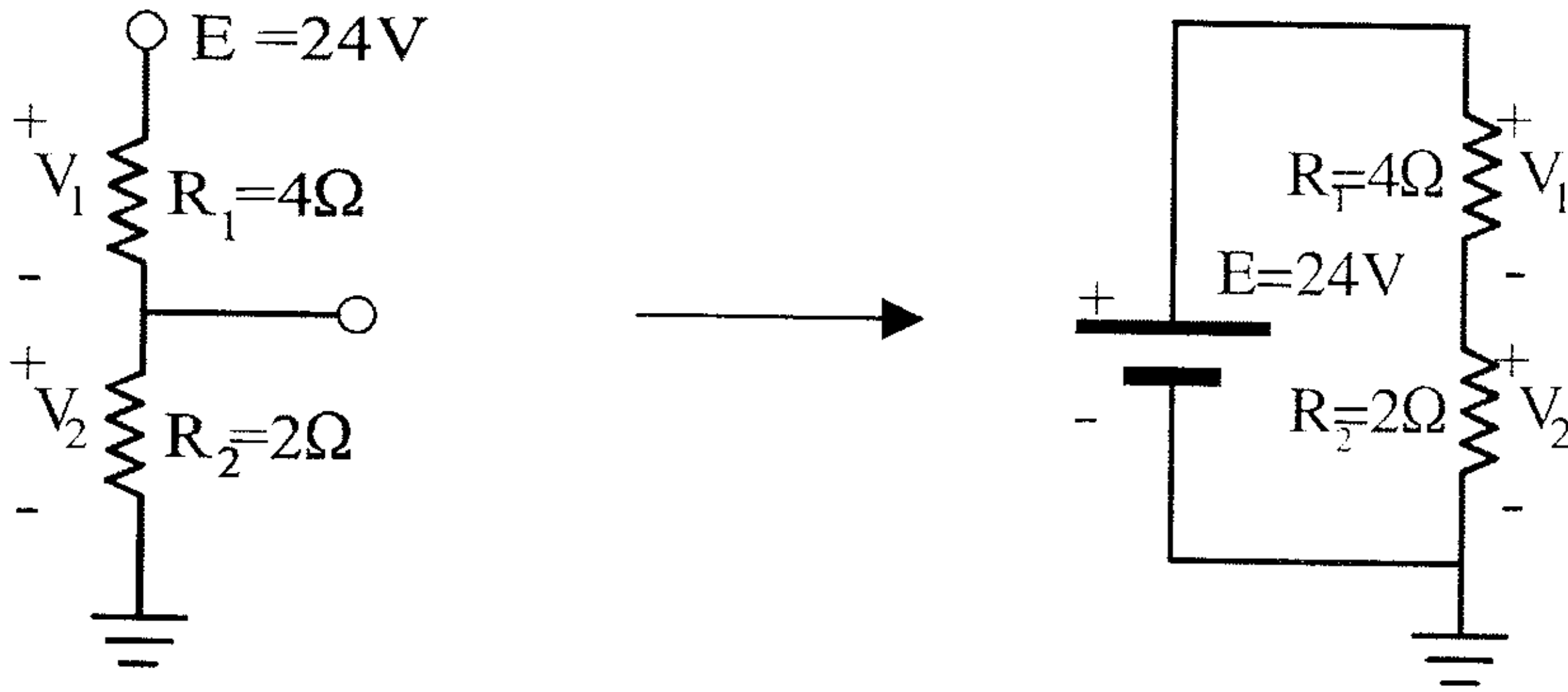
سالب لأنه عكس اتجاه التيار أي من $c \leftarrow b$ ، وفي اتجاه التيار من $b \leftarrow c$ أما الجهد V_c فمن الشكل يقرأ مباشرة لأن النقطة (c) موصلة بالقطب السالب لمصدر الجهد (E_1) ومن مصدر الجهد إلى الأرضي.

$$\therefore V_c = -19V$$

مثال 18.2 في الشكل التالي أعد رسم الدائرة بالشكل المعتاد ثم استخدم قانون مجزئ

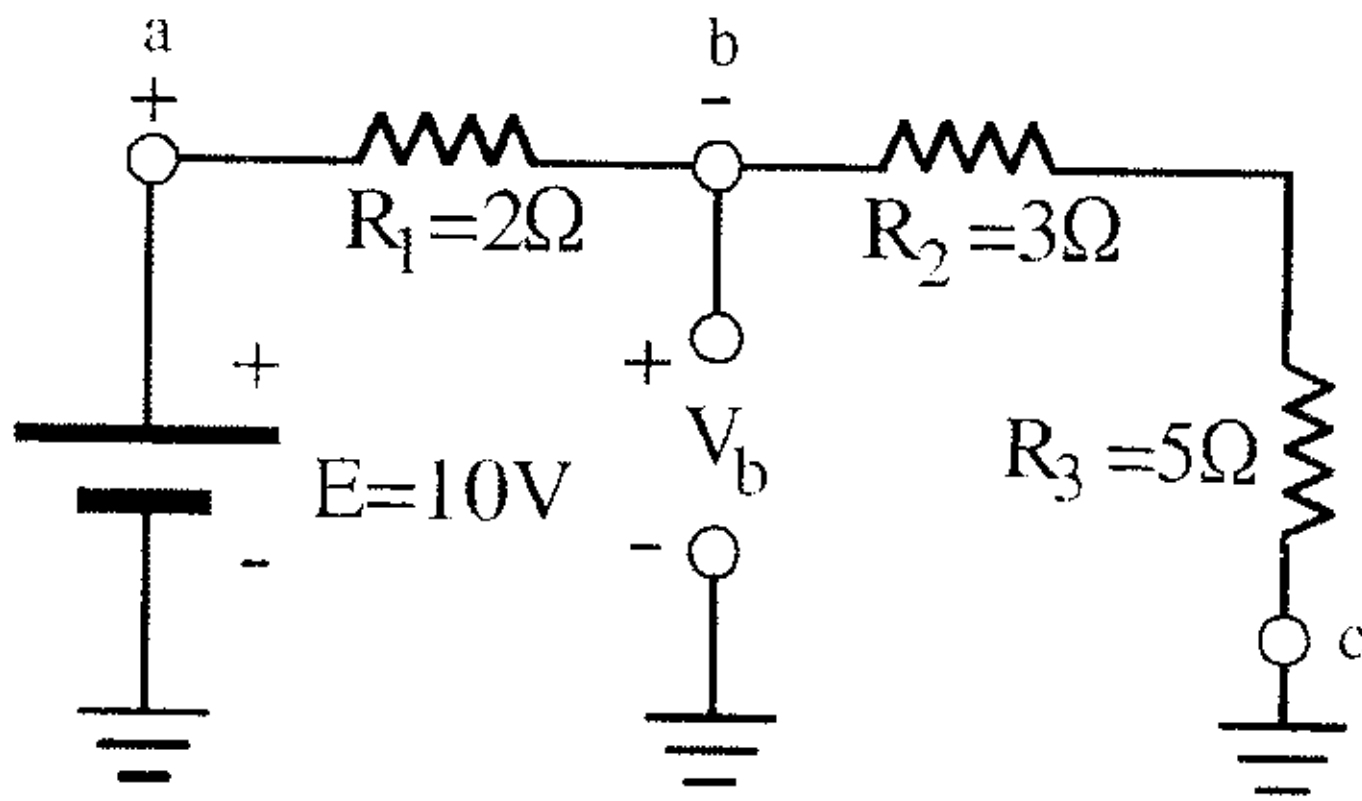
الجهد لإيجاد : V_1 , V_2 .

الحل:



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

مثال 19.2 من الدائرة التالية أوجد : V_c , V_b , V_{ab} .



الحل : من قانون (VDR)

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

$$V_b = V_{R2} + V_{R3} = \frac{E R_2}{R_T} + \frac{E R_3}{R_T}$$

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

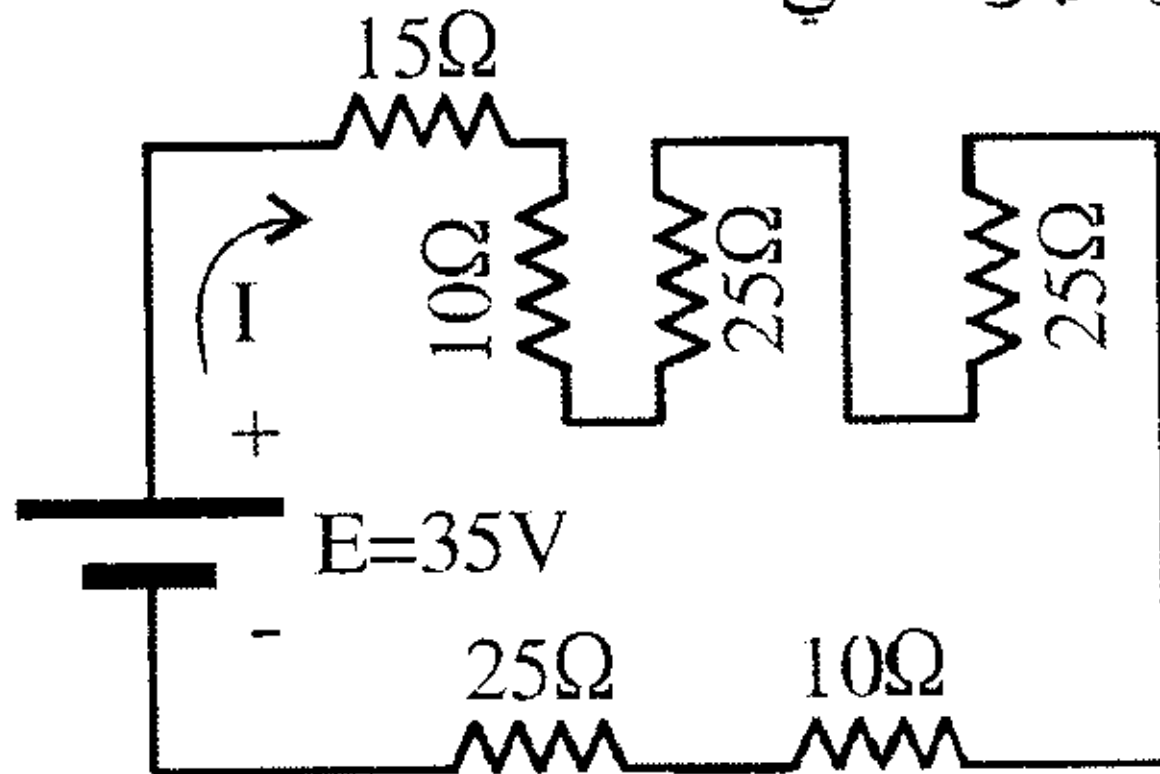
$$V_{ab} = V_a - V_b$$

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

$$V_c = 0V \quad \text{من الشكل}$$

9.2 أمثلة متنوعة

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

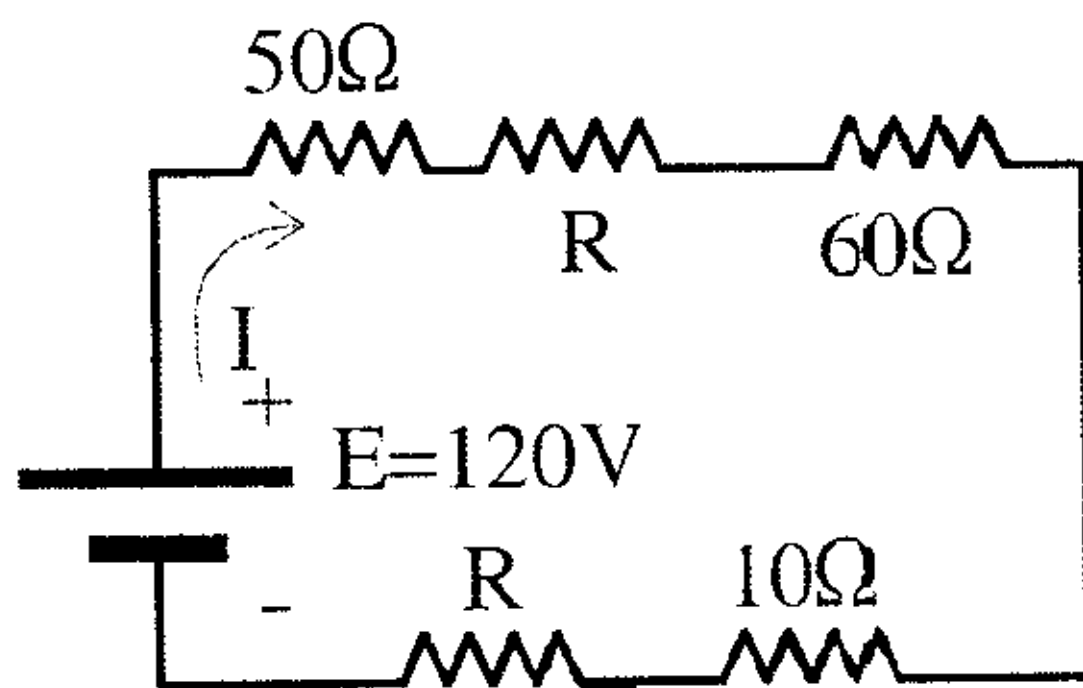


الحل :

$$R_T = 15\Omega + 10\Omega + 25\Omega + 10\Omega + 25\Omega = 110\Omega$$

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

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



الحل :

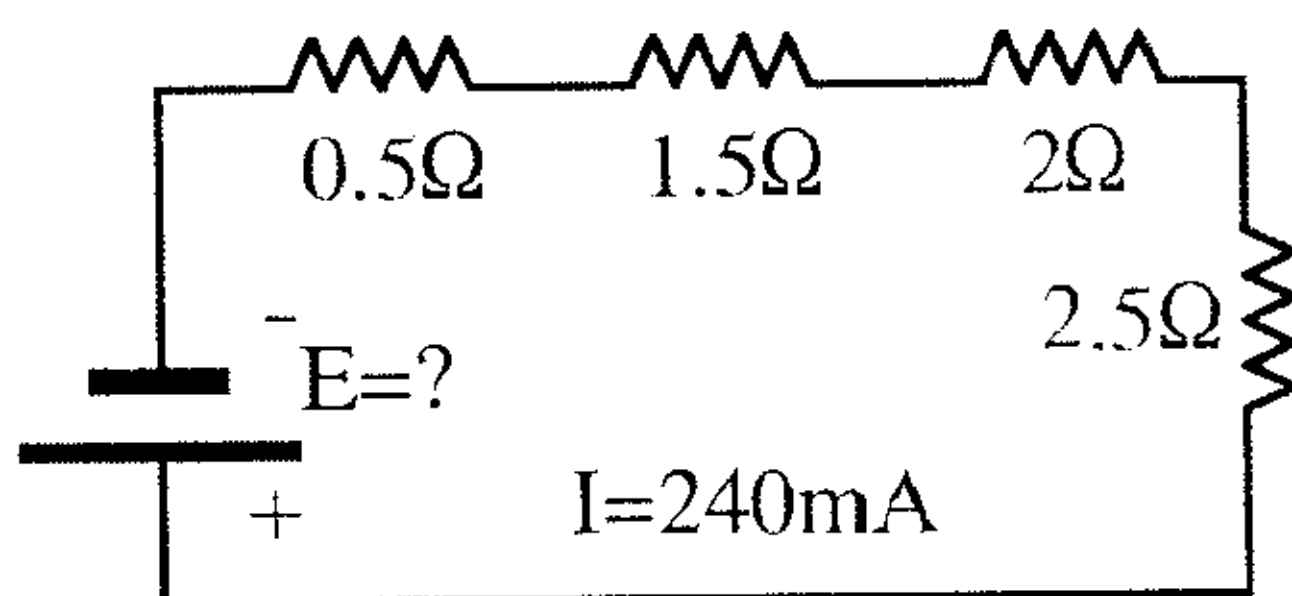
$$R_T = 50\Omega + R + 60\Omega + 10\Omega + R = 220\Omega$$

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

$$\therefore R = 50\Omega$$

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

(3) أحسب قيمة مصدر الجهد للدائرة التالية:



الحل :

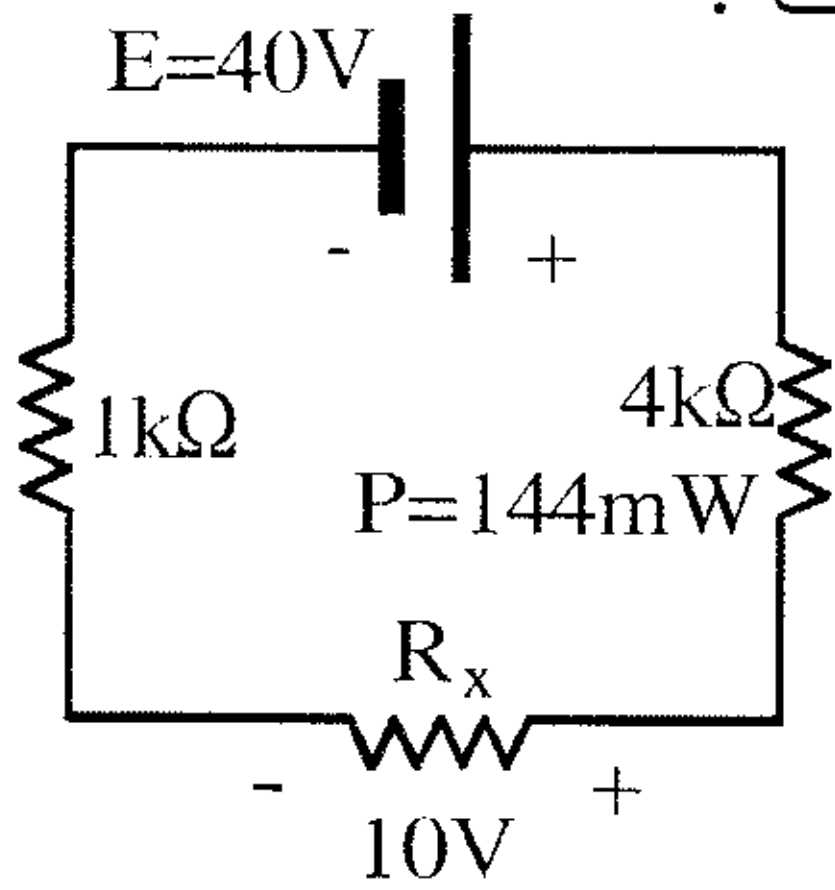
$$R_T = 0.5\Omega + 1.5\Omega + 2\Omega + 2.5\Omega = 6.5\Omega$$

$$I = E / R_T$$

$$E = I R_T = (240 \times 10^{-3} \text{ A})(6.5 \Omega) = 1.56 \text{ V}$$

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

الحل :



$$P = I^2 R$$

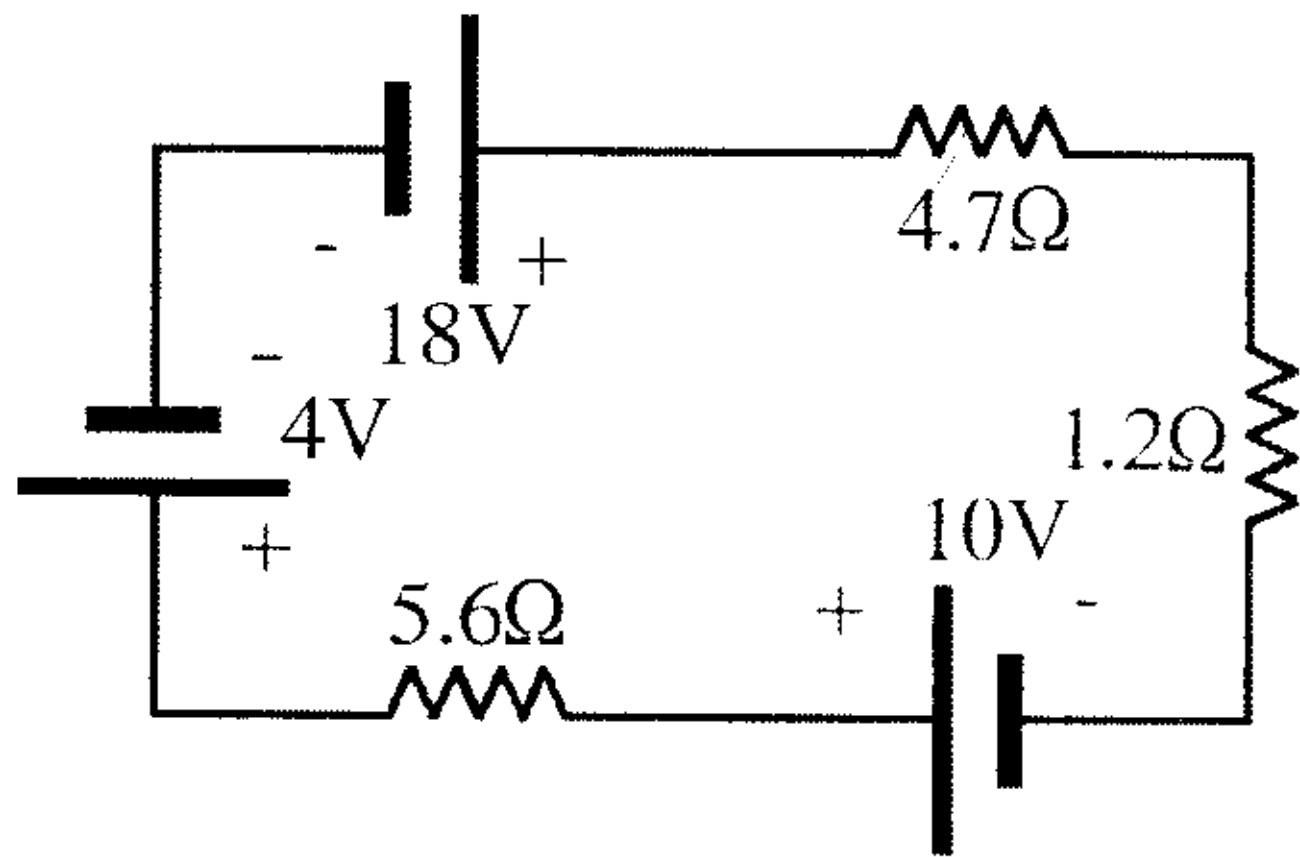
$$I^2 = \frac{P}{R} = \frac{144 \text{ mW}}{4 \text{ k}\Omega} = 36 \times 10^{-6} \text{ A}^2$$

$$I = 6 \times 10^{-3} \text{ A} = 6 \text{ mA}$$

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

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

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

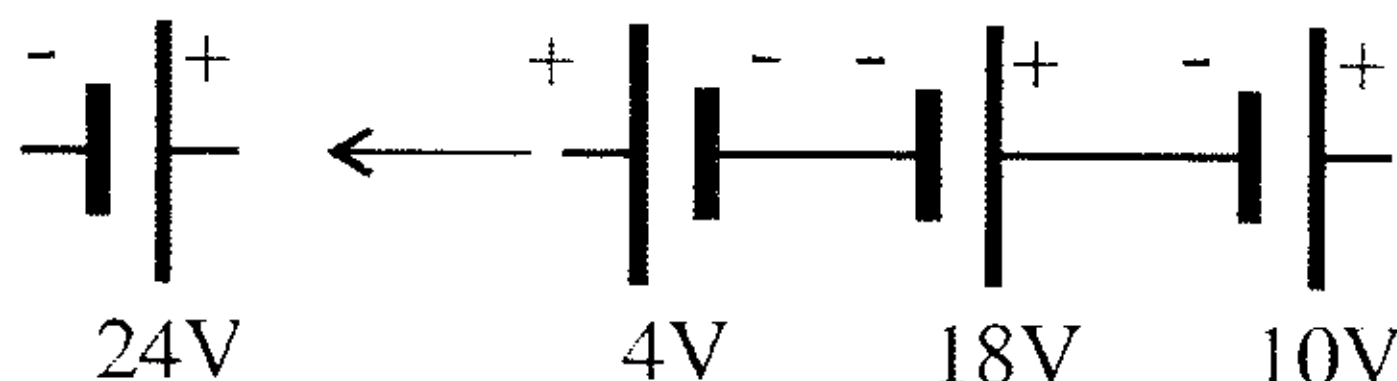


(5) باستخدام جمع المصادر أوجد قيمة تيار

الدائرة التالية:

الحل :

جمع المصادر

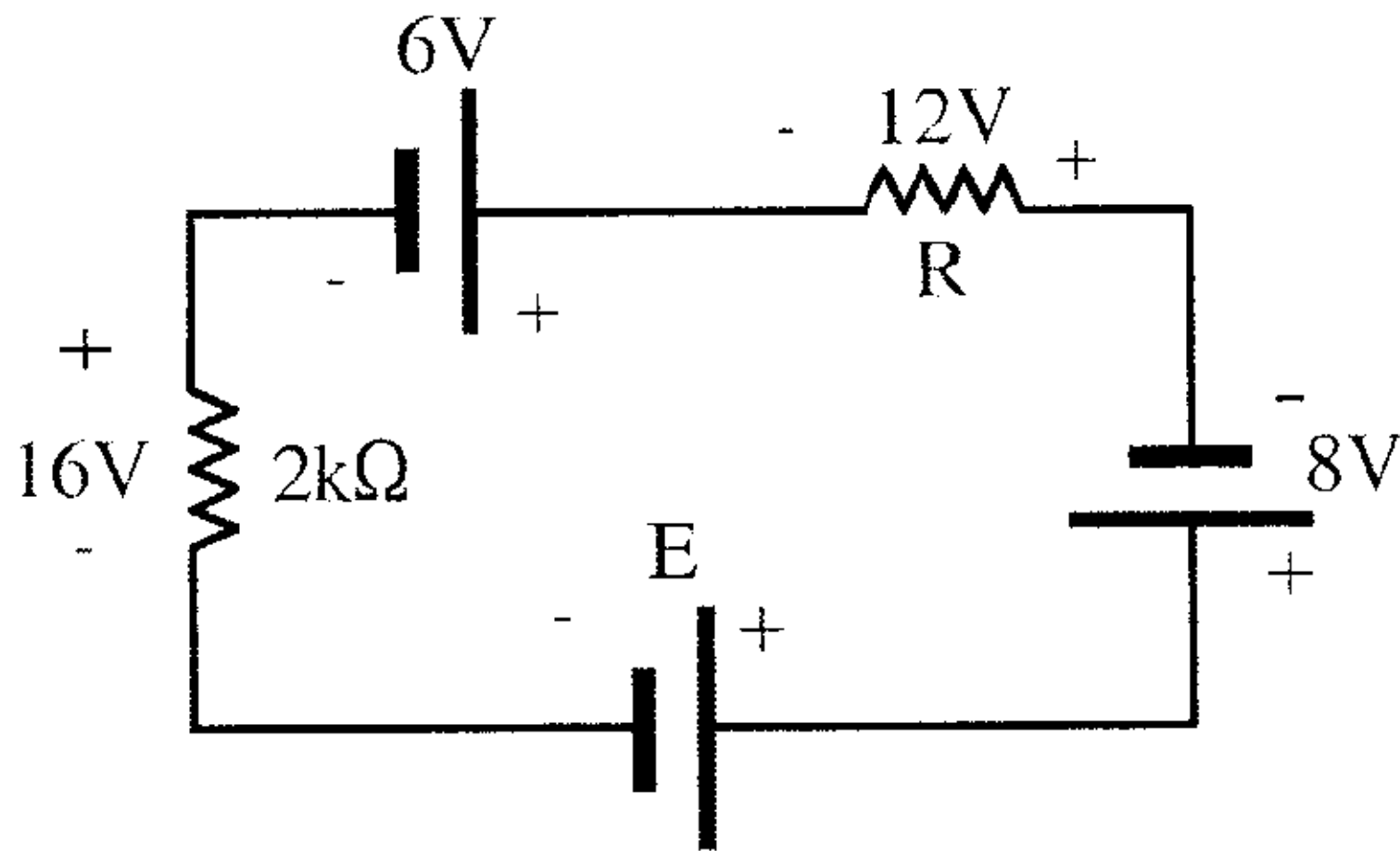


$$R_T = 4.7 \Omega + 1.2 \Omega +$$

$$5.6 \Omega = 11.5 \Omega$$

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

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



الحل :

باستخدام قانون (KVL)

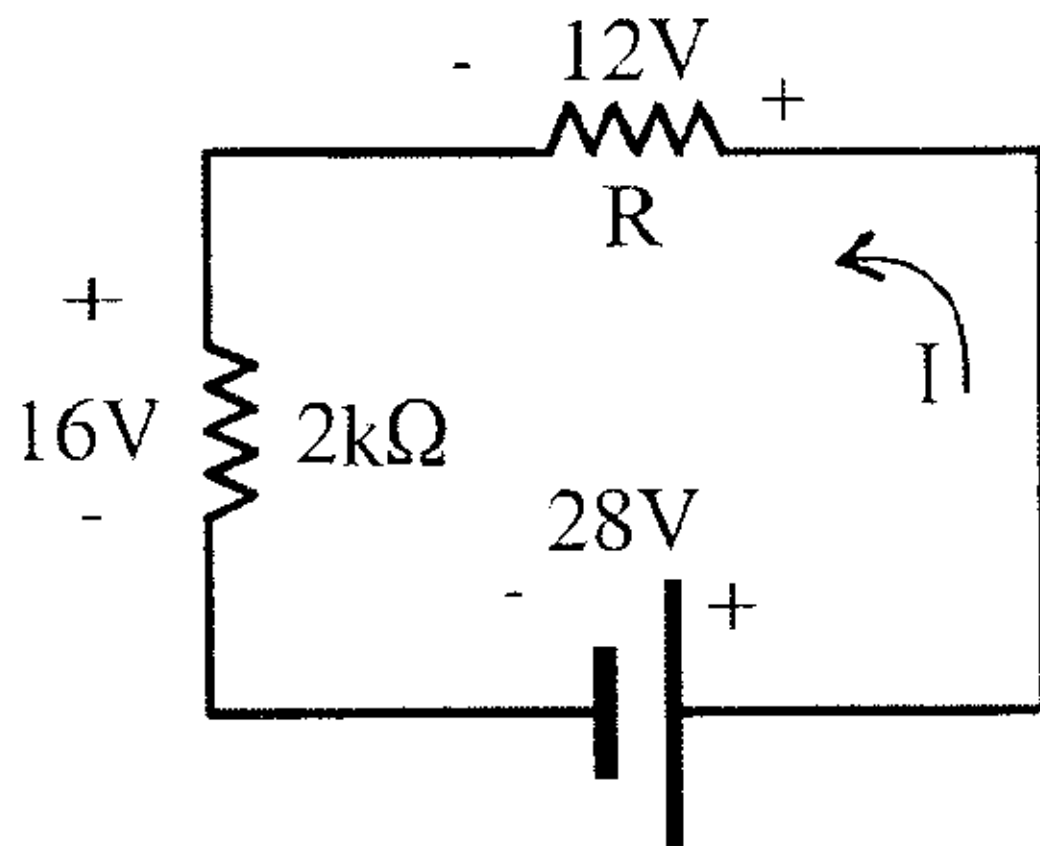
$$\sum V = 0$$

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

$$E = 42V$$

جمع المصادر :

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



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

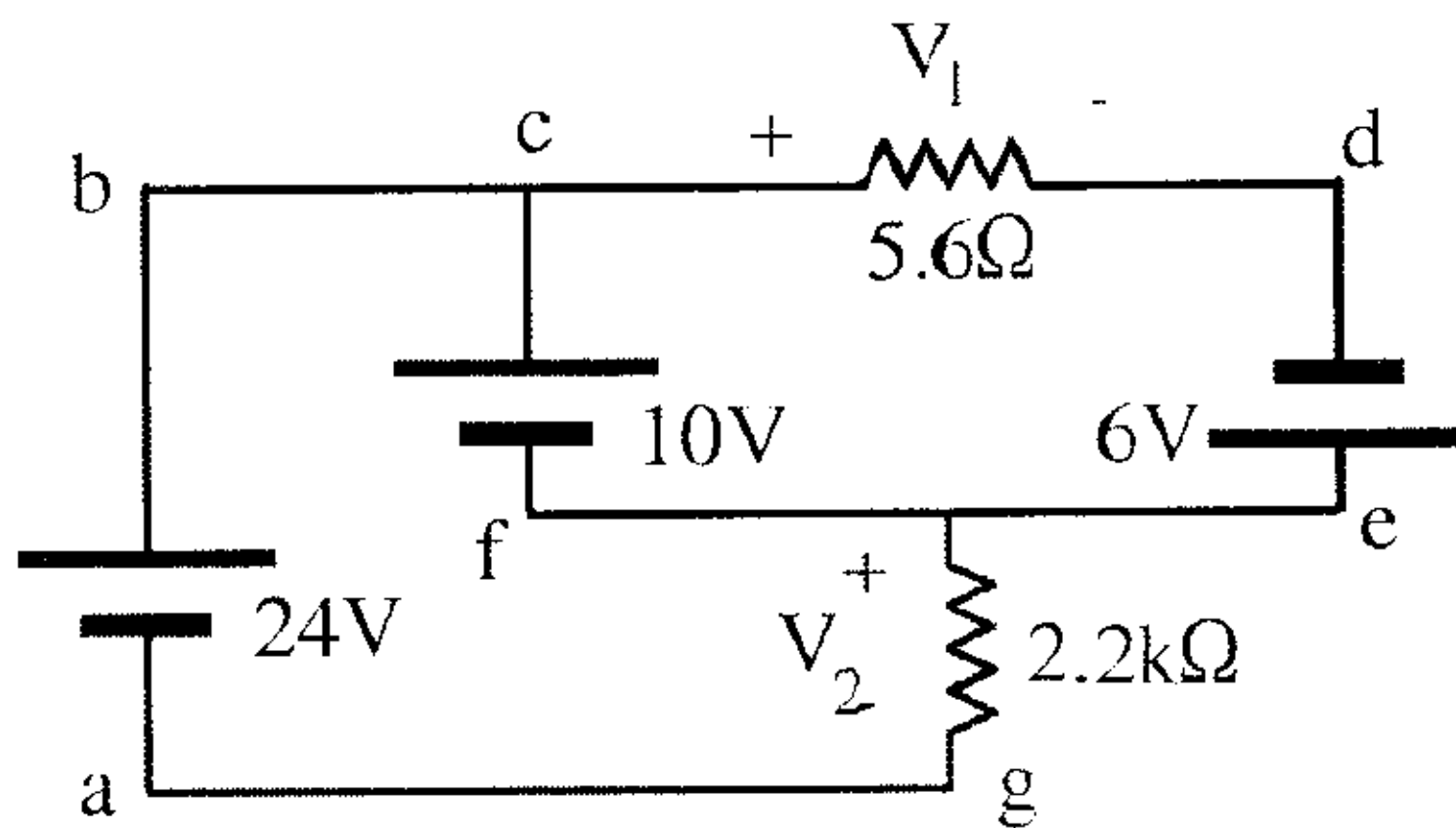
وضد عقارب الساعة

$$8mA = 1.5k\Omega$$

$$R = V / I = 12V /$$

(7) باستخدام قانون كرف شوف للجهد

أوجد قيمة V_1 و V_2 من الدائرة بالشكل.



الحل :

من المسار (c d e f c) نطبق (KVL)

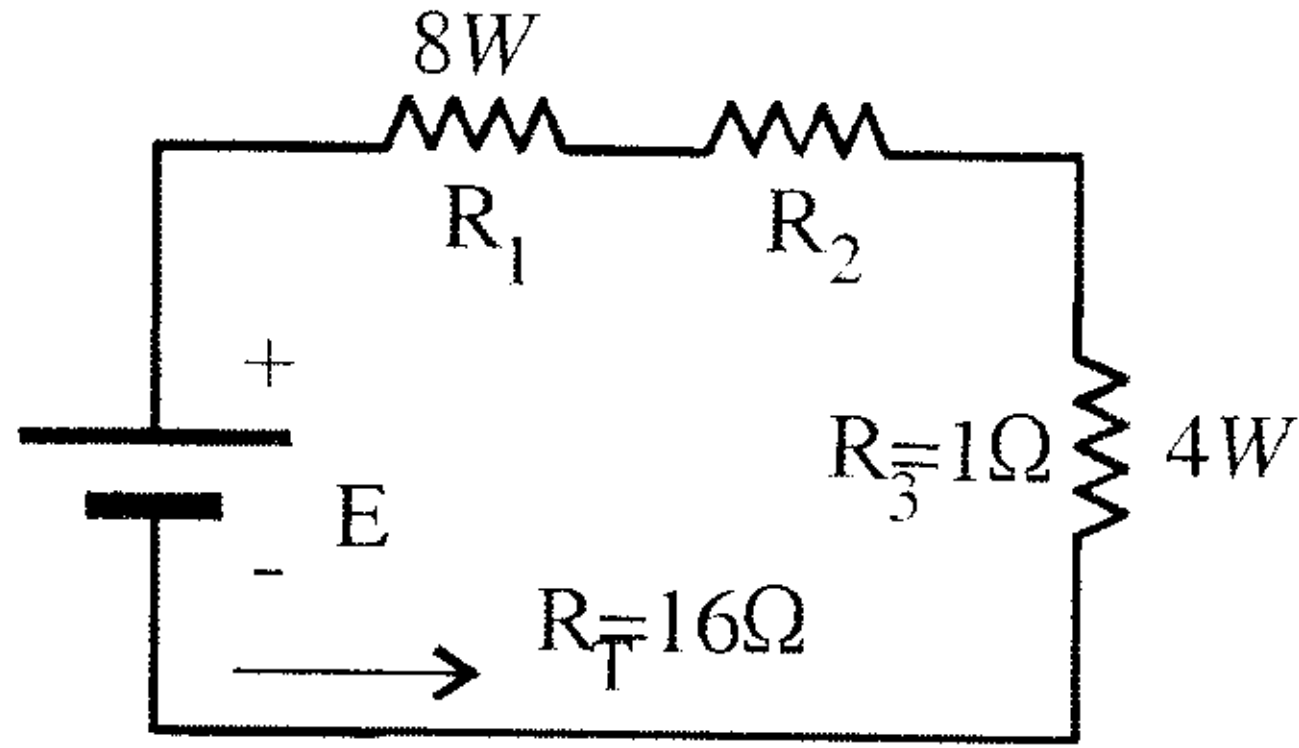
$$10V - V_1 + 6V = 0$$

$$V_1 = 16V$$

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.

الحل :

$$P_3 = R_3 I^2$$

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

$$I = 2A$$

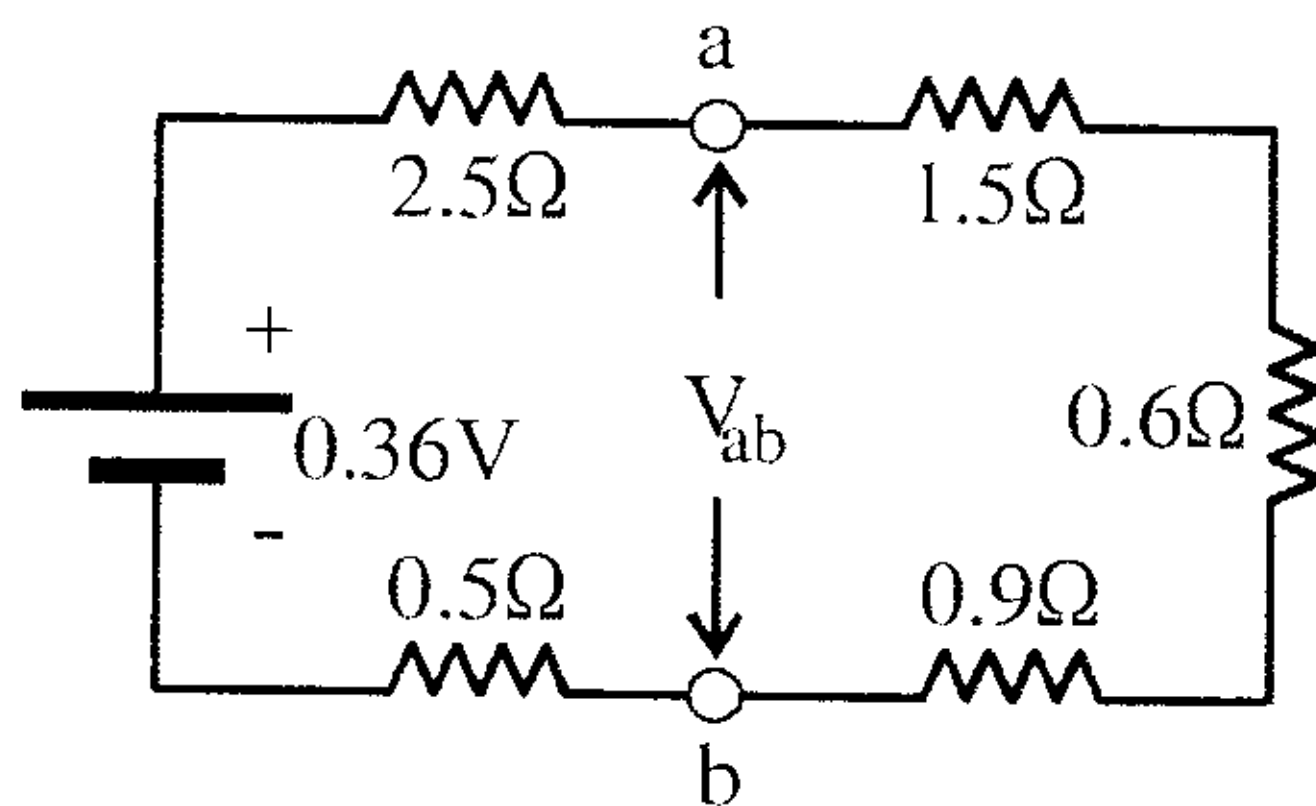
$$R_1 = P_1 / I^2 = 8W / 4A^2 = 2\Omega$$

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_2 = R_T - R_1 - R_3$$

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

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



(9) باستخدام قانون مجزئ الجهد (VDR)

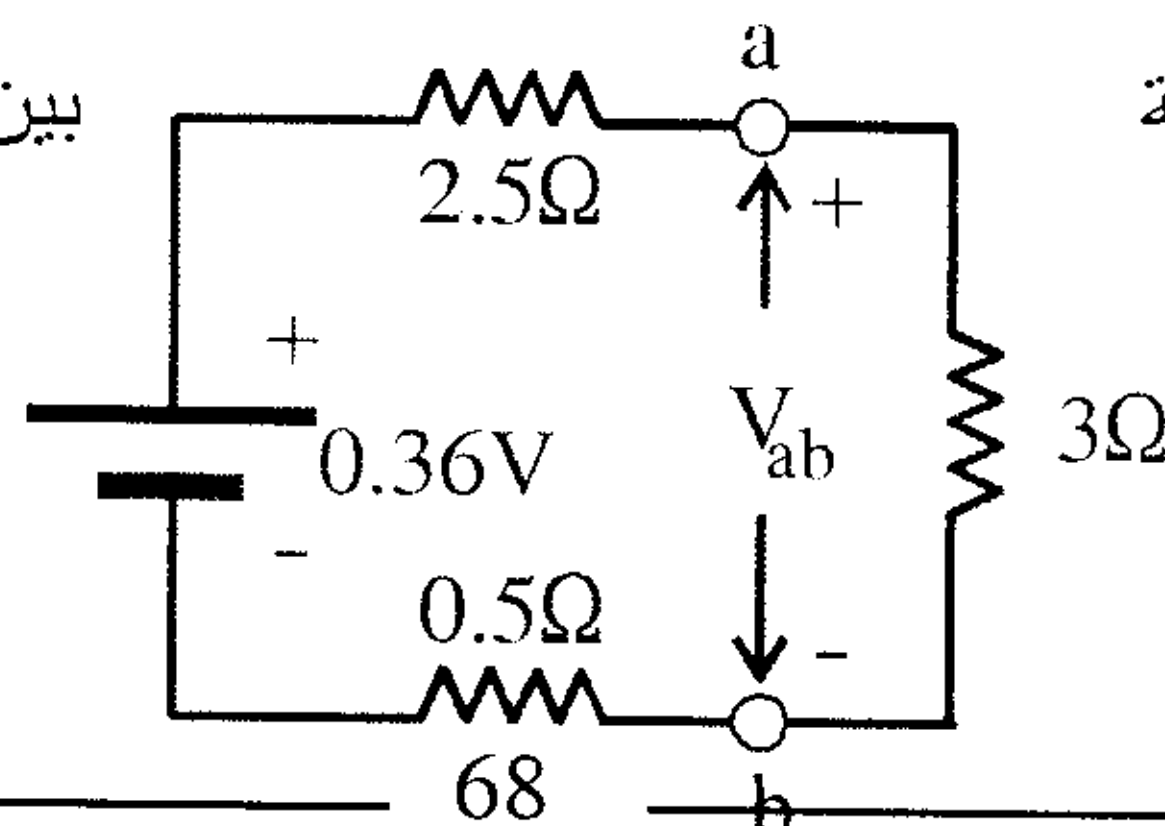
أوجد قيمة V_{ab} وكذلك القطبية من الدائرة

في الشكل التالي :

الحل :

بين النقطة (b,a)

$$3\Omega = R_{ab}$$



مجموع المقاومات الواقعة

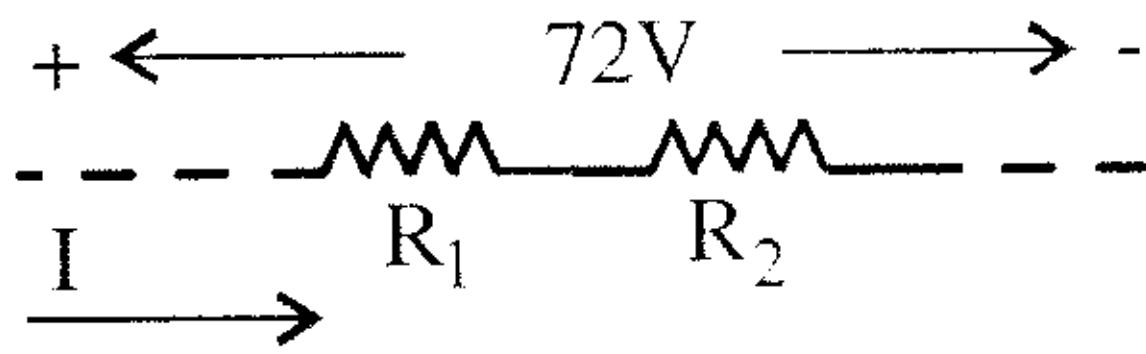
بتطبيق (VDR)

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

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

(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 ($I = 4mA$).

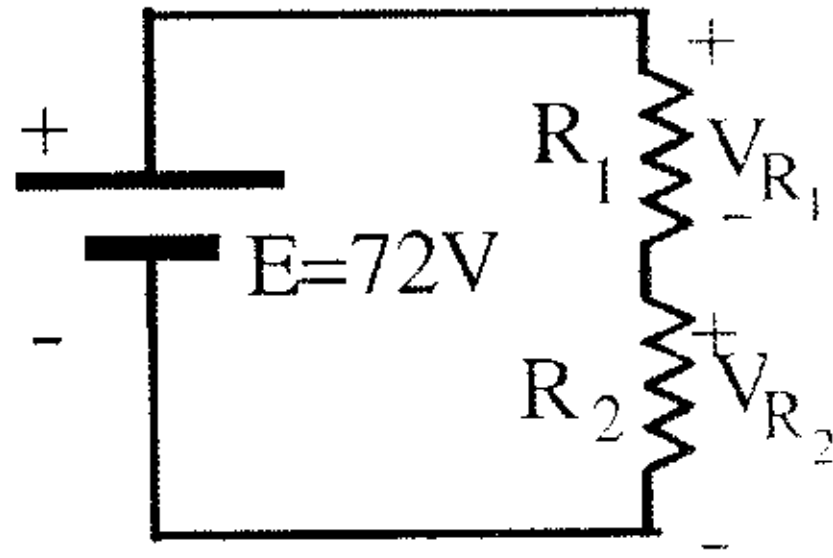
الحل :



يمكن إعادة رسم الدائرة كالتالي:

$$E = 72V$$

$$I = 4mA$$



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

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

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

بضرب المعادلة في 5

$$5R_T = R_2 + 5R_2$$

$$5R_T = 6R_2$$

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

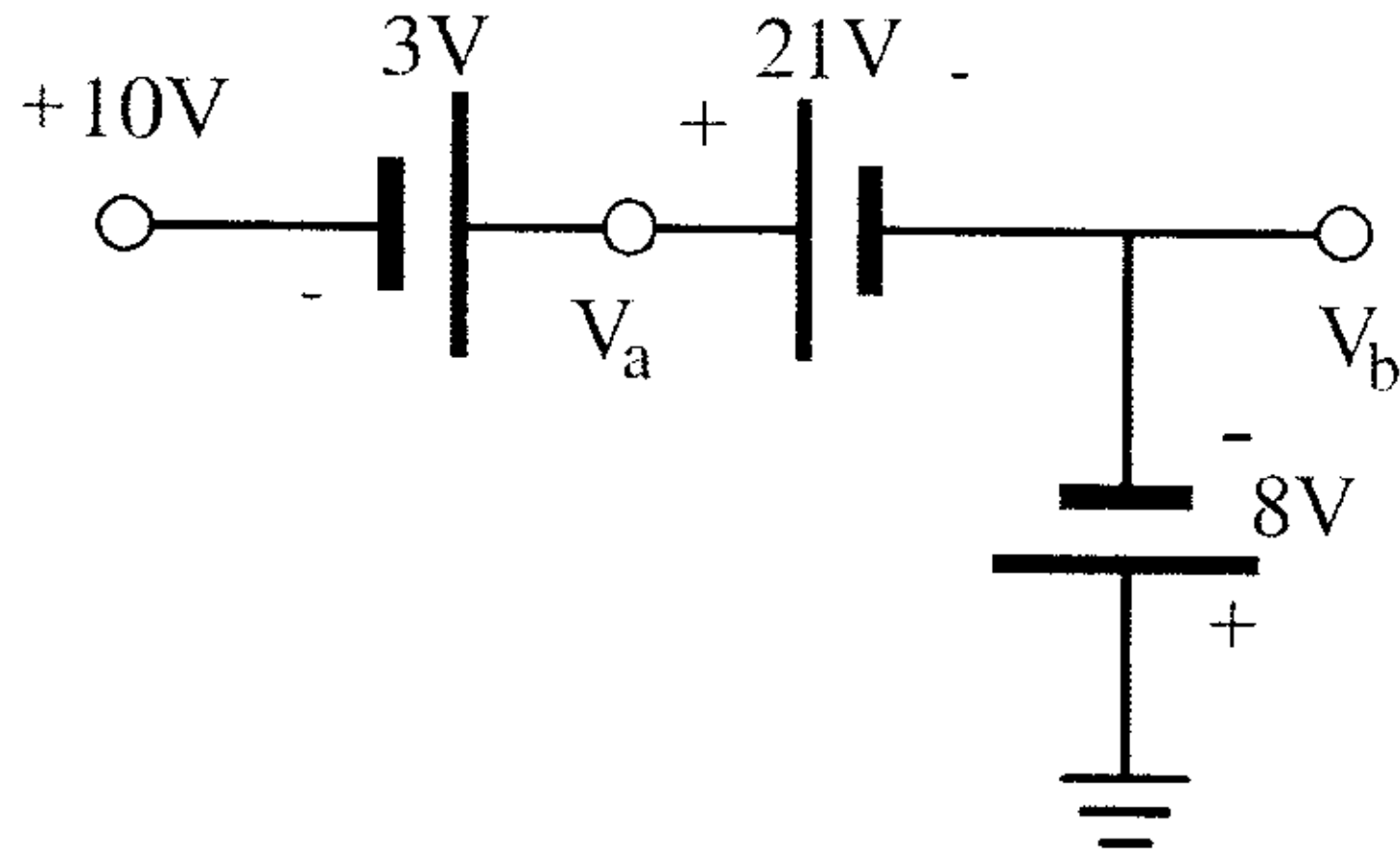
$$R_1 = 3k\Omega$$

ومنها

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

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

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



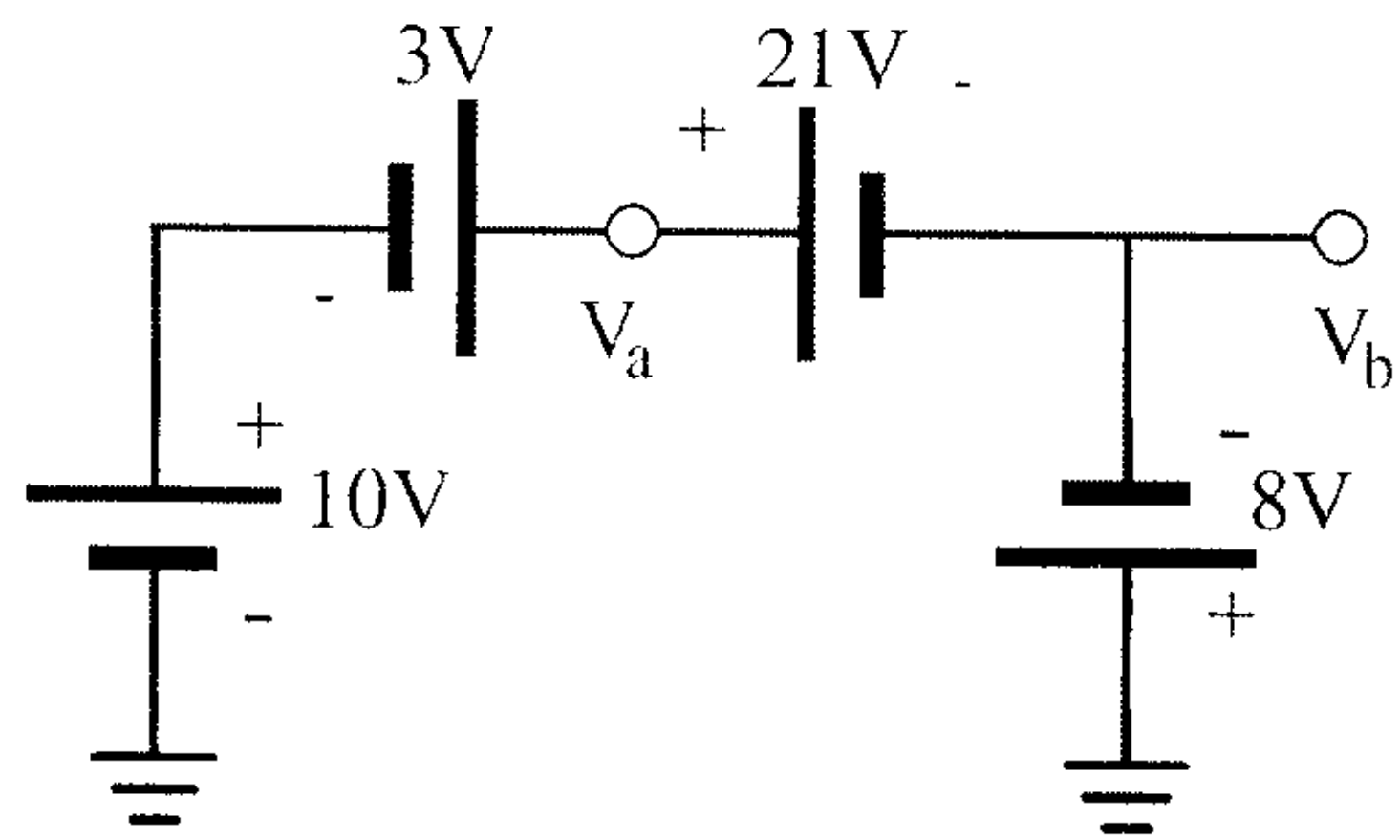
(11) من الدائرة في الشكل التالي أوجد
• V_{ab} , V_b , V_a

الحل :

نعيد رسم الدائرة كالتالي :

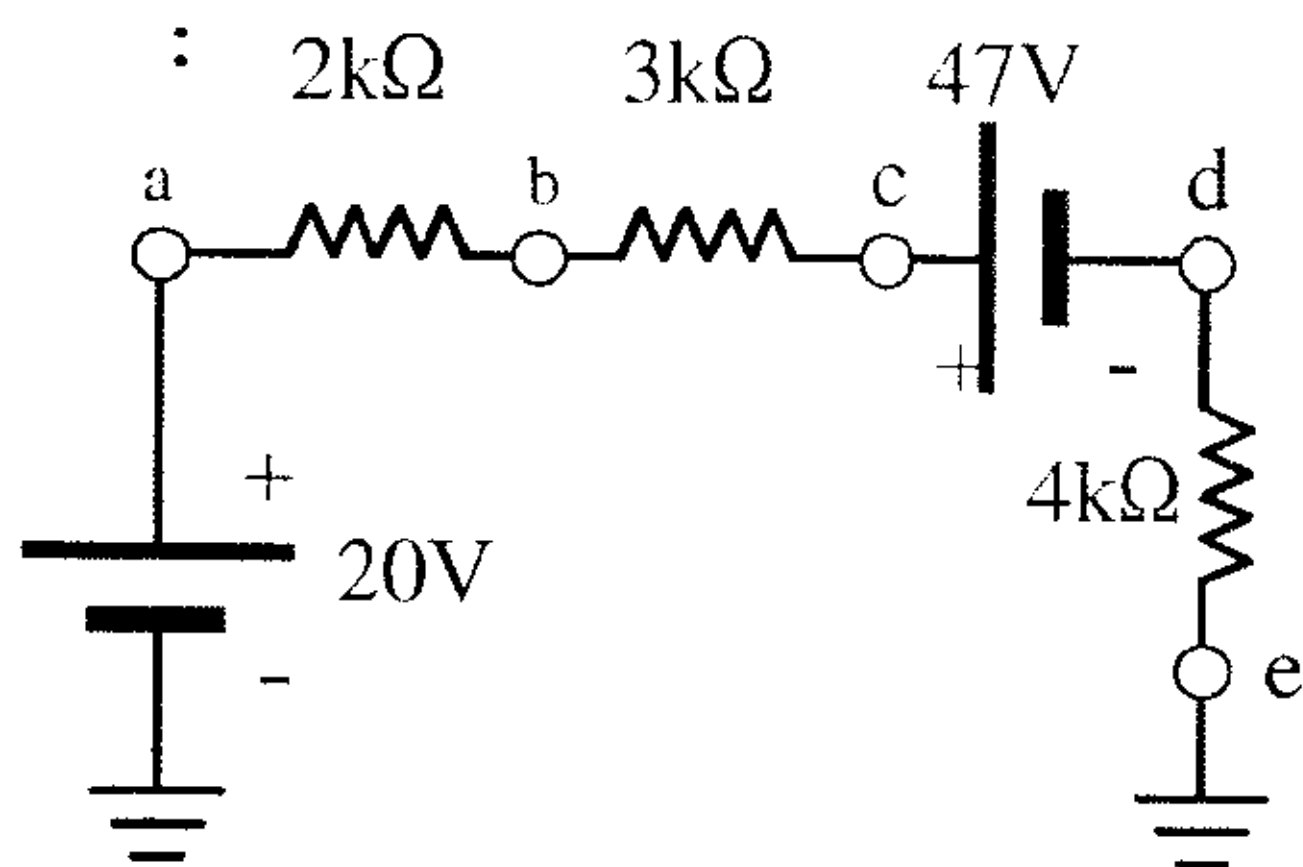
$$V_a = 10V + 3V = 13V$$

$$V_b = -8V$$



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

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} .

الحل:

من الشكل مباشرة $V_a = 20V$

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 $(47V)$: $V_{dc} = -47V$

$$V_e = 0V$$

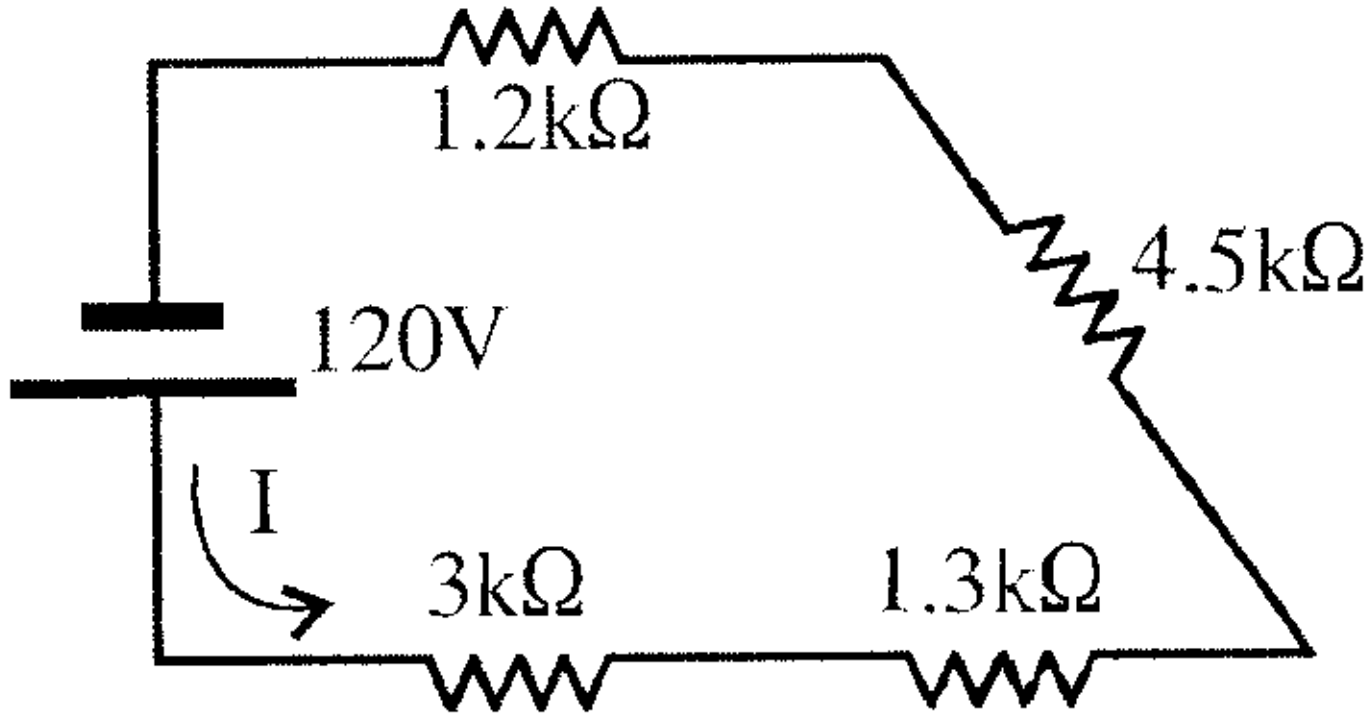
$$V_d = -47V + 9V + 6V + 20V = -12V$$

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

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

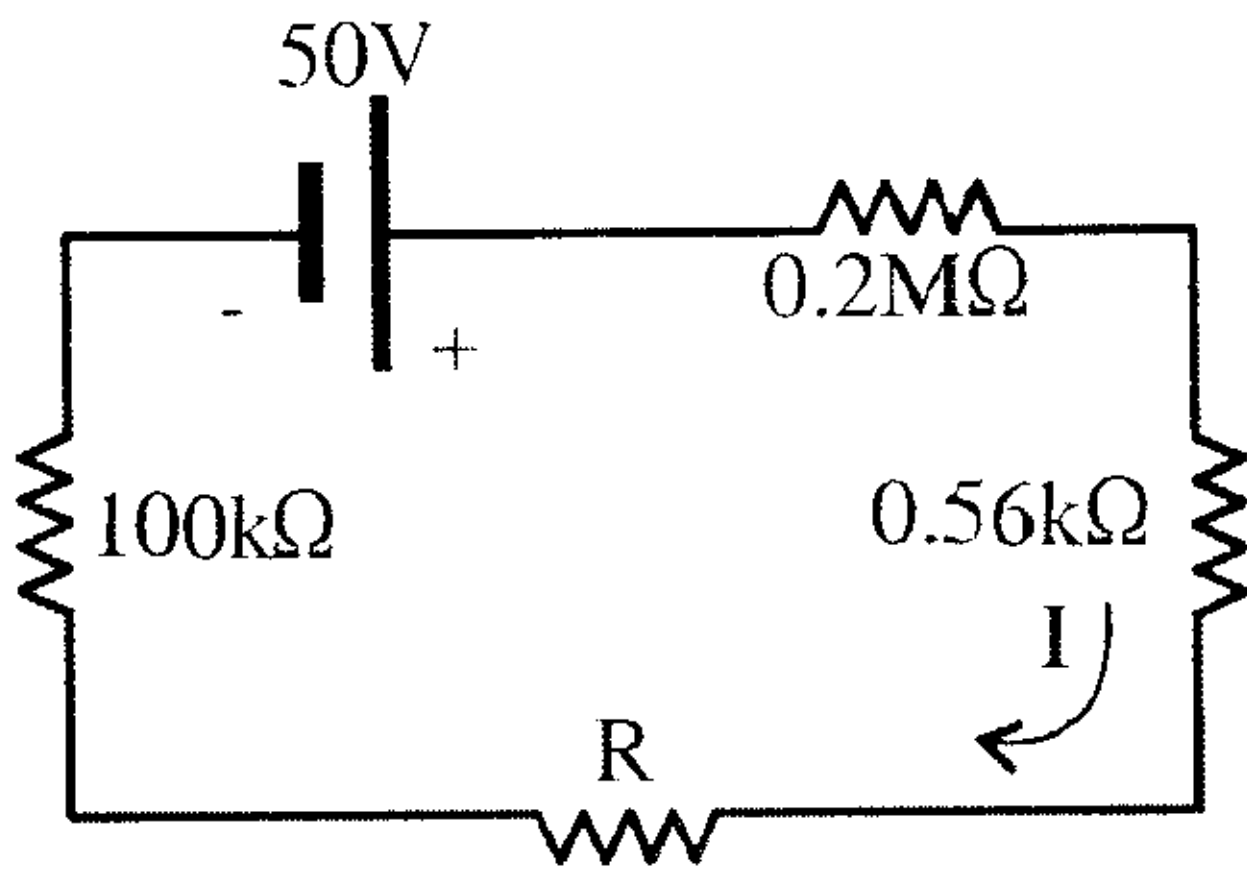
10.2 مسائل متنوعة

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



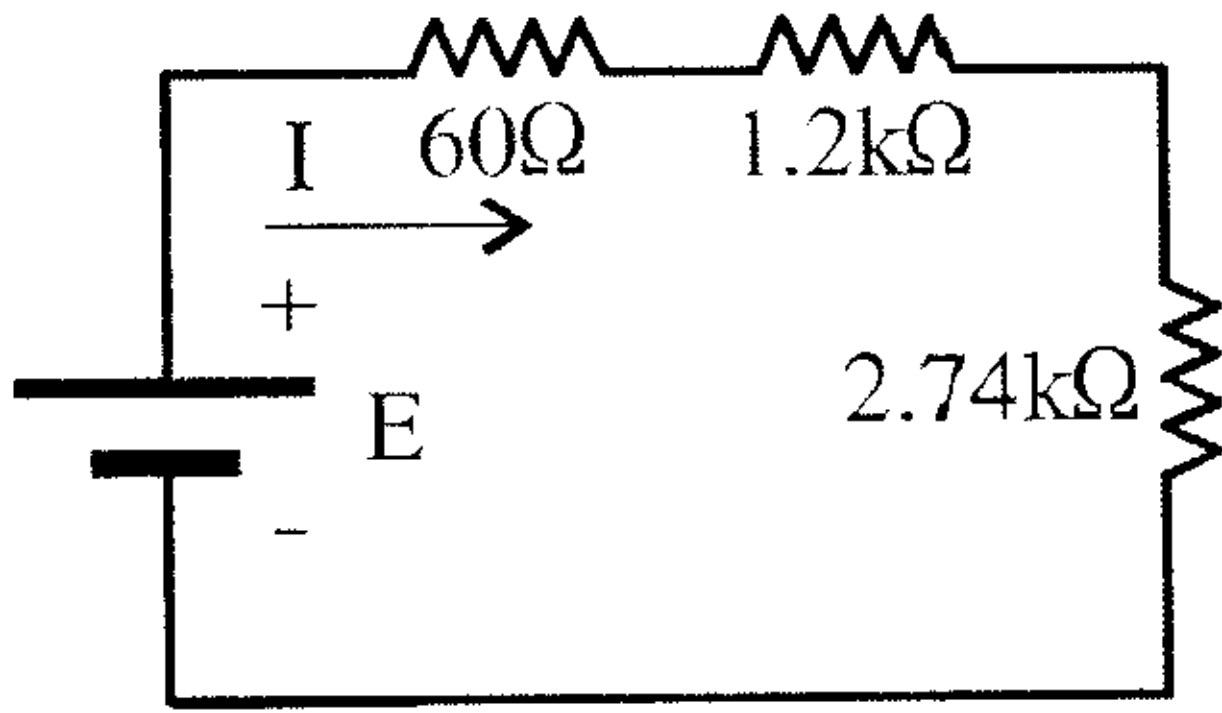
(2) من الدائرة بالشكل التالي أوجد:

قيمة المقاومة المجهولة (R) و التيار الكلي للدائرة (I) إذا علمت أن المقاومة الكلية ($R_T = 1.6 \text{ M}\Omega$).



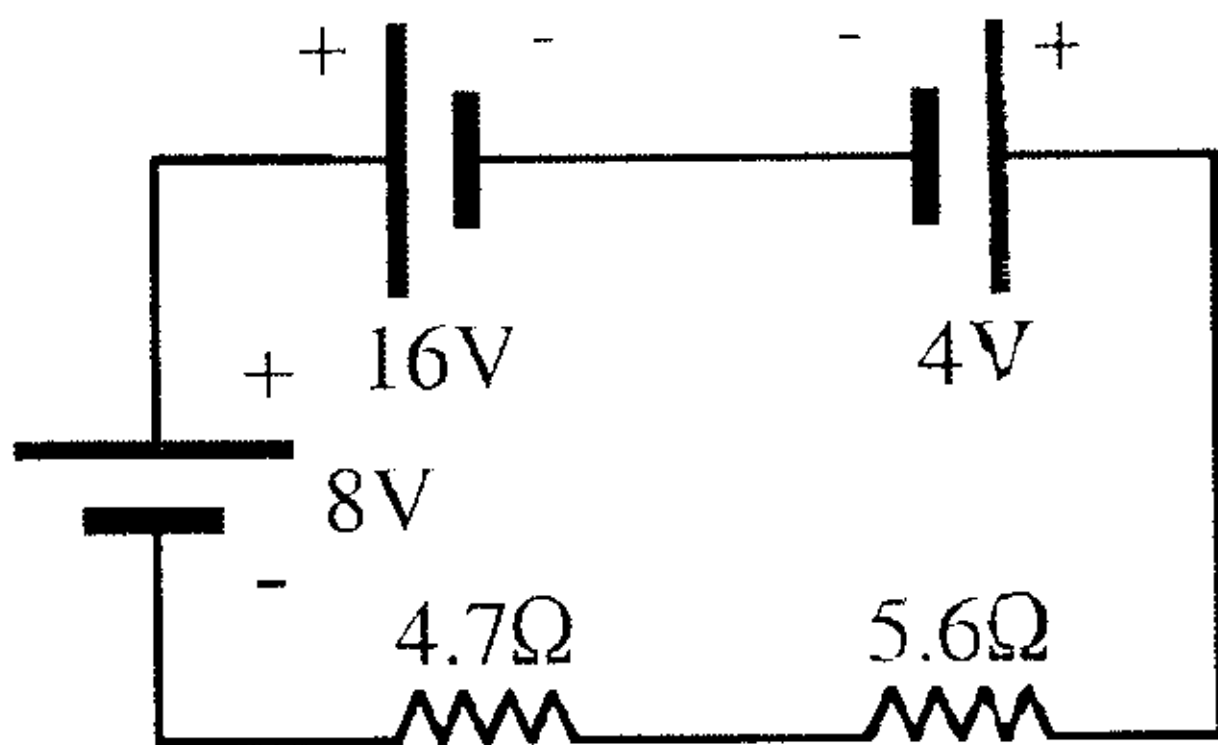
(3) من الدائرة بالشكل التالي أوجد :

جهد المصدر E إذا علمت أن التيار المار في الدائرة ($I = 4 \text{ mA}$).



(4) من الدائرة بالشكل التالي أوجد :

التيار الكلي للدائرة (I) وحدد اتجاهه. (اجمع مصادر الجهد أولاً).

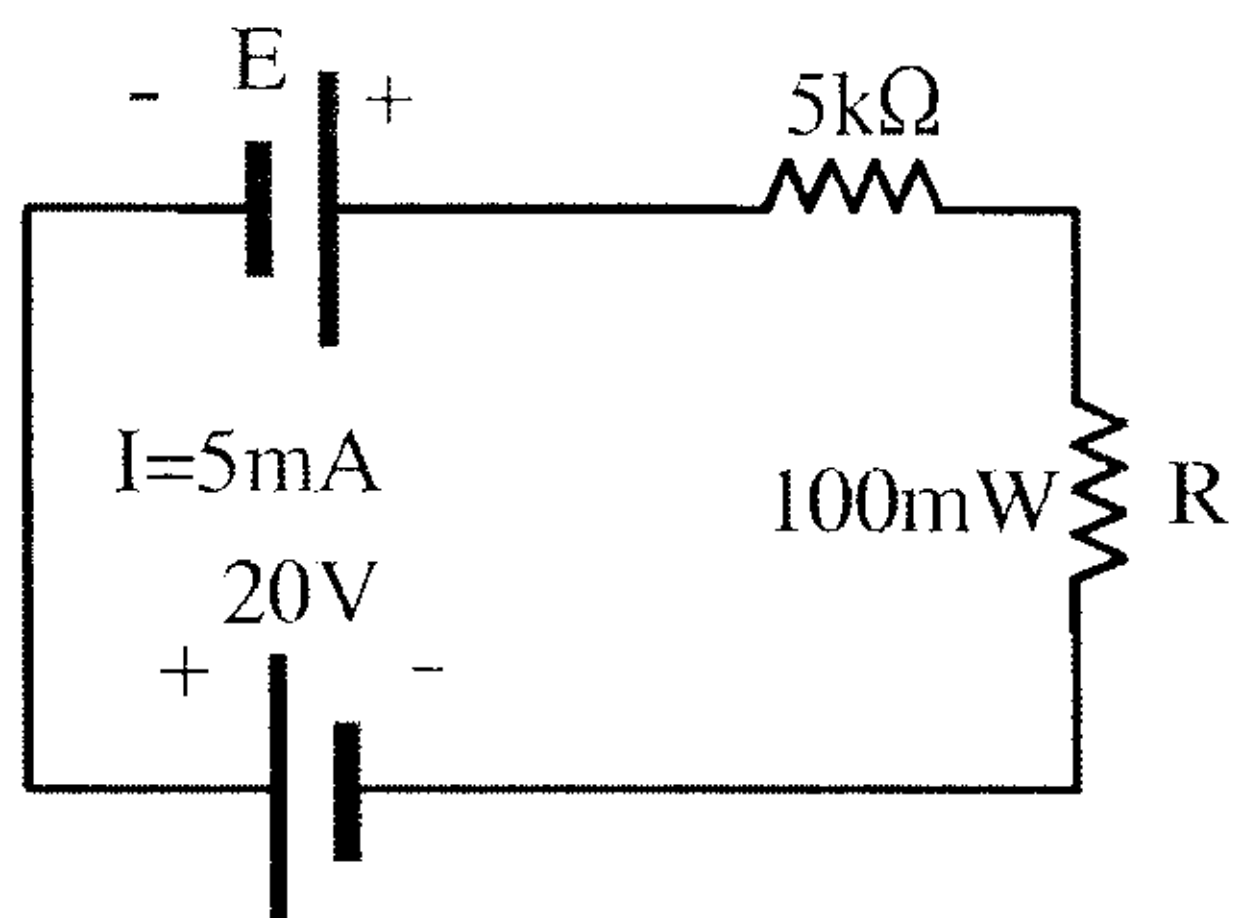


(5) من الدائرة بالشكل التالي أوجد :

R, E

حدد اتجاه التيار الكلي للدائرة إذا علمت

أن قيمته $(I = 5mA)$.



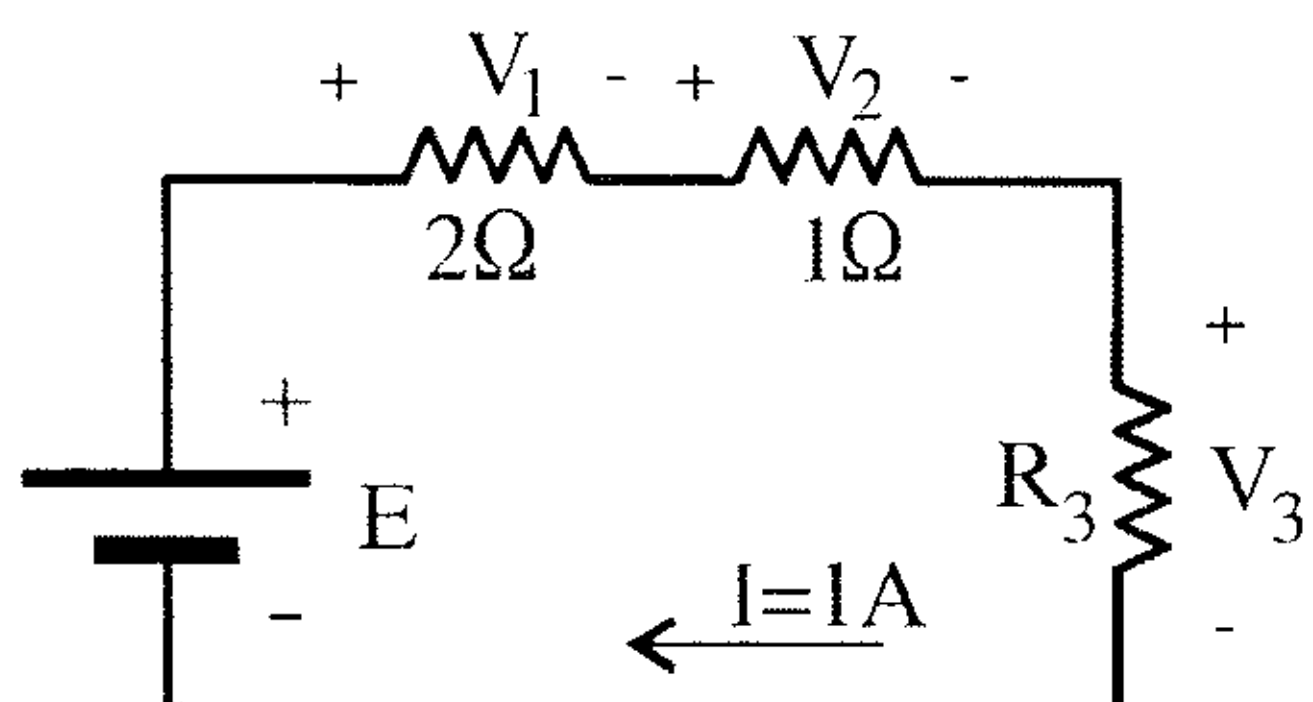
(6) من الدائرة بالشكل التالي أوجد كلاً من :

V_3, V_2, V_1, R_3, E إذا علمت أن قيمة

القدرة المستهلكة في المقاومة R_3 هي

$(P_3 = 21W)$ والتيار المار في الدائرة

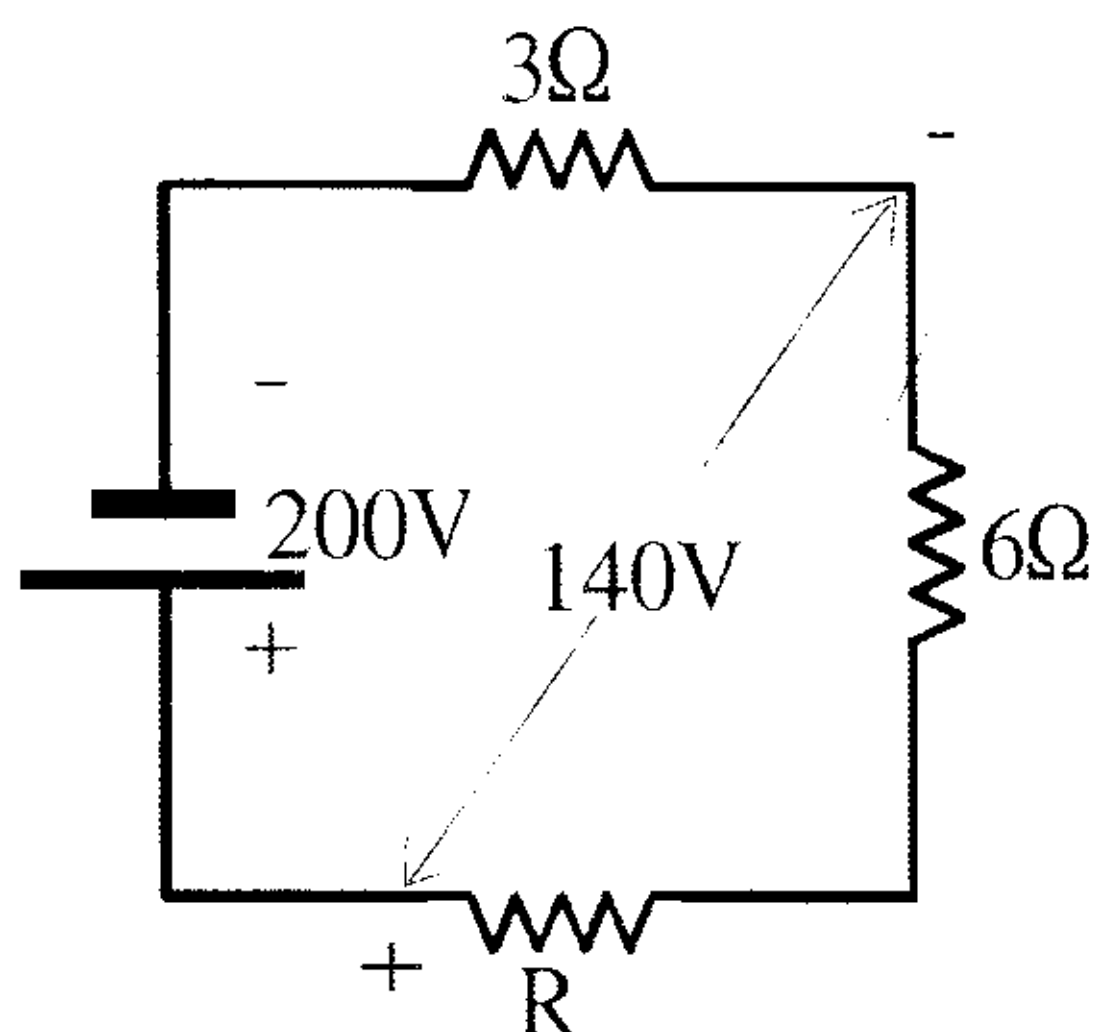
$(I = 1A)$.



(7) من الدائرة في الشكل التالي:

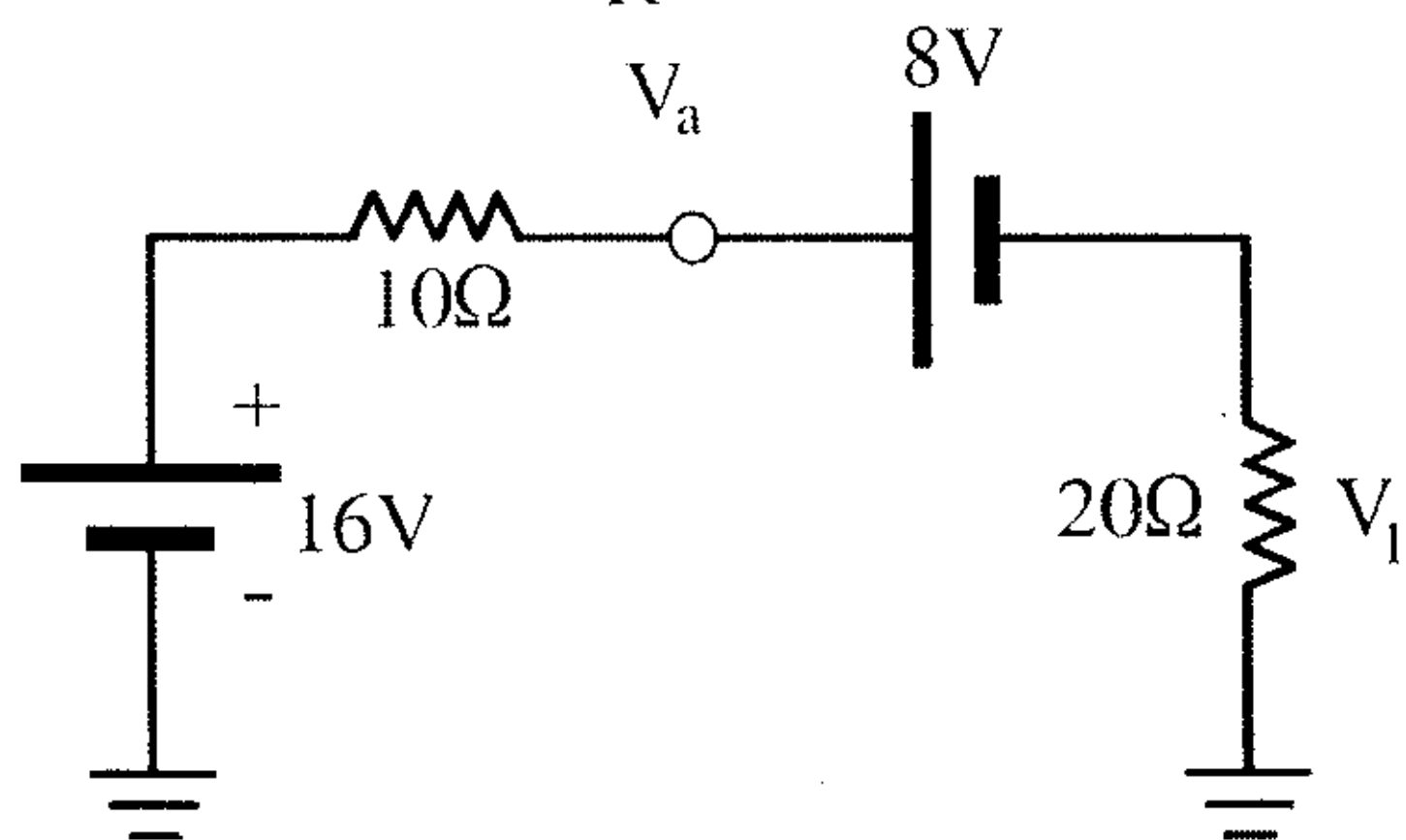
أوجد قيمة المقاومة R باستخدام قانون

مجزئ الجهد.



(8) من الدائرة في الشكل التالي أوجد :

V_1, V_a

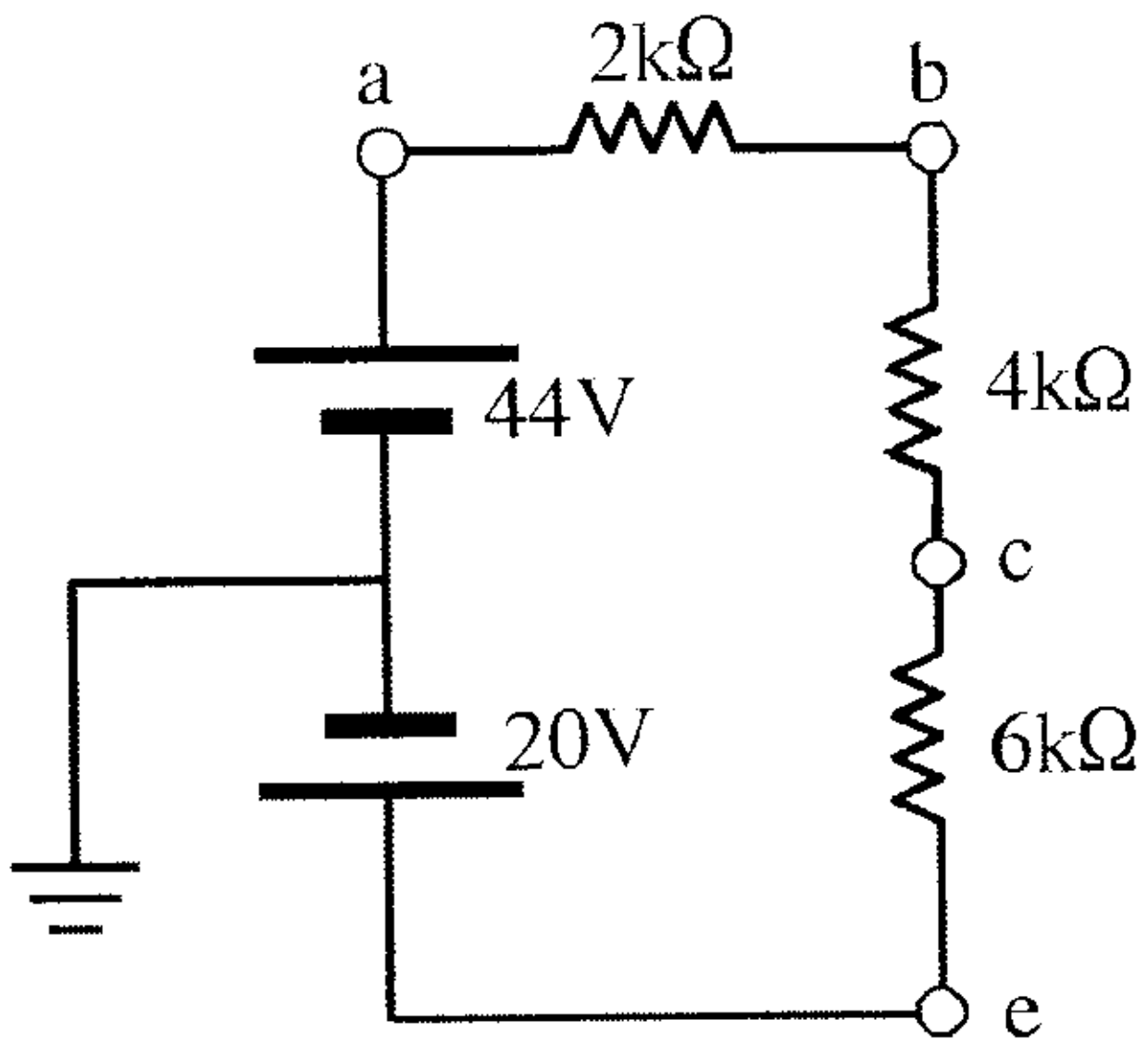


(9) من الدائرة في الشكل التالي أوجد:

• V_d, V_c, V_b, V_a

• V_{cb}, V_{cd}, V_{ab}

• V_{ca}, V_{ad}



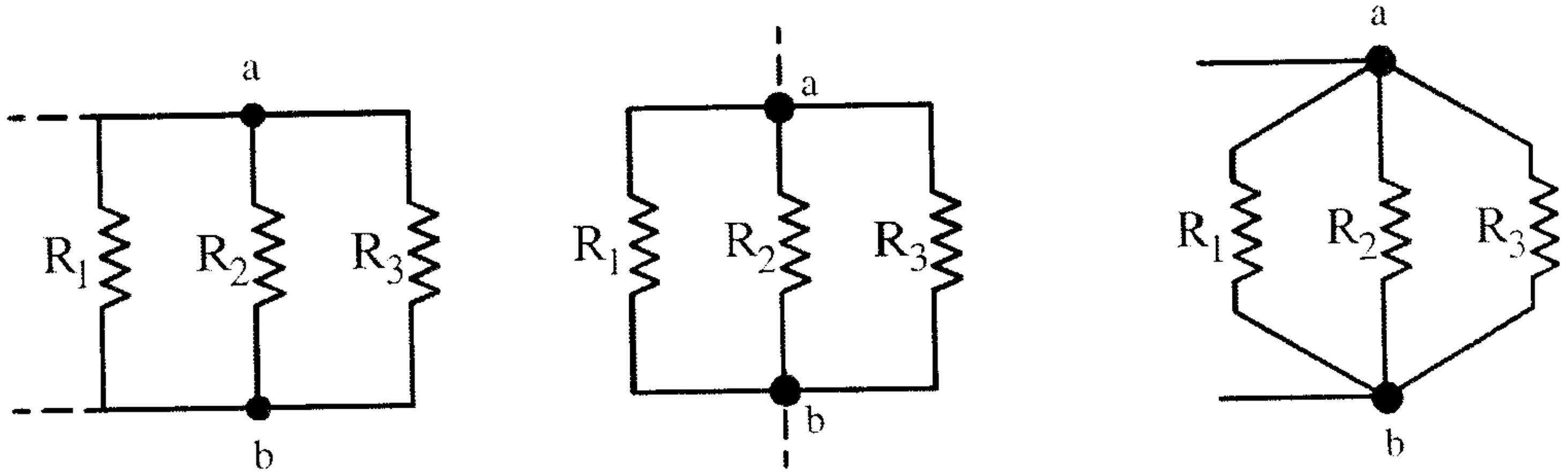
الفصل الثالث

- 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

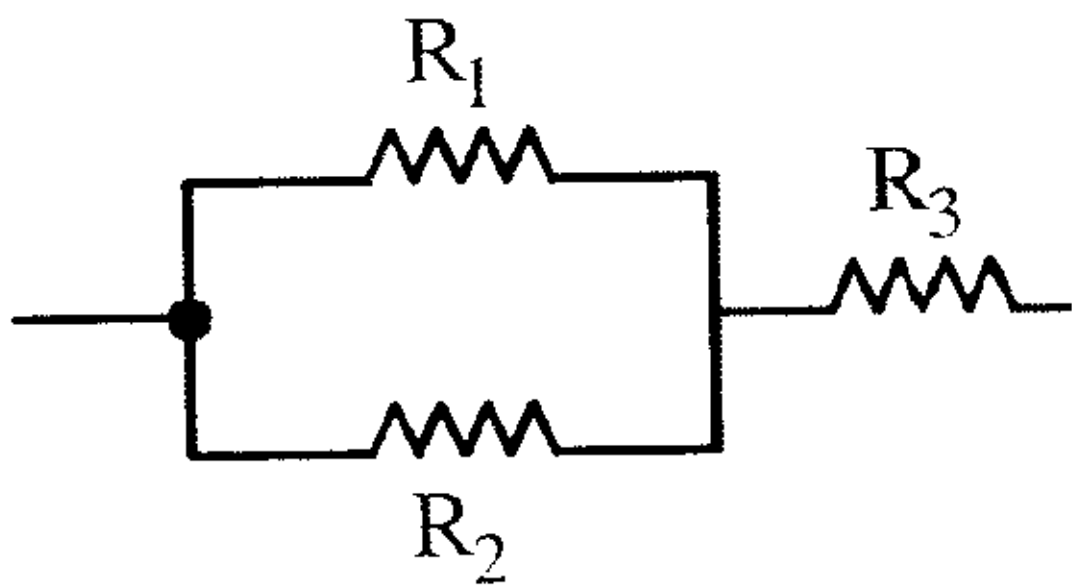
الدوائر التالية توضح كيفية توصيل المقاومات على التوازي بطرق مختلفة:



في هذه الدائرة:

R_1 موصلة على التوازي مع R_2

$$R_2 // R_1$$



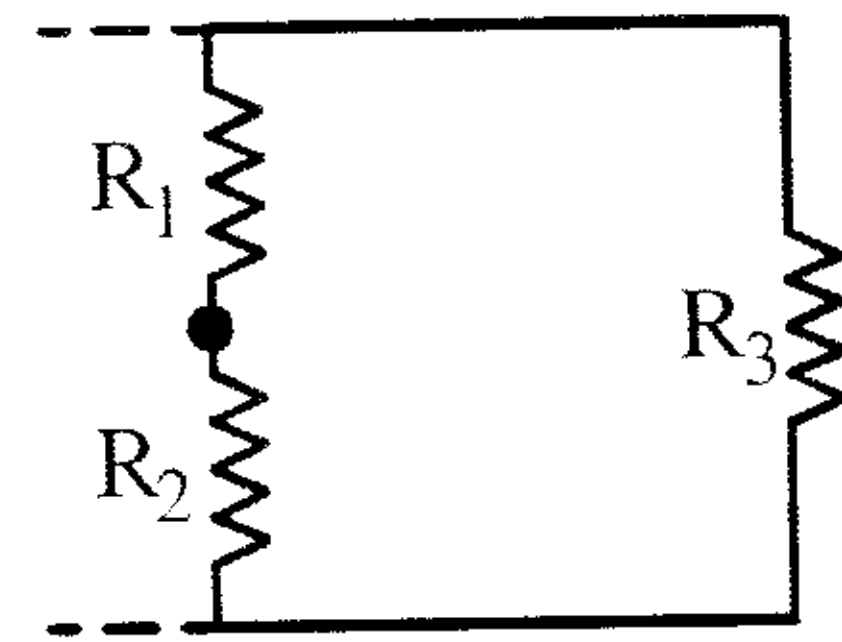
مجموع توازي $R_2 // R_1$ موصلة على التوالي مع R_3

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

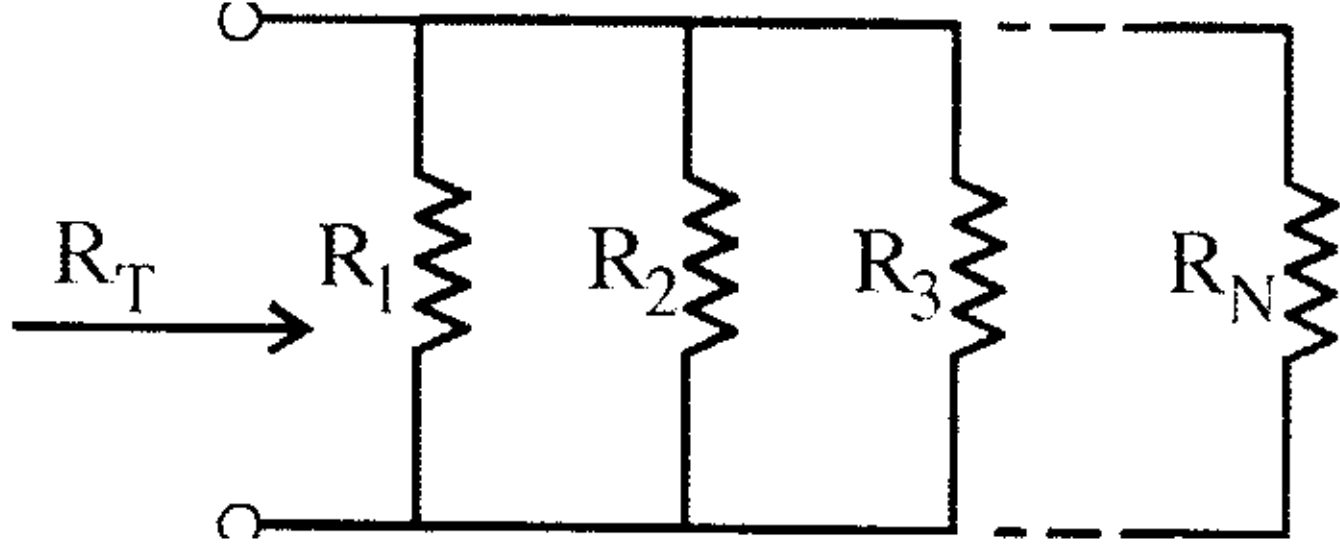
كما مررنا في الفصل السابق، فإن محصلة المقاومات على التوالي هو مجموعها الجبري. أما في حالة ربط المقاومات على التوازي وبما أن المواصلة الكلية هي المجموع الجبري لكل مواصلة في دائرة التوازي أي أن:

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

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

فإن محصلة المقاومات في دائرة التوازي تكون كالتالي:

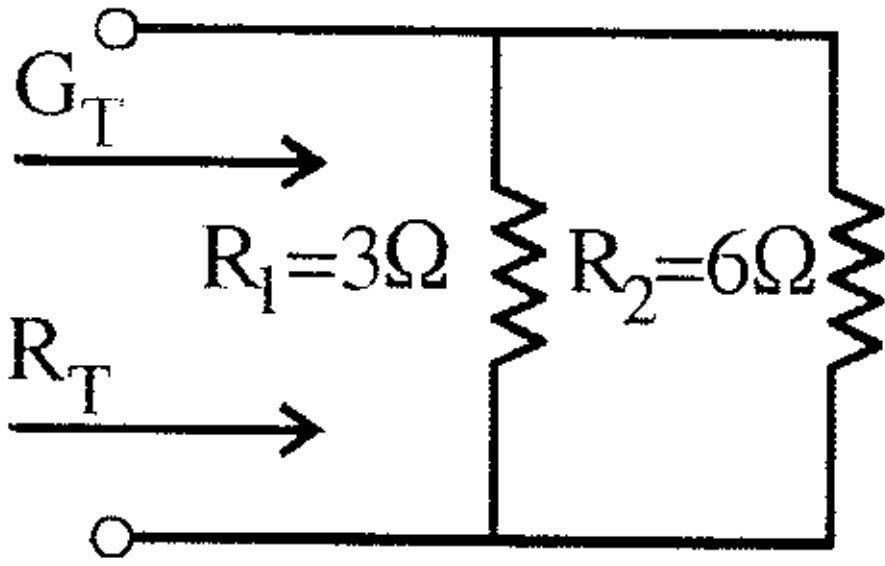
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N}$$



مثال 1.3 أوجد قيمة المقاومة الكلية (R_T) والمواصلة الكلية (G_T) للدائرة في الشكل

التالي:

الحل:



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

$$R_T = 2\Omega$$

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

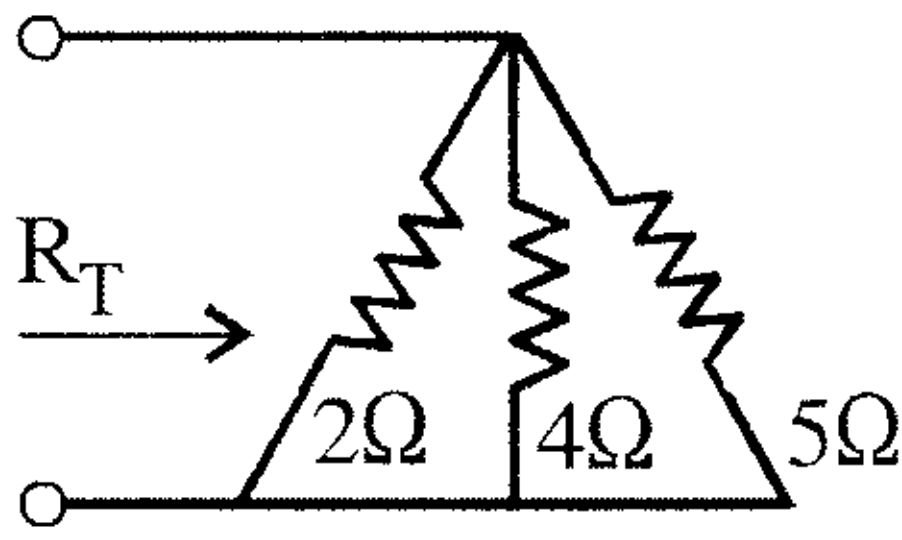
مثال 2.3 إذا أضفنا مقاومة ثالثة على التوازي في الدائرة في المثال السابق قيمتها (10Ω) ما هو تأثير ذلك على المقاومة الكلية والمواصلة الكلية.

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

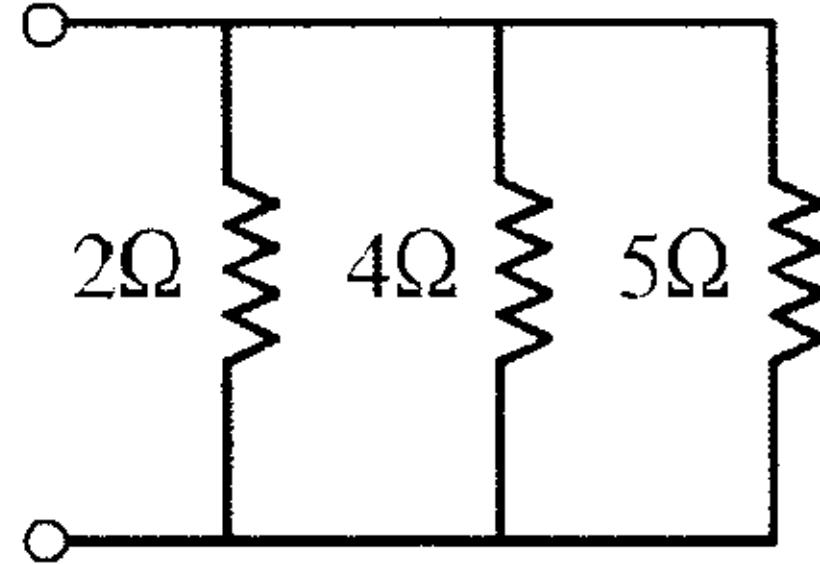
$$R_T = \frac{1}{G_T} = \frac{1}{(0.6S)} = 1.667\Omega$$

هذه الإضافة تزيد قيمة المواصلة الكلية وتقلل قيمة المقاومة الكلية.

مثال 3.3 أوجد قيمة المقاومة الكلية للدائرة في الشكل التالي:



الحل:



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

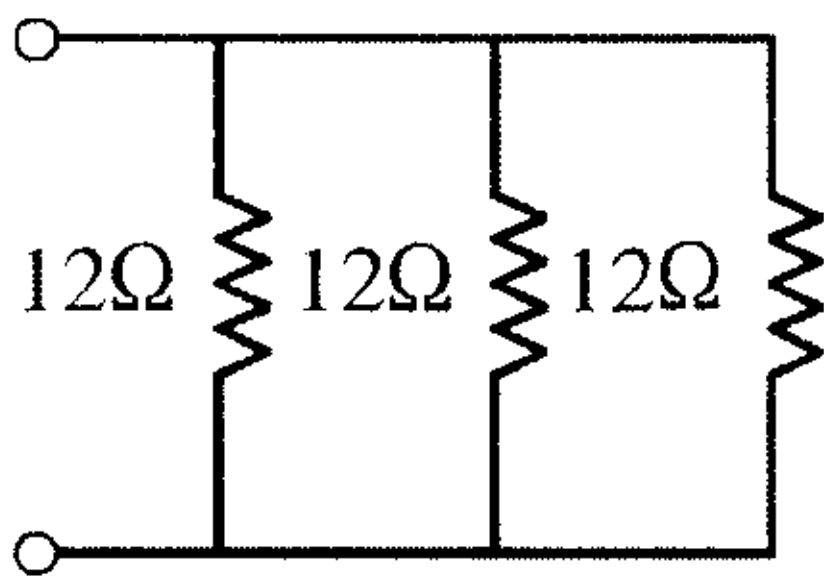
$$R_T = \frac{20}{19} = 1.05\Omega$$

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

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

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

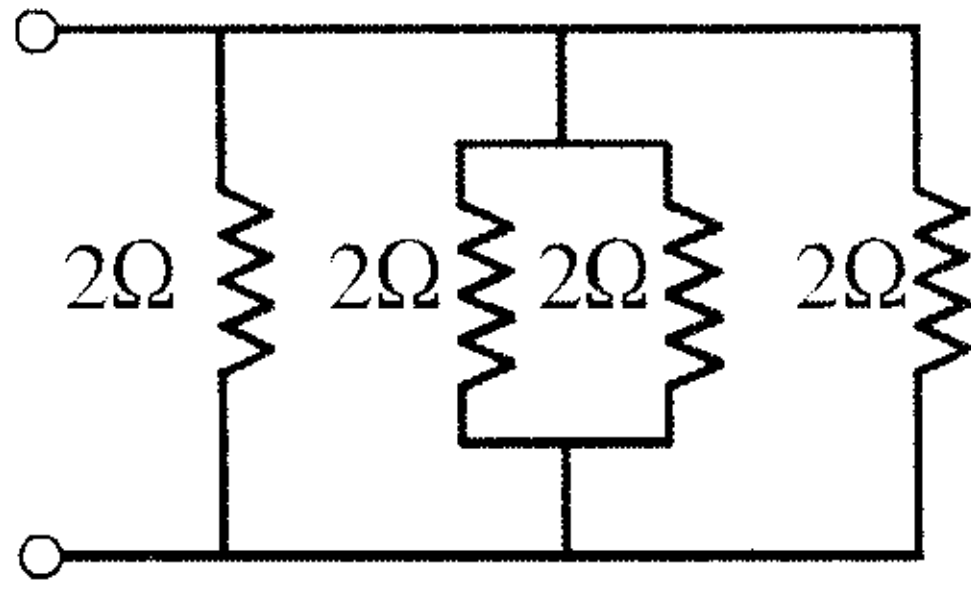
مثال 4.3 أحسب قيمة المقاومة الكلية للدائرة التالية:



الحل :

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

مثال 5.3 أحسب قيمة المقاومة الكلية للدائرة في الشكل التالي:



الحل :

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

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 :

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

مثال 6.3 أوجد المقاومة الكلية للدائرة في الشكل التالي:

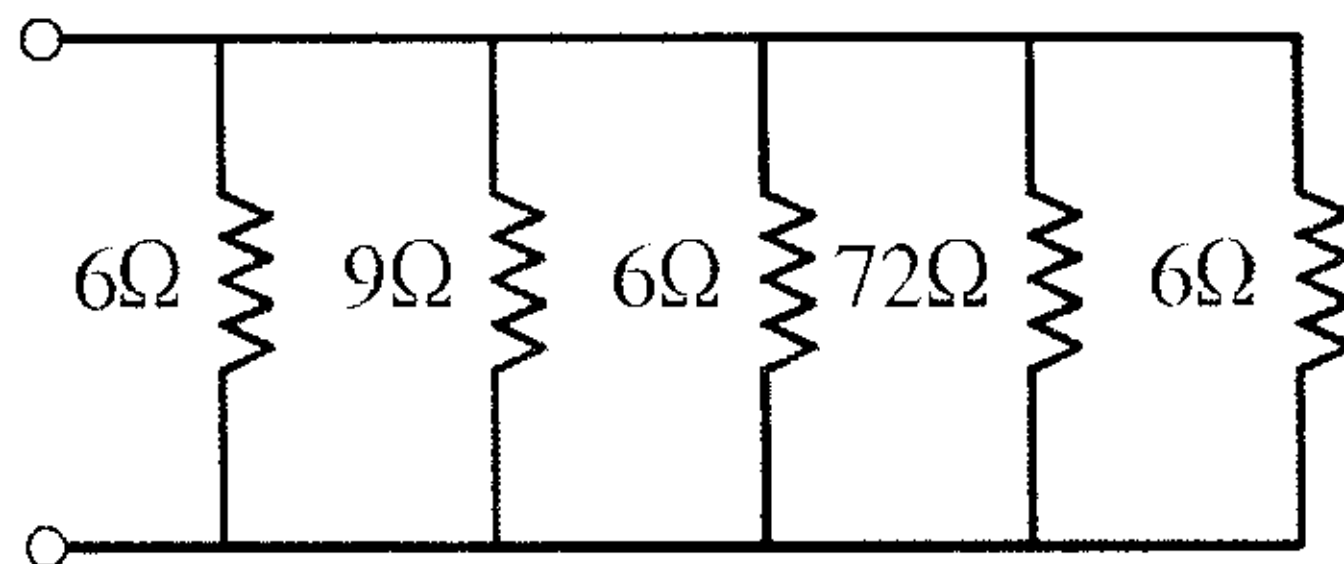
الحل:

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

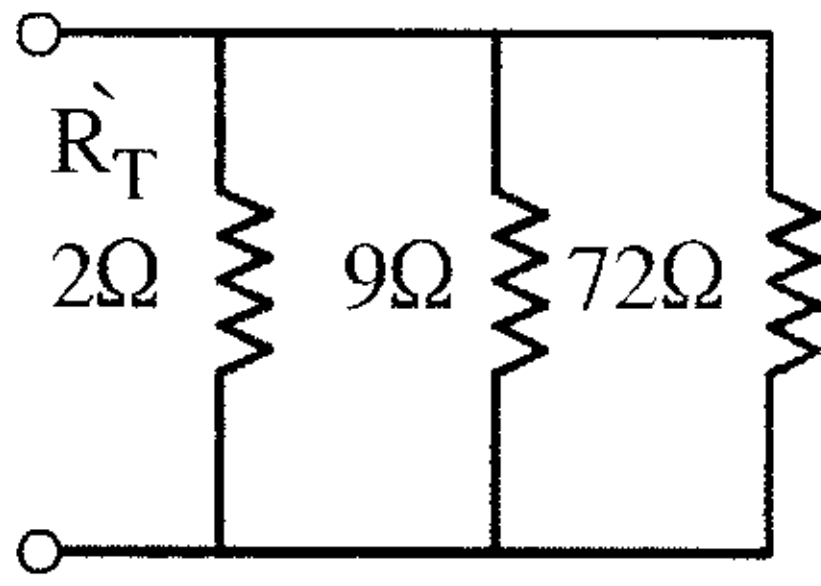
$$R_T = \frac{40}{8 + 10 + 20} = \frac{40}{38}$$

$$R_T = 1.053\Omega$$

مثال 7.3 أوجد المقاومة الكلية للدائرة في الشكل التالي:



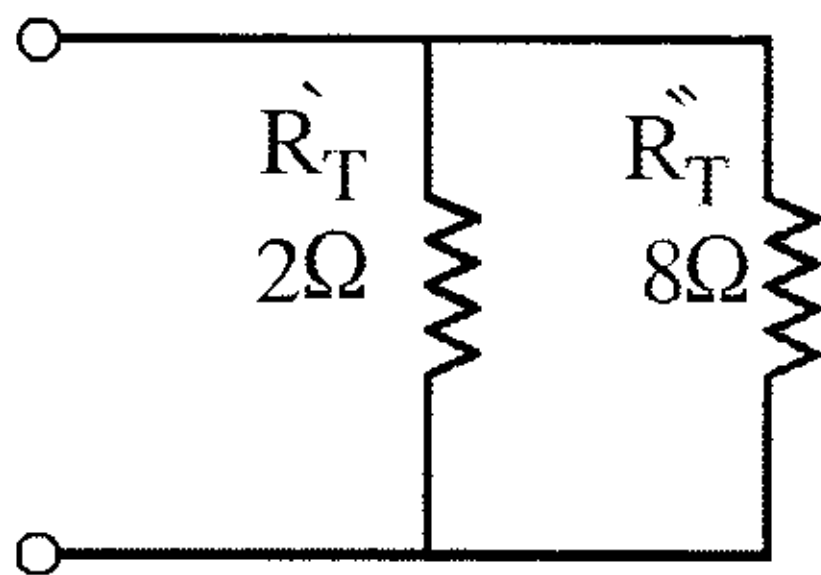
الحل :



نأخذ محصلة المقاومات المتشابهة (6Ω)

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

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

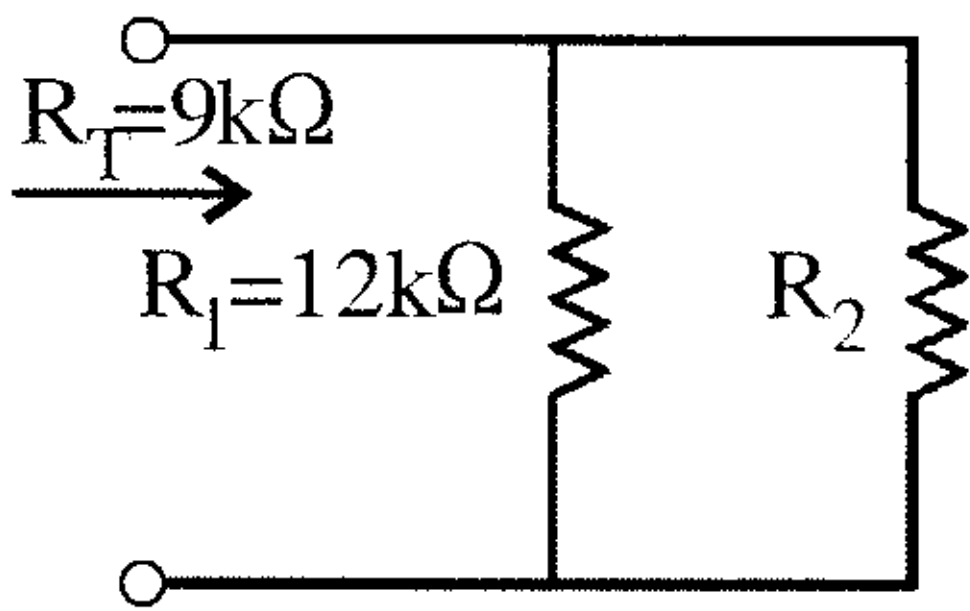


$$R_T'' = 8\Omega$$

لتكون محصلة المقاومة الكلية

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

مثال 8.3 أوجد قيمة المقاومة المجهولة (R_2) في الدائرة التالية:



الحل :

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

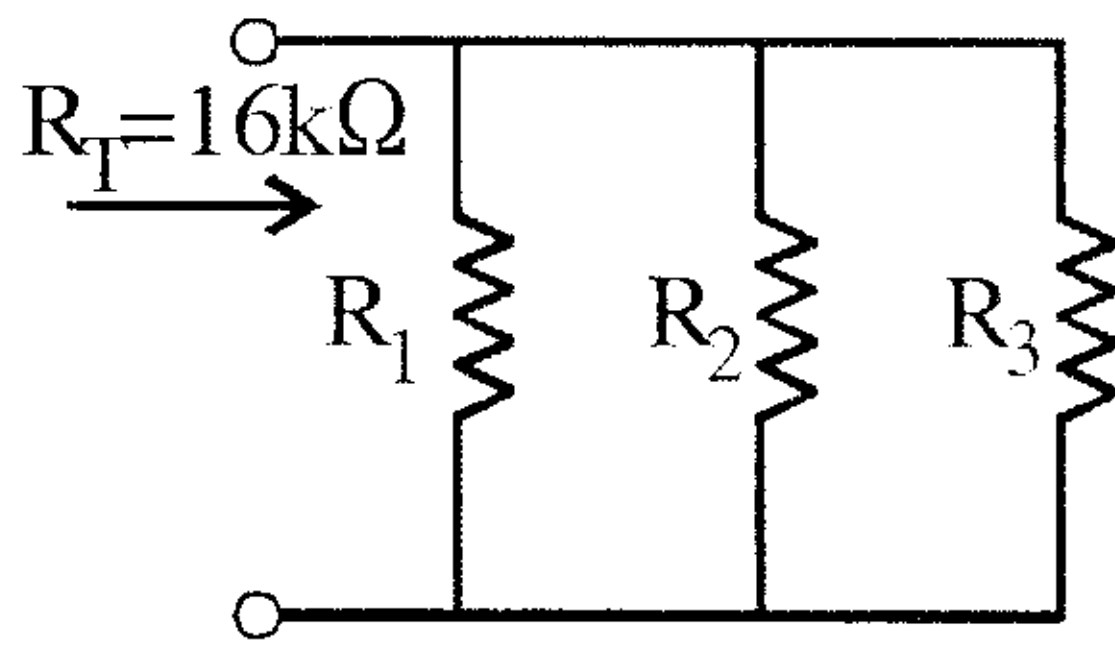
$$R_T R_1 + R_T R_2 = R_1 R_2$$

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

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

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

مثال 9.3 أوجد قيم المقاومات R_1 , R_2 , R_3 في الدائرة التالية:



إذا علمت أن

$$R_2 = 2R_1$$

$$R_3 = 2R_2$$

$$R_T = 16k\Omega$$

الحل:

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

$$R_2 = 2R_1$$

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

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

$$4R_1 = 7R_T$$

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

$$R_1 = 28k\Omega$$

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

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

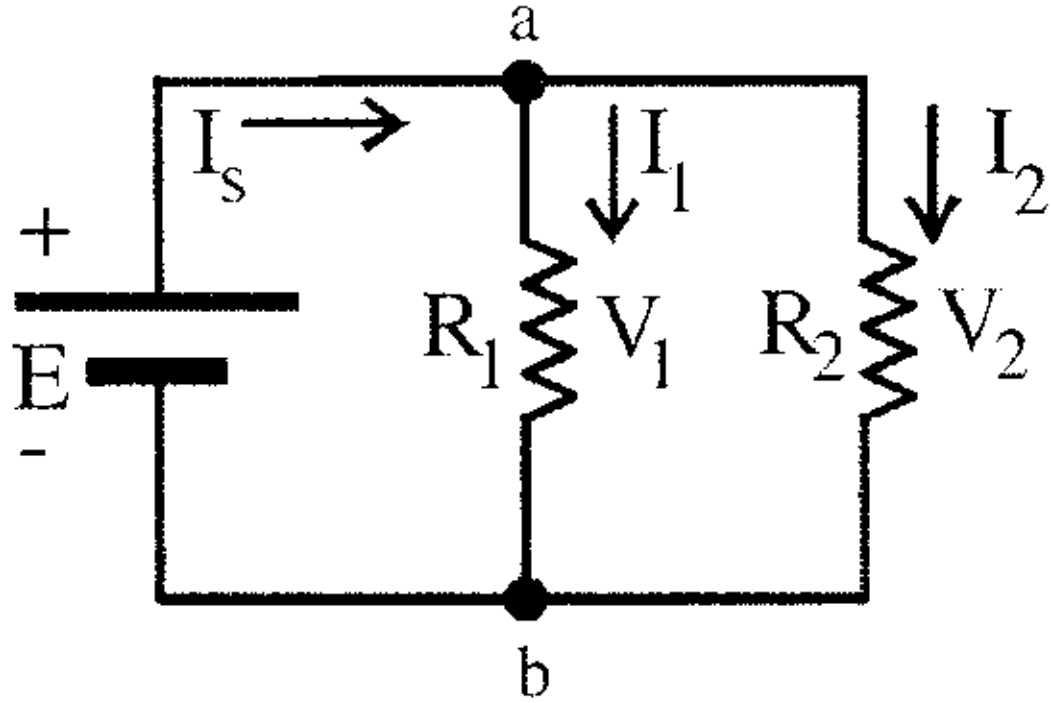
التحقيق :

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

$$R_T = 16k\Omega$$

3.3 دوائر التوصيل على التوازي

الشكل التالي يمثل دائرة توازي 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:

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{E}{R_2}$$

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{E}{R_1}$$

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:

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

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

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

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

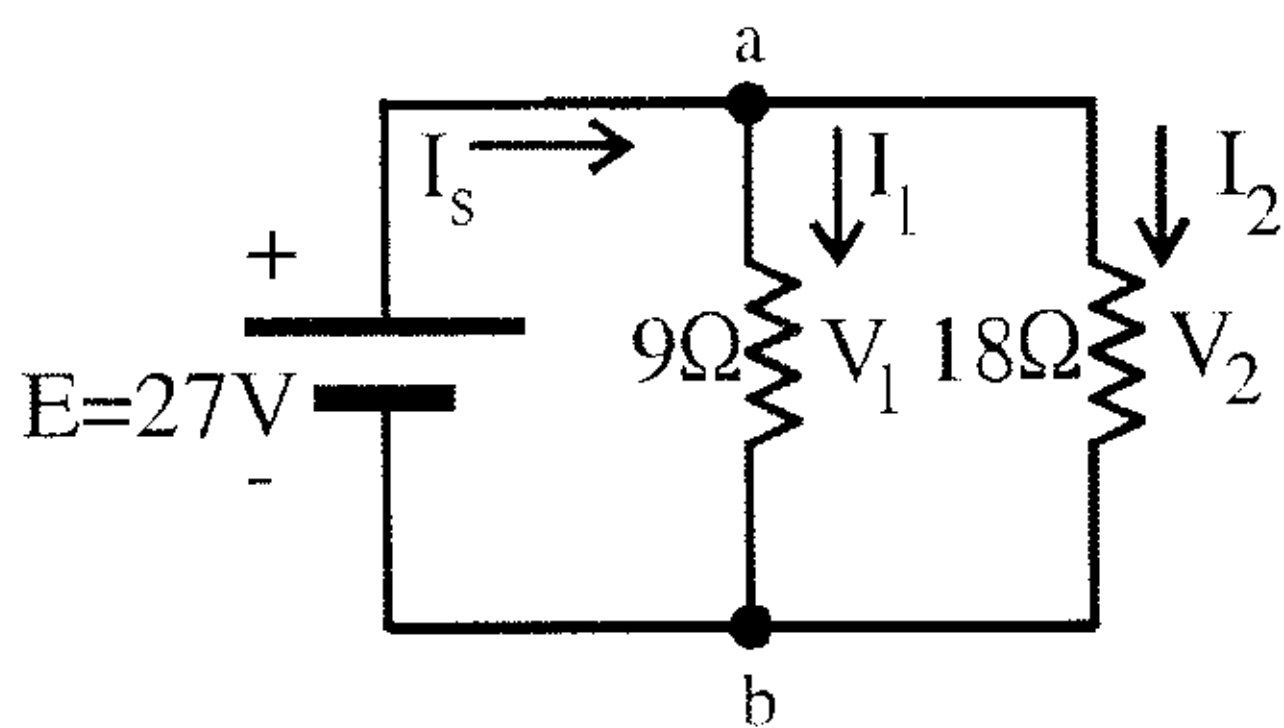
القدرة المستهلكة في المقاومة الثانية

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

وبالتالي نحصل على:

$$P_S = P_1 + P_2$$

مثال 10.3 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_2, P_1, P_S

قارن بين القدرة المولدة والمستهلكة.

الحل :

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-

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

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

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-

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

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

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

-5

$$P_S = P_1 + P_2$$

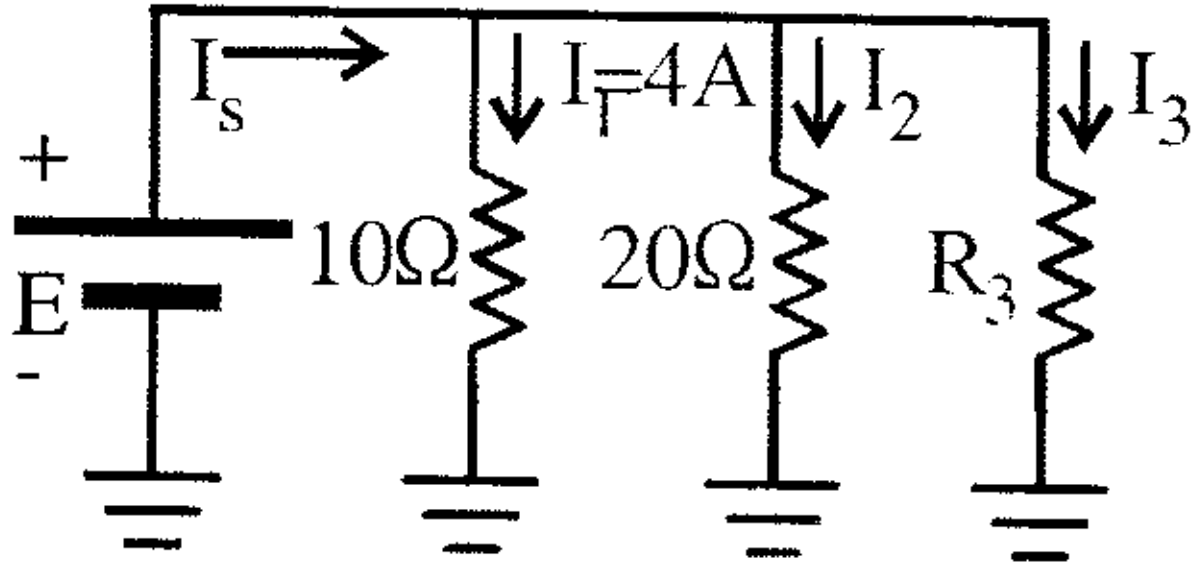
$$121.5 W = 81 W + 40.5 W$$

إثبات

$$121.5 W = 121.5 W$$

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

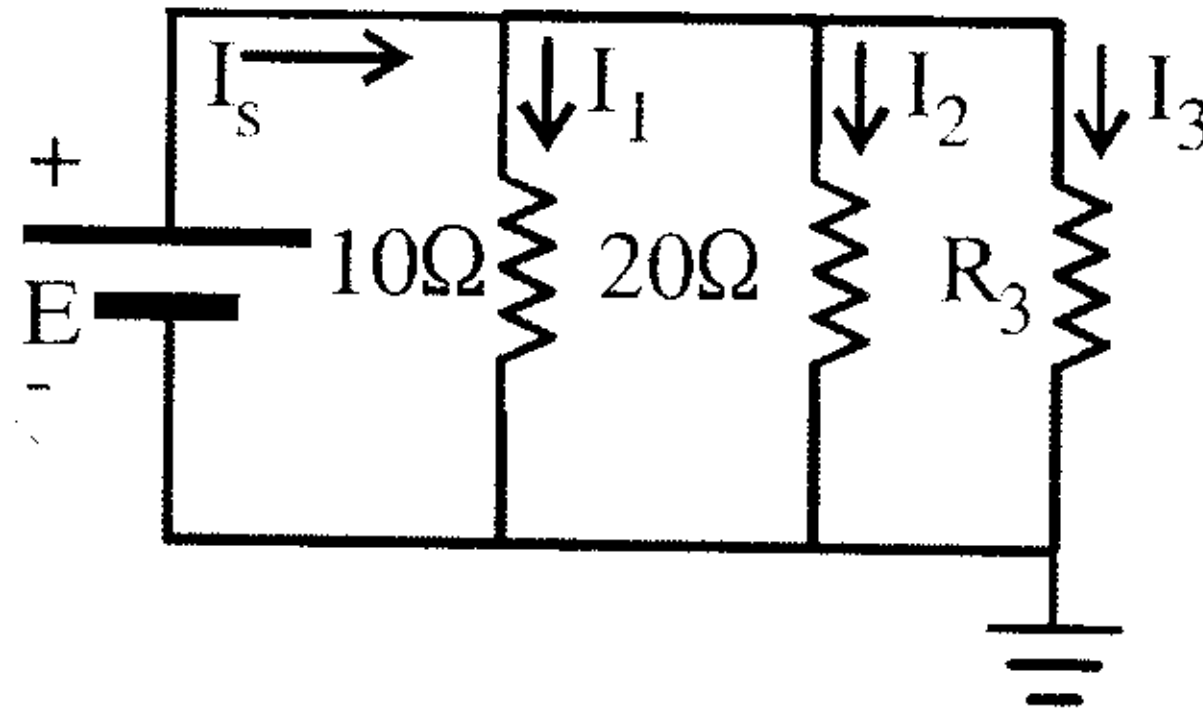
إذا علمت أن $(R_T = 4\Omega)$.



الحل :

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

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



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

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

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

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

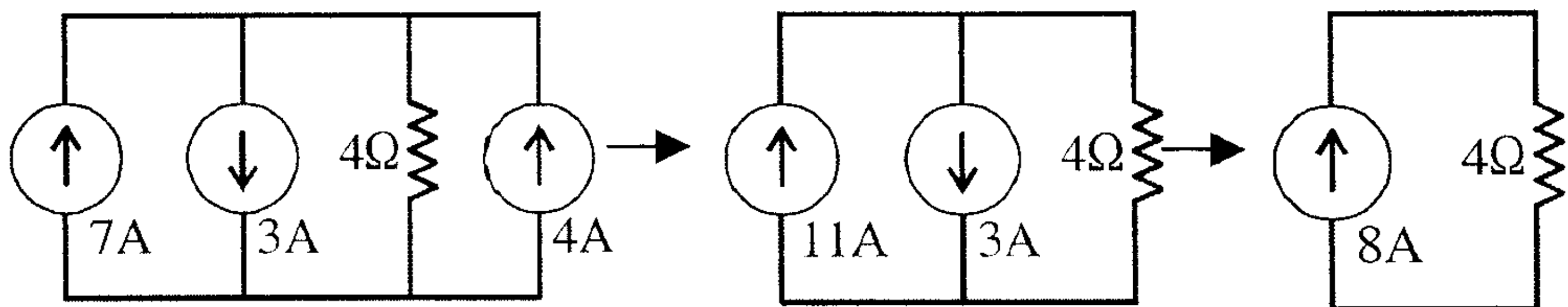
$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{40V}{20\Omega} = 2A$$

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

4.3 توصيل مصادر التيار على التوازي وتحويل المصادر

المصادر بنفس الاتجاه تجمع والمصادر مختلفة الاتجاه تطرح ونأخذ إشارة الأكبر

مثال 12.3

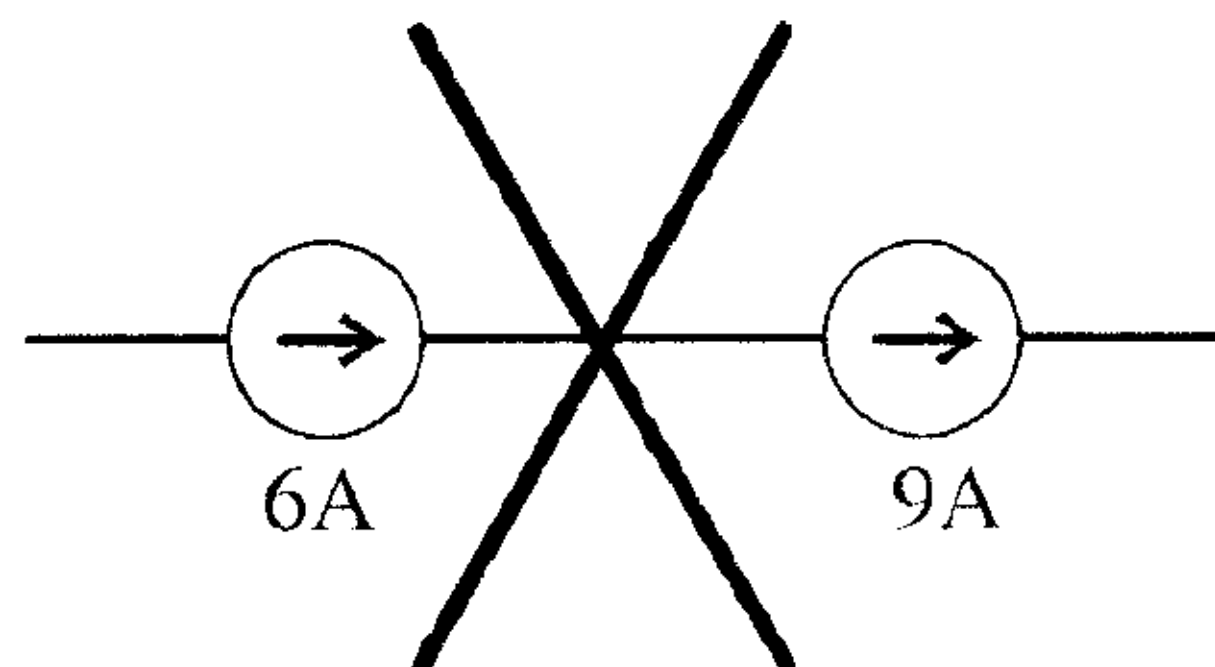


لهذا فإن التيار الكلي للدائرة

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

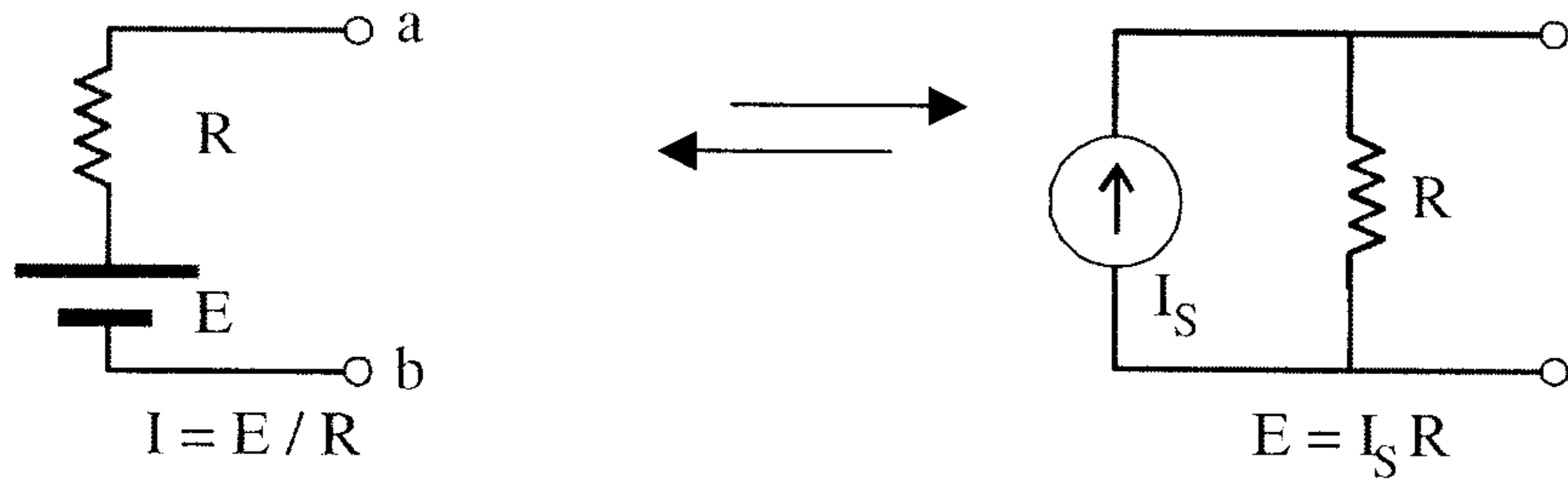
ملاحظة هامة جداً:

مصادر التيار ذات القيم المختلفة لايجوز توصيلها على التوازي

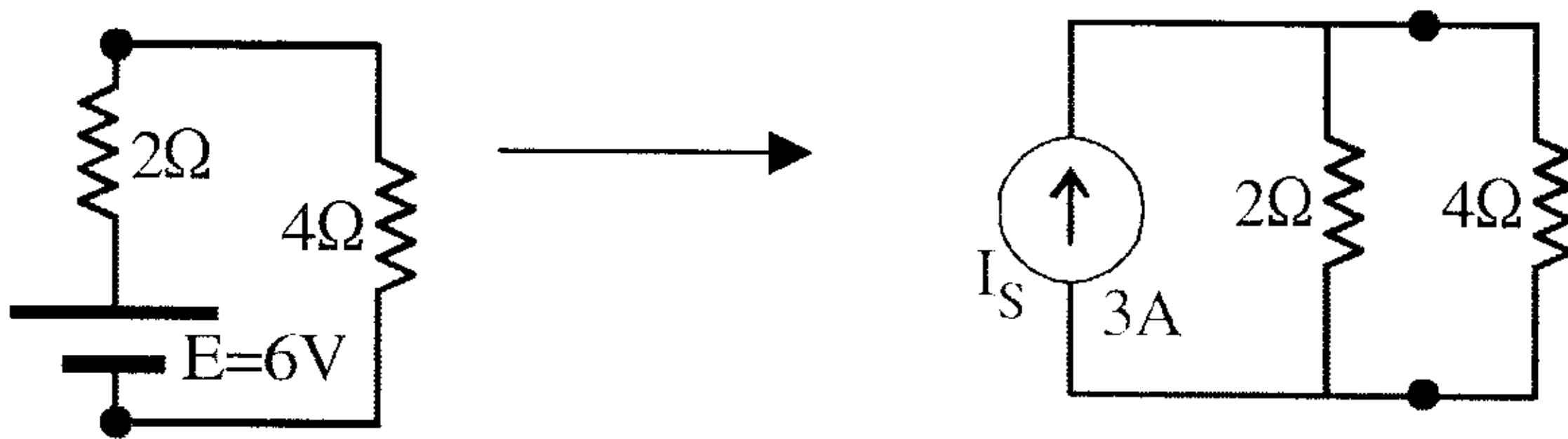


تحويل المصادر: يمكن تحويل مصادر التيار الى مصادر جهد والعكس صحيح وفق الشروط التالية:

- 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 التوالي.



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



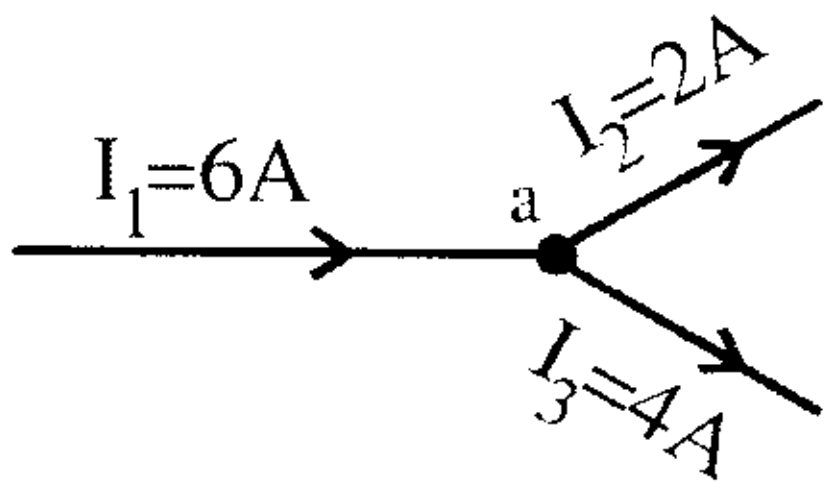
$$I_s = \frac{E}{R_1} = \frac{6}{2} = 3A$$

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

"المجموع الجبري للتيارات الداخلة إلى العقدة (نقطة التقاطع) يساوي المجموع الجبري للتيارات الخارجة منها"
ونقطة التقاطع هي نقطة تفرع التيار

$$\sum I_{entering} = \sum I_{leaving}$$

$$\sum I_{داخلة} = \sum I_{خارجة}$$



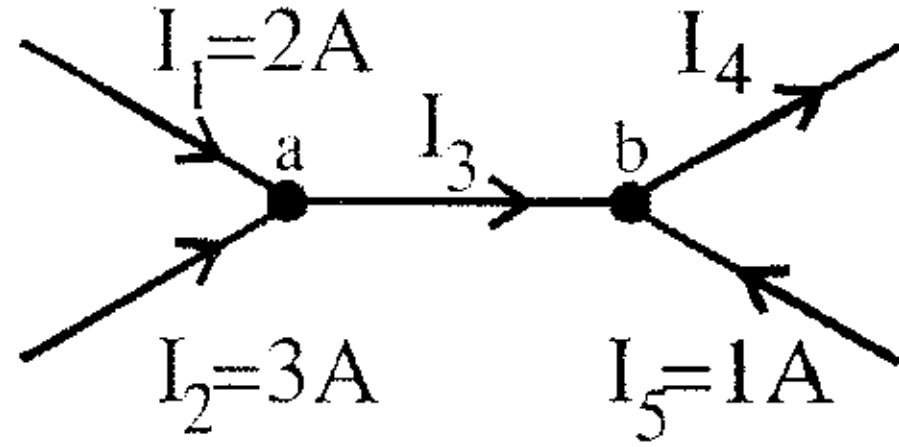
في الشكل التالي نلاحظ التيارات الخارجة من والداخلة إلى العقدة (a) .

$$I_1 = I_2 + I_3$$

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

$$6A = 6A \quad (\text{إثبات})$$

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



الحل:

عند العقدة (a)

$$I_3 = I_1 + I_2$$

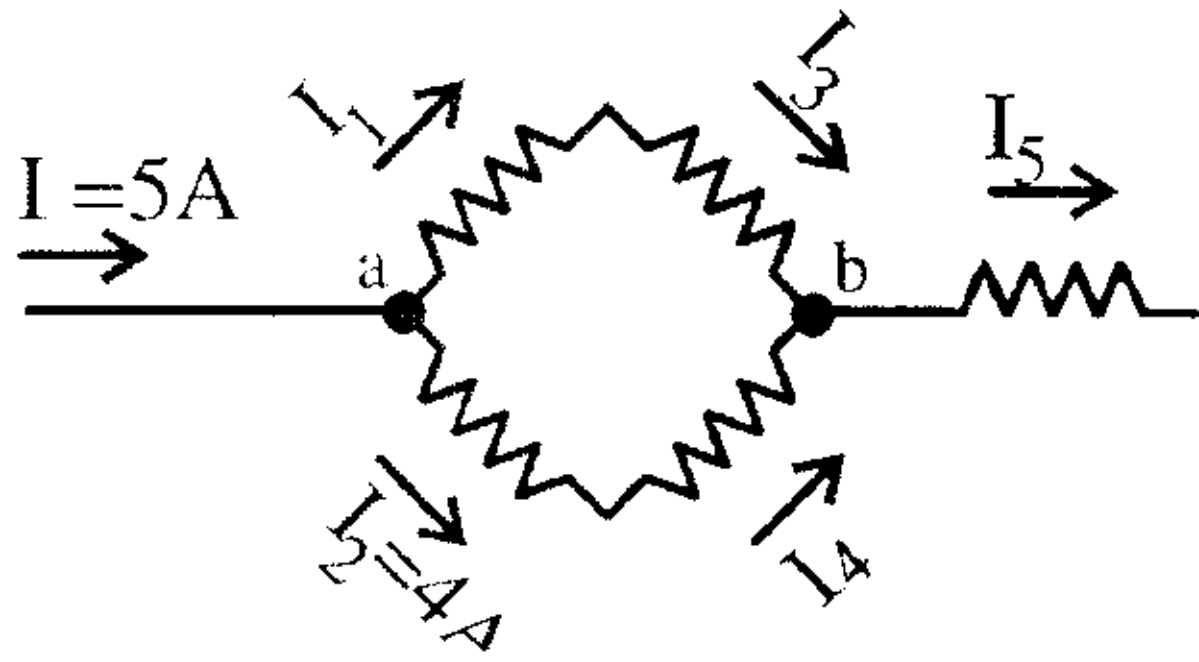
$$I_3 = 2A + 3A = 5A$$

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)

$$I = I_1 + I_2$$

$$5A = I_1 + 4A$$

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

عند العقدة (b)

$$I_3 + I_4 = I_5$$

باعتبار أن التيار I_1 لا يتجزأ ويساوي التيار I_3

$$I_3 = I_1 = 1A$$

∴

وكذلك الحال بالنسبة للتيار $I_4 = I_2$

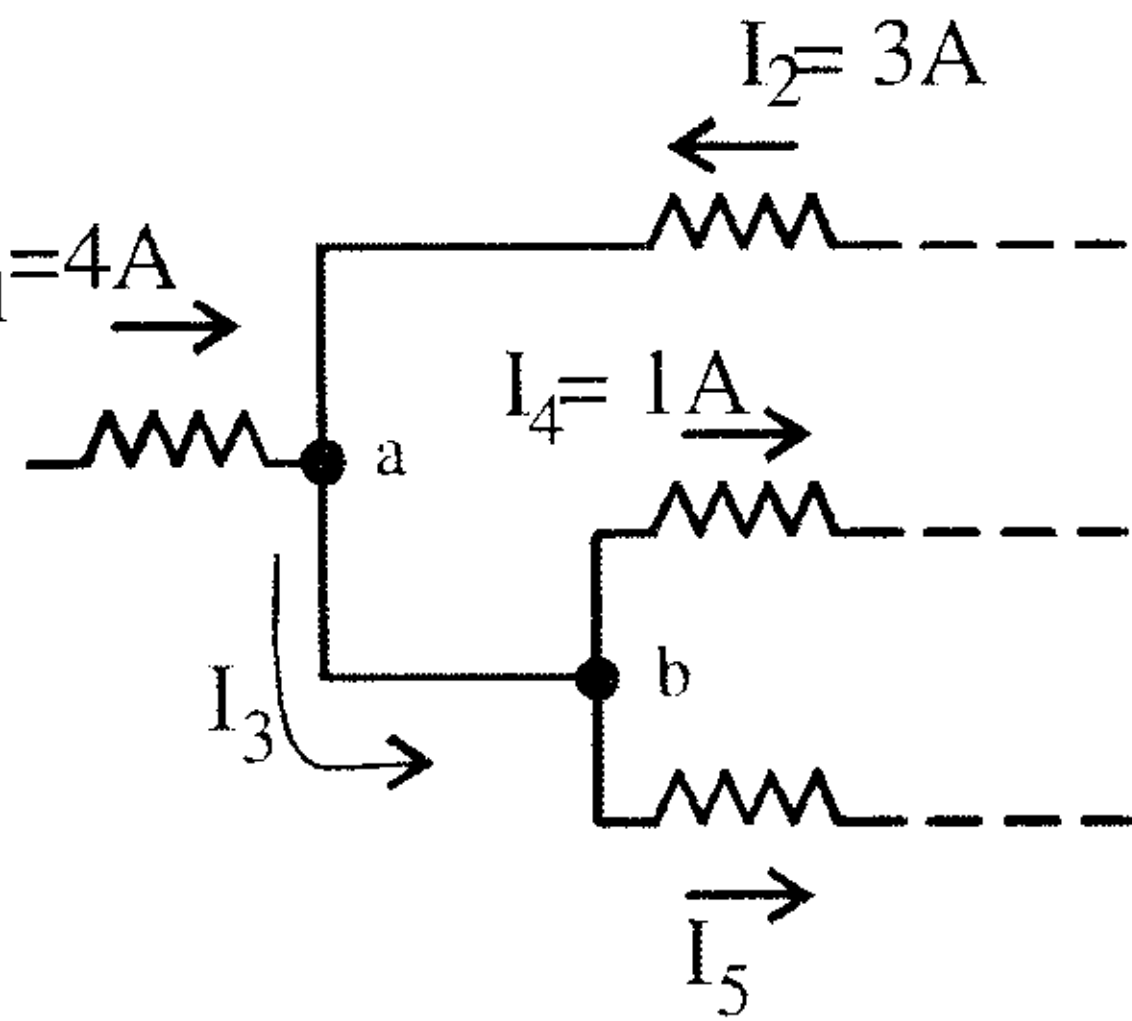
$$I_4 = I_2 = 4A$$

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

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

مثال 16.3 من الدائرة بالشكل التالي أوجد: I_3 و I_5 باستخدام (KCL).

الحل:



من العقدة (a) نستخدم (KCL)

$$I_3 = I_1 + I_2$$

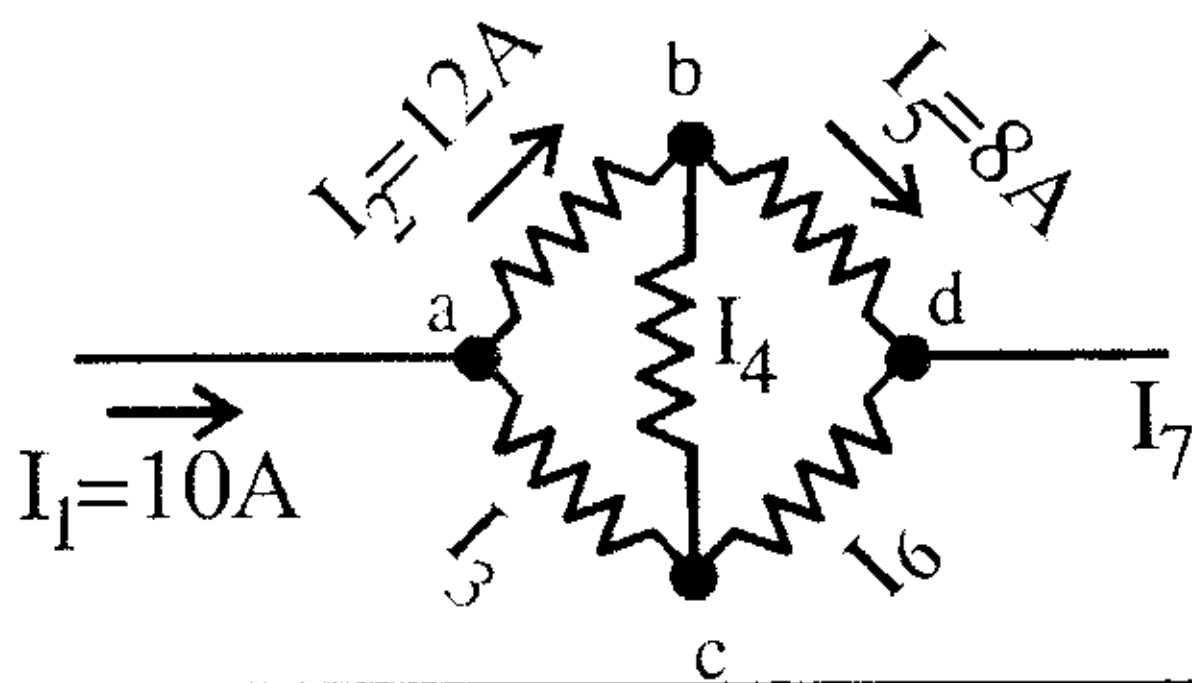
$$I_3 = 4A + 3A = 7A$$

من العقدة (b) نستخدم (KCL)

$$I_3 = I_4 + I_5$$

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

مثال 17.3 أوجد مقدار واتجاه التيارات: I_3 , I_4 , I_6 , I_7 باستخدام (KCL)



الحل:

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)

$$I_2 = I_1 + I_3$$

$$12A = 10A + I_3$$

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

من العقدة (b)

$$I_2 = I_4 + I_5$$

$$12A = I_4 + 8A$$

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

من العقدة (c)

$$I_4 = I_3 + I_6$$

$$4A = 2A + I_6$$

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

من العقدة (d)

$$I_7 = I_5 + I_6$$

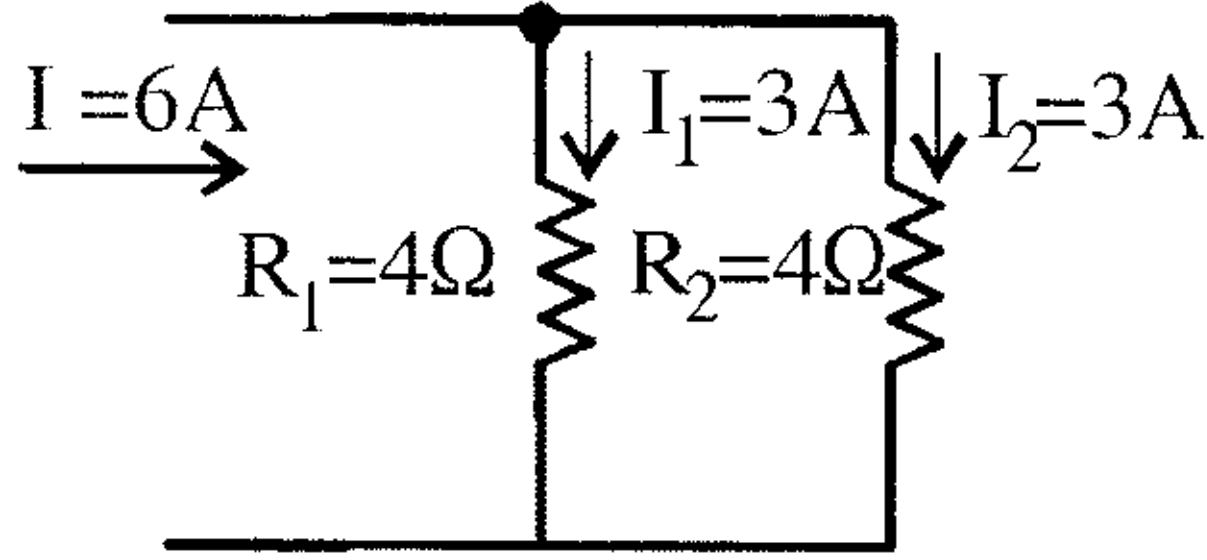
$$I_7 = 8A + 2A$$

$$\therefore I_7 = 10A \quad (I_7 \text{ خارج من العقدة (d)})$$

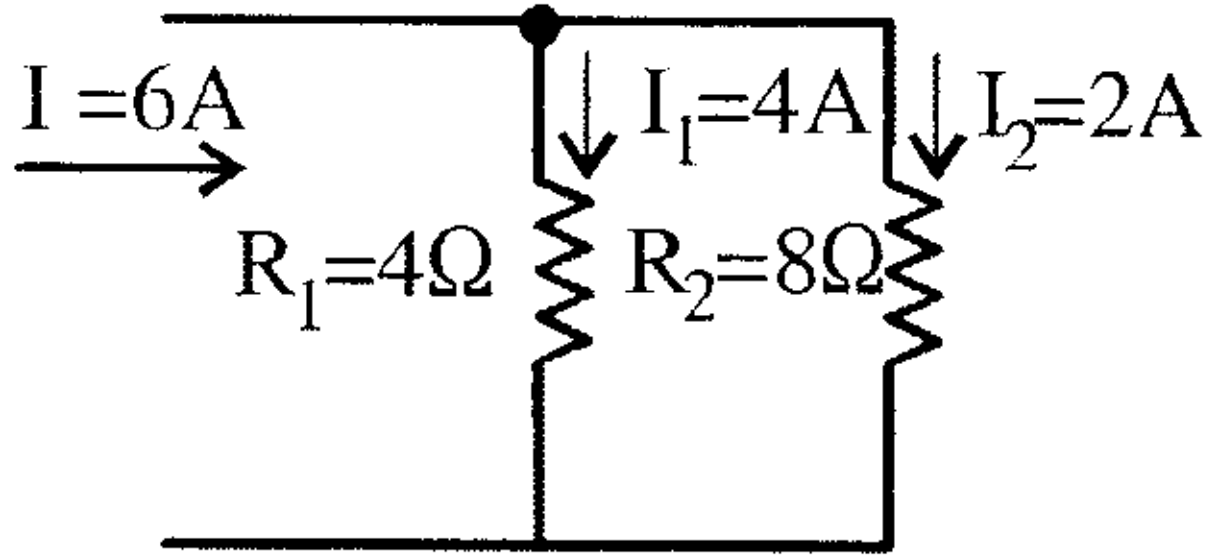
Current Divider Rule (CDR)

6.3 قانون مجزئ التيار

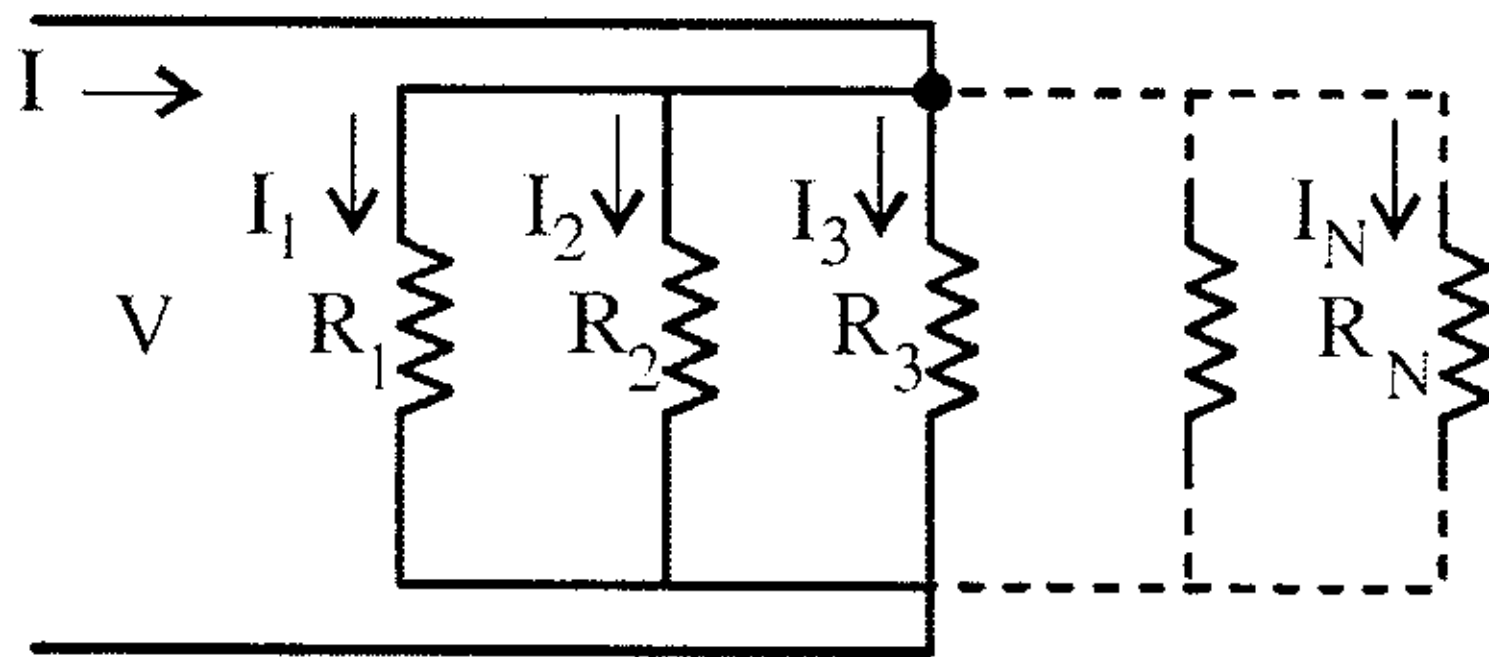
1- يتجزأ التيار المار في مقاومتين على التوازي، و تتجزأ قيمته بالتساوي على المقاومتين في حالة تساويهما في القيمة



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 $x = 1, 2, 3, \dots, N$

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

للتيار I_1 :

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

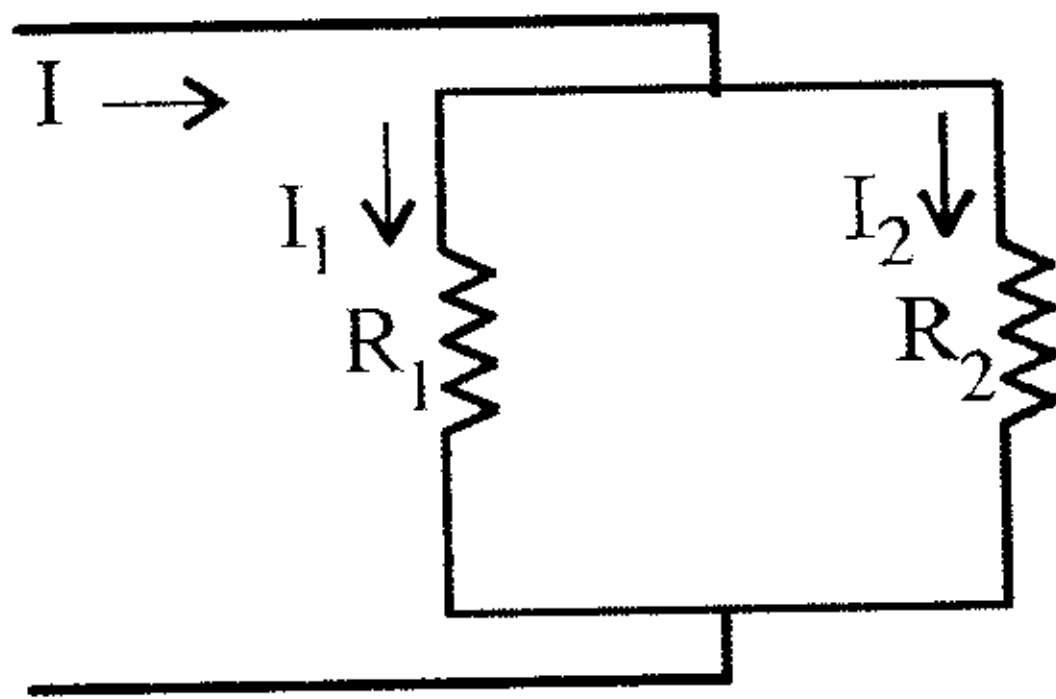
للتيار I_2 :

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

وهكذا إلى :

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

في حالة مقاومتين متصلتين على التوازي



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

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

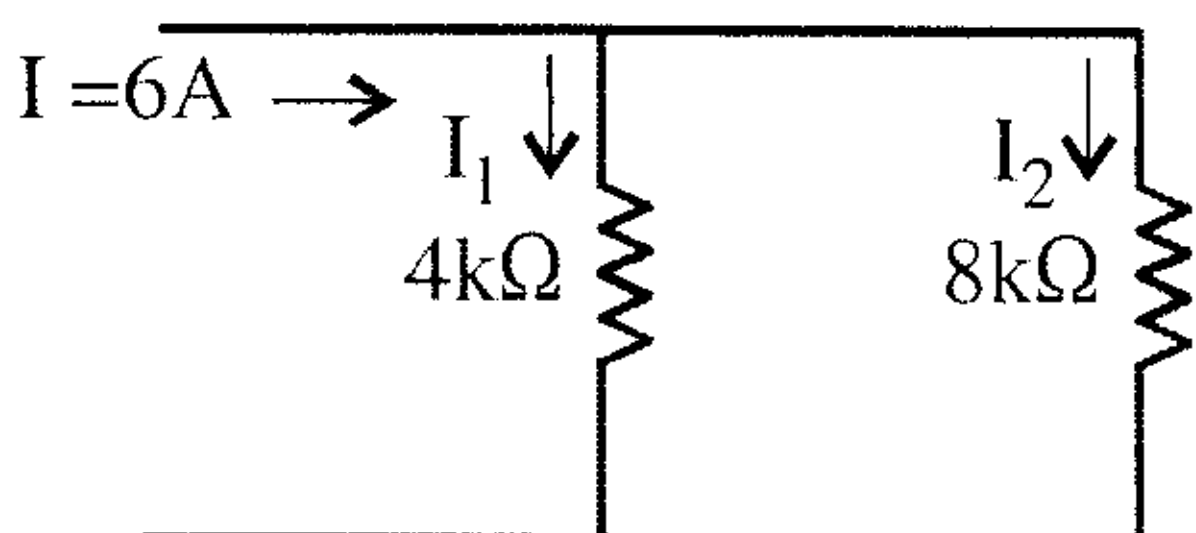
$$\therefore = \frac{[(R_1 R_2) / (R_1 + R_2)]}{R_1} I$$

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

وبنفس الكيفية تكون قيمة I_2

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

مثال 18.3 أوجد قيمة التيار I_2 للدائرة التالية باستخدام (CDR) :

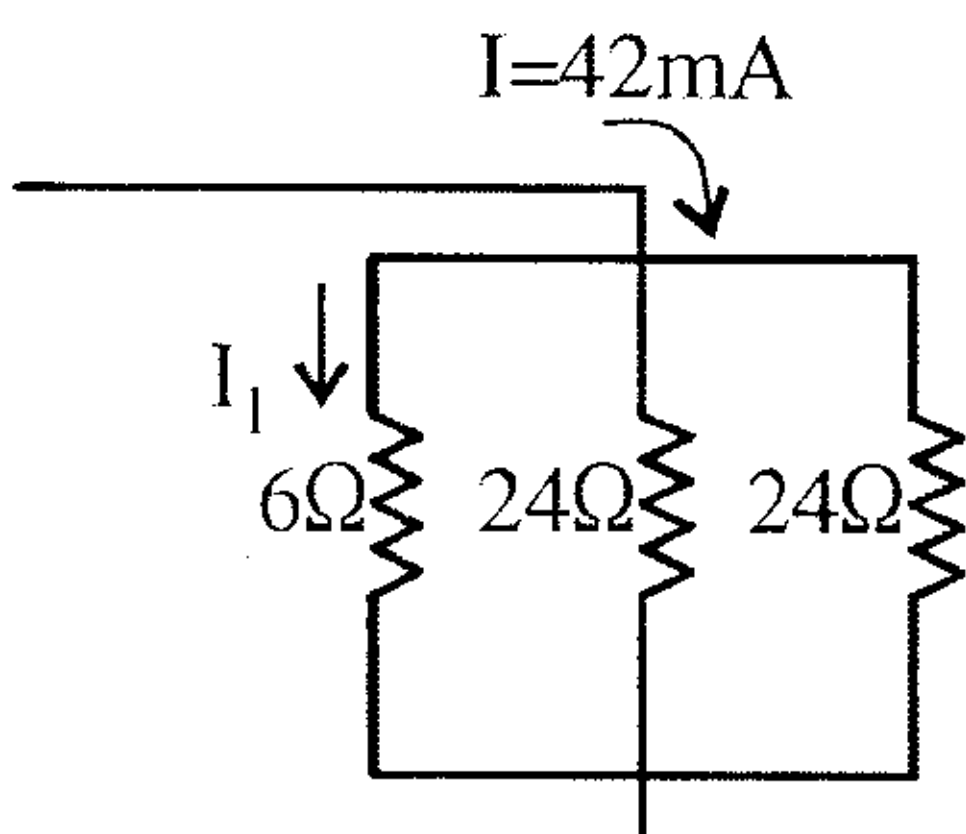


الحل:

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

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

مثال 19.3 أوجد قيمة التيار I_1 للدائرة بالشكل التالي :



الحل :

نحسب قيمة المقاومة الكلية

(ملاحظة: سنستخدم العلامة // للدلالة على التوازي)

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

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

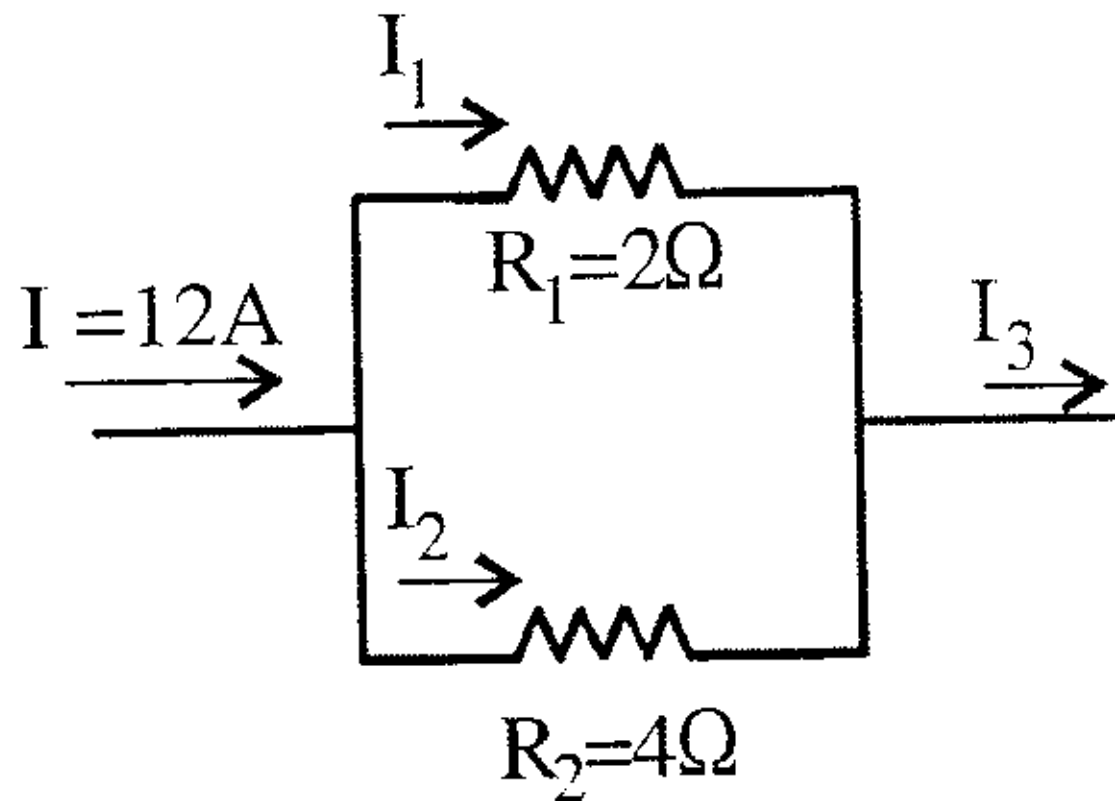
$$R_T = 4\Omega$$

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_3 , I_2 , I_1 :



الحل :

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 لكروشوف

$$I = I_1 + I_2$$

$$I_1 - I_2 = I$$

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

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 كروشوف للتيار فإن التيار الداخل إلى الدائرة يساوي التيار الخارج منها

$$I_3 = I = 12A$$

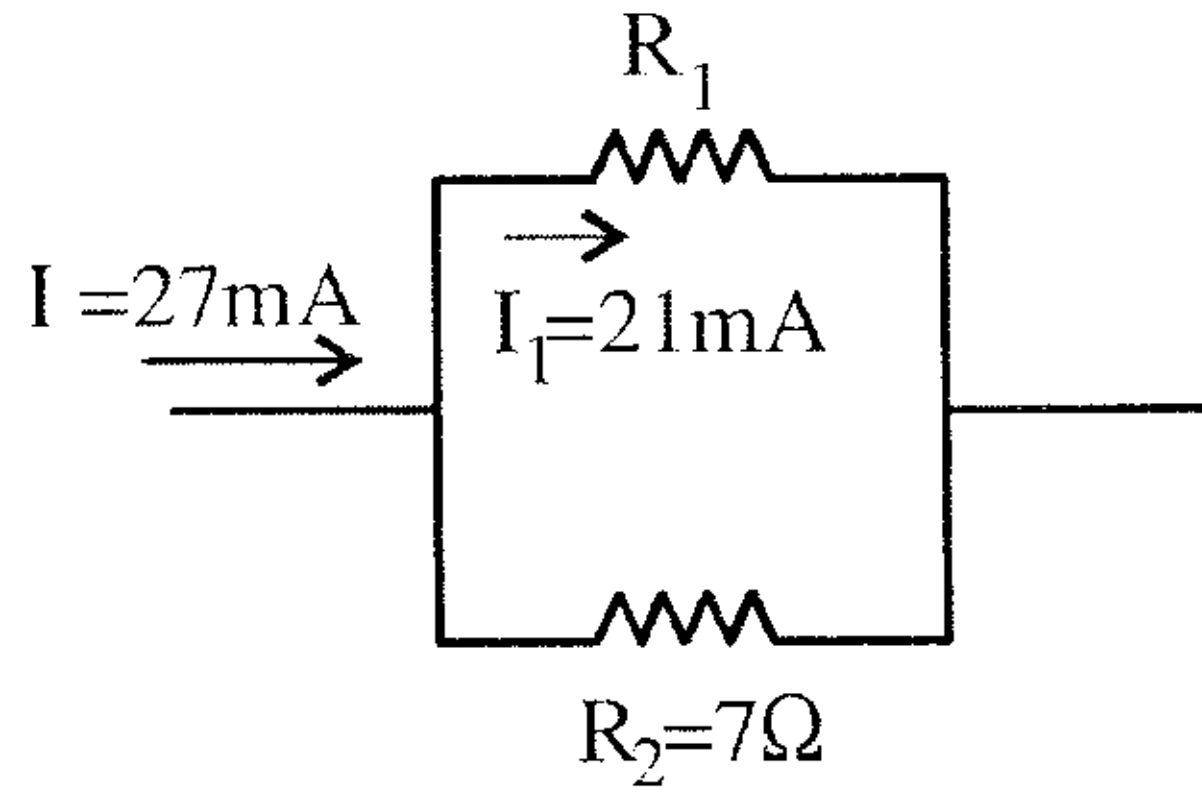
أو مجموع التيارات الداخلة يساوي التيارات الخارجة

$$I_3 = I_1 + I_2$$

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

مثال 21.3 أوجد قيمة المقاومة R_1 وذلك باستخدام قانون مجزئ التيار :

الحل:



باستخدام قانون (CDR)

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

بضرب الطرفين في الوسطين

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

$$R_1 I_1 + R_2 I_1 = R_2 I$$

$$R_2 I_1 - R_1 I_1 = R_2 I$$

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

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

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

Open and short Circuits

7.3 الدوائر المفتوحة والدوائر المغلقة

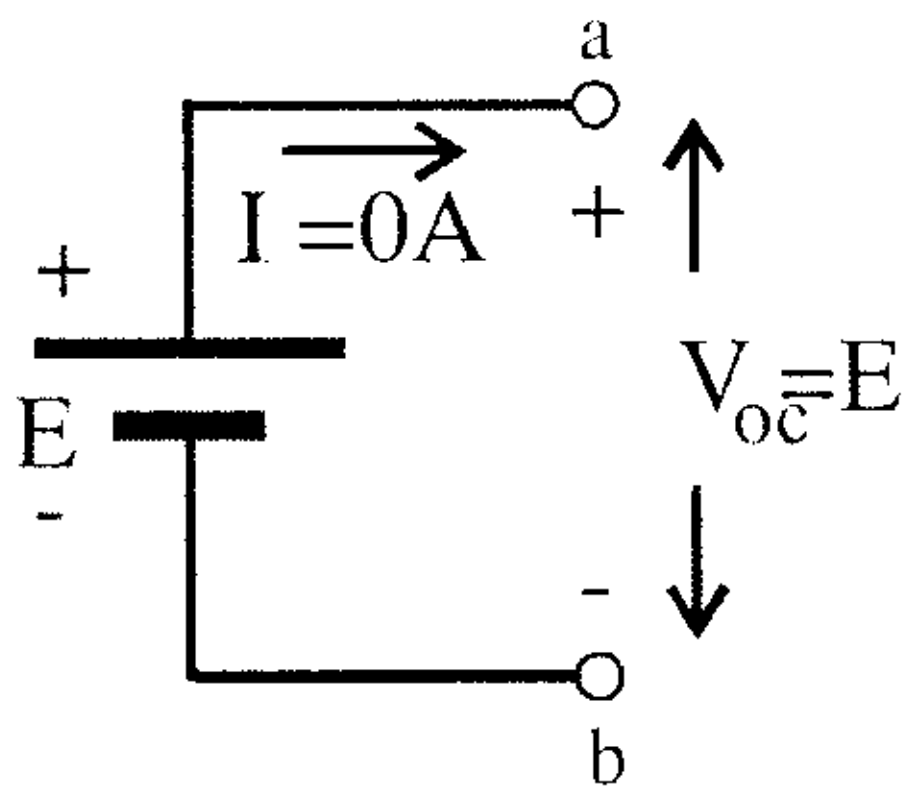
أولاً: الدائرة المفتوحة (Open Circuit)

من الرسم تسمى المسافة بين النقطتين a و b الدائرة

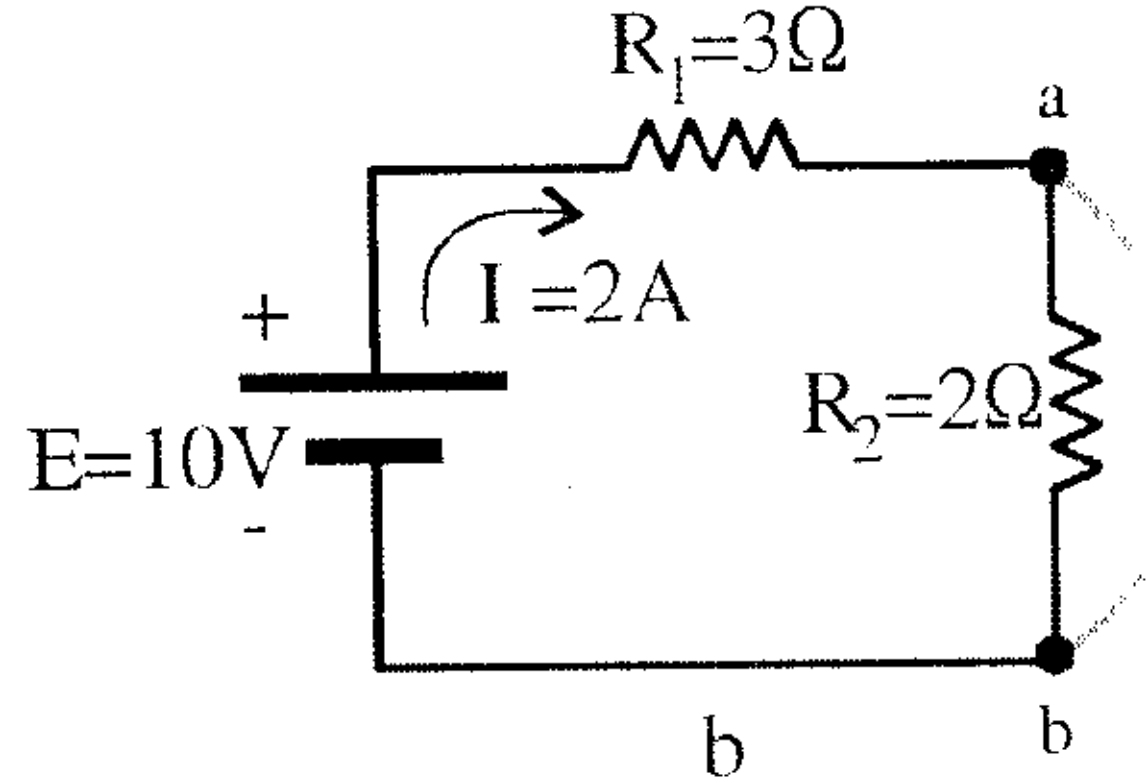
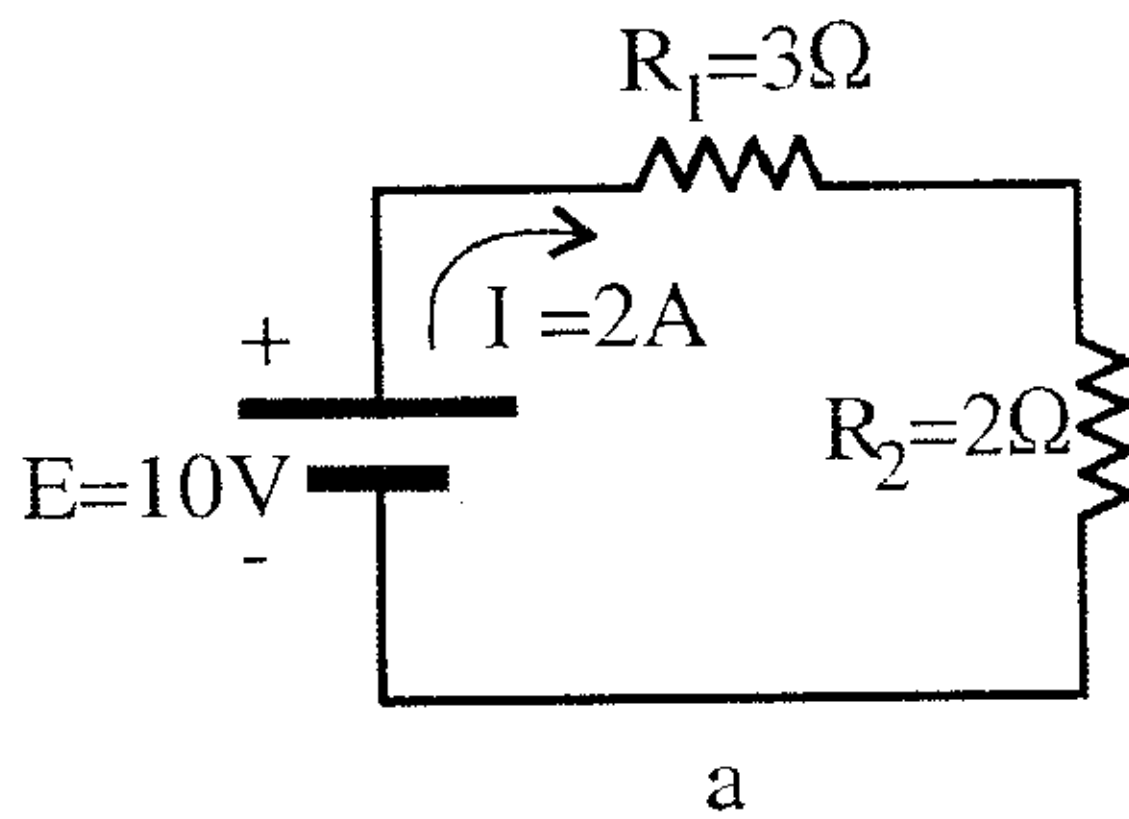
المفتوحة، فالدائرة المفتوحة لا يمر بها التيار

($I = 0$) وجهدها يساوى جهد المصدر بالتوازي

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

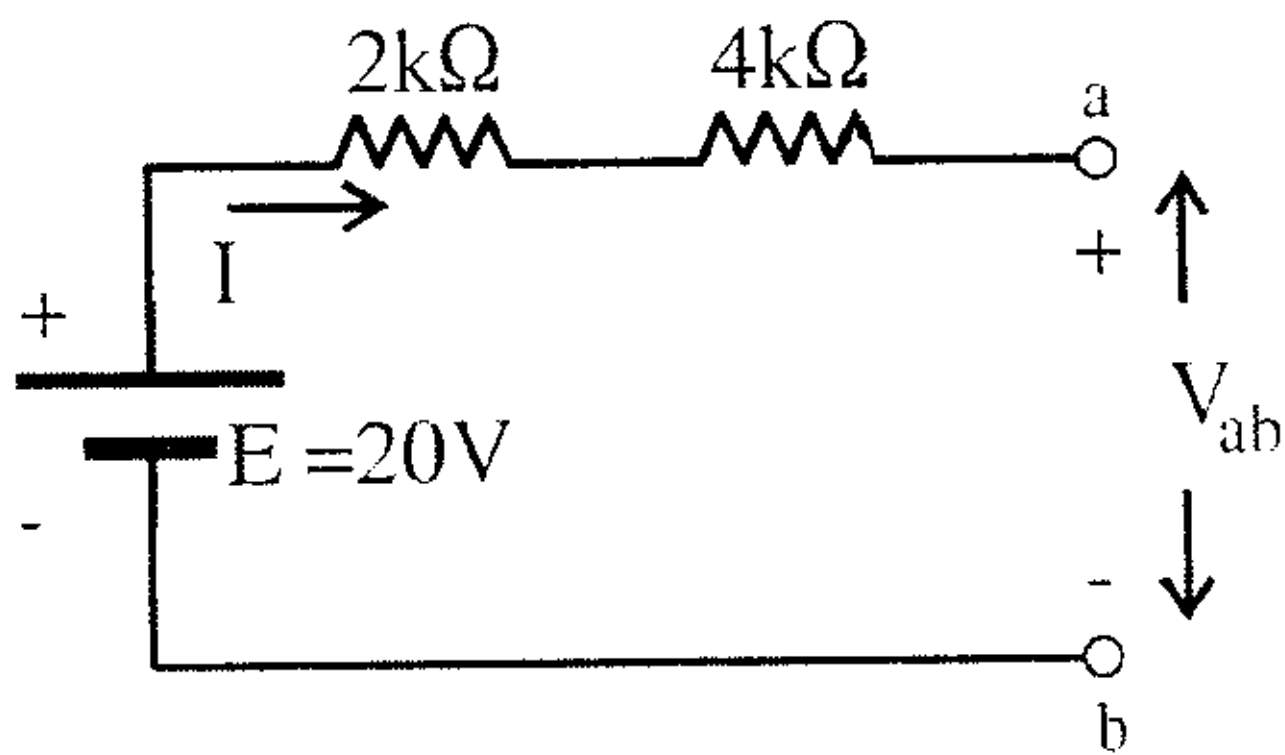


ثانيا : الدائرة المغلقة (Short Circuit)



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 a, b) ، أما مقاومة (Short circuit) فتساوى $(R_{sc} = 0)$.

مثال 22.3 أوجد قيمة الجهد V_{ab} من الدائرة في الشكل التالي:



الحل :

دائرة مفتوحة عند النقطتين a و b لذلك فإن

التيار لا يسرى فيها $I = 0 A$

من قانون أوم $V = R I$

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

وكذلك

$$V_2 = 0V$$

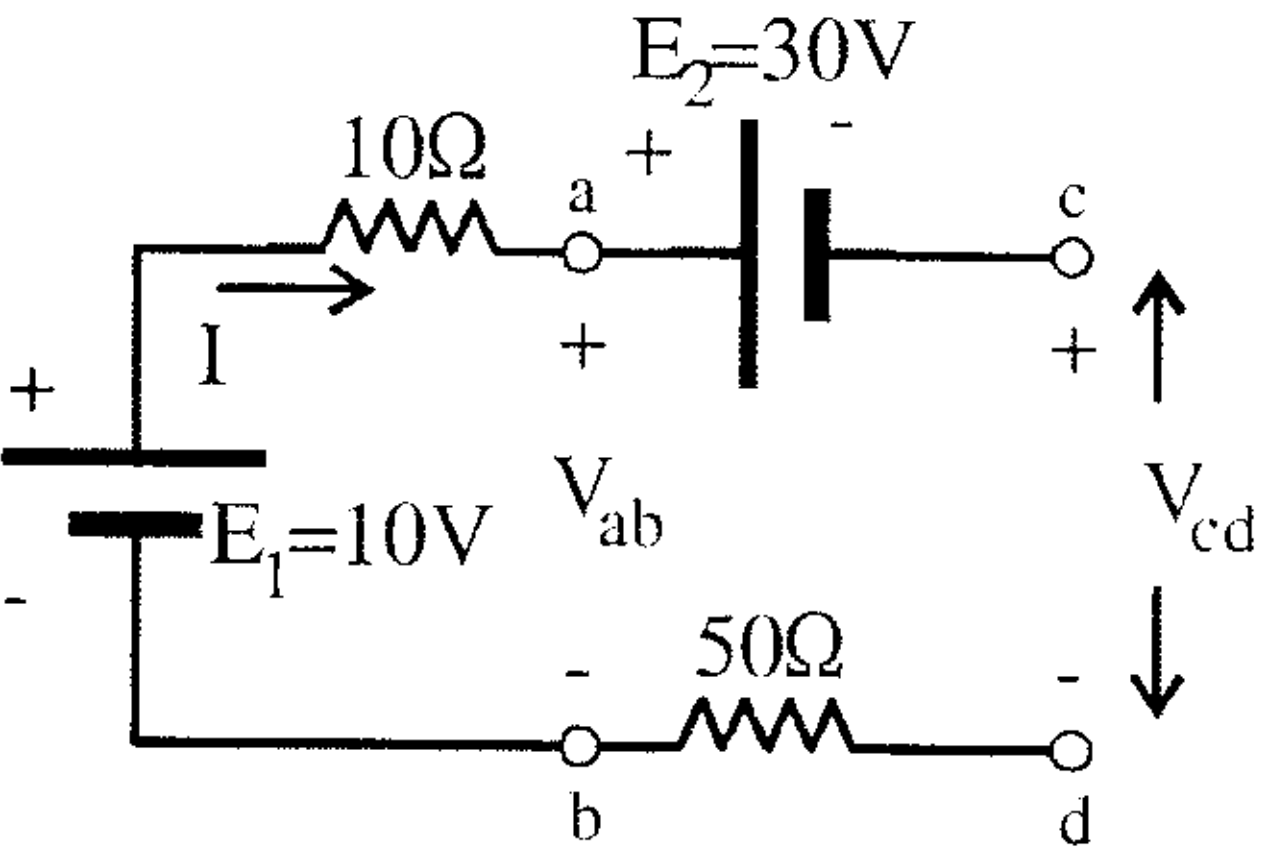
نطبق قانون كرشوف للجهد

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

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

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

مثال 23.3 من الدائرة بالشكل أوجد V_{ab} و V_{cd}



الحل:

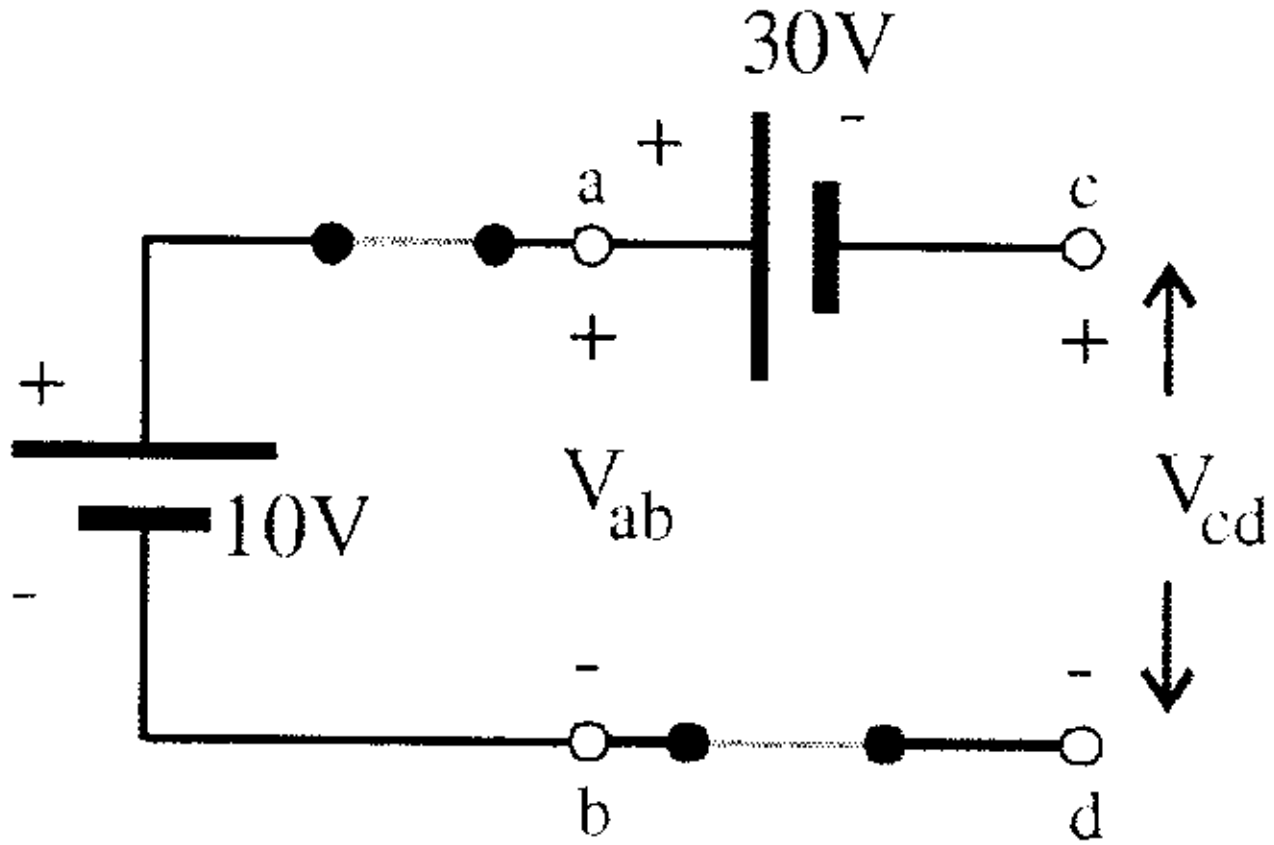
الدائرة مفتوحة عند c و d فالتيار لا يسري فيها

وبالتالي من قانون أوم $V = IR$

فإن جهد كل مقاومة يساوي صفراً لأن التيار يساوي

صفراً ، إذاً يمكن استبدال المقاومتين بسلك وهو ما يسمى (short circuit) كما في

الشكل التالي:



الجهد V_{ab} يساوي جهد المصدر E_1 بالتوازي

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

لإيجاد الجهد V_{cd} نستخدم قانون كرشوف

للجهد

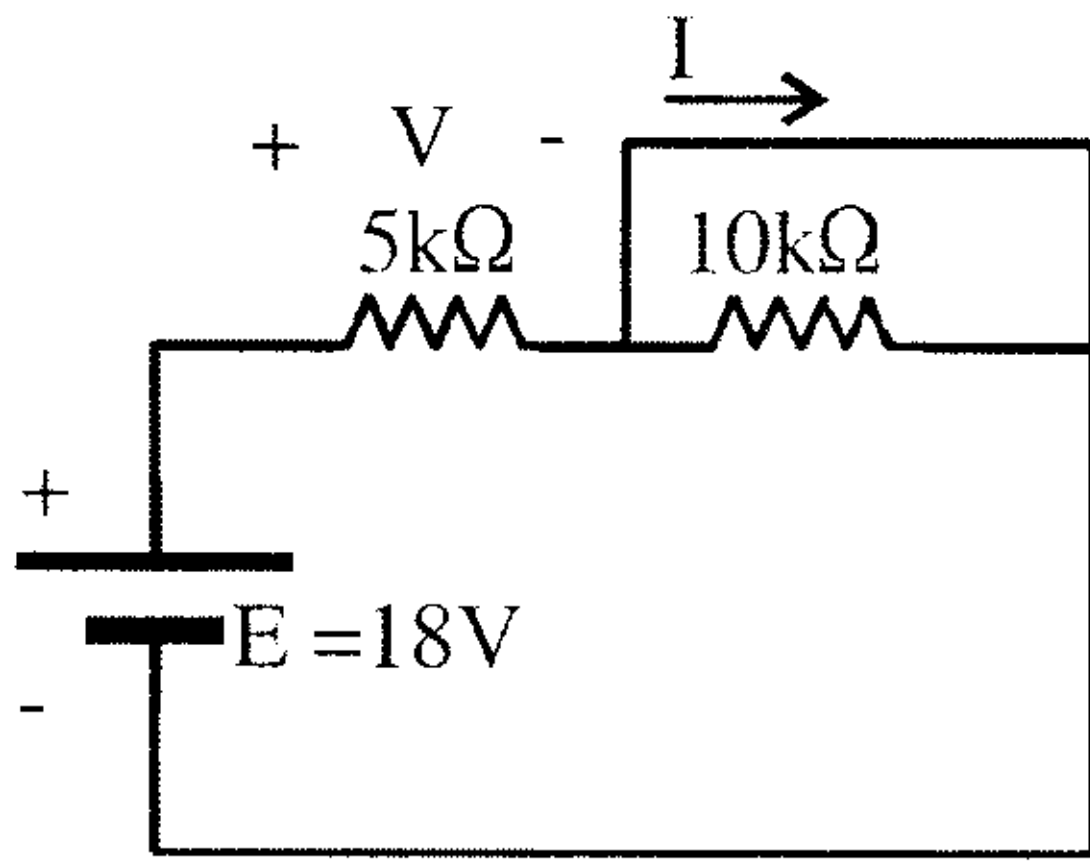
$$+ E_1 - E_2 - V_{cd} = 0$$

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

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

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

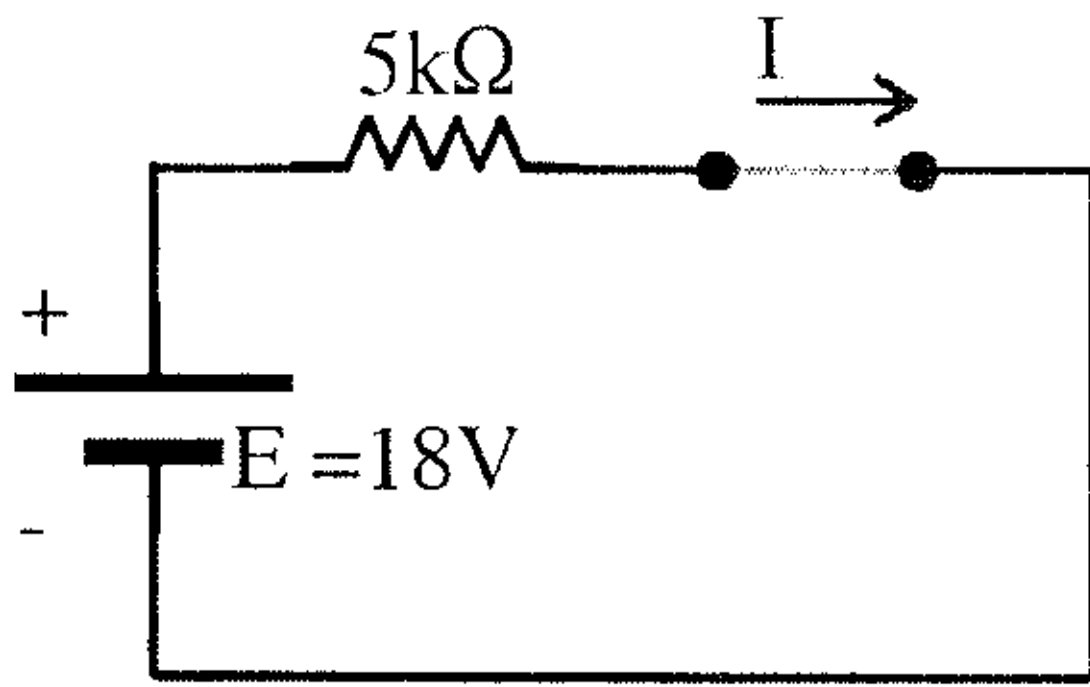
الإشارة (-) للجهد تعني أن الأقطاب الحقيقية معكوسة .



مثال 24.3 أوجد قيمة التيار (I) والجهد (V)
للدائرة التالية :

الحل:

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

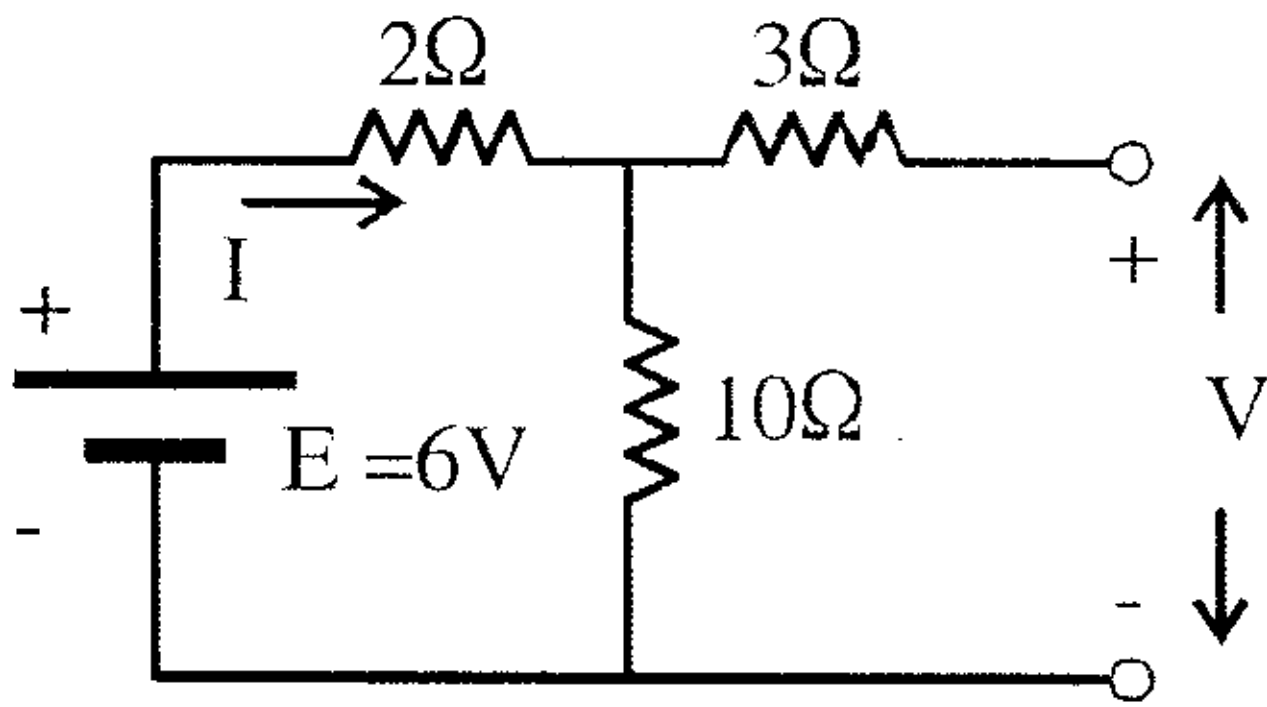


$$I = \frac{E}{R} = \frac{18V}{5k\Omega}$$

$$I = 3.6mA$$

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

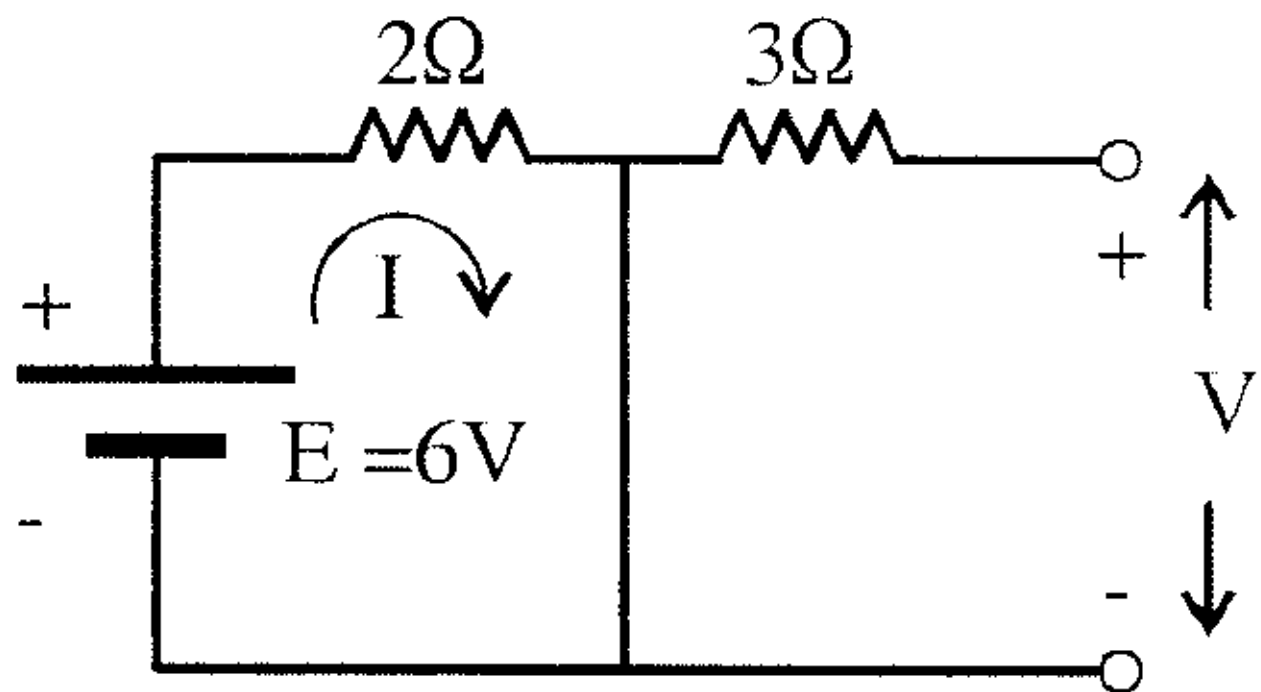
$$E = V = 18V$$



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

الحل :

عند استبدال المقاومة 10Ω بـ (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 جهدھا

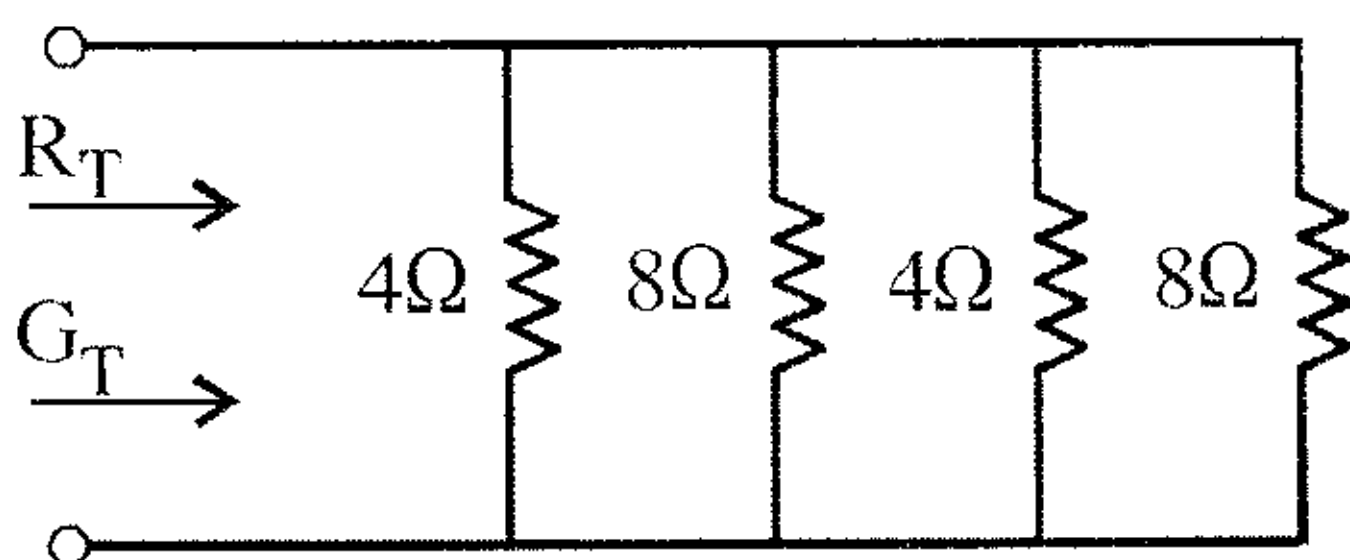
$$V_{sc} = (R_{sc}) (I) = (0) I = 0V$$

من قانون أوم

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

8.3 أمثلة متنوعة

(1) أوجد المقاومة الكلية R_T والمواصلة الكلية G_T .



الحل:

لإيجاد المقاومة الكلية

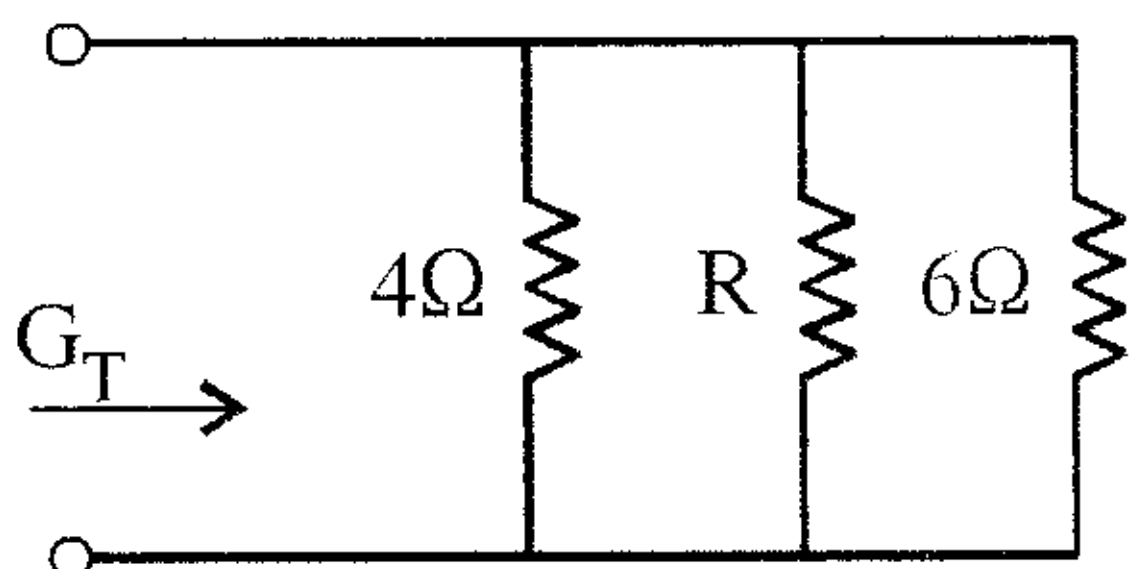
$$8\Omega // 8\Omega = 4\Omega$$

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

$$R_T = 1.33\Omega$$

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

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



الحل :

$$G_T = G_1 + G_2 + G_3$$

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

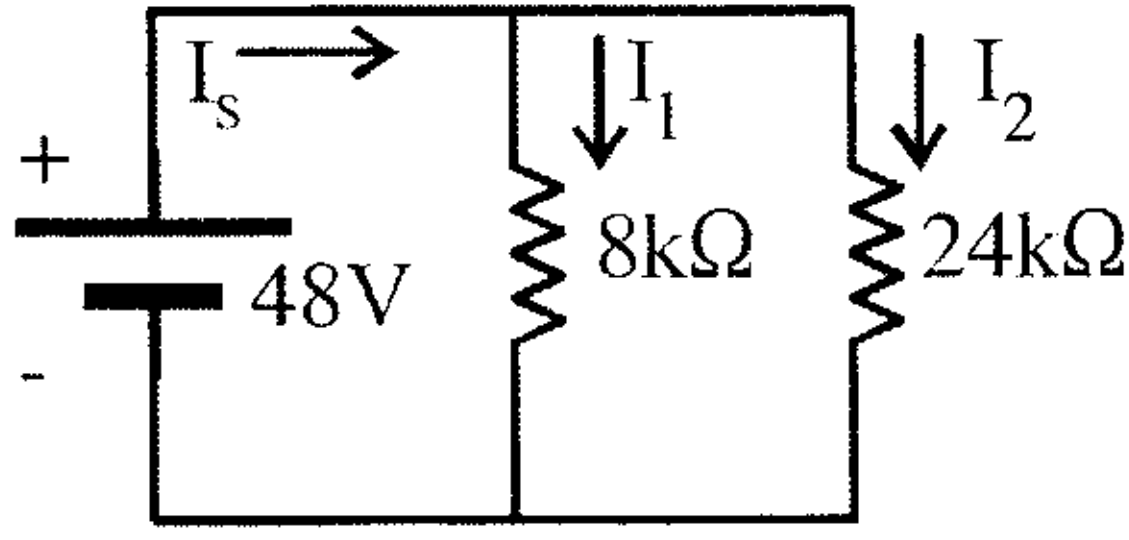
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{4\Omega} + \frac{1}{R} + \frac{1}{6\Omega}$$

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

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

$$R = 7.5\Omega$$

(3) من الدائرة بالشكل أوجد:



$$R_T, G_T \quad -1$$

$$I_s, I_1, I_2 \quad -2$$

$$-3 \text{ أثبت أن } I_s = I_1 + I_2$$

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

الحل:

-1

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

$$R_T = 6k\Omega$$

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

-2

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

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

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

-3

$$I_S = I_1 + I_2$$

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

$$8mA = 8mA$$

-4

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

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

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

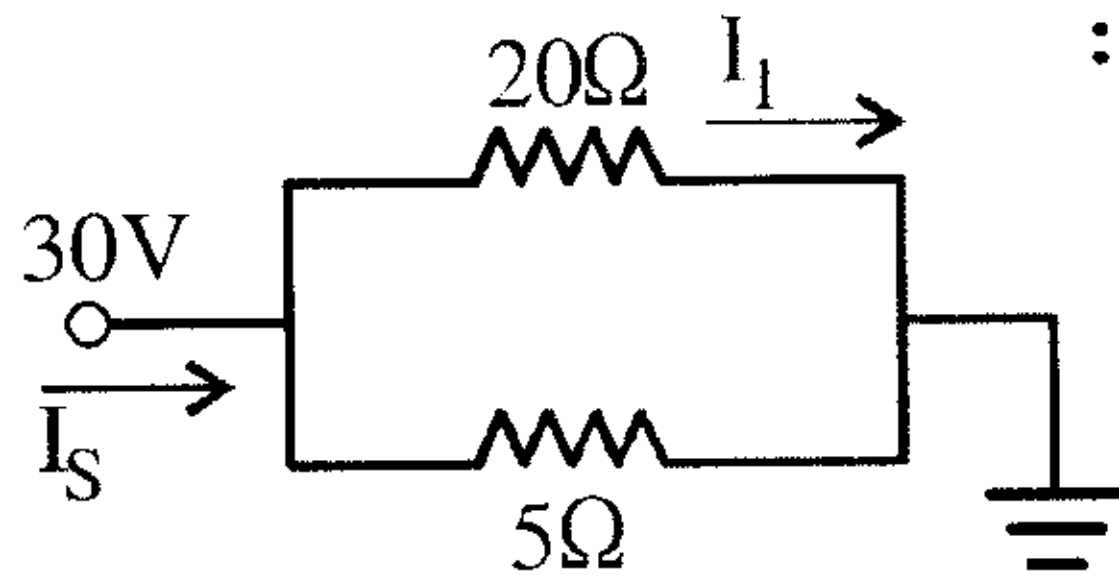
$$P_S = E I_S = (48V) (8mA) = 384mW$$

$$P_S = P_1 + P_2$$

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

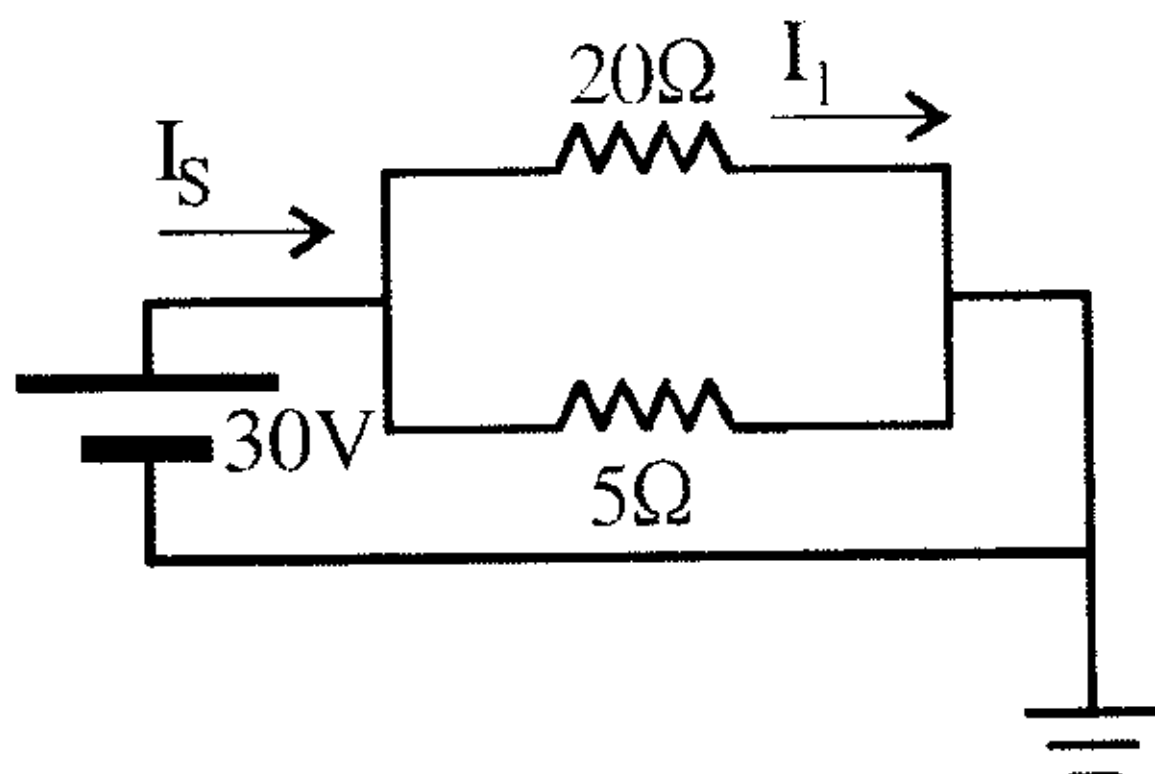
$$384mW = 384mW$$

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



الحل:

نعيد رسم الدائرة كالتالي:



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

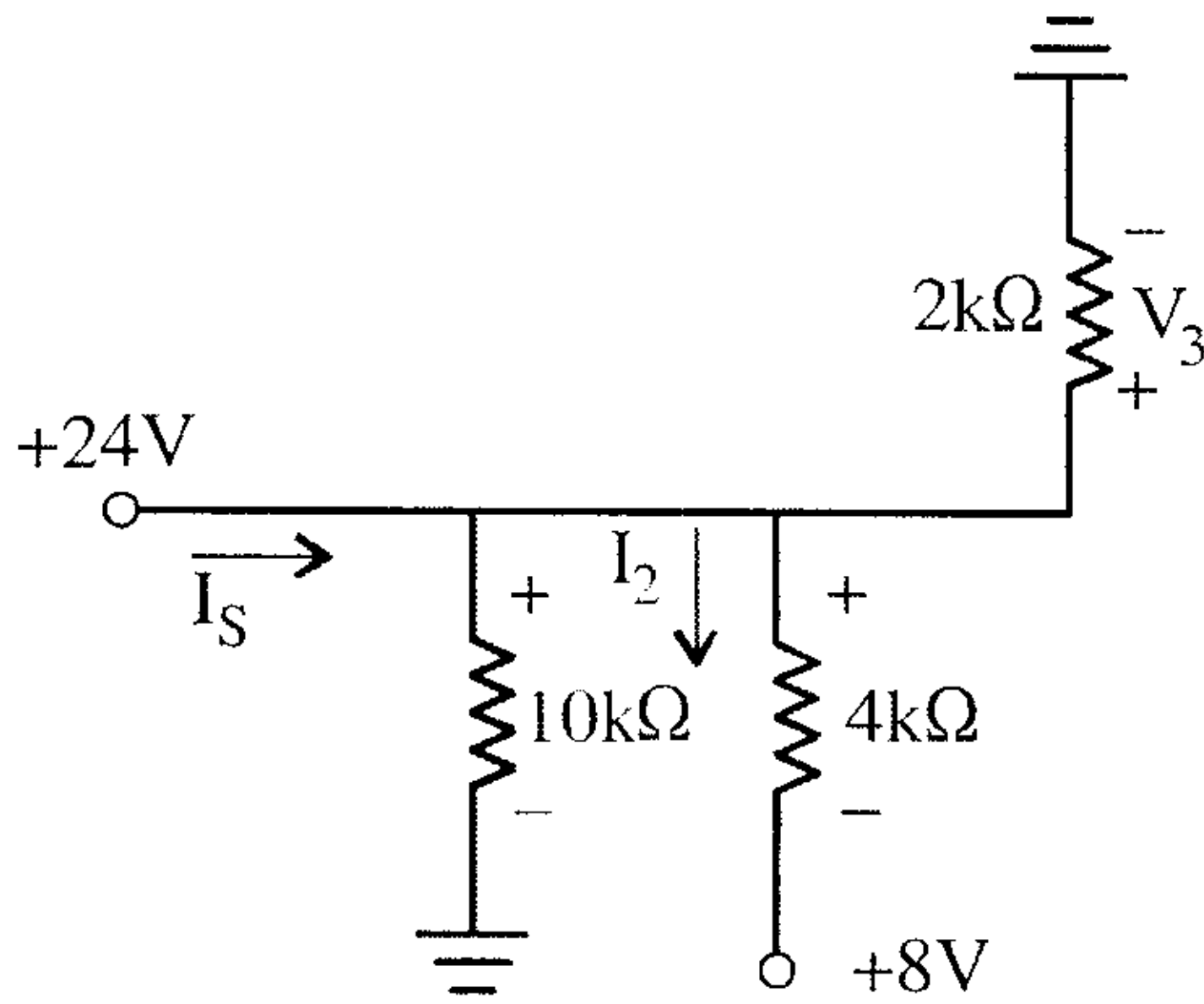
$$R_T = 4\Omega$$

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

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:

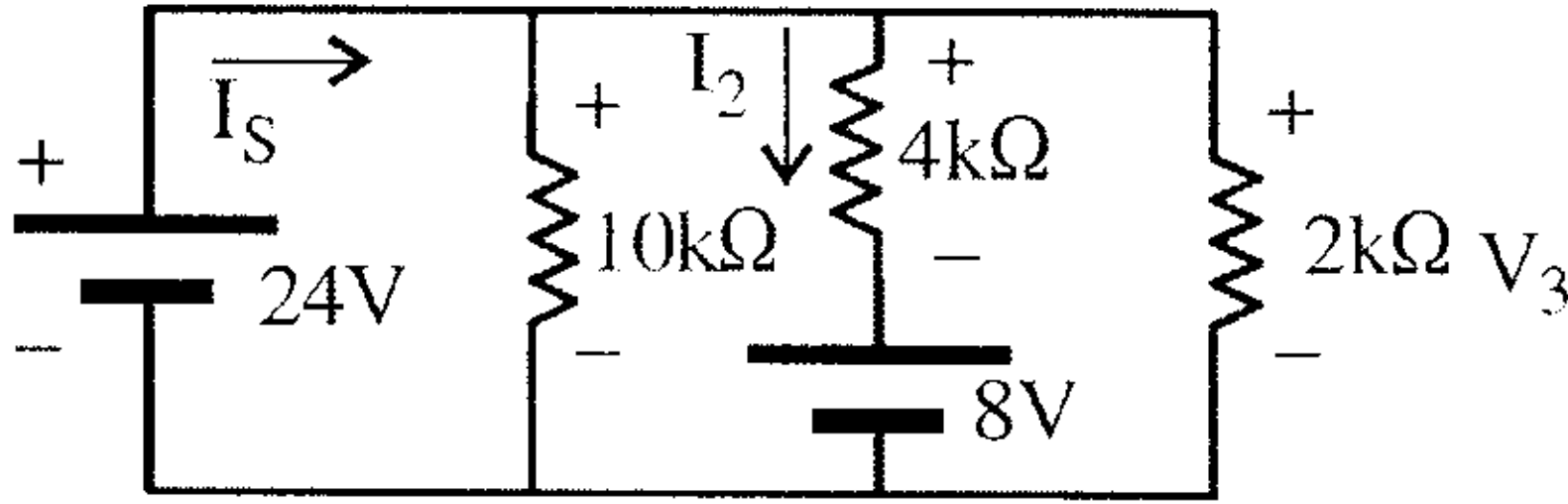
1- التيار I_2 .

2- الجهد V_3 .

3- تيار المصدر I_s .

الحل :

إعادة رسم الدائرة لتسهيل الحل:



جهد المقاومة $10k\Omega$ يساوي

جهد المصدر $24V$ بالتوازي.

∴ نستخدم قانون كرشوف للجهد في المسار الثاني

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

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

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

نستخدم قانون كرشوف للجهد في المسار الثالث

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

3- لإيجاد تيار المصدر نستخدم قانون التيار لكرشوف

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

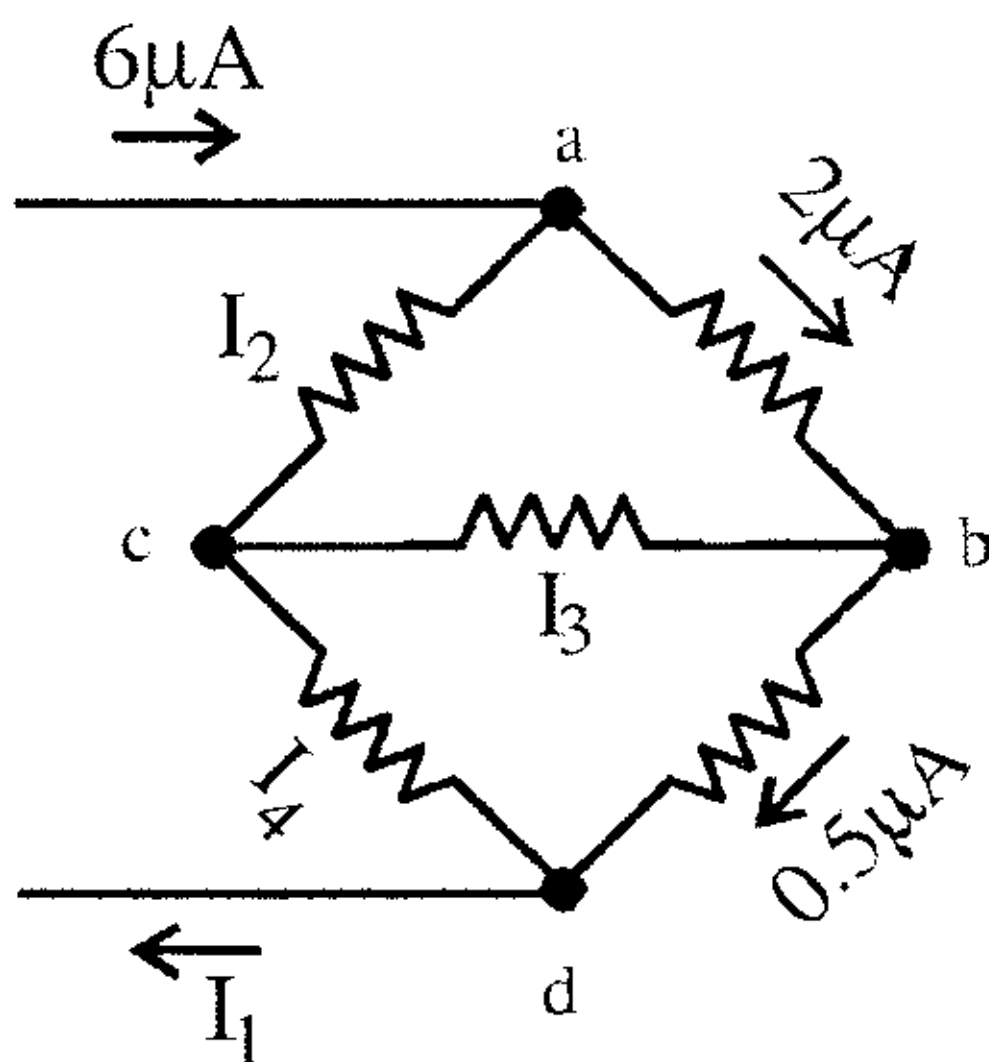
$$I_S = I_1 + I_2 + I_3$$

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

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

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

$$I_S = 18.4mA$$



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

الحل:

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)

$$I_4 = I_2 + I_3$$

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

$$I_4 = 5.5 \mu A$$

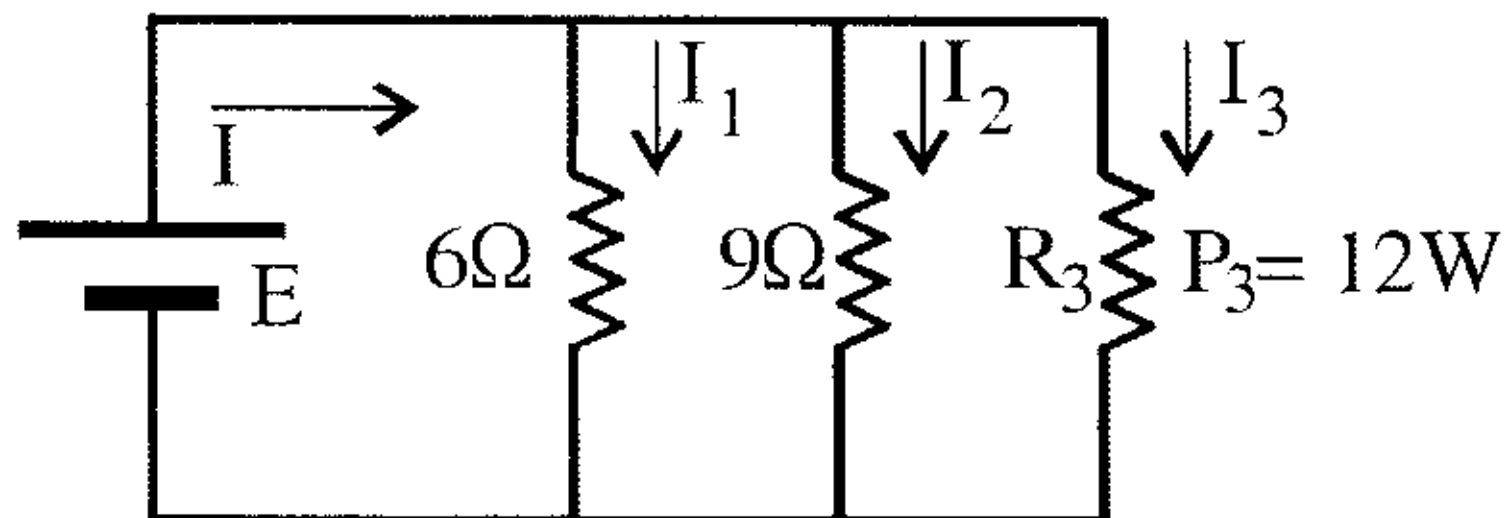
عند العقدة (d)

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

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

$$I_1 = 6 \mu A$$

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



الحل :

الجهد في التوازي متساو

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

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

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

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

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

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

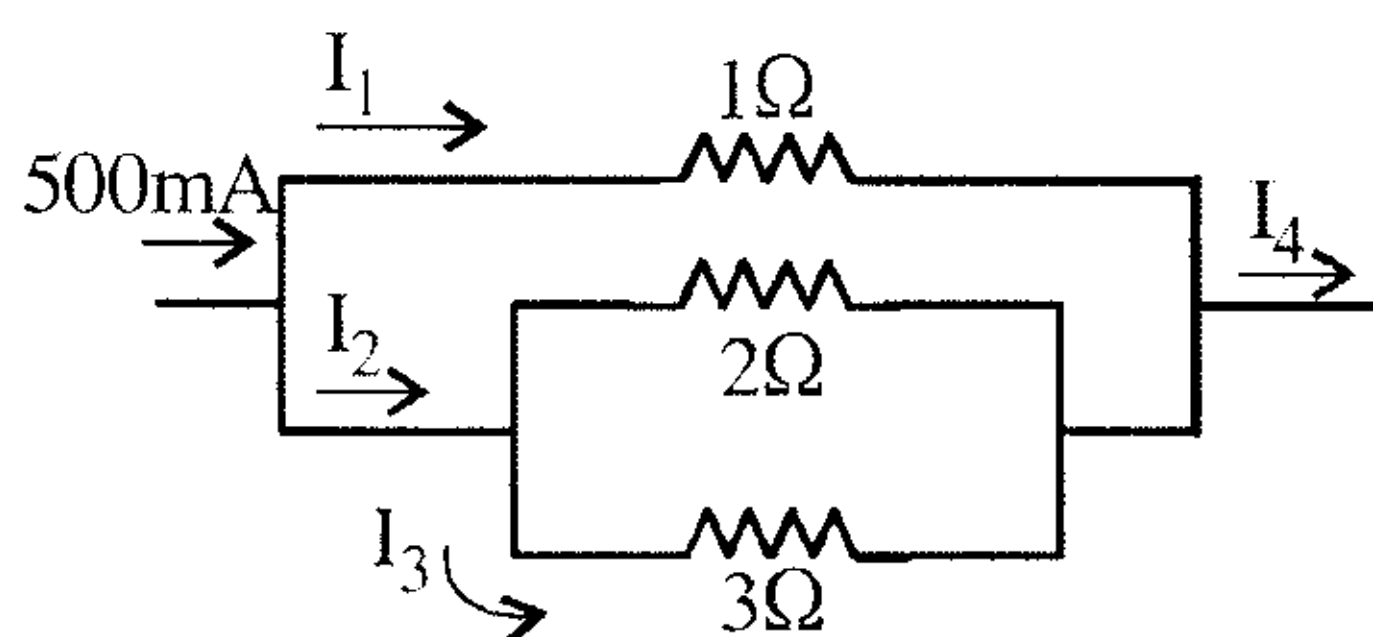
$$I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{12V}{12\Omega} = 1A$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

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

$$I = 4.333A$$

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



الحل :

لإيجاد التيار I_1, I_2 يجب تحويل الدائرة

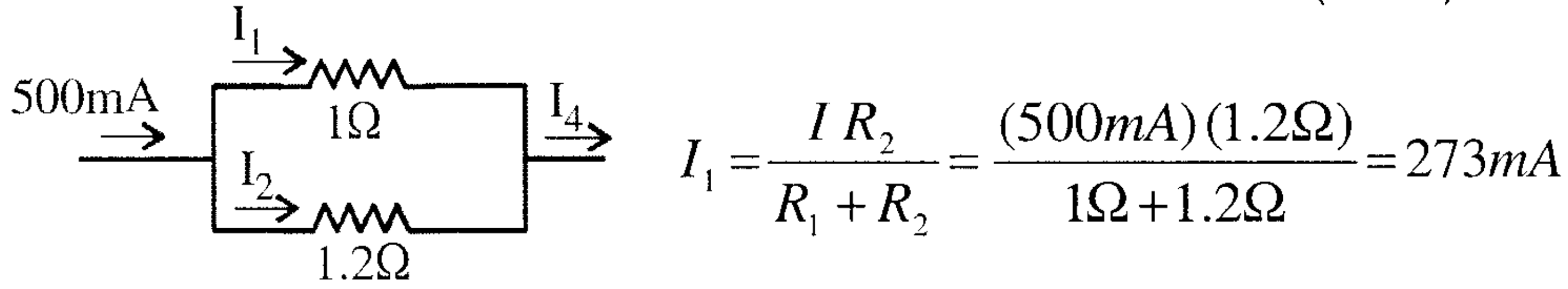
لكي نطبق قانون (CDR) المقاومة

(2Ω) على التوازي مع المقاومة (3Ω)

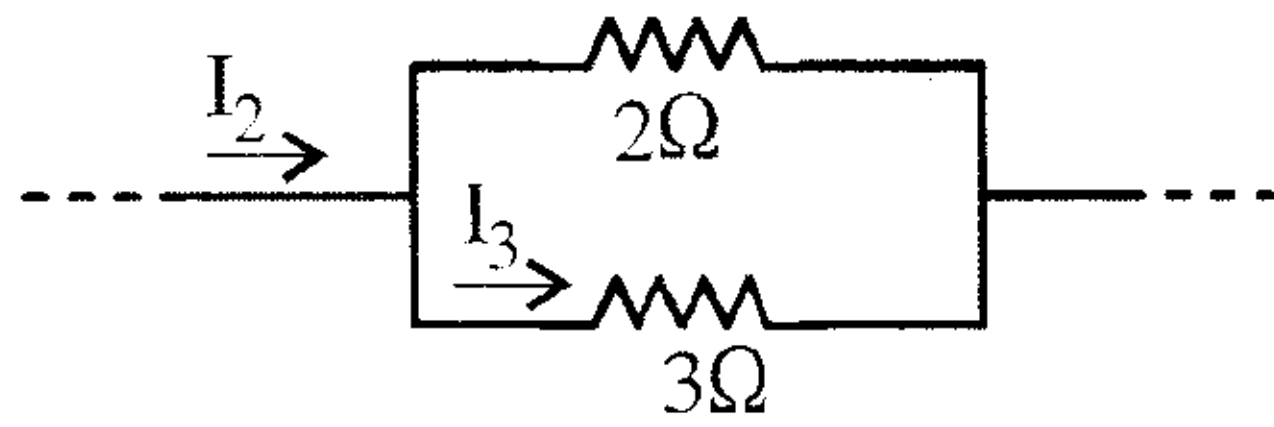
$$2//3 \rightarrow \frac{2 \times 3}{2 + 3} = \frac{6}{5}$$

$$= 1.2\Omega$$

نطبق (CDR)



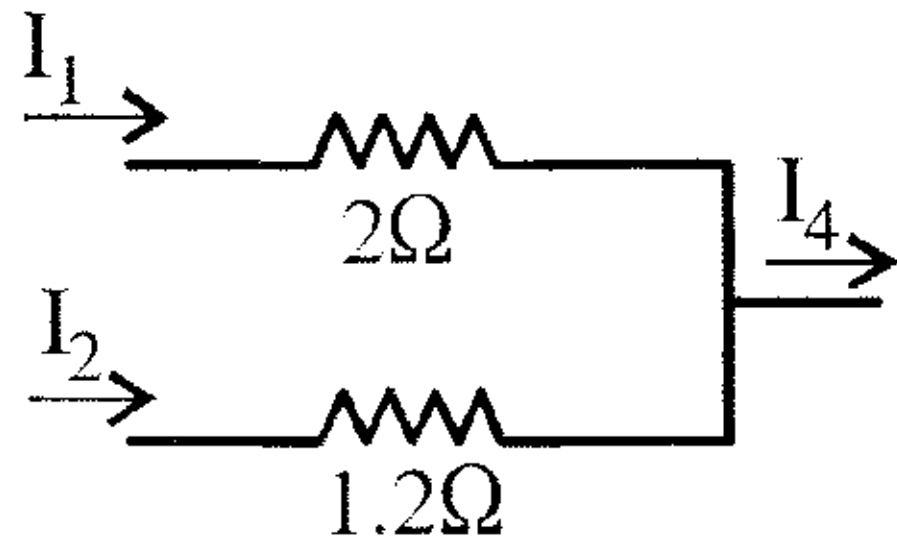
$$I_2 = \frac{I R_1}{R_1 + R_2} = \frac{(500mA)(1\Omega)}{1\Omega + 1.2\Omega} = 227mA$$

لإيجاد التيار I_3 نستخدم جزءاً من الدائرة

$$I_2 = 227mA$$

باستخدام قانون مجزئ الجهد :

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

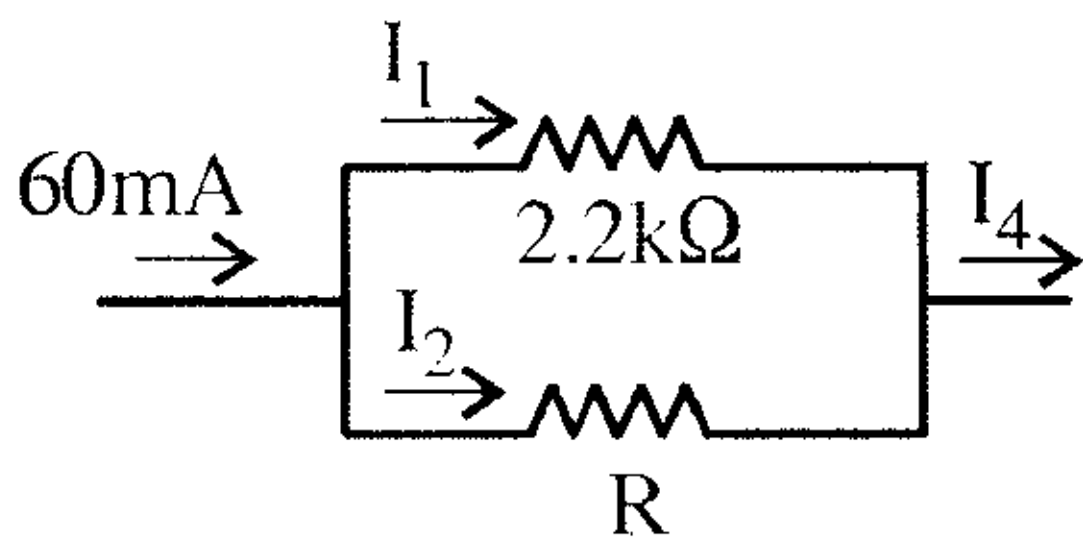
لإيجاد I_4 مباشرة : التيار الداخل إلى الدائرة ($500mA$) يساوى التيار الخارج منها

$$I_4 = 500mA$$

أو باستخدام (KCL)

$$I_4 = I_1 + I_2$$

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

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

الحل :

باستخدام (CDR)

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

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

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

ومنها

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

وبما أن

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

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

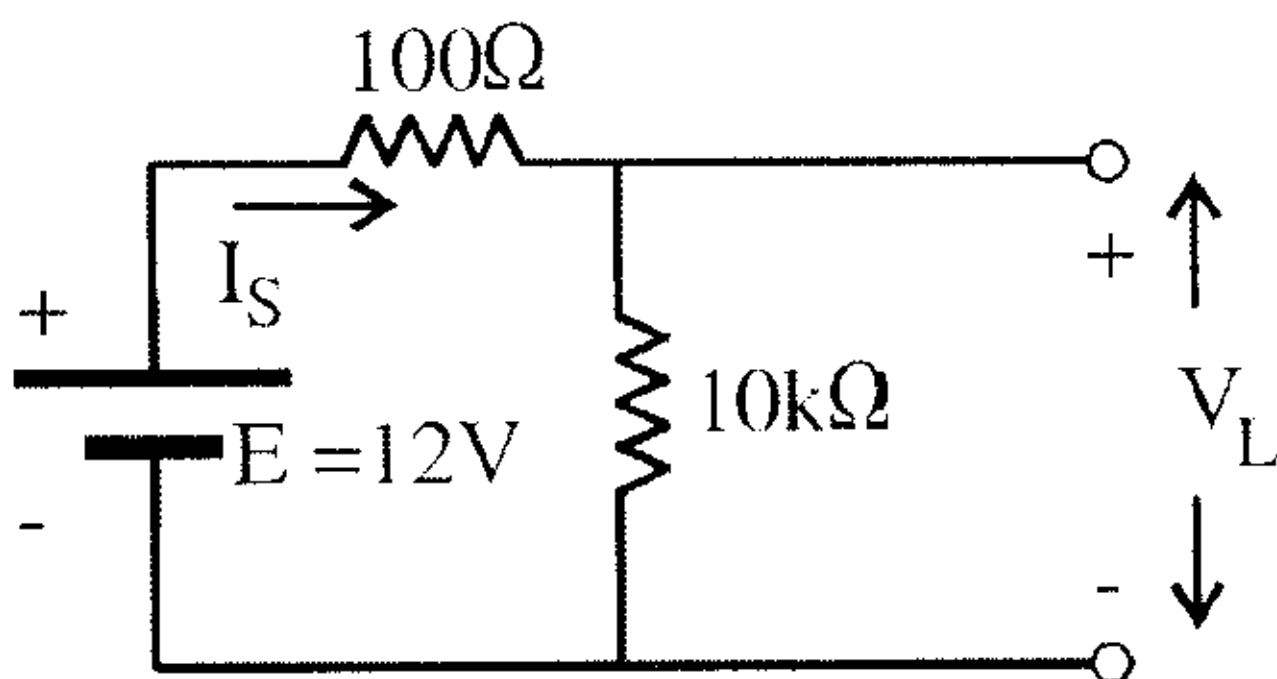
$$\frac{(20mA)(R)}{R + 2.2k\Omega} = \frac{(60mA)(2.2k\Omega)}{R + 2.2k\Omega}$$

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

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

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

(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.

الحل:

-1

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

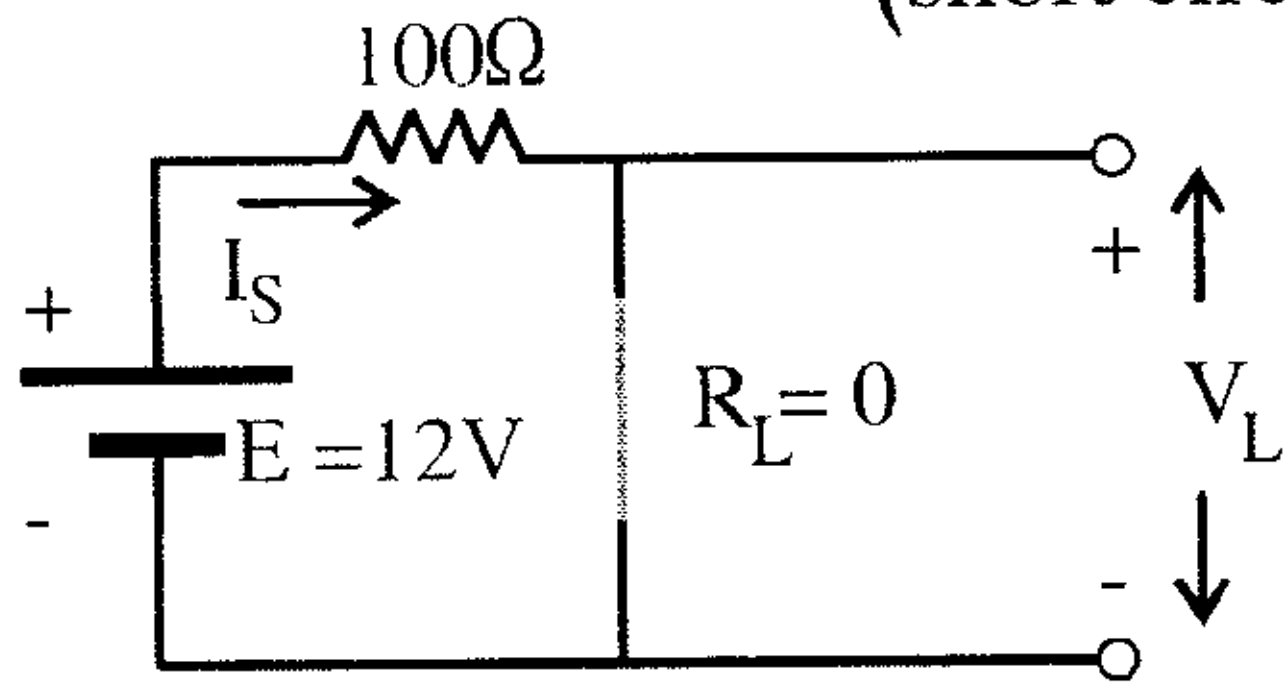
$$R_T = 100\Omega + 10000\Omega = 10100\Omega$$

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

$$V_L = (R_L)(I_S) = (10000\Omega)(1.188 \times 10^{-3}A)$$

$$V_L = 11.88V$$

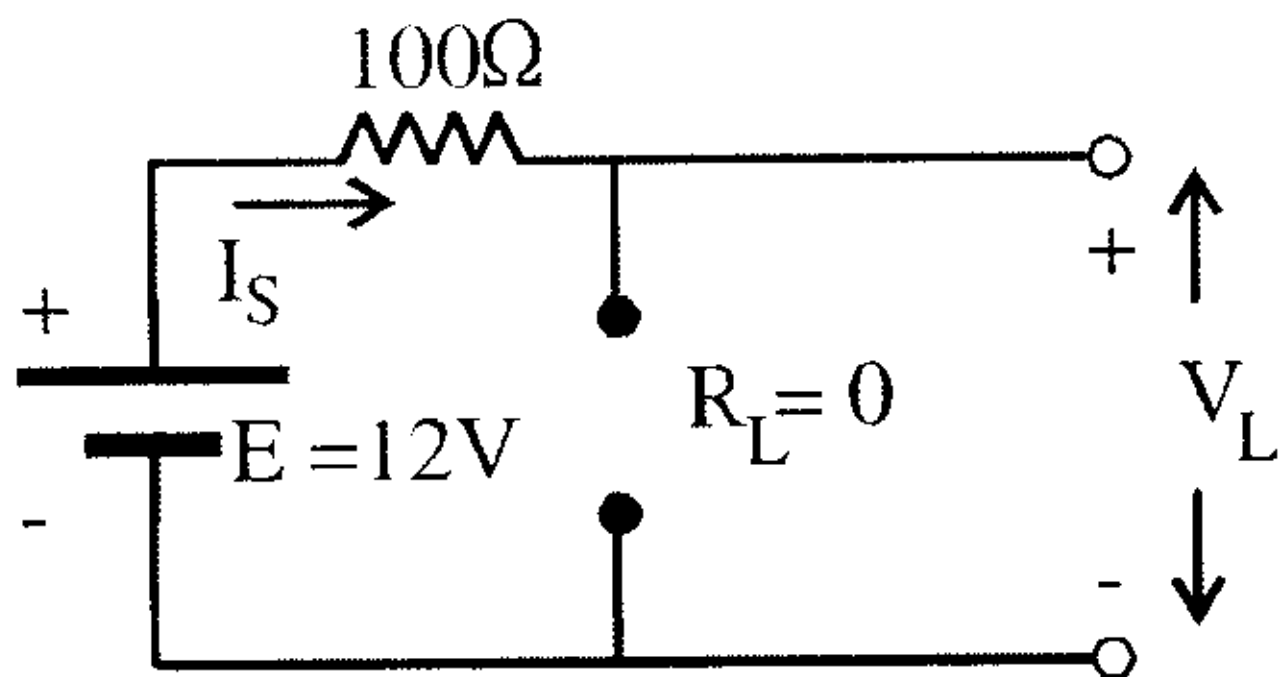
2- عند استبدال المقاومة R_L بدائرة مغلقة (short circuit)



تكون قيمة $R_L = 0$

$$R_T = 100\Omega$$

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



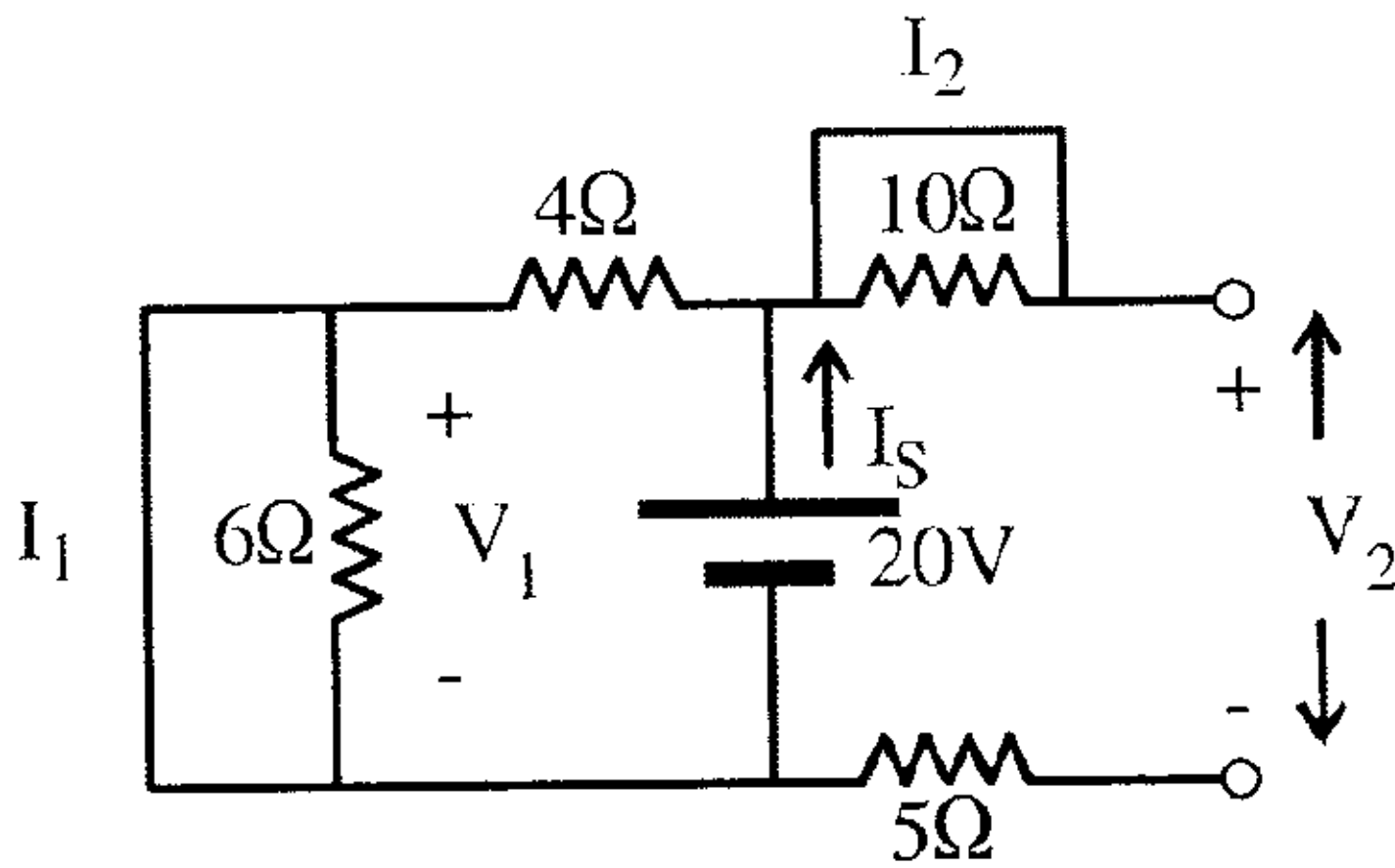
عند استبدال المقاومة R_L بدائرة مفتوحة

(open circuit) تكون كامل الدائرة

مفتوحة ولا يمر التيار $I_S = 0A$

$$V_L = E = 12V$$

(11) من الدائرة بالشكل التالي أوجد :



- 1- التياران I_1 و I_2 .
- 2- الجهود V_1 و V_2 .
- 3- تيار المصدر I_s .

الحل:

1- الجزء الأيمن (على يمين مصدر الجهد) من الدائرة مفتوح فالتيار لا يمر به
 $I_2 = 0A$

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

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

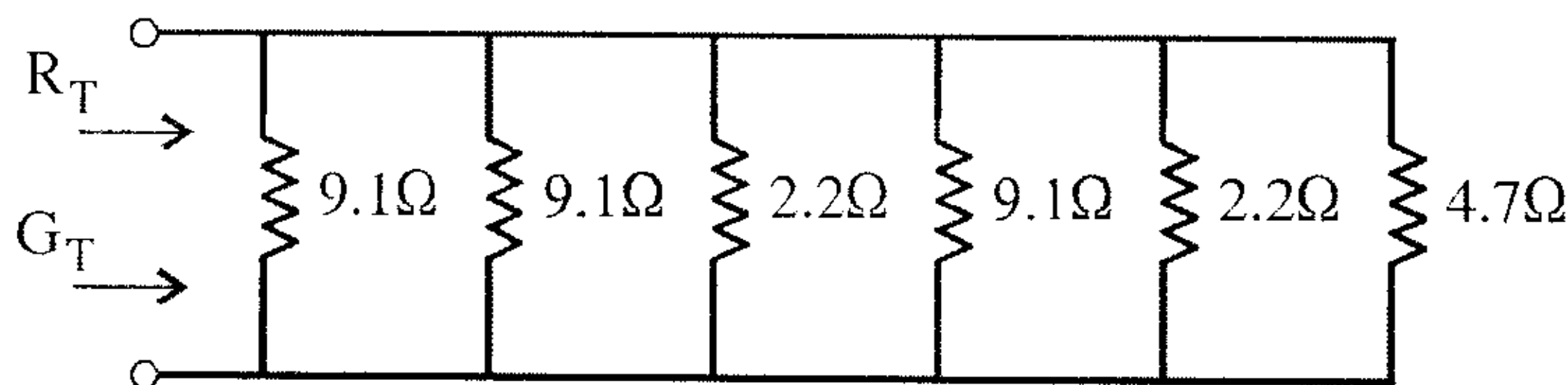
2- بما أن التيار المار في المقاومة 6Ω يساوي صفراً لذلك يكون
 $V_1 = 0$

$$V_2 = E = 20V$$

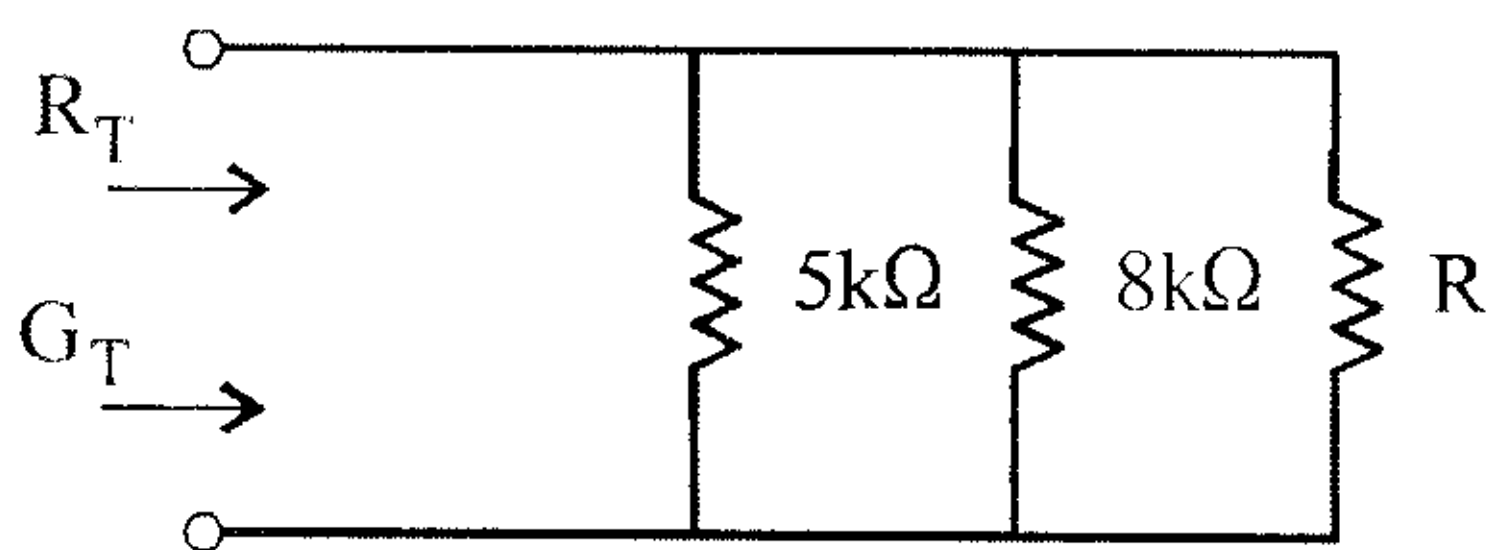
3- تيار المصدر $I_s = 5A$

9.3 مسائل متنوعة

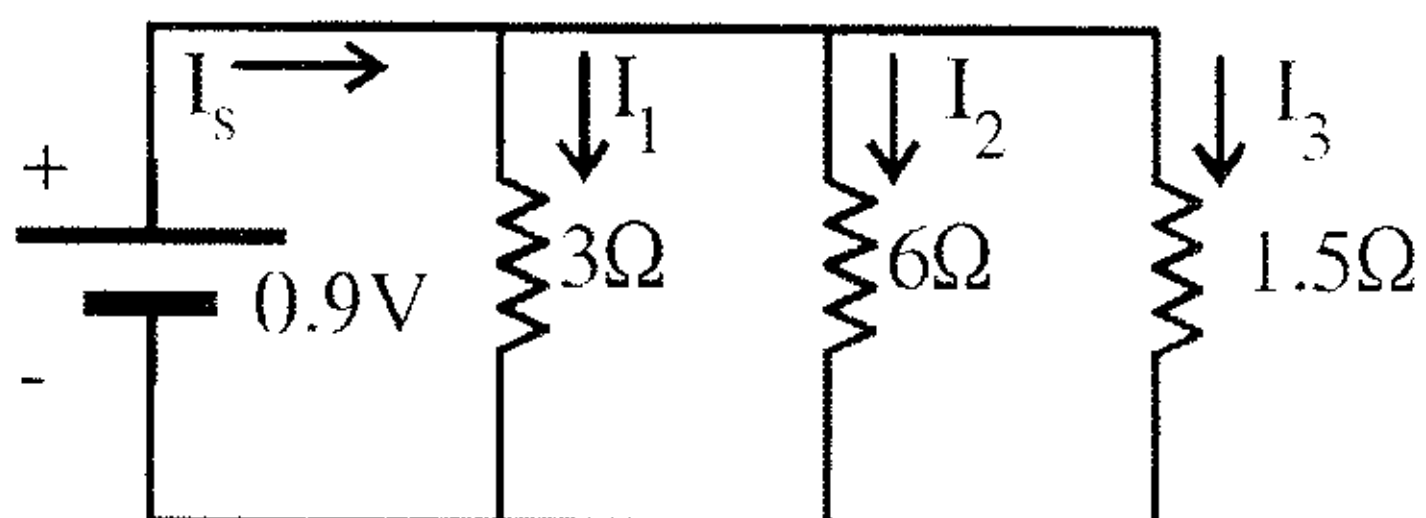
(1) أوجد R_T و G_T للدائرة بالشكل التالي:



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



(3) للدائرة بالشكل :



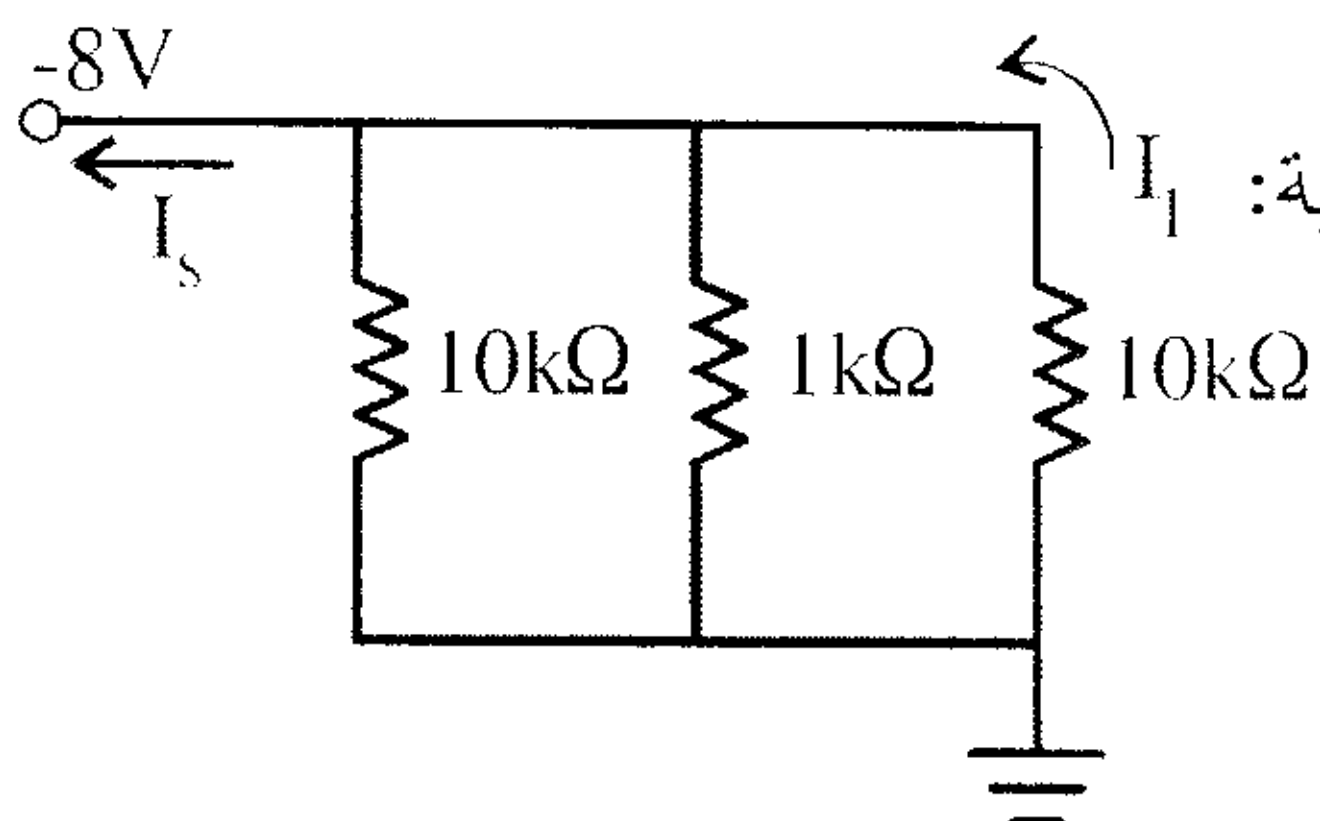
1- أوجد R_T , G_T

2- أوجد I_3 , I_2 , I_1 , I_s

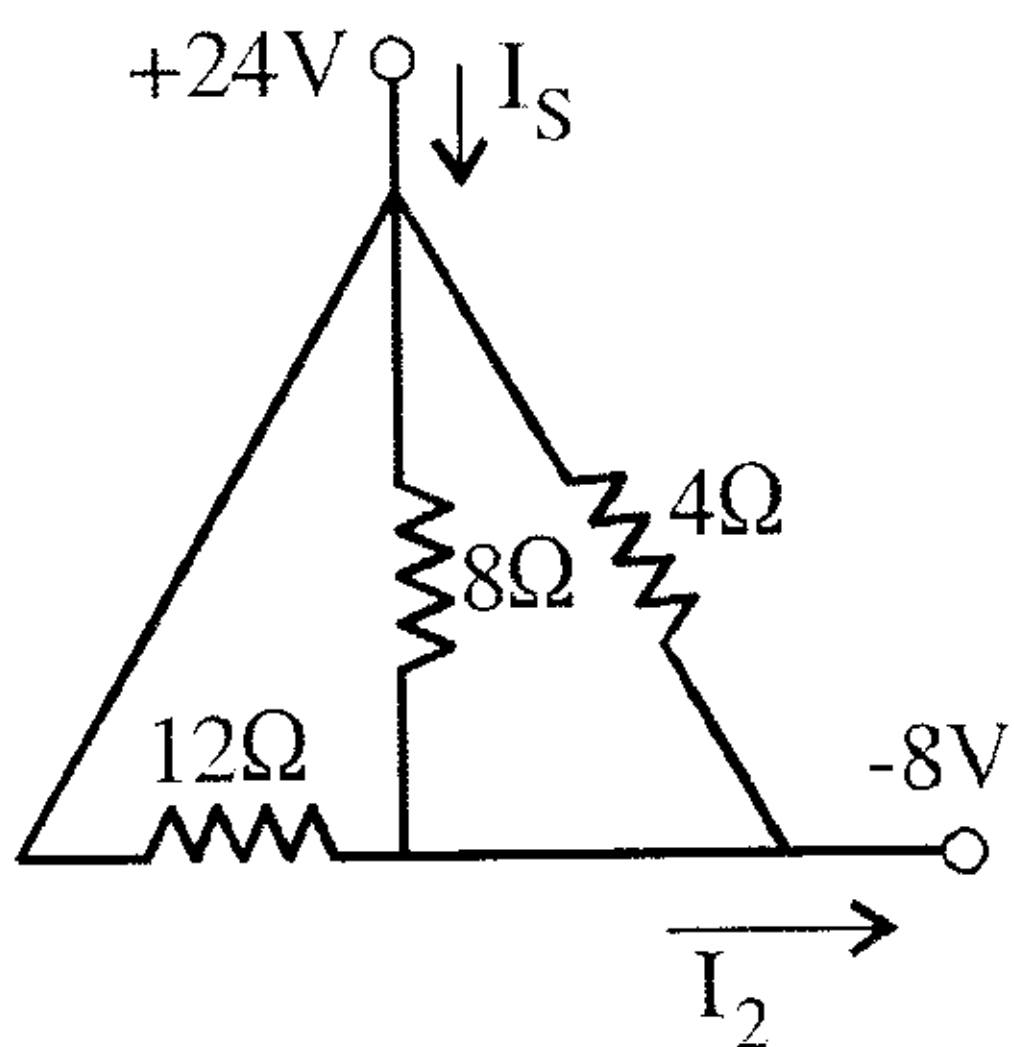
3- أثبت أن $I_s = I_1 + I_2 + I_3$

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:

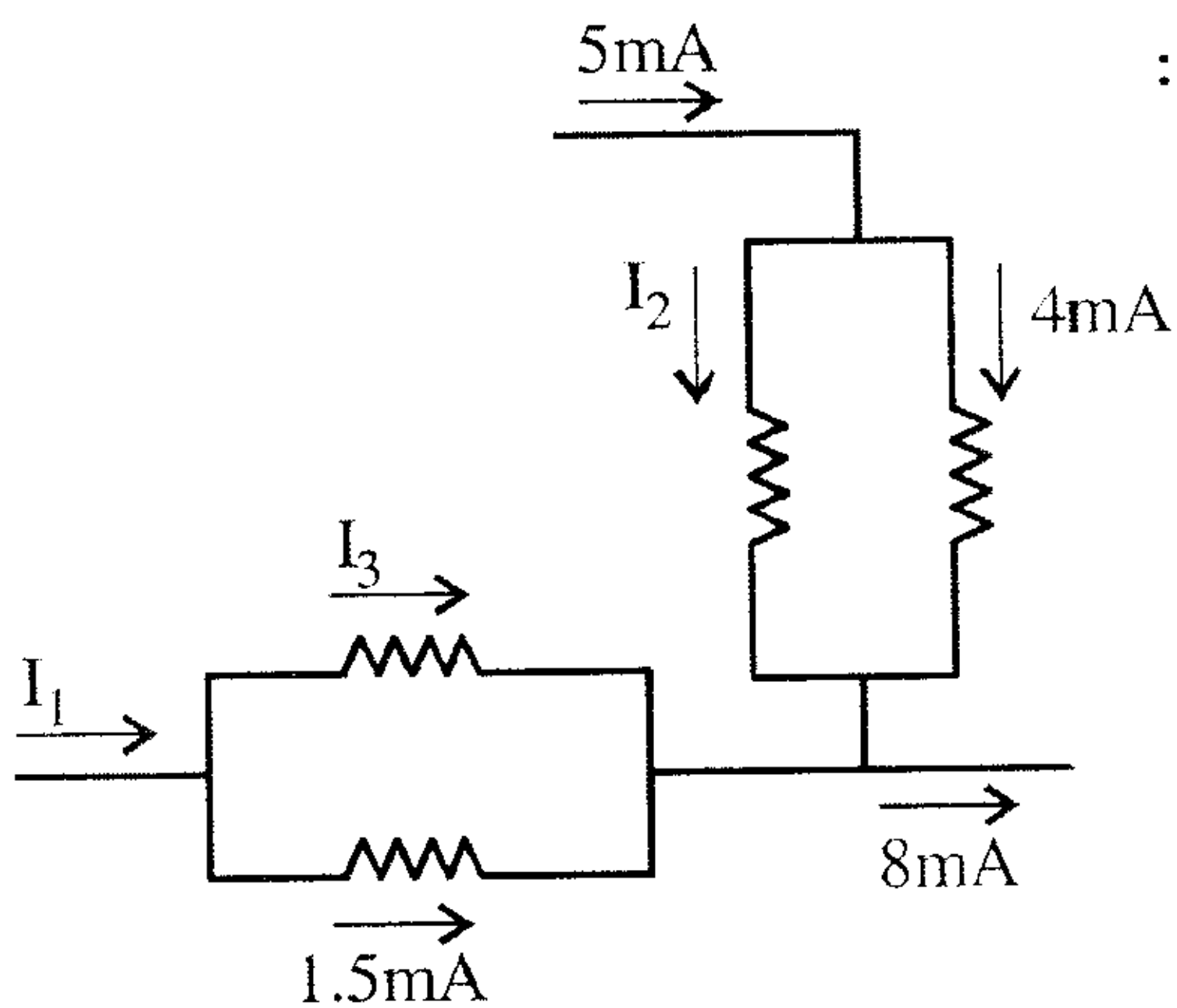


(5) من الدائرة بالشكل :

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

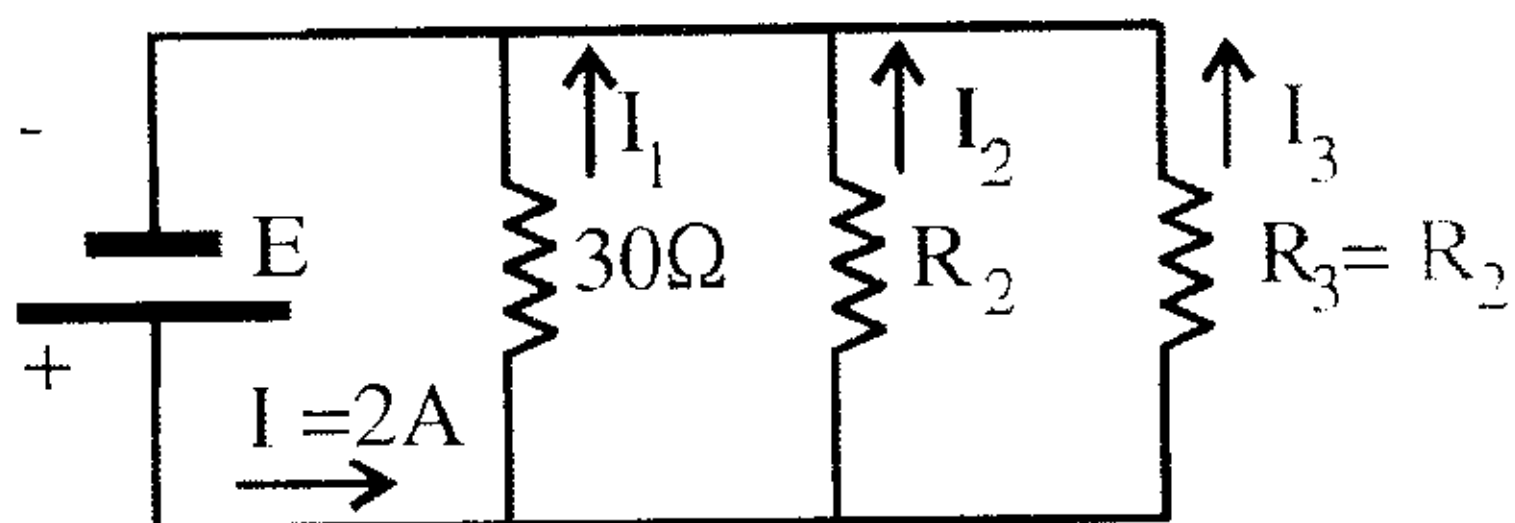
(7) من الدائرة بالشكل أوجد :

1- I_1, E

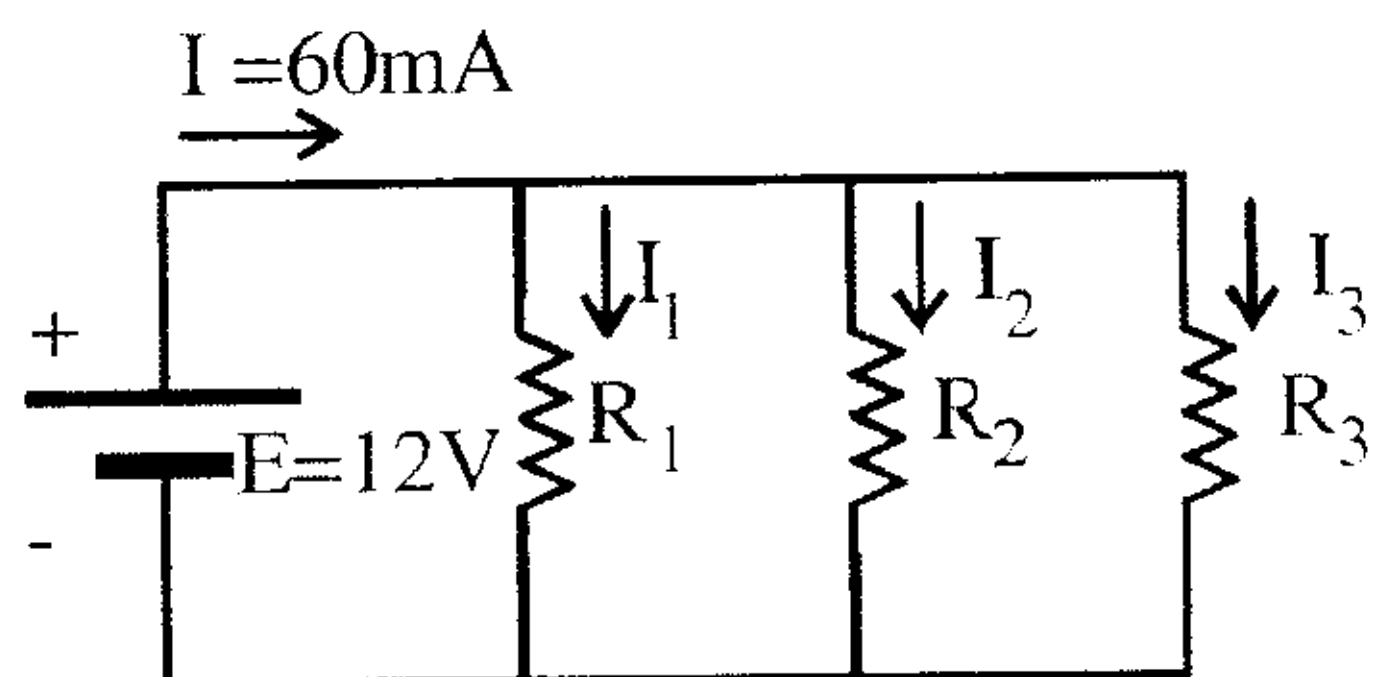
2- I_3, I_2

3- R_3, R_2

4- P_2



إذا علمت أن : $(P_1 = 30W)$.

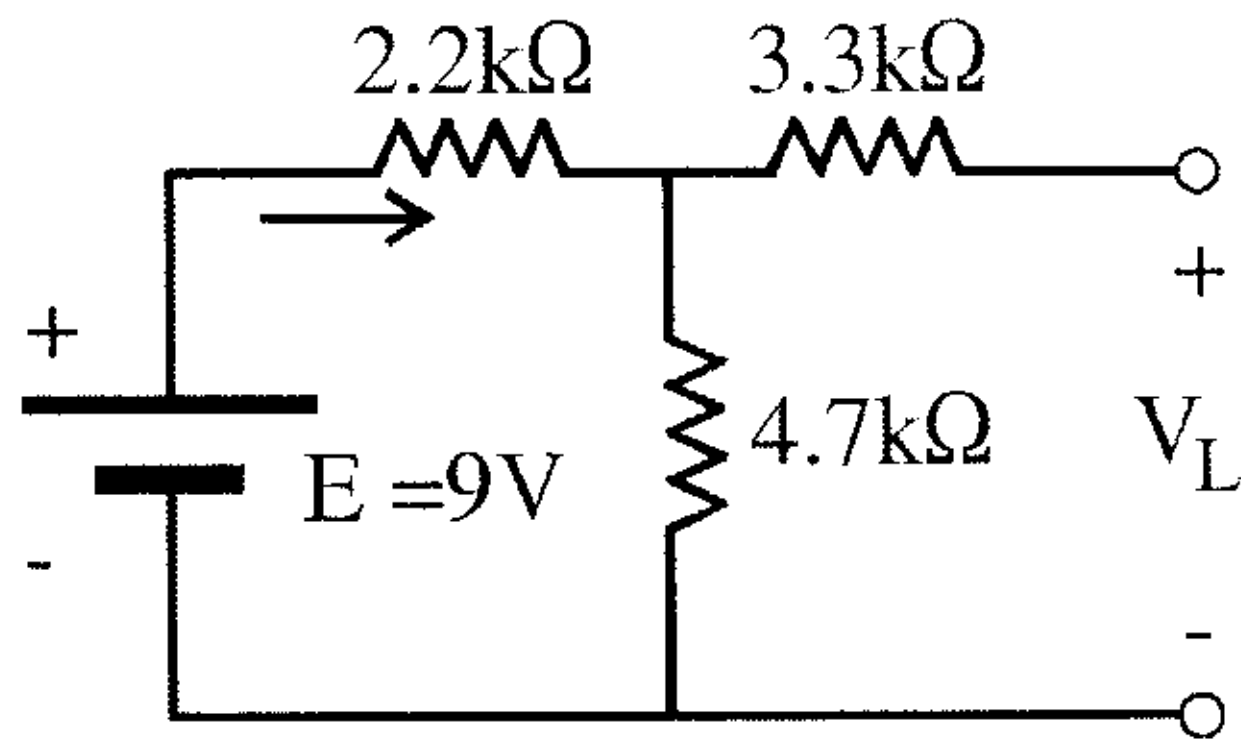


(8) من الدائرة في الشكل التالي :

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

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

(9) من الدائرة بالشكل التالي :



1- أوجد قيمة الجهد V_L .

إذا تم إغلاق الدائرة المفتوحة عند

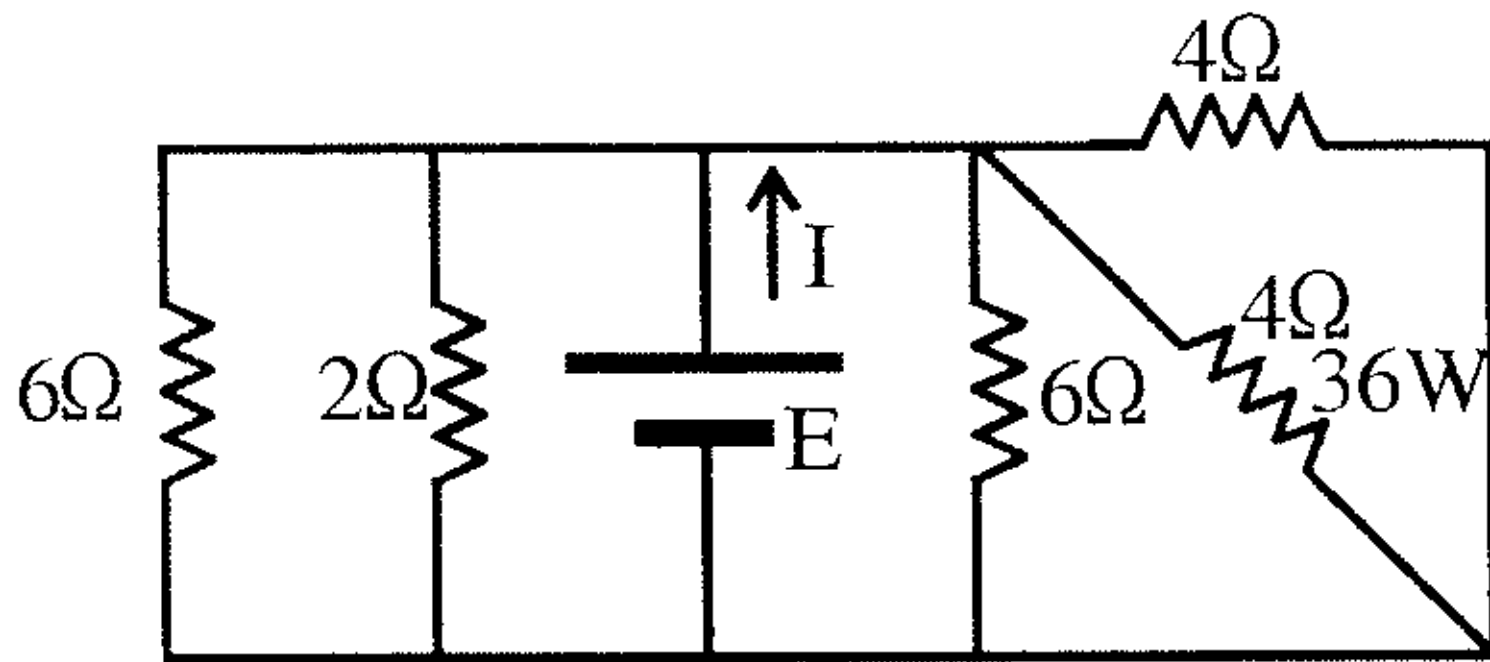
V_L أي وضع (short circuit) احسب

التيار المار I_{sc} .

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

(10) من الدائرة بالشكل التالي أوجد كلاً من I و E والقدرة المستهلكة

في المقاومة (2Ω) .



الفصل الرابع

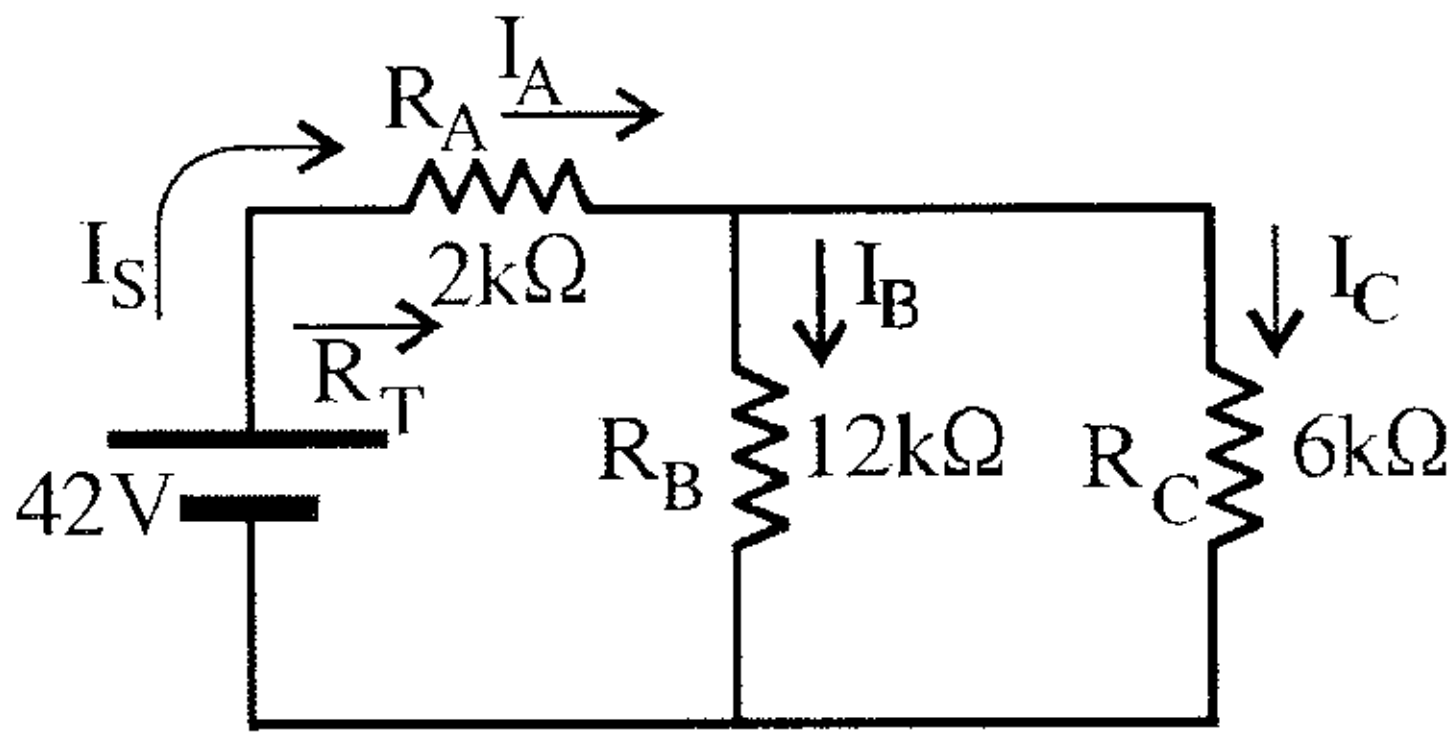
- 1.4 تطبيقات دوائر التوالي والتوازي.
- 2.4 أمثلة متنوعة.
- 3.4 مسائل.

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 كيرشوف، وقانون مجزئ الجهد والتيار، وقانون أوم، والقدرة، وغيرها مما سبق دراسته في الفصول السابقة.

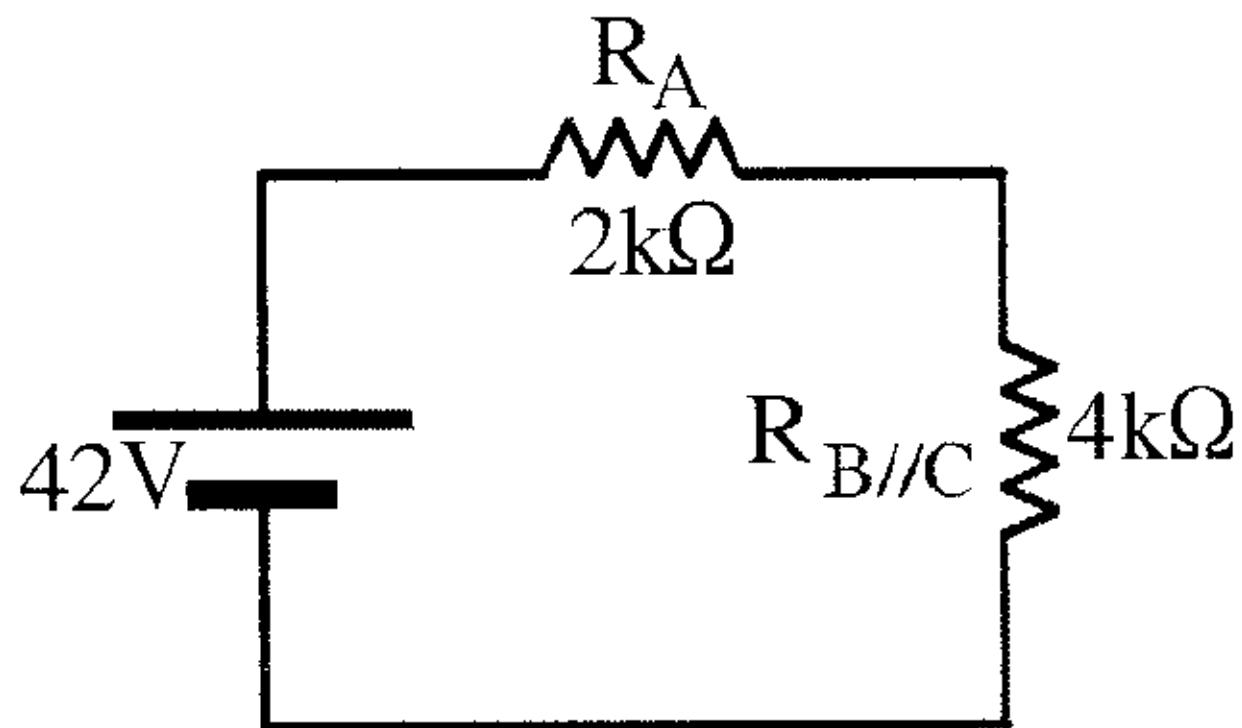
مثال 1.4:



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

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

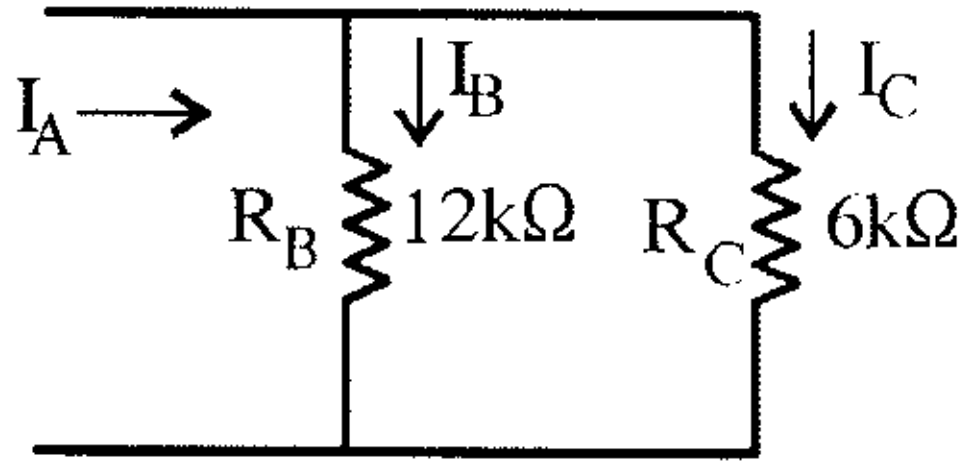
$$I_C = \frac{(12k\Omega)(I_A)}{6k\Omega + 12k\Omega} = \frac{12}{18}(7mA) = 4.667mA$$

باستخدام قانون التيار لكروشوف

$$I_S = I_A = I_B + I_C$$

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

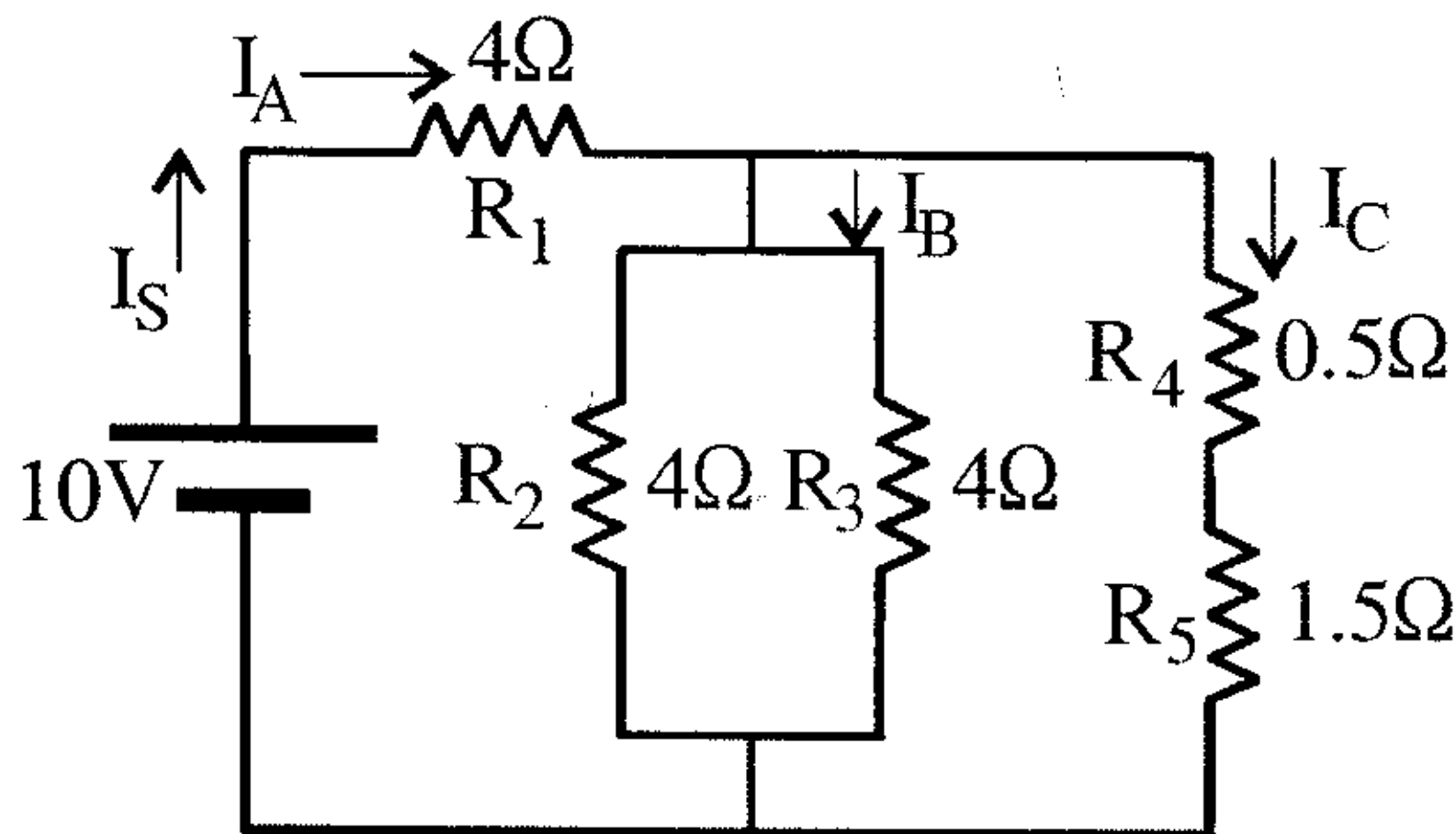
$$7mA = 7mA \quad (\text{إثبات})$$



مثال 2.4 : من الدائرة في الشكل

التالي يمكن إيجاد تيارات وجهود المقاومات

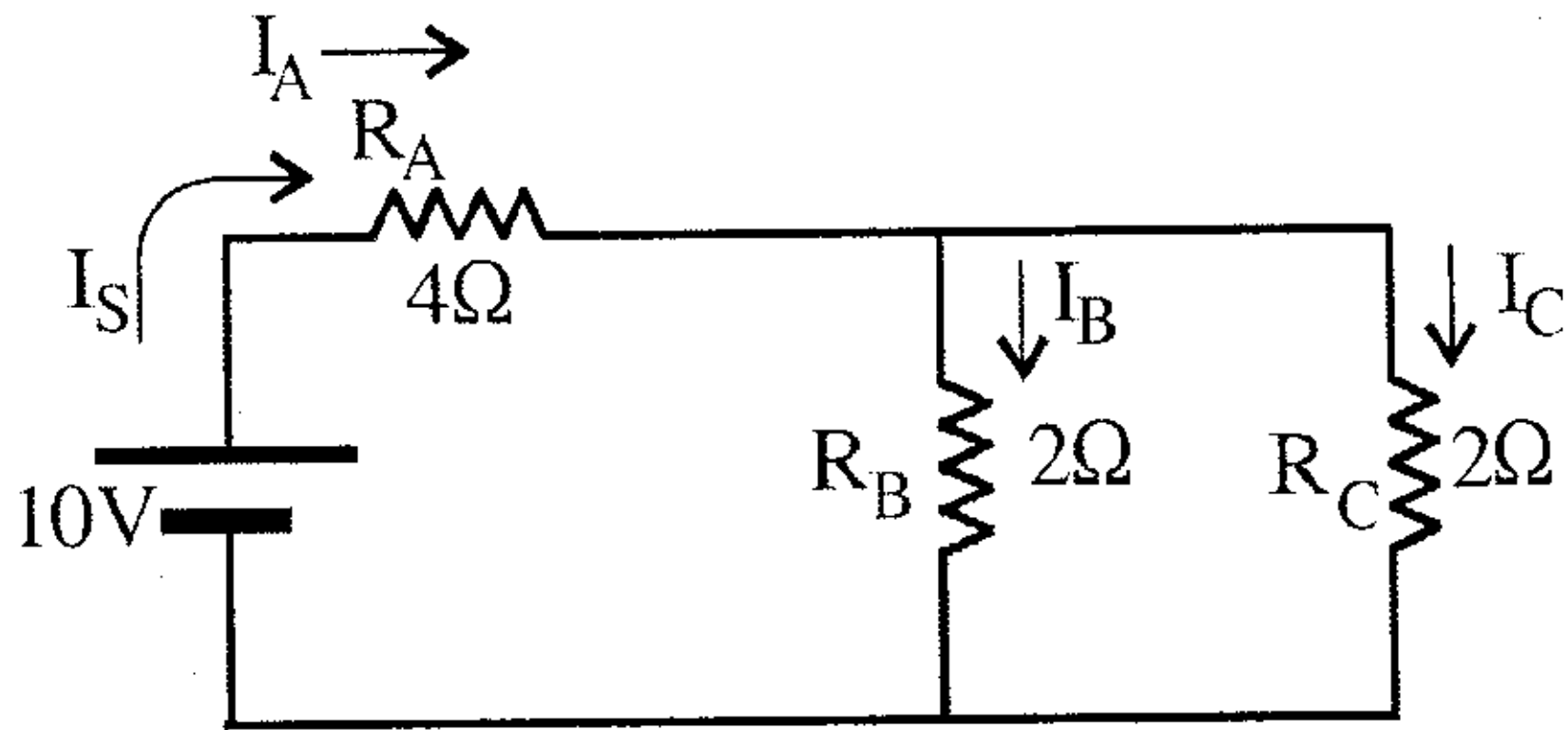
الحل:



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

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

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

المقاومة الكلية

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

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

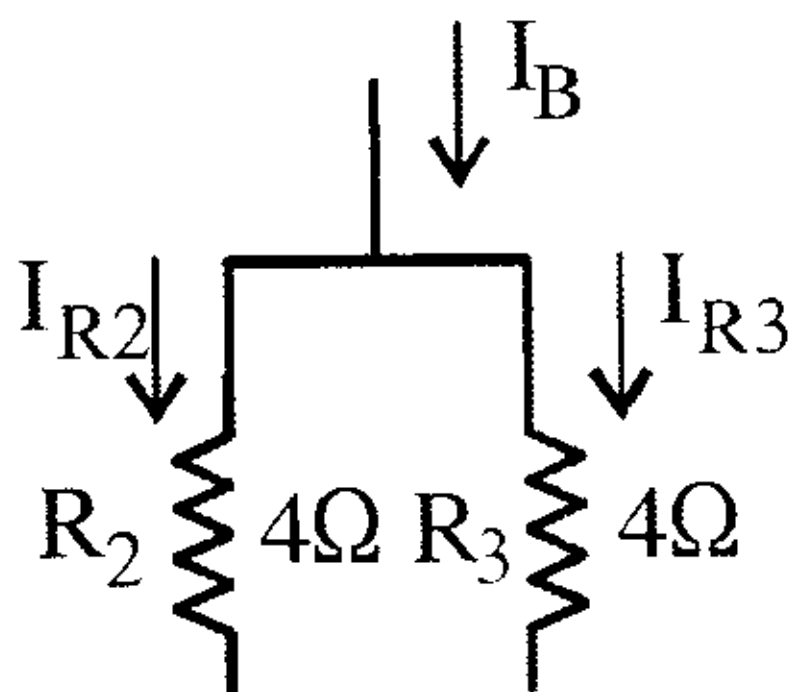
$$I_A = I_S = 2A$$

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 للجهود لإثبات صحة الحل:-

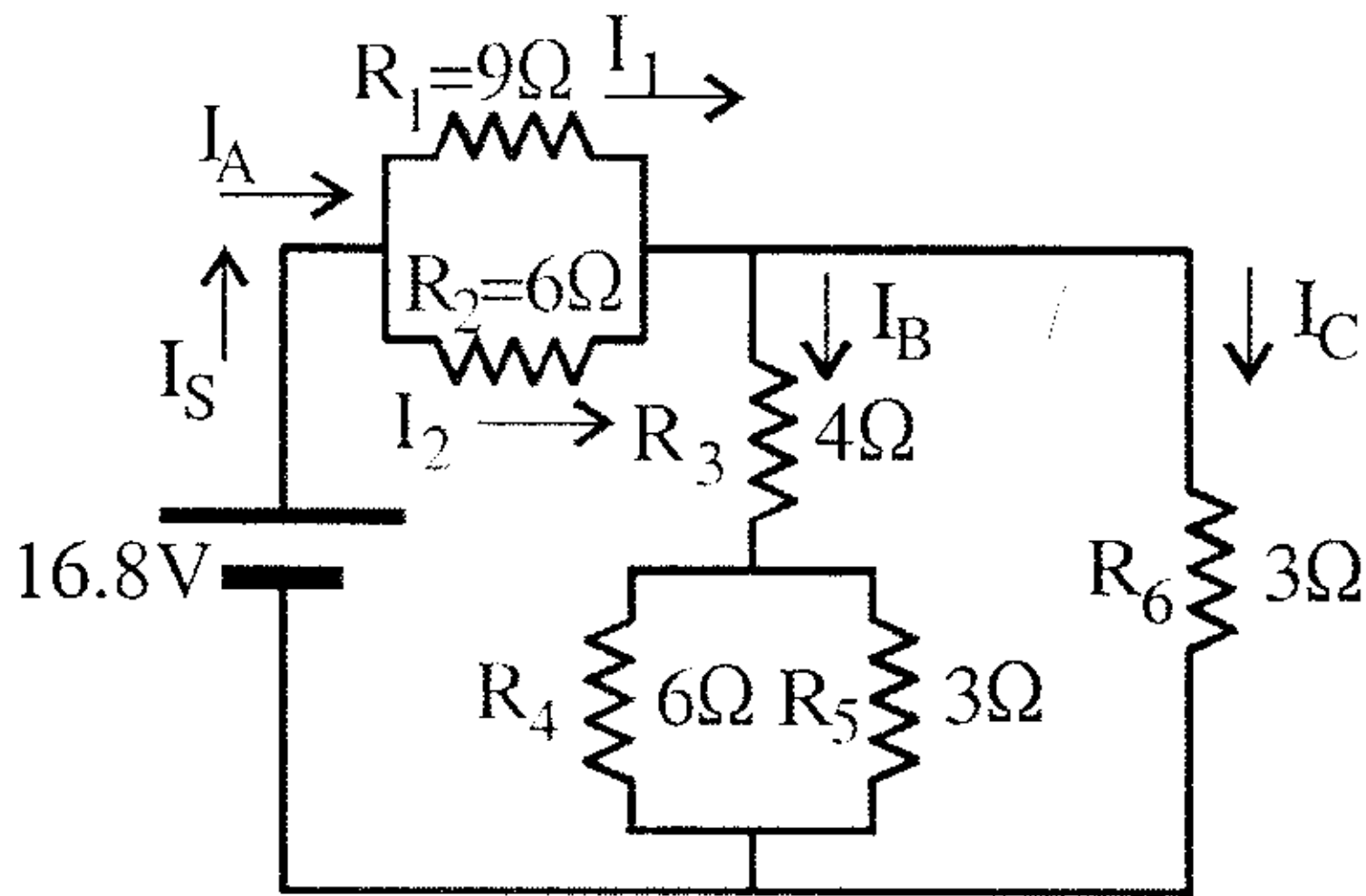
المسار: $\sum V = 0$

$$E - V_A - V_B = 0$$

$$10 - 8 - 2 = 0$$

$$10 - 10 = 0$$

$$0 = 0$$



مثال 3.4:

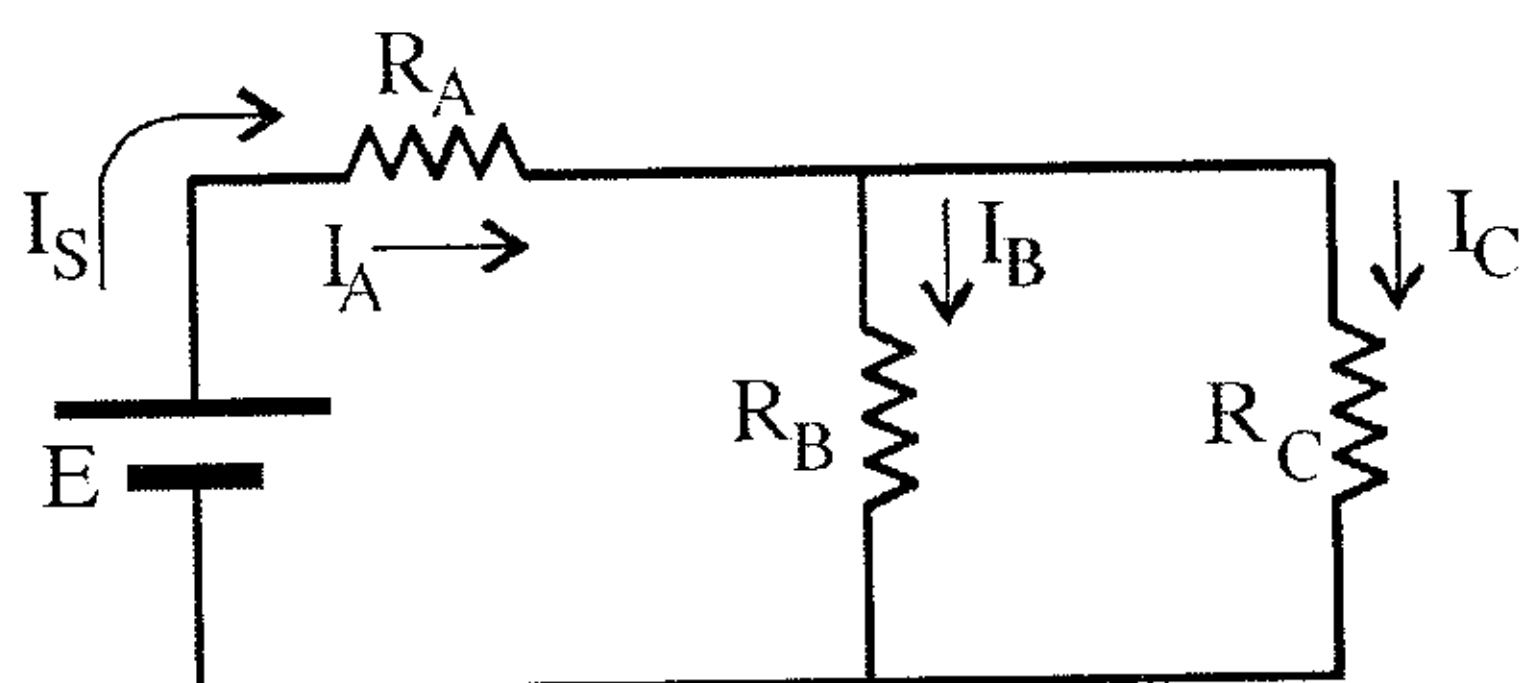
من الدائرة بالشكل أحسب التيارات والجهود للمقاومات

الحل:

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

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

$$R_C = 3\Omega$$



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) :

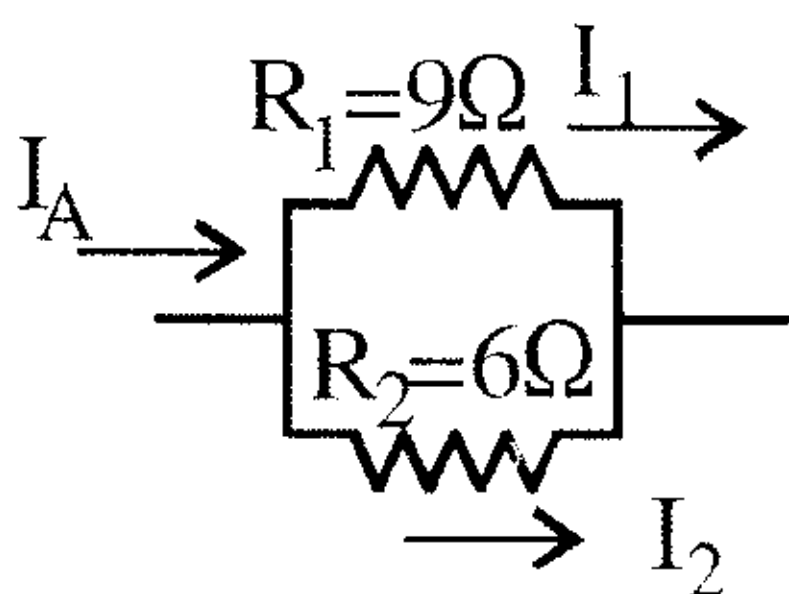
$$I_A = I_B + I_C$$

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

باستخدام قانون أوم :

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

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

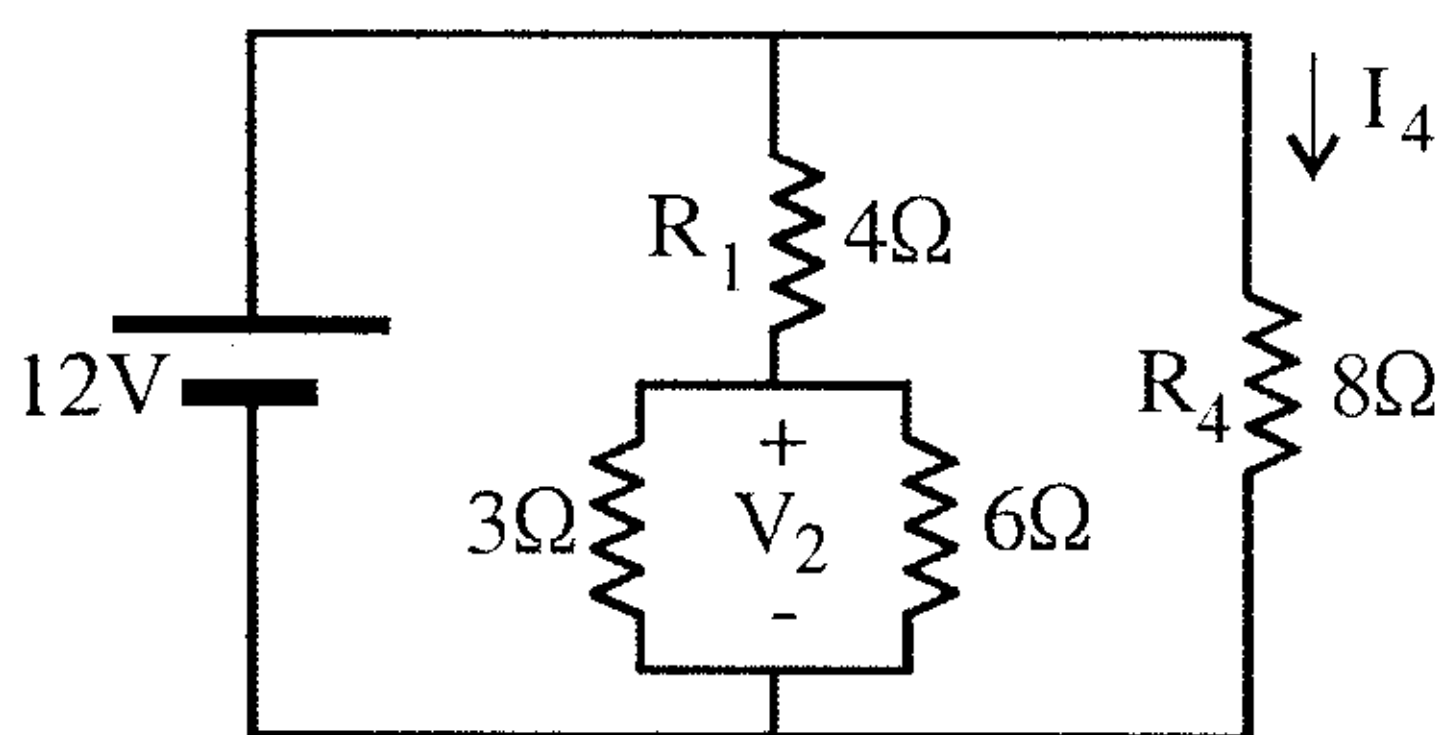


من الدائرة الأصلية وباستخدام (CDR) يمكن إيجاد
التيارين I_1 و I_2

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

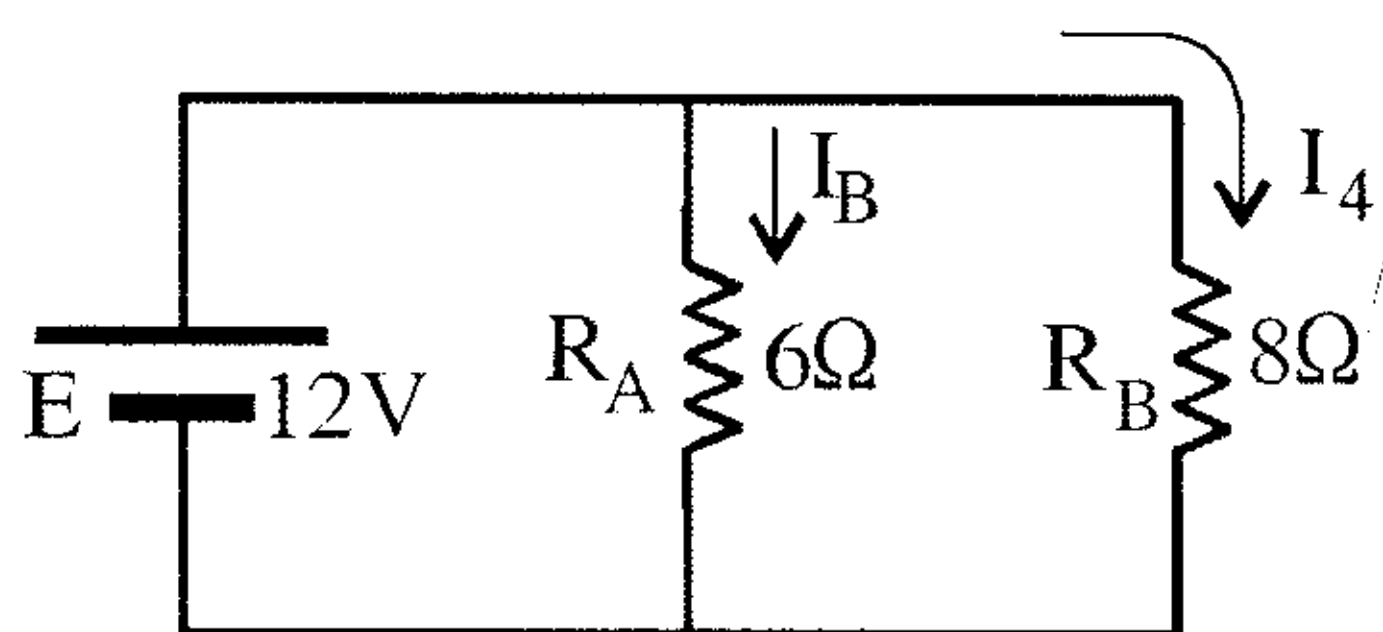
باستخدام (KCL):

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



مثال 4.4: للدائرة بالشكل أوجد I_4 و V_2

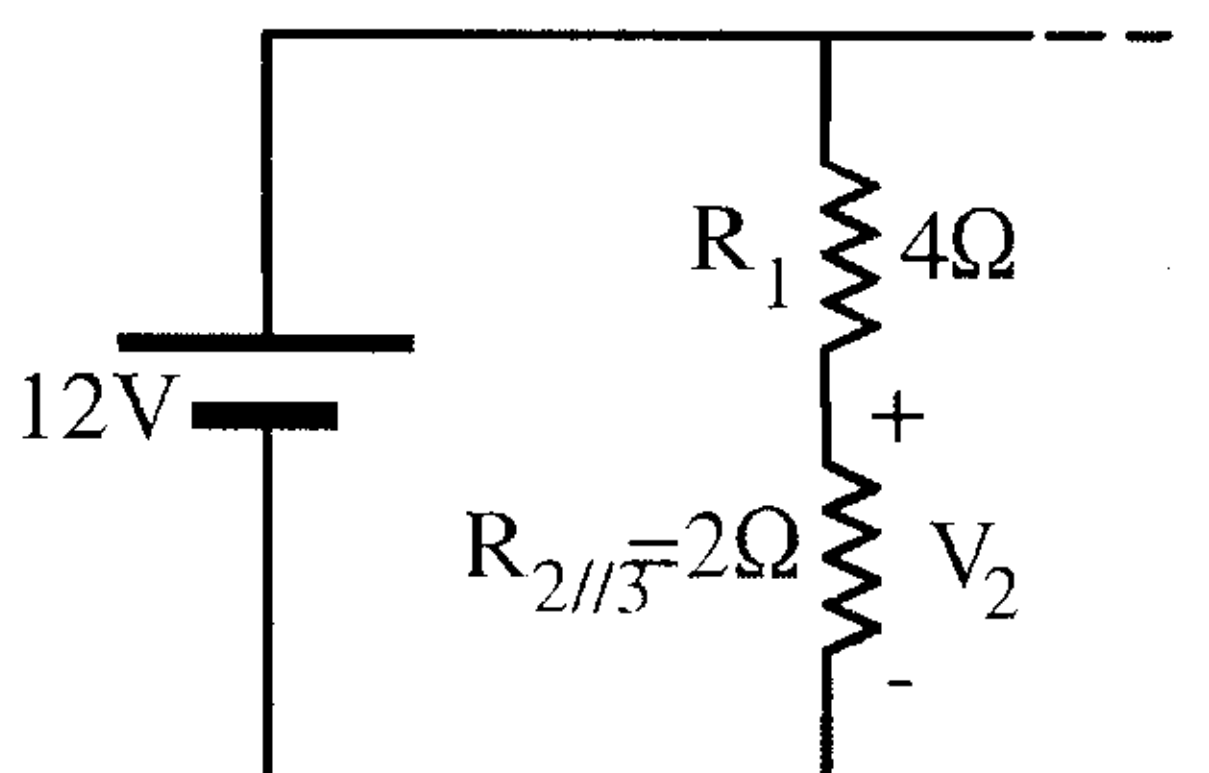
الحل: يمكن اختزال الدائرة كالتالي
الجهود المتساوية في حالة التوازي



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

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

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



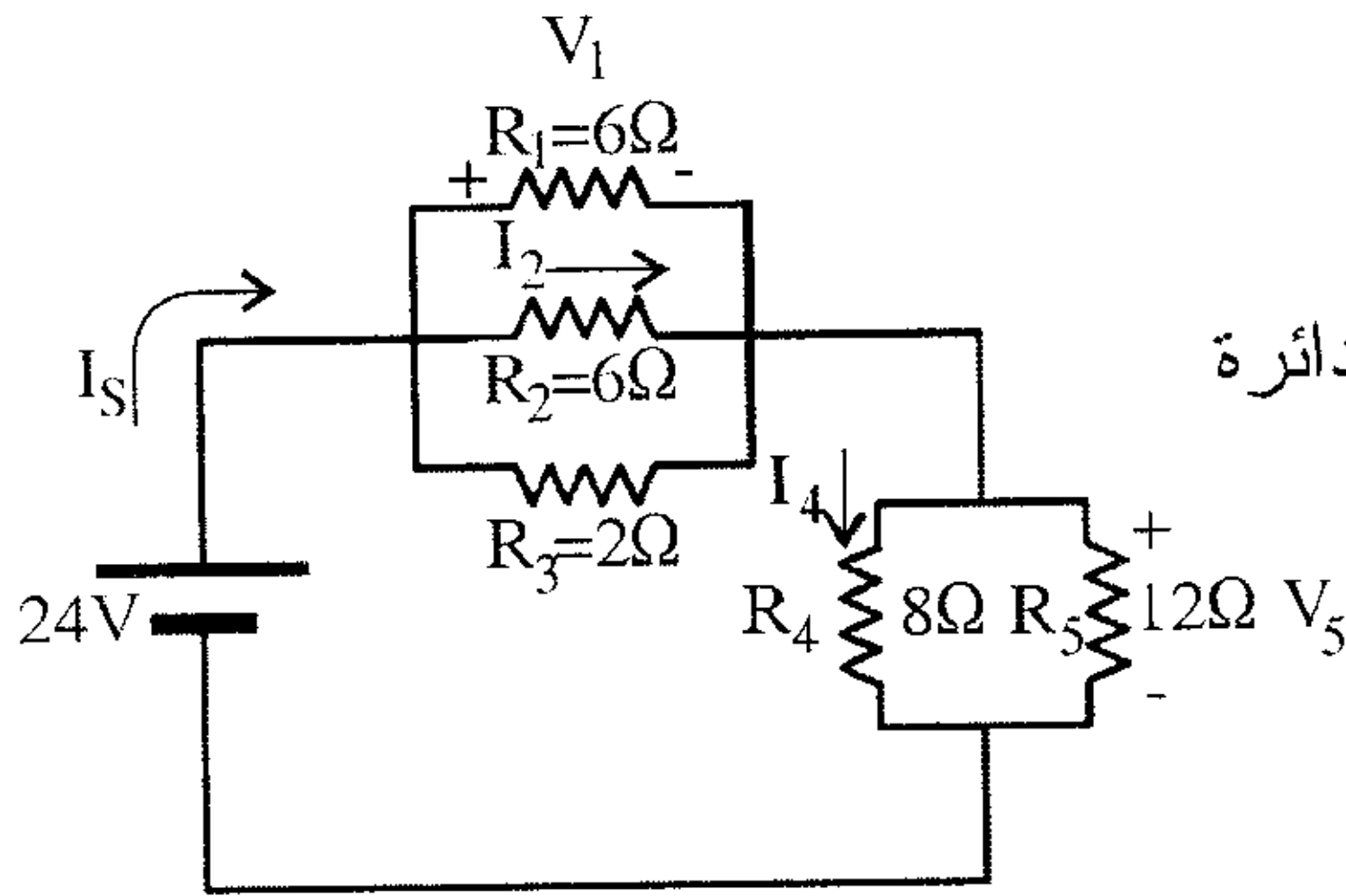
$$R_{2//3} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = \frac{18}{9} = 2\Omega$$

باستخدام (VDR) :

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

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

مثال 5.4:



أوجد التيارات والجهود المجهولة في الدائرة التالية:

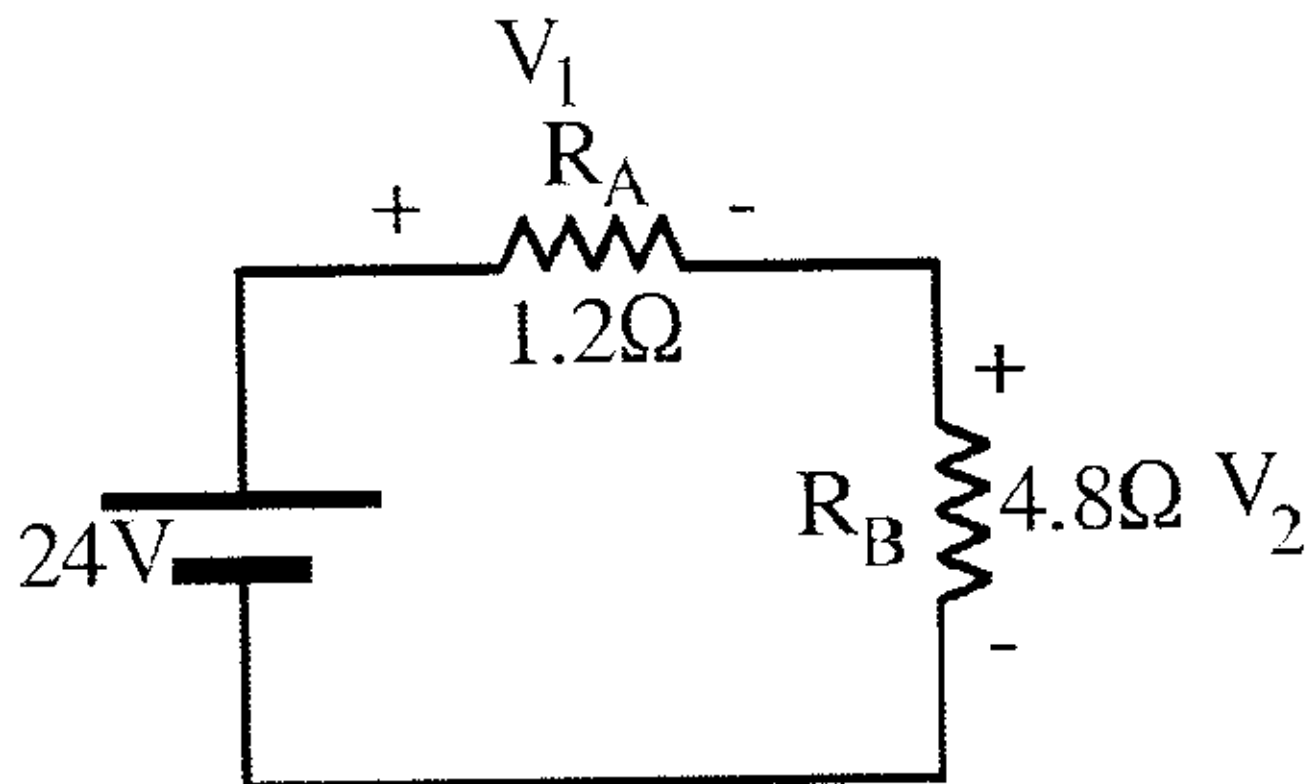
الحل:

$$R_1 // R_2 = 3\Omega$$

,

$$R_A = R_{1//2//3}$$

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



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

$$R_T = R_A + R_B$$

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

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

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

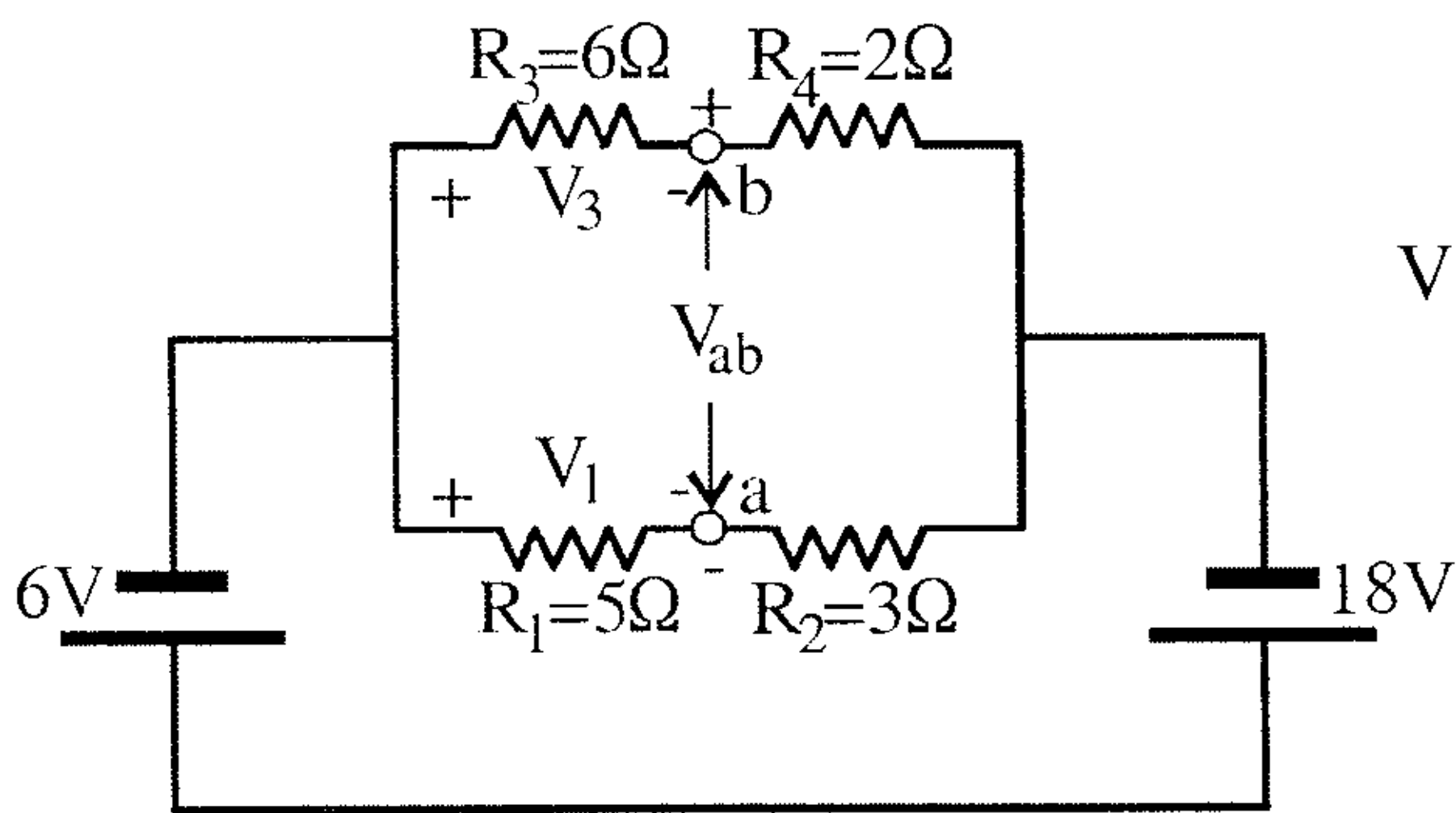
$$V_5 = I_S R_B = (4A) (4.8\Omega) = 19.2V$$

باستخدام قانون أوم في الدائرة الأصلية:

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

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

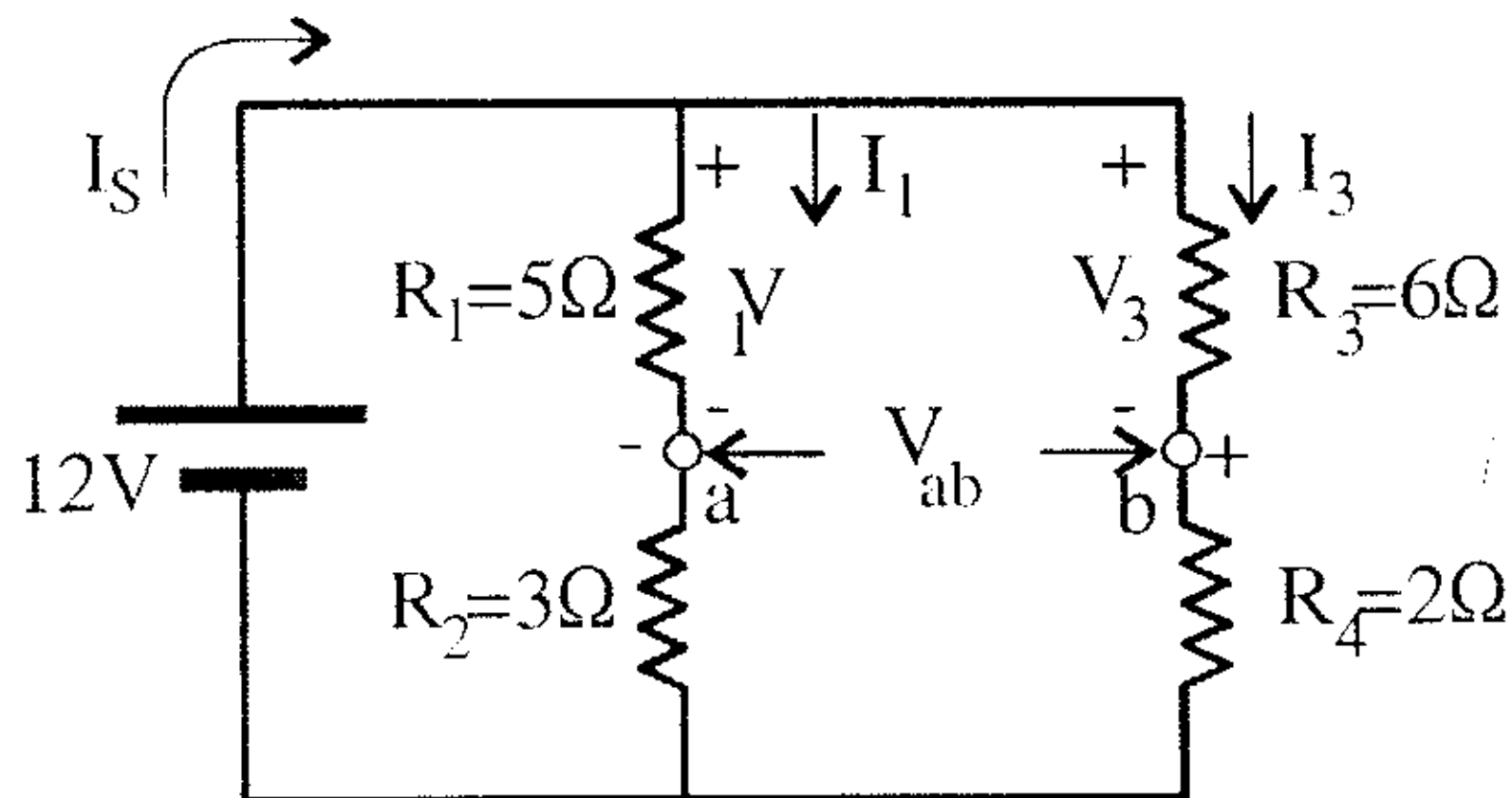
مثال 6.4:



1- أوجد الجهود V_{ab}, V_3, V_1

2- احسب تيار المصدر I_S

الحل:



نجمع مصادر الجهد E_1 و E_2

ونعيد رسم الدائرة:

$$E = E_2 - E_1$$

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

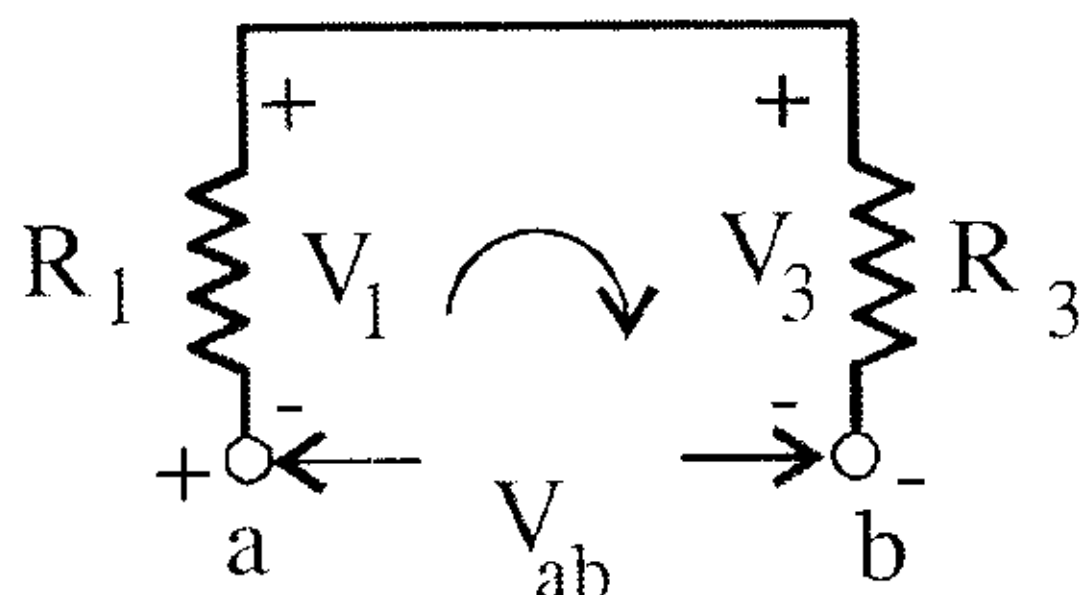
باستخدام قانون مجزئ الجهد

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

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

نستخدم (KVL) في اتجاه عقارب الساعة انطلاقاً 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

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

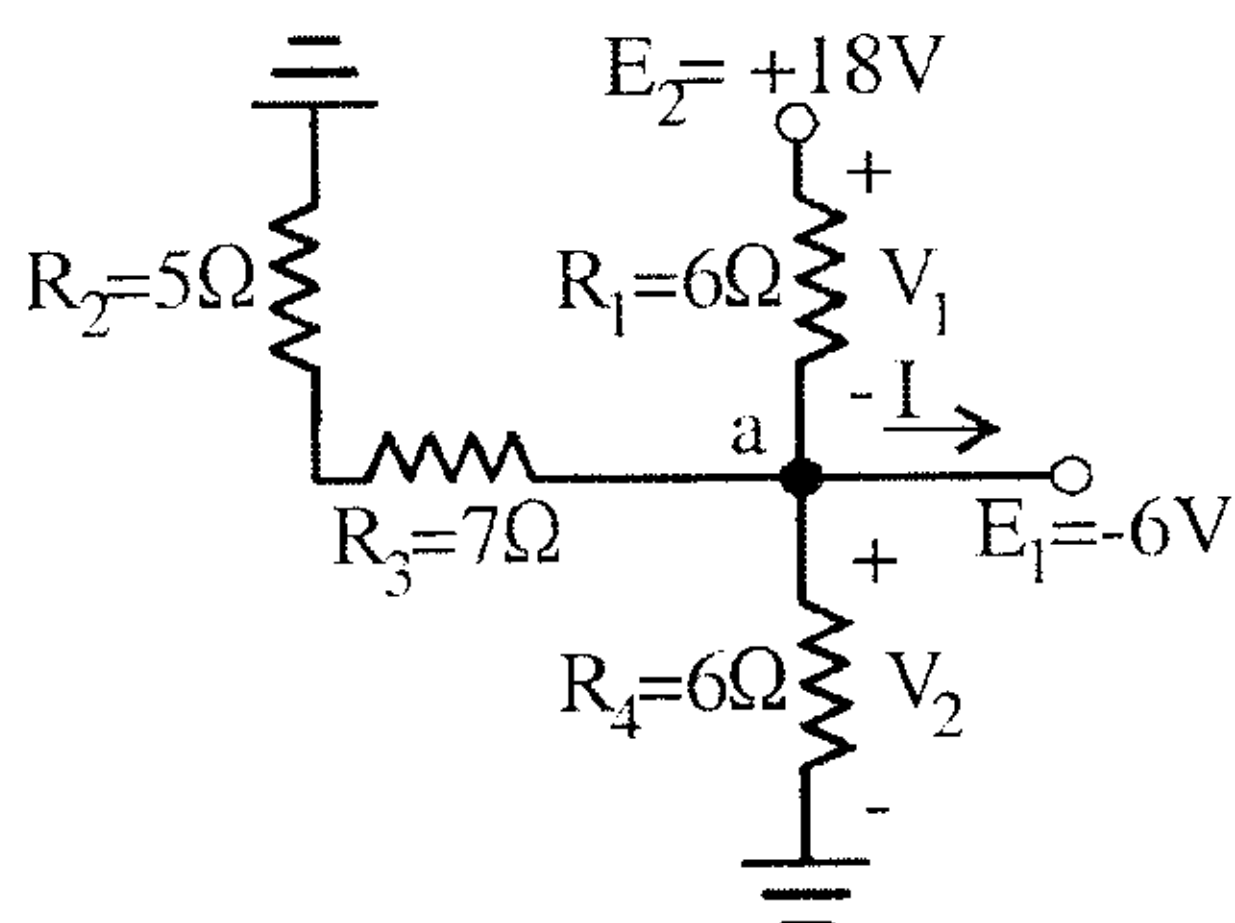
$$I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{9V}{6\Omega} = 1.5A$$

وباستخدام (KCL) :

$$I_S = I_1 + I_3$$

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

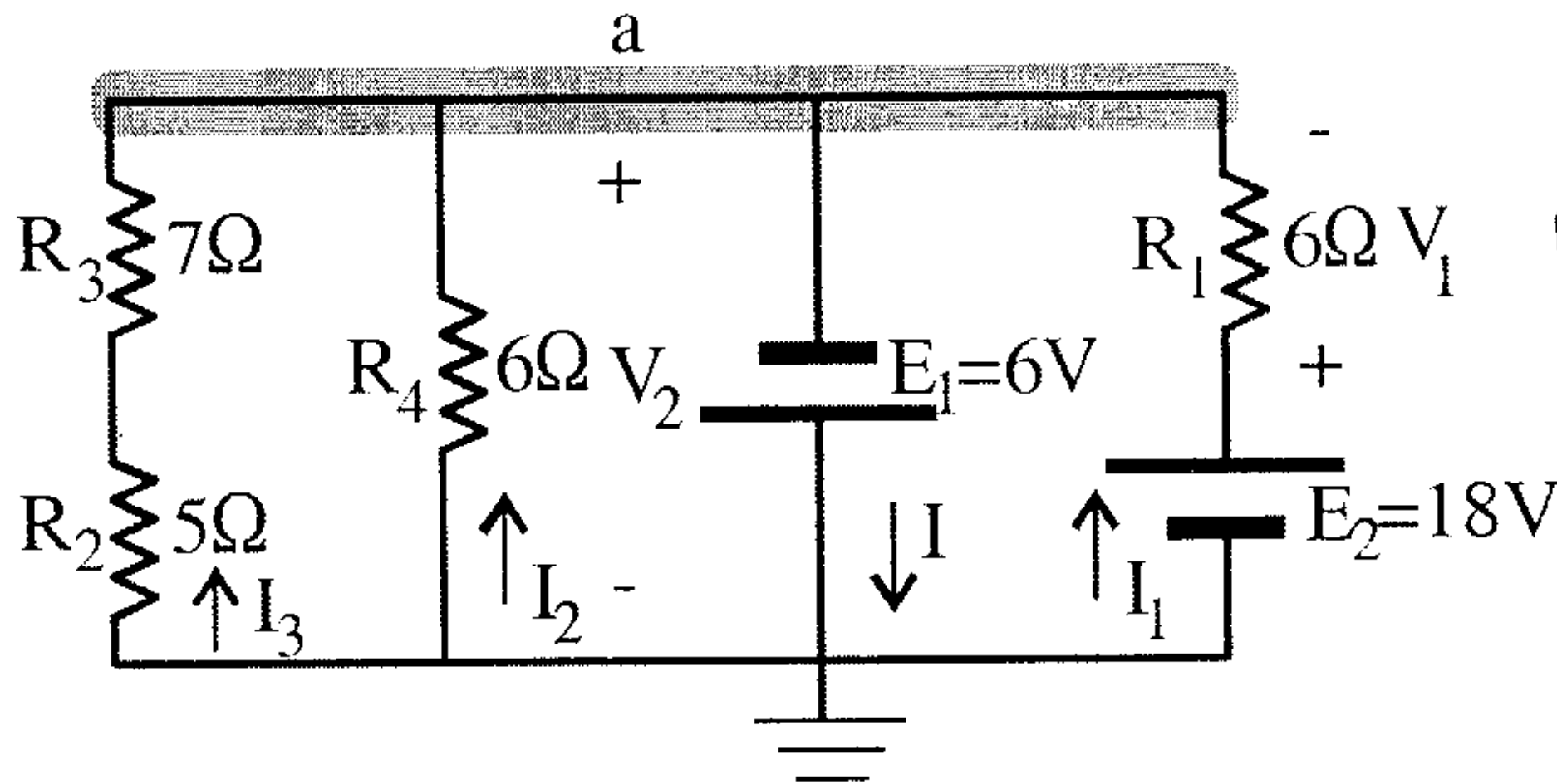
مثال 7.4:



من الدائرة بالشكل التالي أوجد: I, V_2, V_1

الحل:

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

$$-E_1 + V_1 - E_2 = 0 \quad \text{باستخدام (KVL)}$$

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

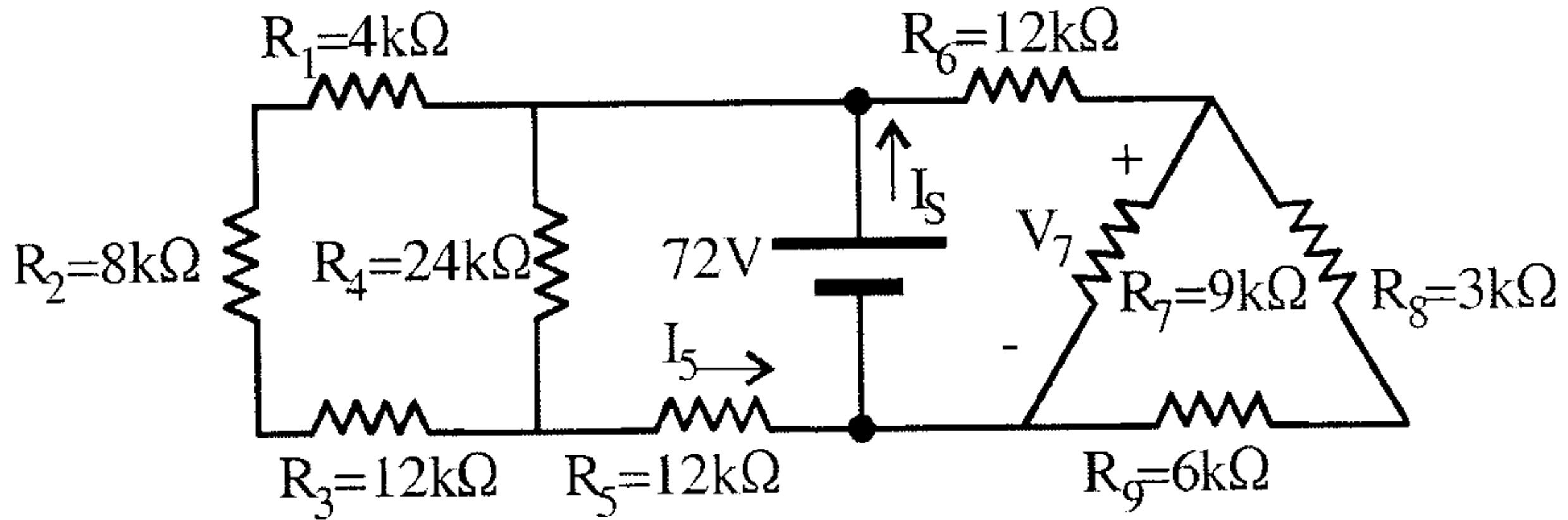
$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad \text{باستخدام (KCL) عند العقدة (a):}$$

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

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

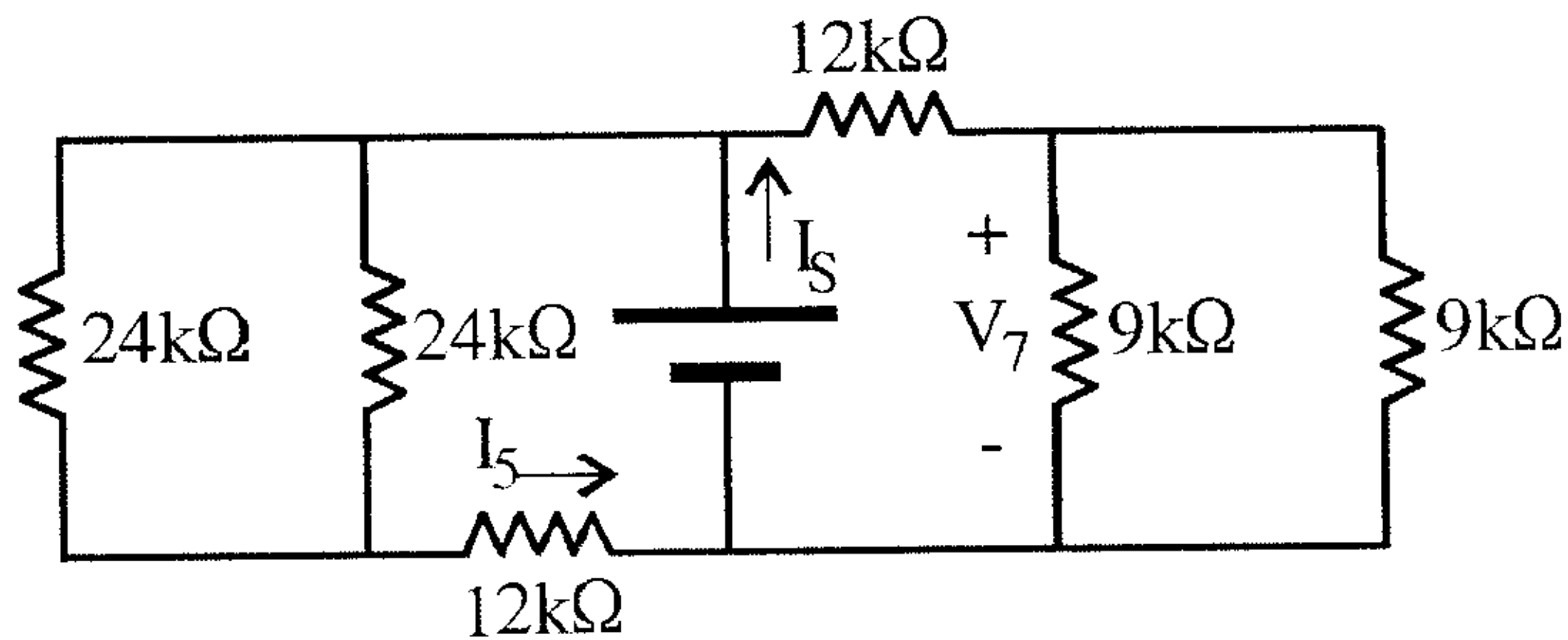
$$I = 4A + 1A + 0.5A = 5.5A$$

مثال 8.4: من الدائرة بالشكل أوجد التيارين I_5 و I_S والجهد V_7 .



الحل:

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

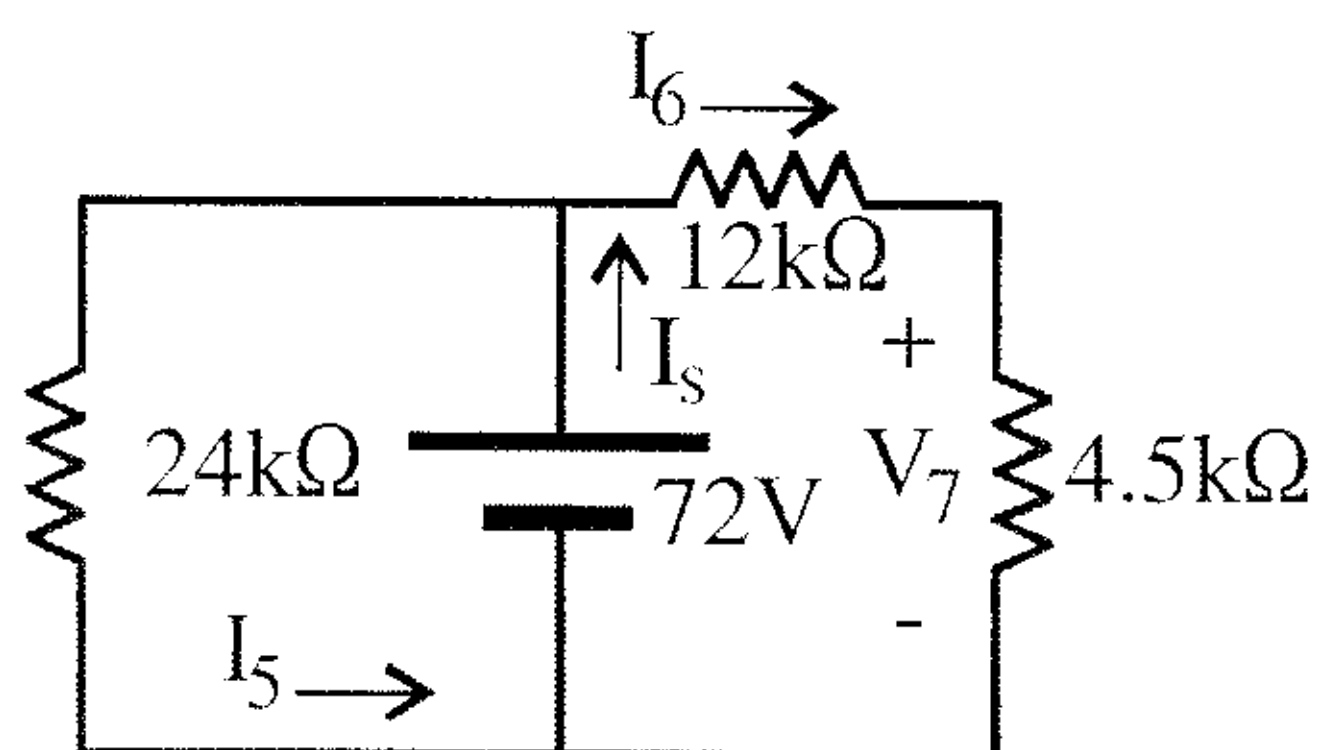


$$12k\Omega \longleftarrow 24k\Omega // 24k\Omega$$

$$24k\Omega \longleftarrow 12k\Omega + 12k\Omega$$

$$4.5k\Omega \longleftarrow 9k\Omega // 9k\Omega$$

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



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

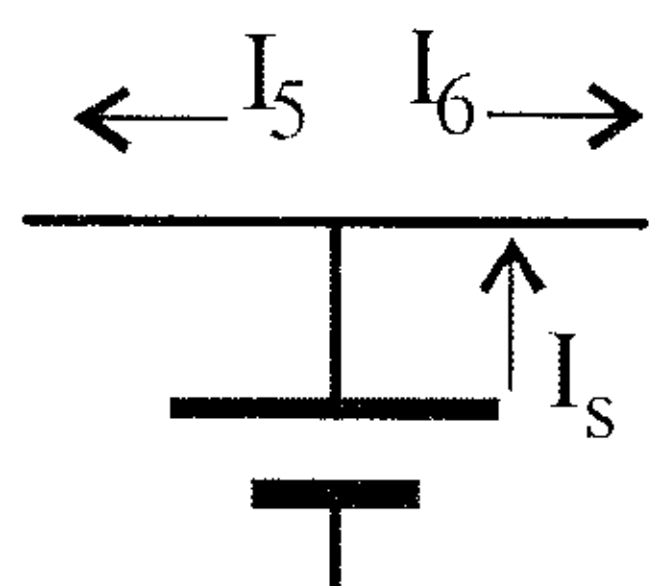
لإيجاد الجهد V_7 نستخدم قانون مجزئ الجهد

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

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



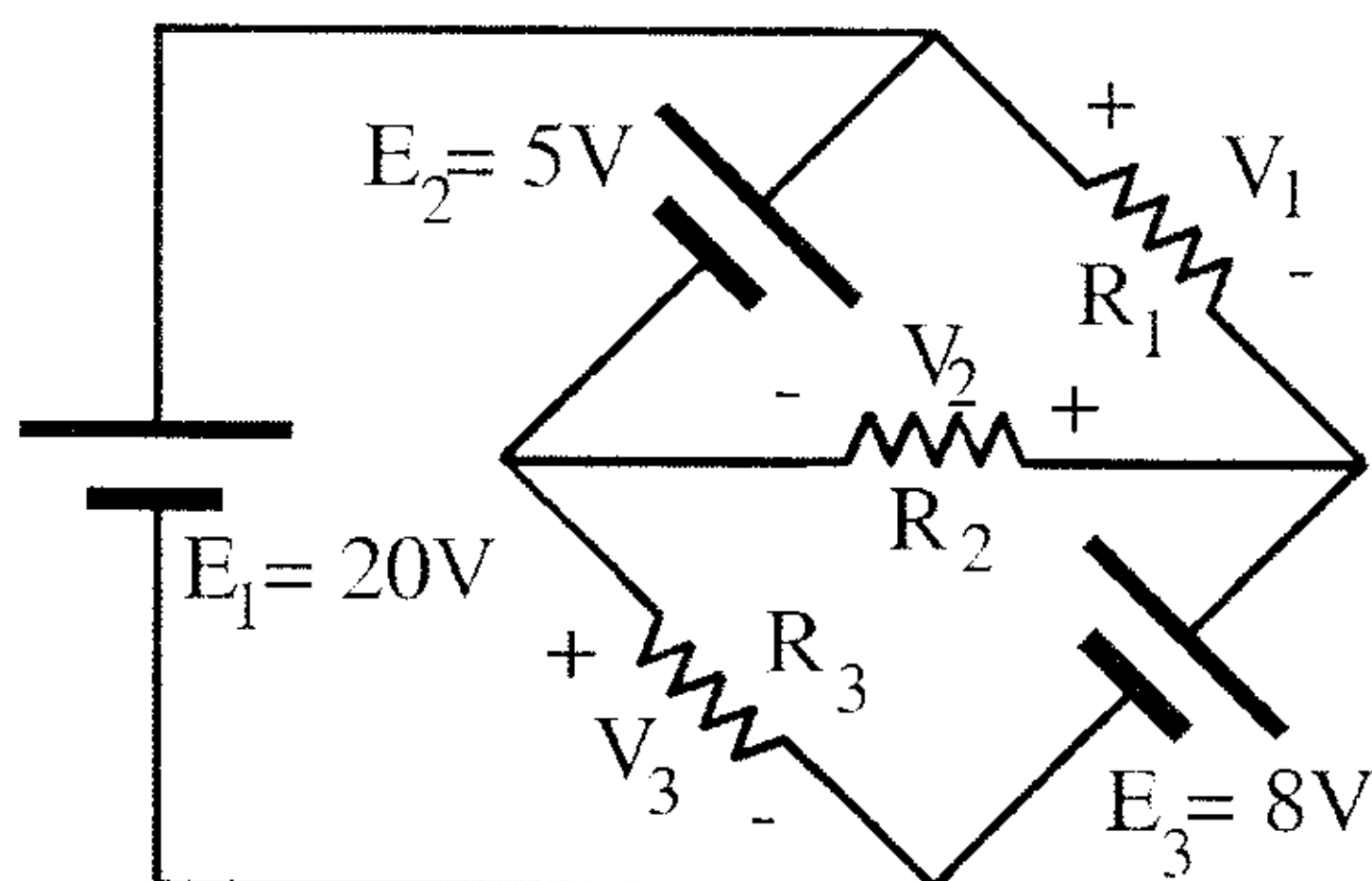
$$I_s = I_5 + I_6$$

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

مثال 9.4: من الدائرة بالشكل

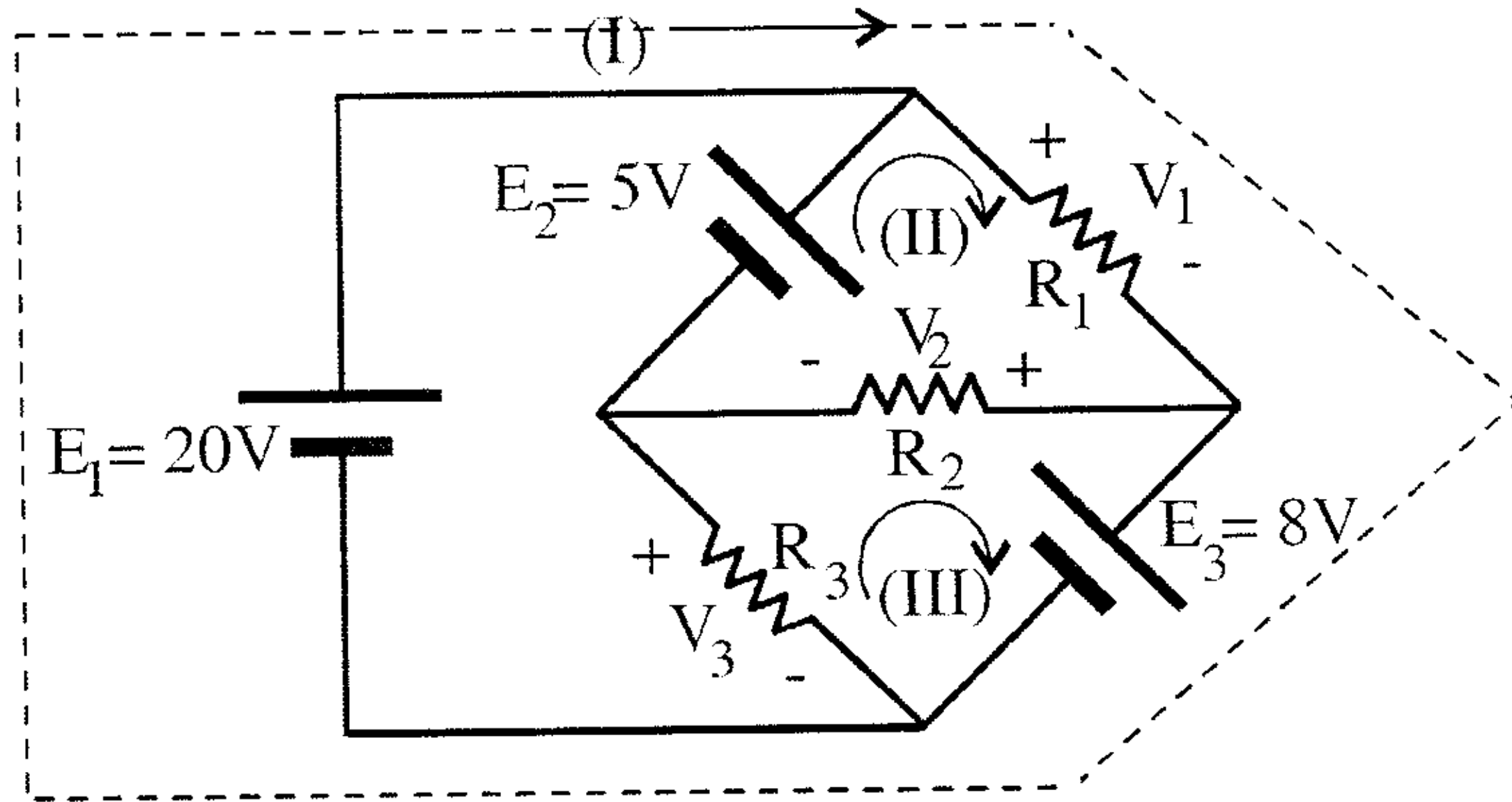
وباستخدام قانون (KVL) أوجد

V_3, V_2, V_1



الحل:

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 عكس ما هو بالدائرة)

المسار الثالث (III)

$$V_3 + V_2 - E_3 = 0$$

$$V_3 = E_3 - V_2$$

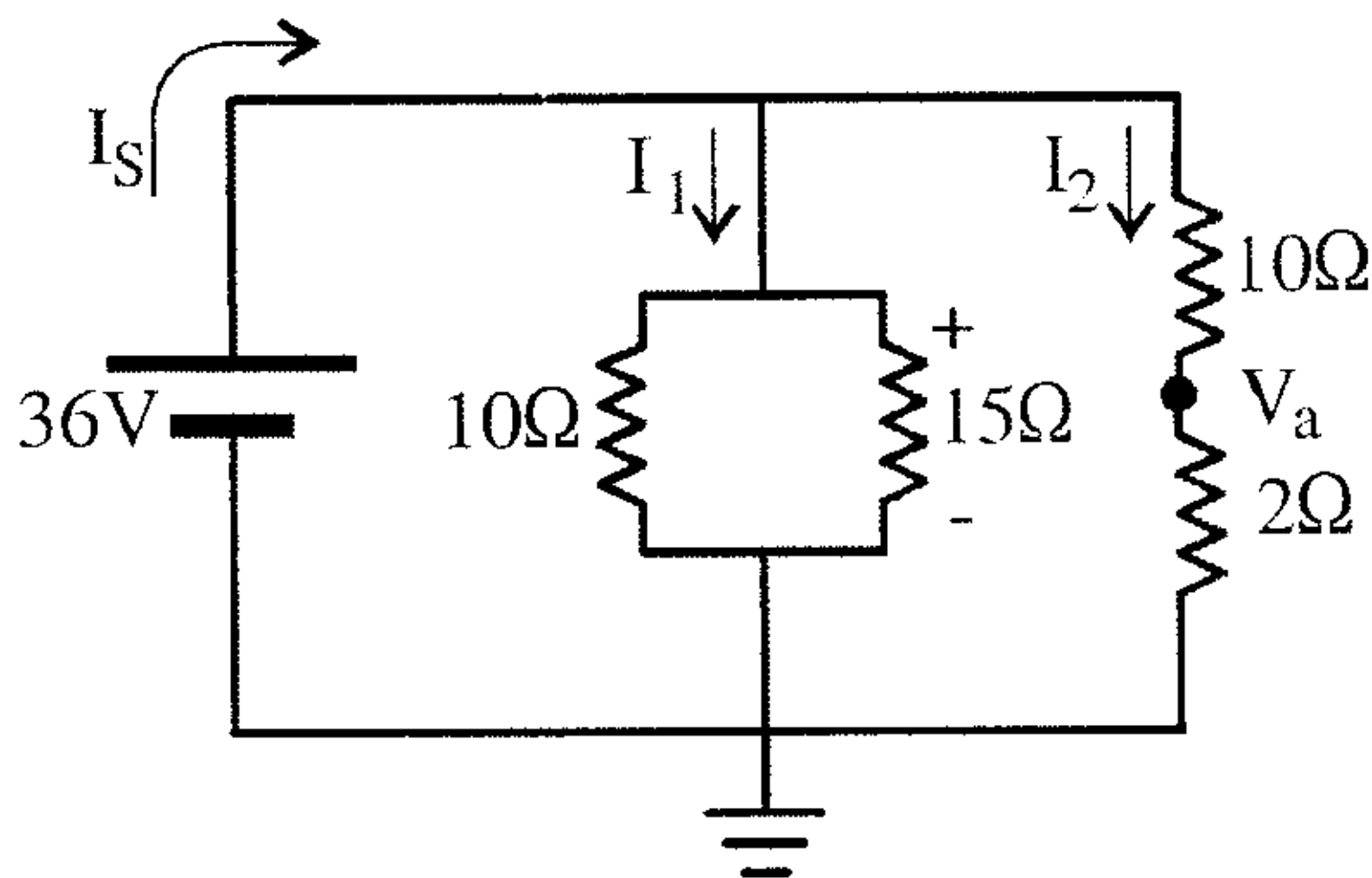
$$= 8V - (-7V)$$

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



2.4 أمثلة متنوعة

(1) من الدائرة بالشكل :-



1- أوجد R_T

2- أوجد I_s, I_1, I_2

3- أحسب V_a

الحل:

توالٍ

$$10\Omega + 2\Omega = 12\Omega$$

-1

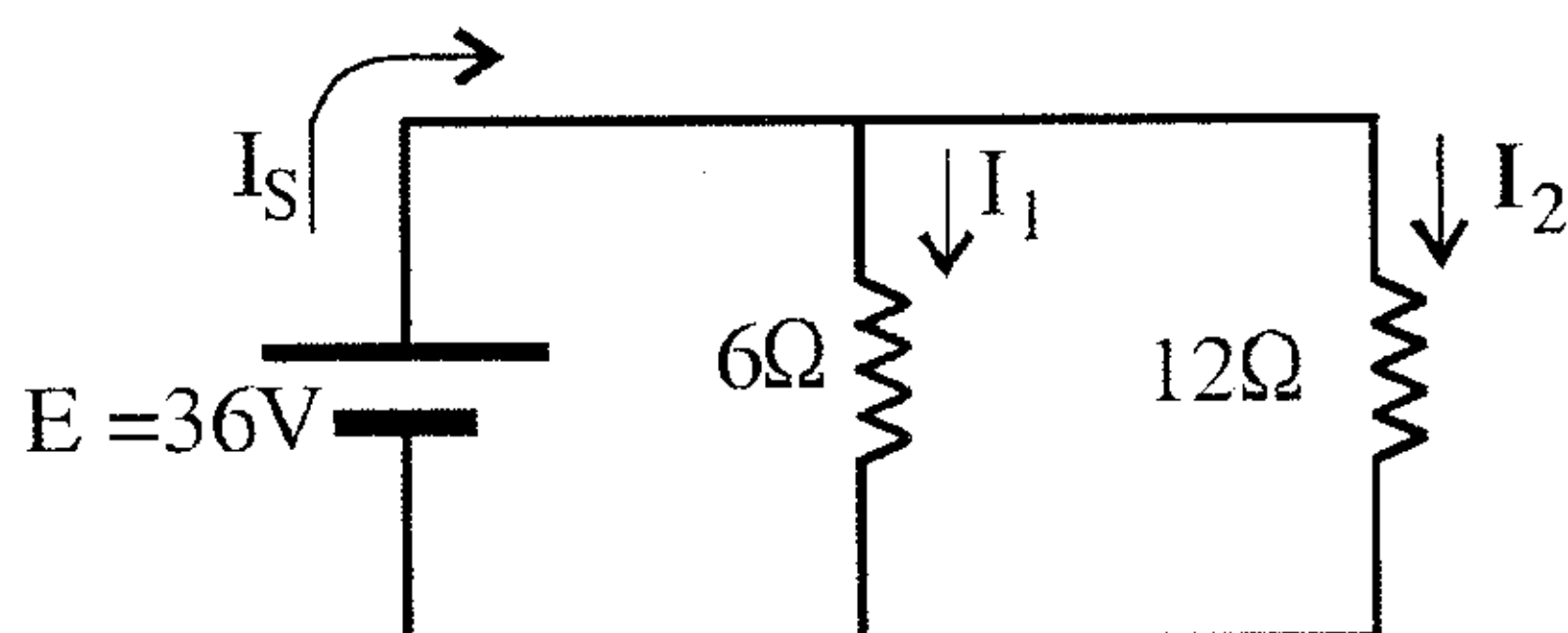
توازٍ

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

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

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

-2



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

نستخدم (CDR) لإيجاد I_2, I_1

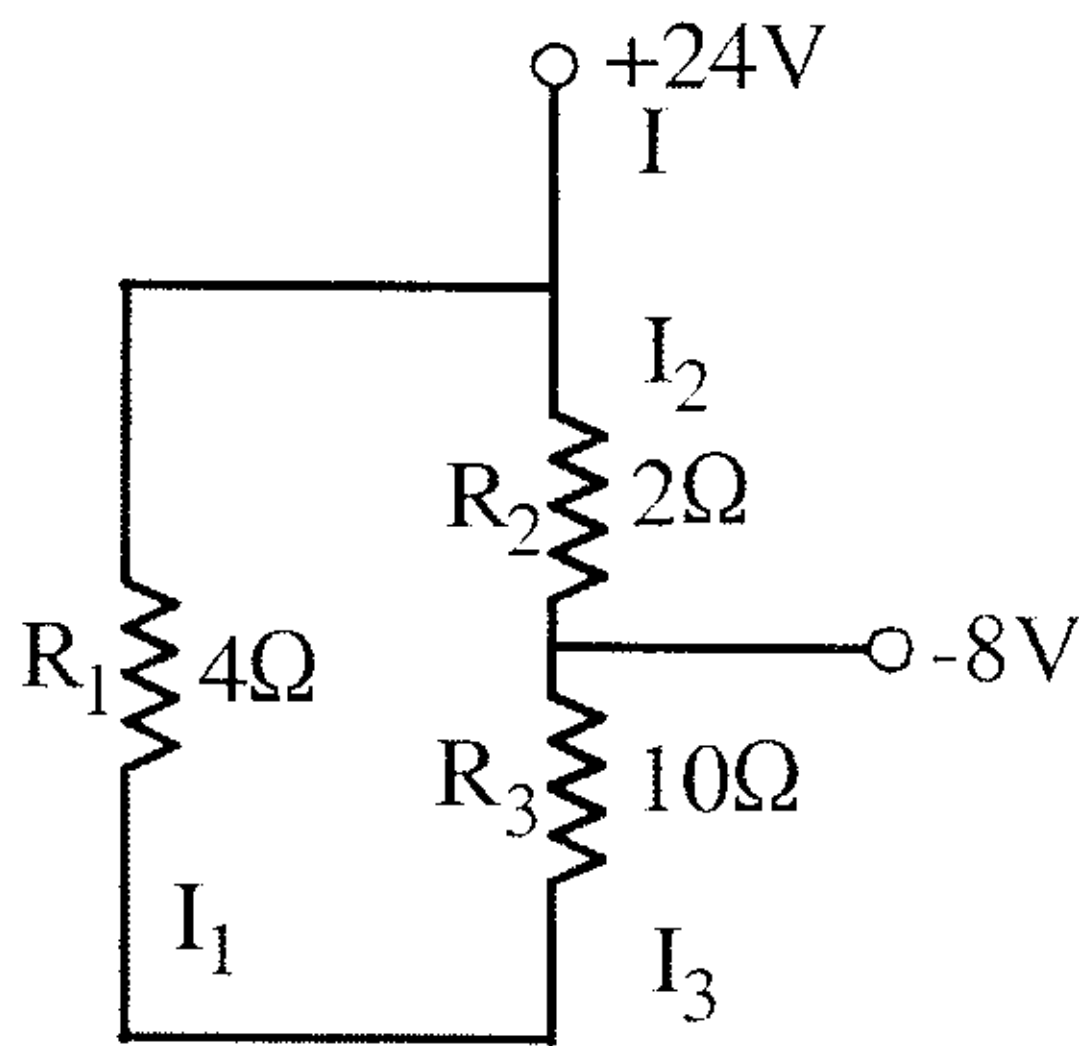
$$I_1 = \frac{(9A)(12\Omega)}{6\Omega + 12\Omega} = 6A$$

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

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

جهد المقاومة (2Ω) هو جهد (V_a)

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

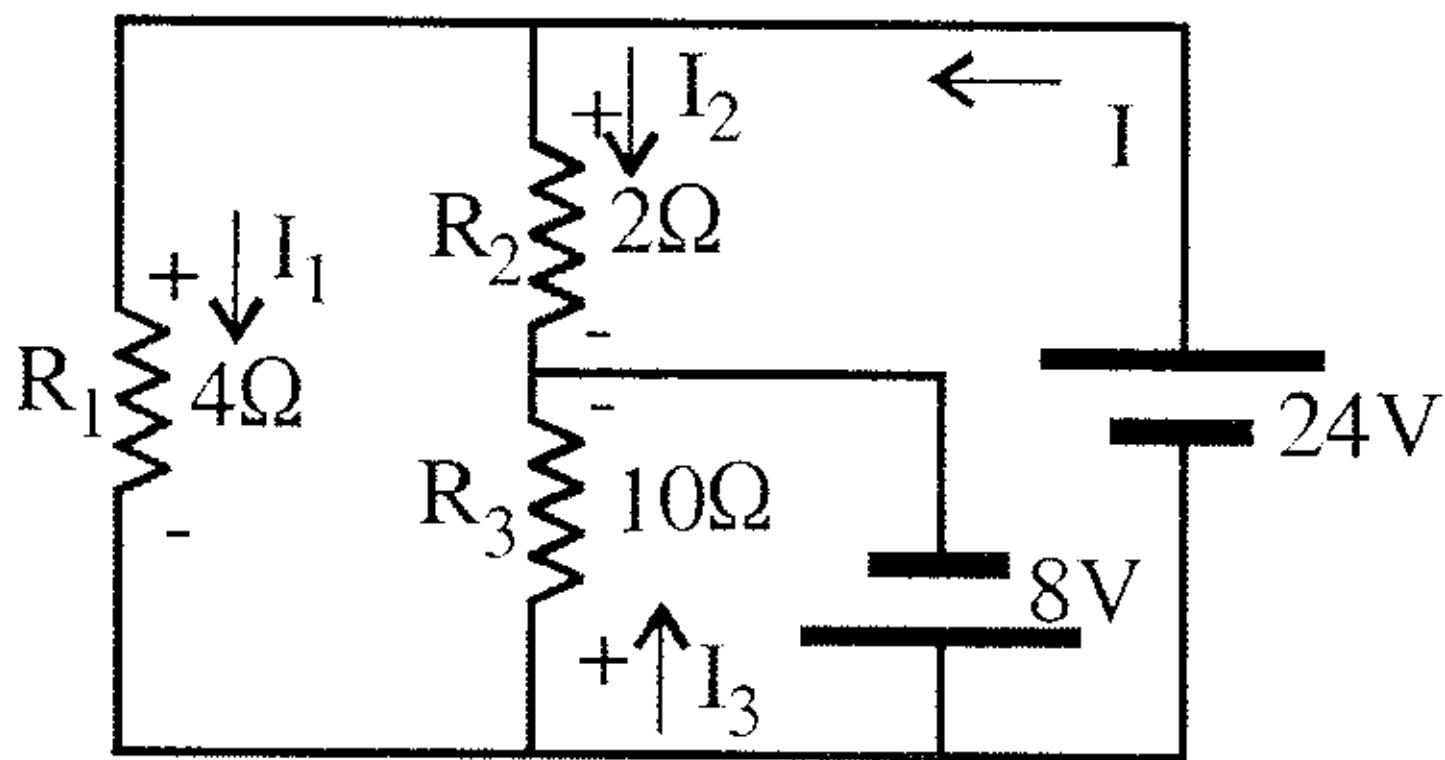


(2) من الدائرة بالشكل التالي أوجد قيمة التيارات:

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

الحل:

يمكن إعادة رسم الدائرة لتبسيط الحل



باستخدام (KVL)

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

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

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

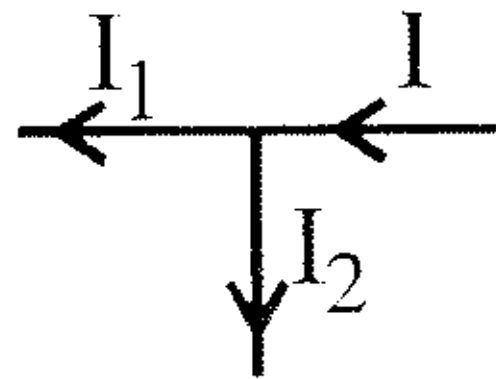
جهد المقاومة (10Ω) يساوى جهد المصدر $(8V)$ بالتوازي

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

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

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

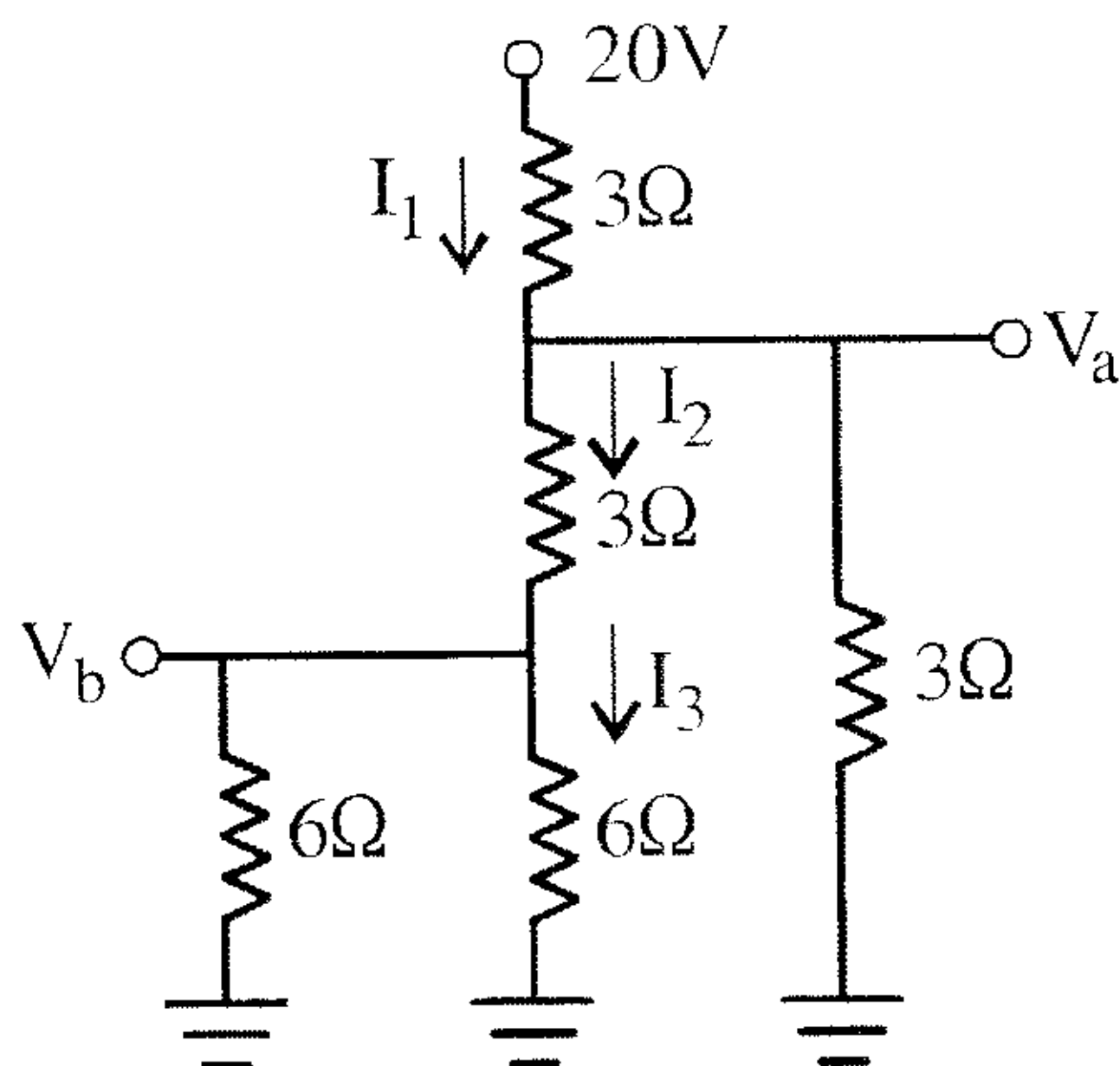
باستخدام قانون (KCL)



$$I = I_1 + I_2$$

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

(3) من الدائرة في الشكل التالي:



1- أوجد التيار I_1

2- أوجد التيارين I_2 و I_3

3- الجهد V_b, V_a

الحل:

1- لإيجاد تيار المصدر I_1 يجب حساب المقاومة الكلية

$$\begin{array}{lcl} 3\Omega & \longleftarrow & 6\Omega // 6\Omega \\ 6\Omega & \longleftarrow & 3\Omega + 3\Omega \\ 2\Omega & \longleftarrow & 3\Omega // 6\Omega \end{array}$$

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

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

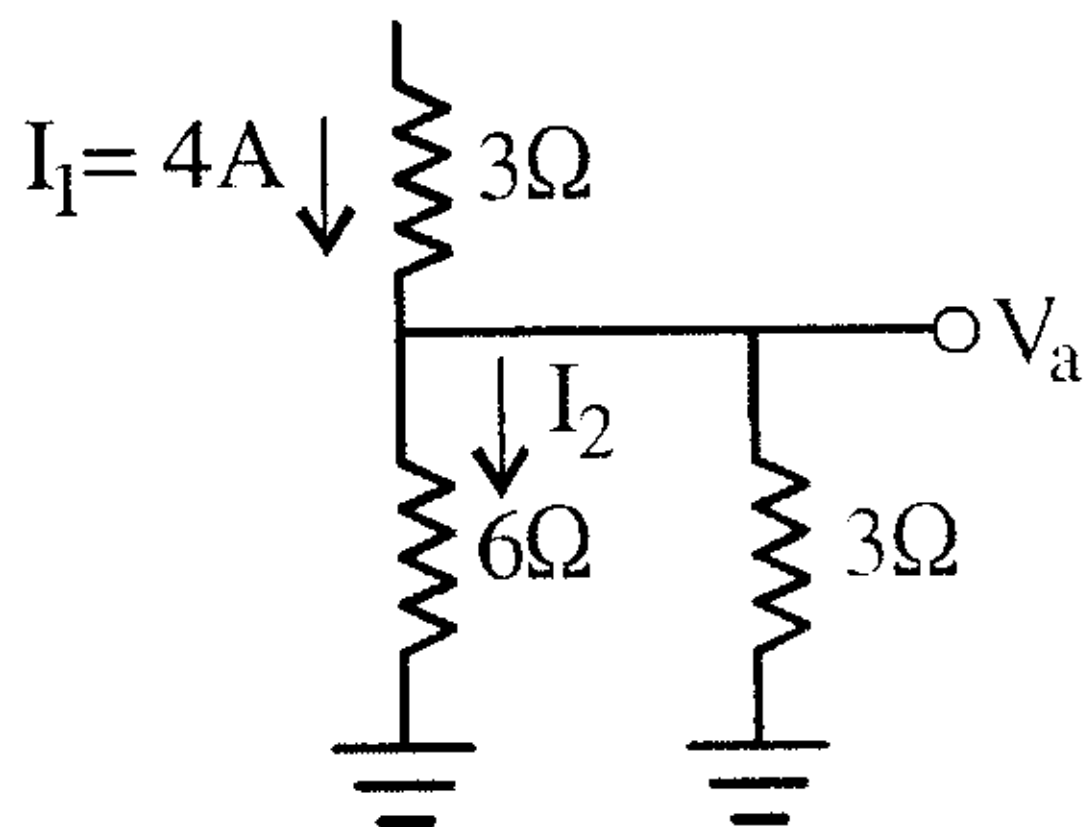
2- باستخدام (CDR) نحصل على I_2 و I_3

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

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

لأن التيار I_2 يتجزأ بالتساوي على المقاومتين المتساويتين (6Ω) و (6Ω)

3- من الدائرة المختزلة (1) نلاحظ أن



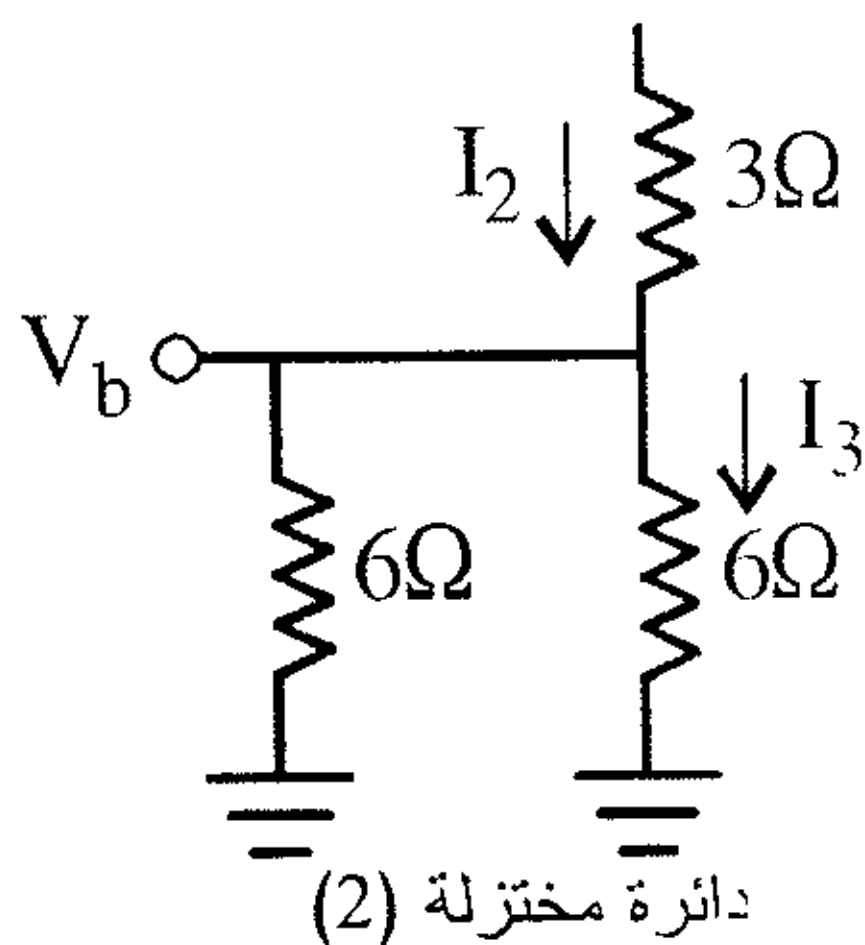
دائرة مختزلة (1)

الجهد (V_a) يساوى جهد المقاومة (3Ω) والمقاومة (6Ω) بالتوازي

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

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

من الدائرة المختزلة (2) نلاحظ أن



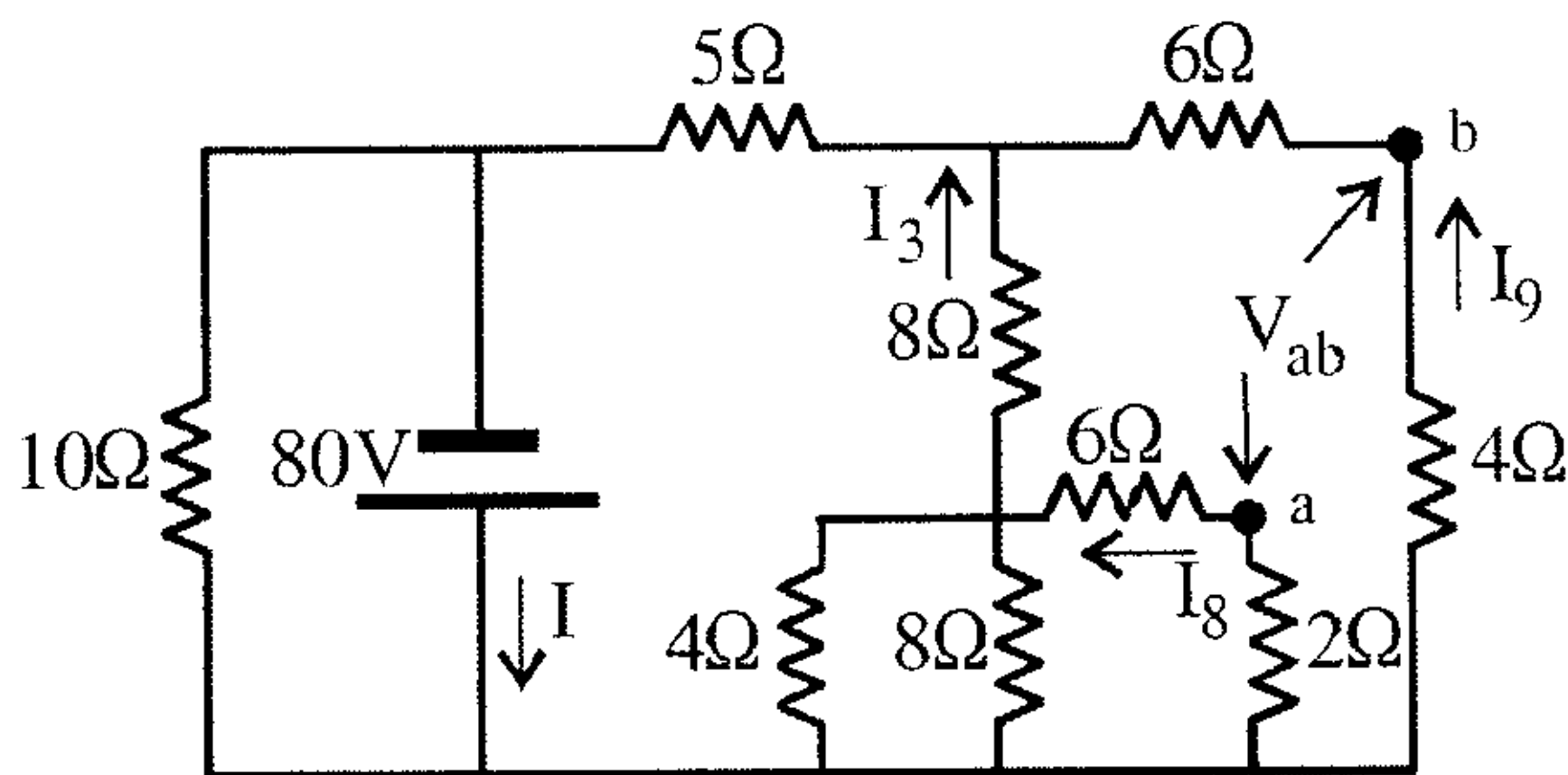
دائرة مختزلة (2)

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 .

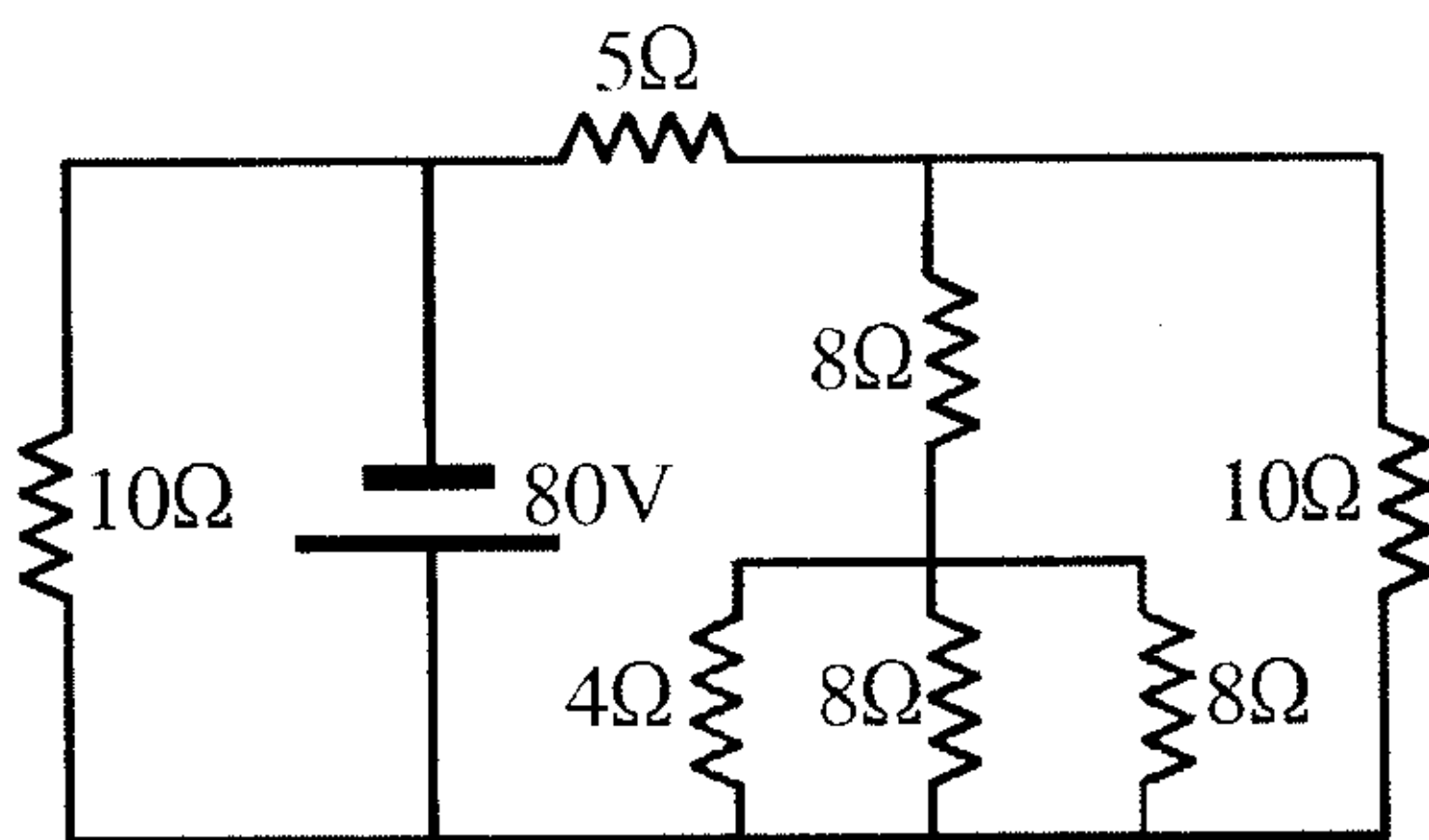
2- I_3 و I_9 .

3- I_8 .

4- الجهد V_{ab} .

الحل:

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



$6 + 4 \rightarrow 10$ توألي

$6 + 2 \rightarrow 8$ توألي

$8 // 8 \rightarrow 4$ توازي

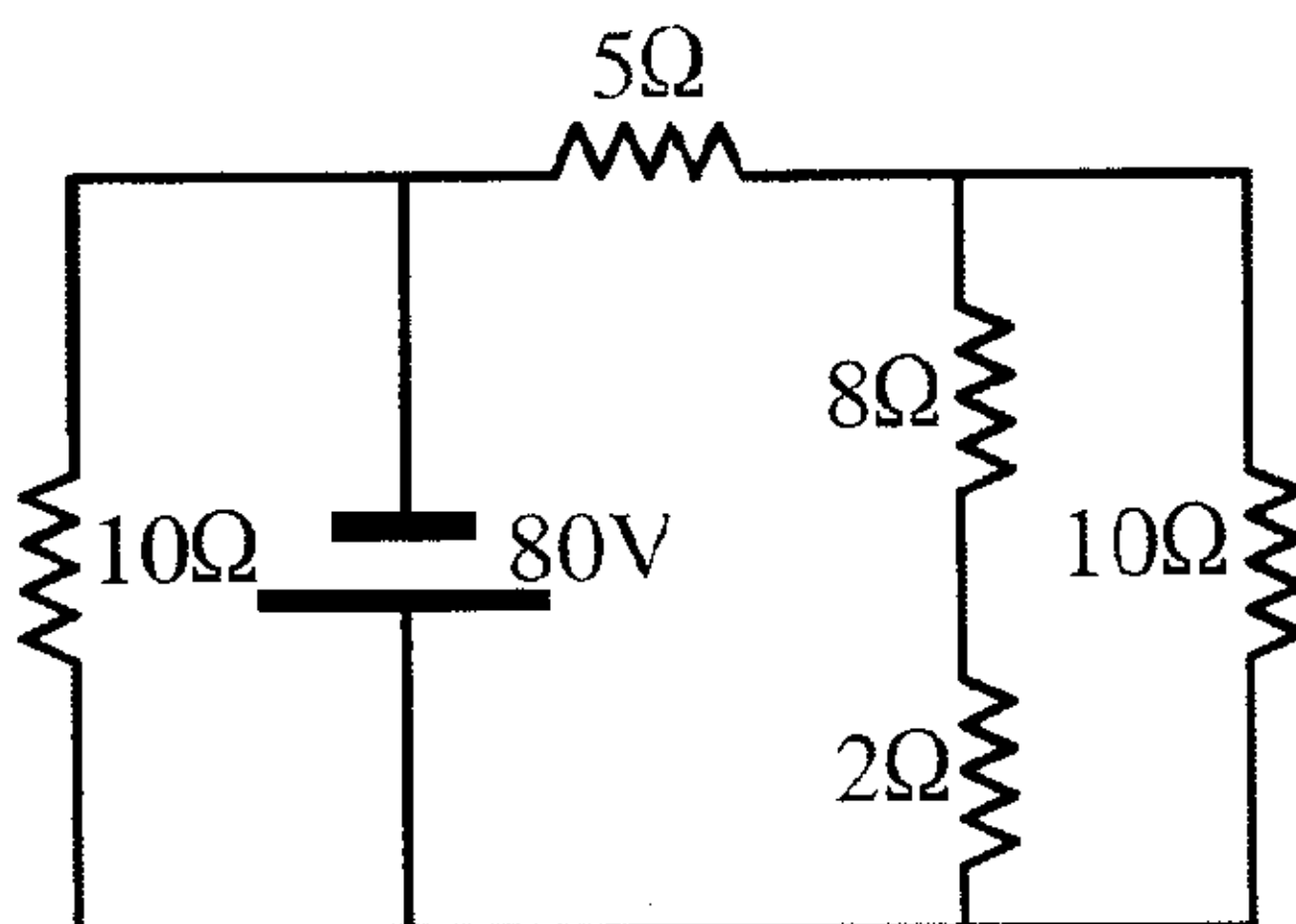
$4 // 4 \rightarrow 2$ توازي

$8 + 2 \rightarrow 10$ توألي

$10 // 10 \rightarrow 5$ توازي

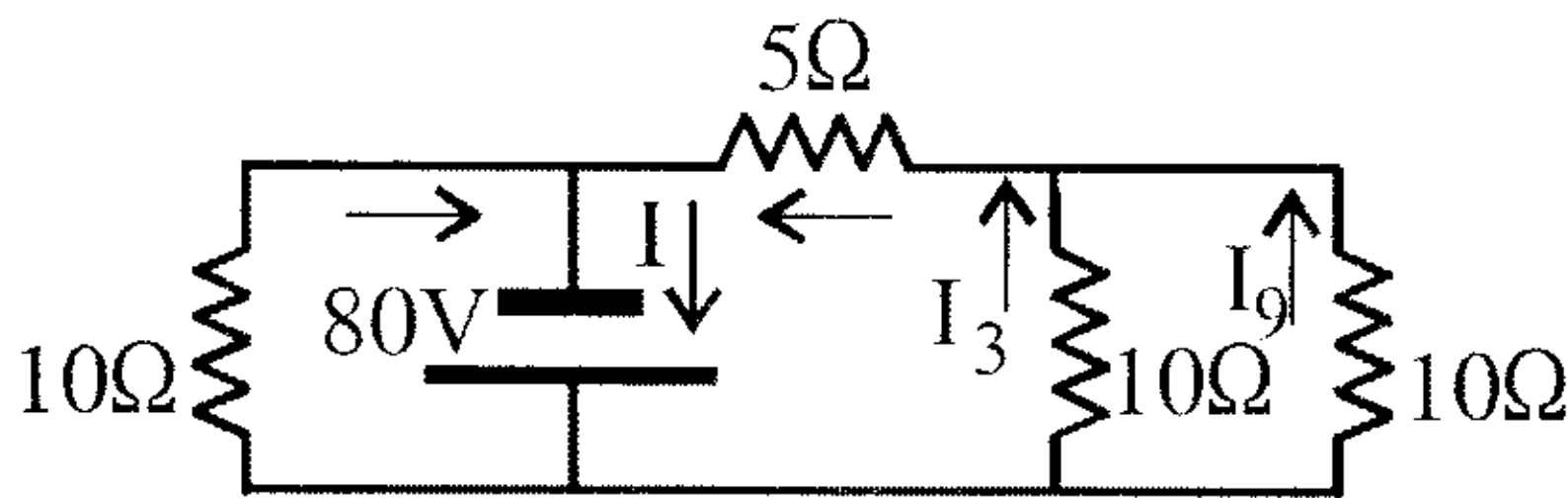
$5 + 5 \rightarrow 10$ توألي

$10 // 10 \rightarrow 5$ توألي



$$\therefore R_T = 5\Omega$$

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

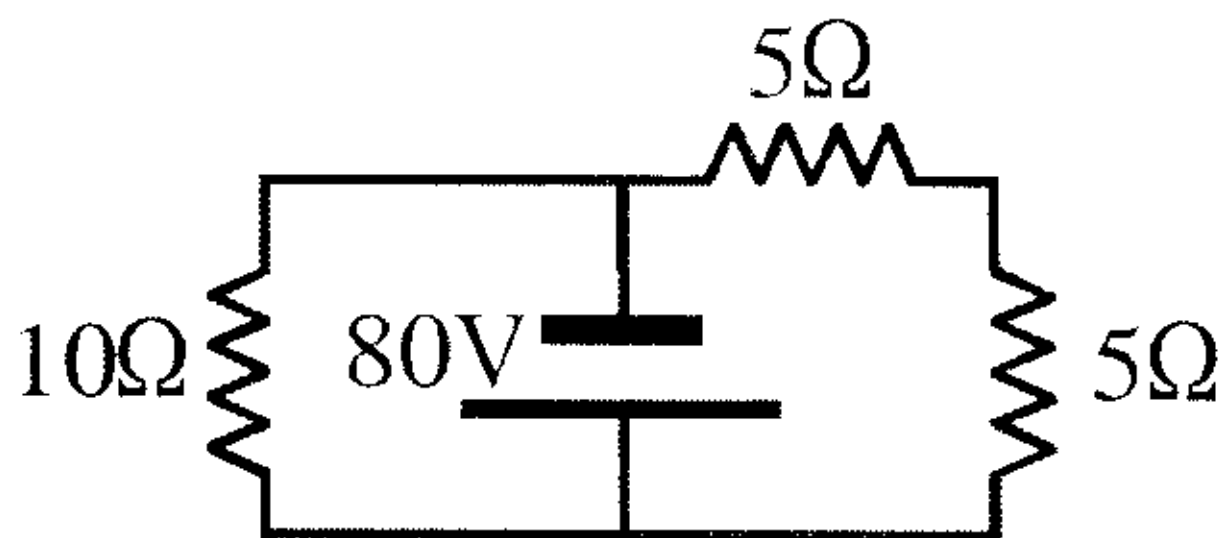


2- من اختزال الدائرة يمكن إيجاد

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:

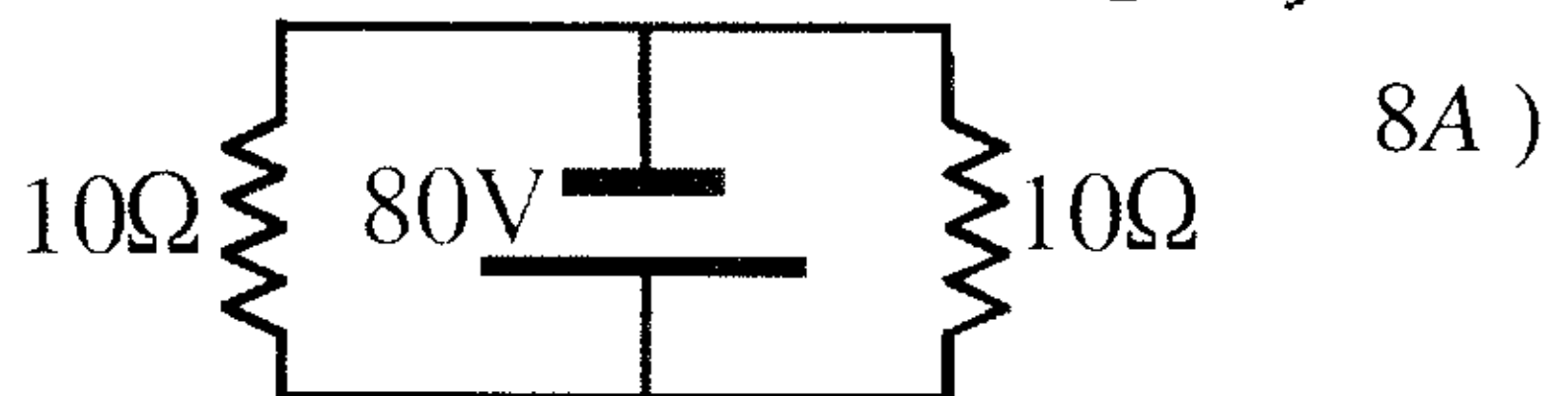
وبما أن تيار المصدر تم إيجاده ويساوي

(16A) ومصدر الجهد (80V) على

التوازي مع المقاومتين المتساويتين في المقدار (10Ω) لهذا فإن تيار المصدر يتجزأ بالتساوي على

وبالتالي:

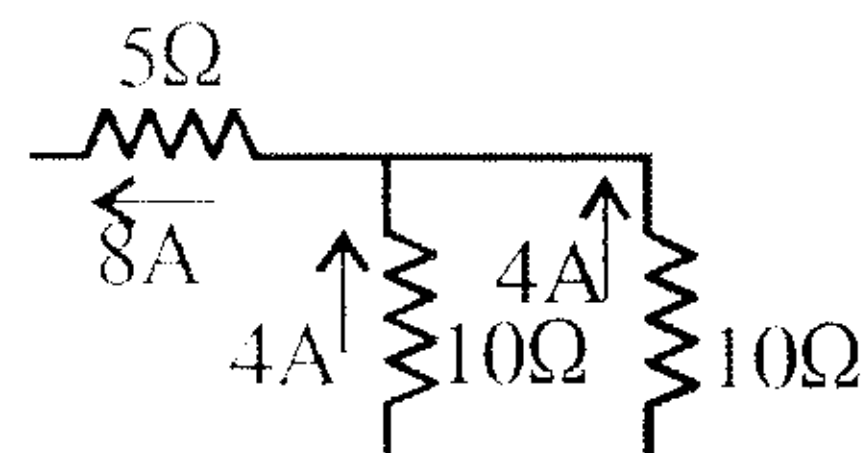
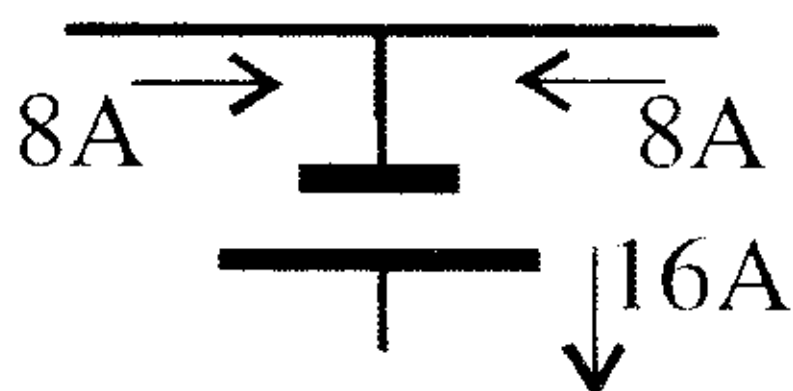
$$I_{10\Omega} = I_{5\Omega} = 8A$$



على يمين الدائرة المقاومتين $10\Omega, 10\Omega$ توازي.

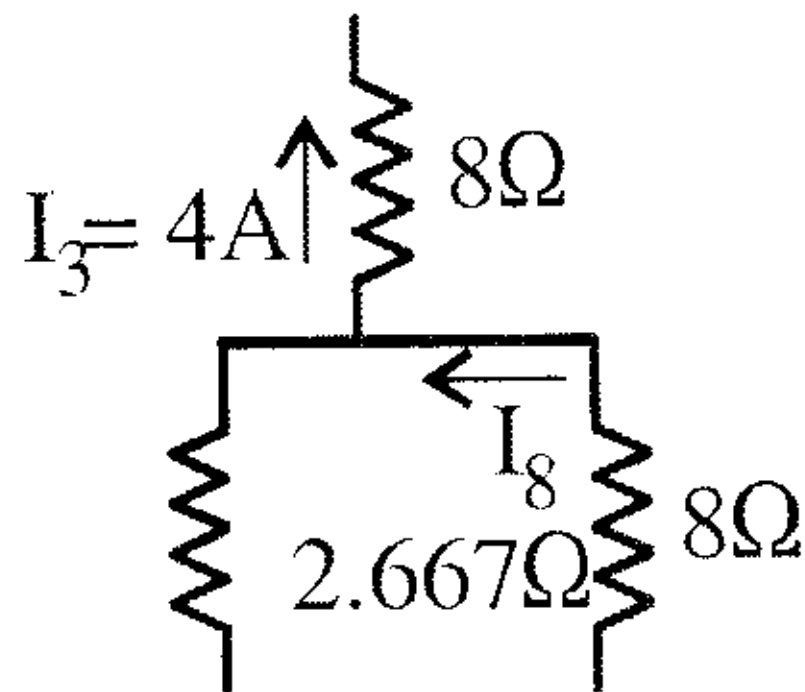
التيار الخارج من العقدة (8A) .

$\therefore$ مجموع التيارين I_3 و I_9 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

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

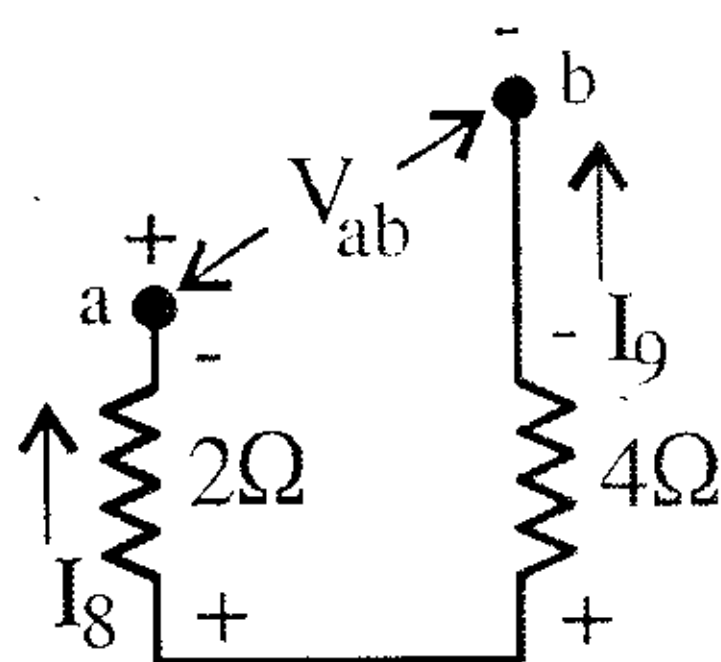
$$= (1A)(2\Omega) = 2V$$

باستخدام (KVL)

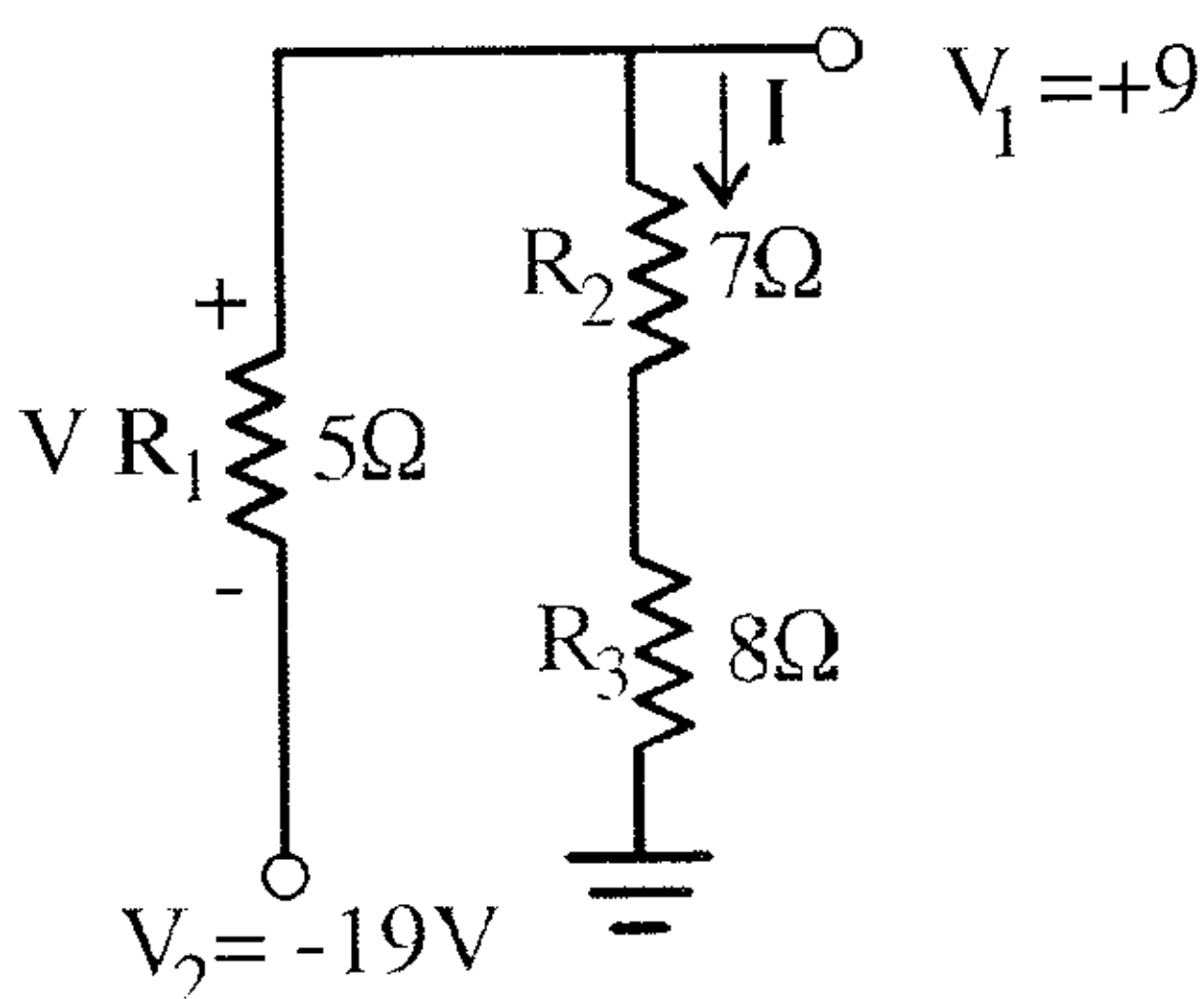
$$-V_{ab} + V_{4\Omega} - V_{2\Omega} = 0$$

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

$$V_{ab} = 14V$$



(5) من الدائرة بالشكل التالي:

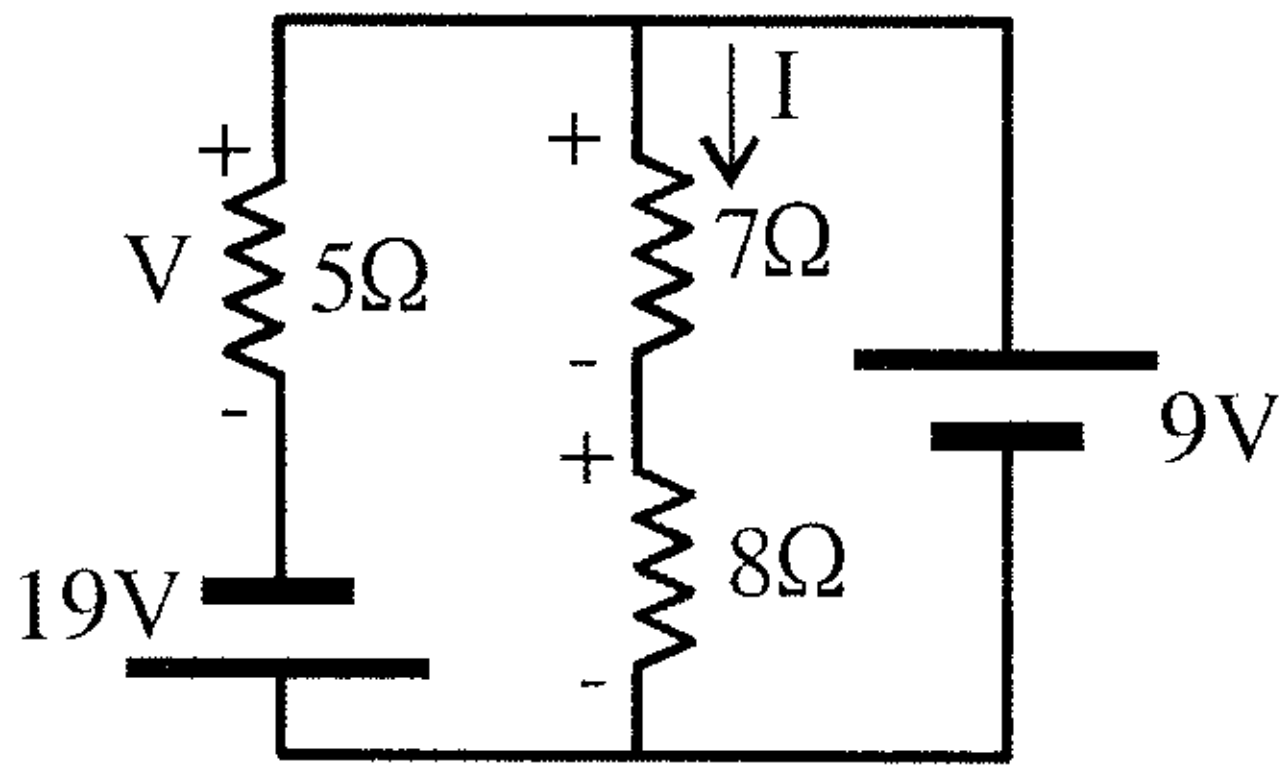


1- أوجد قيمة التيار (I).

2- أوجد الجهد (V).

الحل:

إعادة رسم الدائرة لتوضيح وضعية مصادر الجهد V_1 و V_2



توالٍ $7\Omega + 8\Omega = 15\Omega$

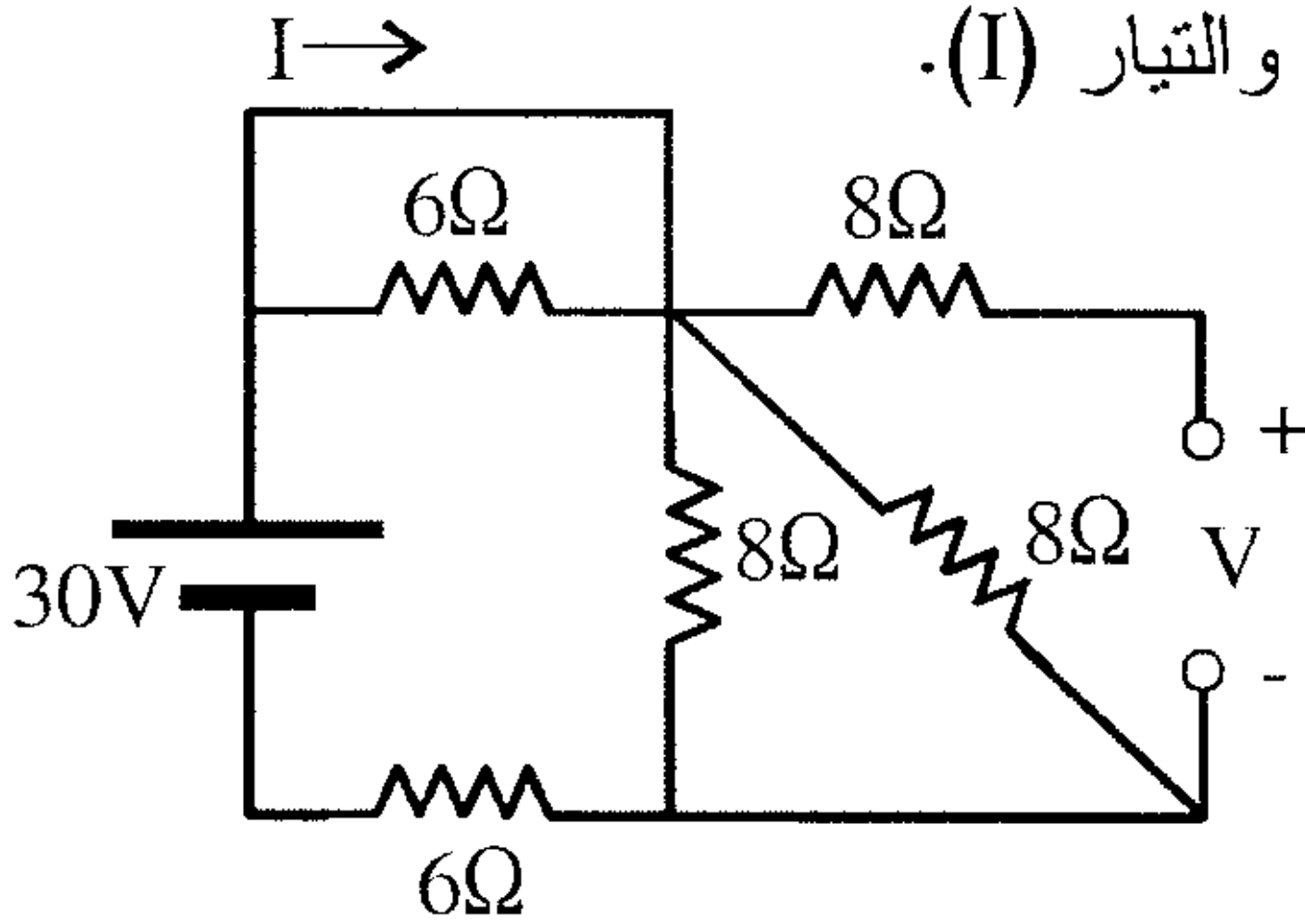
$$I = \frac{9}{15} = 0.6A$$

باستخدام (KVL) لإيجاد (V)

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

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

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

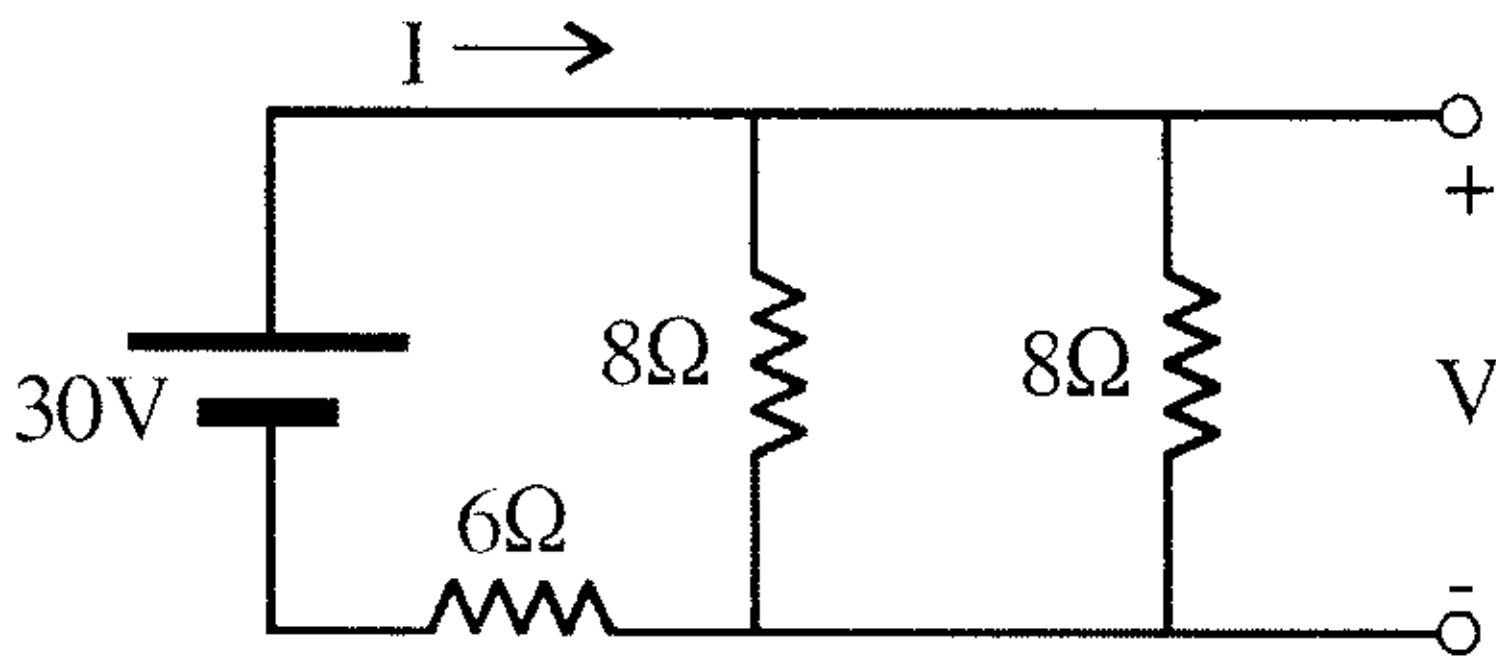


الحل:

8Ω دائرة مفتوحة إذا تلغى

6Ω دائرة مغلقة كذلك تلغى

تصبح الدائرة كالتالي



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

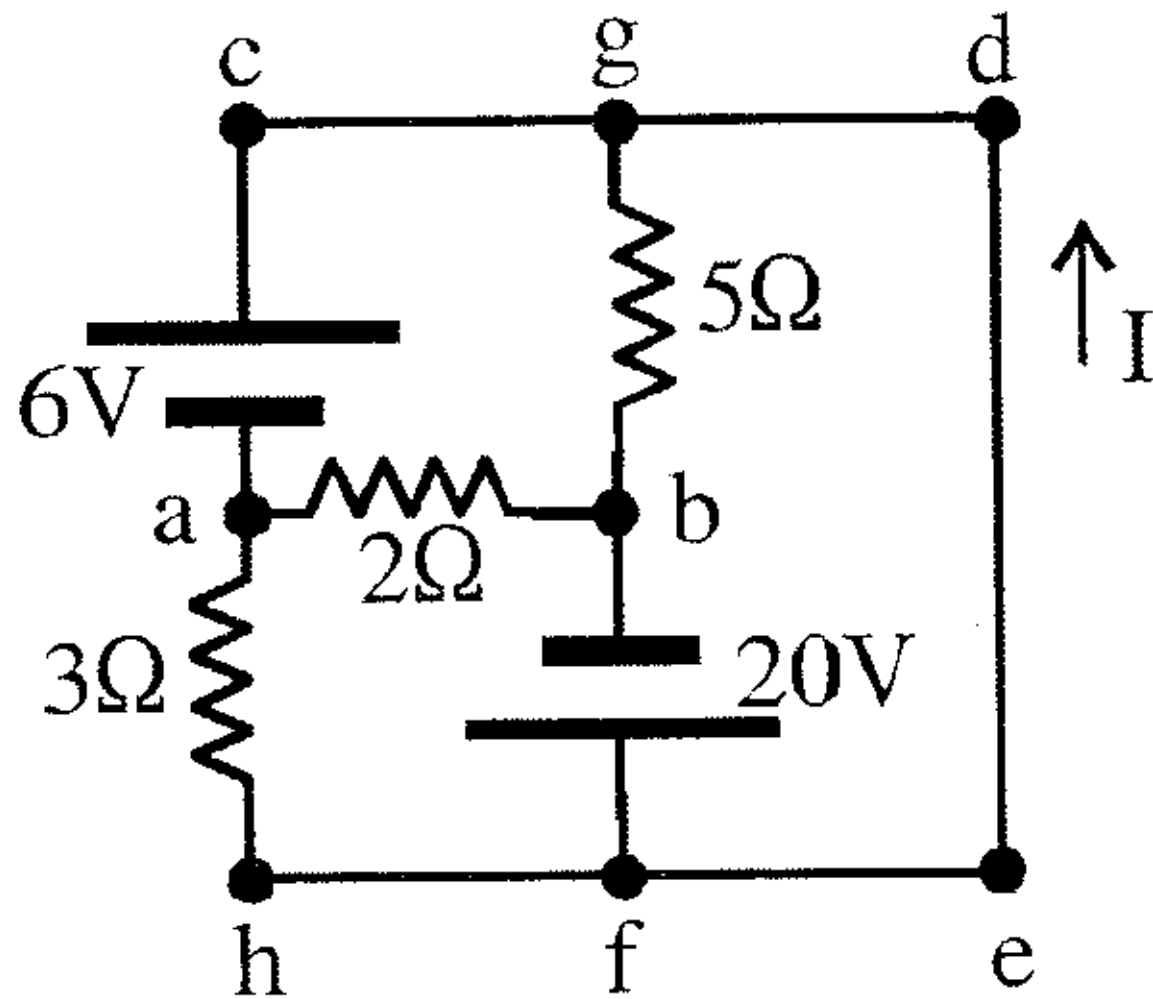
$$R_T = 4\Omega + 6\Omega$$

$$R_T = 10\Omega$$

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

$I = 3A$ تيار يتجزأ على المقاومتين 8Ω و 8Ω بالتساوي ليكون نصيب كل منهما $1.5A$

$$V = (8\Omega)(1.5A) = 12V$$
 ومنها:



(7) من الدائرة بالشكل التالي:

أوجد التيار (I) و الجهد (V_{ab})

الحل:

المسار الخارجي (a c g d e f h a) (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)

$$6V - V_{5\Omega} + 14V = 0$$

$$V_{5\Omega} = 20V$$

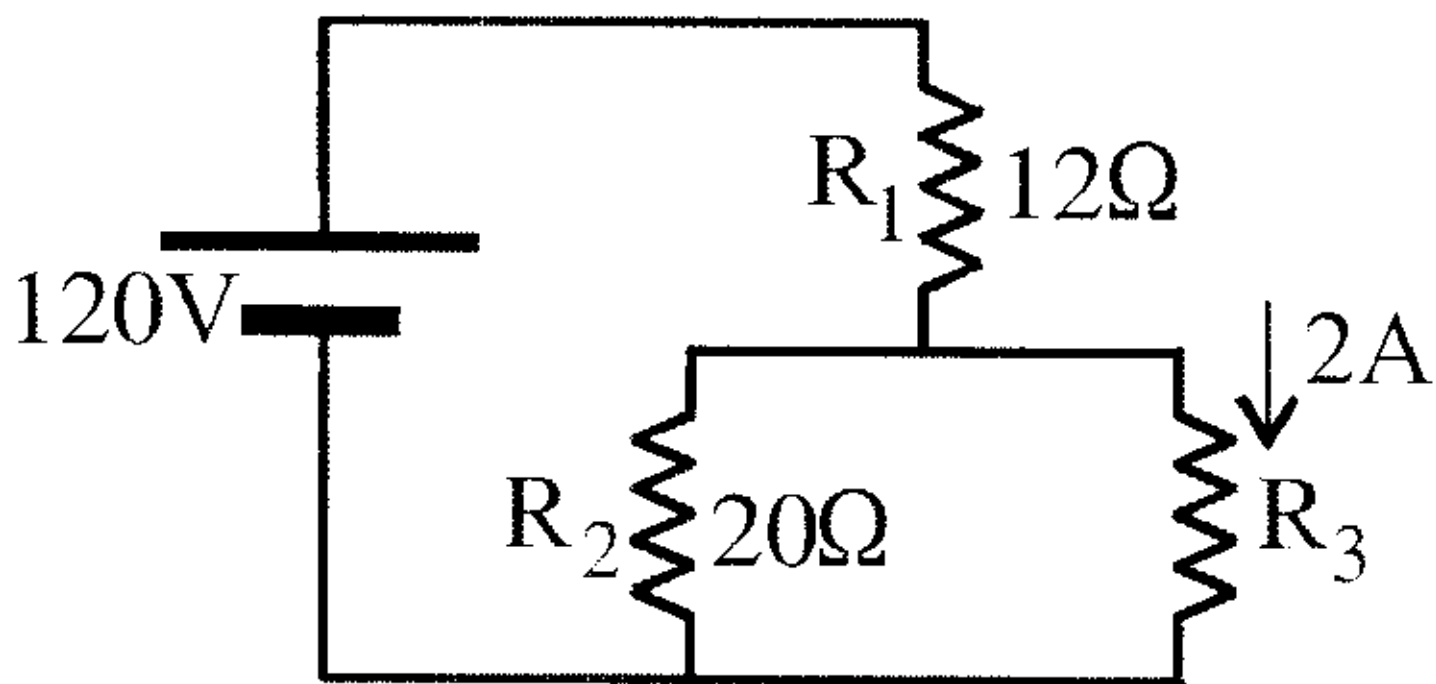
$$I_{5\Omega} = \frac{20V}{5\Omega} = 4A$$

عند العقدة b (KCL)

$$I_{20V} = 7A + 4A = 11A$$

عند العقدة f (KCL)

$$I = 11A - 2A = 9A$$



(8) من الدائرة بالشكل أوجد: المقاومة

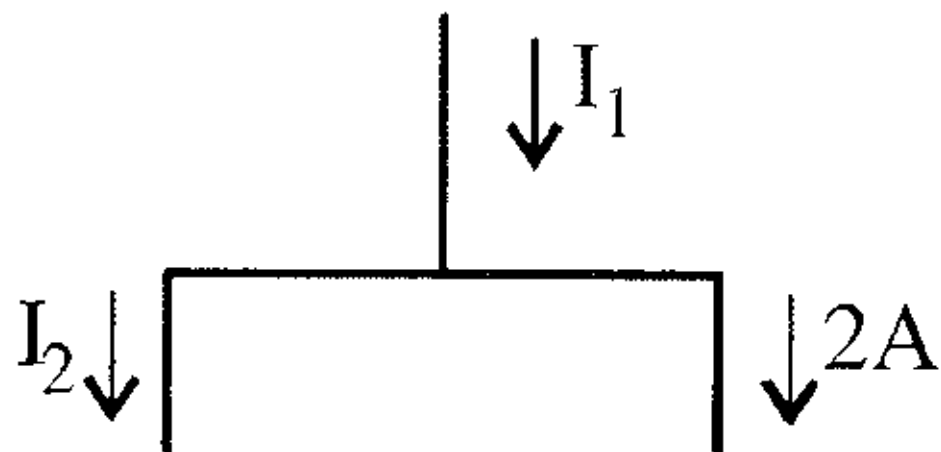
(R₃) إذا كان التيار المار خلالها

(2A) .

الحل:

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:

$$\frac{E - V_2}{R_1} = \frac{V_2}{R_2} + 2A$$

$$\frac{E}{R_1} - \frac{V_2}{R_1} = \frac{V_2}{R_2} + 2A$$

$$\frac{120}{12} - \frac{V_2}{12} = \frac{V_2}{20} + 2$$

$$10 - 2 = \frac{V_2}{20} + \frac{V_2}{12} = \frac{3V_2 + 5V_2}{60}$$

$$\therefore 8 = \frac{8V_2}{60} \longrightarrow V_2 = 60V$$

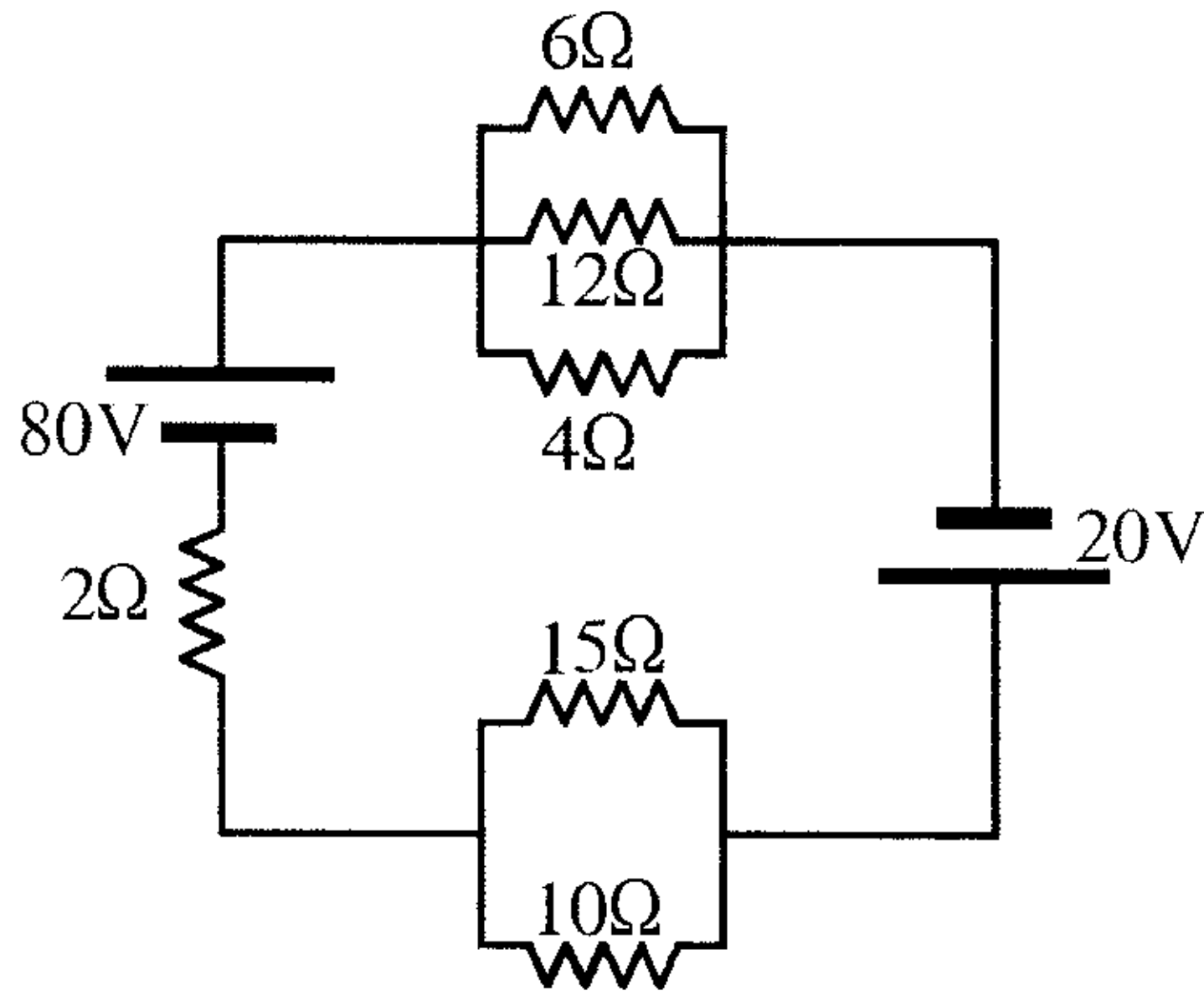
$$V_2 = V_3 = 60V$$

بالتوازي

$$\therefore R_3 = \frac{V_3}{I_3} = \frac{60V}{2A} = 30\Omega$$

3.4 مسائل متنوعة

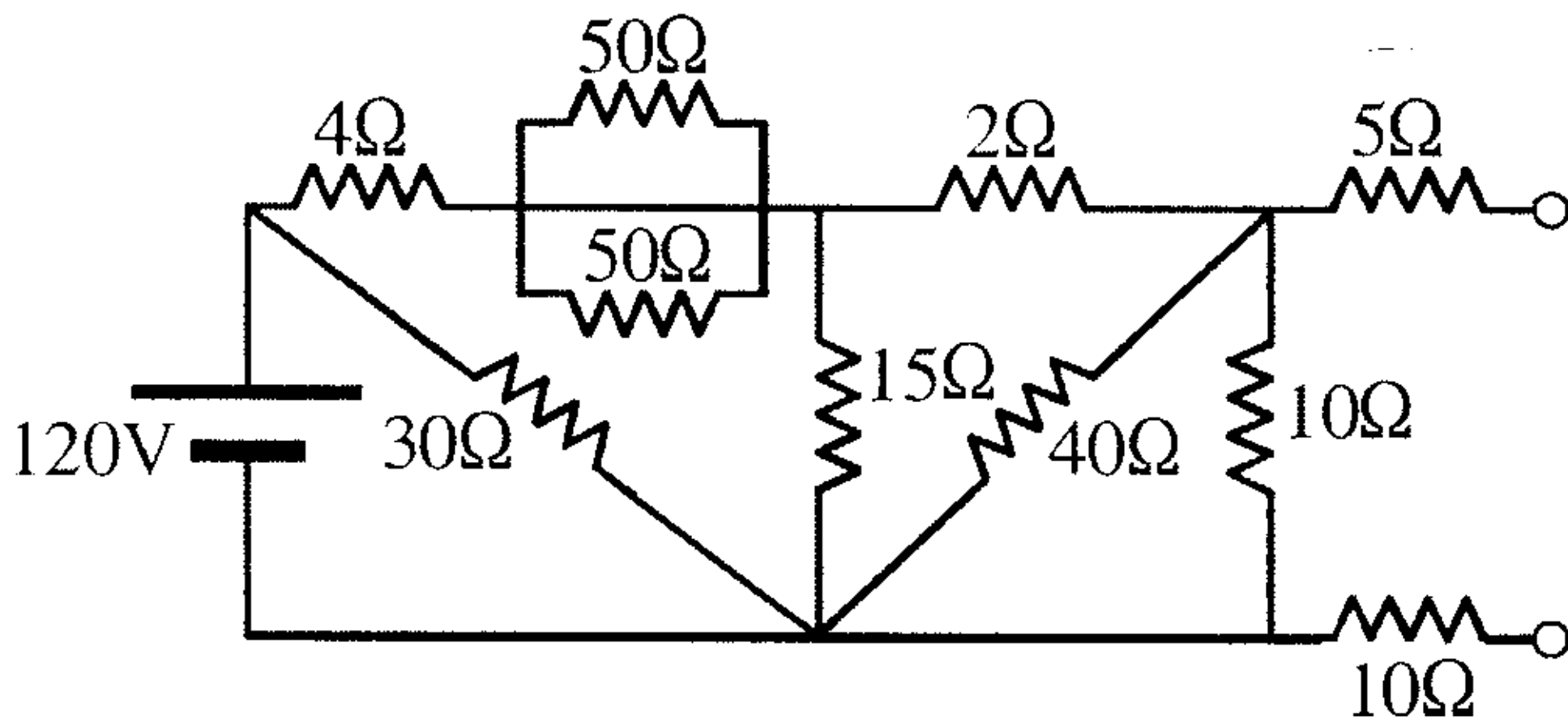
المسائل التالية تعتبر تطبيقات عامة تشمل كل ما درس في الأبواب السابقة، وهي أكثر تعقيدا مما سبق.



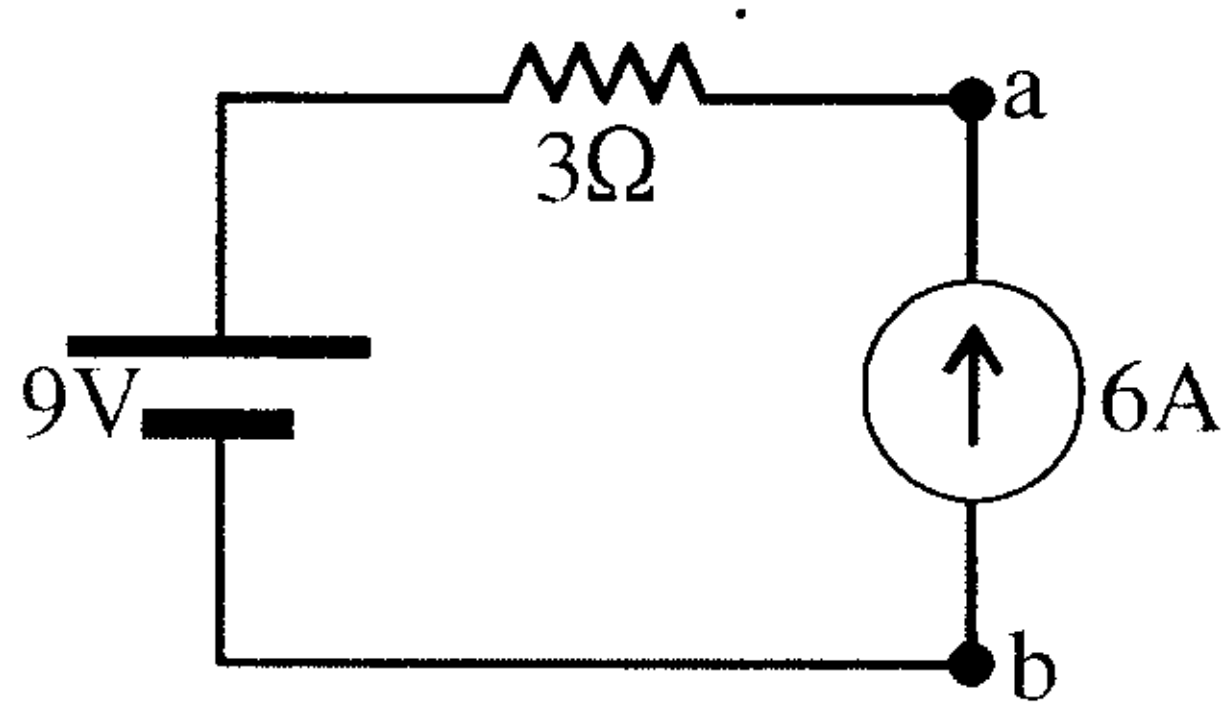
المسألة 1.4 في الدائرة التالية أوجد :

- 1- المقاومة الكلية
- 2- قيمة التيار المار في المقاومة (4Ω)
- 3- قيمة التيار المار في المقاومة (2Ω)
- 4- القدرة المستهلكة في المقاومة (6Ω)

المسألة 2.4 للدائرة بالشكل أوجد:

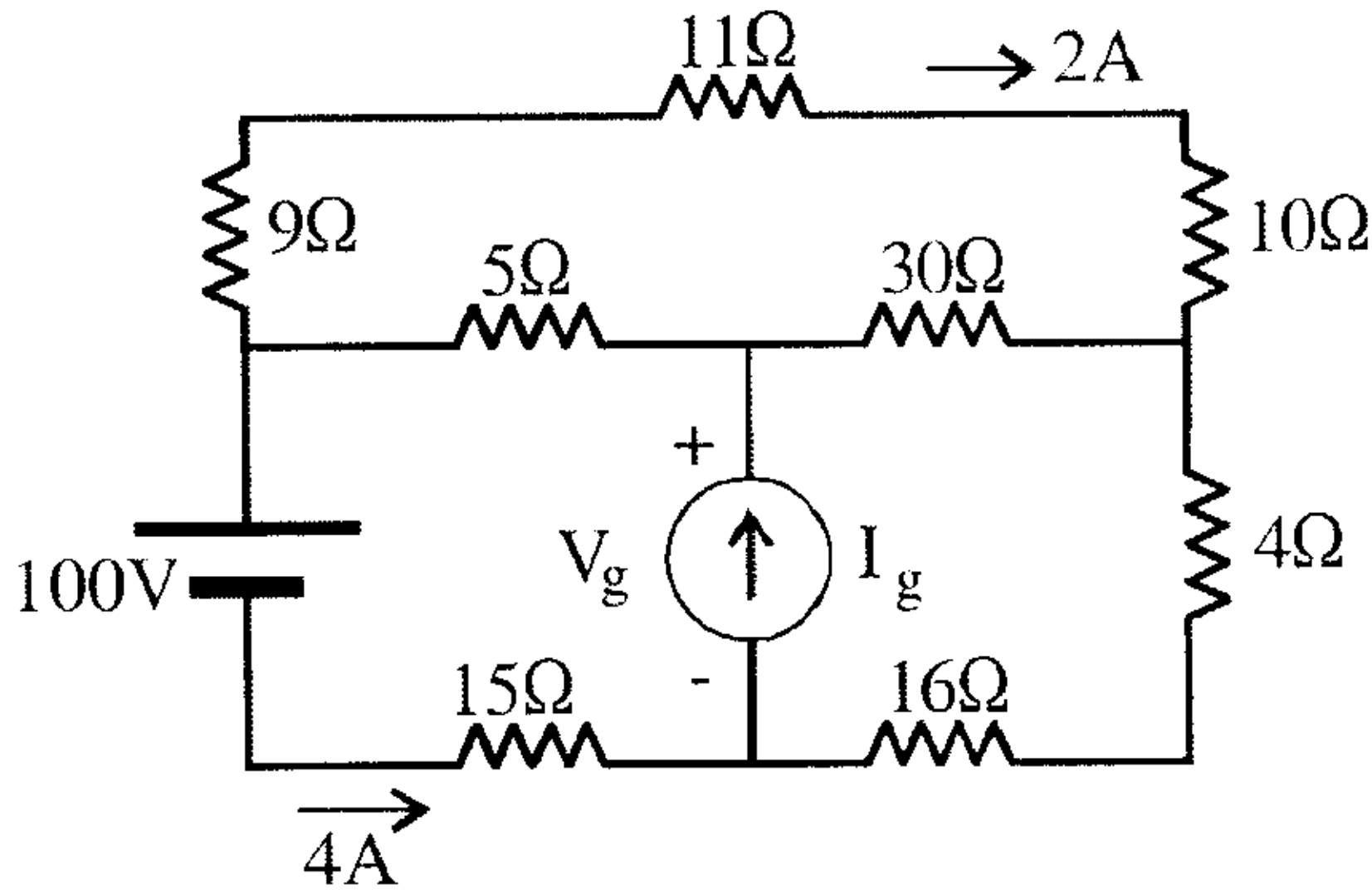


- 1- المقاومة المكافئة للدائرة.
- 2- القدرة المولدة بواسطة مصدر الجهد.



المسألة 3.4 من الشكل التالي أوجد فرق الجهد (V_{ab}) بين النقطتين a , b .

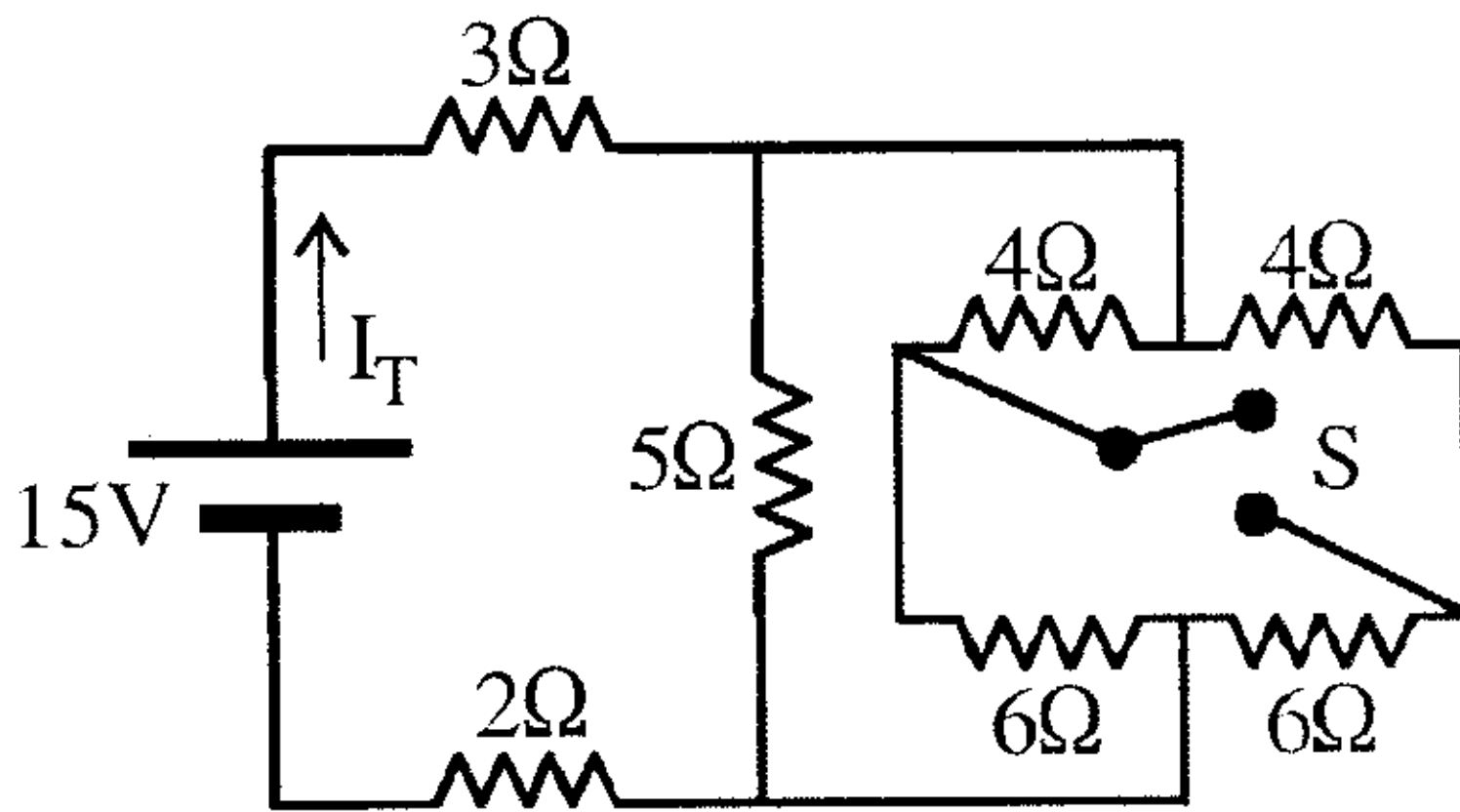
المسألة 4.4 باستخدام قوانين (KVL) و (KCL) أوجد:



1- قيمة مصدر التيار (I_g)

2- قيمة الجهد بين طرفي مصدر التيار (V_g).

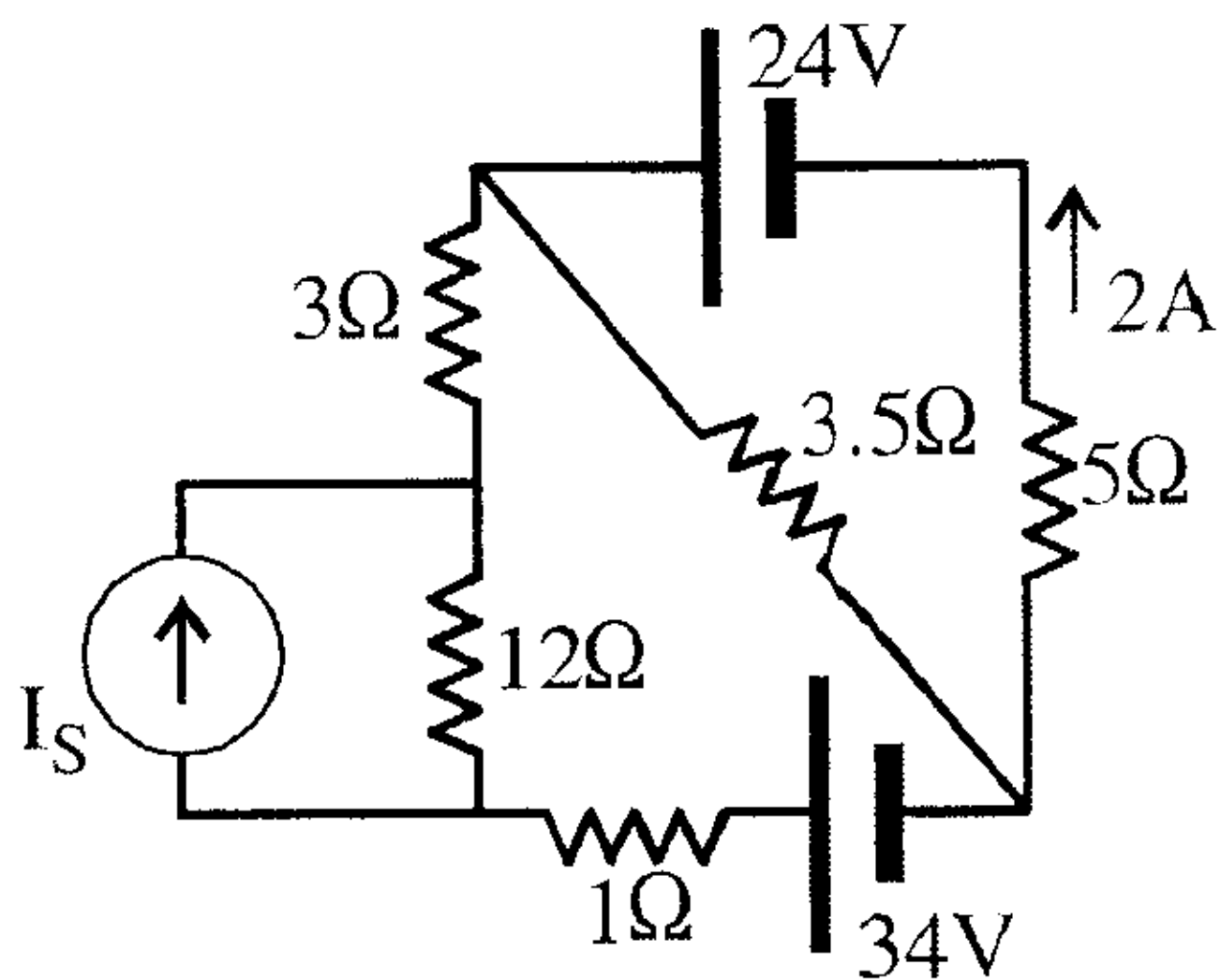
المسألة 5.4 أحسب التيار المسحوب من المصدر (I_T) في الحالتين:



1- في حالة المفتاح (S) مفتوح.

2- في حالة المفتاح (S) مغلق.

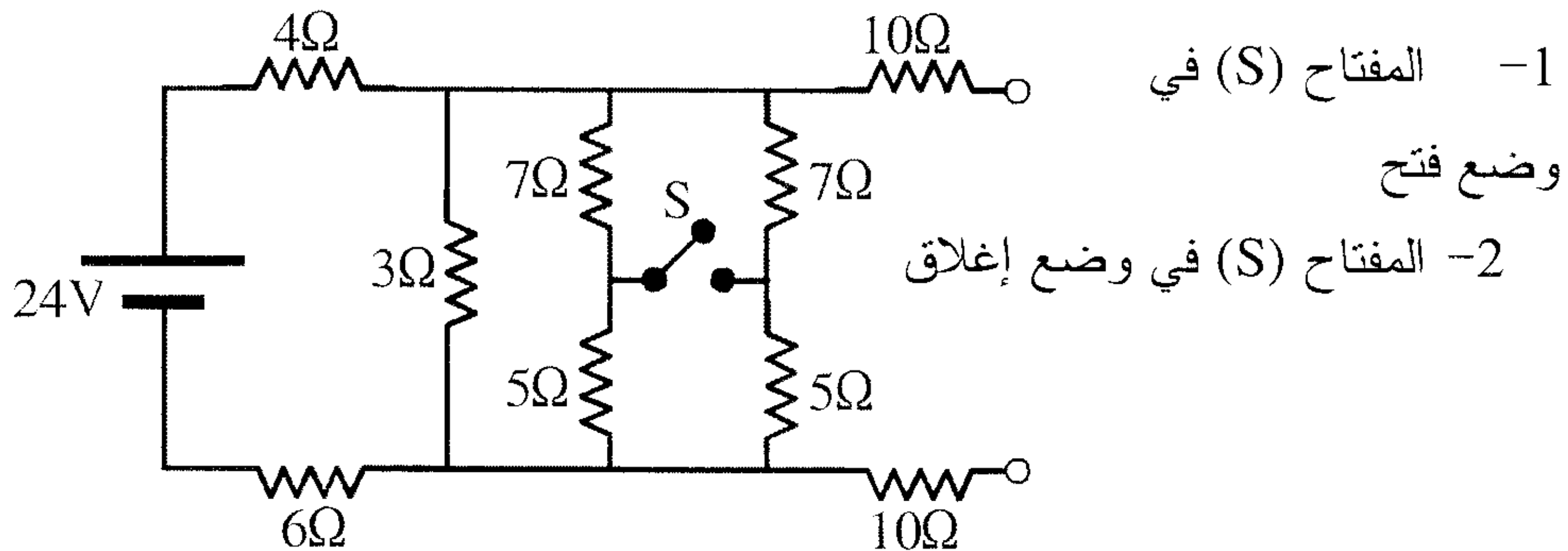
المسألة 6.4 باستخدام قوانين



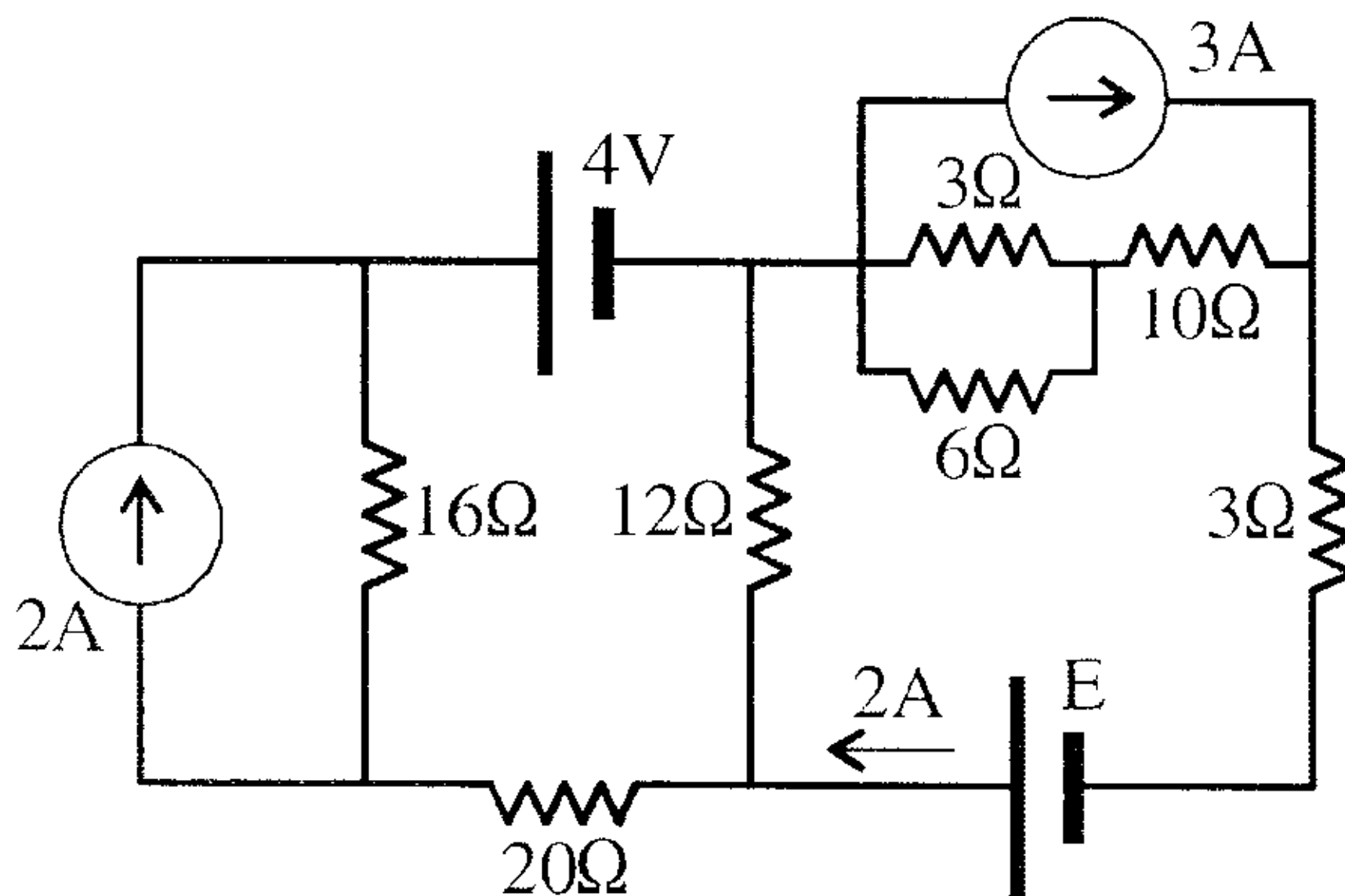
(KVL) و (KCL) أوجد قيمة تيار

المصدر (I_s).

المسألة 7.4 أوجد قيمة تيار المصدر في الحالتين:



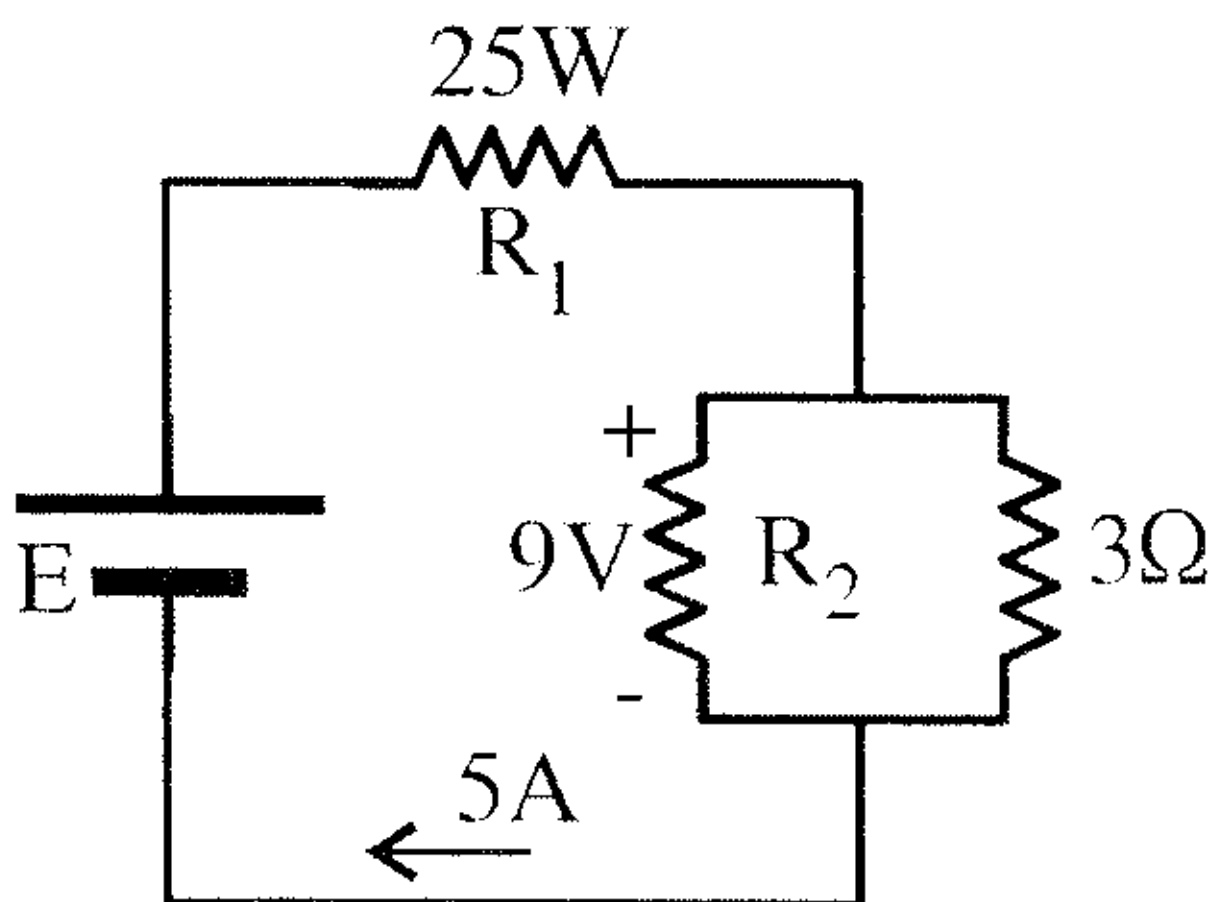
المسألة 8.4 عن طريق تحويل المصادر وقوانين كرشوف أوجد قيمة مصدر الجهد (E).



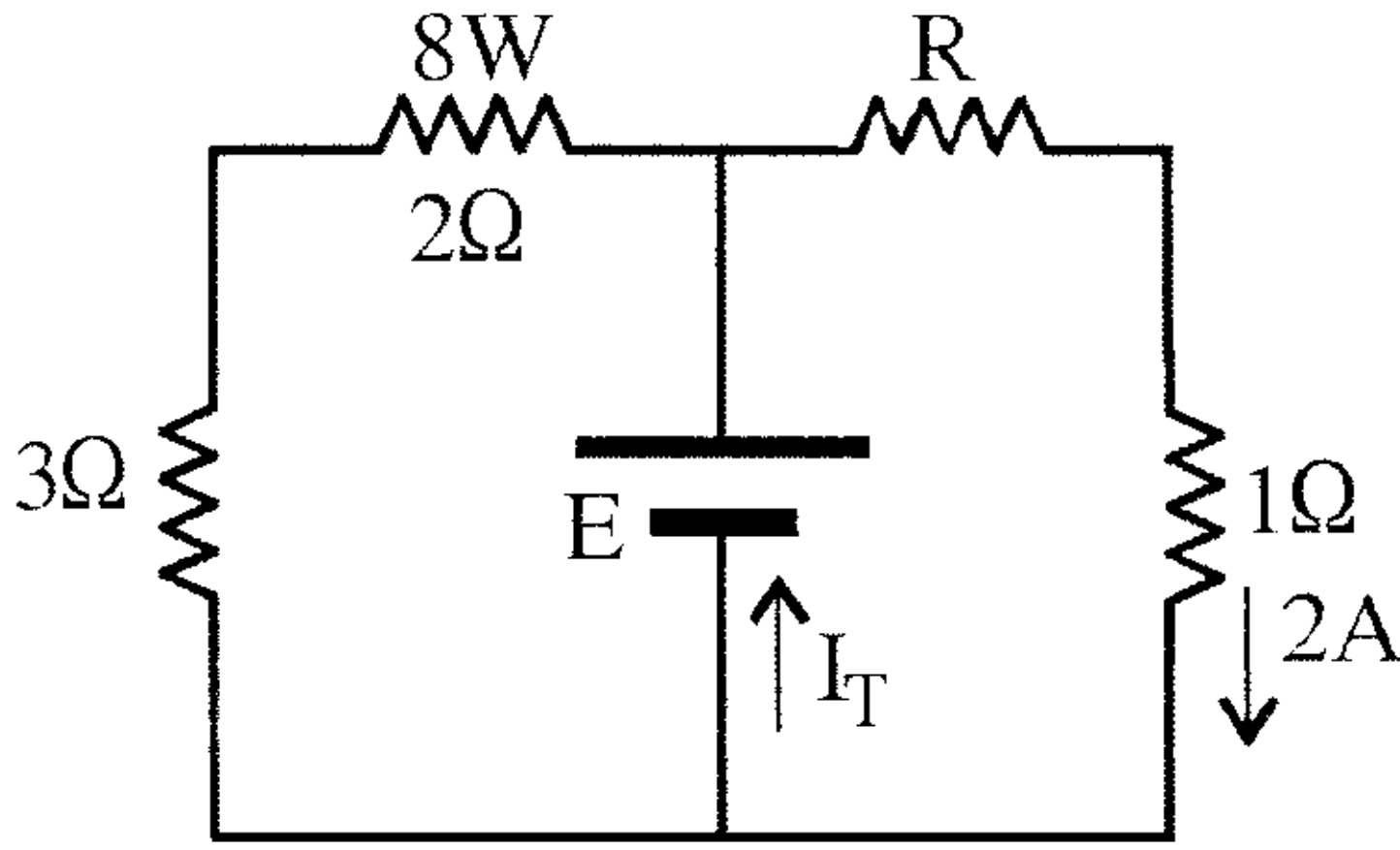
المسألة 9.4 للدائرة بالشكل

التالي أوجد

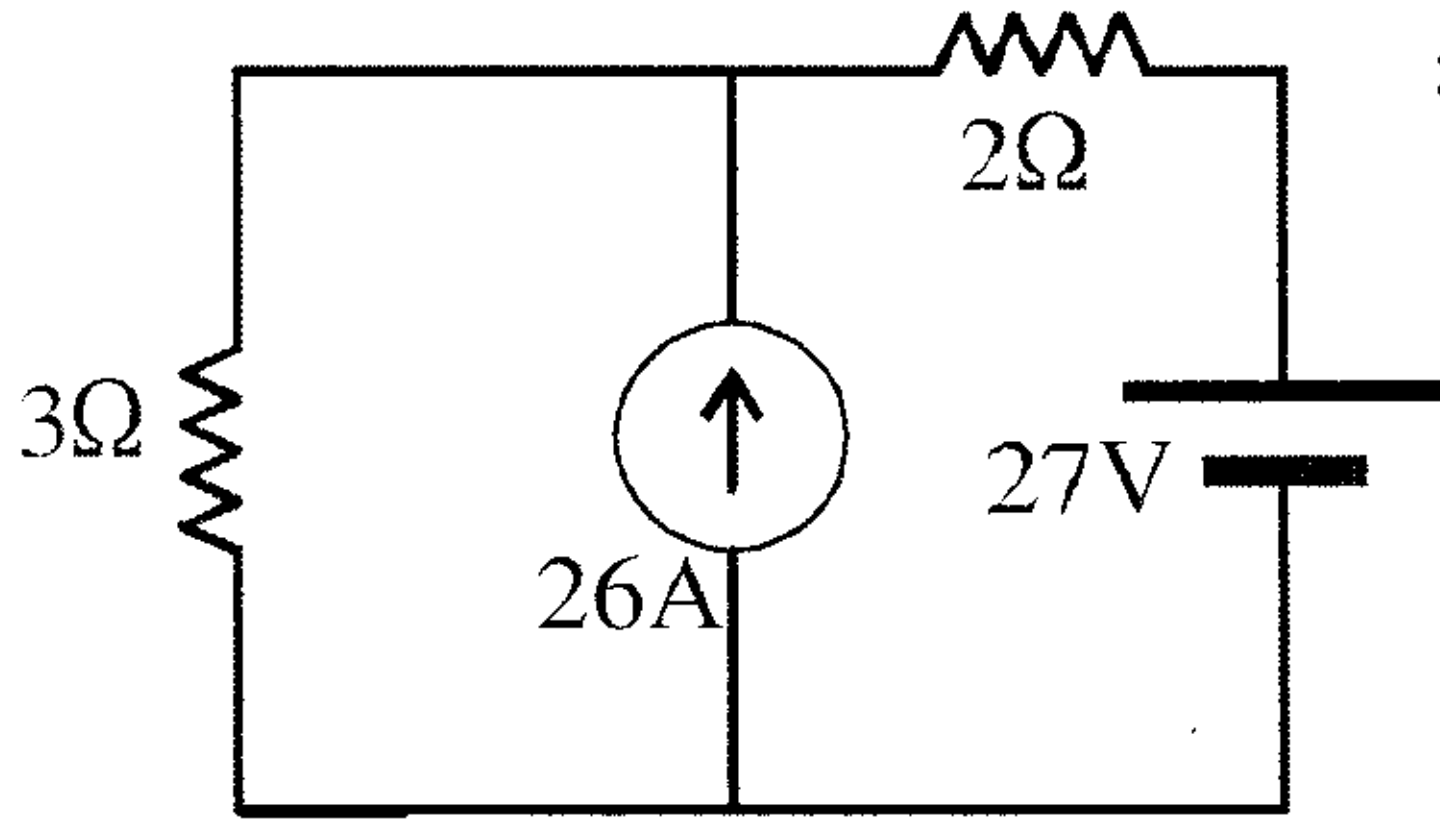
E, R_2, R_1 .



المسألة 10.4 للدائرة بالشكل التالي أوجد R, I_T, E .



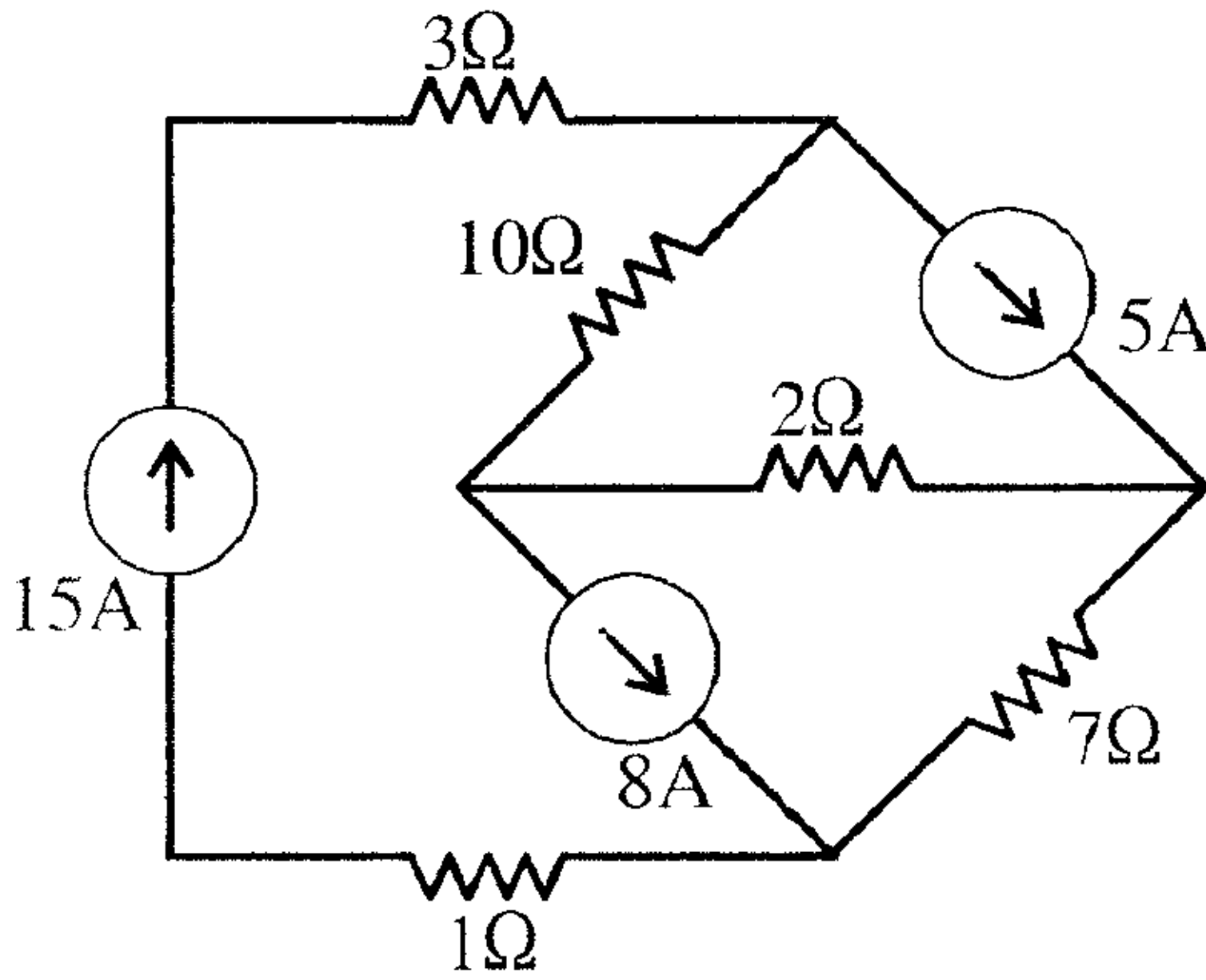
المسألة 11.4 باستخدام قوانين كيرشوف أوجد :



- التيار المار في المقاومة (2Ω)

- الجهد على المقاومة (3Ω)

المسألة 12.4 في الدائرة بالشكل أوجد:



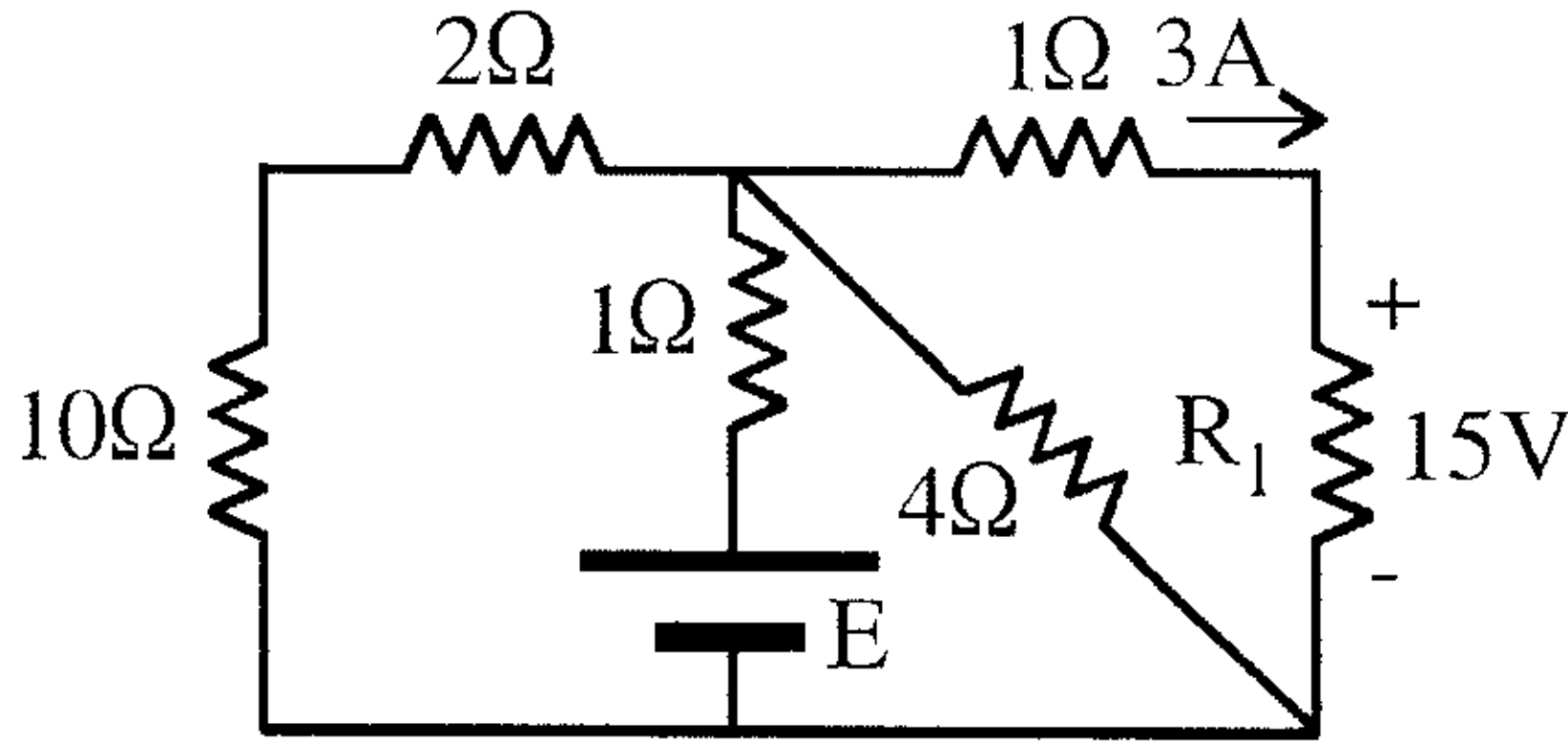
1- الجهد على المقاومة (10Ω) .

2- التيار المار في المقاومة (2Ω) .

3- القدرة على المقاومة (7Ω) .

المسألة 13.4 من الدائرة بالشكل التالي أوجد كلاً من :

P_S, E, R_1

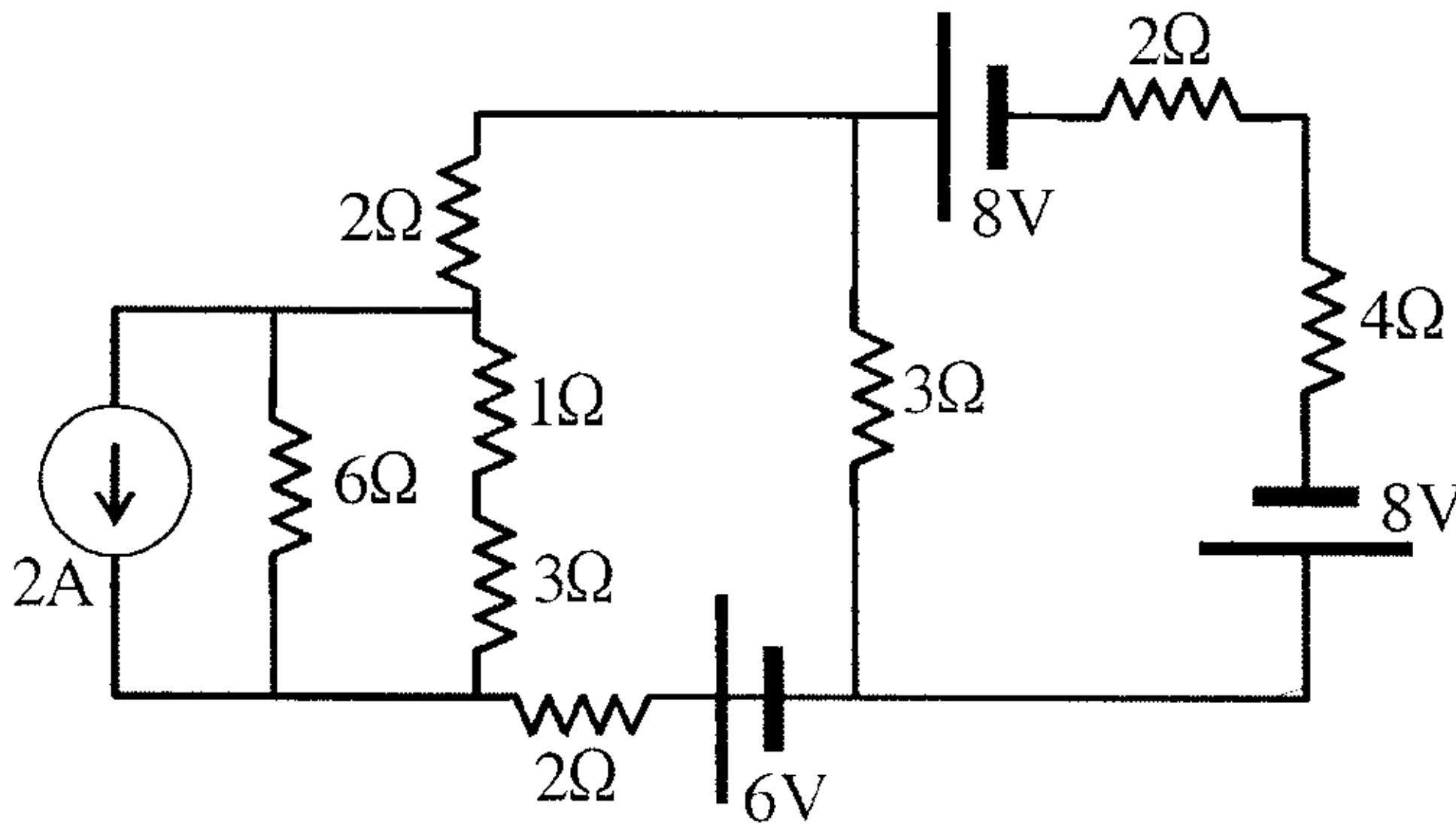


المسألة 14.4 من الدائرة

بالشكل التالي أحسب

الجهد على المقاومة

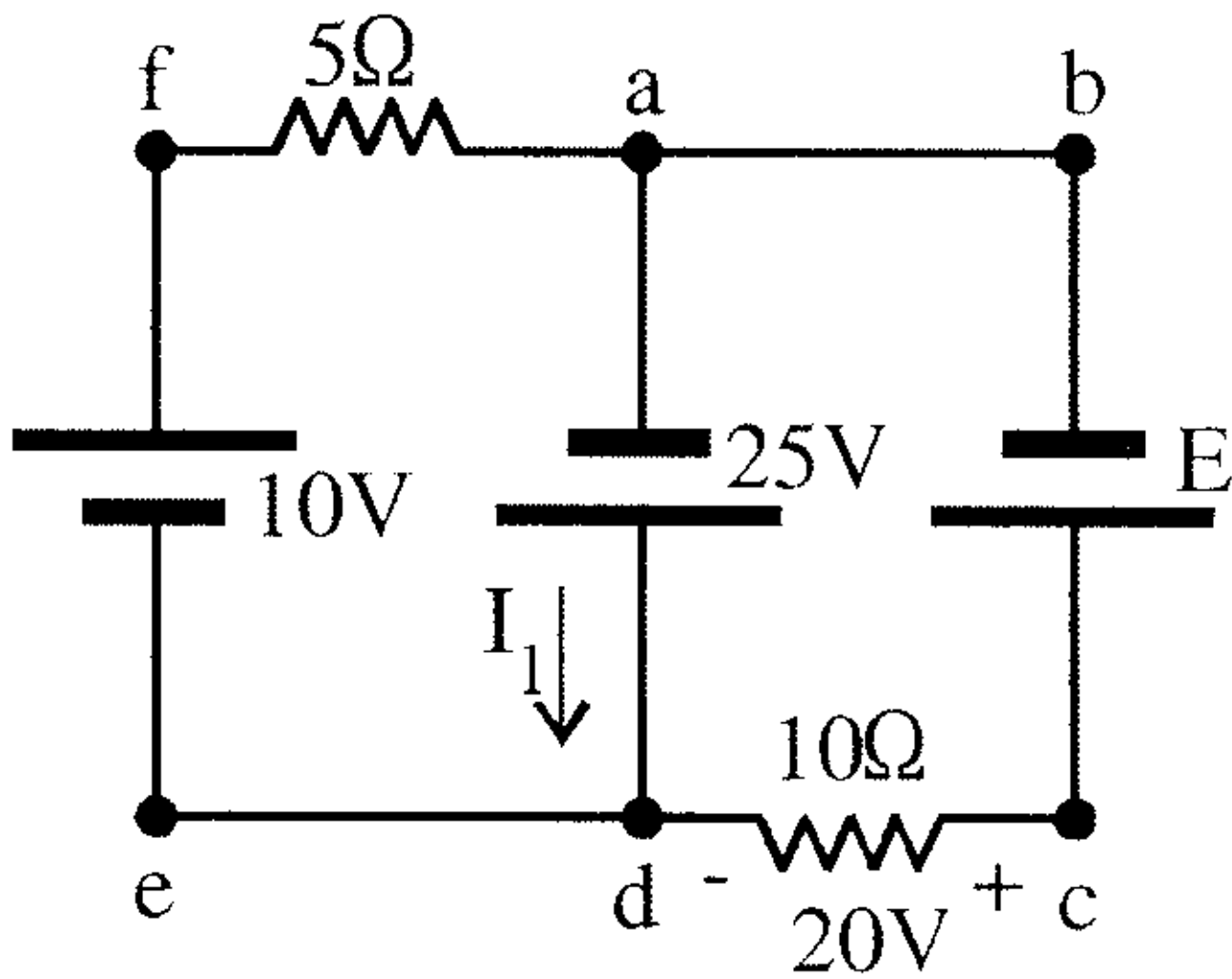
(1Ω)



المسألة 15.4 من الدائرة بالشكل التالي

وباستخدام قانون أوم وقوانين كرشوف أوجد

$P_{5\Omega}, I_1, E$

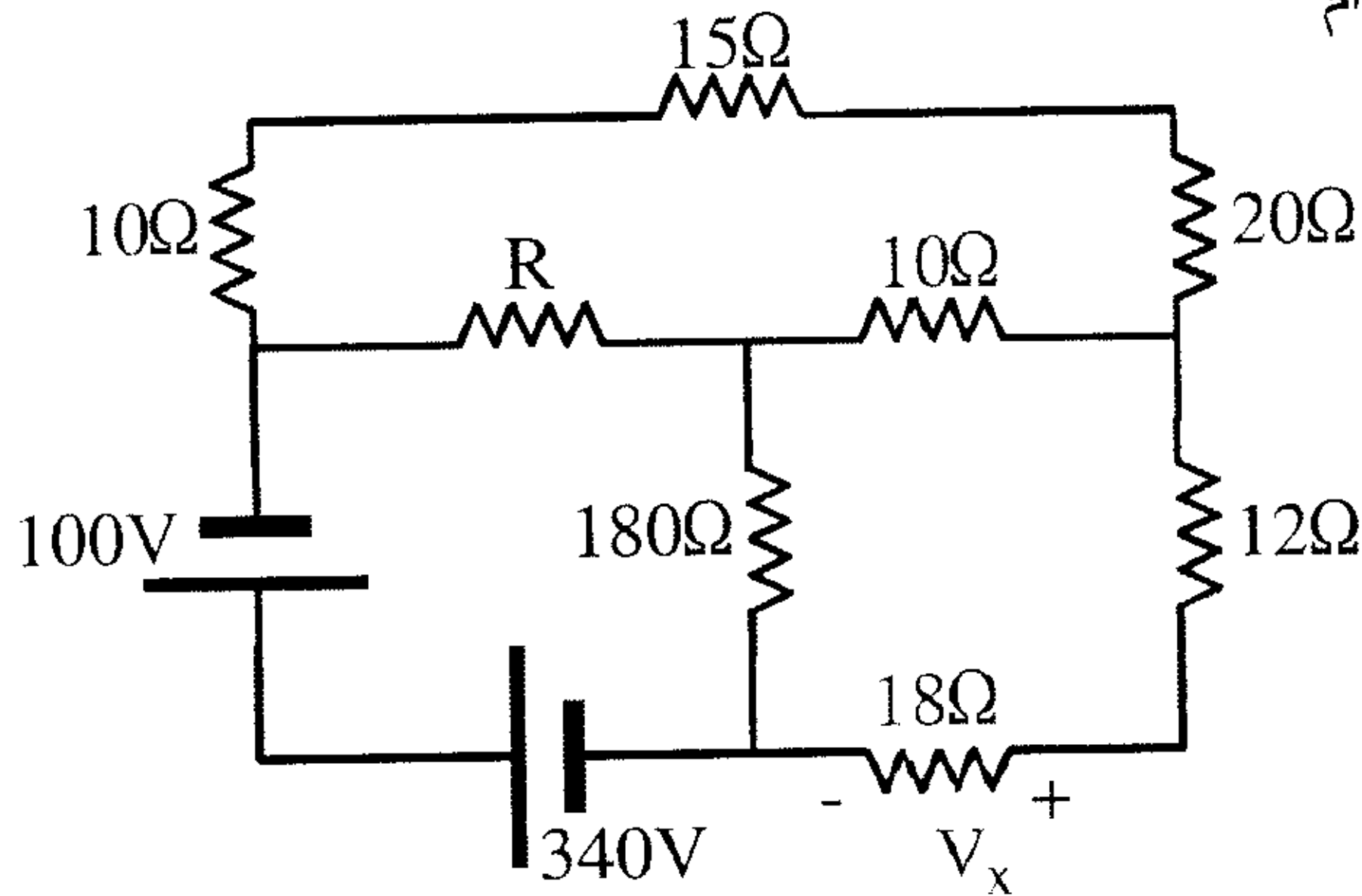


المسألة 16.4 من الدائرة بالشكل وباستخدام

(KVL) , (KCL) أوجد قيمة

المقاومة (R)

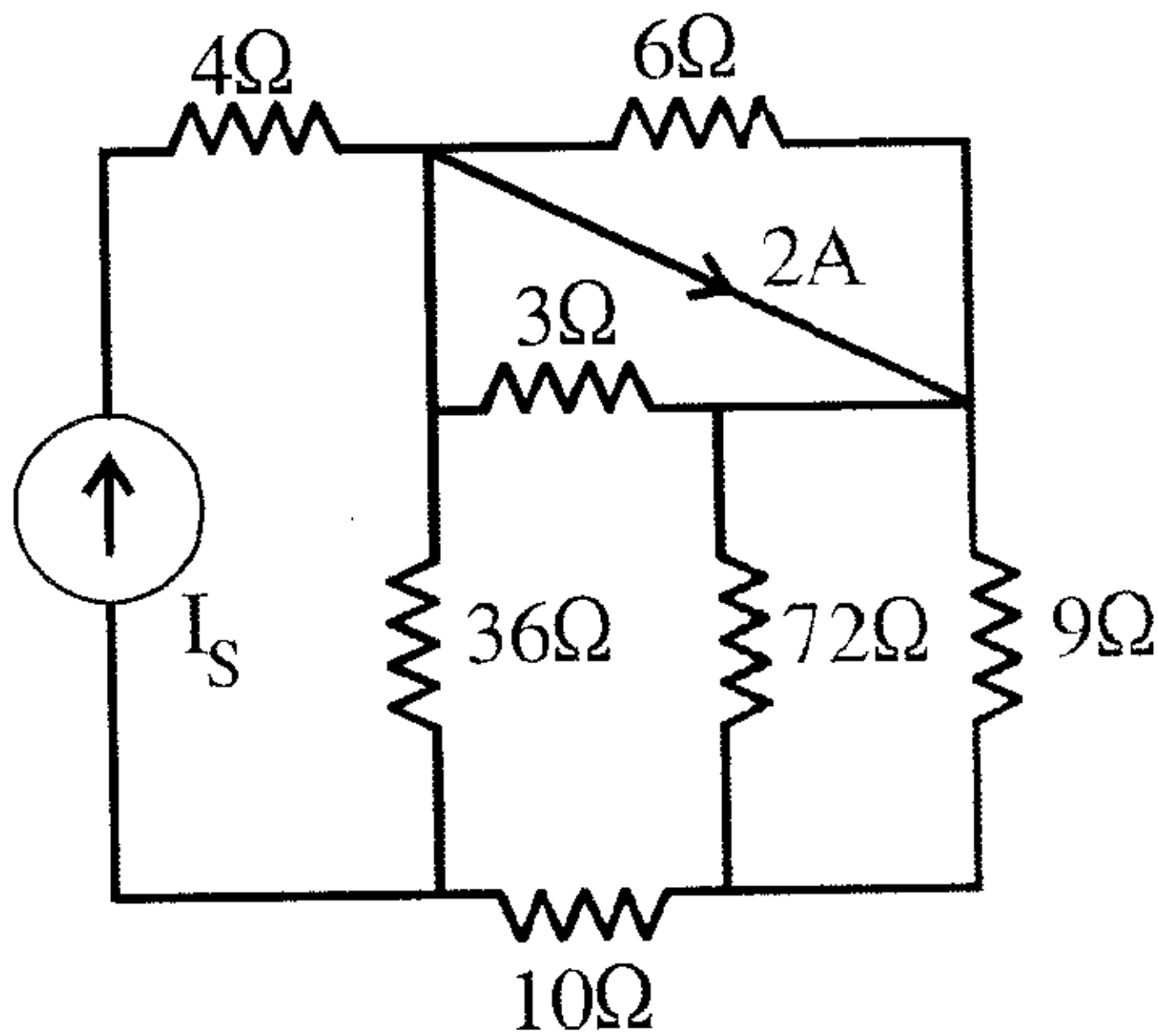
إذا كانت ($V_x = 90V$).



المسألة 17.4 من الدائرة بالشكل التالي أوجد:

1- قيمة مصدر التيار (I_s) .

2- القدرة المولدة بواسطة مصدر التيار.

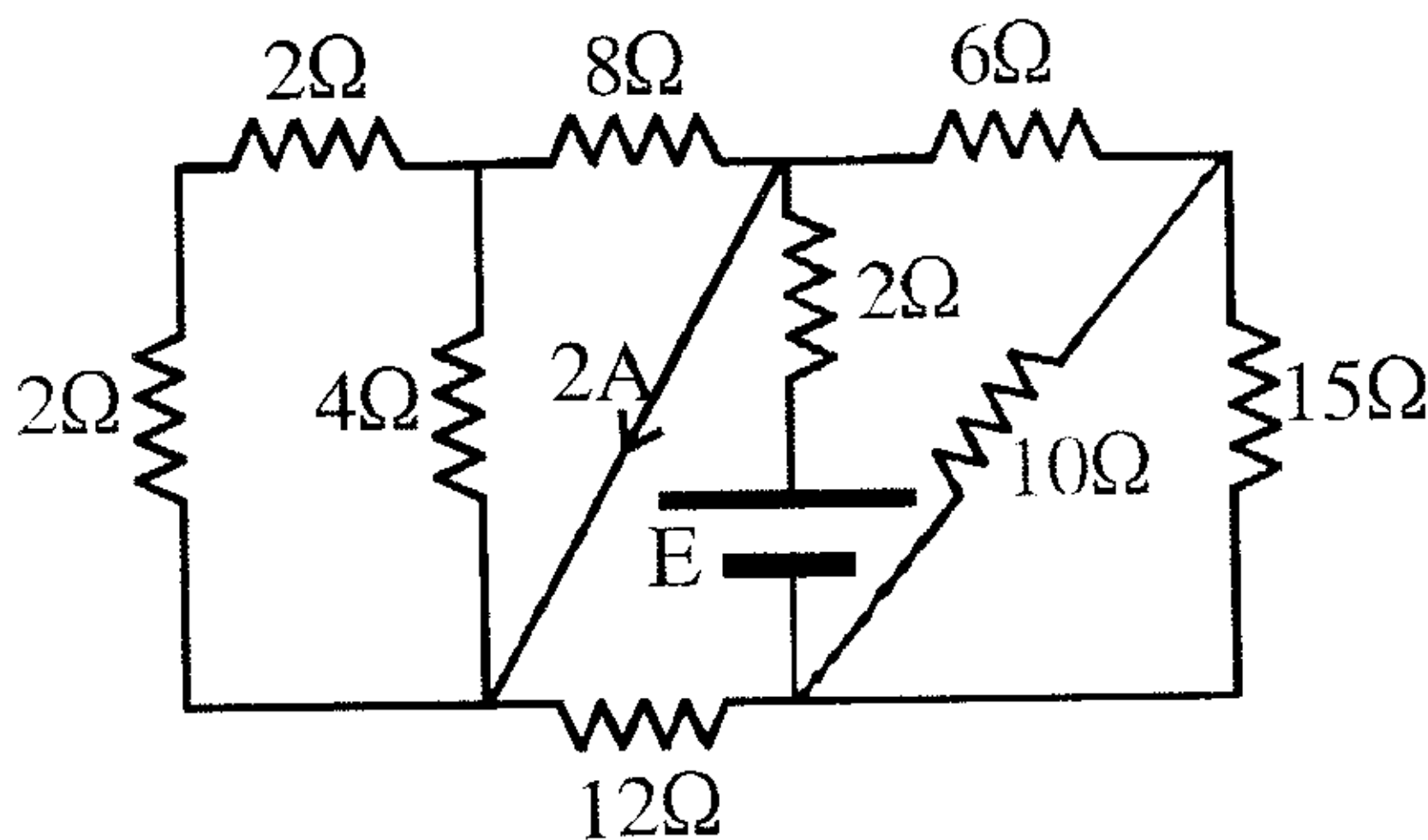


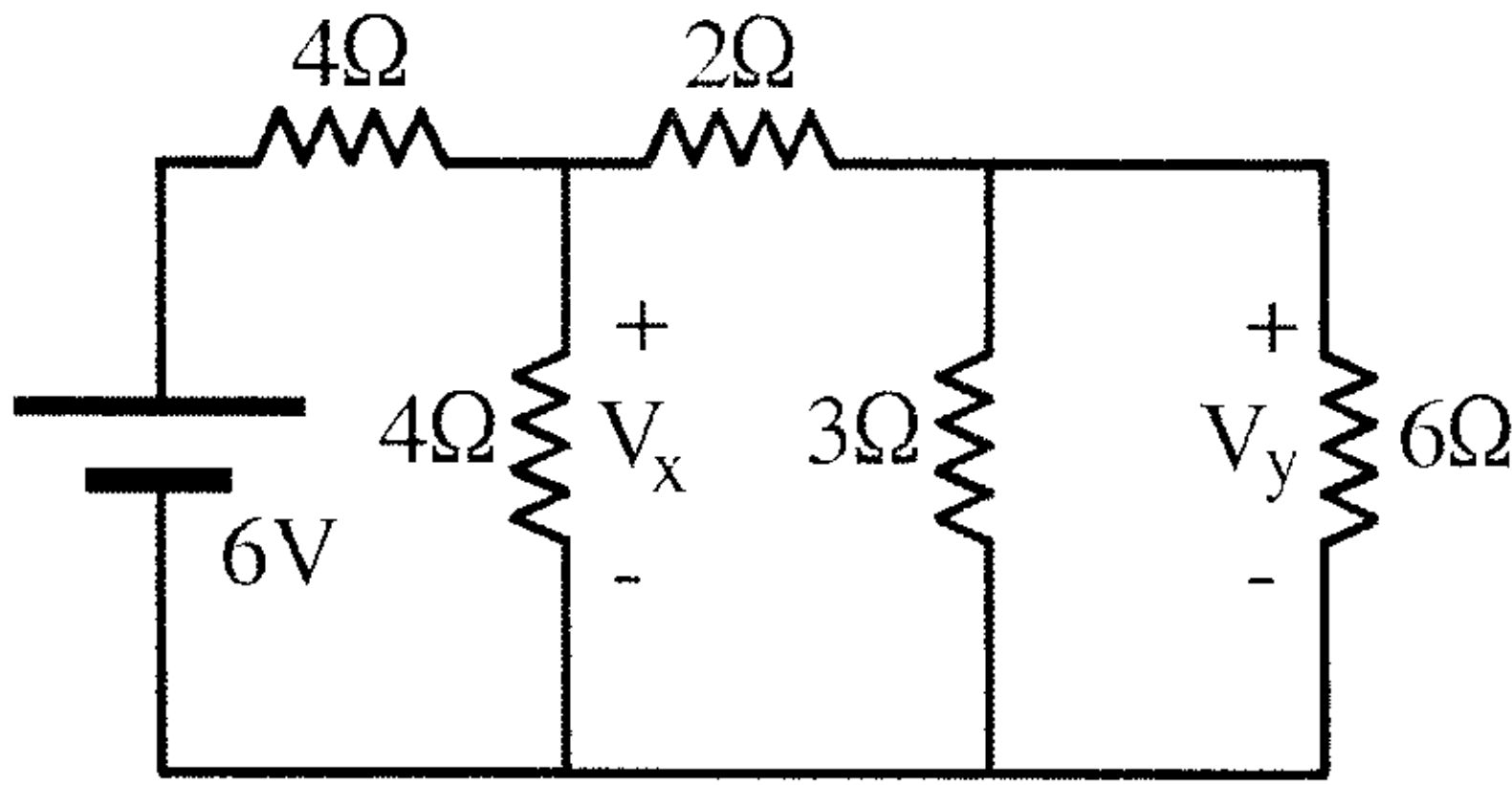
المسألة 18.4 للدائرة بالشكل أوجد:

1- قيمة مصدر الجهد (E).

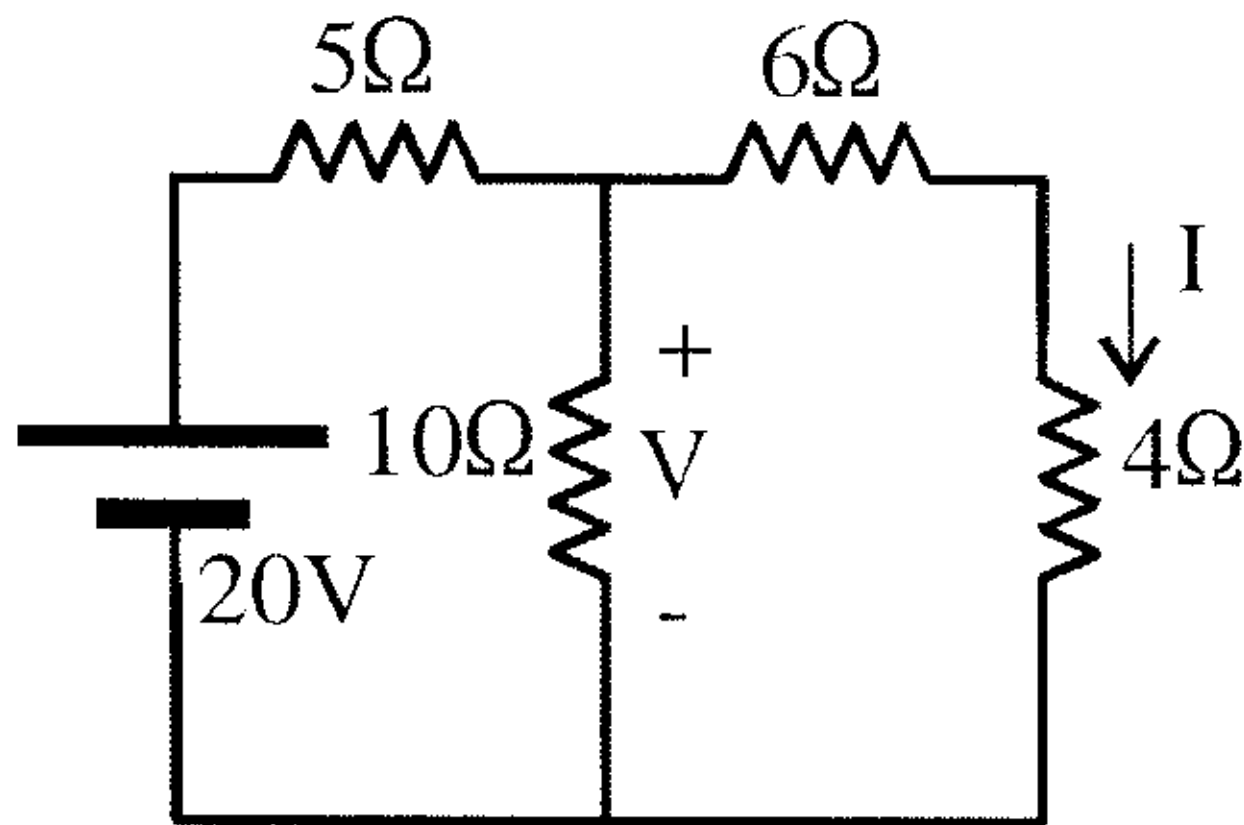
2- القدرة المستهلكة بواسطة

المقاومة (10Ω).



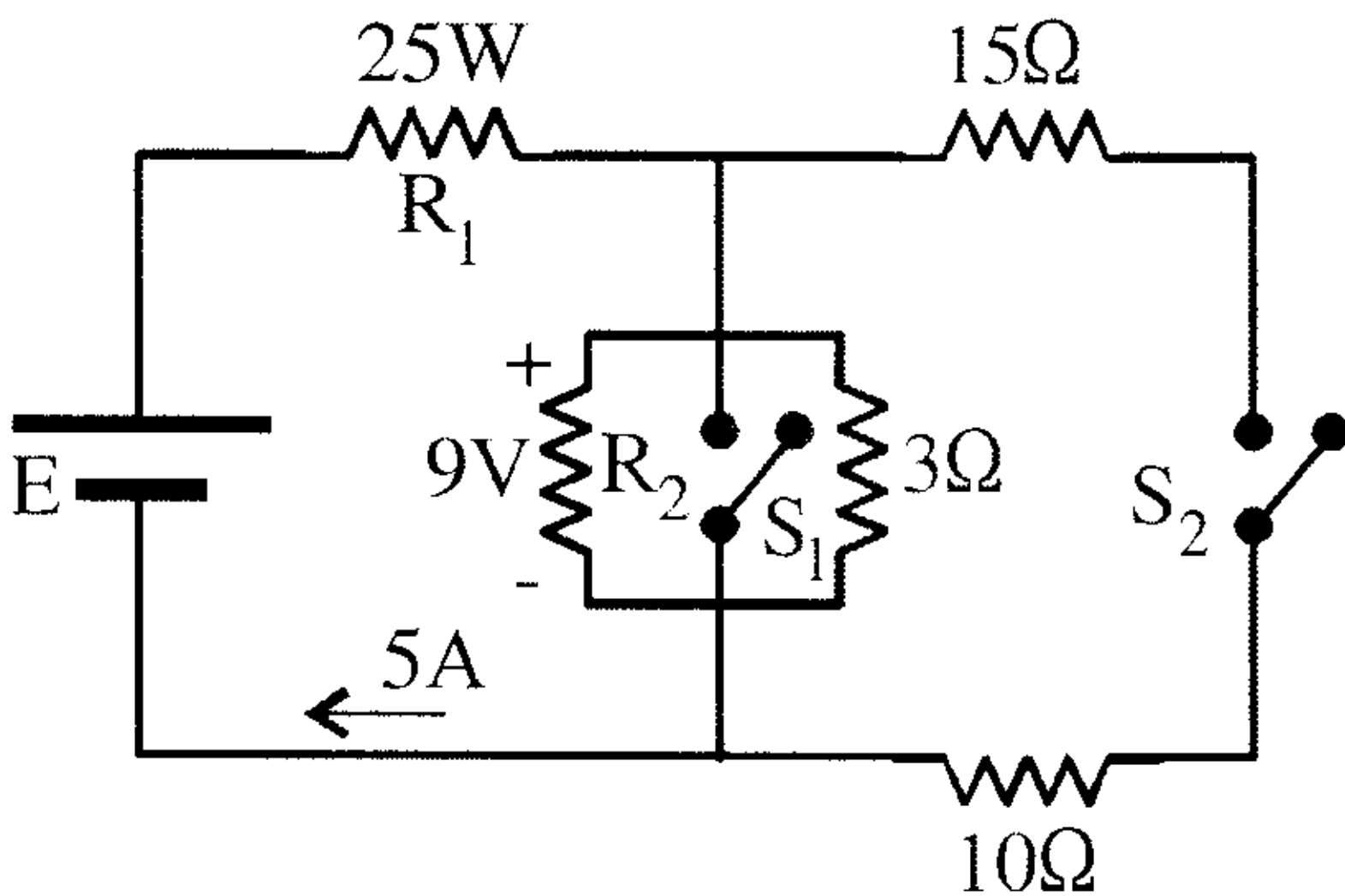


المسألة 19.4 من الدائرة بالشكل
التالي أوجد الجهود V_x , V_y .



المسألة 20.4 من الدائرة بالشكل
أوجد I , V

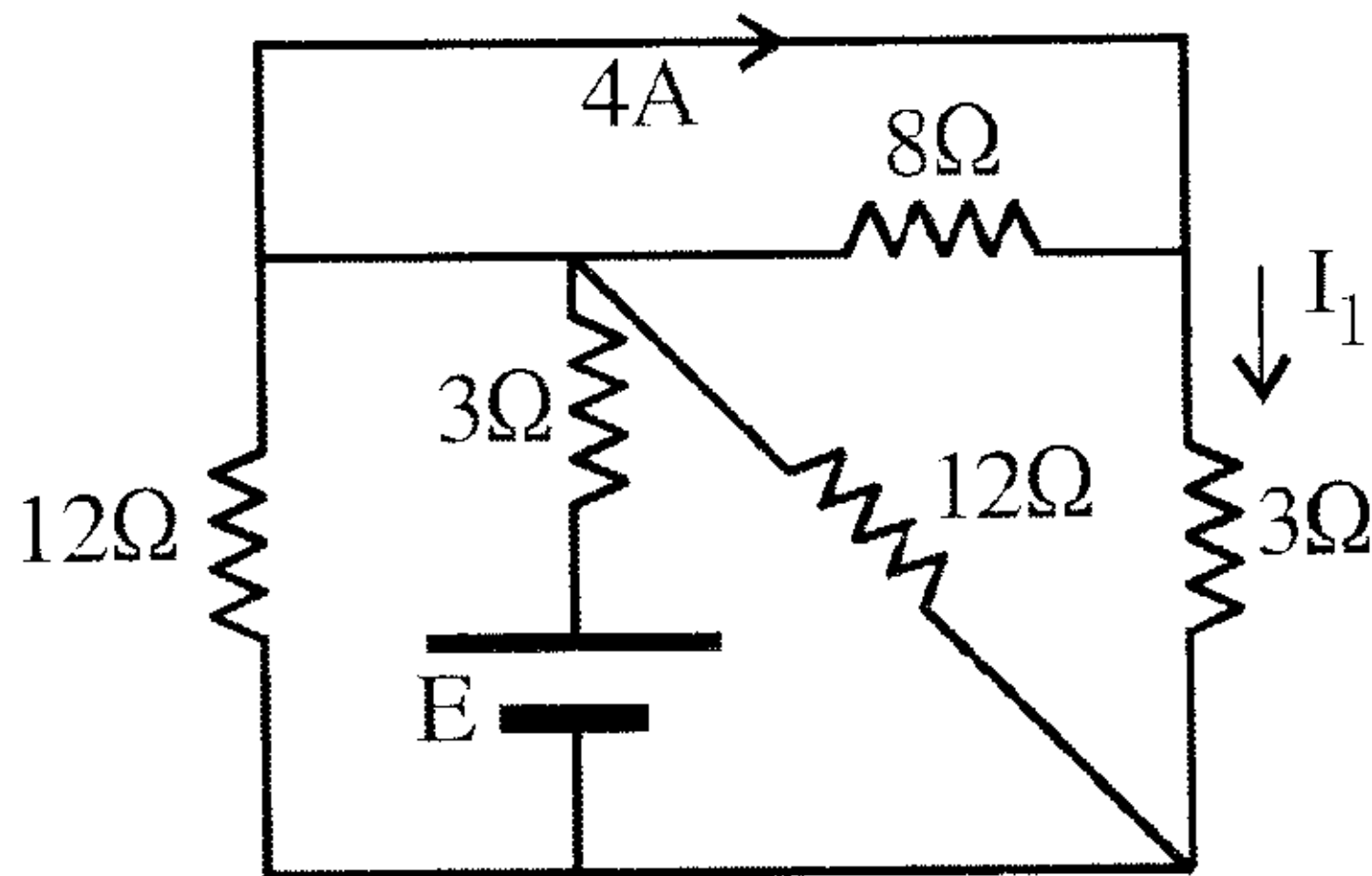
- 1- باستخدام قوانين كرشوف
(KVL) و (KCL) .
- 2- باستخدام المجزئات
(VDR) و (CDR) .



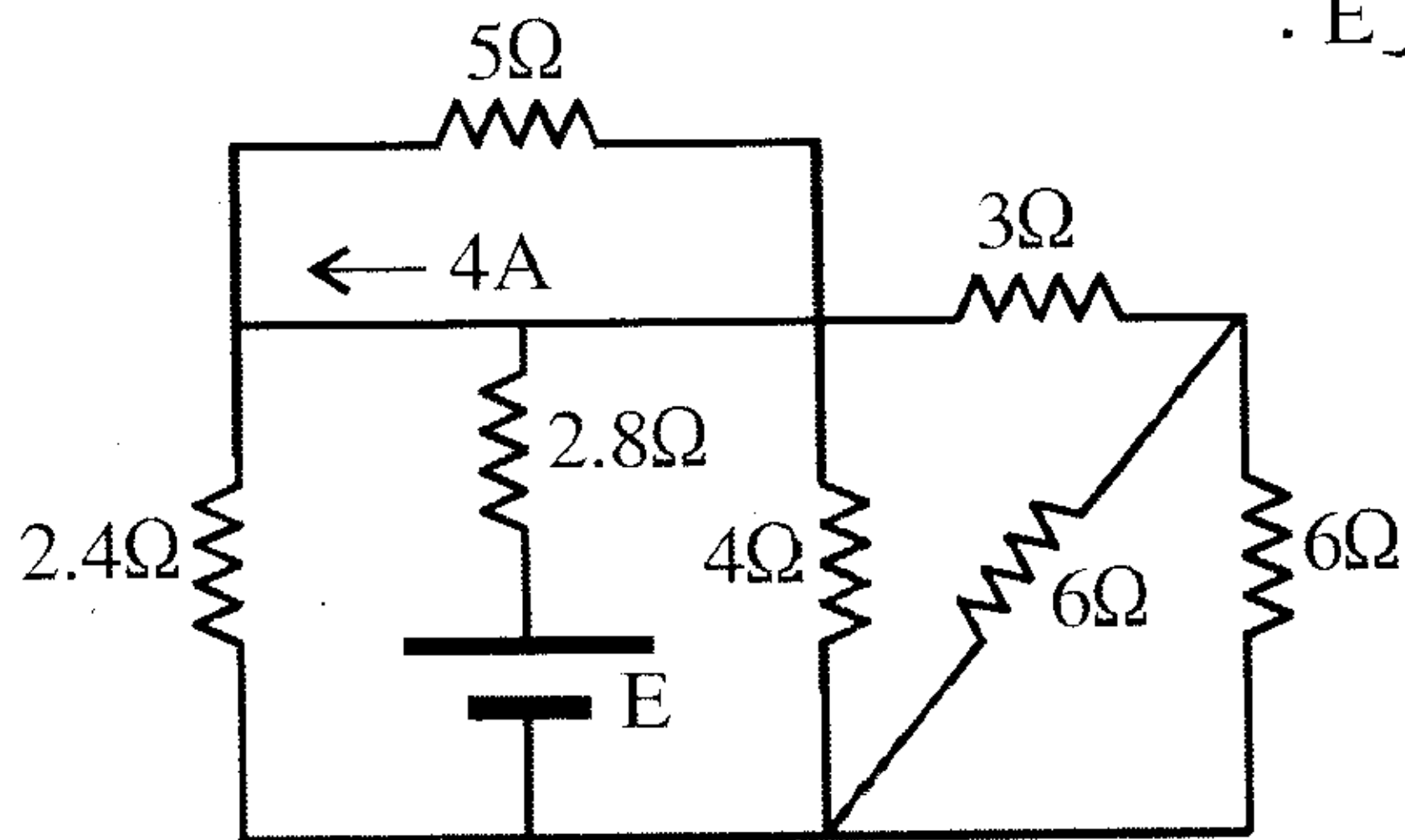
المسألة 21.4 من الدائرة بالشكل
أوجد E , R_1 , R_2 عندما يكون
المفتاحان S_1 , S_2 :

- 1- في حالة فتح.
- 2- في حالة غلق.

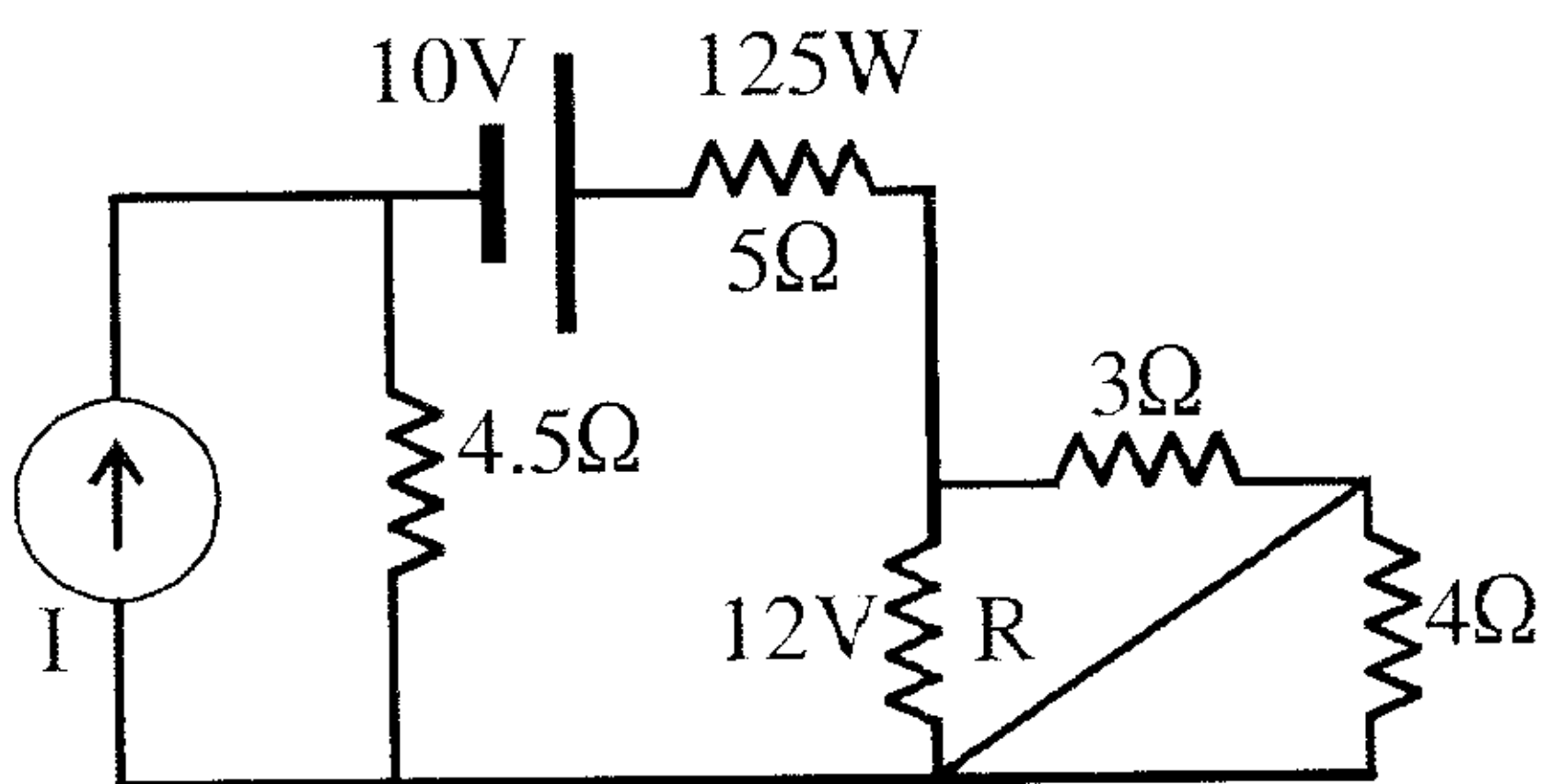
المسألة 22.4 أوجد قيمة جهد المصدر (E) وكذلك التيار I_1 المار في المقاومة (3Ω) .



المسألة 23.4 أوجد قيمة جهد المصدر E.



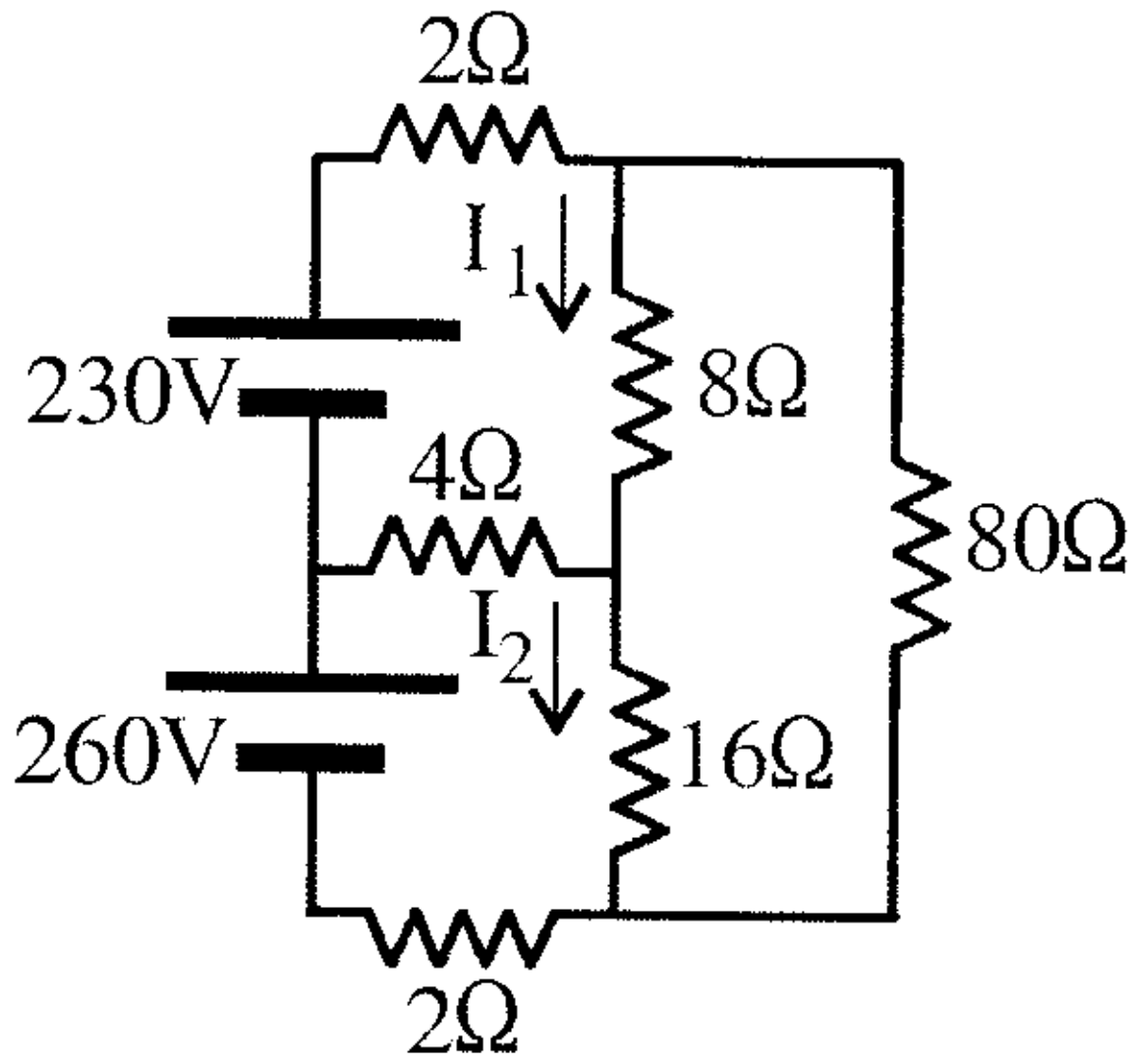
المسألة 24.4 في الدائرة بالشكل أوجد R , I .



المسألة 25.4 باستخدام قوانين كيرشوف أوجد

القدرة المولدة من كل مصدر جهد إذا علمت أن :

$$I_2 = 15A, I_1 = 20A$$

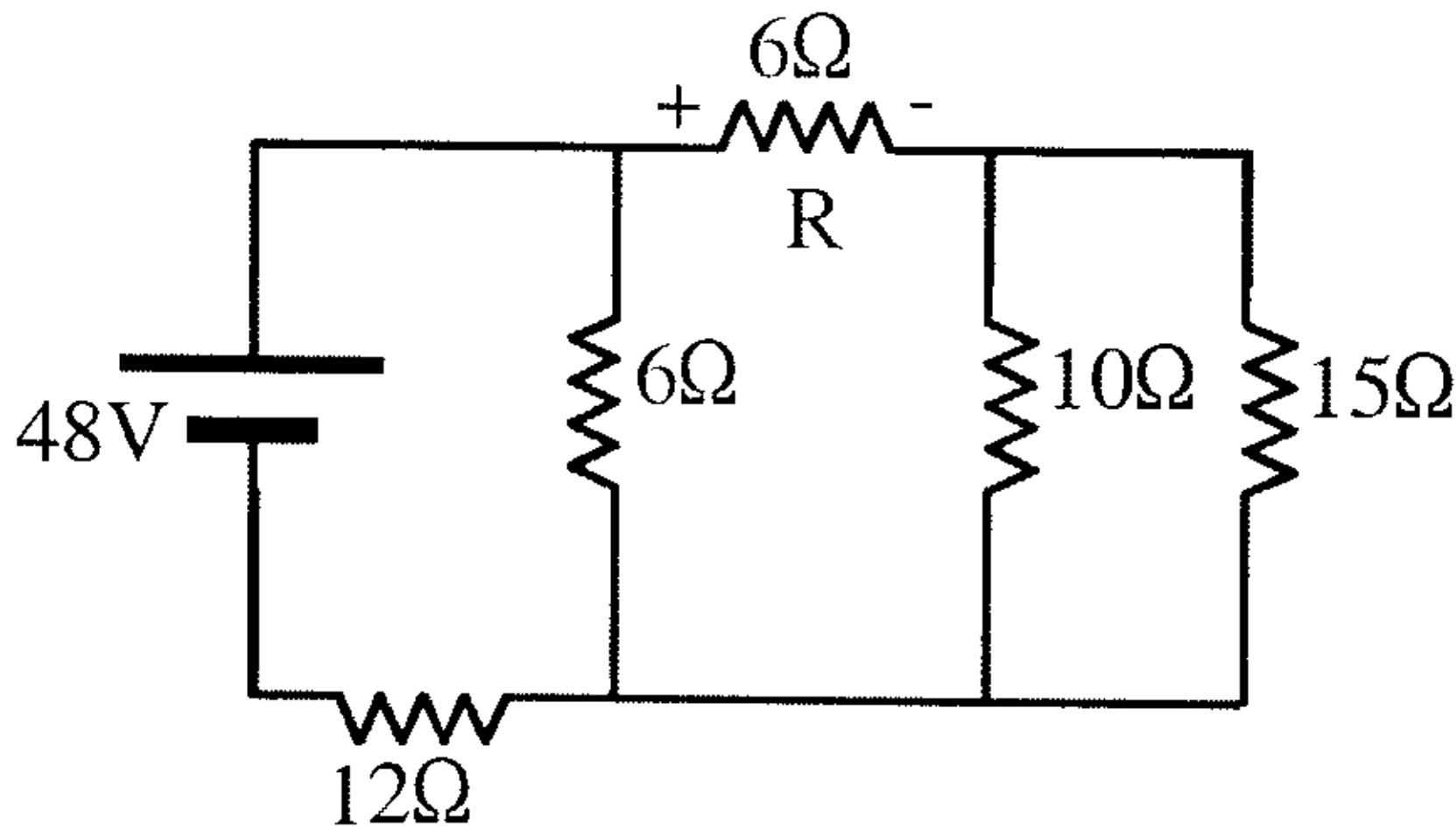


المسألة 26.4 عن طريق تحويل

المصدر وقوانين كيرشوف أوجد

قيمة المقاومة المجهولة (R)

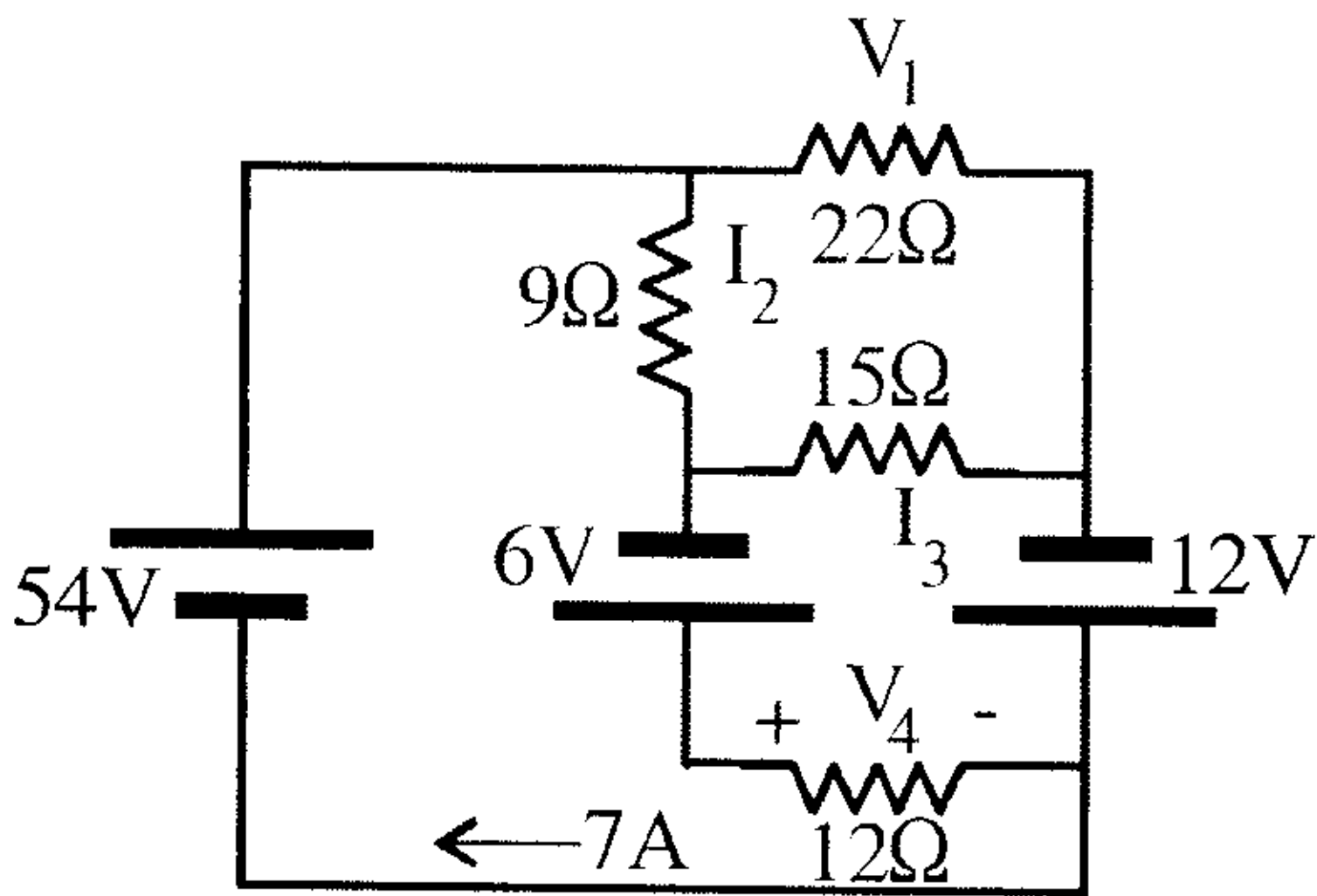
والقدرة المولدة بواسطة الجهد.



المسألة 27.4 من الدائرة بالشكل أوجد :

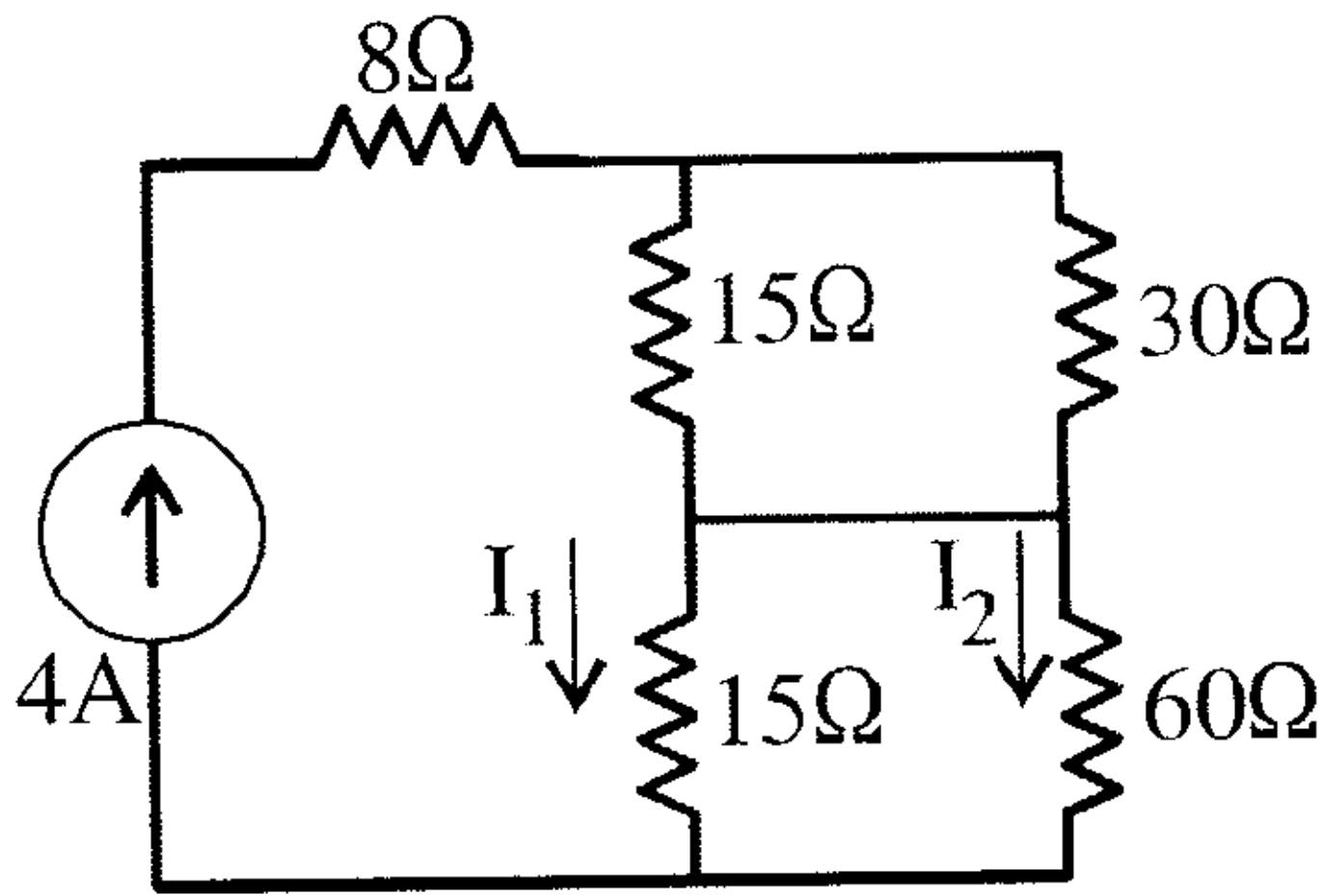
V_4, V_1, I_3, I_2 وكذلك القدرة

المولدة من مصدر الجهد (12V).



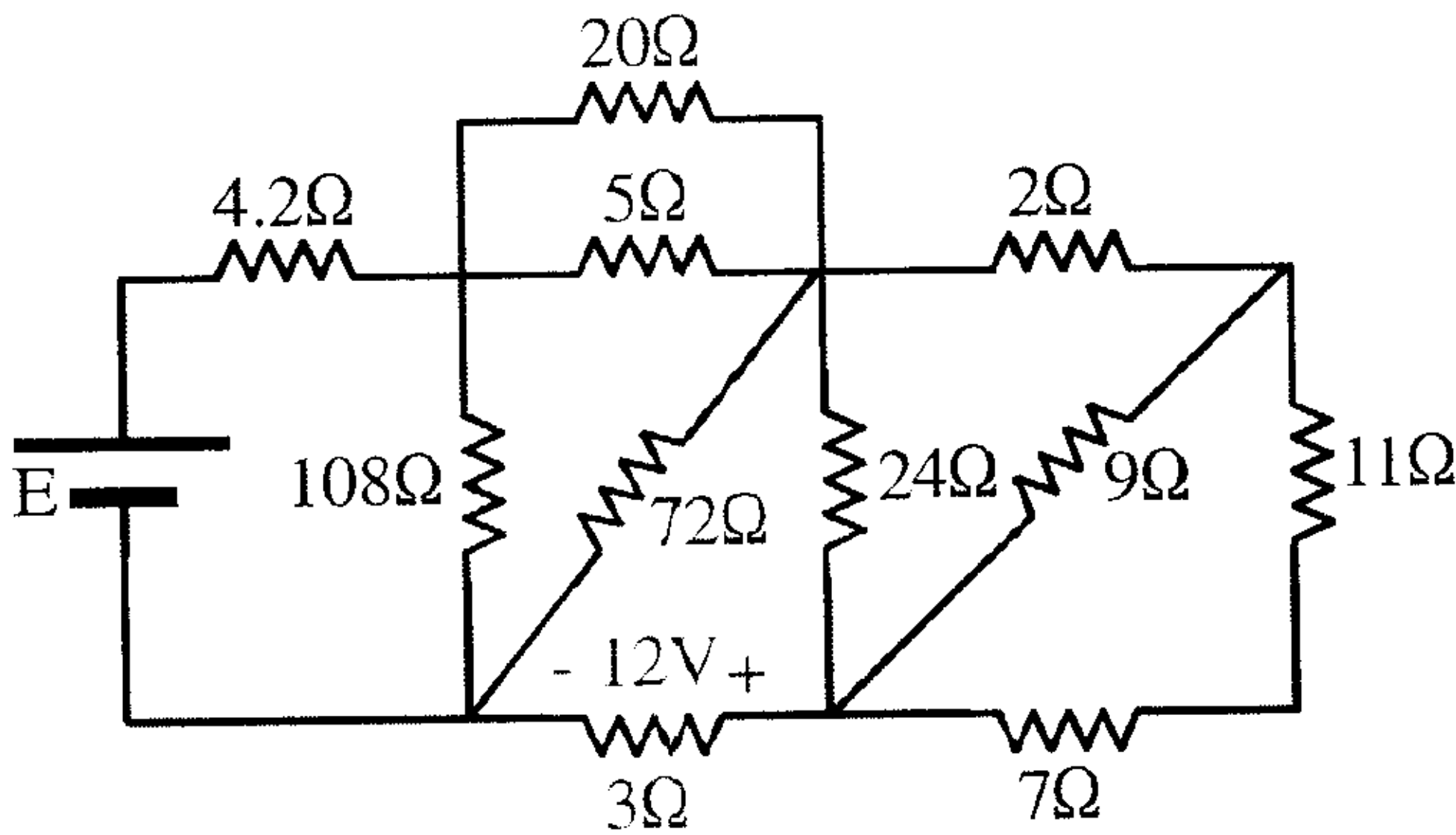
المسألة 28.4 من الدائرة بالشكل أوجد :

$$P_S, R_T, I_2, I_1, P_{60\Omega}, V_{30\Omega}$$



المسألة 29.4 من الدائرة بالشكل أوجد قيمة

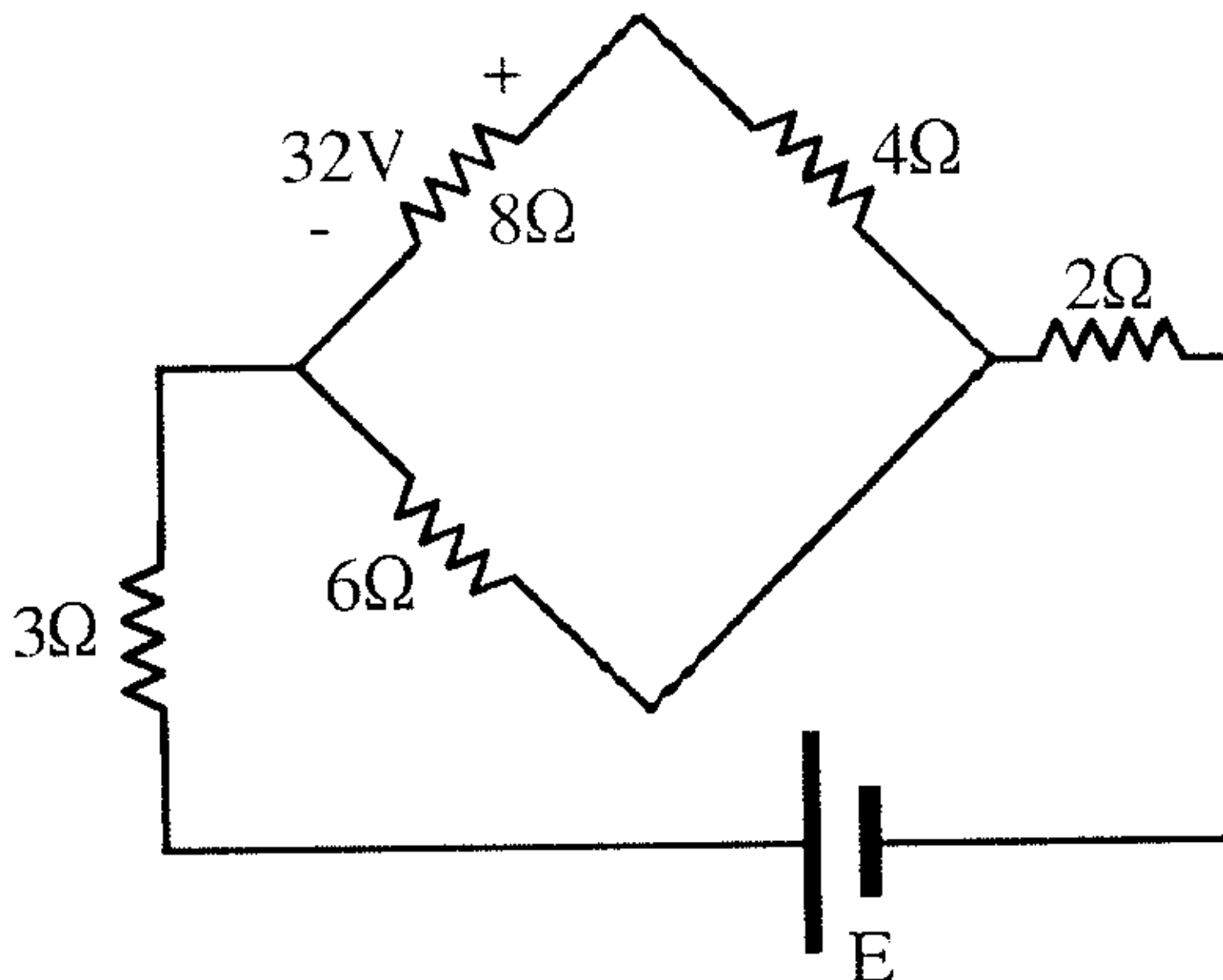
جهد المصدر (E).



المسألة 30.4 من الدائرة

بالشكل أوجد قيمة مصدر

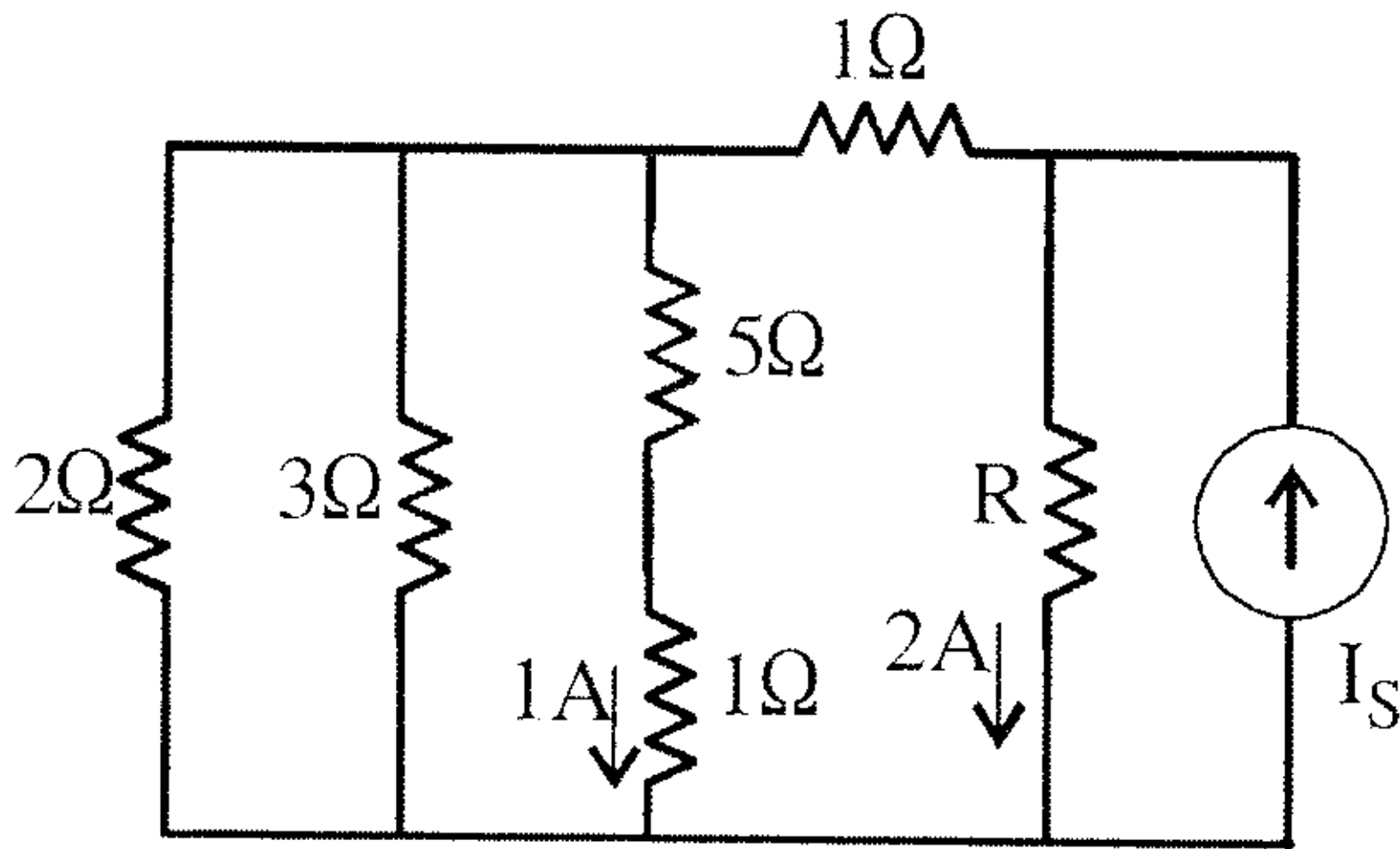
الجهد (E).



المسألة 31.4 باستخدام (KCL)

(KVL) والمجزئات أوجد و P_S

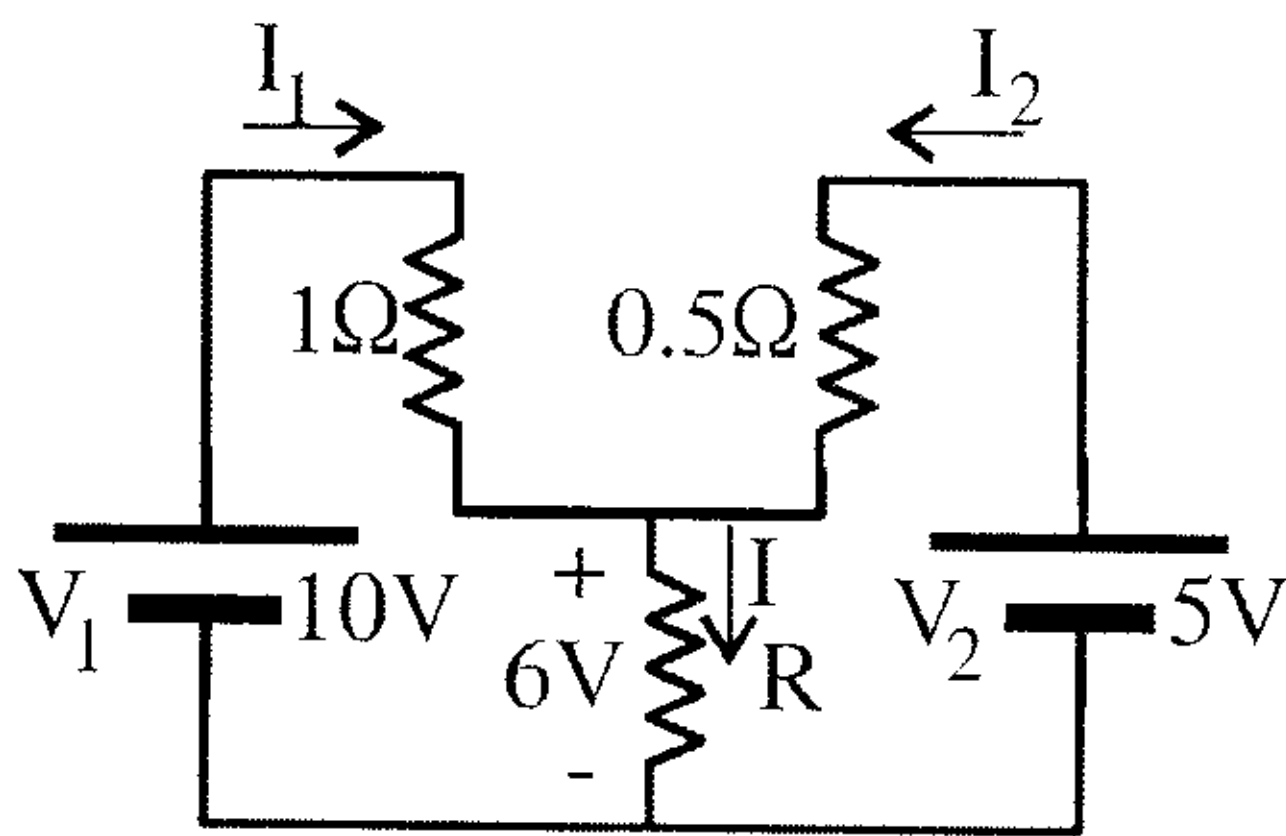
. I_S , P_R , R



المسألة 32.4 من الدائرة بالشكل أوجد :

. R , I_2 , I_1 , I -1

. P_{V2} , P_{V1} , P_R -2



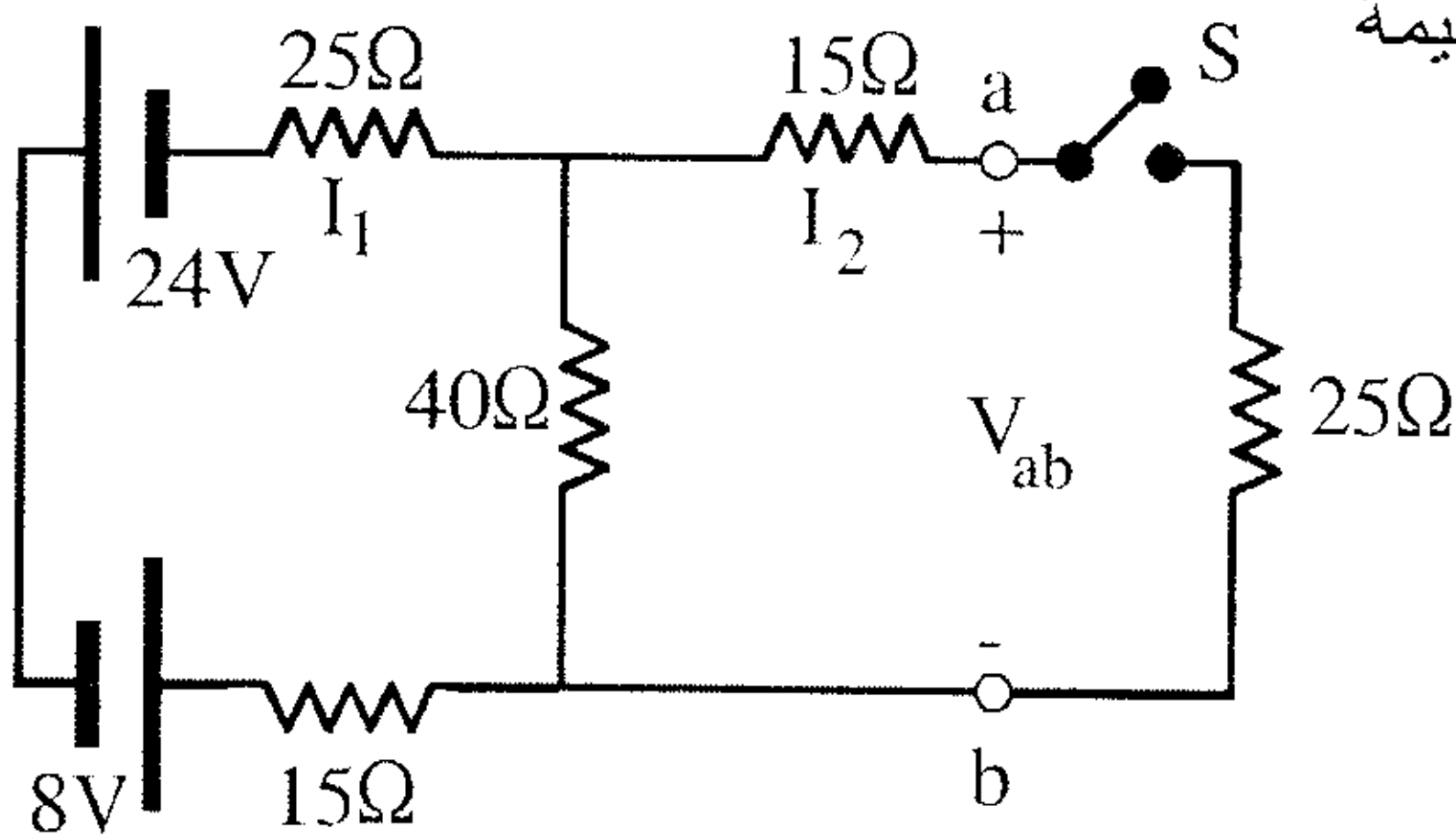
المسألة 33.4 من الدائرة بالشكل أوجد قيمة

كل من V_{ab} , I_2 , I_1 في الحالتين:

1- عندما يكون المفتاح (S)

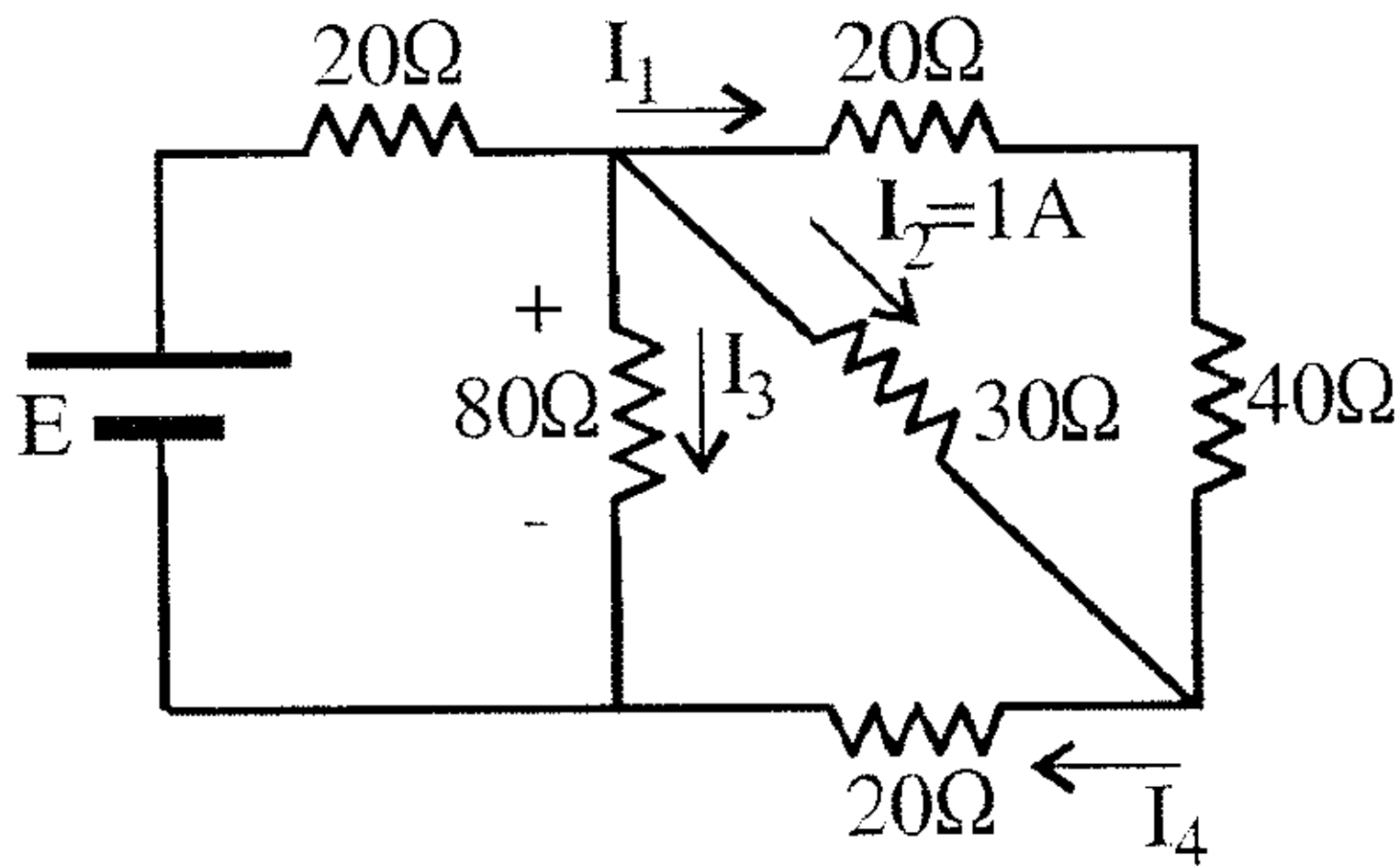
مفتوحاً.

2- عندما يكون المفتاح (S) مغلقاً.



المسألة 34.4 من الدائرة بالشكل

أوجد: P_S , E , I_4 , I_1 .

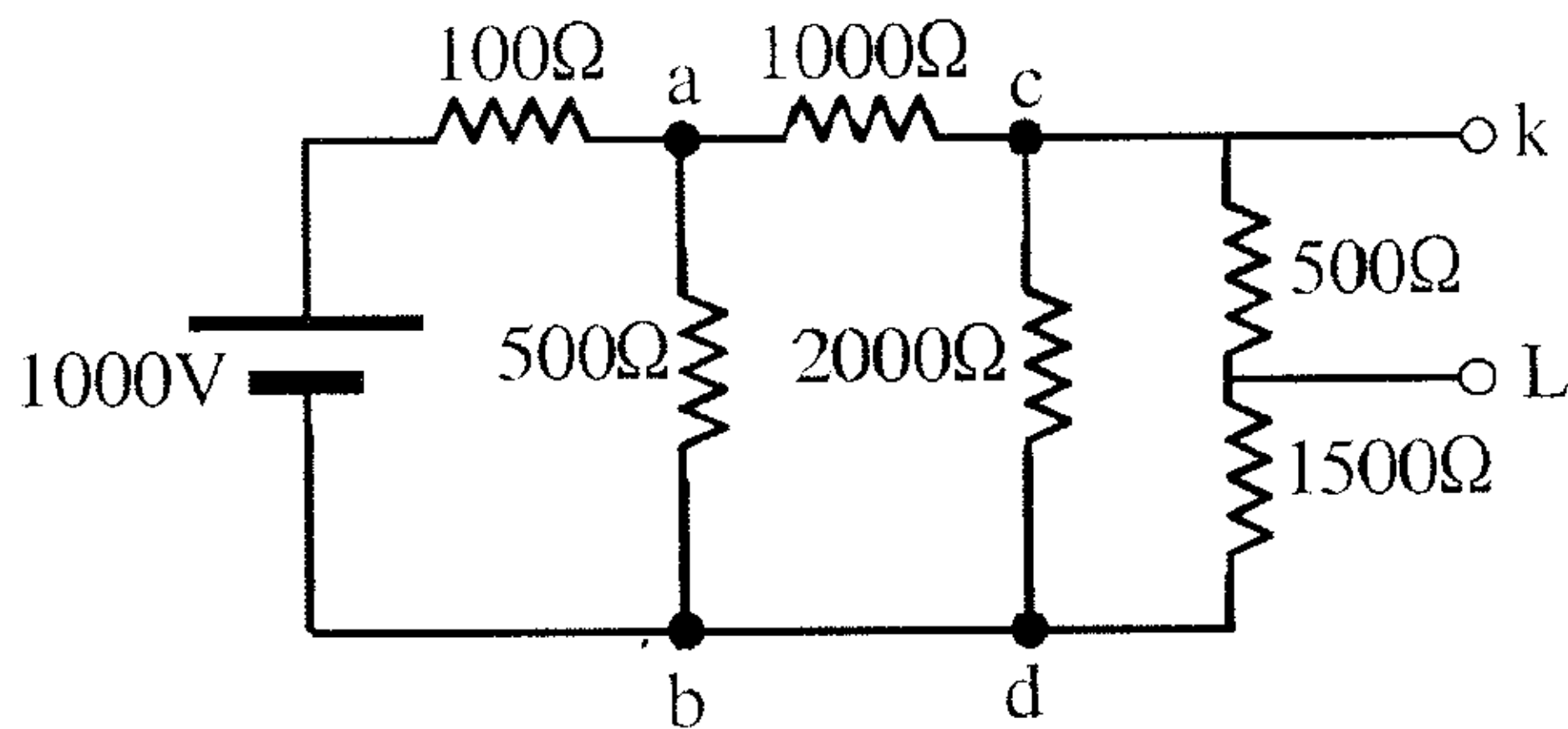


المسألة 35.4 من الدائرة

بالشكل أوجد كلاً من:

1- I_S , R_T .

2- I_{ac} , V_{ab} , V_{KL} .



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

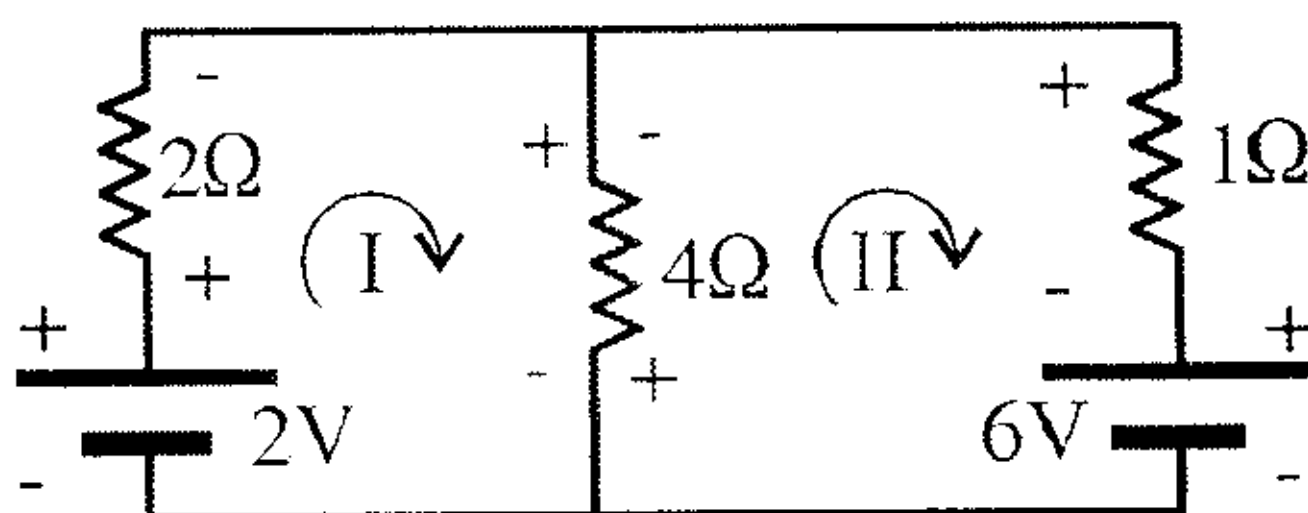
عندما تزداد الدوائر الكهربائية تعقيداً بتعدد مصادر الجهد والتيار في الدائرة الواحدة فإن قوانين كيرشوف والمقسمات تعجز عن تحليل بعض هذه الدوائر، لذلك وضعت بعض الطرق والأساليب لتحليل الدوائر والتي سوف نتناول في هذا الفصل شرحها وتطبيقها على بعض الدوائر.

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 كيرشوف والمقسمات وقانون أوم لا يمكننا الخوض في طرق وأساليب تحليل الدوائر.

1.5 التحليل الحلقي (الشبكي) Mesh Analysis .

في هذه الطريقة نستخدم قوانين كيرشوف 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) والمعروف بـ (I) و (II) حيث أن هذه الفرضية



ليست بالضرورة أن تكون صحيحة وفي

نهاية الحل سوف نثبت صحة هذه

الفرضية من عدمها.

2- نحدد أقطاب كل مقاومة لكل حلقة على حدة بناءً 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 كيرشوف للجهد لكل حلقة وذلك في اتجاه عقارب الساعة، ولمعرفة الجهد بمعلومية المقاومة يجب التعرف على تيار كل حلقة حيث نفرض أن الحلقة

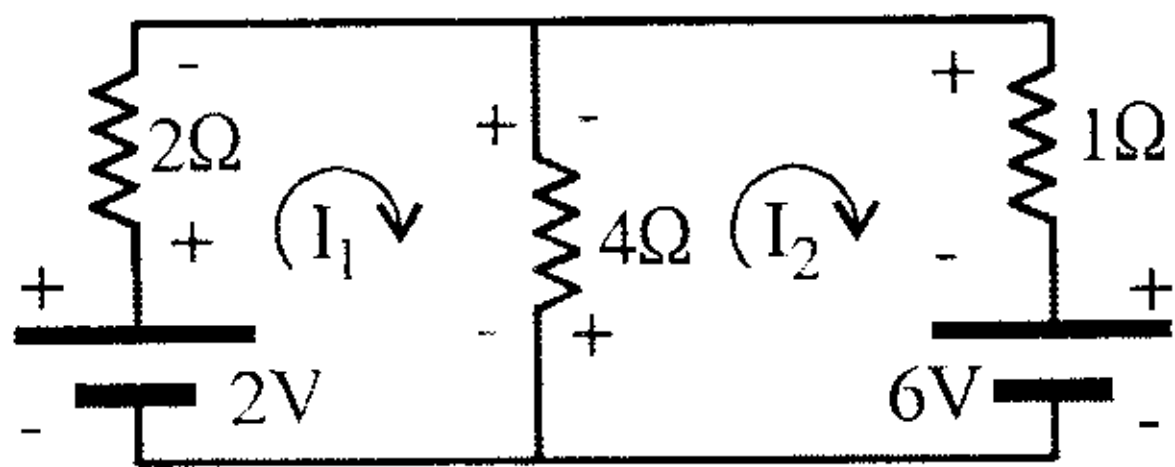
الأولى تيارها (I_1) والحلقة الثانية تيارها (I_2) وهكذا ...

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.

الحل: هذه الدائرة تحتوي على حلقتين أي المطلوب إيجاد تيارين I_1 و I_2 .

تم تحديد أقطاب المقاومات حسب اتجاه التيار. الدخول للمقاومة (+) والخروج (-).
نطبق قانون (KVL) :

Loop 1

الحلقة الأولى :

$$+E_1 - V_1 - V_3 = 0$$

$$+2V - (2\Omega) I_1 - (4\Omega) (I_1 - I_2) = 0$$

Loop 2

الحلقة الثانية :

$$-E_2 - V_3 - V_2 = 0$$

$$-6V - (4 \Omega)(I_2 - I_1) - (1\Omega)I_2 = 0$$

$$\therefore +2 - 2I_1 - 4I_1 + 4I_2 = 0 \quad \text{loop1}$$

$$-6 - 4I_2 + 4I_1 - I_2 = 0 \quad \text{loop2}$$

$$-6I_1 + 4I_2 + 4I_1 - I_2 = 0 \quad \text{loop1}$$

$$+4I_1 - 5I_2 - 6 = 0 \quad \text{loop2}$$

$$-6I_1 + 4I_2 = -2 \quad \text{loop1}$$

$$+4I_1 - 5I_2 = 6 \quad \text{loop2}$$

لدينا معادلتان ذواتا مجهولين، نستخدم المحددات لإيجاد I_1 و I_2

$$\Delta = \begin{vmatrix} -6 & 4 \\ 4 & -5 \end{vmatrix} = 30 - 16 = 14$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} -2 & 4 \\ 6 & -5 \end{vmatrix} = 10 - 24 = -14$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} -6 & -2 \\ 4 & 6 \end{vmatrix} = -36 - (-8) = -28$$

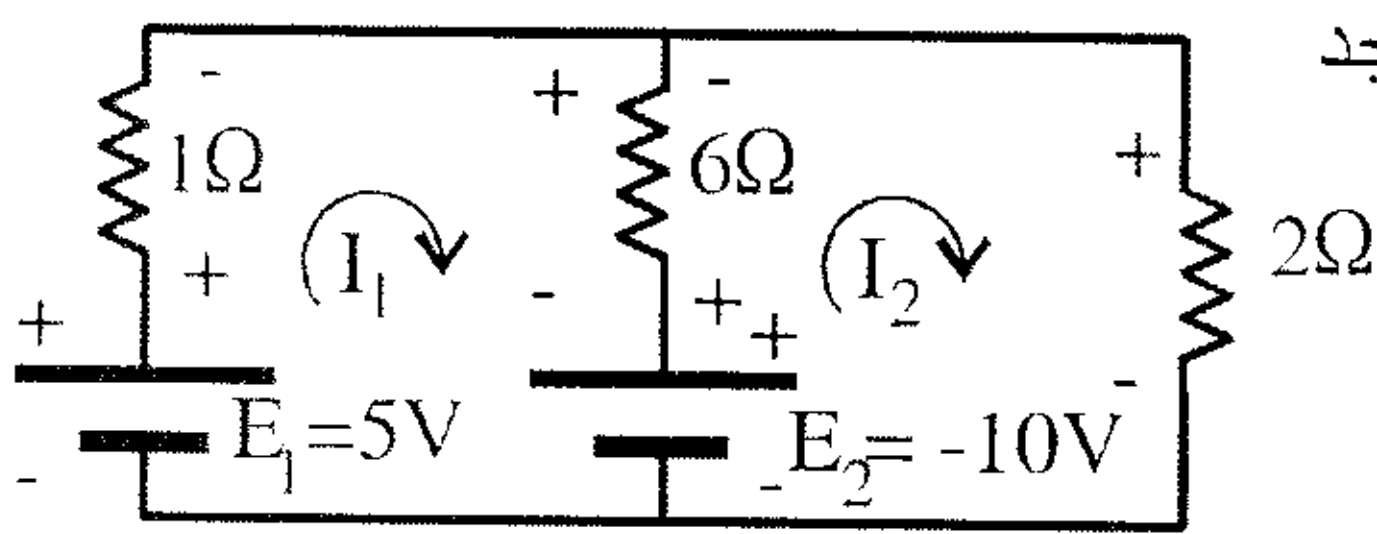
$$I_1 = \Delta_1 / \Delta = -14 / 14 = -1 A \quad , \quad I_2 = \Delta_2 / \Delta = -28 / 14 = -2 A$$

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.

الحل:

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_1 و I_2

$$\Delta = \begin{vmatrix} -7 & 6 \\ 6 & -8 \end{vmatrix} = 56 - 36 = 20$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 5 & 6 \\ -10 & -8 \end{vmatrix} = -40 - (-60) = 20$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} -7 & 5 \\ 6 & -10 \end{vmatrix} = 70 - 30 = 40$$

$$I_1 = \Delta_1 / \Delta = 20 / 20 = 1A$$

$$I_2 = \Delta_2 / \Delta = 40 / 20 = 2A$$

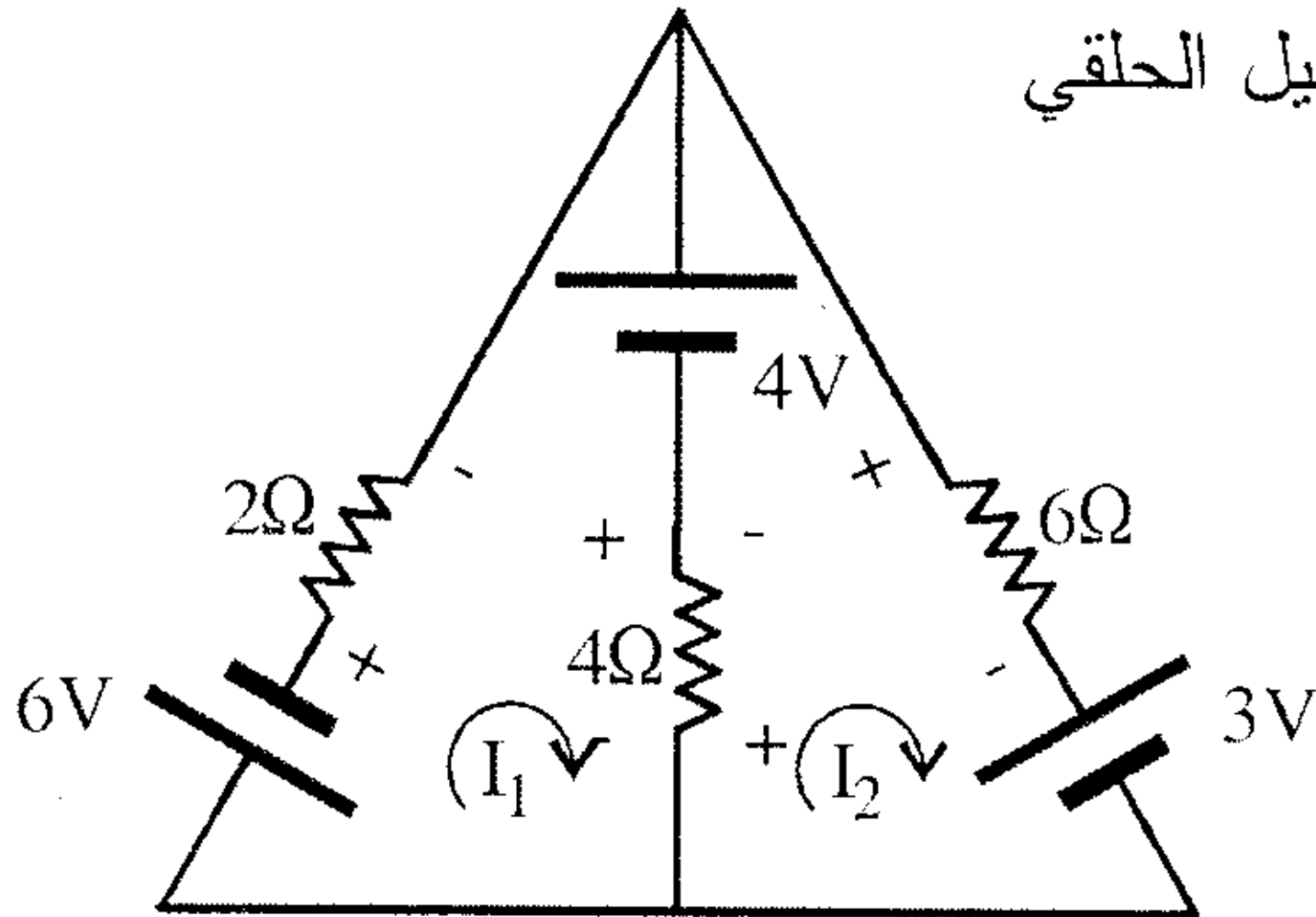
بما أن I_1 و I_2 موجبان ويتدفقان في اتجاهين مضادين عبر المقاومة R_2 والمصدر E_2 إذاً التيار الكلي في الفرع يساوي الفرق بين التيارين ويأخذ اتجاه التيار الأكبر.

$$I_{R2} = I_2 - I_1 = 2A - 1A = 1A$$

وفي اتجاه I_2 .

مثال 3.5: من الدائرة التالية وباستخدام التحليل الحلقي

أوجد : I_1 , I_2 .



الحل:

$$-6 - 2I_1 - 4 - 4I_1 + 4I_2 = 0 \quad \text{loop1}$$

$$-6I_1 + 4I_2 - 10 = 0$$

$$-6I_1 + 4I_2 = 10$$

$$4 - 6I_2 - 3 - 4I_2 + 4I_1 = 0$$

Loop2

$$4I_1 - 10I_2 = -1$$

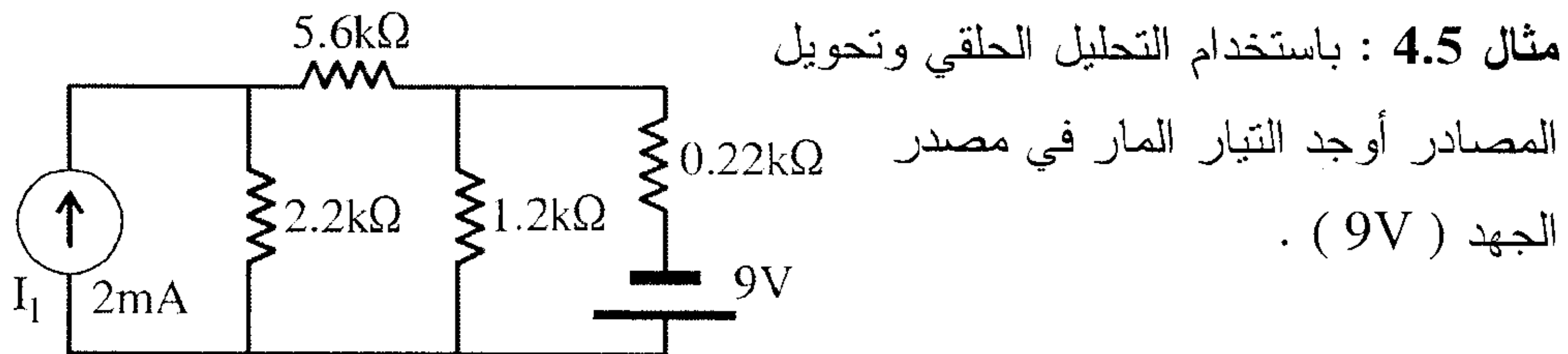
$$I_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} 10 & 4 \\ -1 & -10 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -6 & 4 \\ 4 & -10 \end{vmatrix}} = \frac{-100 + 4}{60 - 16} = -2.182A$$

$$I_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} -6 & 10 \\ 4 & -1 \end{vmatrix}}{44} = \frac{6 - 40}{44} = -0.773A$$

التيار الفعلي المار خلال المقاومة (4Ω) والمصدر ($4V$) يساوي

$$I_2 - I_1 = 1.409A$$

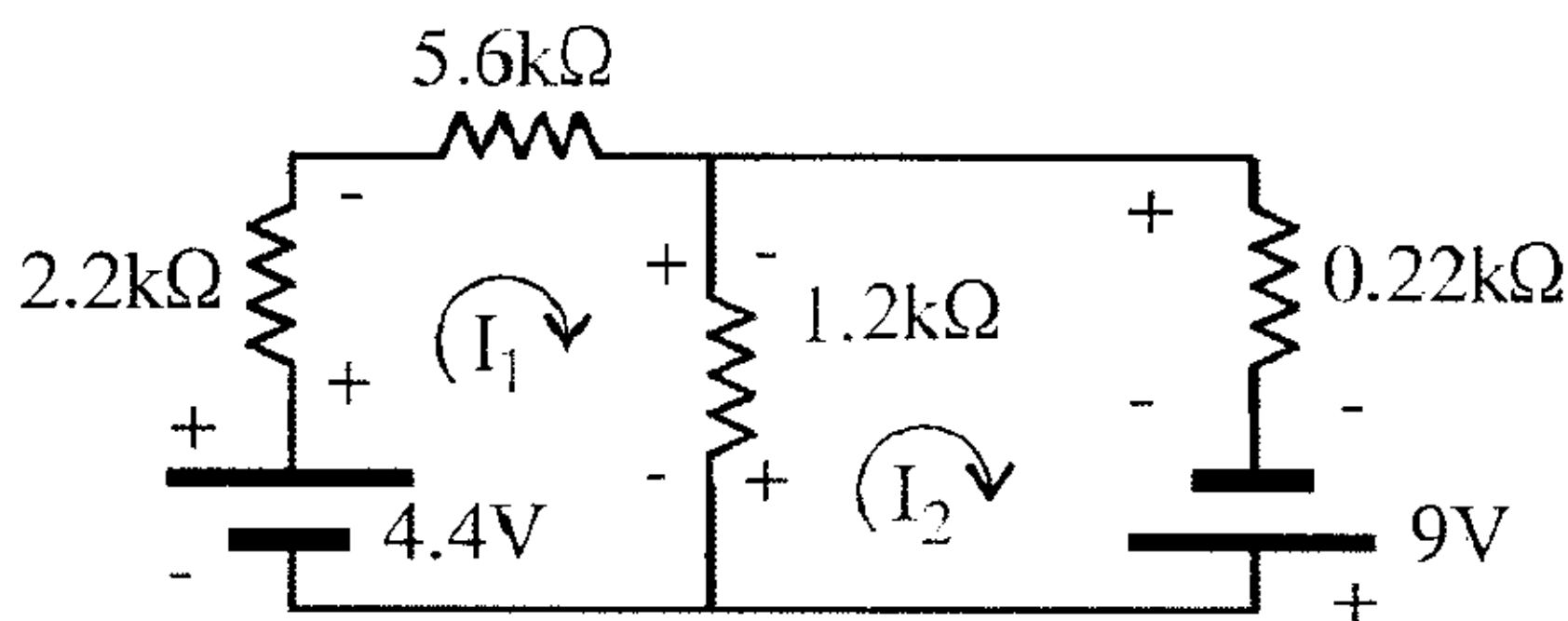
مثال 4.5 : باستخدام التحليل الحلقي وتحويل



الحل:

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:

$$- 1.2k \Omega I_2 + 1.2k \Omega I_1 - 0.22k \Omega I_2 + 9 = 0$$

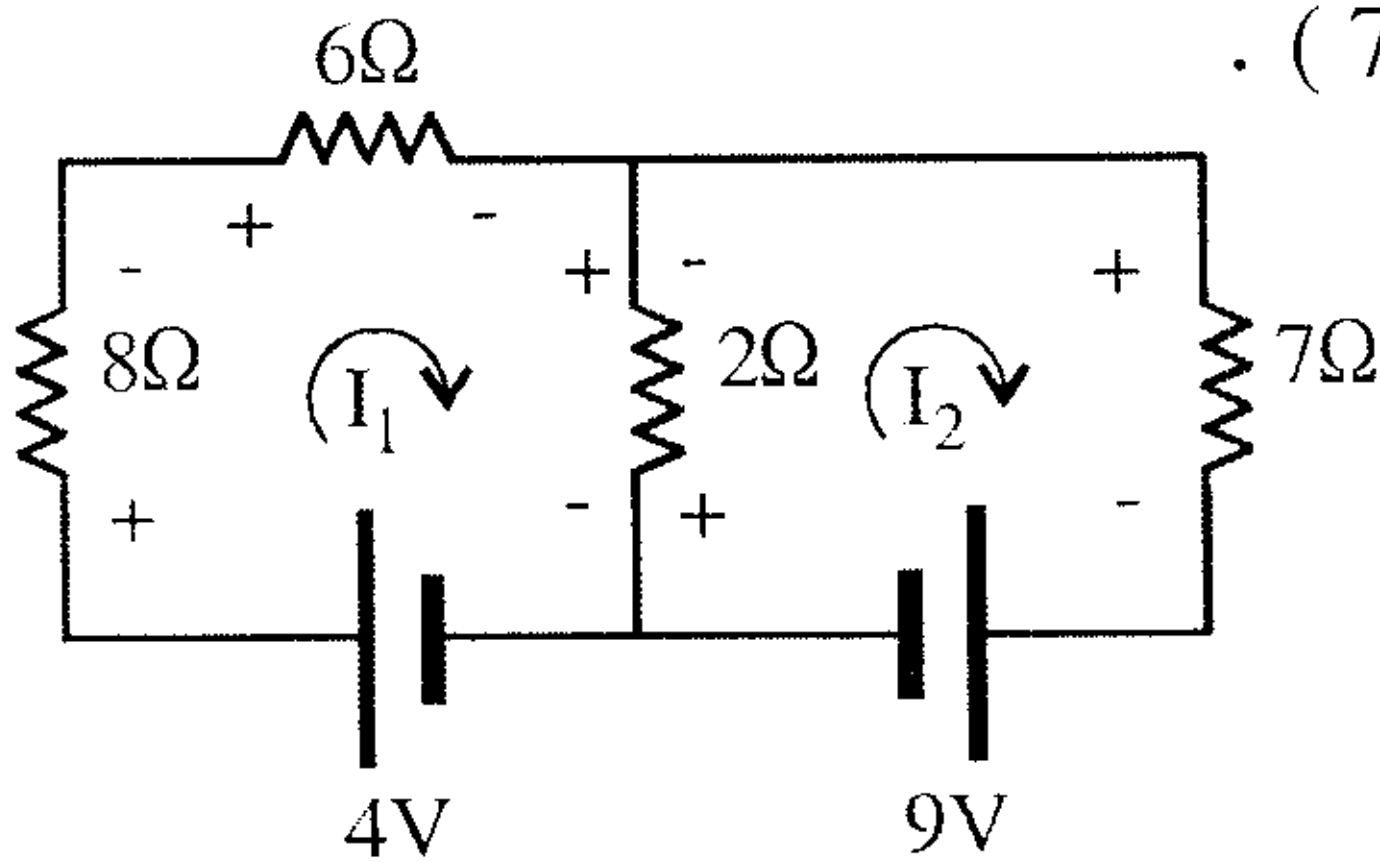
$$1.2k \Omega I_1 - 1.42k \Omega I_2 = -9$$

بضرب المعادلة في (-1)

$$-1.2k \Omega I_1 + 1.42k \Omega I_2 = 9$$

$$I_{9V} = I_2 = \frac{\begin{vmatrix} 9 & 4.4 \\ -1.2 & 9 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 9 & -1.2 \\ -1.2 & 1.42 \end{vmatrix}} = 7.608mA$$

مثال 5.5: أوجد التيار المار في المقاومة (7 Ω) .



الحل :

$$\text{Loop1:} \quad (8 + 6 + 2) I_1 - 2I_2 = 4$$

$$\text{Loop2:} \quad (2 + 7) I_2 - 2I_1 = -9$$

$$16I_1 - 2I_2 = 4$$

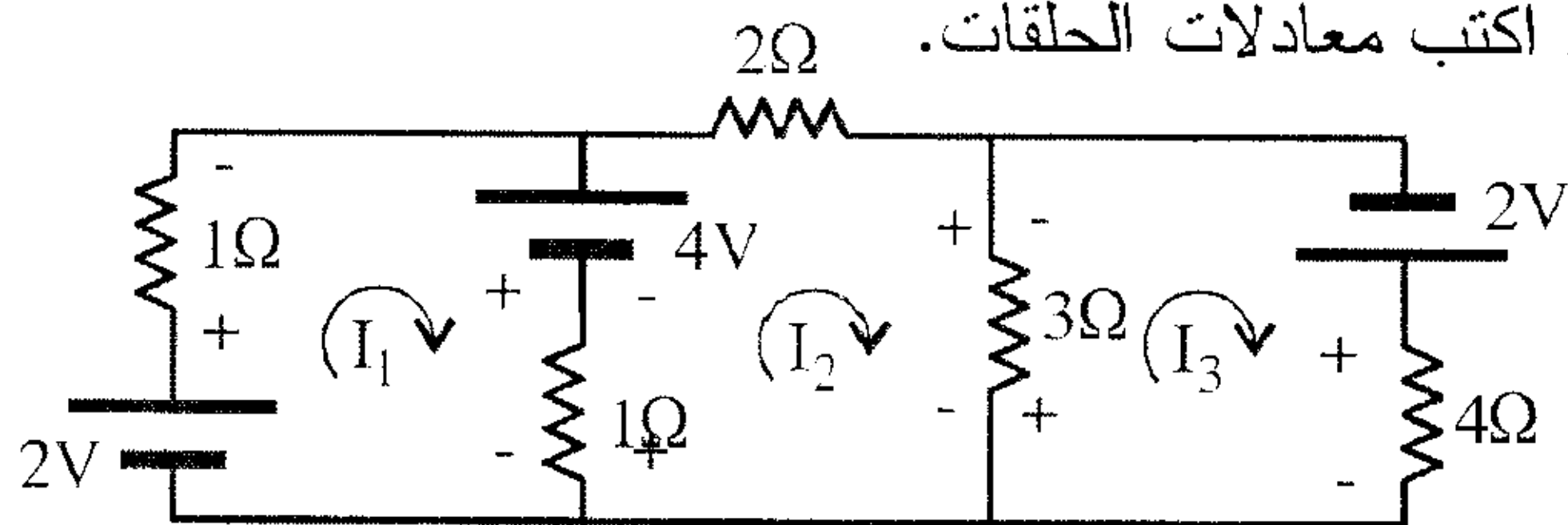
$$9I_2 - 2I_1 = -9$$

$$16I_1 - 2I_2 = 4$$

$$-2I_1 + 9I_2 = -9$$

$$I_2 = I_{7\Omega} = \frac{\begin{vmatrix} 16 & 4 \\ -2 & -9 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 16 & -2 \\ -2 & 9 \end{vmatrix}} = \frac{-144+8}{144-4} = \frac{-136}{140} = -0.971A$$

مثال 6.5 : من الدائرة بالشكل اكتب معادلات الحلقات.



الحل:

Loop1: $2I_1 - I_2 = 2 - 4$

$$2I_1 - I_2 = -2$$

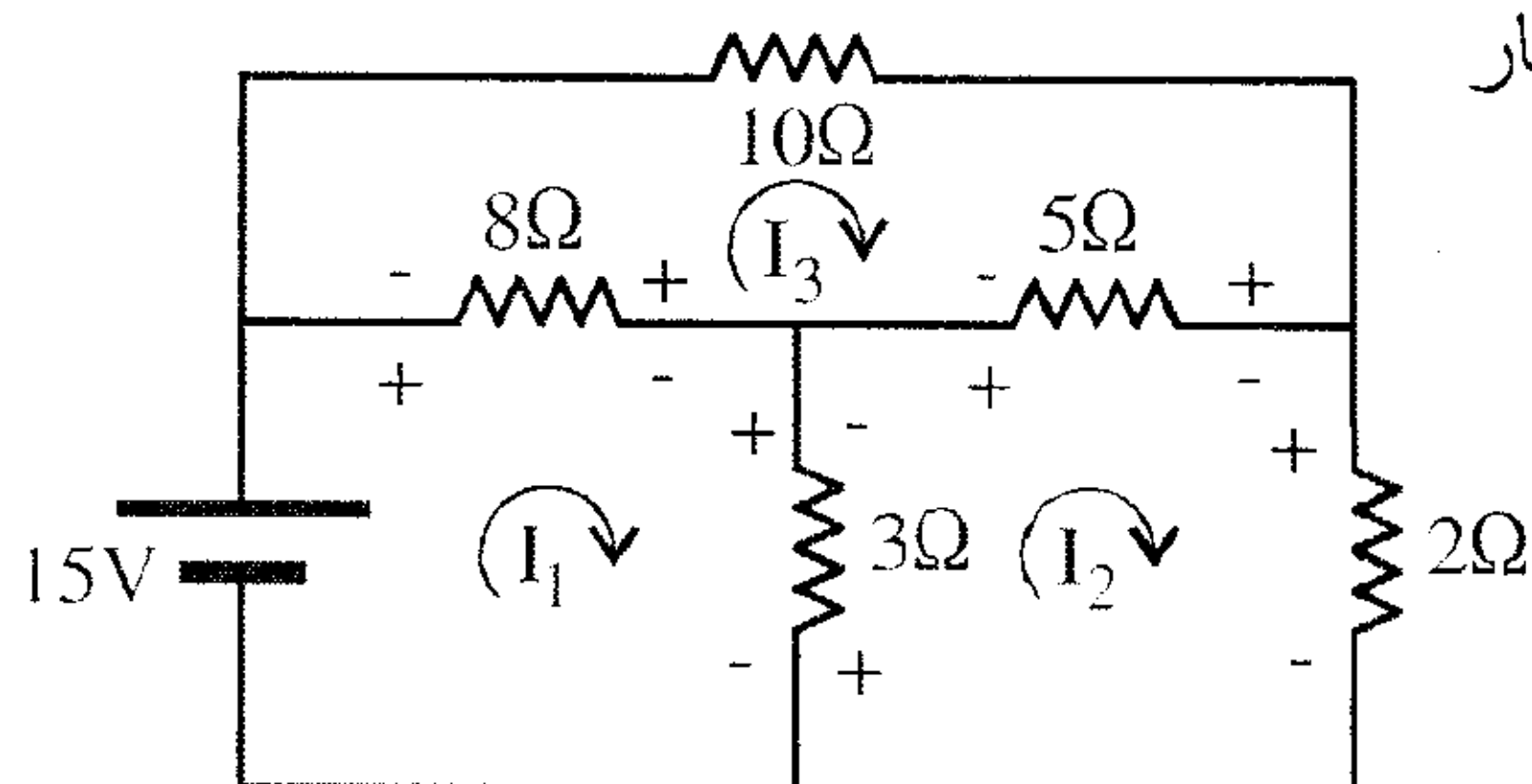
Loop2: $6I_2 - I_1 - 3I_3 = 4$

$$-I_1 + 6I_2 - 3I_3 = 4$$

Loop3: $7I_3 - 3I_2 = 2$

مثال 7.5 : من الدائرة بالشكل أوجد التيار

المرار خلال المقاومة (10Ω).



الحل:

Loop1: $11I_1 - 8I_3 - 3I_2 = 15$

Loop2: $10I_2 - 3I_1 - 5I_3 = 0$

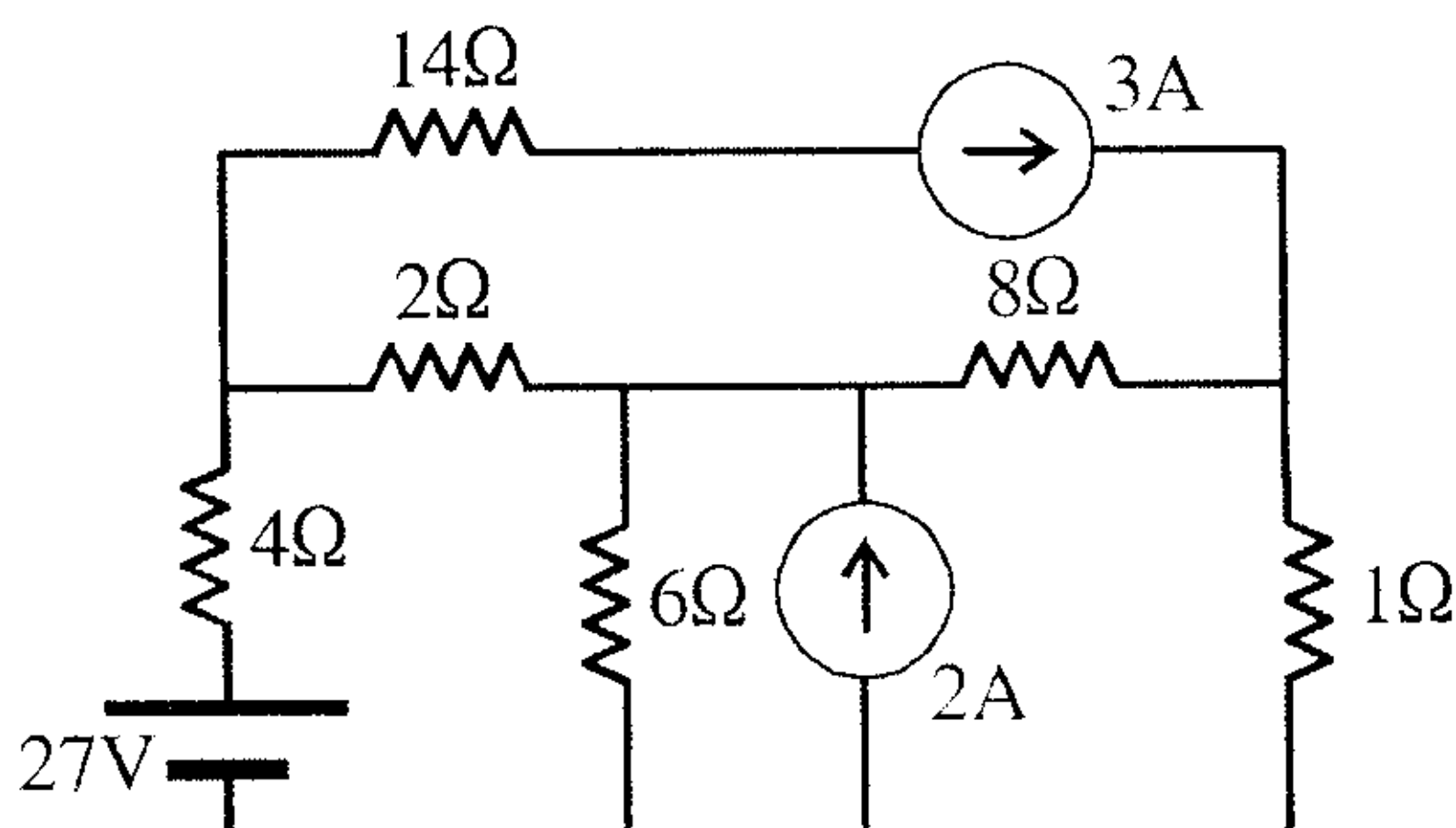
Loop3: $23I_3 - 8I_1 - 5I_2 = 0$

$$11I_1 - 3I_2 - 8I_3 = 15$$

$$-3I_1 + 10I_2 - 5I_3 = 0$$

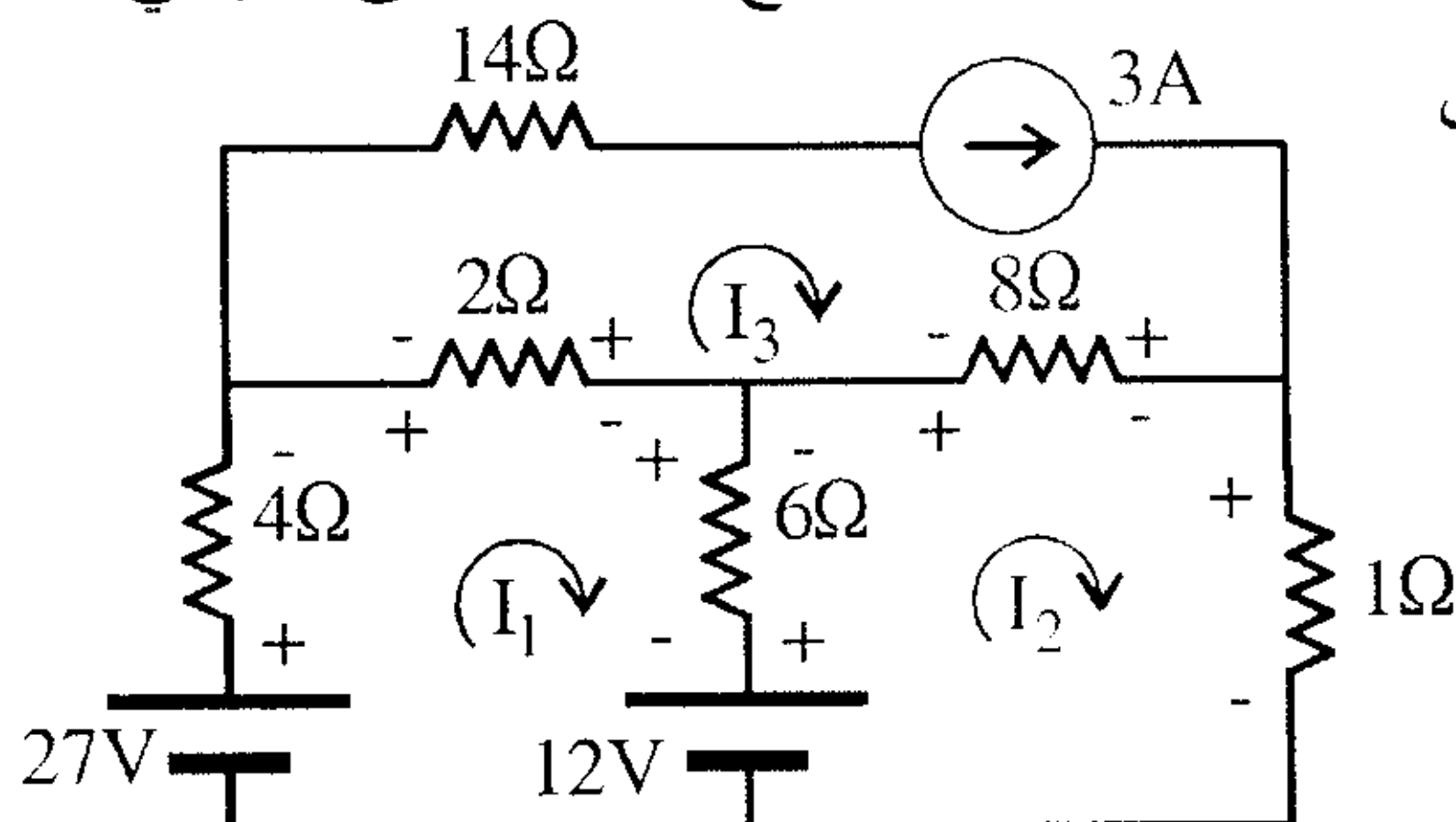
$$-8I_1 - 5I_2 + 23I_3 = 0$$

$$I_3 = I_{10\Omega} = \frac{\begin{vmatrix} 11 & -3 & 15 \\ -3 & 10 & 0 \\ -8 & -5 & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 11 & -3 & -8 \\ -3 & 10 & -5 \\ -8 & -5 & 23 \end{vmatrix}} = 1.22A$$



مثال 8.5 : باستخدام التيارات الحلقية
احسب القدرة المستهلكة في المقاومة
(8 Ω) والتيار المار في المقاومة
(1 Ω) .

الحل: 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

$$12I_1 - 6I_2 = 21$$

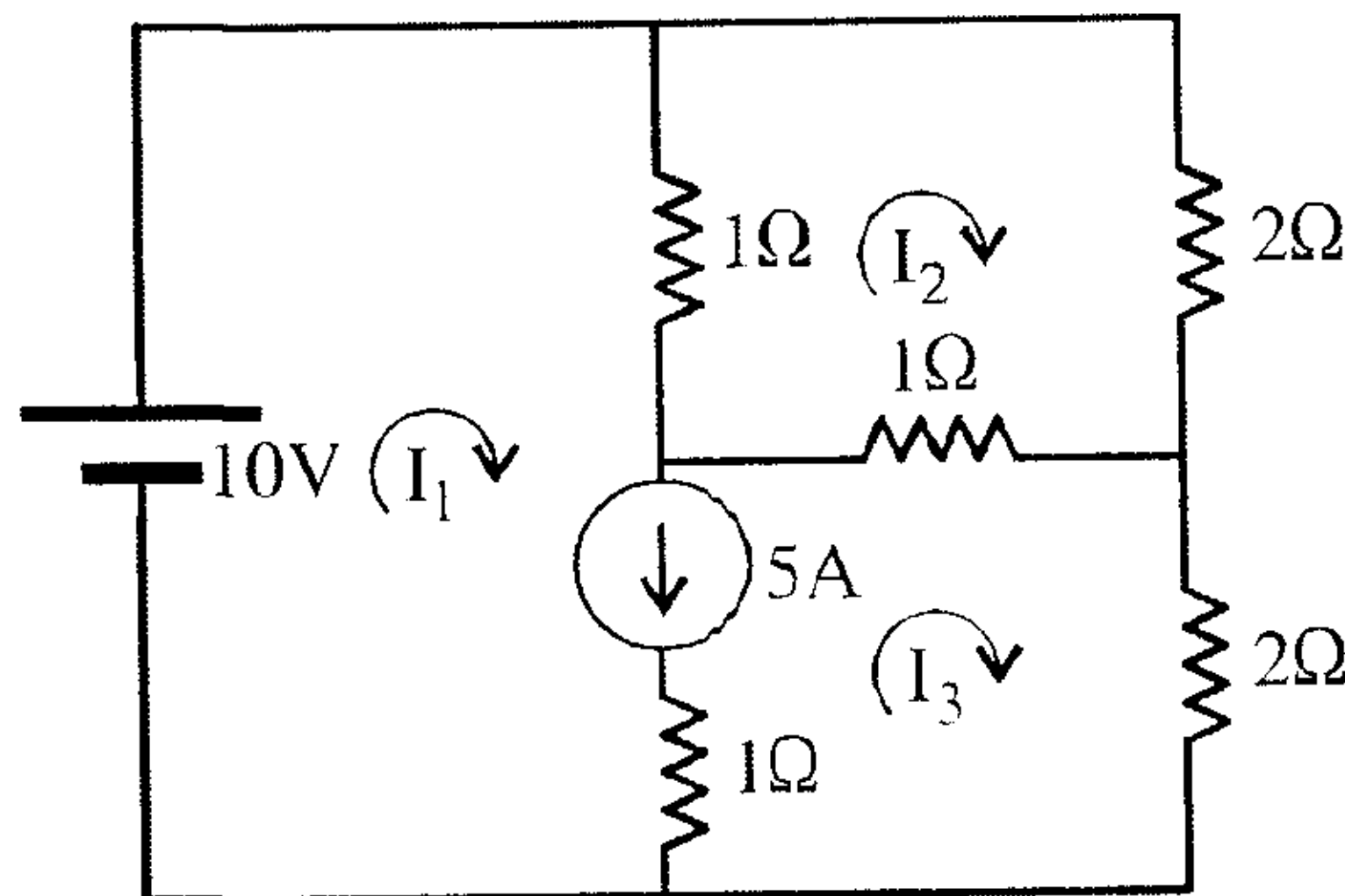
$$-6I_1 + 15I_2 = 36$$

$$I_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} 12 & 21 \\ -6 & 36 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 12 & -6 \\ -6 & 15 \end{vmatrix}} = \frac{558}{144} = 3.875A$$

$$I_{8\Omega} = I_2 - I_3 = 3.875A - 3A = 0.875A$$

$$P_{8\Omega} = I^2 R = (0.875)^2 (8\Omega) = 6.125 W$$

التيار المار في المقاومة (1Ω) هو التيار I_2 .



مثال 9.5 : من الدائرة بالشكل أوجد قيمة

تيارات الحلقات I_1 , I_2 , I_3 .

الحل:

في هذا النوع من الدوائر نلاحظ أن

مصدر التيار يقع ما بين حلقتي أي التيارين I_1 و I_3

$$\therefore 5A = I_1 - I_3 \Rightarrow I_3 = I_1 - 5A$$

نطبق أسلوب التحليل الحلقى كالتالي:

$$\text{Loop1: } 2I_1 - I_2 - I_3 = 10$$

$$\text{Loop2: } -I_1 + 4I_2 - I_3 = 0$$

$$\text{Loop3: } -I_1 - I_2 + 4I_3 = 0$$

نعوض عن I_3 في المعادلات السابقة:

$$2I_1 - I_2 - (I_1 - 5) = 10$$

$$2I_1 - I_2 - I_1 + 5 = 10$$

$$I_1 - I_2 = 5 \longrightarrow (1)$$

$$-I_1 + 4I_2 - (I_1 - 5) = 0$$

$$-I_1 + 4I_2 - I_1 + 5 = 0$$

$$-2I_1 + 4I_2 = -5 \longrightarrow (2)$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 5 & -1 \\ -5 & 4 \end{vmatrix} = 15 \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & 5 \\ -2 & -5 \end{vmatrix} = 5 \quad \Delta = \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ -2 & 4 \end{vmatrix} = 2$$

$$I_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{15}{2} = 7.5A$$

$$I_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{5}{2} = 2.5 A$$

$$I_3 = I_1 - 5 = 7.5 A - 5 A = 2.5 A$$

مثال 10.5 : باستخدام التحليل الحلقي أحسب

قيمة الجهد V_x .

الحل:

كما ذكرنا في السابق نقليل عدد الحلقات

بتحويل مصدر التيار (8A) والمقاومة

(5Ω) إلى مصدر جهد (40V) مع مقاومة

(5 Ω) على التوالي

لتكون معادلتا الحلقتين كالتالي:

$$10I_1 - 3I_2 = 30$$

$$-3I_1 + 6I_2 = -5$$

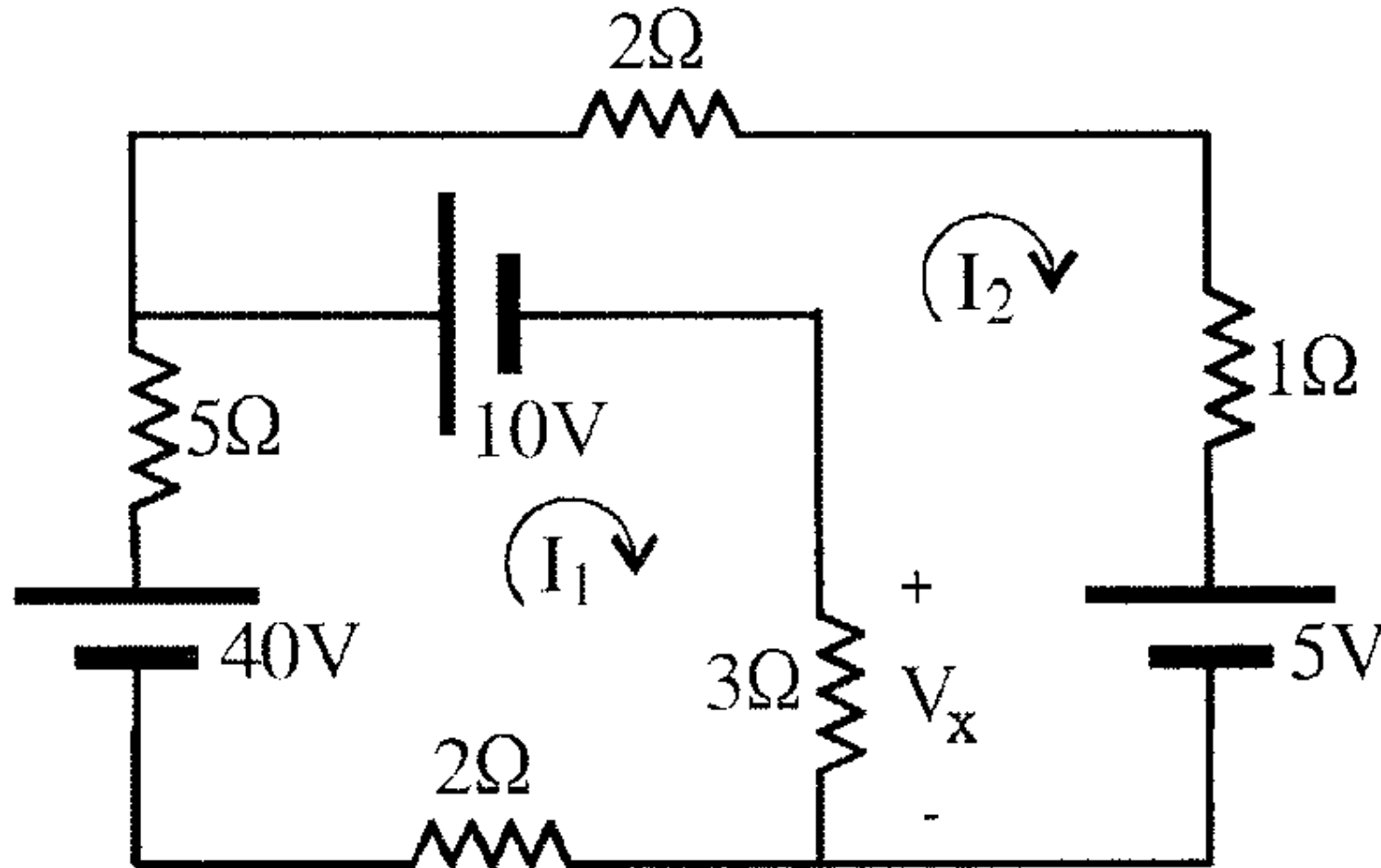
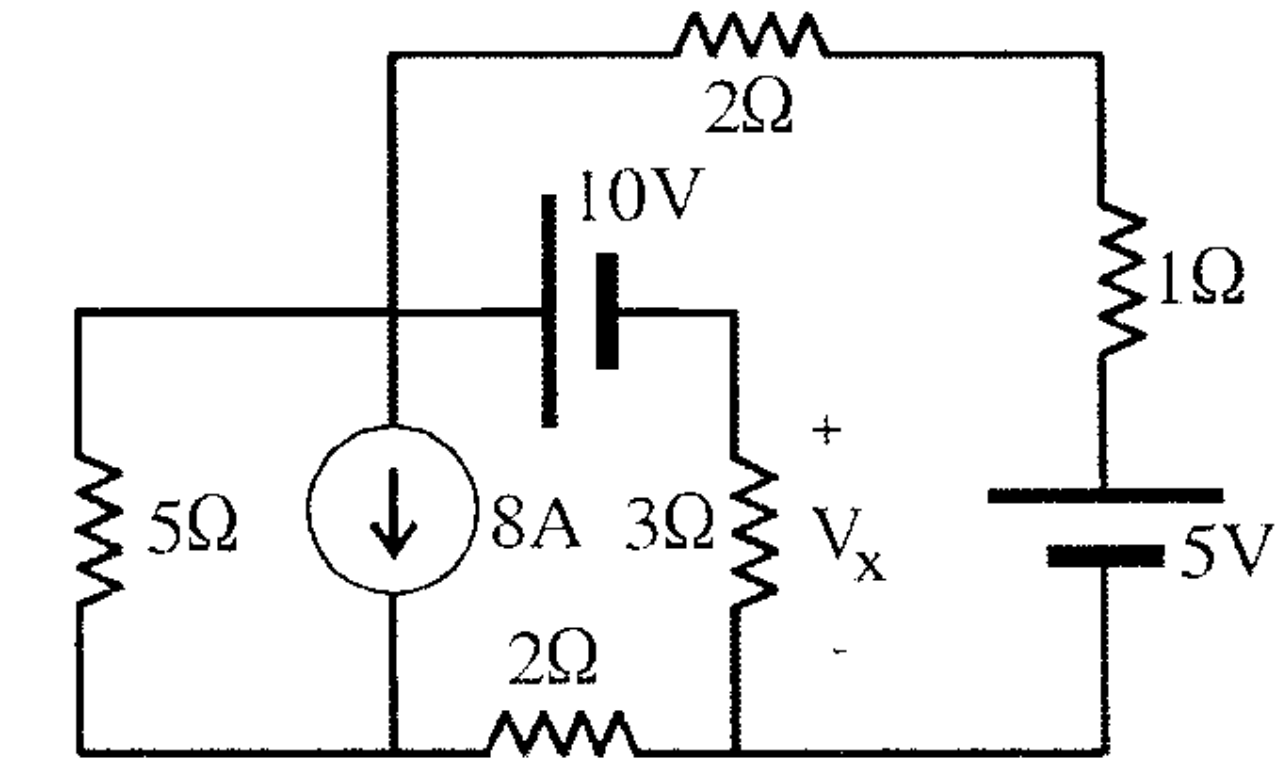
$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 30 & -3 \\ 5 & 6 \end{vmatrix} = 195$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 10 & 30 \\ -3 & 5 \end{vmatrix} = 140 \quad \Delta = \begin{vmatrix} 10 & -3 \\ -3 & 6 \end{vmatrix} = 51$$

$$I_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{195}{51} = 3.82 A \quad , \quad I_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{140}{51} = 2.75 A$$

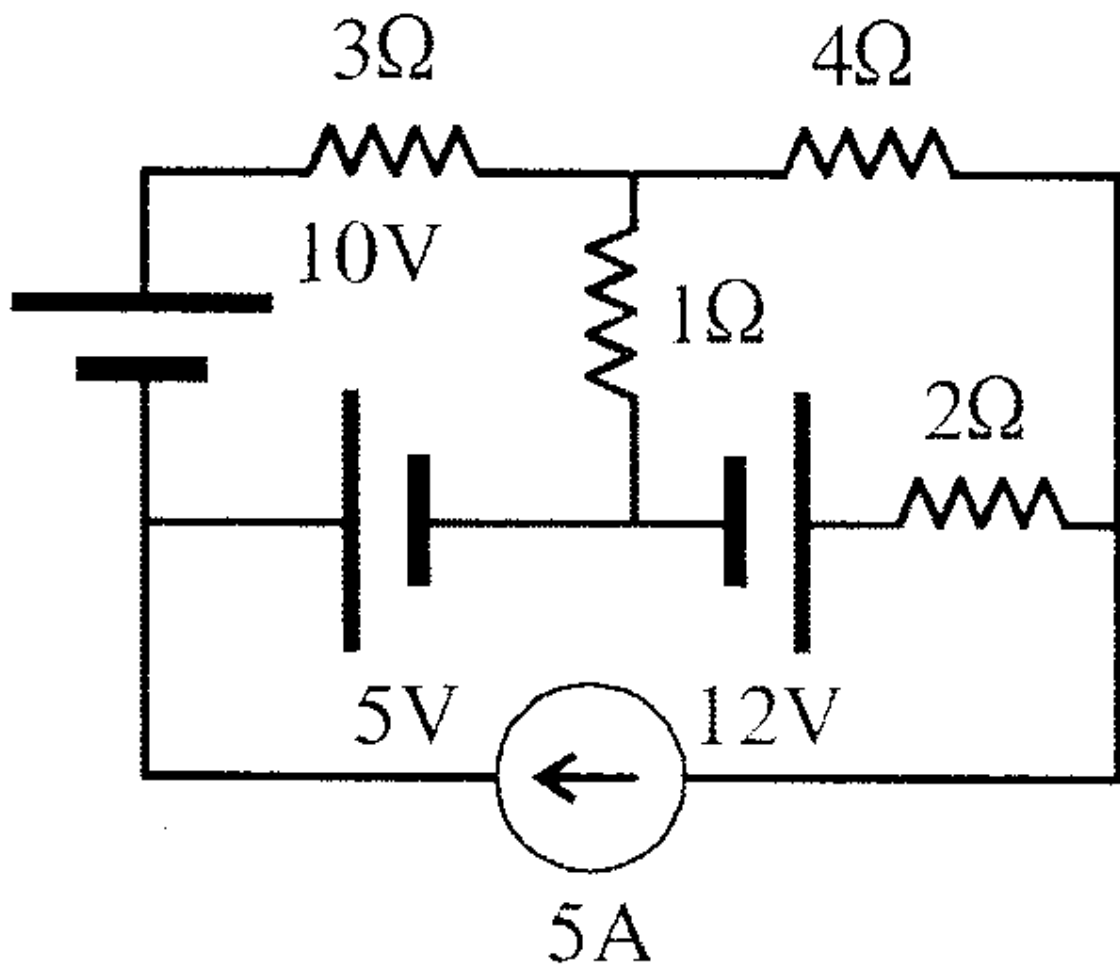
$$I_x = I_1 - I_2 = 3.82 A - 2.75 A = 1.07 A$$

$$V_x = (1.07 A)(3 \Omega) = 3.21 V$$

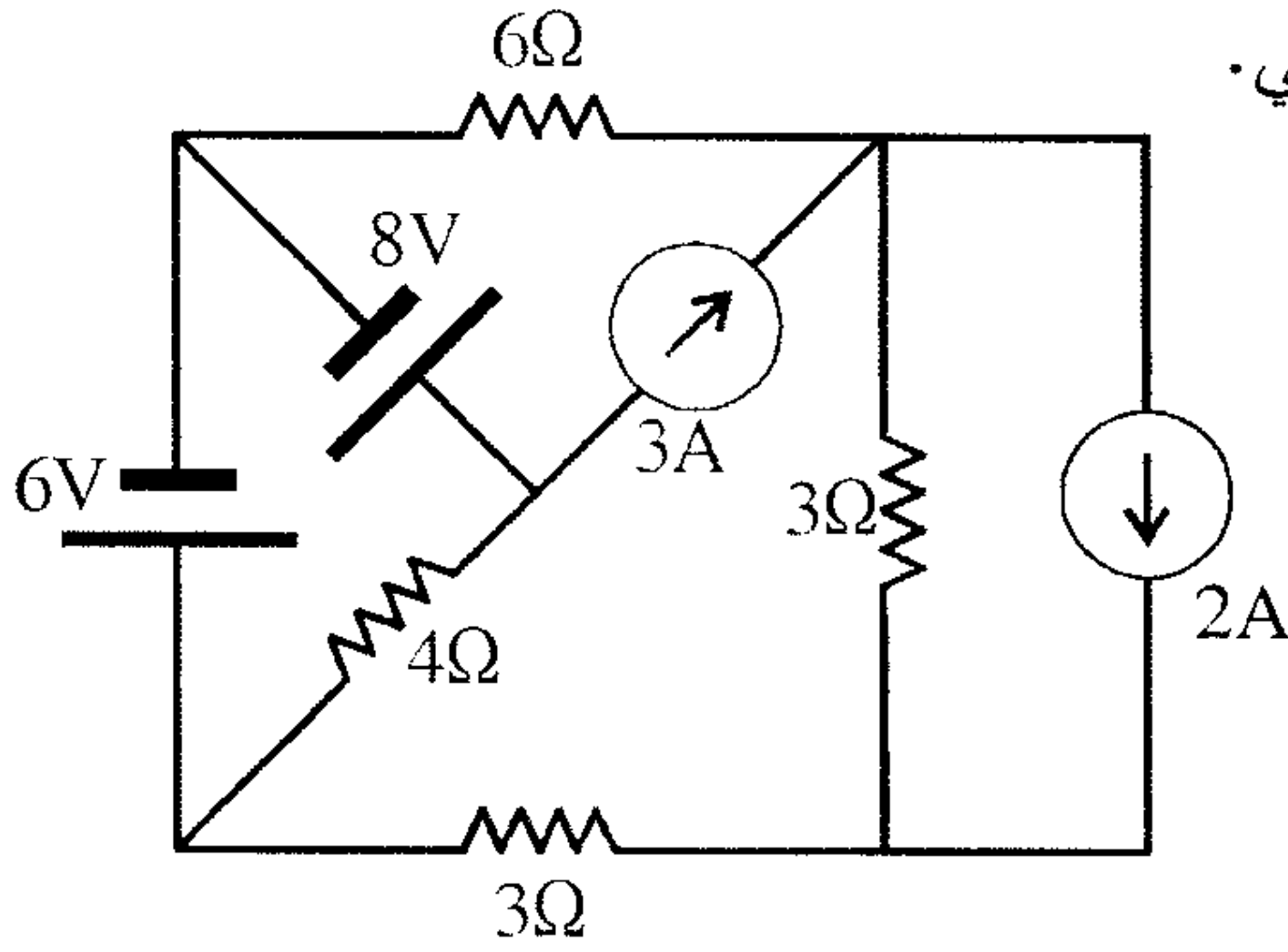


4.5 مسائل عن التحليل الحلقي

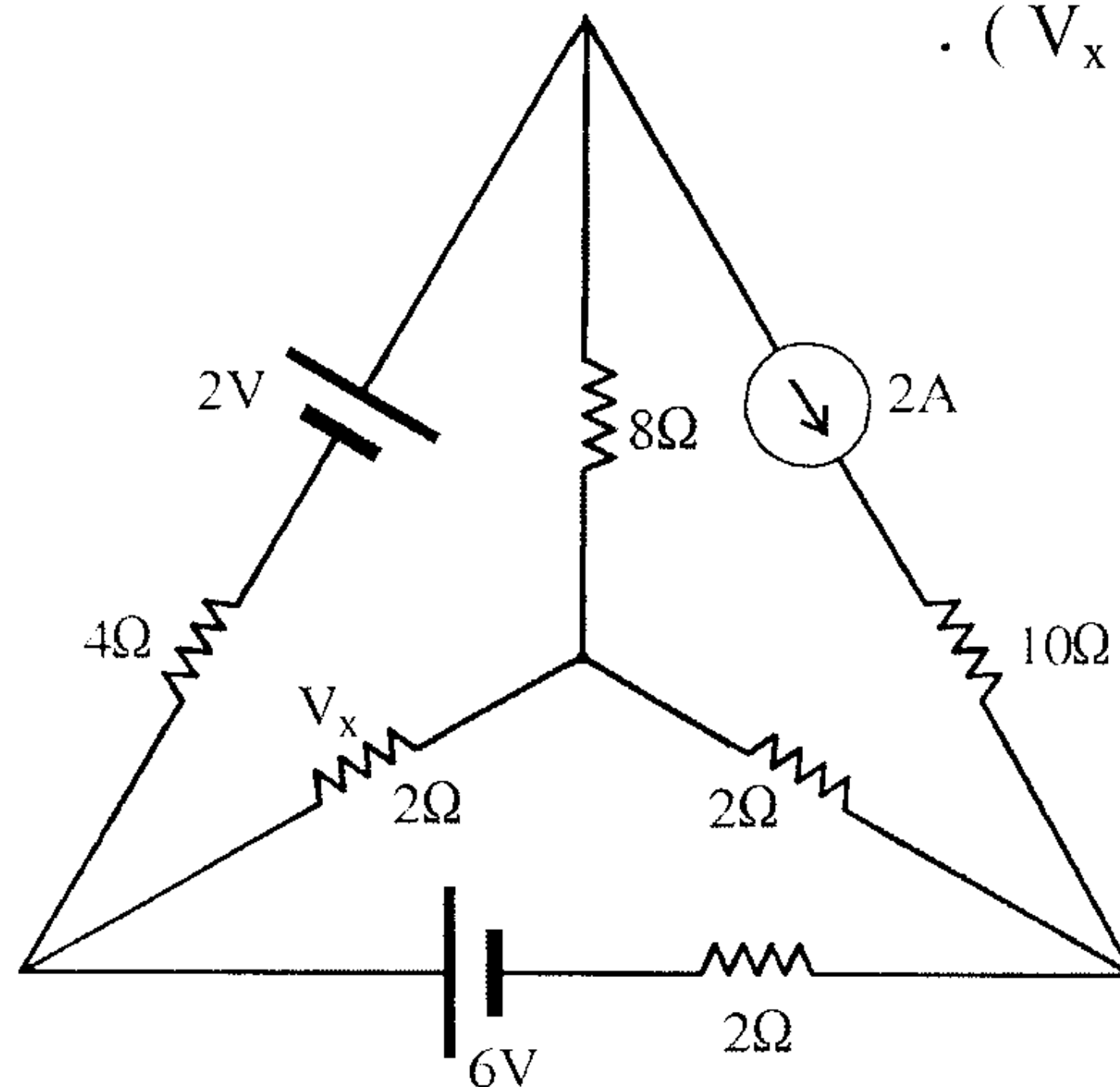
(1) احسب التيار المسحوب من مصدر الجهد $(12V)$ باستخدام التحليل الحلقي.



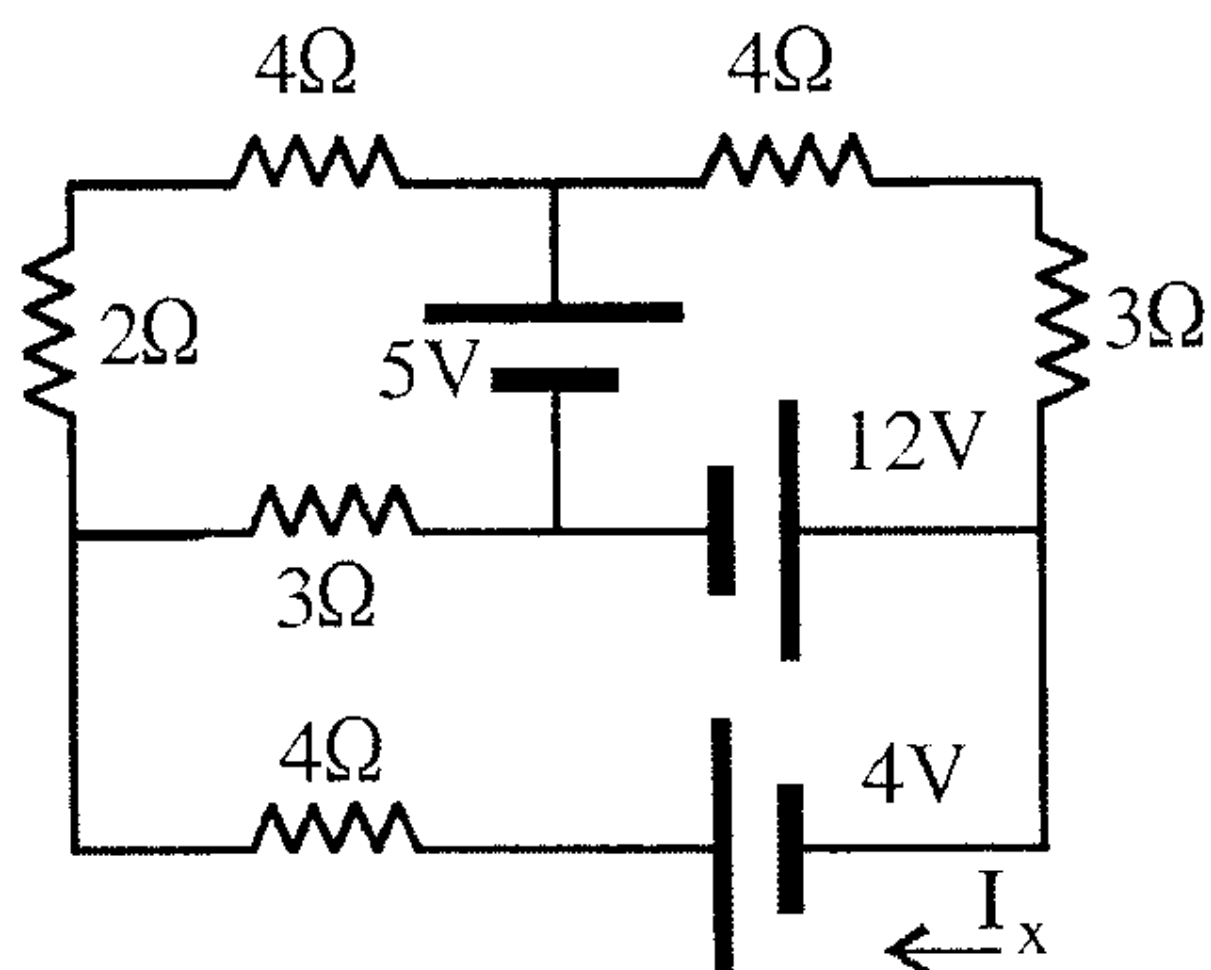
(2) احسب التيار المار في مصدر الجهد $(6V)$ و $(8V)$ باستخدام التحليل الحلقي.



(3) باستخدام التحليل الحلقي احسب قيمة الجهد (V_x) .



(4) باستخدام التحليل الحلقي احسب قيمة التيار (I_x) .

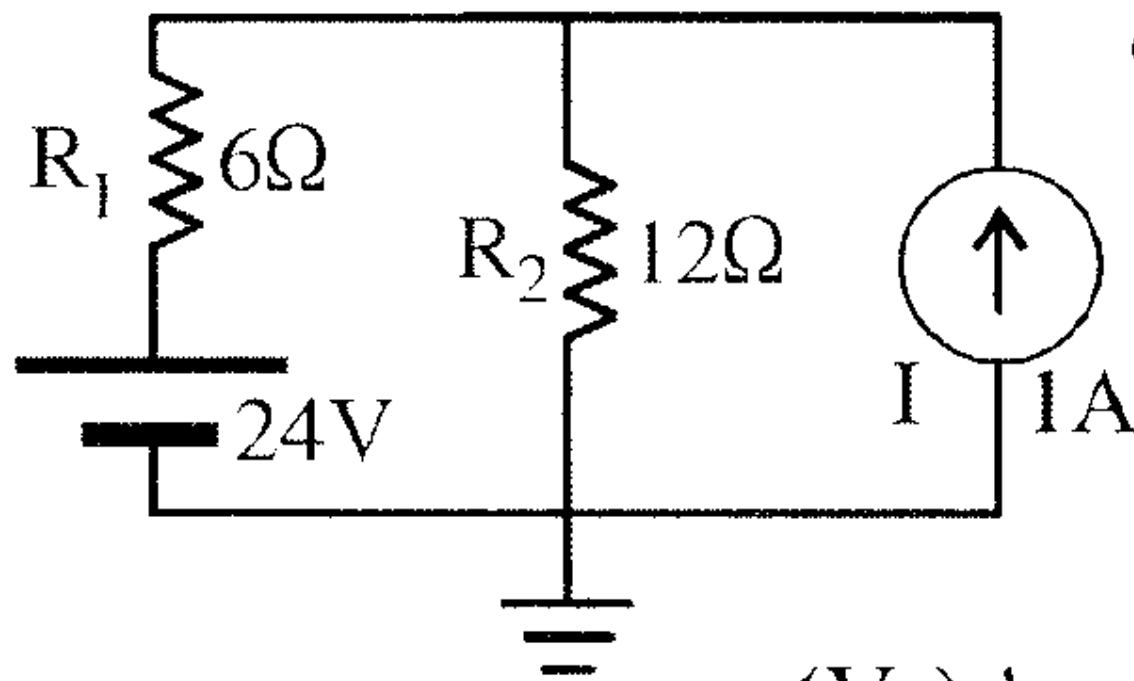


2.5 التحليل العقدي Nodal Analysis

في طريقة التحليل الحلقي كان الاعتماد على قانون كرف شوف للجهد (KVL)، أما الآن وفي طريقة التحليل العقدي فسوف نستخدم قانون كرف 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 $V_1, V_2, V_3, \dots$ الخ.
- 3- نفرض اتجاه التيارات لكل عقدة.
- 4- نطبق قانون كرف شوف للتيار على كل عقدة عدا المرجع (0V).
- 5- نتحصل على معادلات، وبحلها يمكن إيجاد الجهود.

مثال 11.5 استخدم التحليل العقدي لحل الدائرة بالشكل



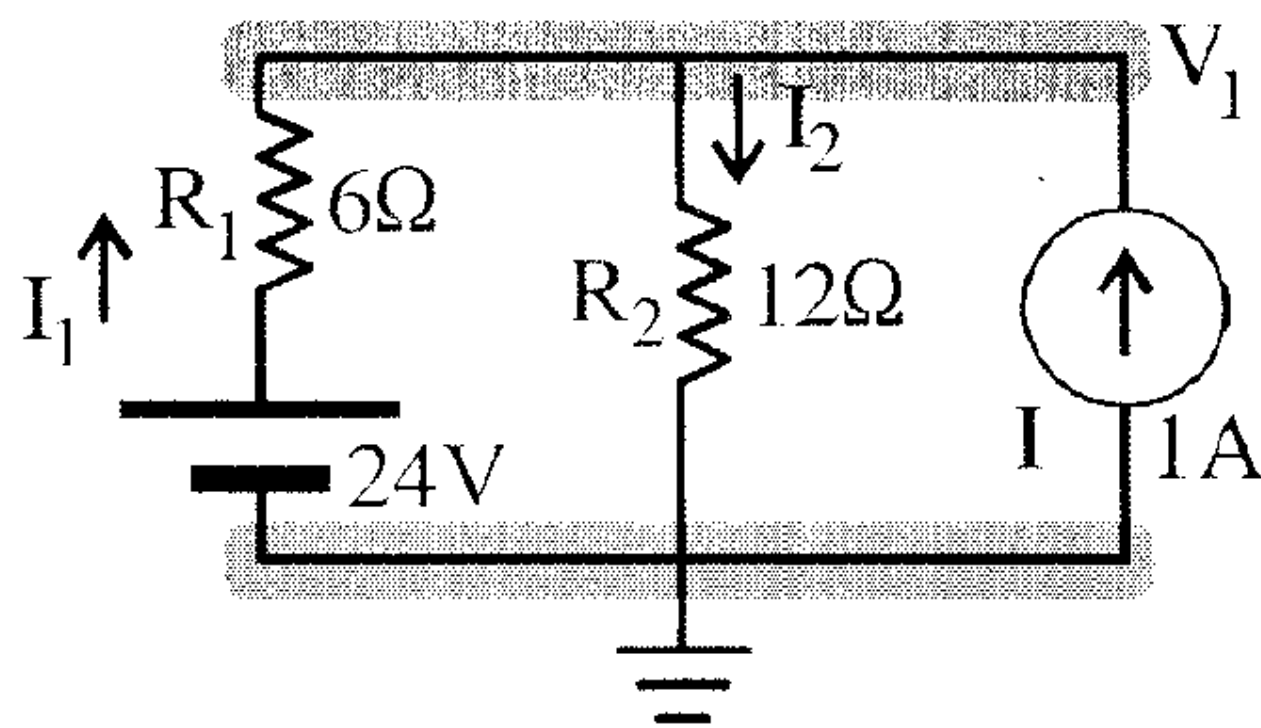
التالي.

الحل:

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 جهداها V_1 :
 مجموع التيارات الداخلة = مجموع التيارات الخارجة من العقدة

$$I_1 + I = I_2$$

$$\therefore I_2 = \frac{V_1}{R_2}$$

$$I_1 = \frac{V_{R1}}{R_1} = \frac{(E - V_1)}{R_1}$$

$$I_1 + I = I_2$$

$$\frac{(E - V_1)}{R_1} + I = \frac{V_1}{R_2}$$

$$\frac{E}{R_1} - \frac{V_1}{R_1} + I = \frac{V_1}{R_2}$$

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_1}{R_2} = \frac{E}{R_1} + I$$

$$V_1 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{E}{R_1} + I$$

$$V_1 \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{12} \right) = \frac{24}{6} + 1 = 4 + 1$$

$$V_1 \left(\frac{1}{4} \right) = 5$$

$$V_1 = 20V$$

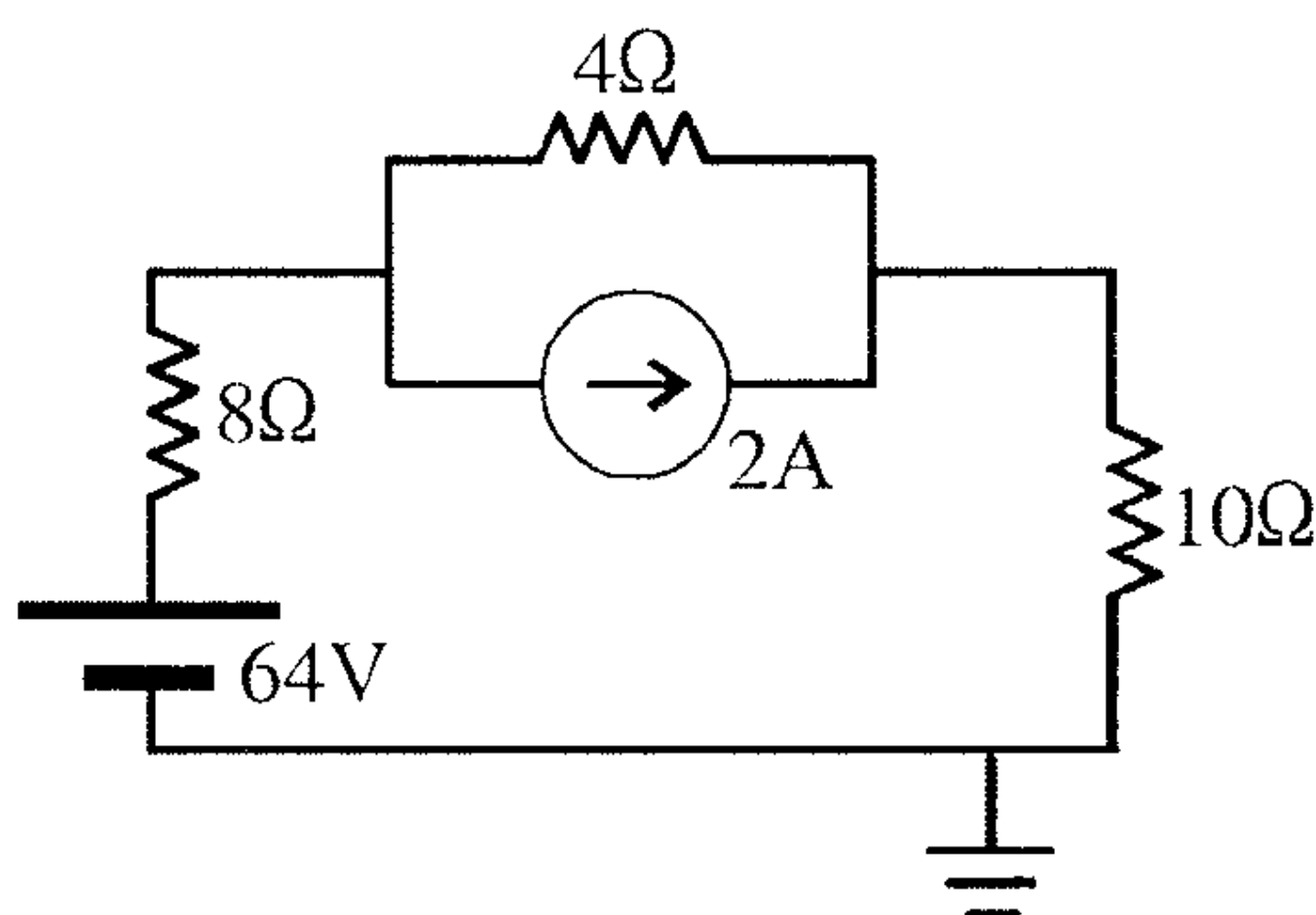
$$I_1 = \frac{(E - V_1)}{R_1} = \frac{24 - 20}{6} = 0.667 A$$

$$I_2 = \frac{V_1}{R_2} = \frac{20}{12} = 1.667 A$$

وبذلك يتحقق قانون (KCL)

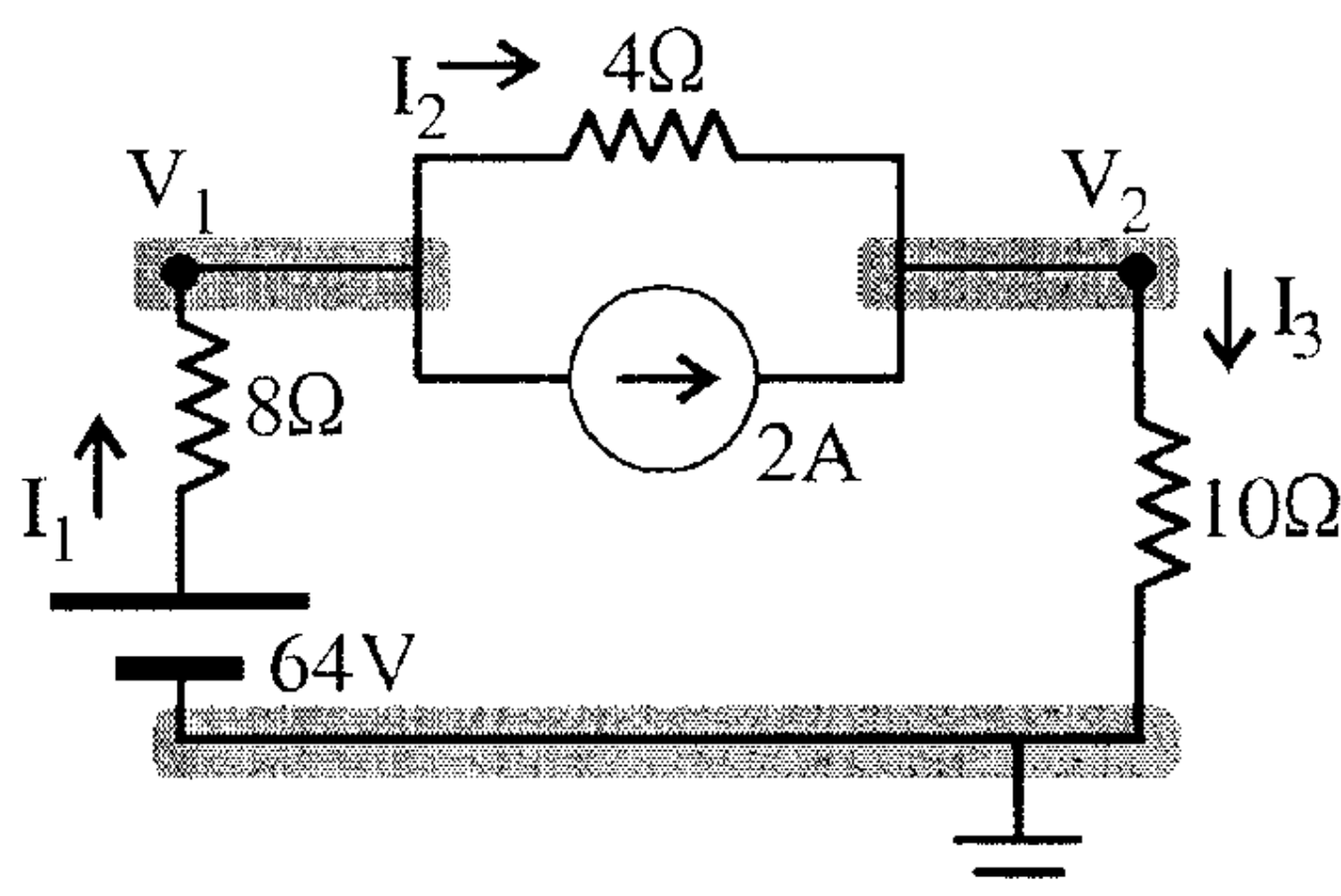
$$I_1 + I = I_2$$

$$0.667A + 1A = 1.667A$$



مثال 12.5 استخدم طريقة التحليل العقدي لتحليل الدائرة بالشكل التالي:

الحل:



هذه الدائرة بها ثلاث عقد :
المرجع (وهو الأرضي وجهده صفر)
والعقدتان V_1 و V_2 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_1 , V_2

$$V_1 = 37.818V$$

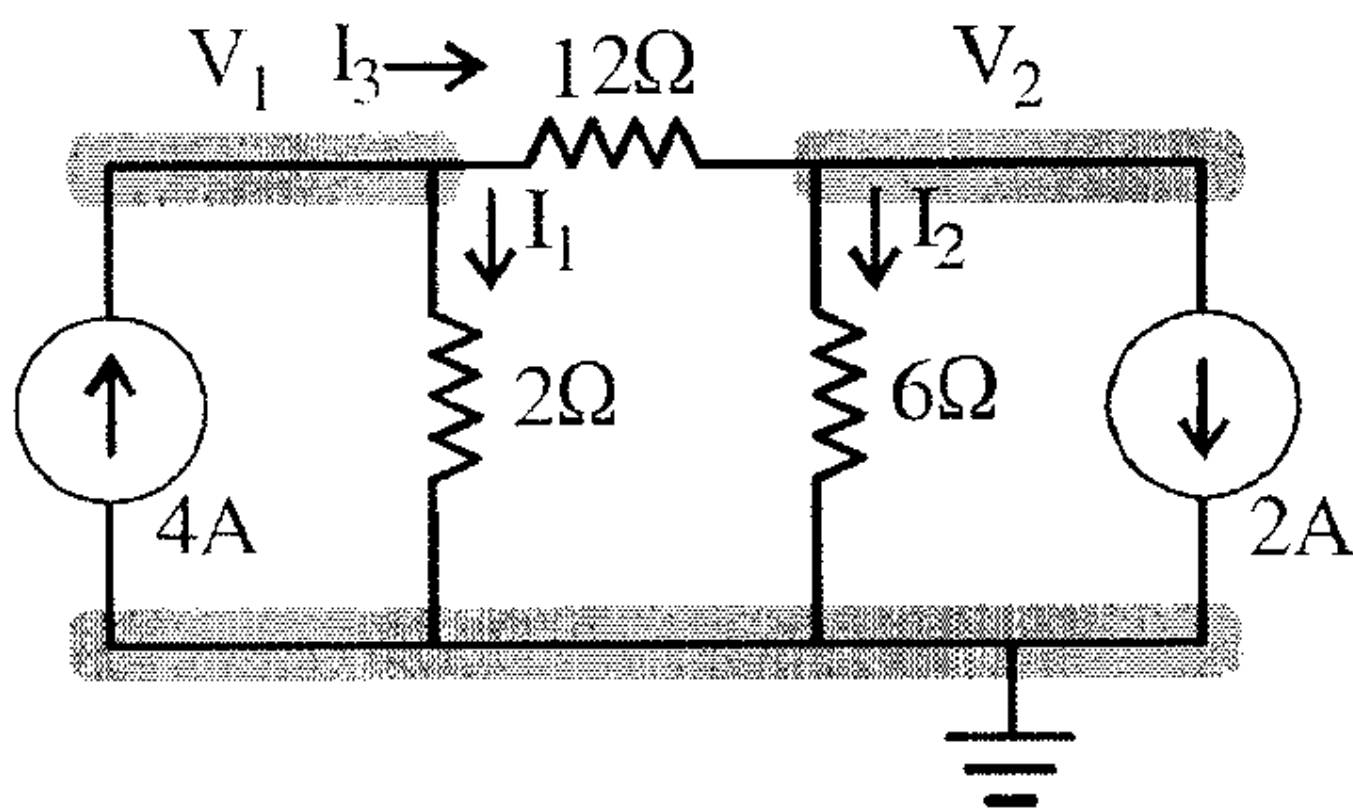
$$V_2 = 32.727V$$

وبالتعويض في معادلات التيارات نحصل على

$$I_1 = \frac{(64 - 37.818)}{8} = 3.273A$$

$$I_2 = \frac{37.818 - 32.727}{4} = 1.273A$$

$$I_3 = \frac{32.727}{10} = 3.2727A$$



مثال 13.5 من الدائرة بالشكل أوجد جهود العقد باستخدام التحليل العقدي ثم احسب كلاً من I_3 , I_2 , I_1 .

الحل:

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_1 و V_2

$$V_1 = \frac{\begin{vmatrix} 48 & -1 \\ -24 & 3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 7 & -1 \\ -1 & 3 \end{vmatrix}} = \frac{120}{20} = 6V$$

$$V_1 = \frac{\begin{vmatrix} 7 & 48 \\ -1 & -24 \end{vmatrix}}{20} = \frac{-120}{20} = -6V$$

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

$$I_1 = \frac{V_1}{2} = \frac{6}{2} = 3A$$

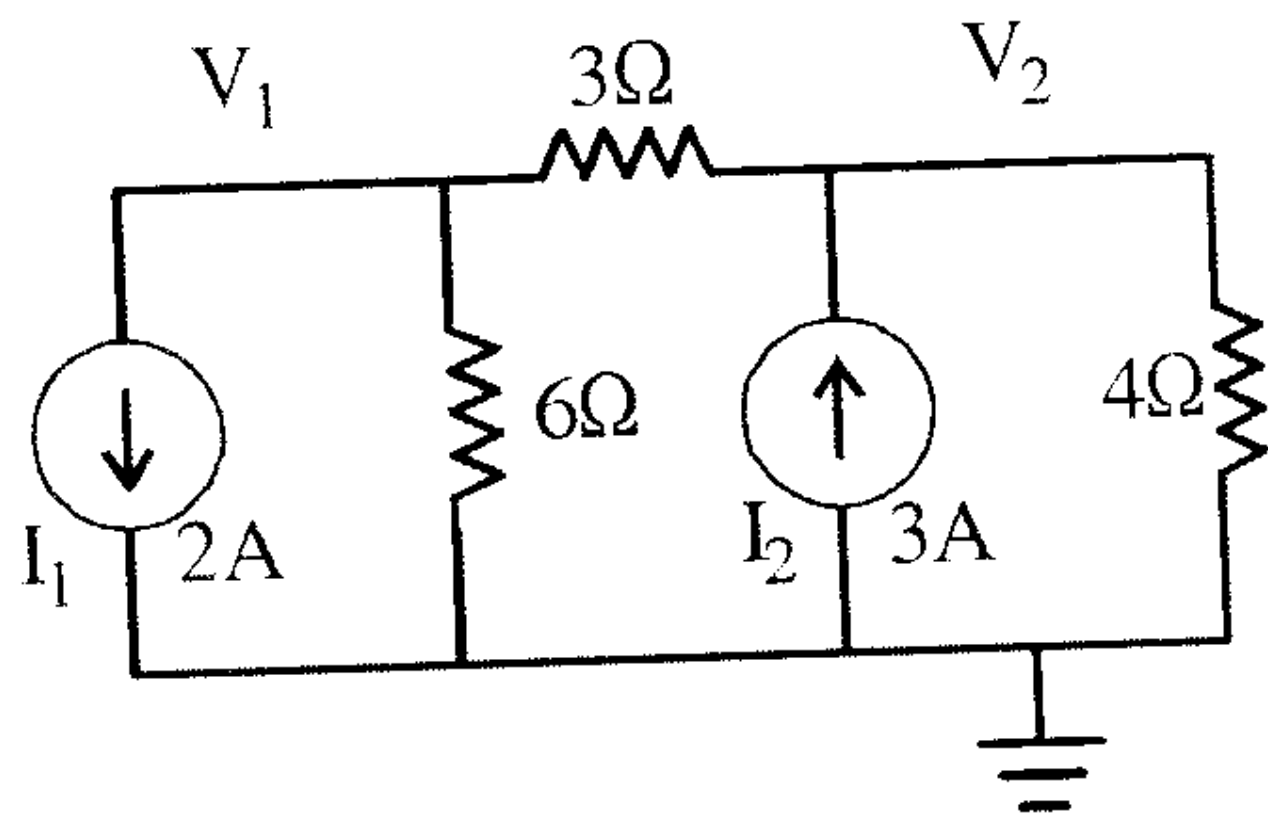
الطريقة القياسية لتحليل العقدي.

نتناول الآن طريقة خاصة لتحليل العقدي بعد أن وضعنا 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 داخلياً إلى العقدة تكون إشارته (موجبة)، أما إذا كان التيار خارجاً من العقدة فتكون إشارته (سالبة).
المثال التالي يوضح ماذكر بشكل مبسط.



مثال 14.5 استخدم التحليل العقدي لإيجاد معادلات العقد بالدائرة التالية. ثم احسب V_2 و V_1 والتيار المار في كل من المقاومتين

(4Ω) و (3Ω) .

الحل:

عند العقدة (1):

$$\left(\frac{1}{6} + \frac{1}{3}\right)V_1 - \frac{1}{3}V_2 = -2$$

عند العقدة (2):

$$\left(\frac{1}{3} + \frac{1}{4}\right)V_2 - \frac{1}{3}V_1 = 3$$

$$\left(\frac{1}{2}\right)V_1 - \frac{1}{3}V_2 = -2$$

$$\left(-\frac{1}{3}\right)V_1 + \frac{7}{12}V_2 = 3$$

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:

$$I_{3\Omega} = \frac{V_2 - V_1}{3\Omega} = \frac{4.615V - (-0.923V)}{3\Omega} = 1.846A$$

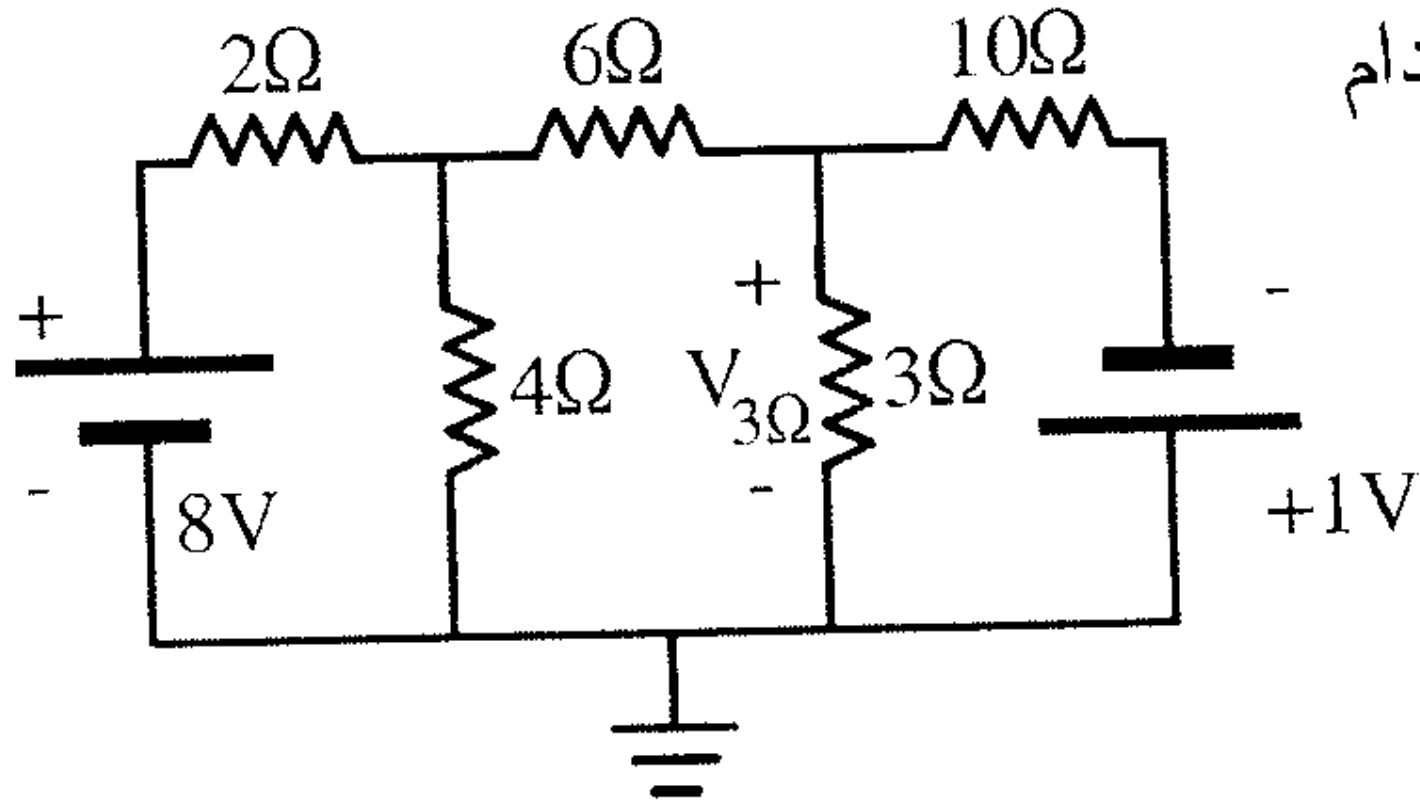
والتيار المار في المقاومة (4Ω) يساوي

$$I_{4\Omega} = \frac{V_2}{4\Omega} = \frac{4.615}{4\Omega} = 1.154A$$

لتحقيق الناتج بتطبيق قانون (KCL) على العقدة (2) كالتالي:

مجموع التيارات الداخلة على العقدة (2) = مجموع التيارات الخارجة منها
 $I_{3\Omega} + I_{4\Omega} = I_2$

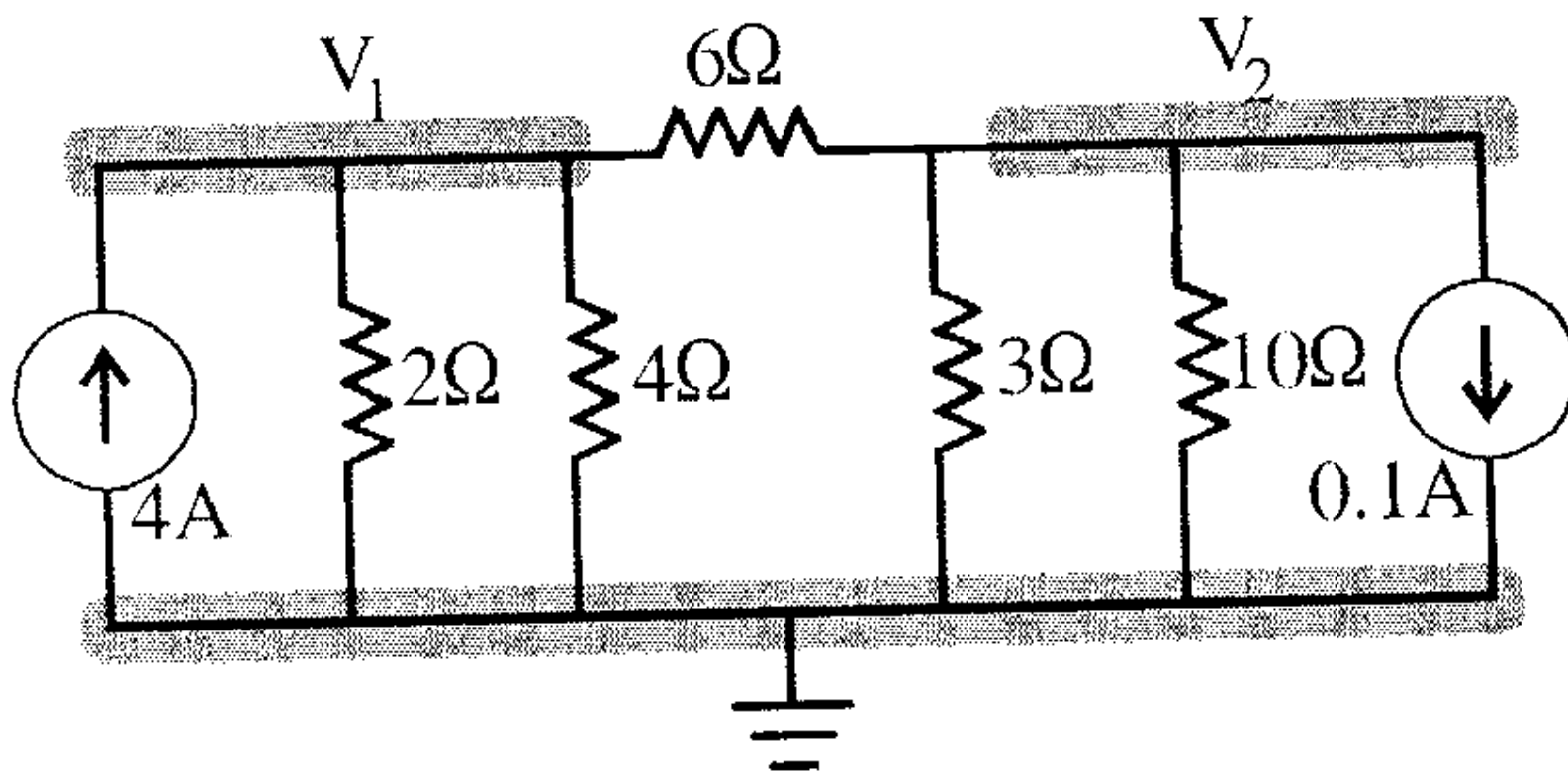
$$1.846A + 1.154A = 3A$$



مثال 15.5 من الدائرة بالشكل التالي وباستخدام التحليل العقدي أوجد قيمة الجهد خلال المقاومة (3Ω).

الحل:

نحول مصادر الجهد إلى مصادر تيار لتصبح الدائرة كالتالي:



$$\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6}\right)V_1 - \frac{1}{6}V_2 = 4$$

$$\left(\frac{1}{10} + \frac{1}{3} + \frac{1}{6}\right)V_2 - \frac{1}{6}V_1 = -0.1$$

$$\left(\frac{11}{12}\right)V_1 - \frac{1}{6}V_2 = 4$$

$$\left(-\frac{1}{6}\right)V_1 + \frac{3}{5}V_2 = -0.1$$

$$11V_1 - 2V_2 = 48$$

$$-5V_1 + 18V_2 = -3$$

$$V_{3\Omega} = V_2 = \frac{\begin{vmatrix} 11 & 48 \\ -5 & -3 \\ 11 & -2 \\ -5 & 18 \end{vmatrix}}{198-10} = \frac{-33+240}{198-10} = 1.101V$$

مثال 16.5 باستخدام التحليل العقدي أوجد الجهد

خلال المقاومة (4Ω) .

الحل:

العقدة (1):

$$\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{10}\right)V_1 - \frac{1}{2}V_2 - \frac{1}{10}V_3 = 0$$

العقدة (2):

$$\left(-\frac{1}{2}\right)V_1 + \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\right)V_2 - \frac{1}{2}V_3 = 3$$

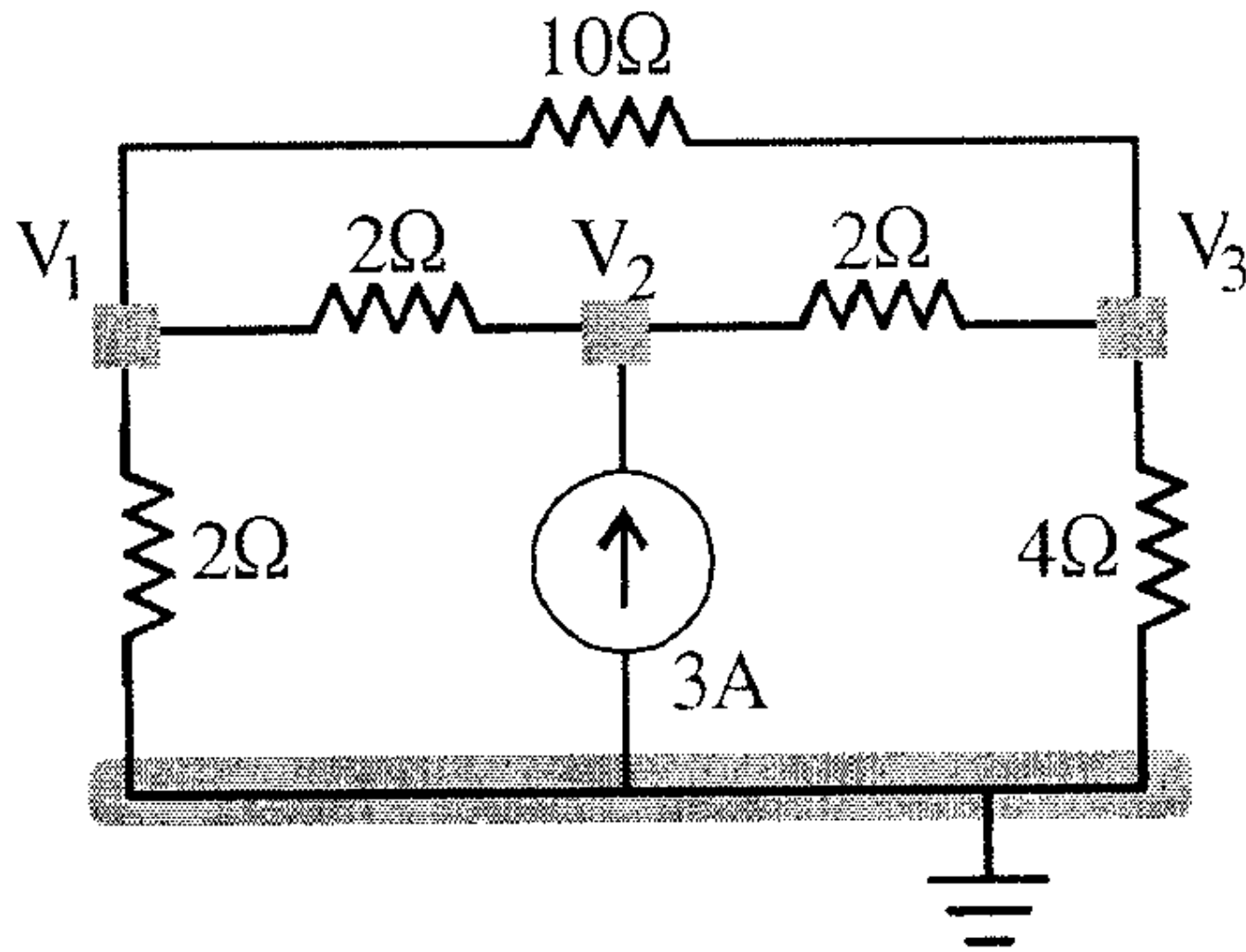
العقدة (3):

$$\left(-\frac{1}{10}\right)V_1 - \left(\frac{1}{2}\right)V_2 + \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{10}\right)V_3 = 0$$

$$1.1V_1 - 0.5V_2 - 0.1V_3 = 0$$

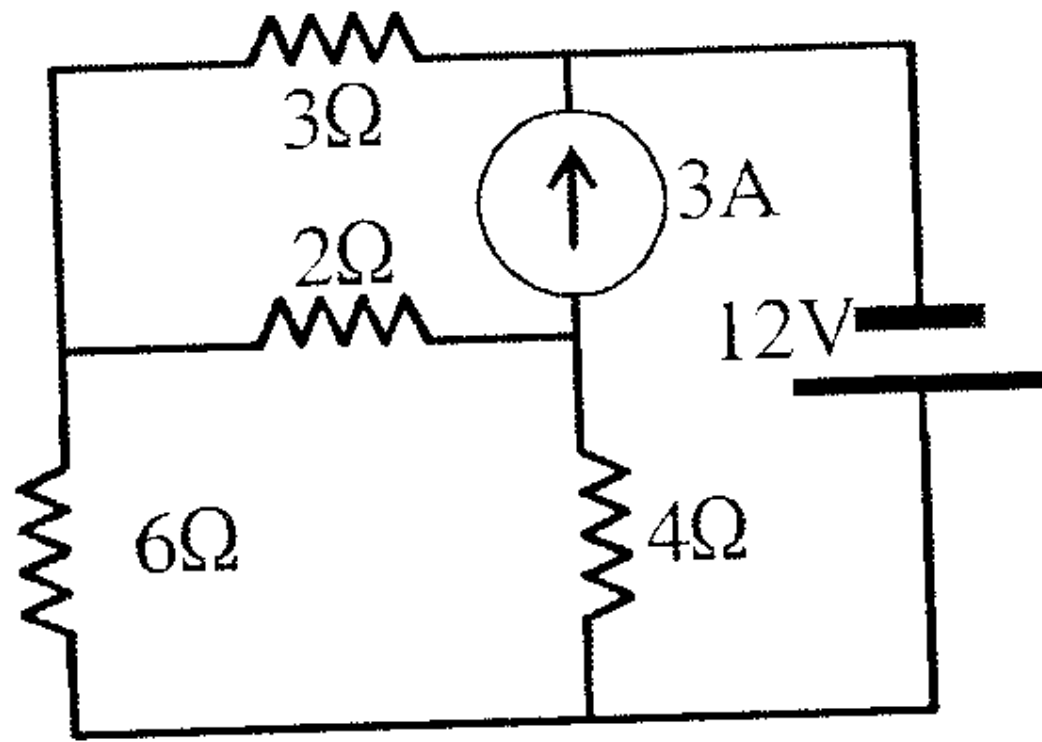
$$-0.5V_1 + V_2 - 0.5V_3 = 3$$

$$-0.1V_1 - 0.5V_2 + 0.85V_3 = 0$$



$$V_3 = V_{4\Omega} = \frac{\begin{vmatrix} 1.1 & -0.5 & 0 \\ -0.5 & 1 & 3 \\ -0.1 & -0.5 & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1.1 & -0.5 & -0.1 \\ -0.5 & 1 & -0.5 \\ -0.1 & -0.5 & 0.85 \end{vmatrix}} = 4.645V$$

مثال 17.5 في الدائرة التالية أوجد التيار المار في المقاومة (3Ω) وذلك باستخدام التحليل العقدي.



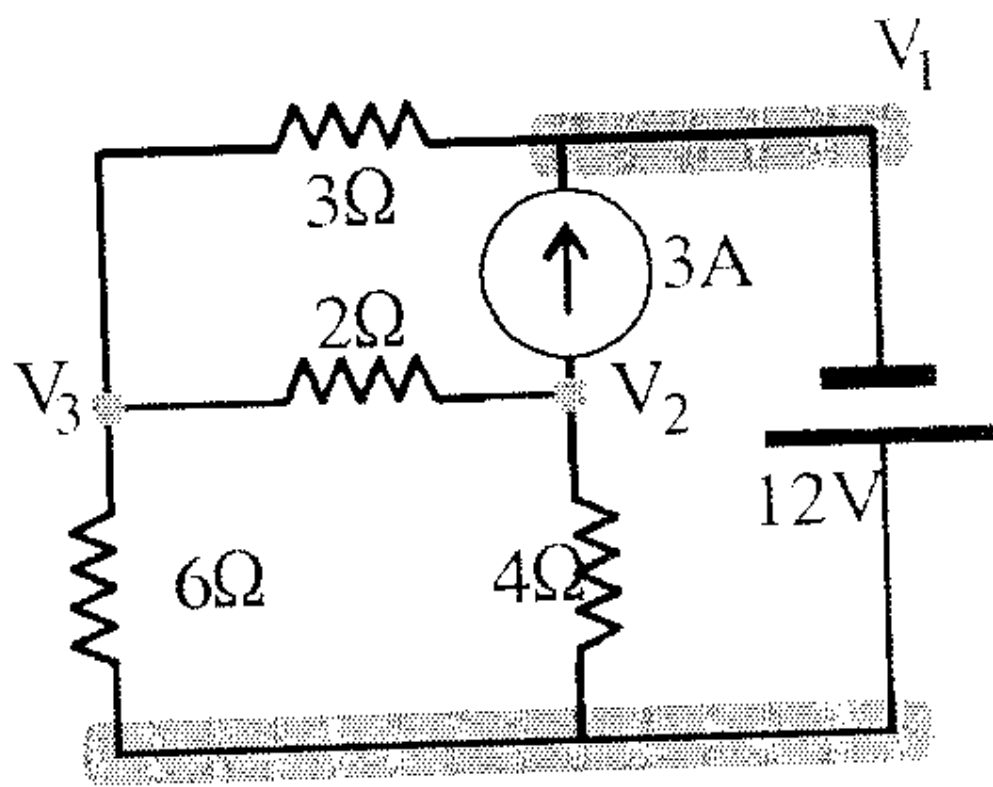
الحل:

جهد العقدة (1) يقرأ مباشرة من الدائرة

$$V_1 = -12V$$

ولأن اتجاه التيار خارج من العقدة فالإشارة سالبة.

أما جهد العقدين V_2 و V_3 فيمكن إيجاده كالتالي:



V_2 :

$$\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4}\right)V_2 - \frac{1}{2}V_3 = -3$$

V_3 :

$$-\frac{1}{3}V_1 - \frac{1}{2}V_2 + \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{6} + \frac{1}{3}\right)V_3 = 0$$

$$\left(\frac{3}{4}\right)V_2 - \frac{1}{2}V_3 = -3$$

$$-\frac{1}{2}V_2 + V_3 = \frac{12}{3} = 4$$

$$3V_2 - 2V_3 = -12$$

$$-V_2 + 2V_3 = 8$$

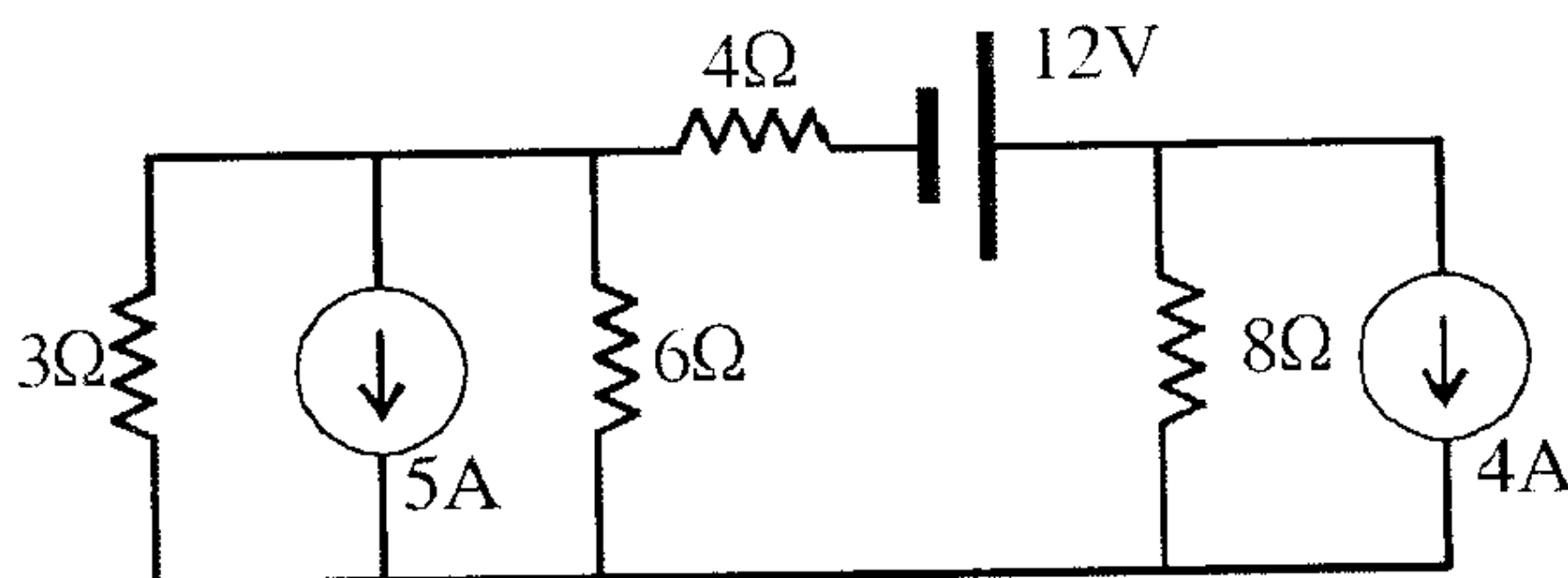
$$V_2 = \frac{\begin{vmatrix} -12 & -2 \\ 8 & 2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 3 & -2 \\ -1 & 2 \end{vmatrix}} = \frac{-24 + 16}{6 - 2} = -2V$$

$$V_3 = \frac{\begin{vmatrix} 3 & -12 \\ -1 & 8 \end{vmatrix}}{4} = \frac{24 - 12}{4} = 3V$$

$$I_{3\Omega} = \frac{V_1 - V_3}{3\Omega} = \frac{12V - (3V)}{3\Omega} = 3A$$

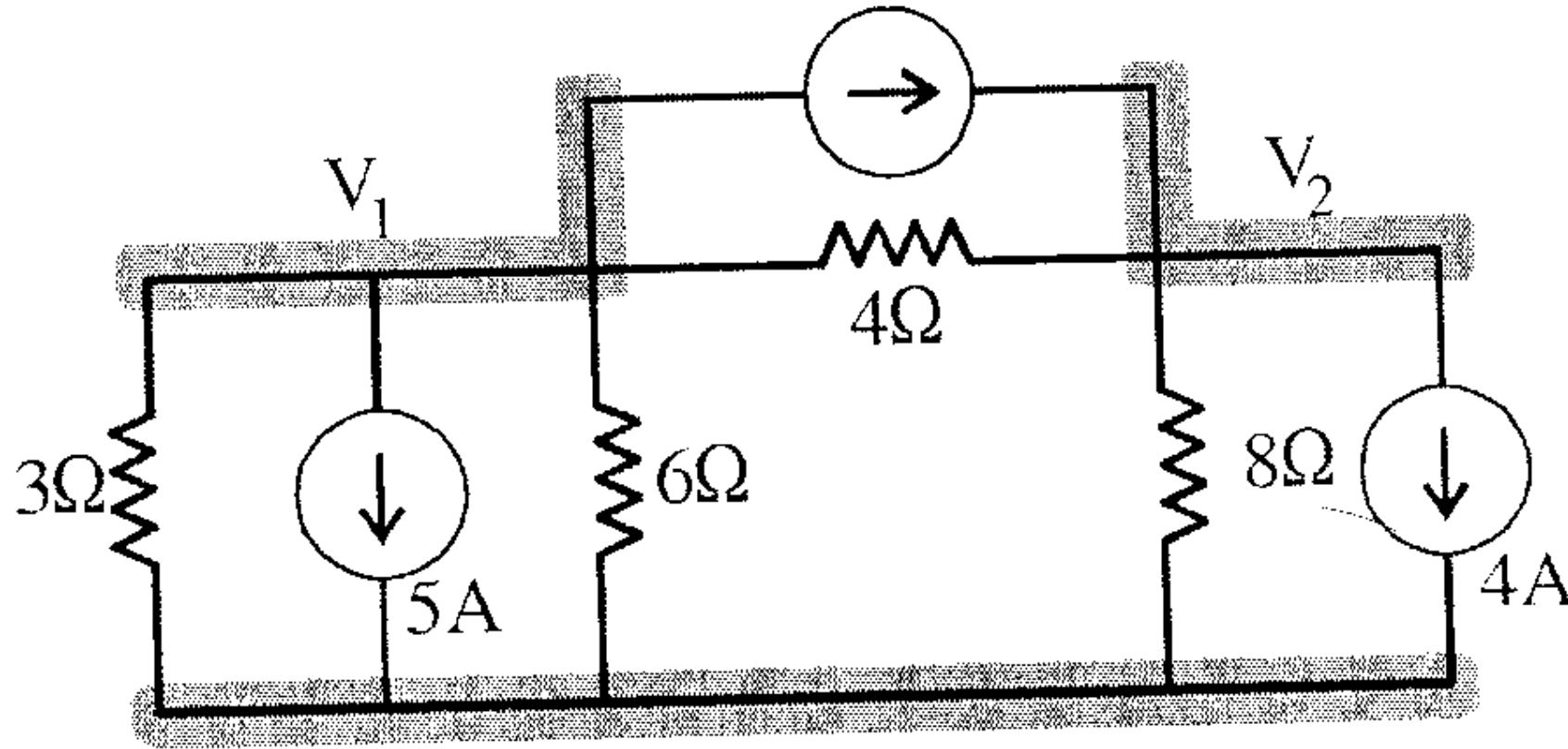
مثال 18.5 باستخدام طريقة التحليل

العقدي أوجد جهود العقد.



الحل:

نحول مصدر الجهد ($12V$) إلى مصدر تيار كما في الشكل التالي:



V_1 :

$$\left(\frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{4}\right)V_1 - \frac{1}{4}V_2 = -5A - 3A$$

V_2 :

$$-\frac{1}{4}V_1 + \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{8}\right)V_2 = 3A - 4A$$

V_1 :

$$\frac{9}{12}V_1 - \frac{1}{4}V_2 = -8A$$

V_2 :

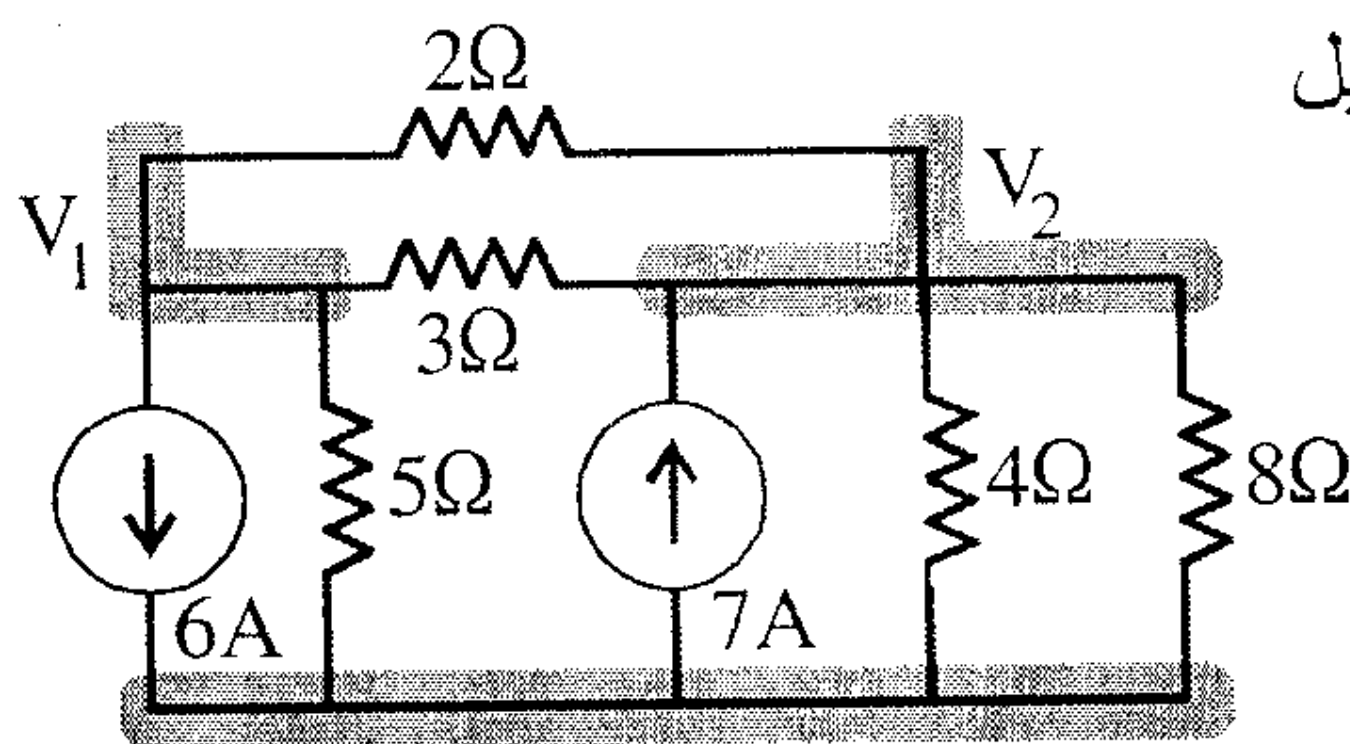
$$-\frac{1}{4}V_1 + \frac{3}{8}V_2 = -1A$$

$$9V_1 - 3V_2 = -96 \longrightarrow (1)$$

$$-2V_1 + 3V_2 = -8 \longrightarrow (2)$$

$$V_1 = \frac{\begin{vmatrix} -96 & -3 \\ -8 & 3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 9 & -3 \\ -2 & 3 \end{vmatrix}} = \frac{-288 - 24}{27 - 6} = -14.86V$$

$$V_2 = \frac{\begin{vmatrix} 9 & -96 \\ -2 & -8 \end{vmatrix}}{21} = \frac{-72 - 192}{21} = -12.57V$$



مثال 19.5 من الدائرة بالشكل وباستخدام التحليل

العقدي أوجد جهود العقد.

الحل:

V_1 :

$$\left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2} + \frac{1}{5}\right)V_1 - \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3}\right)V_2 = -6A$$

V_2 :

$$-\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3}\right)V_1 + \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8}\right)V_2 = 7A$$

$$\frac{31}{30}V_1 - \frac{5}{6}V_2 = -6A$$

$$-\frac{5}{6}V_1 + \frac{29}{24}V_2 = 7A$$

$$31V_1 - 25V_2 = -180 \longrightarrow (1)$$

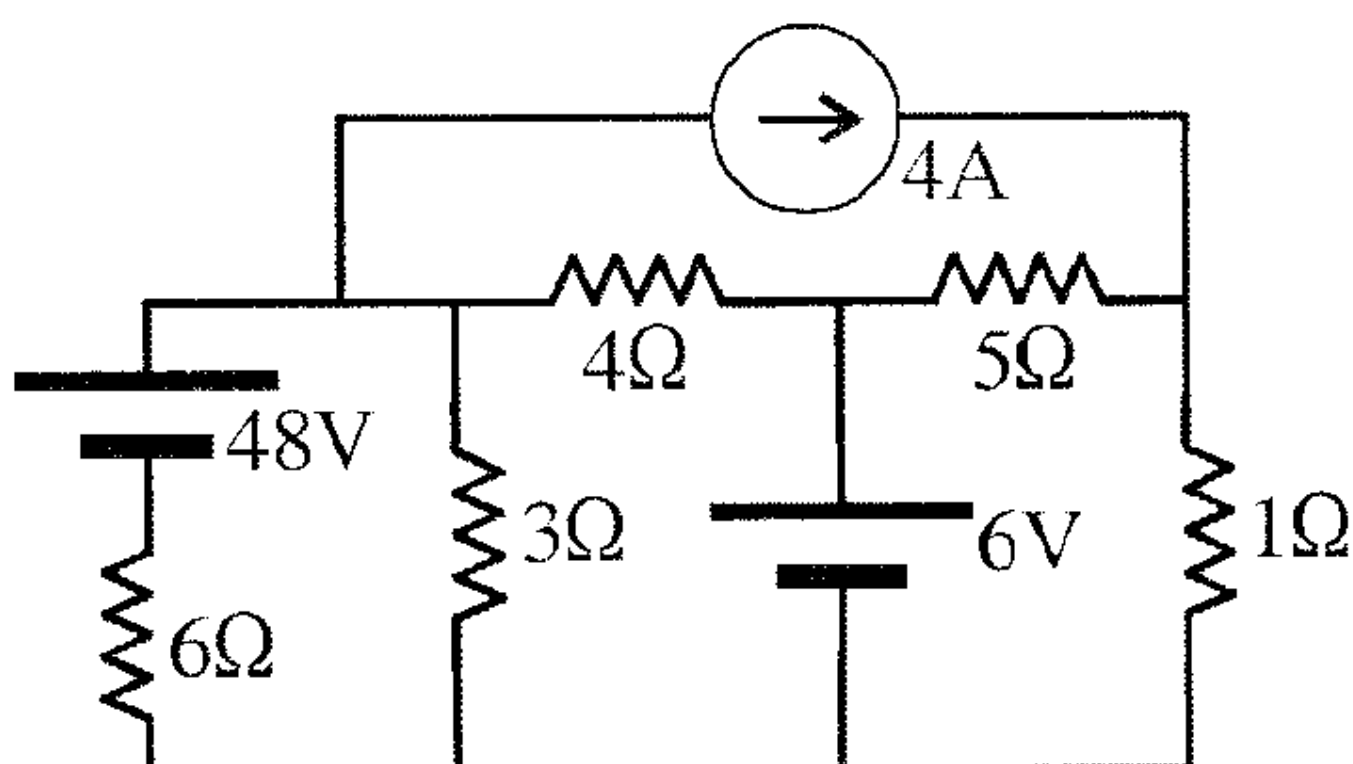
$$-20V_1 + 29V_2 = 168 \longrightarrow (2)$$

$$V_1 = \frac{\begin{vmatrix} -180 & -25 \\ 168 & 29 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 31 & -25 \\ -20 & 29 \end{vmatrix}} = \frac{-5220 + 4200}{899 - 500} = -2.556V$$

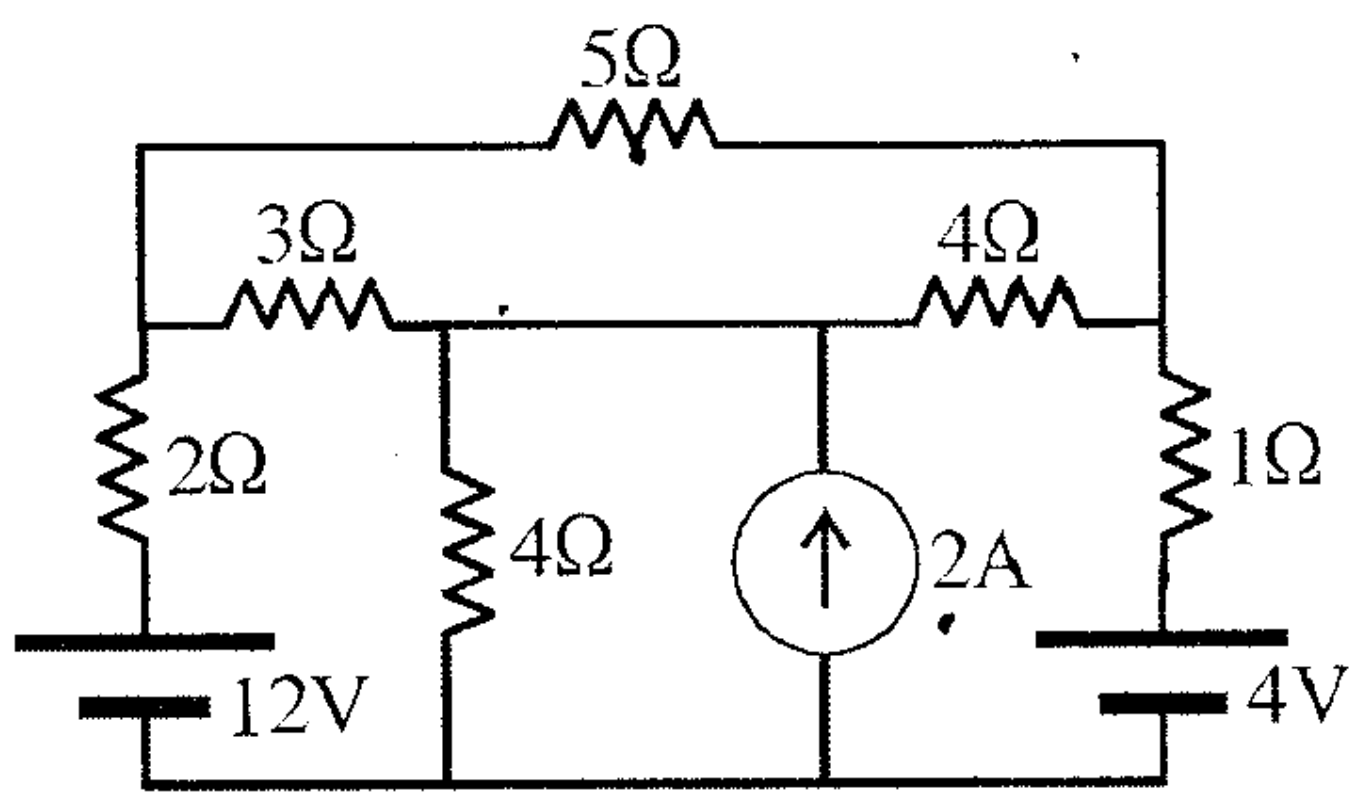
$$V_2 = \frac{\begin{vmatrix} 31 & -180 \\ -20 & 168 \end{vmatrix}}{399} = \frac{5208 - 3600}{399} = 4.03V$$

4.5 مسائل عن التحليل العقدي

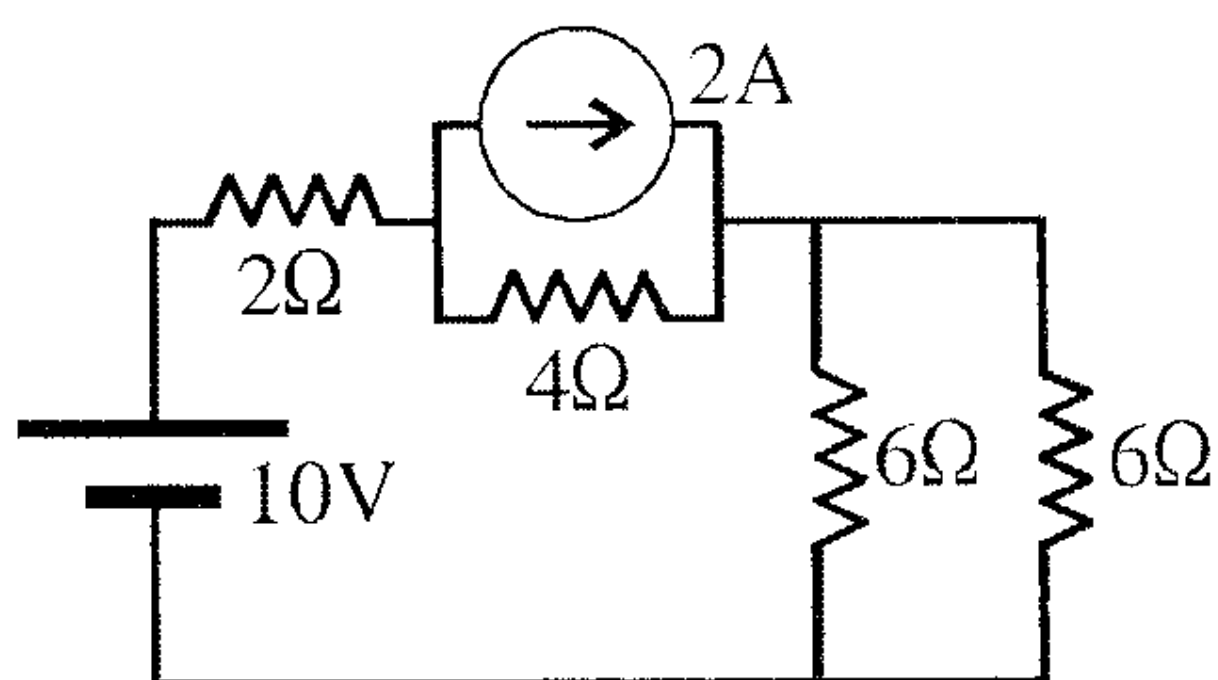
(1) أوجد فرق الجهد بين طرفي مصدر التيار (4A).



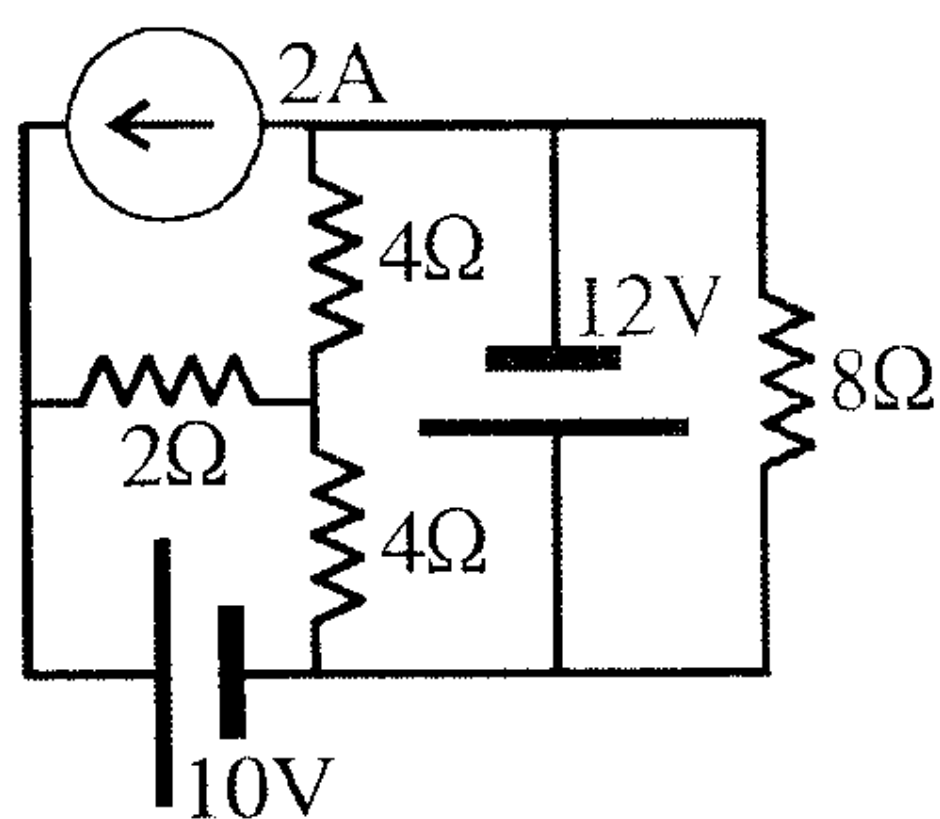
(2) أوجد قيمة التيار المار في المقاومة (5Ω).



(3) أوجد قيمة التيار المار في المقاومة (4Ω).



(4) أوجد قيمة التيار المار في المقاومة (2Ω).



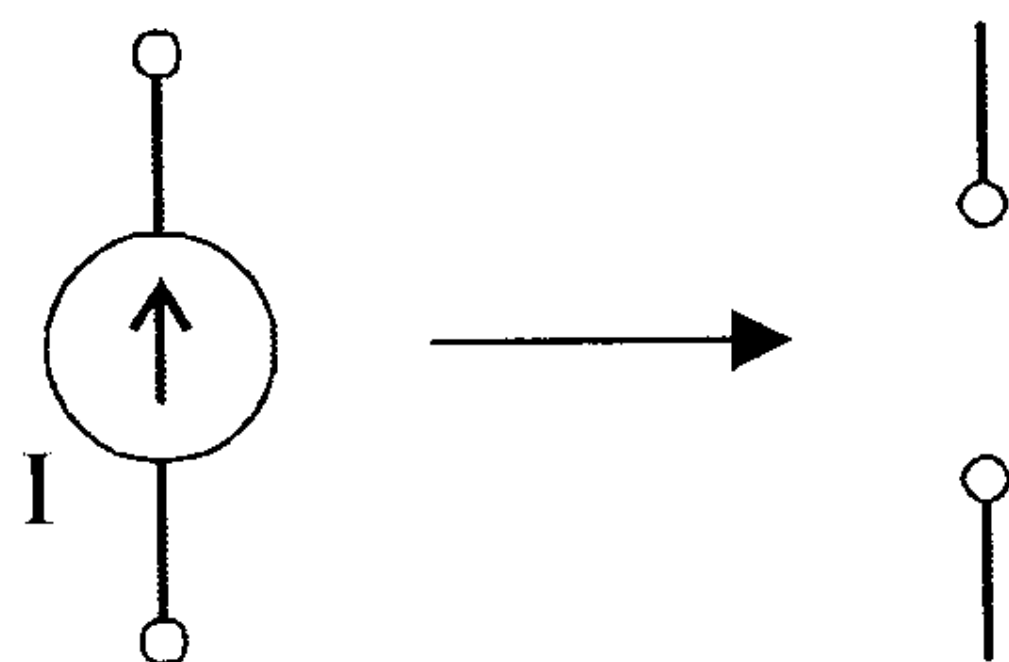
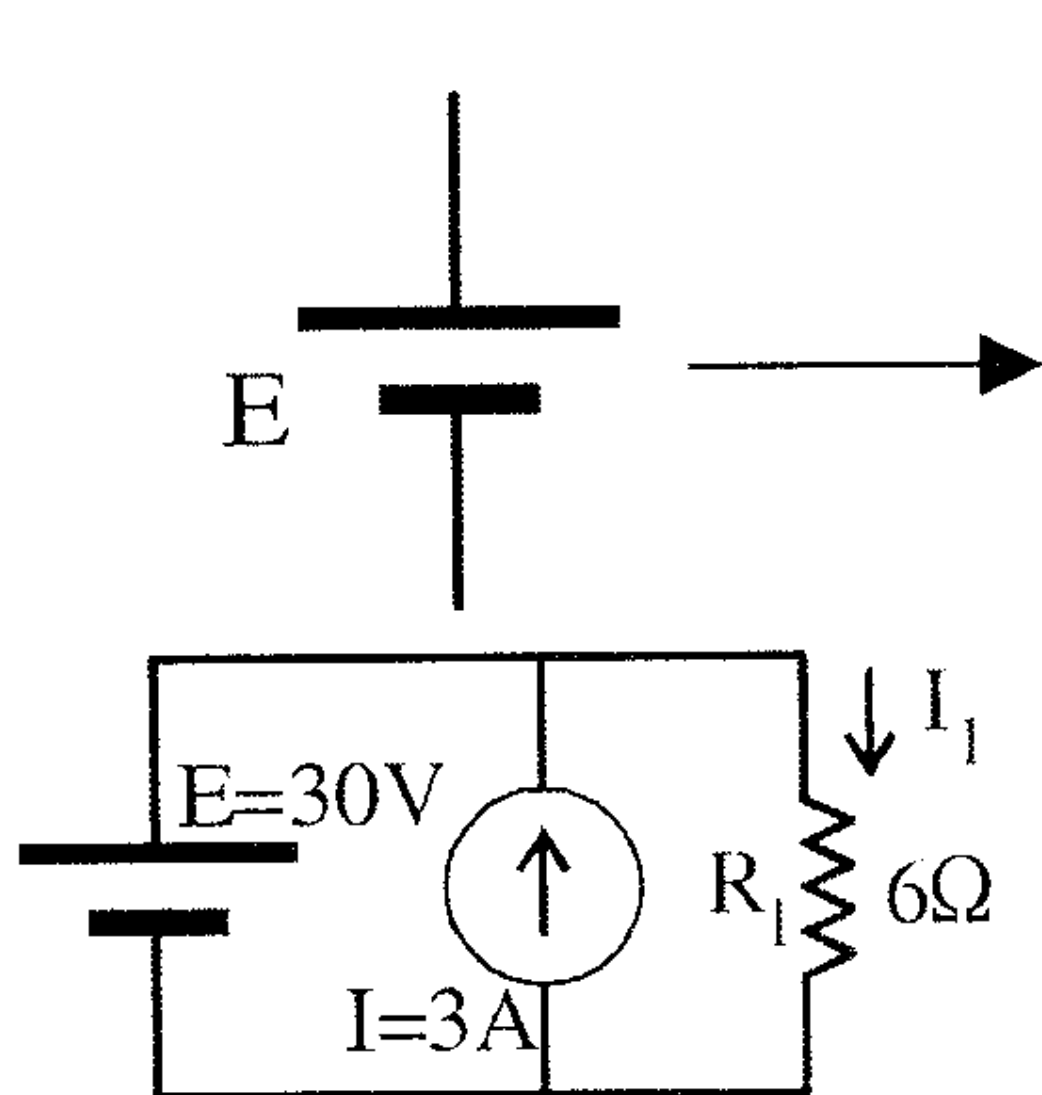
الفصل السادس

- 1.6 نظرية التراكيب.
- 2.6 مسائل عن نظرية التراكيب.
- 3.6 نظرية ثيفنين.
- 4.6 مسائل عن نظرية ثيفنين.
- 5.6 نظرية نورتن.
- 6.6 مسائل عن نظرية نورتن
- 7.6 نظرية انتقال أقصى قدرة.
- 8.6 مسائل عن نظرية انتقال أقصى قدرة.

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:

مثال 1.6 باستخدام نظرية التراكيب أوجد التيار I_1 .

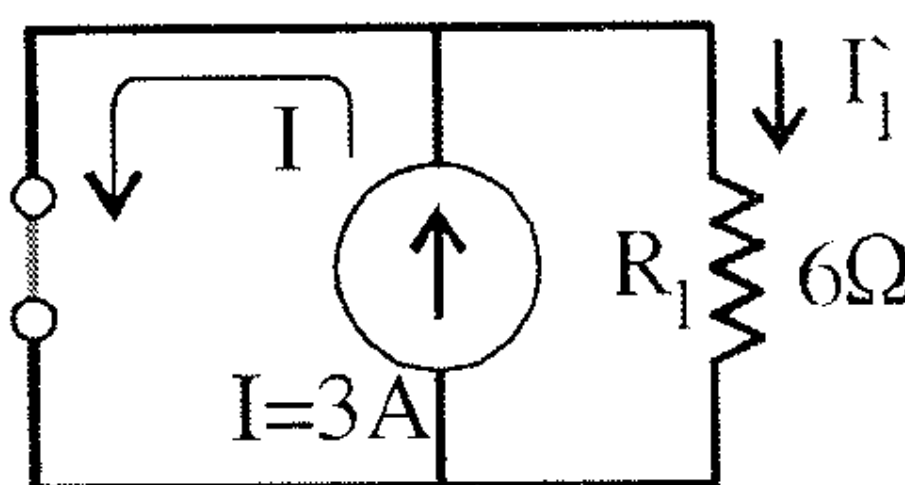
الحل:

1- ضع مصدر الجهد ($E = 0V$) باستبداله بدائرة

مغلقة، من الرسم نلاحظ أن تيار المصدر سوف

يأخذ طريق (Short) :

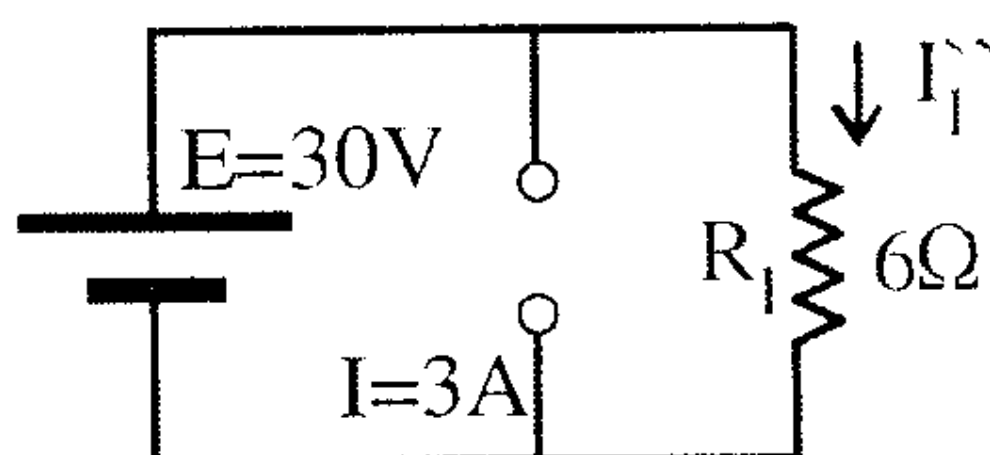
$$I_1' = 0A$$



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)

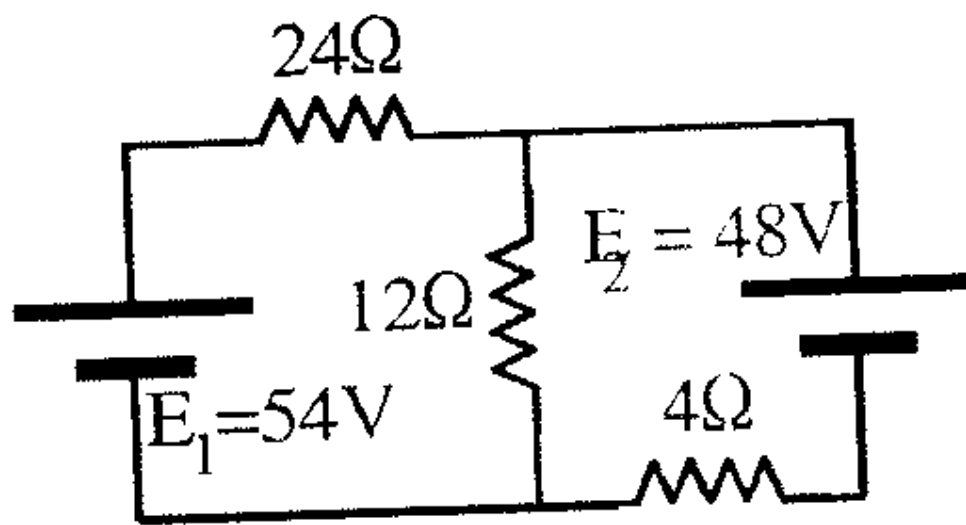
$$I_1 = I_1' + I_1''$$

$$= 0A + 5A = 5A$$

من الحل نستنتج أن مصدر التيار ليس له تأثير على المقاومة (6Ω) لأن مصدرى الجهد والمقاومة (6Ω) على التوازي ولها نفس الجهد.

$$V_{6\Omega} = E = 30V$$

$$I_1 = I_{6\Omega} = \frac{30}{6} = 5A$$



مثال 2.6 باستخدام نظرية التراكيب أوجد التيار المار خلال المقاومة (4Ω) .

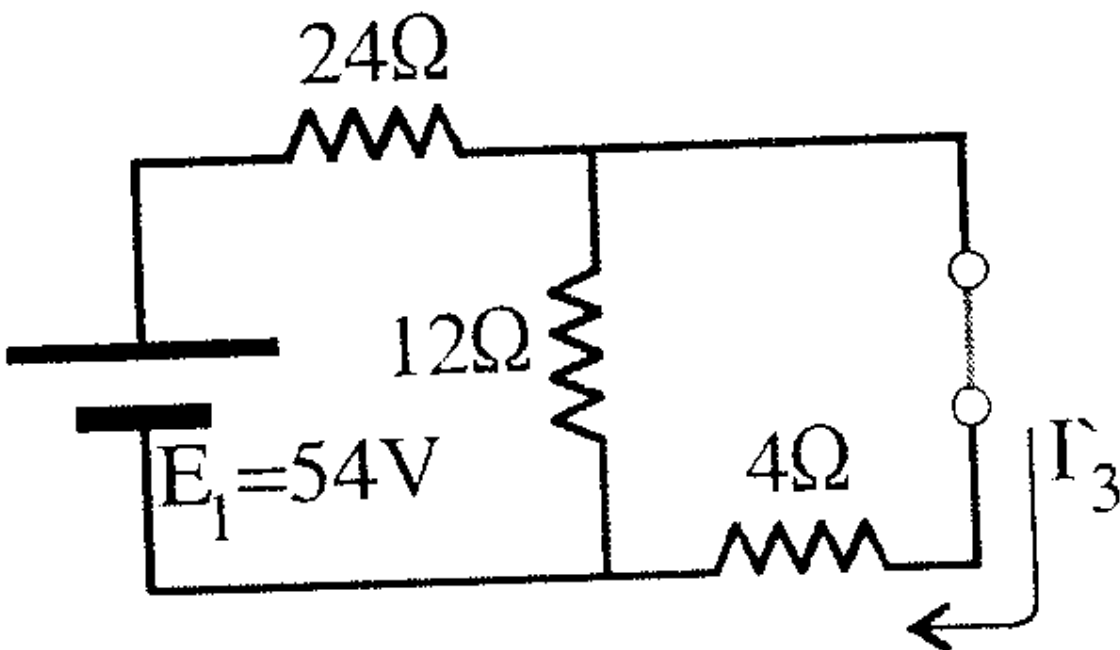
الحل:

عند تأثير المصدر $(E_1 = 54V)$ فقط نحذف $(E_2 = 48V)$

$$12\Omega // 4\Omega = 3\Omega$$

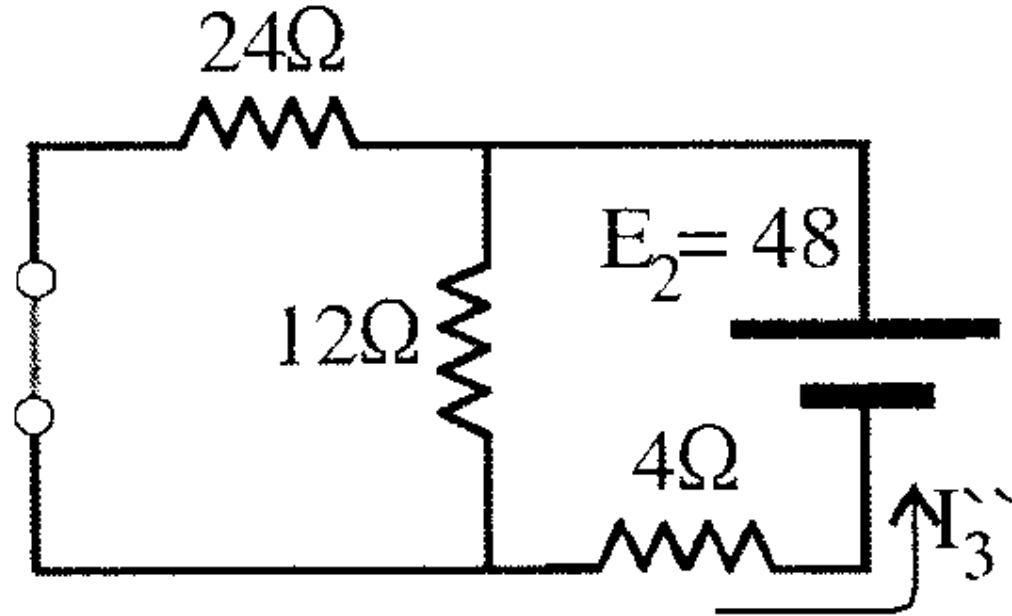
$$R_T = 24\Omega + 3\Omega = 27\Omega$$

$$I = \frac{E_1}{R_T} = \frac{54V}{27\Omega} = 2A$$



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

$$24\Omega // 12\Omega = 8\Omega$$

$$R_T = 8\Omega + 4\Omega = 12\Omega$$

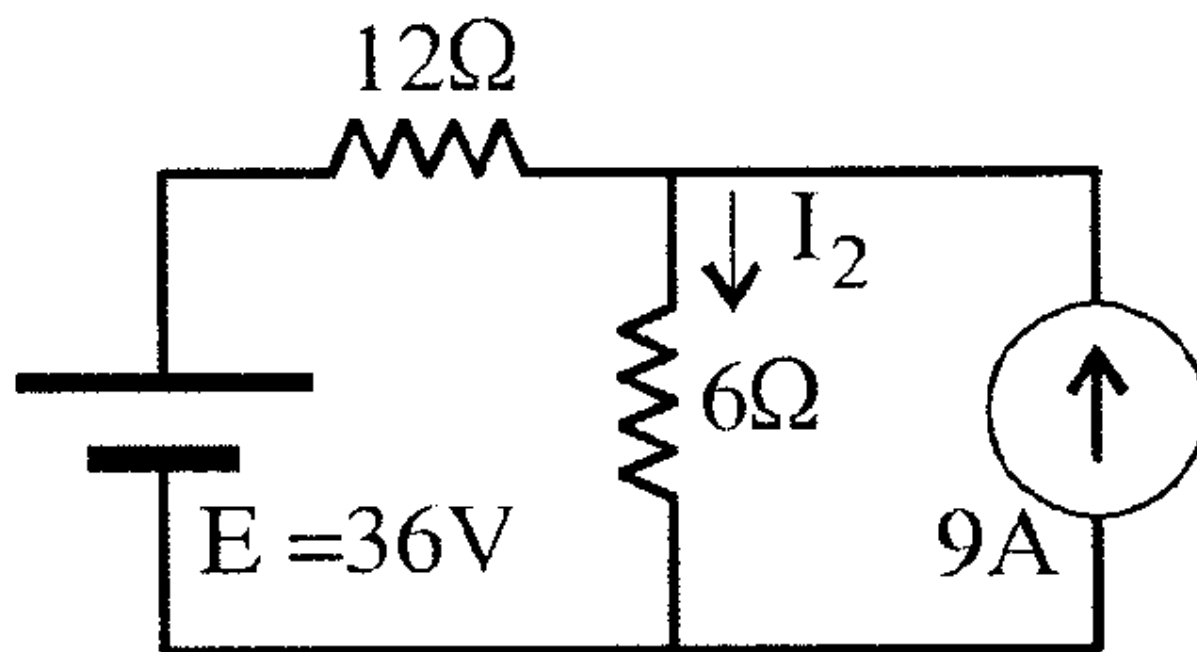
$$I_3'' = \frac{E_2}{R_T} = \frac{48V}{12\Omega} = 4A$$

إذاً التيار الكلي المار في المقاومة (4Ω) يساوي

$$I_3 = I_3'' - I_3' = 4A - 1.5A$$

$$I_3 = 2.5A$$

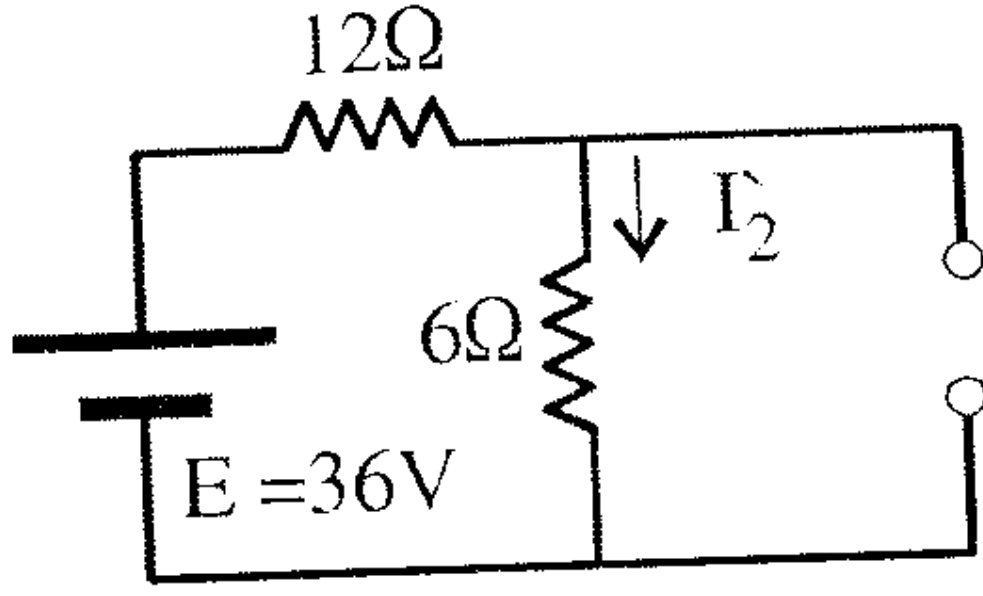
وفي اتجاه I_3'' لأنه التيار الأكبر.



مثال 3.6 باستخدام نظرية التراكيب أوجد التيار المار خلال المقاومة (6Ω) .

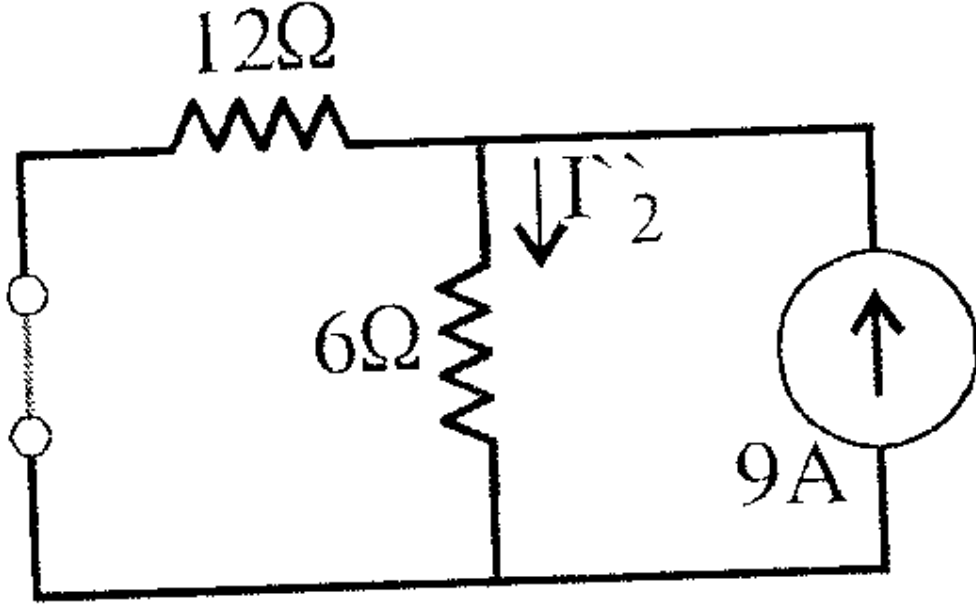
الحل:

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

$$P_1 = (I_2')^2 R = (2A)^2 (6\Omega) = 24W$$

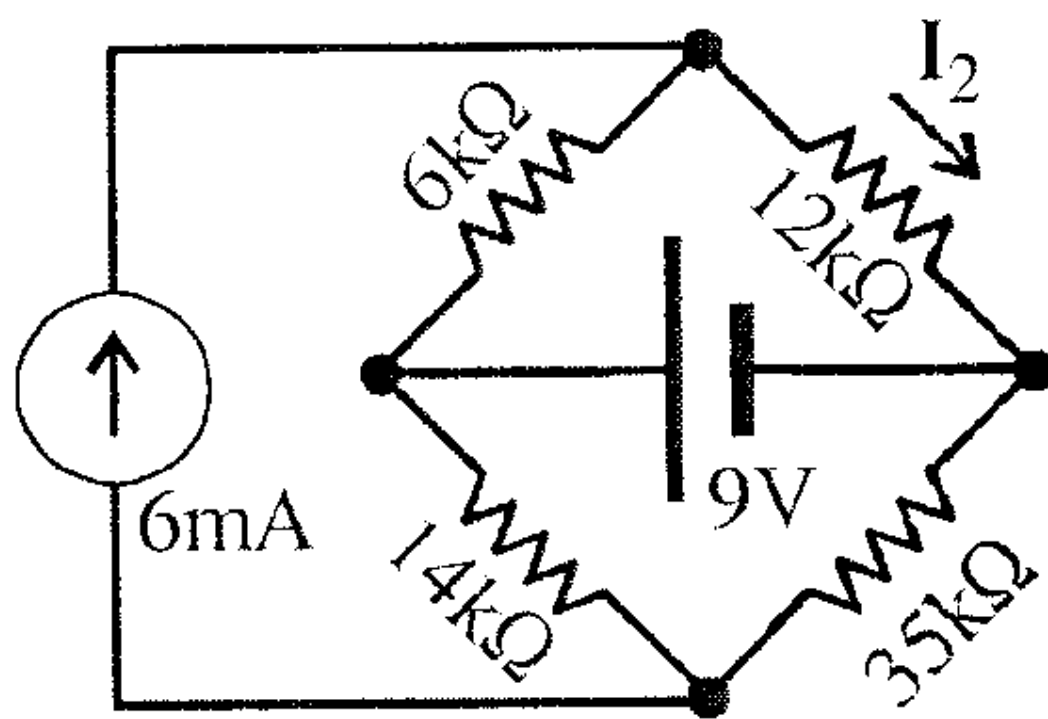
$$P_1 = (I_2'')^2 R = (6A)^2 (6\Omega) = 216W$$

$$P_1 + P_2 = 240W \neq 384W$$

لهذا فإن الإجابة عن هذا السؤال " لا " لأن

$$2A + 6A = 8A$$

$$(2A)^2 + (6A)^2 \neq (8A)^2$$



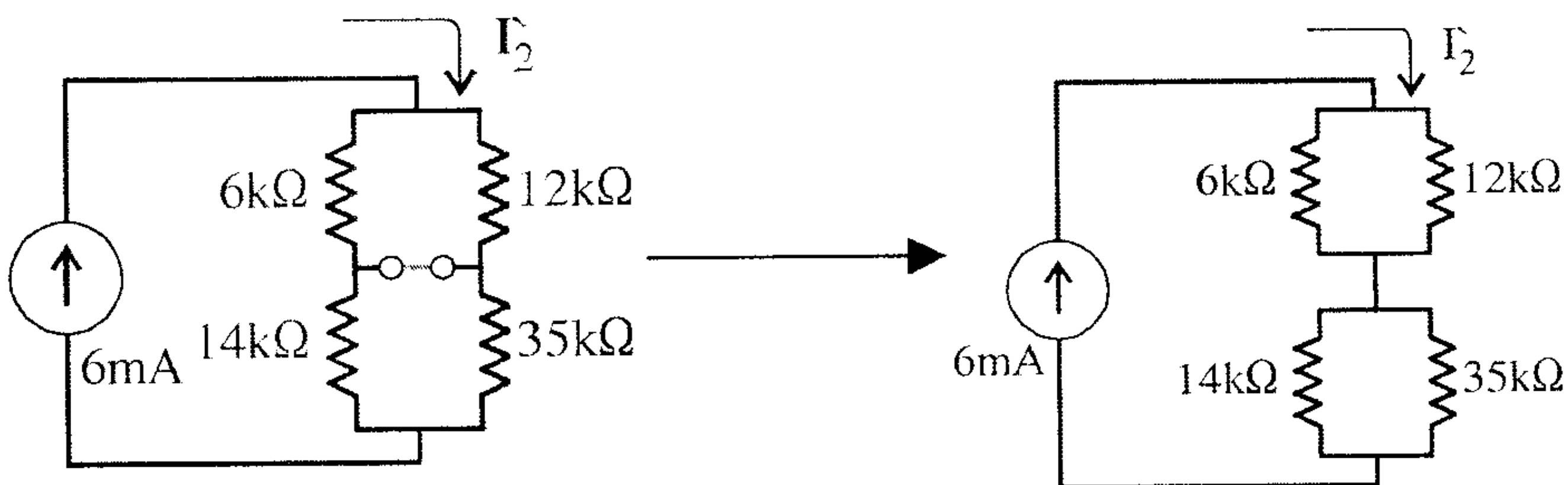
مثال 4.6 باستخدام نظرية التراكيب أوجد التيار المار في المقاومة ($12k\Omega$).

الحل:

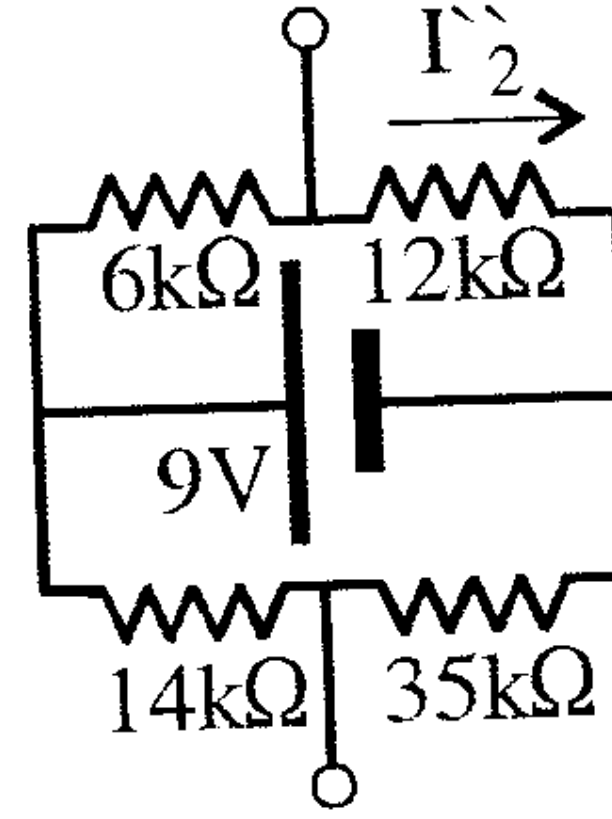
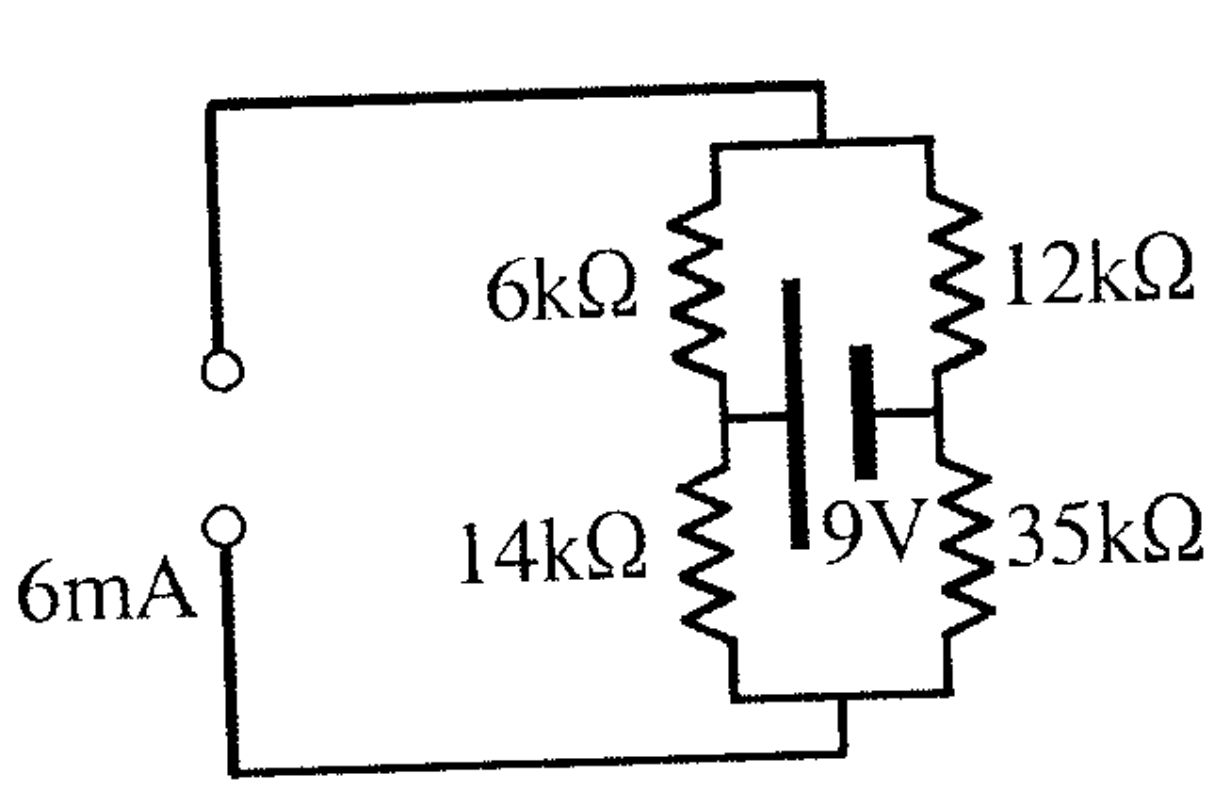
1- تأثير مصدر التيار ($6mA$) نستخدم قانون مجزئ التيار

$$I_2 = \frac{(6mA)(6k\Omega)}{6k\Omega + 12k\Omega} = \frac{36A\Omega}{18k\Omega} = 2mA$$

إعادة رسم الدائرة بعد حذف مصدر الجهد ($9V$) :



2- تأثير مصدر الجهد (9V) :

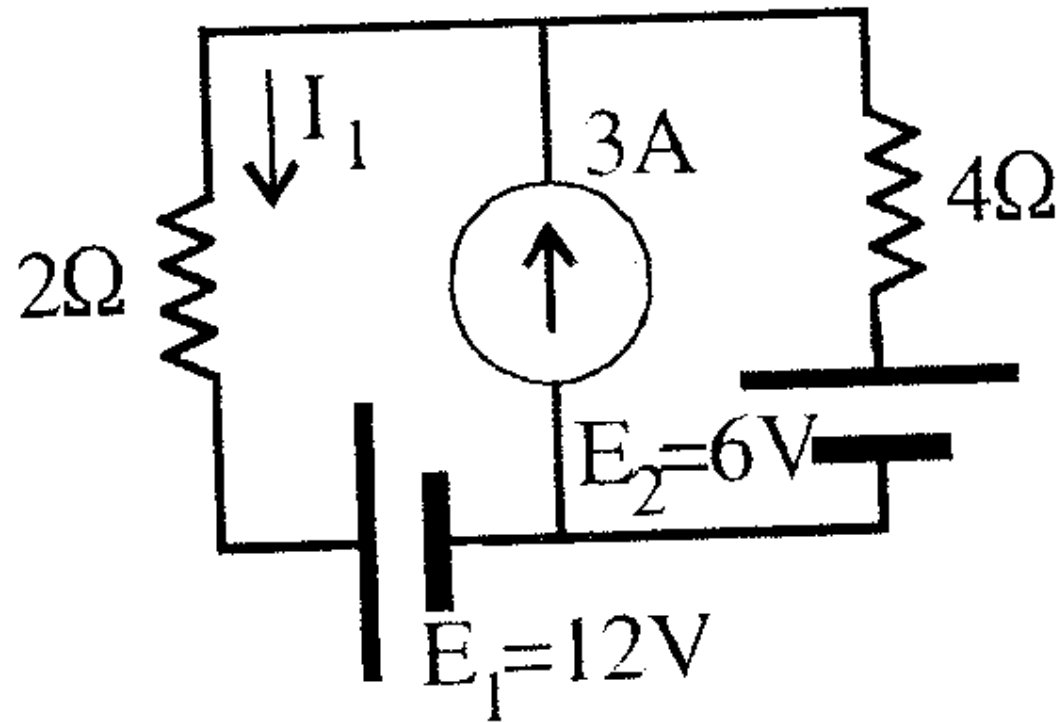


$$I_2'' = \frac{(9V)}{6k\Omega + 12k\Omega} = \frac{9V}{18k\Omega} = 0.5mA$$

التيار الكلي :

$$I_2 = I_2' + I_2'' = 2mA + 0.5mA = 2.5mA$$

مثال 5.6 أوجد التيار المار خلال المقاومة (2Ω) باستخدام نظرية التراكيب.

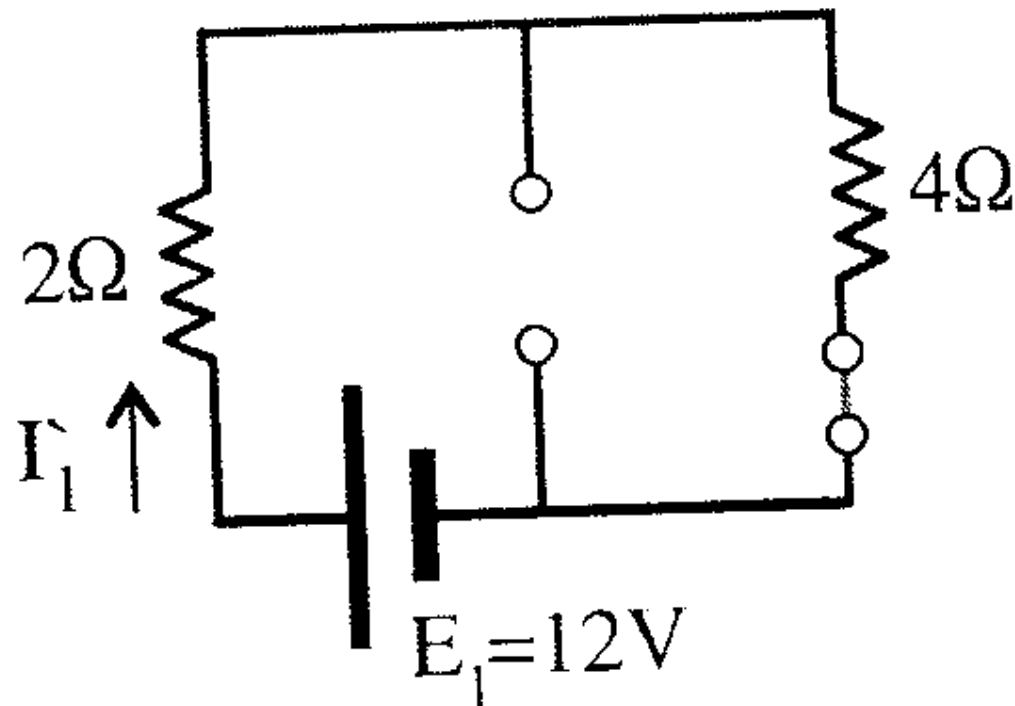


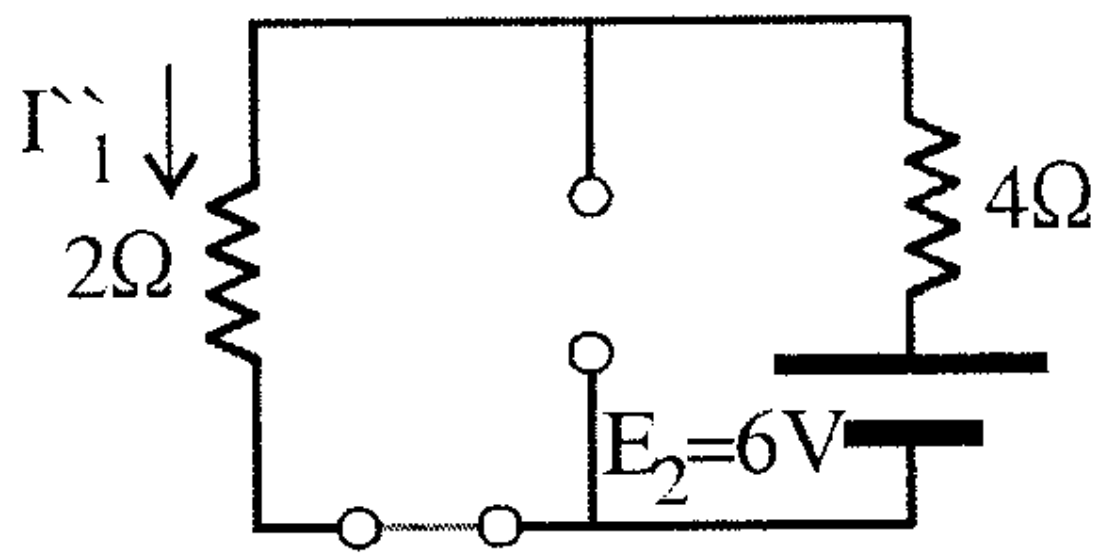
الحل:

1- تأثير المصدر (E1 = 12V) :

$$I_1' = \frac{(12V)}{2\Omega + 4\Omega} = \frac{12V}{6\Omega} = 2A$$

2- تأثير المصدر (E2 = 6V) :

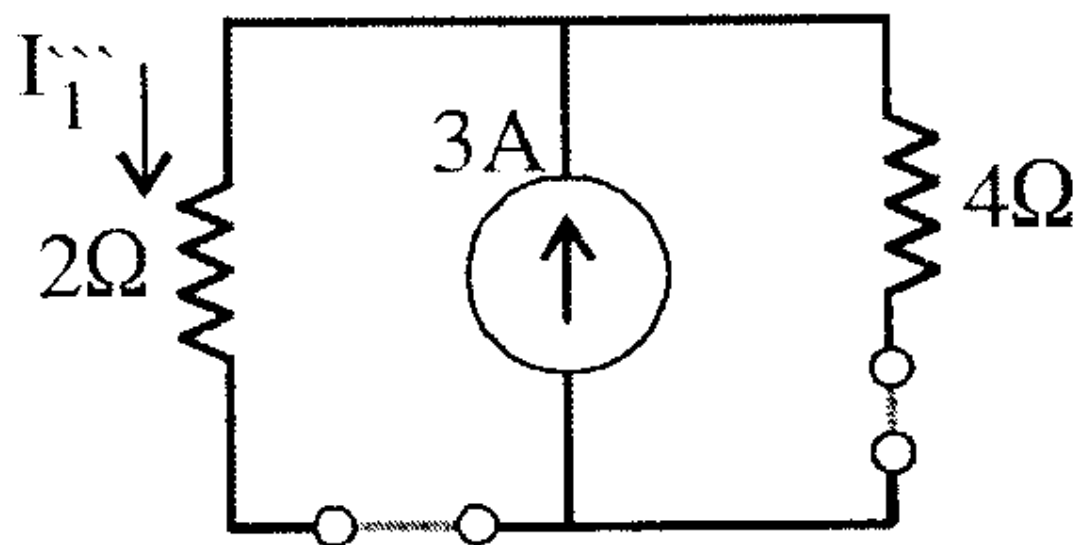




$$I_1' = \frac{(6V)}{2\Omega + 4\Omega} = \frac{6V}{6\Omega} = 1A$$

3- تأثير مصدر التيار ($I = 3A$) باستخدام

قانون مجزئ التيار

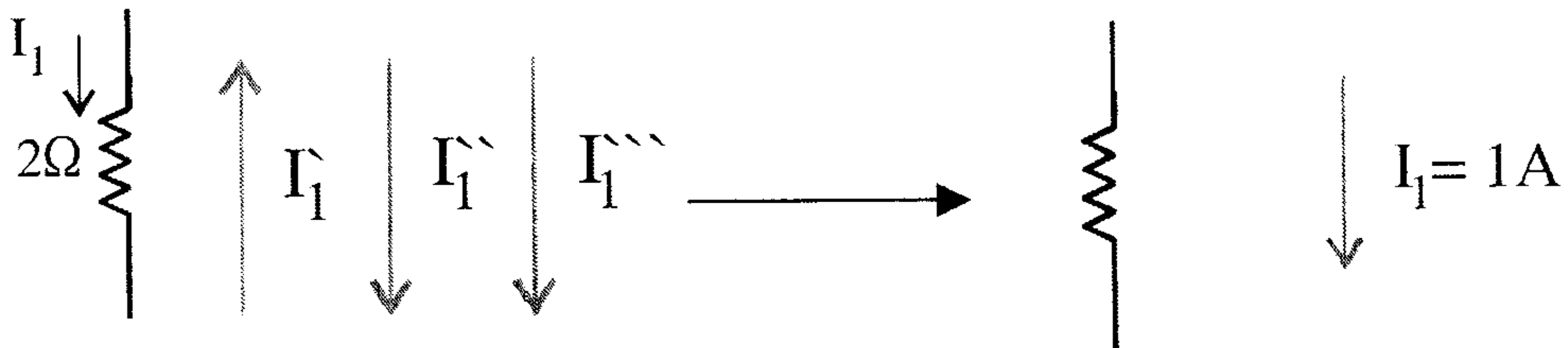


$$I_1'' = \frac{(3A)(4\Omega)}{2\Omega + 4\Omega} = \frac{12A}{6\Omega} = 2A$$

نتحصل بالتالي على التيار الكلي المار في المقاومة (2Ω)

$$I_1 = I_1' + I_1'' - I_1'$$

$$= 1A + 2A - 2A = 1A$$

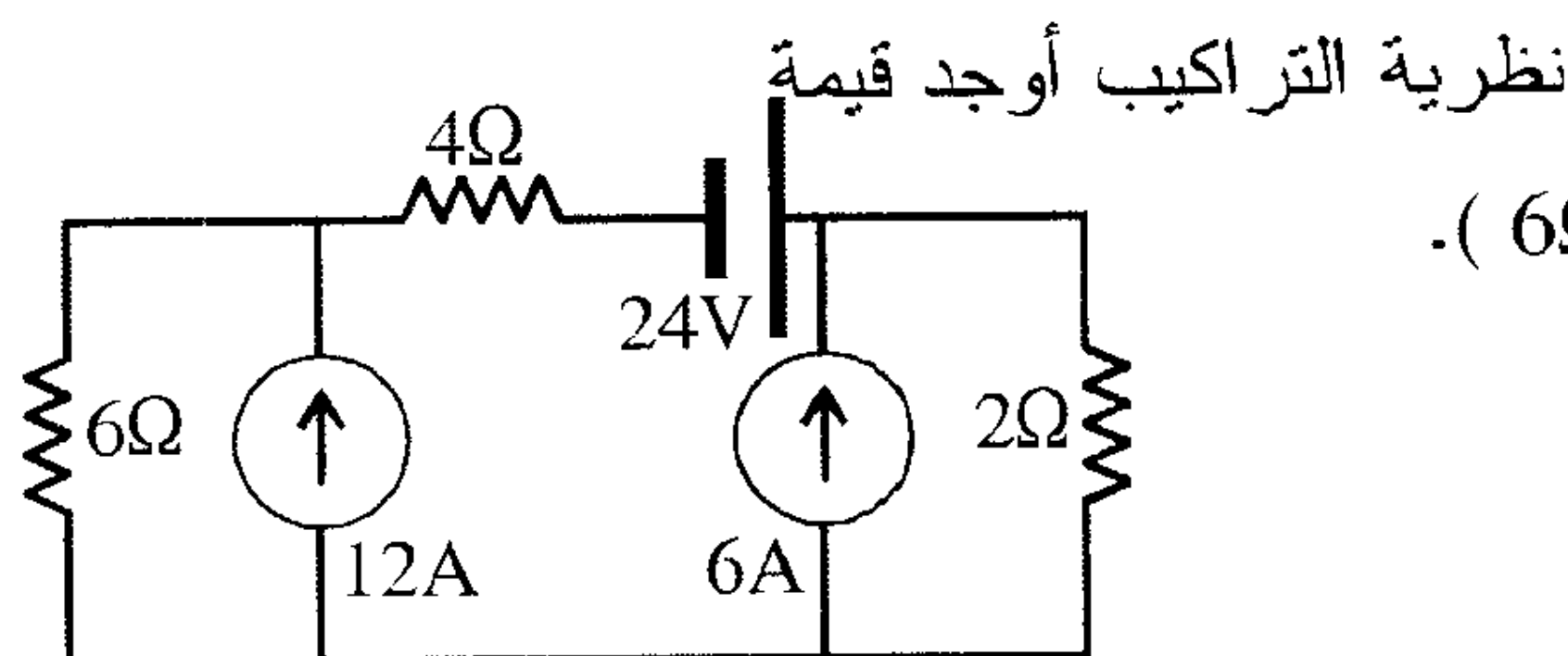


مثال 6.6 باستخدام

واتجاه التيار المار في المقاومة (6Ω).

الحل:

1- تأثير المصدر ($24V$) :

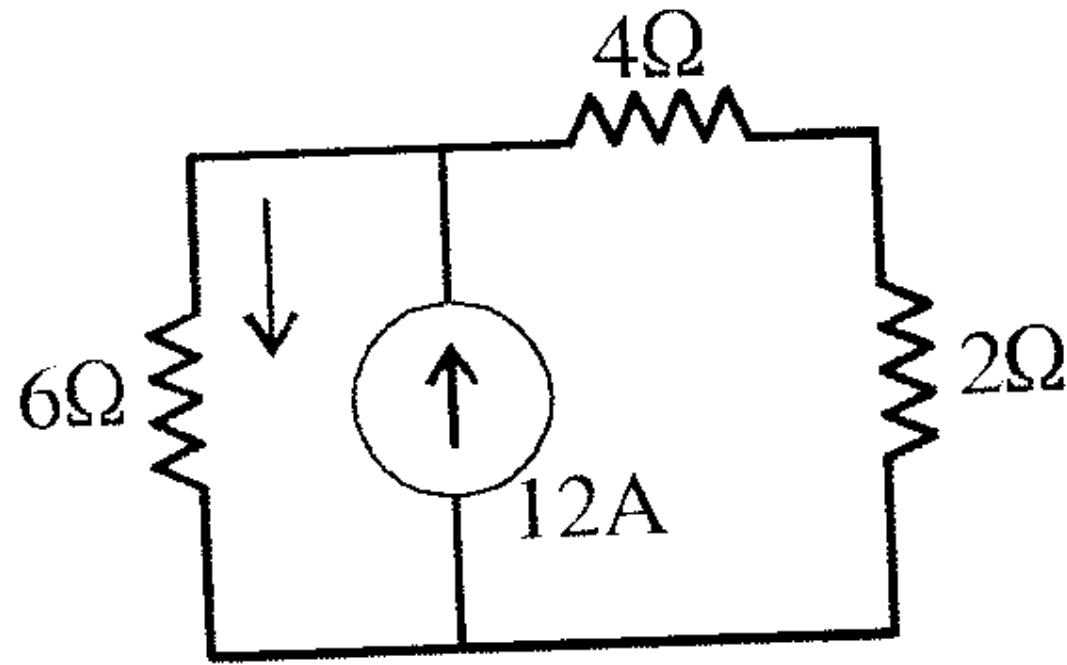


$$R_T = 12\Omega$$

$$I = 24V / 12\Omega = 2A$$

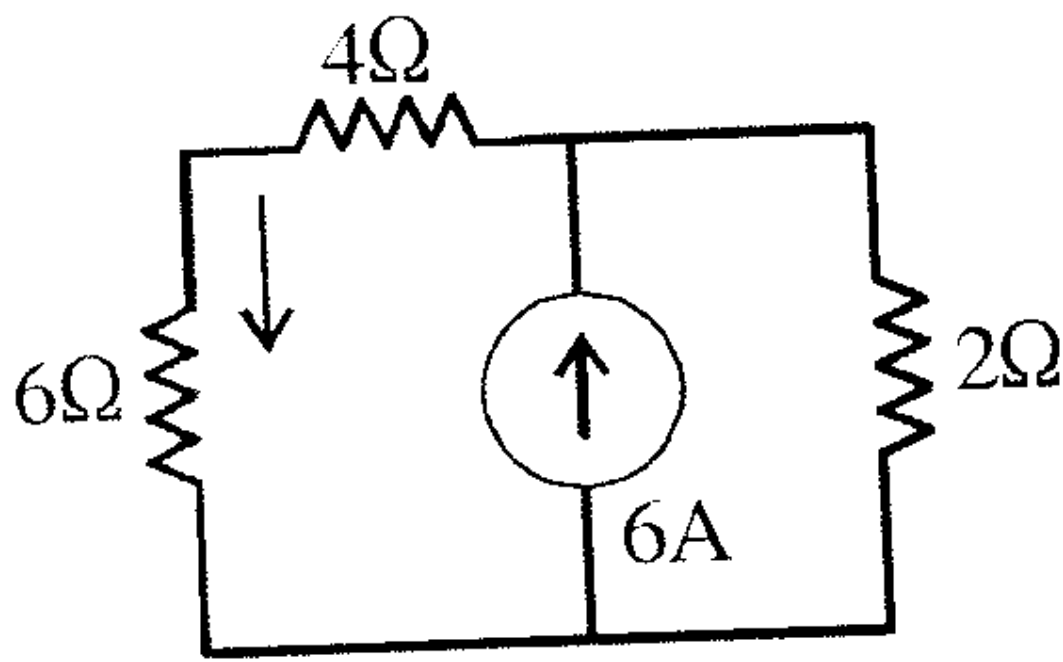
$$I_{6\Omega} = I = 2A \quad \uparrow$$

2- تأثير المصدر (12A) :



$$I_{6\Omega}'' = 12A / 2 = 6A \quad \downarrow$$

3- تأثير المصدر (6A) :



$$I_{6\Omega}''' = \frac{(6A)(2\Omega)}{12\Omega} = \frac{12}{12\Omega} = 1A \quad \downarrow$$

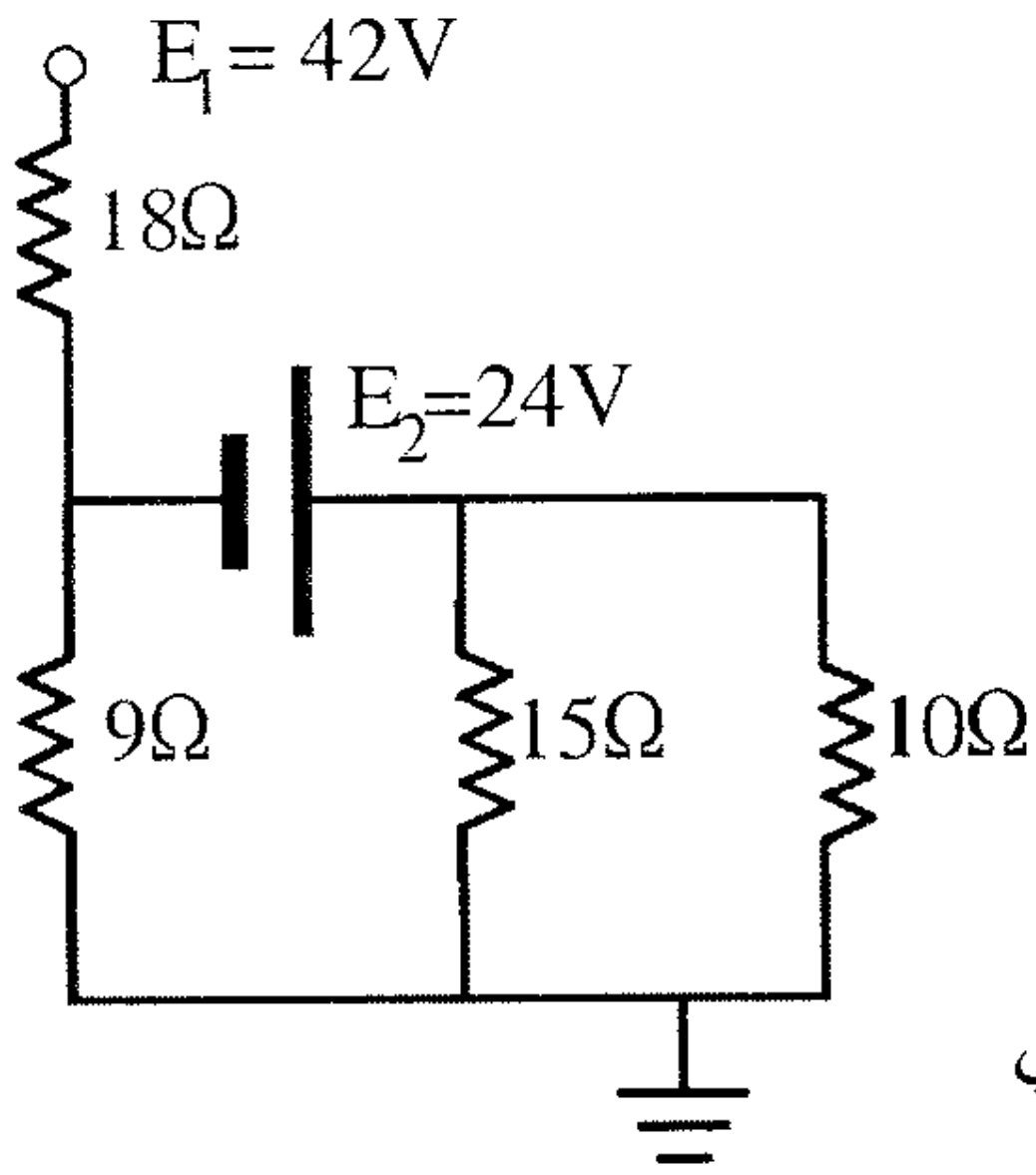
إذاً التيار الكلي المار في (6Ω)

$$I_{6\Omega} = I_{6\Omega}'' + I_{6\Omega}''' - I_{6\Omega}'$$

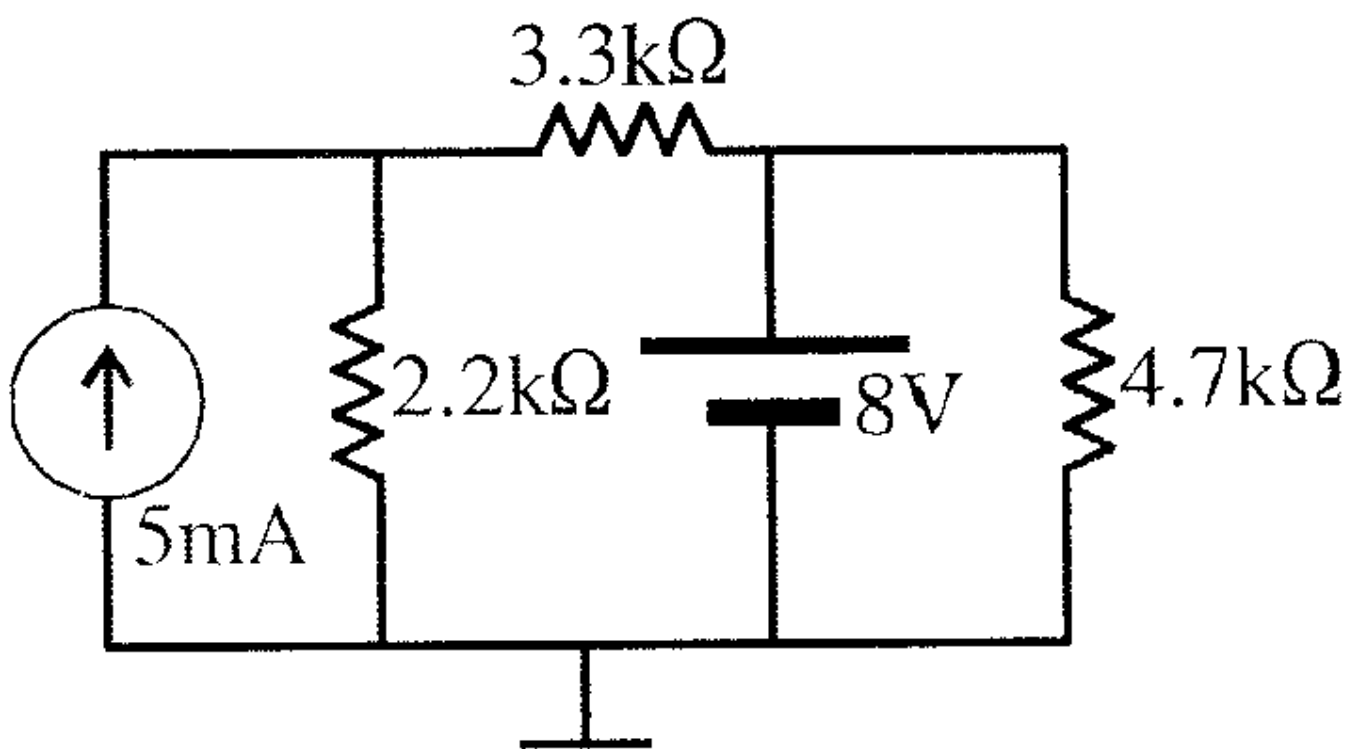
$$I_{6\Omega} = 6A + 1A - 2A = 5A$$

4.6 مسائل على نظرية التراكيب

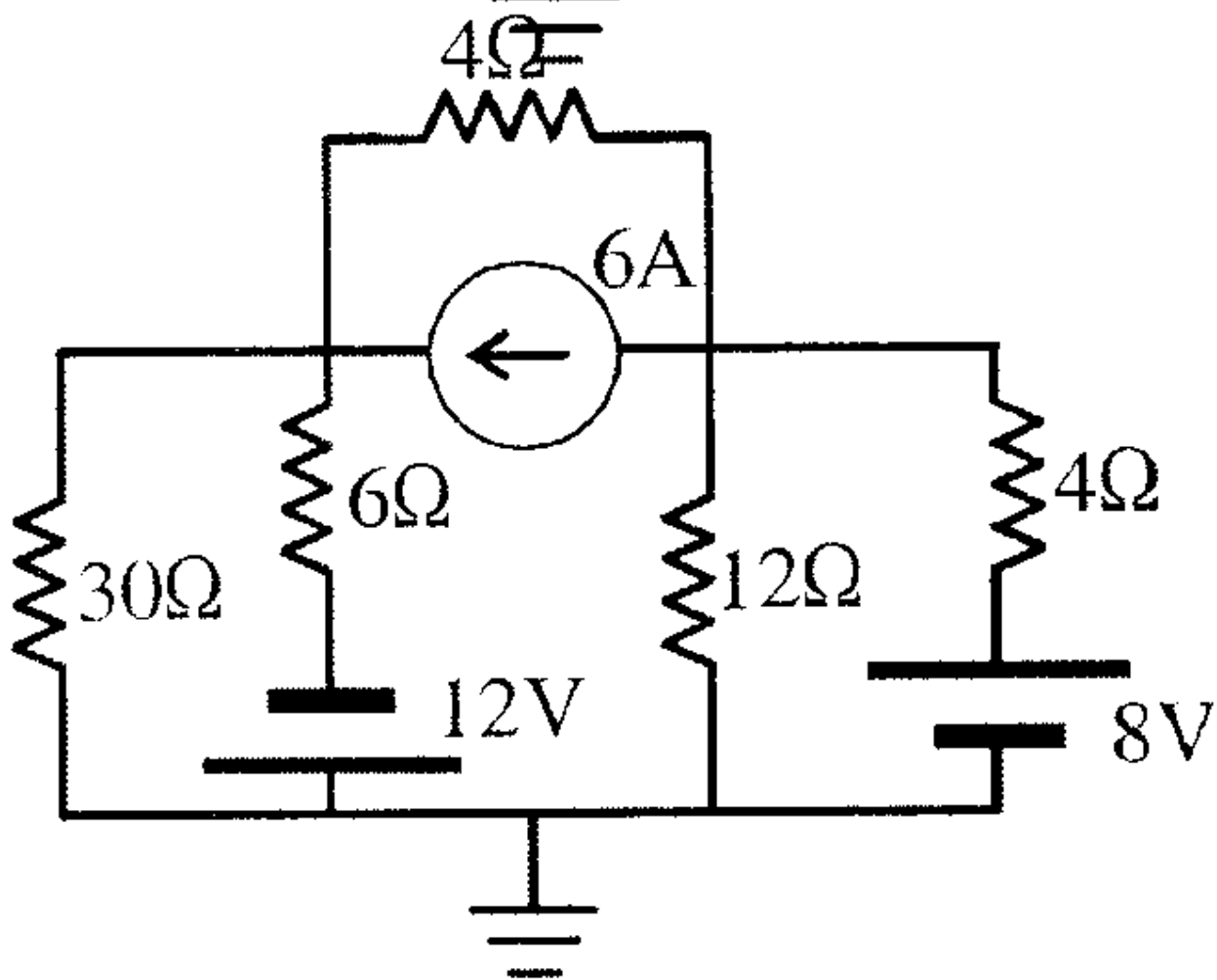
(1) باستخدام نظرية التراكيب أوجد قيمة واتجاه التيار المار في المقاومة (10Ω).



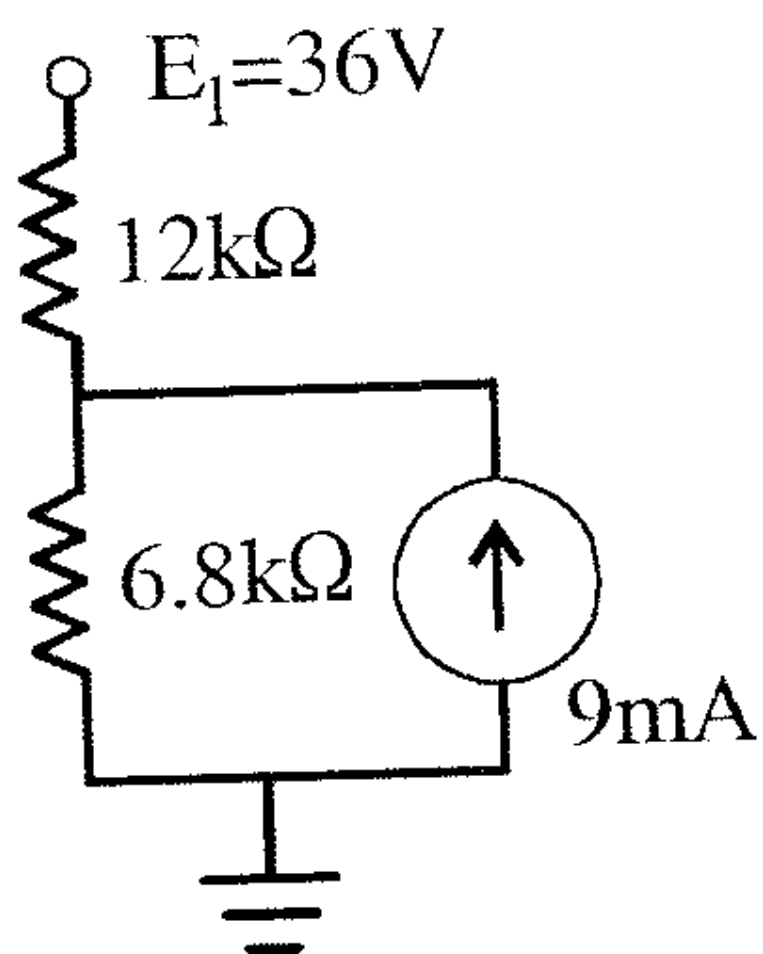
(2) باستخدام نظرية التراكيب أوجد قيمة التيار المار في المقاومة ($2.2k\Omega$).



(3) باستخدام نظرية التراكيب أوجد قيمة التيار I المار في المقاومة (6Ω).



(4) باستخدام نظرية التراكيب أوجد قيمة الجهد على المقاومة ($6.8k\Omega$) .

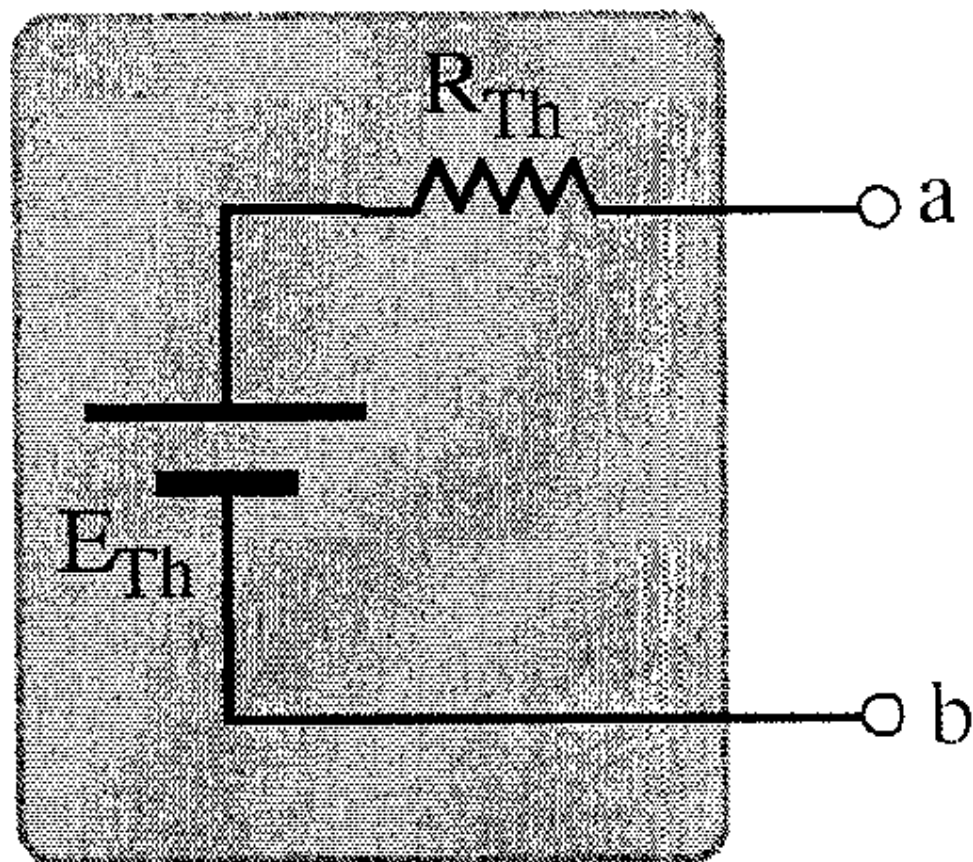


3.6 نظرية ثيفنن Thevenin's Theorem

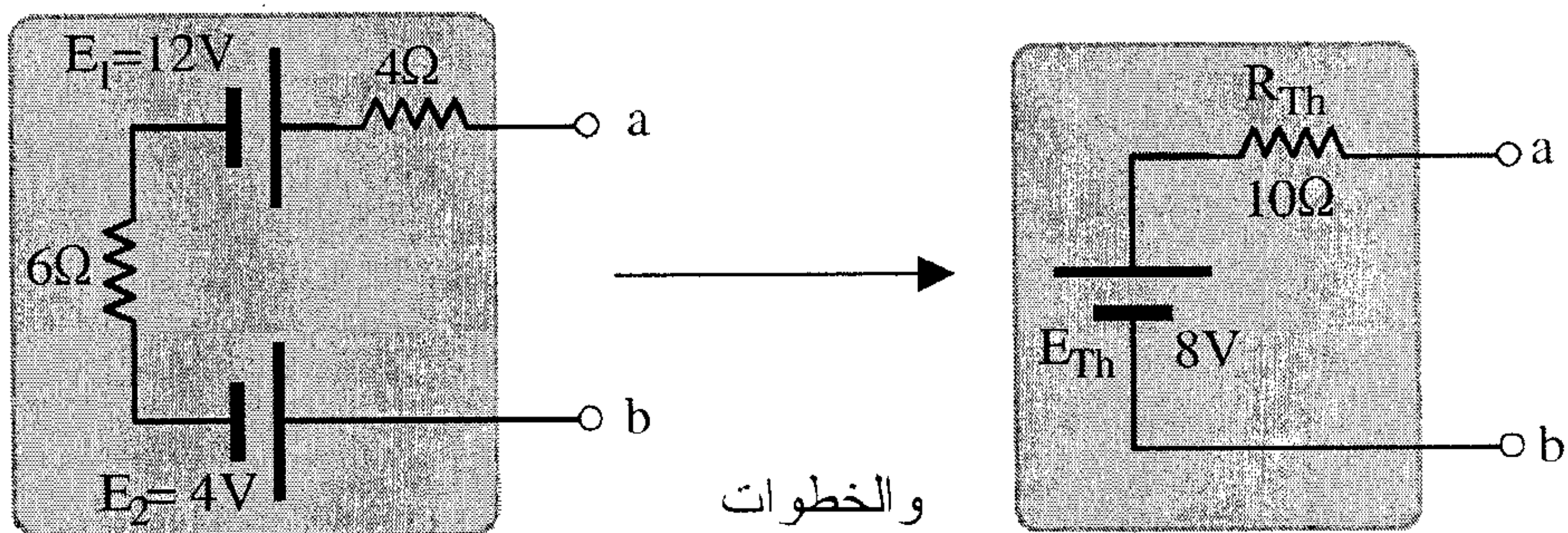
نظرية ثيفنن هي نظرية لتحليل الدوائر الكهربائية .

فدائرة ثيفنن هي دائرة تحتوي على مقاومة تسمى مقاومة ثيفنن (R_{Th}) ومصدر جهد ثيفنن (E_{Th}) ، أي أن أي دائرة كهربائية ذات تيار مستمر يمكن استبدالها بدائرة ثيفنن 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 ثيفنن



والخطوات

توضح

التالية

طريقة حل دوائر كهربائية للوصول إلى دائرة ثيفنن:

1- اقطع الجزء من الدائرة المراد تحديد مكافئ ثيفنن له.

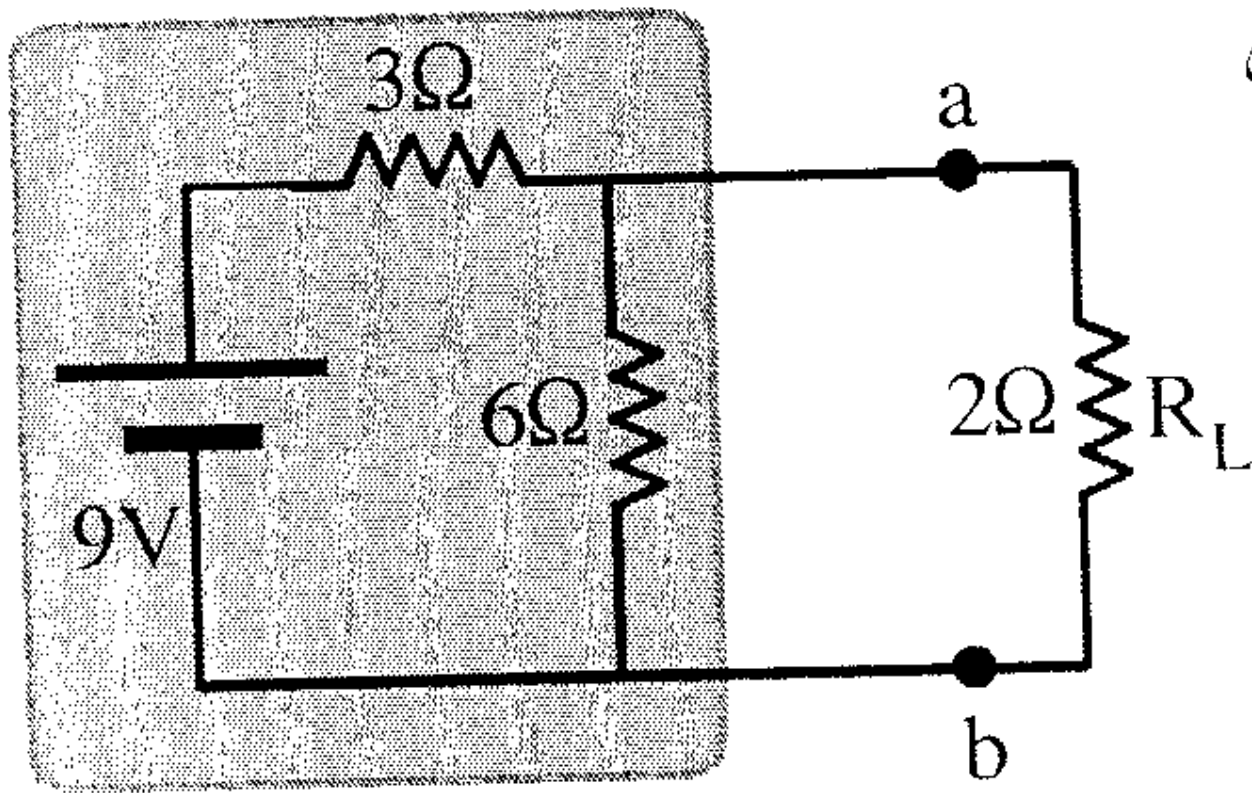
2- حدد المخرجين a و b للدائرة.

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 أكثر من مصدر جهد أو تيار بالدائرة نستخدم طريقة التراكيب لإيجاد (E_{Th}) الكلية.

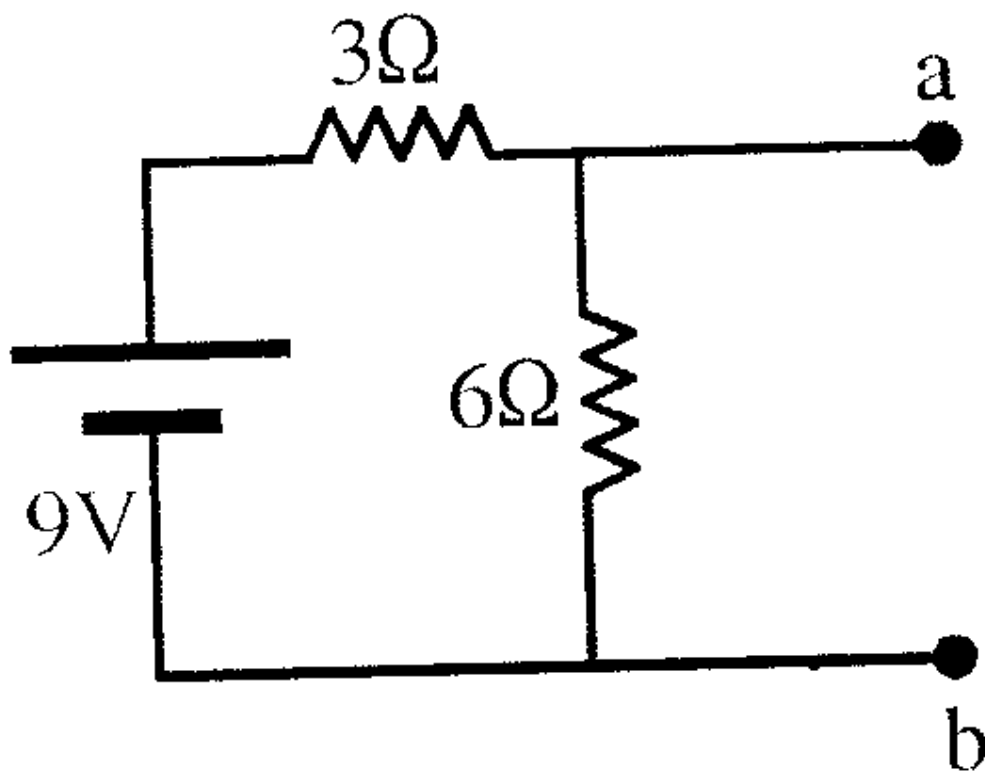
5- نرسم دائرة ثيفينين المكافئة مع إرجاع الجزء المحذوف من الدائرة الأصلية.

مثال 7.6 أوجد دائرة ثيفينين المكافئة للجزء المظلل من الدائرة بالشكل ثم احسب التيار المار خلال المقاومة (2Ω) .



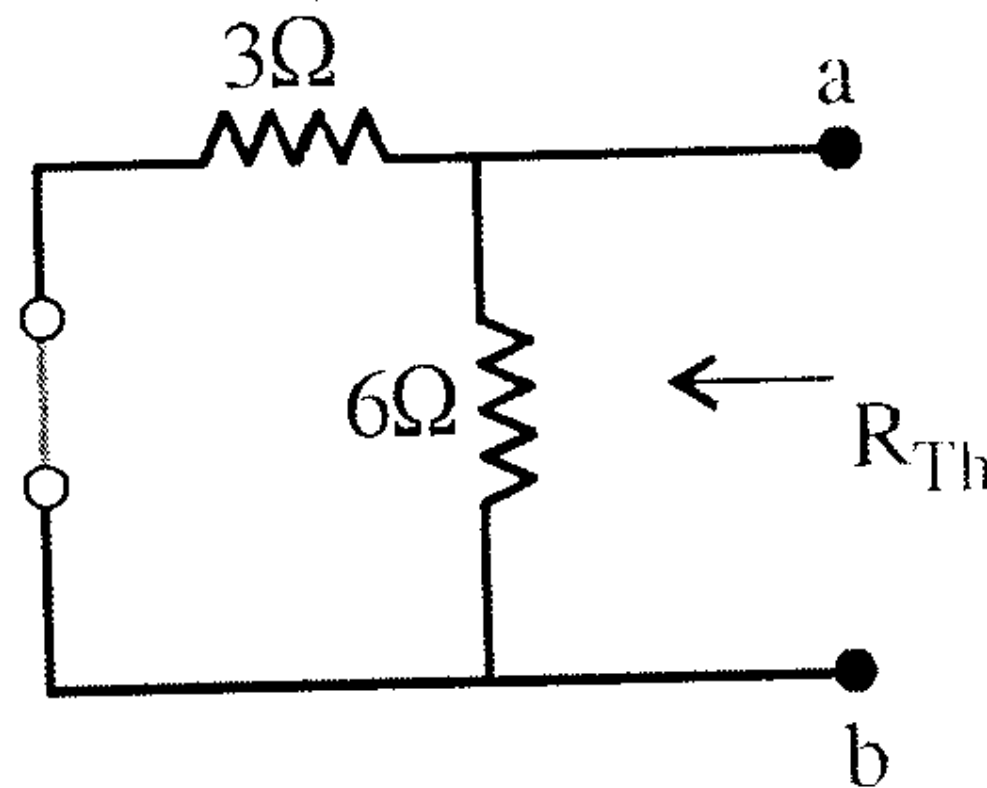
الحل:

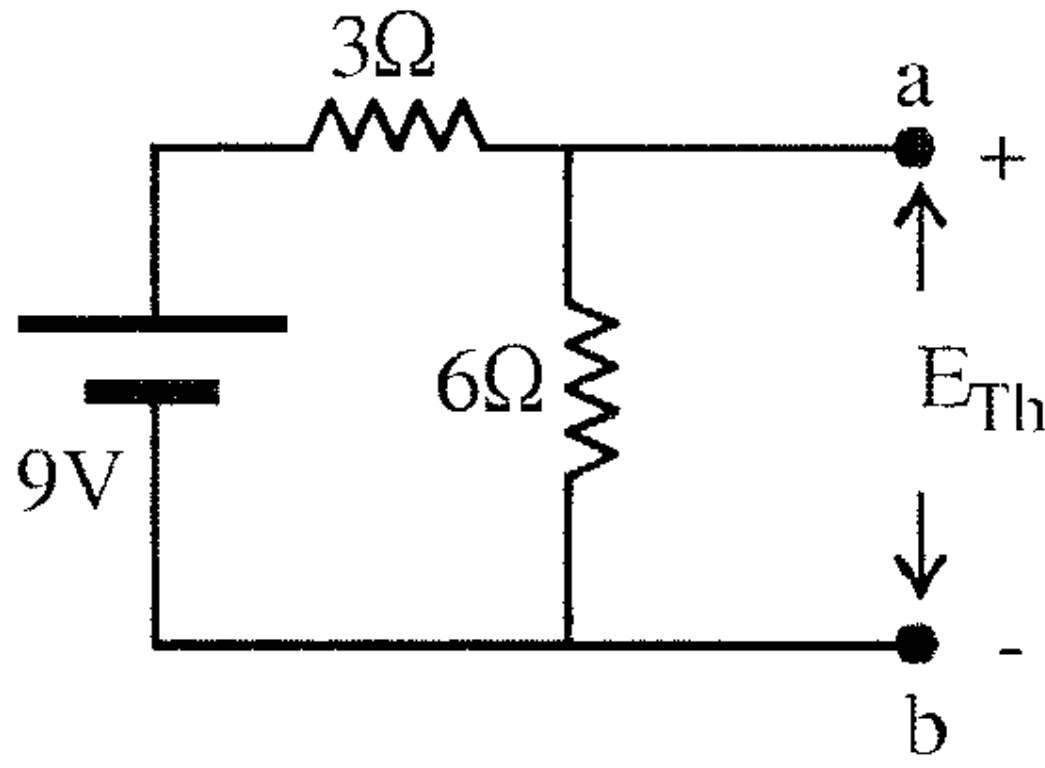
قطع الجزء المراد إيجاد دائرة ثيفينين المكافئة له.



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

حذف مصدر الجهد لإيجاد R_{Th}

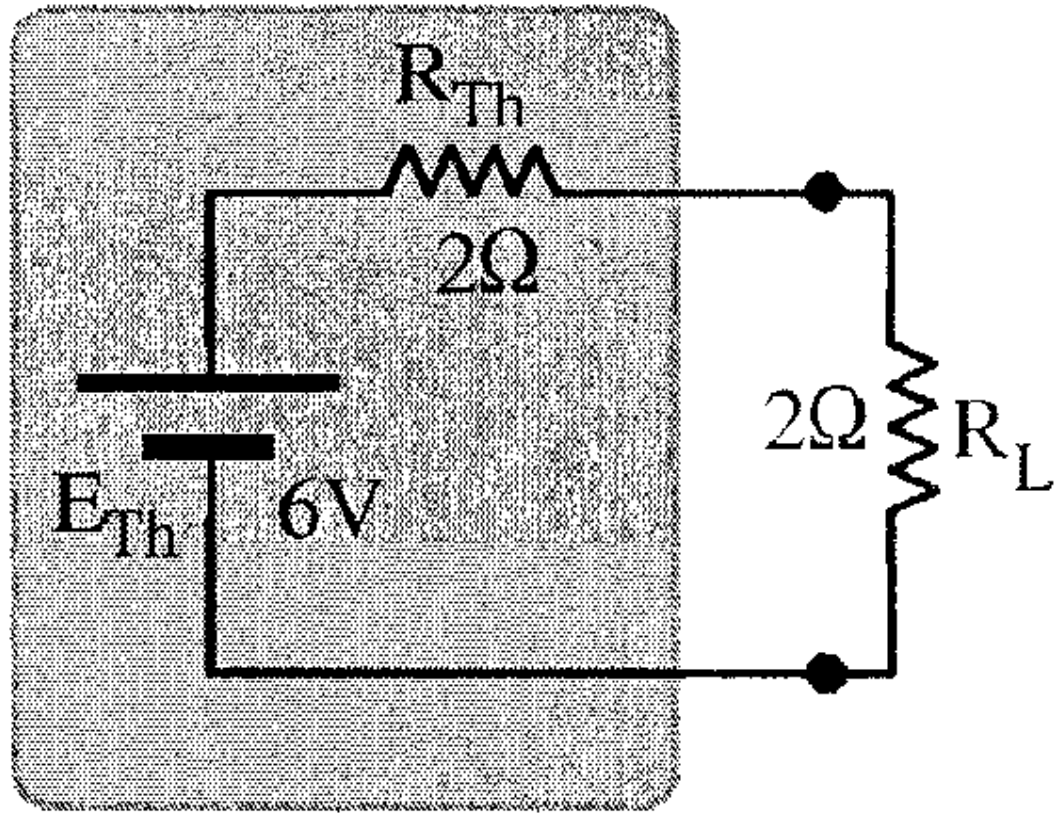




إرجاع مصدر الجهد لإيجاد (E_{Th}) ما بين النقطتين a و b باستخدام قانون مجزي الجهد وباعتبار أن (E_{Th}) تساوي الجهد على المقاومة (6Ω) بالتوازي

$$E_{Th} = \frac{9V \times 6\Omega}{3\Omega + 6\Omega} = \frac{54}{9\Omega} = 6V$$

بعد إيجاد E_{Th} , R_{Th} يتم إرجاع الدائرة إلى حالتها الأصلية وربط الجزء المقطوع منها كما في الشكل التالي:

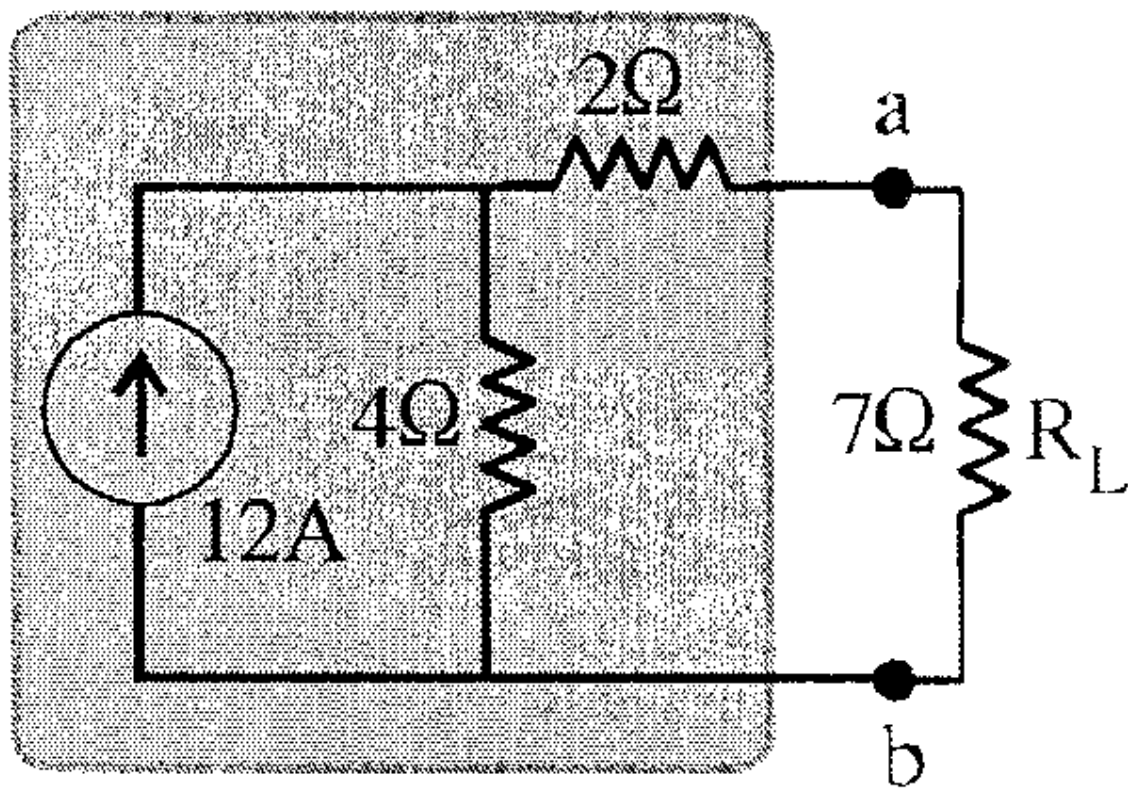


ولإيجاد التيار المار في المقاومة R_L

$$I_L = \frac{6V}{2\Omega + 2\Omega} = \frac{6V}{4} = 1.5A$$

مثال 8.6 أوجد دائرة ثيفنين المكافئة للجزء المظلل من الدائرة بالشكل.

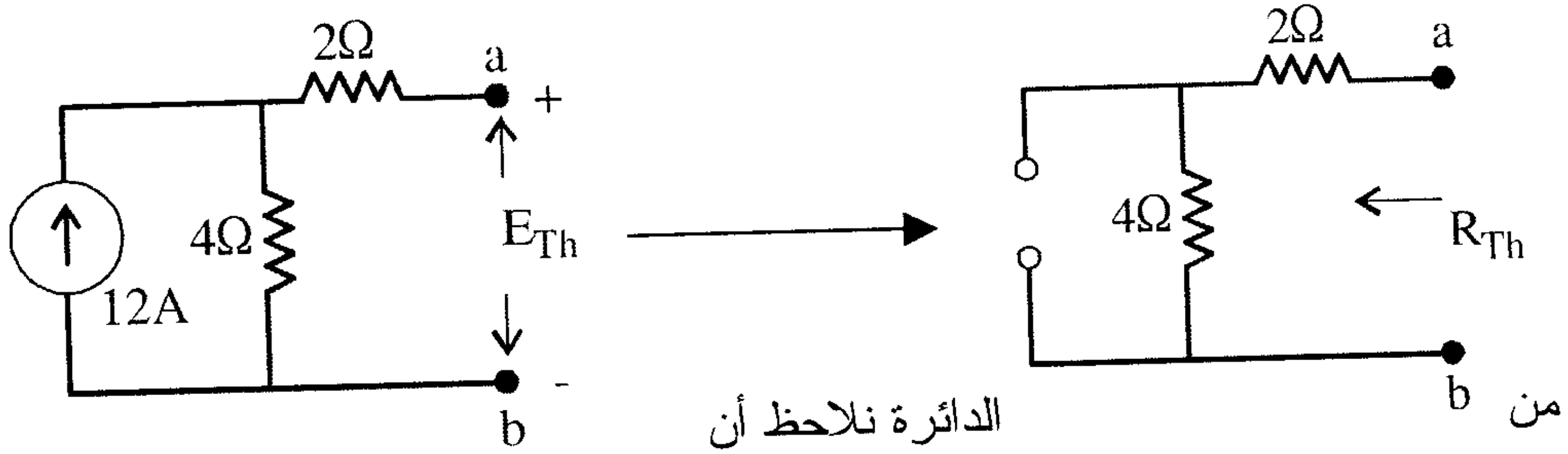
الحل:



1- لإيجاد R_{Th} نحذف مصدر التيار

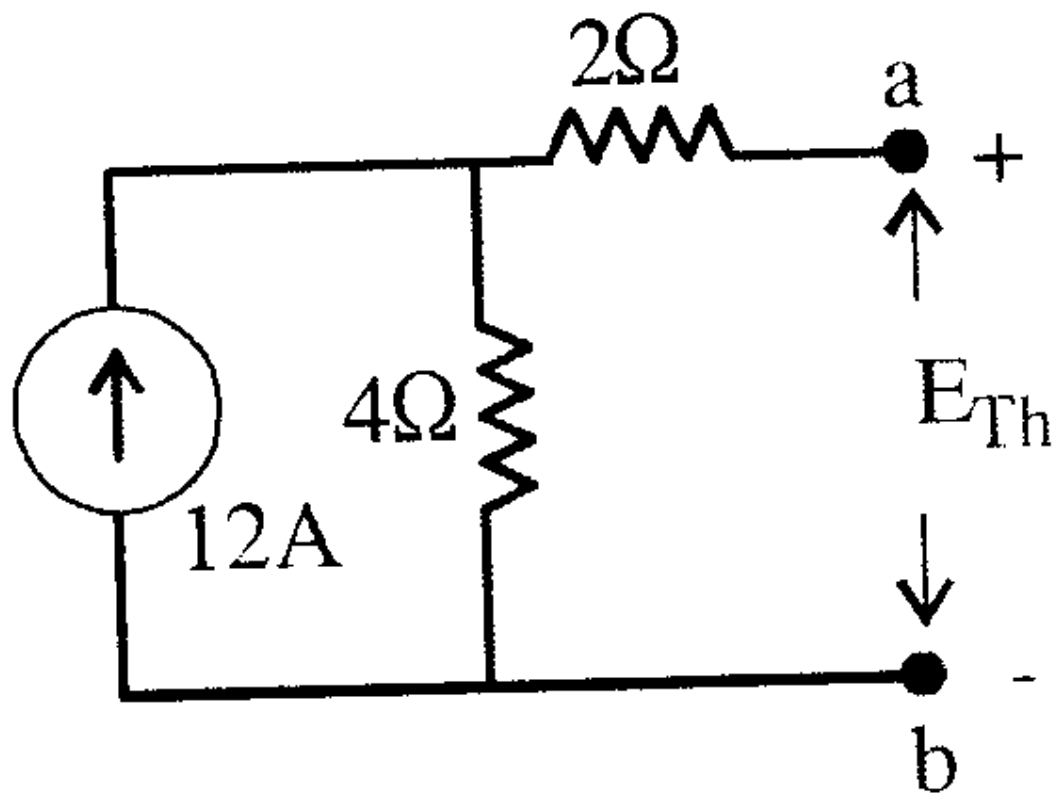
$$\therefore R_{Th} = 4\Omega + 2\Omega = 6\Omega$$

2- لإيجاد E_{Th} نرجع مصدر التيار كما في الشكل التالي:



المقاومة (2Ω) موجودة في دائرة مفتوحة لذلك فإن التيار المار بها يساوي صفراً أيضاً

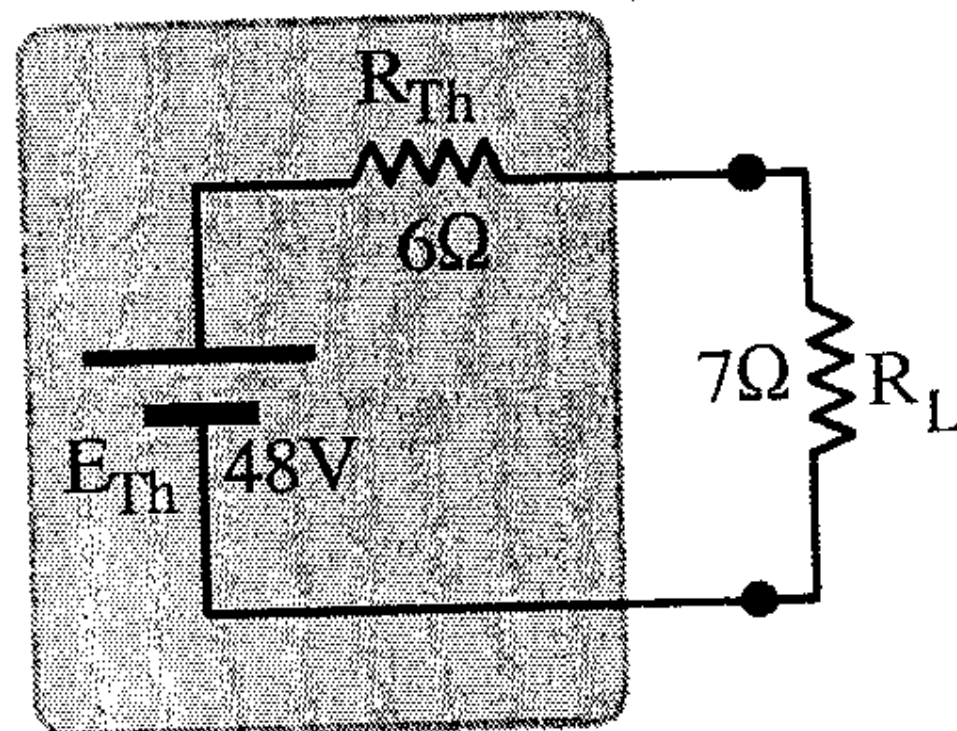
$$E_{Th} = V_{4\Omega} \text{ بالتوازي}$$



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 ثقينين المكافئة للدائرة خارج
النقطتين a و b .

الحل:

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 .

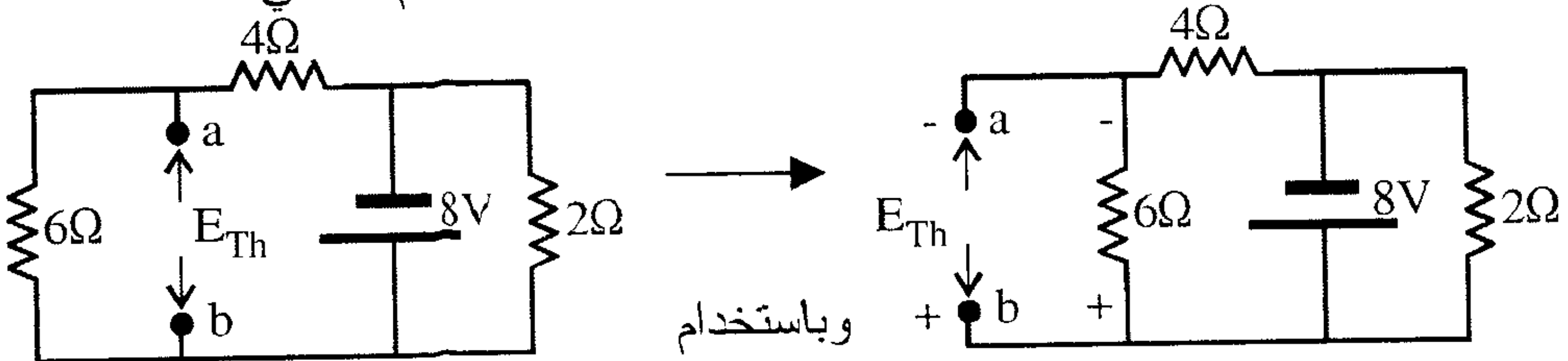
ومن هنا نلاحظ أن المقاومتين (4Ω) و (6Ω)
موصلتان على التوازي لأن التيار يمر عبر (a)
ليتجزأ بين المقاومتين.

أما المقاومة (2Ω) فهي ملغاة لوجود دائرة مغلقة
(Short Circuit)

$$\therefore R_{Th} = 4\Omega // 6\Omega$$

$$= \frac{4 \times 6}{4 + 6} = \frac{24}{10} = 2.4\Omega$$

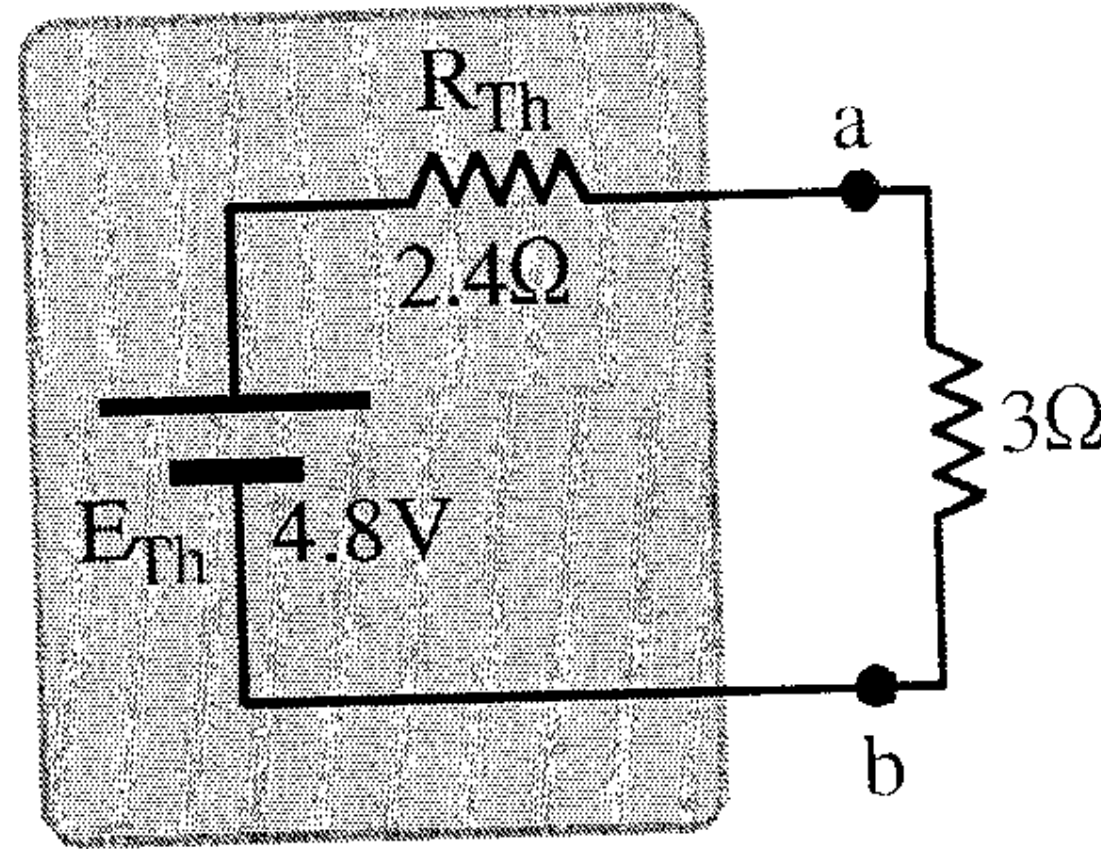
2- إيجاد E_{Th} ، نلاحظ أن $V_{6\Omega} // E_{Th}$ لذلك يمكن تحويل الرسم كالتالي:



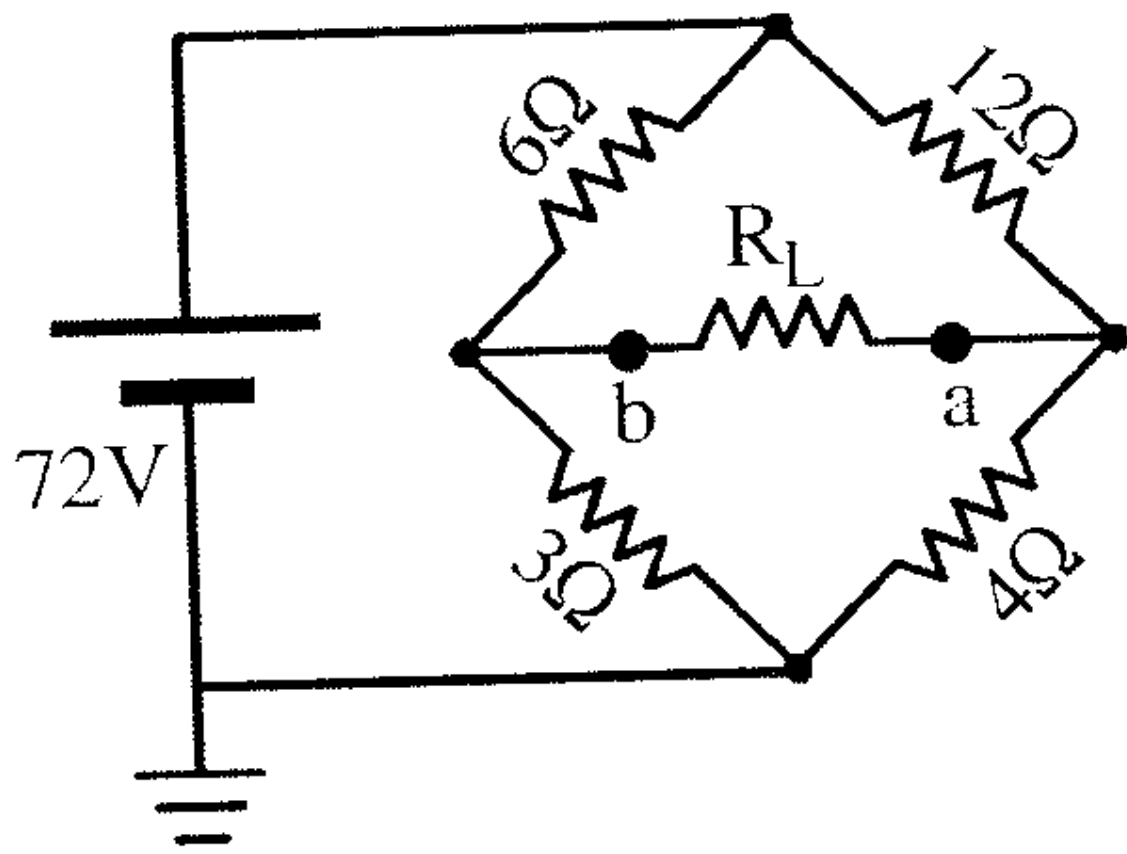
قانون مجزئ الجهد

$$E_{Th} = \frac{(8V)(6\Omega)}{6\Omega + 4\Omega} = \frac{48}{10} = 4.8V$$

في النهاية نحصل على دائرة ثيفننن المكافئة وربطها بالجزء المحذوف خارج (a و b).



مثال 10.6 من الدائرة بالشكل أوجد دائرة ثيفننن المكافئة خارج النقطتين (a و b).



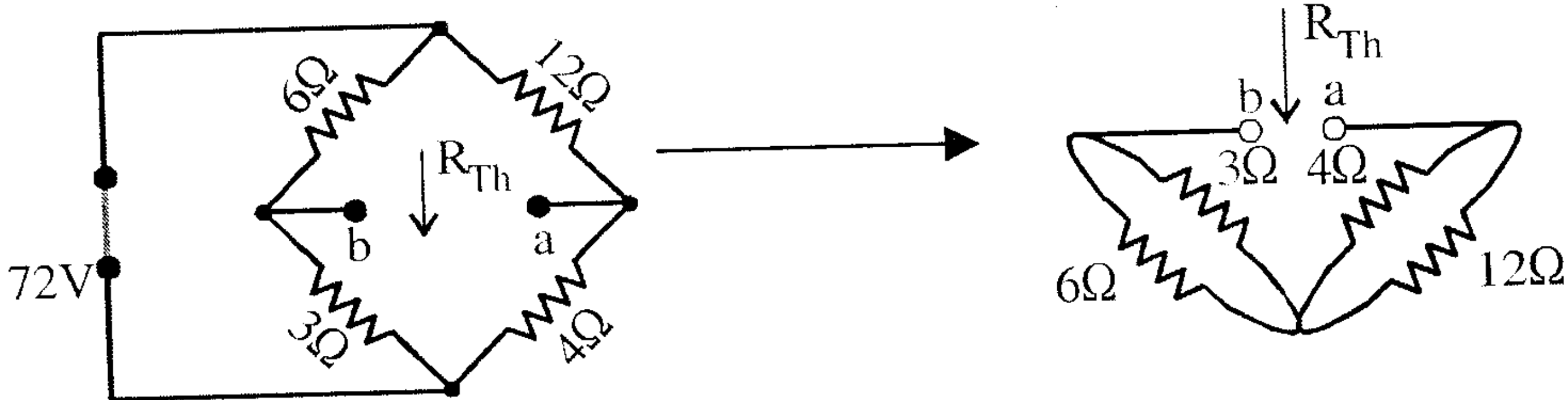
الحل:

$$R_{Th} = 6\Omega // 3\Omega + 4\Omega // 12\Omega$$

$$R_{Th} = 2\Omega + 3\Omega = 5\Omega$$

لإيجاد E_{Th} يجب إيجاد الجهود $V_{12\Omega}$ و $V_{6\Omega}$

أولاً:، وباستخدام قانون مجزئ الجهد



$$V_{6\Omega} = \frac{(6\Omega)(72V)}{6\Omega + 3\Omega} = \frac{432}{9} = 48V$$

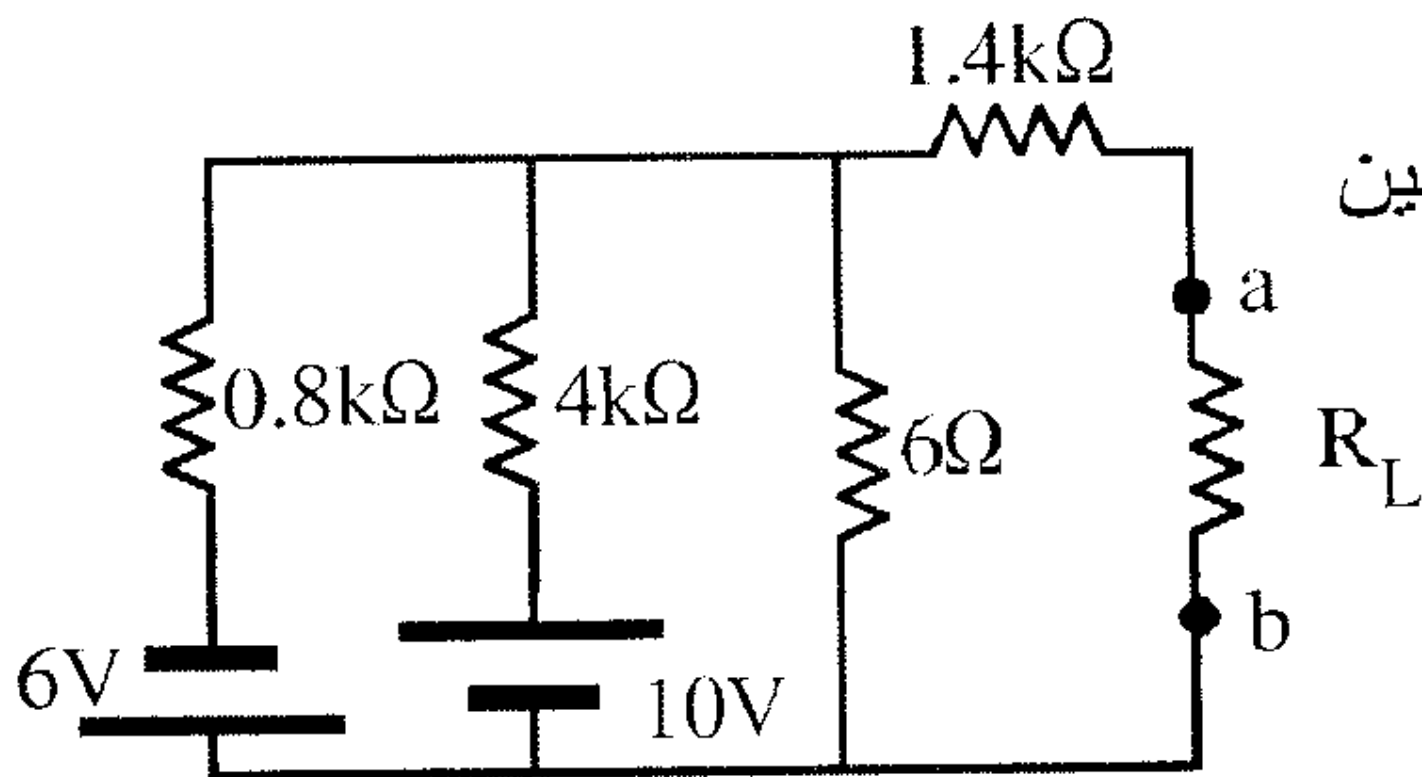
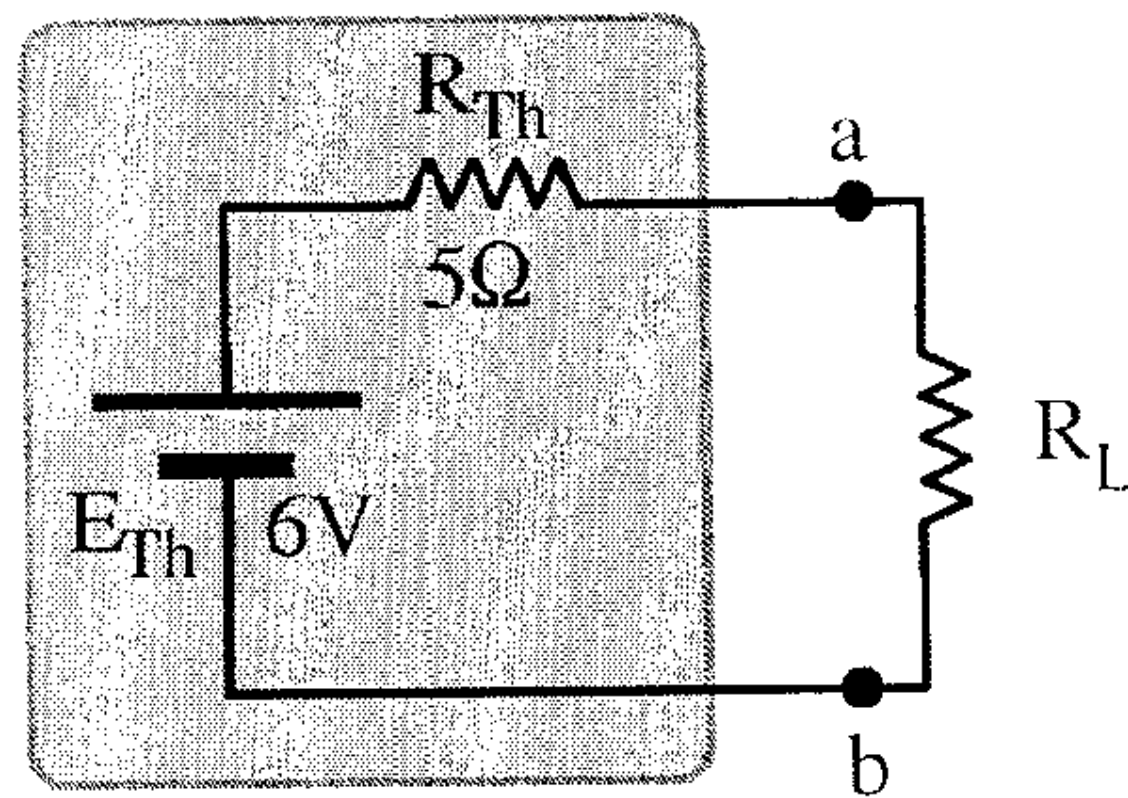
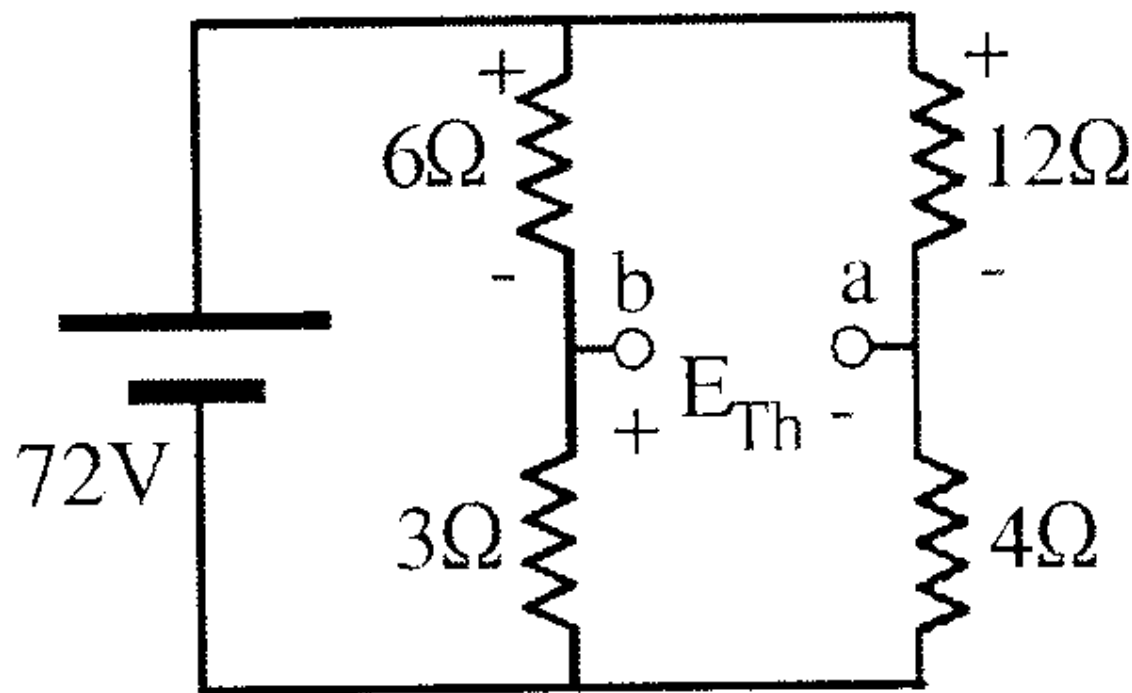
$$V_{12\Omega} = \frac{(12\Omega)(72V)}{12\Omega + 4\Omega} = \frac{864}{16} = 54V$$

ثم نستخدم (KVL) لإيجاد E_{Th} :

$$V_{6\Omega} - V_{12\Omega} + E_{Th} = 0$$

$$48V - 54V + E_{Th} = 0$$

$$E_{Th} = 54V - 48V = 6V$$

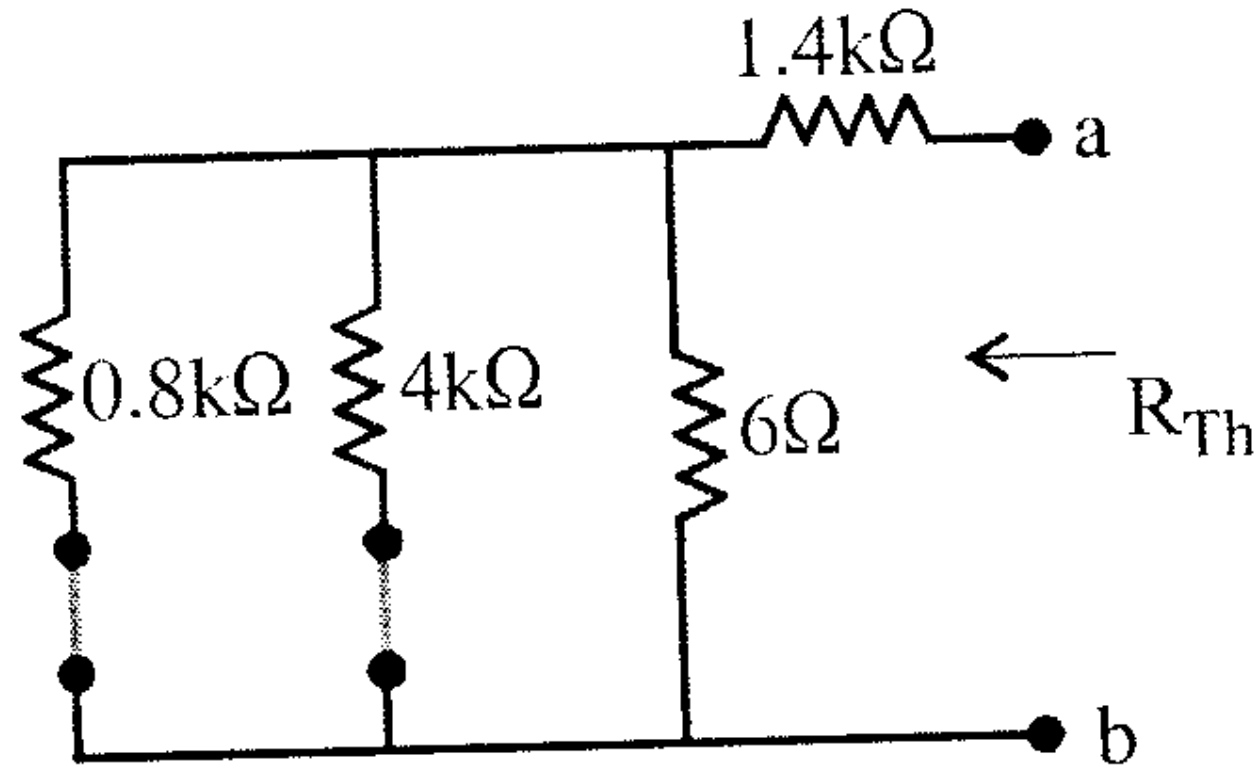


مثال 11.6 من الدائرة بالشكل أوجد دائرة ثيفنين المكافئة خارج (a و b).

الحل:

حذف المصدر للحصول على (R_{Th})

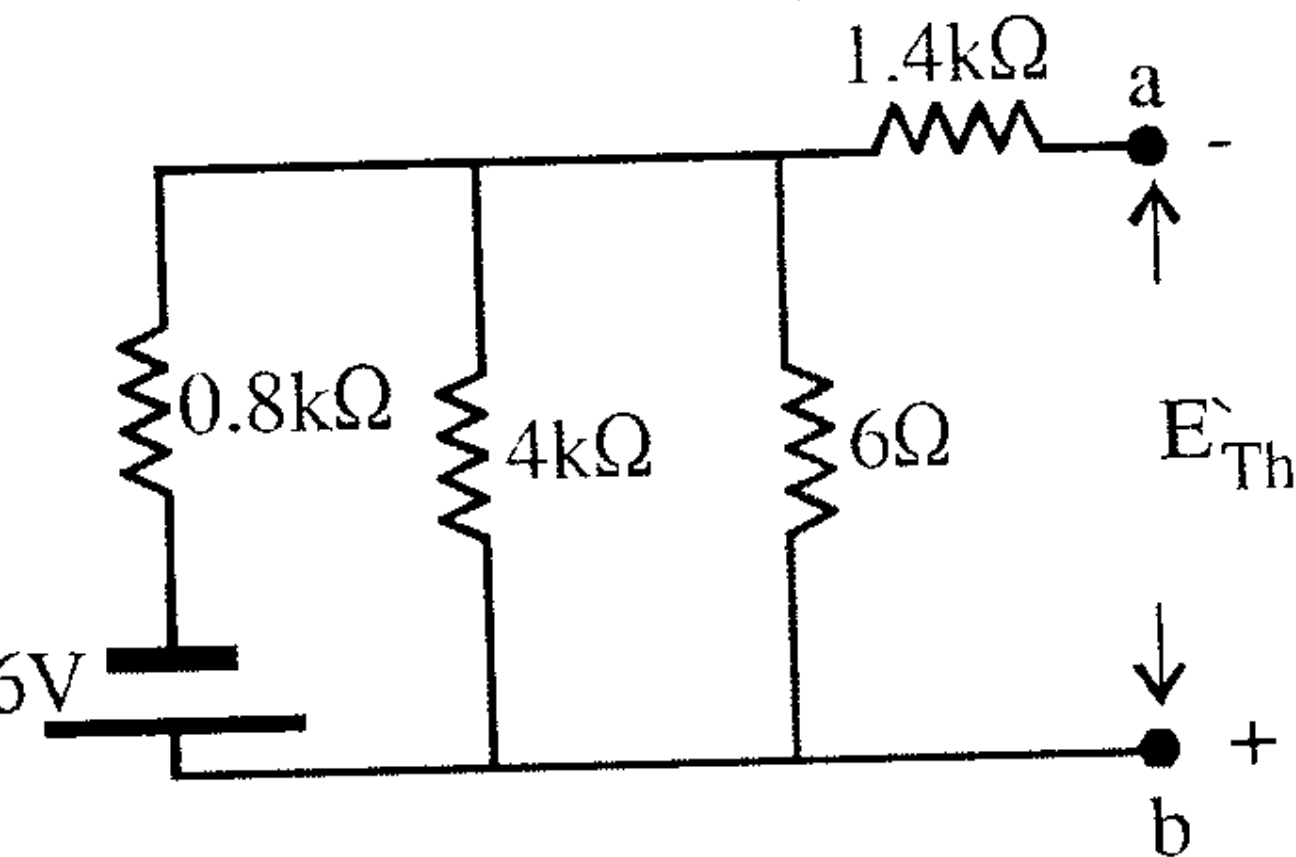
$$0.8k\Omega // 4k\Omega // 6k\Omega = 0.6k\Omega$$



$$R_{Th} = 0.6k\Omega + 1.4k\Omega = 2k\Omega$$

نستخدم نظرية التراكيب لإيجاد E_{Th} وذلك لوجود مصدري جهد بالدائرة:

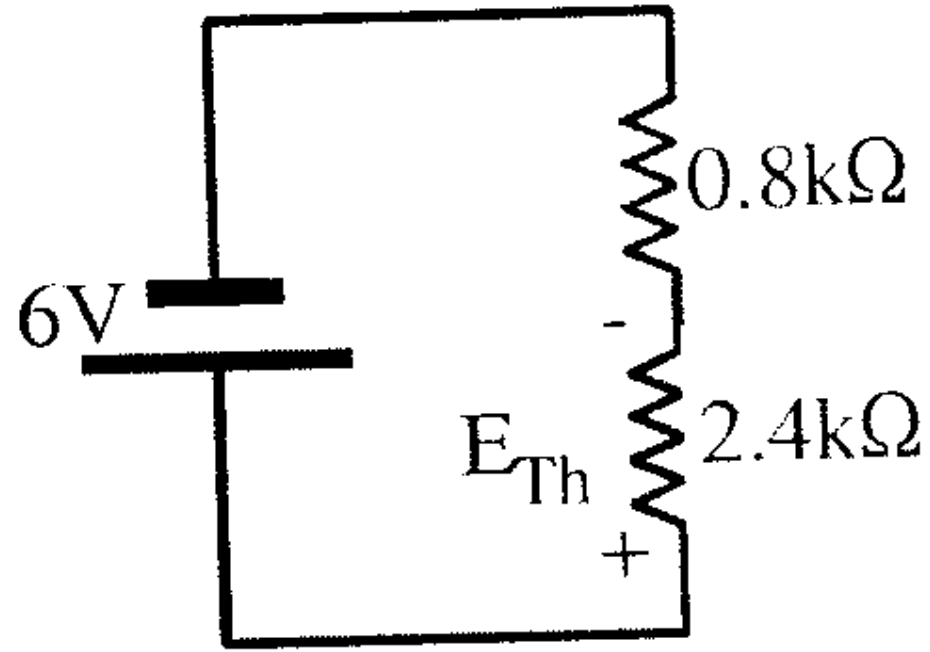
1- تأثير مصدر الجهد ($6V$):



المقاومة ($1.4k\Omega$) تلغى لأنها دائرة مفتوحة ومنها $E'_{Th} = V_{6k\Omega}$ بالتوازي وبالتالي تساوي $V_{4k\Omega}$ أيضاً

$$4k\Omega // 6k\Omega = 2.4k\Omega$$

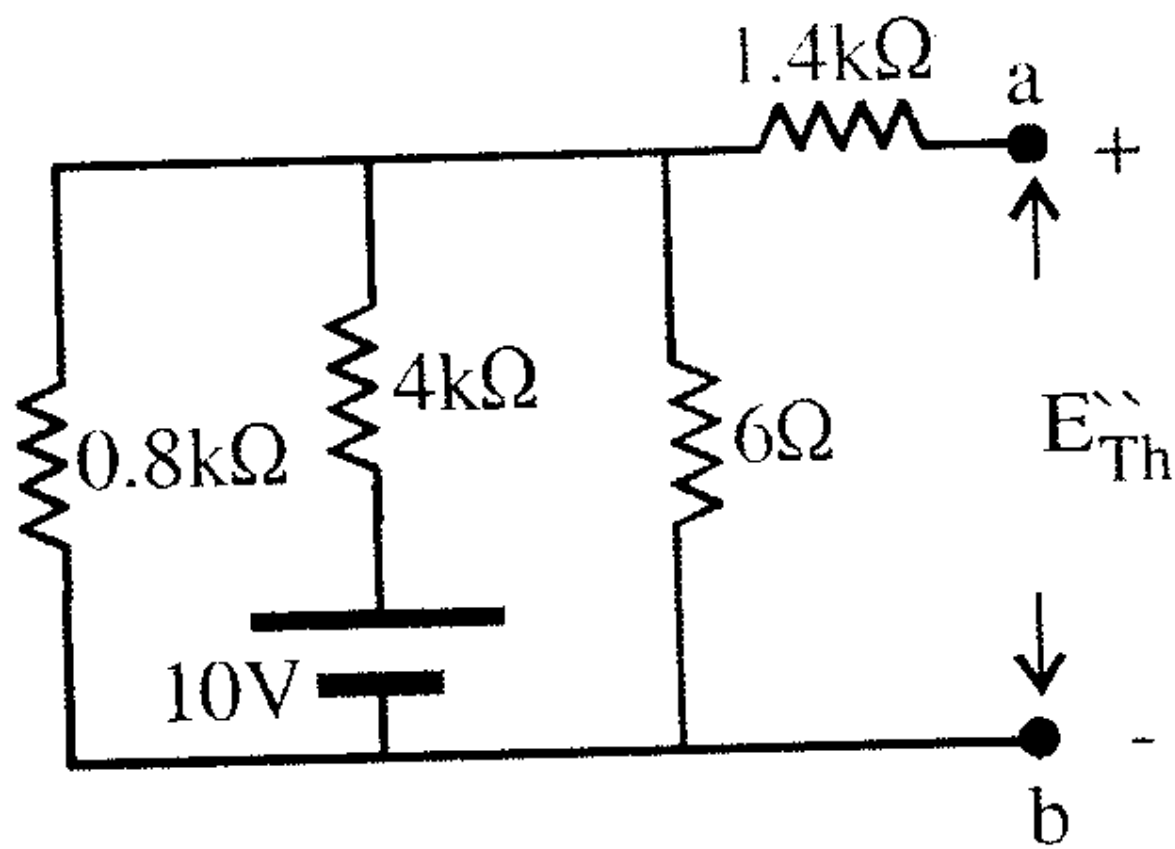
وباستخدام قانون مجزئ الجهد:



$$E'_{Th} = \frac{(6V)(2.4k\Omega)}{2.4k\Omega + 0.8k\Omega} = \frac{14.4}{3.2} = 4.5V$$

2- تأثير مصدر الجهد ($10V$): في هذه

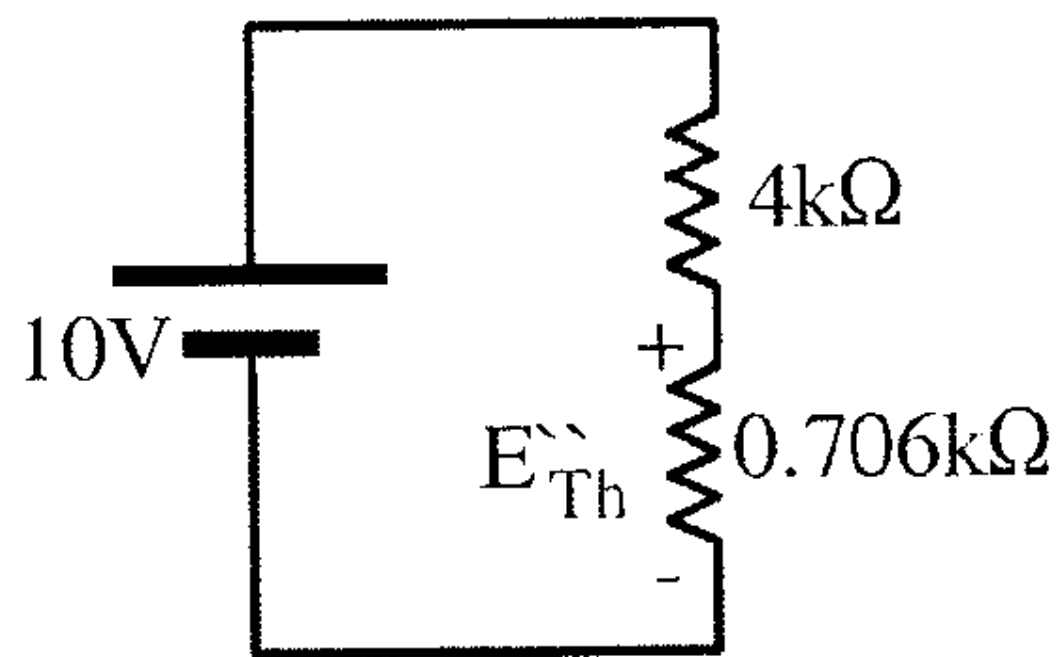
الحالة أيضاً تلغى المقاومة ($1.4k\Omega$) دائرة مفتوحة



$$E''_{Th} = V_{6k\Omega} \text{ بالتوازي}$$

$$6k\Omega // 0.8k\Omega = 0.706k\Omega$$

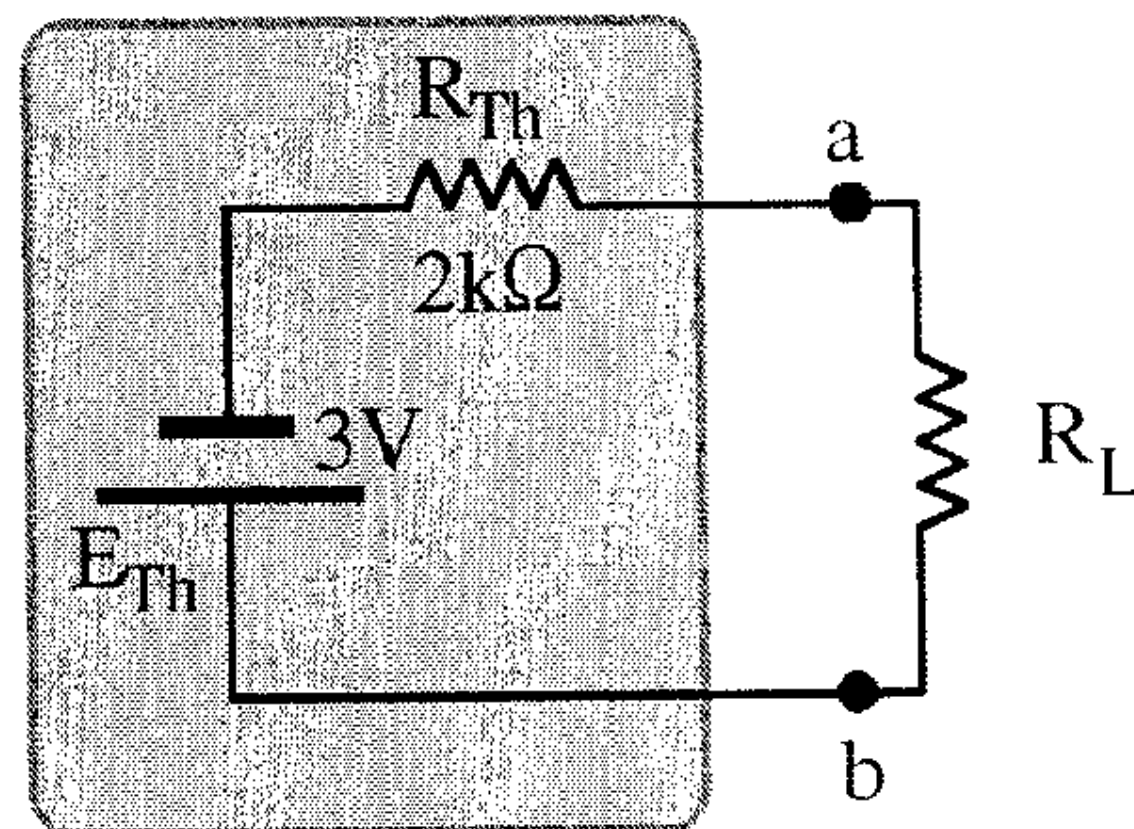
$$E''_{Th} = \frac{(10V)(0.706k\Omega)}{0.706k\Omega + 4k\Omega} = \frac{7.06}{4.706} = 1.5V$$



نلاحظ أن الأقطاب في قيمتي الجهد E_{Th}' و E_{Th}'' عكس بعضها

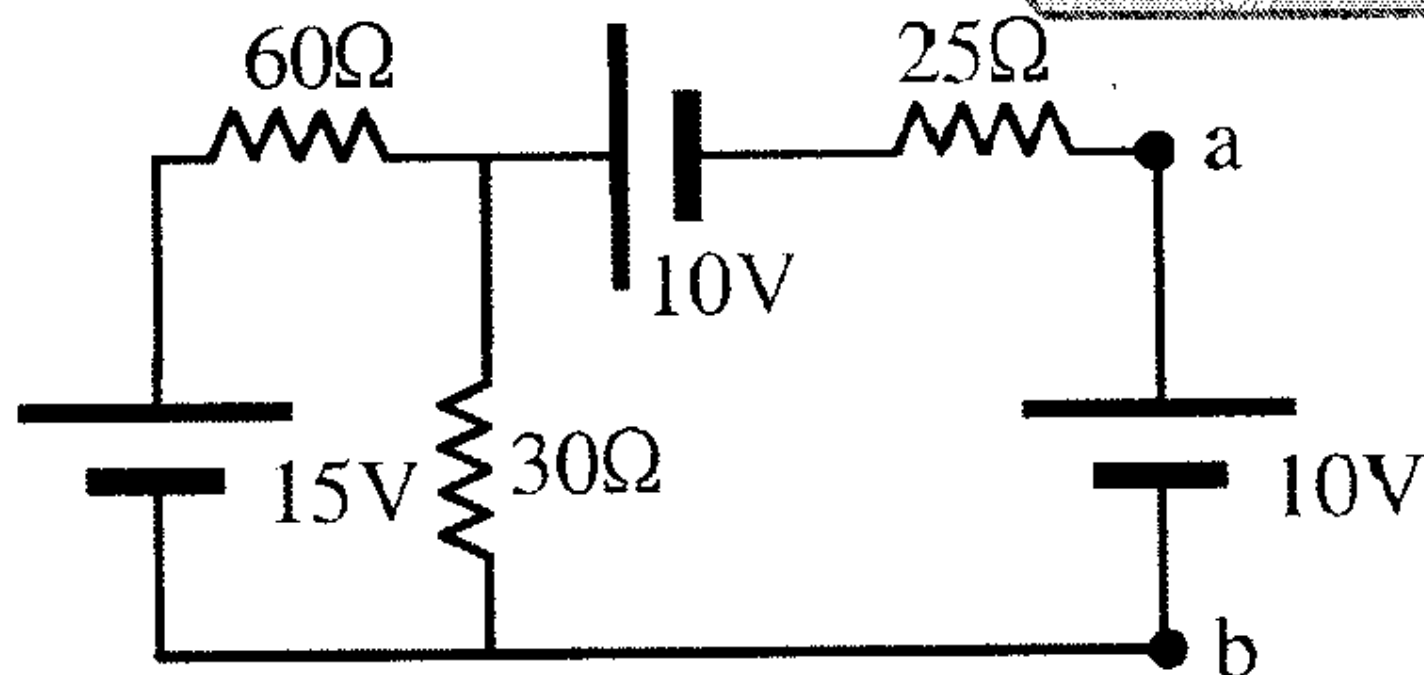
$$E_{Th} = E_{Th}' - E_{Th}'' \quad \therefore \text{ جهد ثيفنين الكلي}$$

$$= 4.5V - 1.5V = 3V$$



مثال 12.6 أوجد

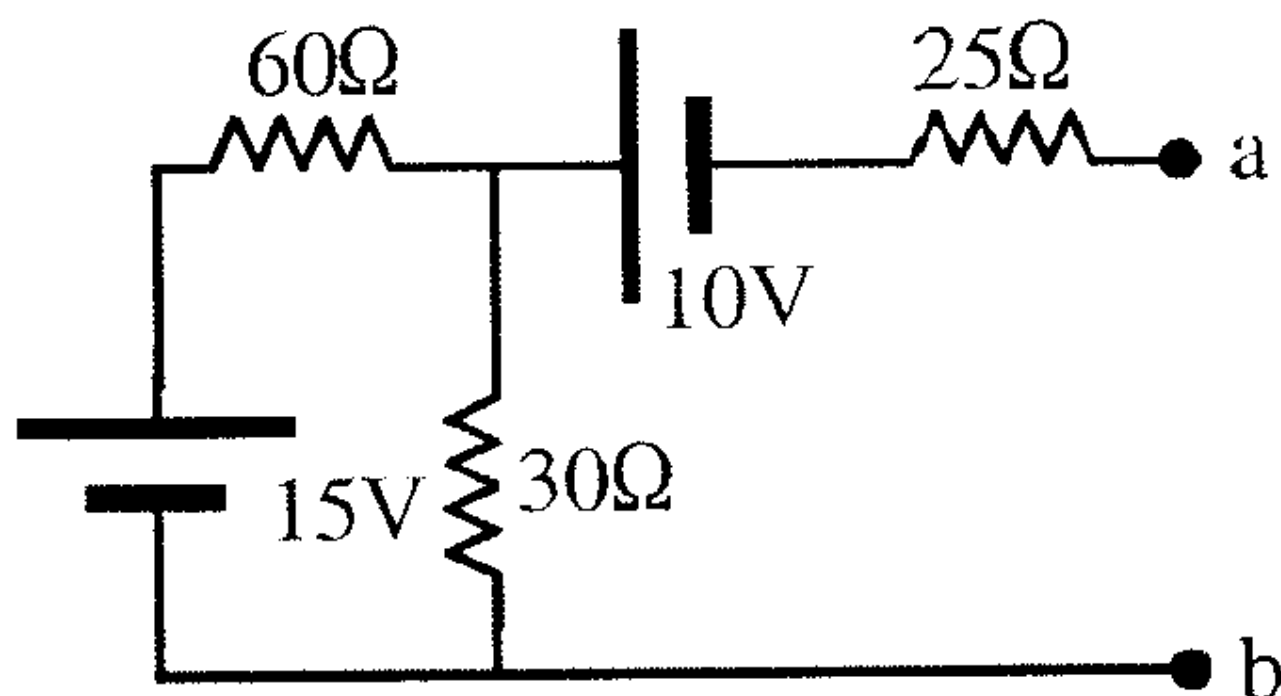
دائرة ثيفنين المكافئة خارج النقطتين (a و b)

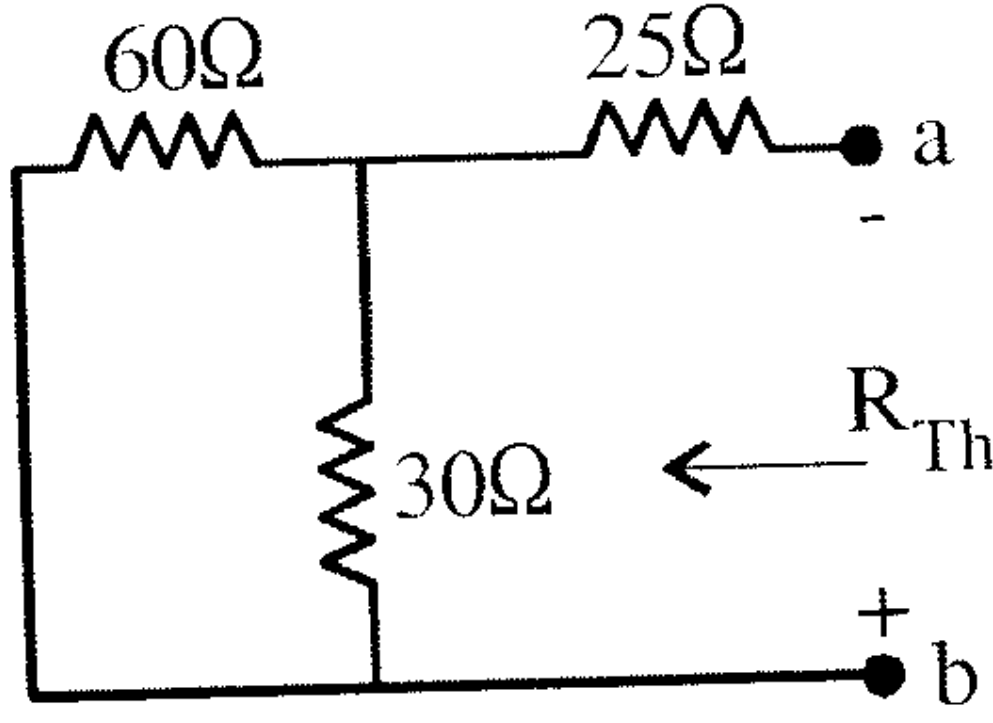


الحل:

نحدد دائرة ثيفنين المراد إيجاد مكافئها خارج النقطتين (a, b) كالتالي:

1- إيجاد المقاومة R_{Th} بوضع جميع المصادر تساوي صفراً (أي حذفها)





$$20\Omega = 60\Omega // 30\Omega$$

$$R_{Th} = 20\Omega + 25\Omega = 45\Omega$$

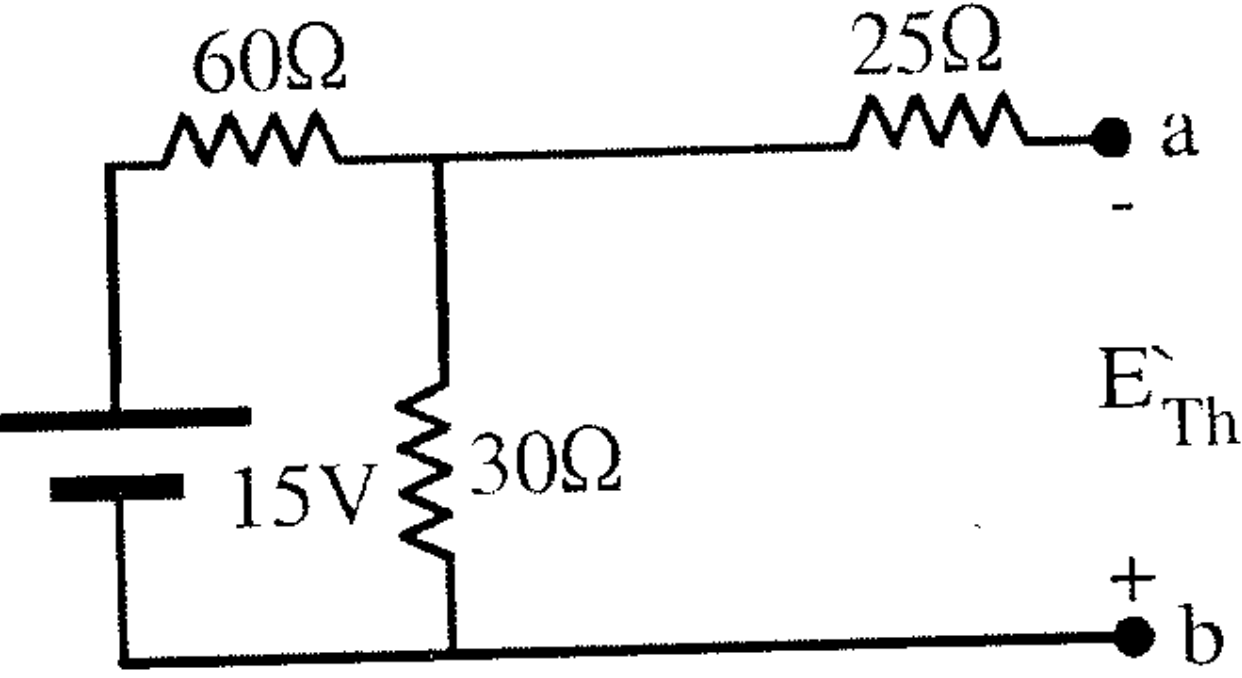
2- إيجاد E_{Th}

أولاً: حذف مصدر الجهد (10V) والإبقاء على المصدر (15V)

المقاومة 25Ω تلغى (Open Circuit)

$$\therefore V_{30\Omega} = E_{Th}$$

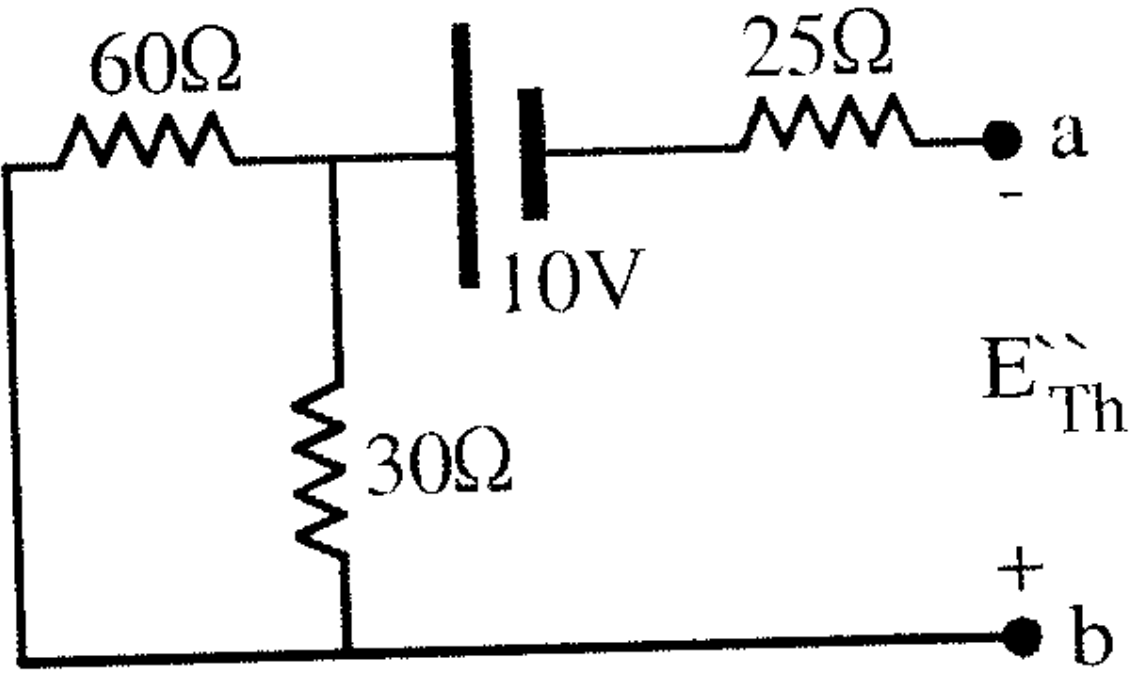
وبتطبيق قانون مجزئ الجهد



$$E_{Th} = \frac{(15V)(30\Omega)}{30\Omega + 60\Omega} = \frac{450}{90} = 5V$$

ثانياً: حذف مصدر الجهد (15V) والإبقاء على المصدر (10V)

$$60\Omega // 30\Omega = 20\Omega$$

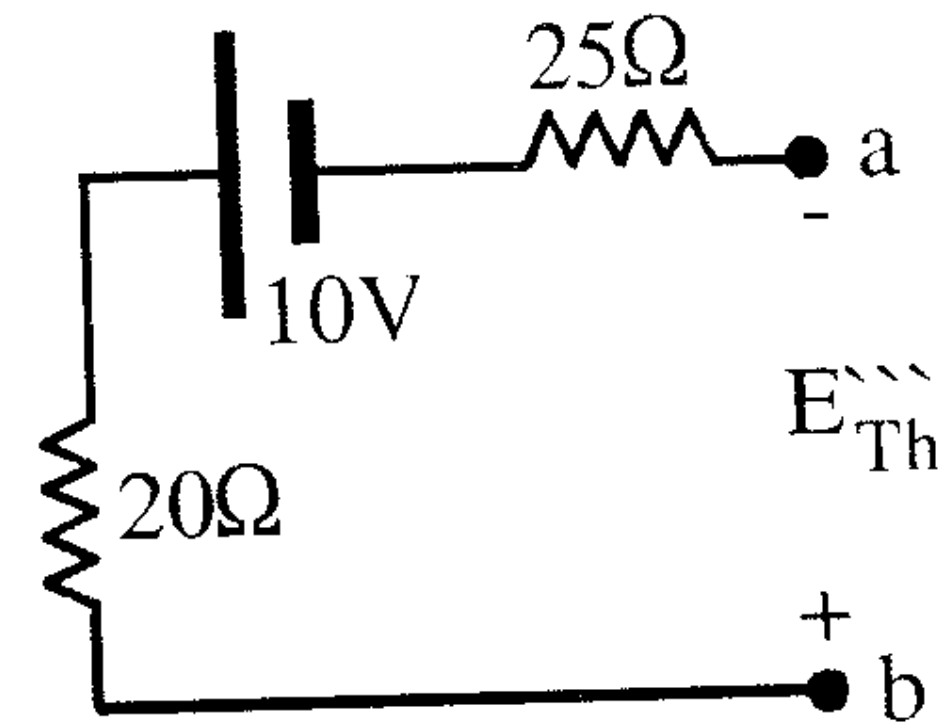


من الدائرة نلاحظ أن الدائرة مفتوحة والتيار $I = 0$ لذلك فإن جهد المقاومتين (20Ω) و (25Ω) يساوي صفراً ومن قانون كرشوف للجهد

$$E_{Th} = 10V$$

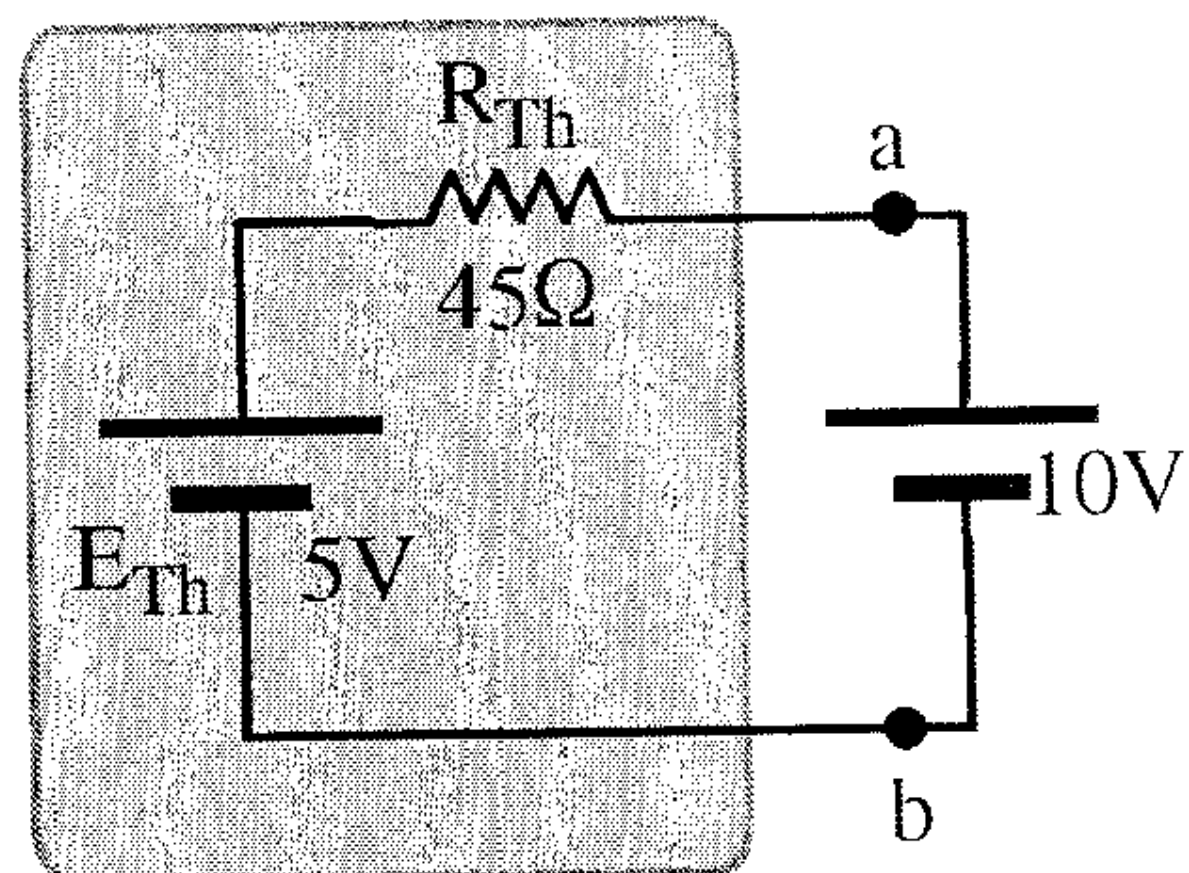
لنحصل على جهد ثيفينين الكلي

$$E_{Th} = E_{Th}'' - E_{Th}'$$



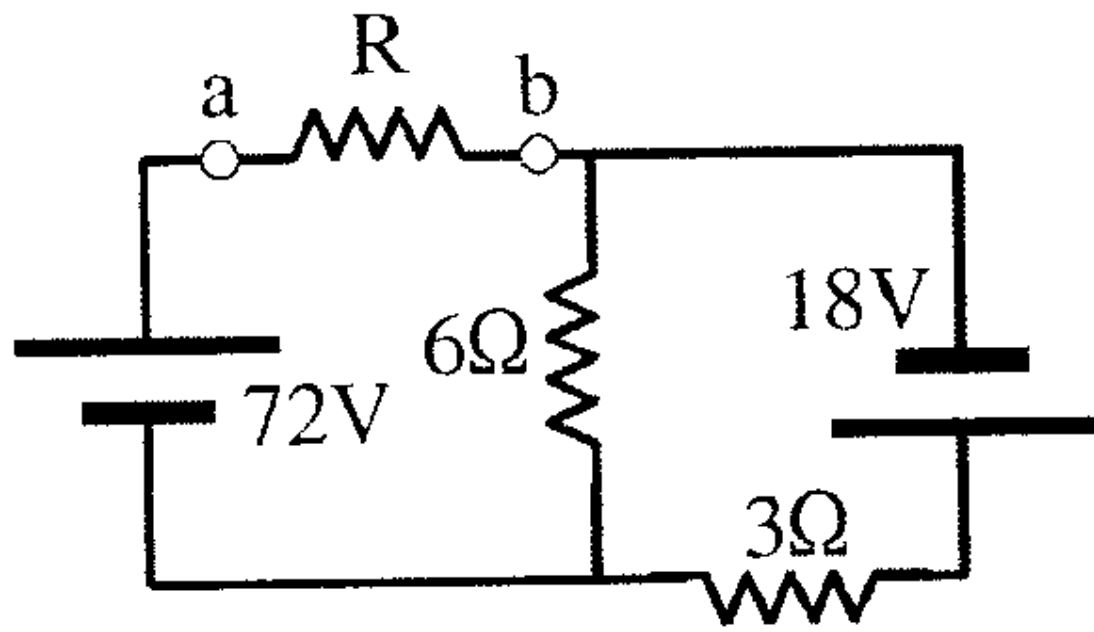
$$\therefore E_{Th} = 10V - 5V = 5V$$

وتكون دائرة ثيفننن المكافئة كالتالي:

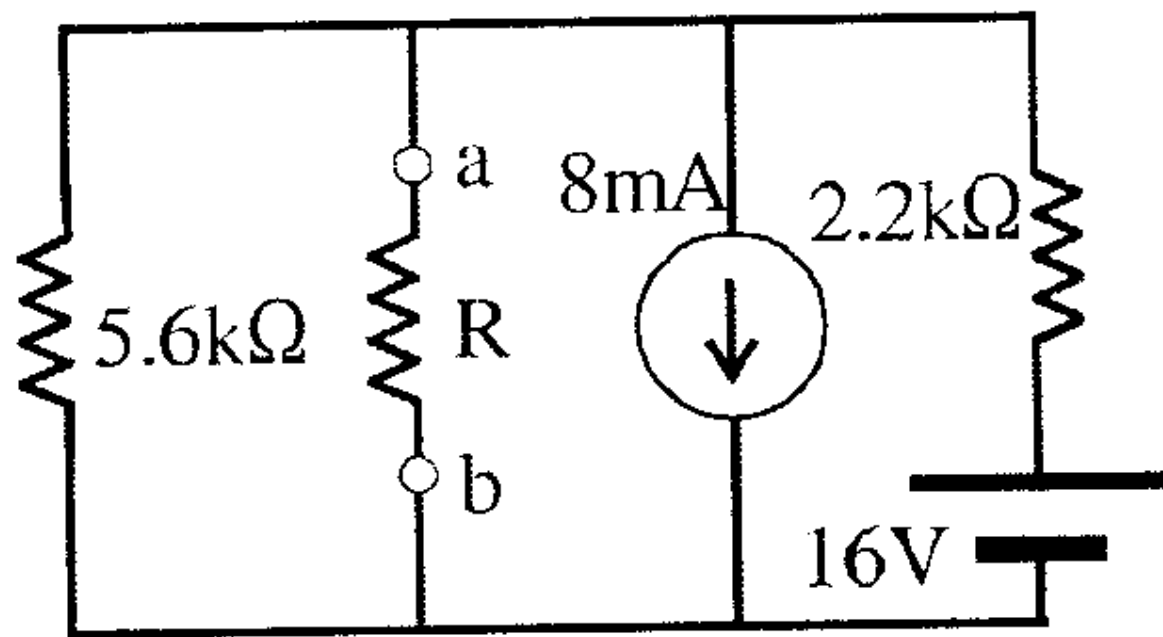


4.6 مسائل عن نظرية ثيفنن

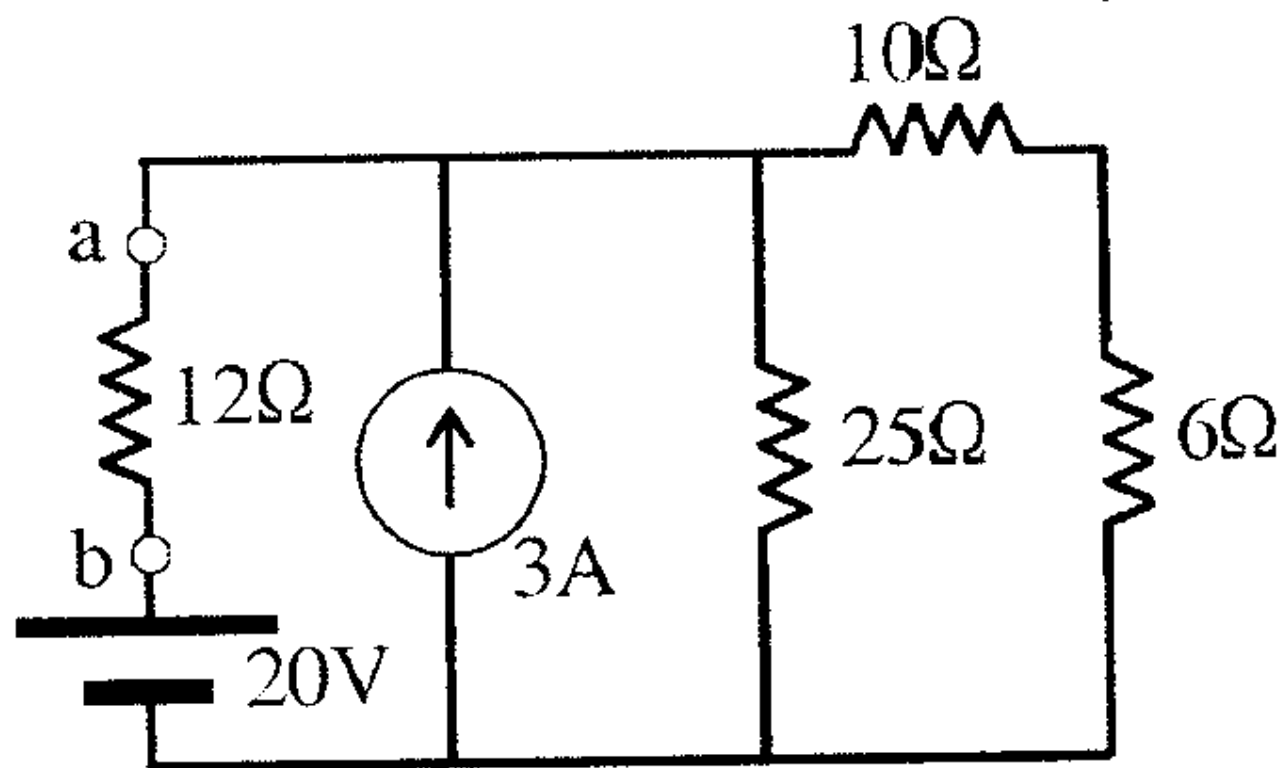
(1) أوجد دائرة ثيفنن المكافئة خارج المقاومة R .



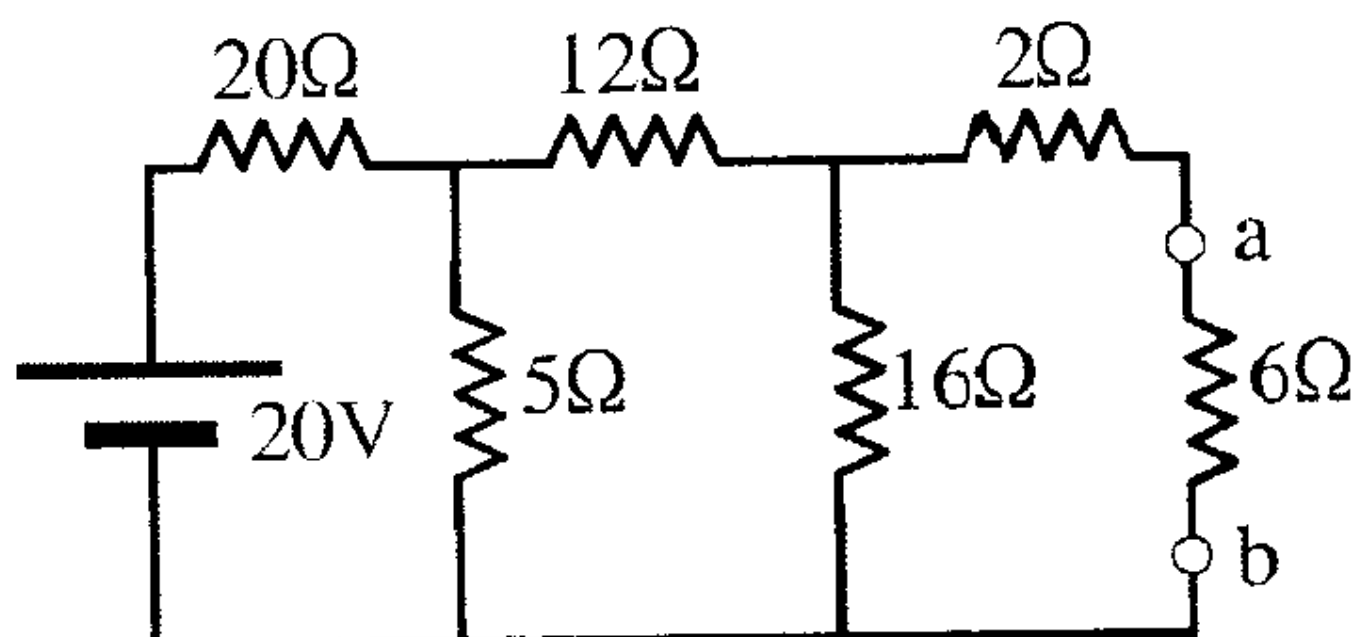
(2) أوجد دائرة ثيفنن المكافئة خارج المقاومة R .



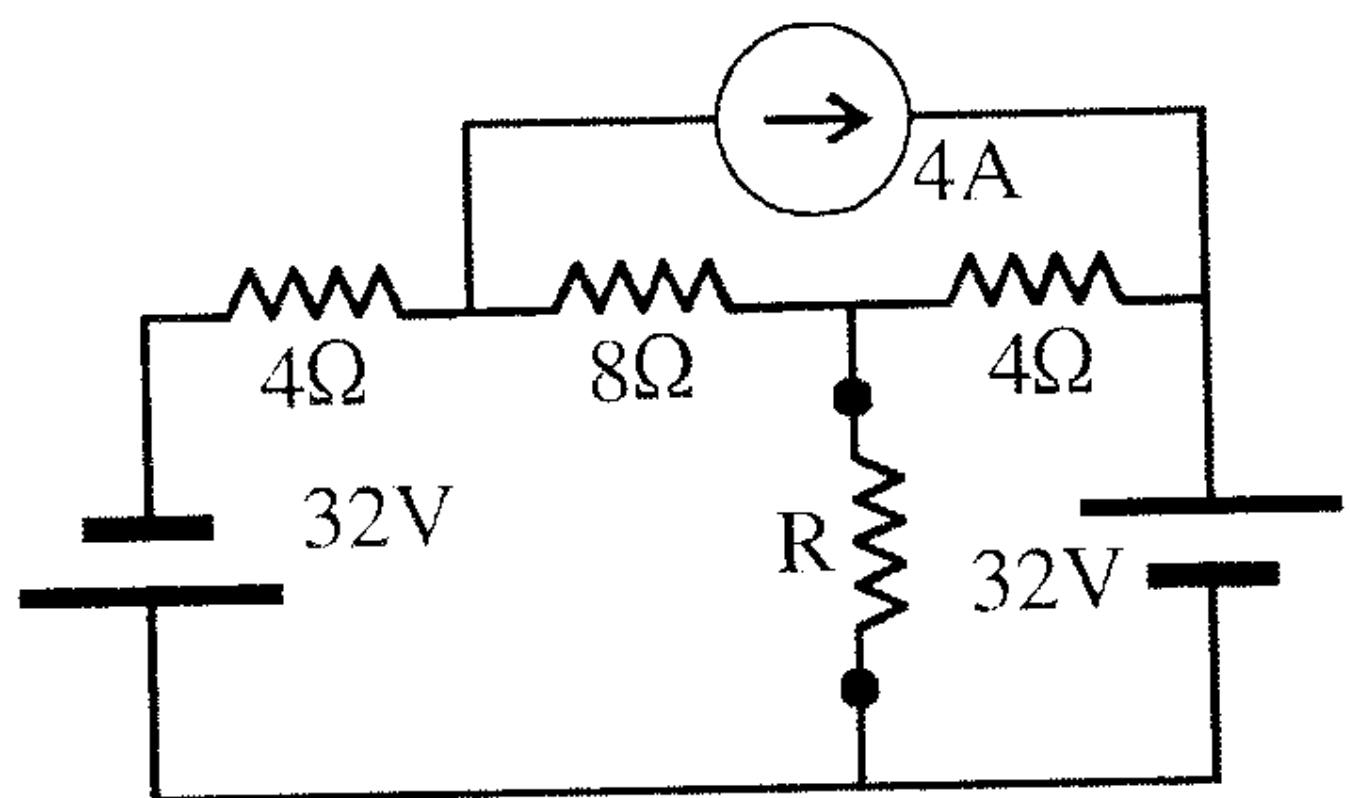
(3) أوجد دائرة ثيفنن المكافئة خارج النقطتين (a و b) .



(4) أوجد دائرة ثيفنن المكافئة خارج النقطتين (a و b) .

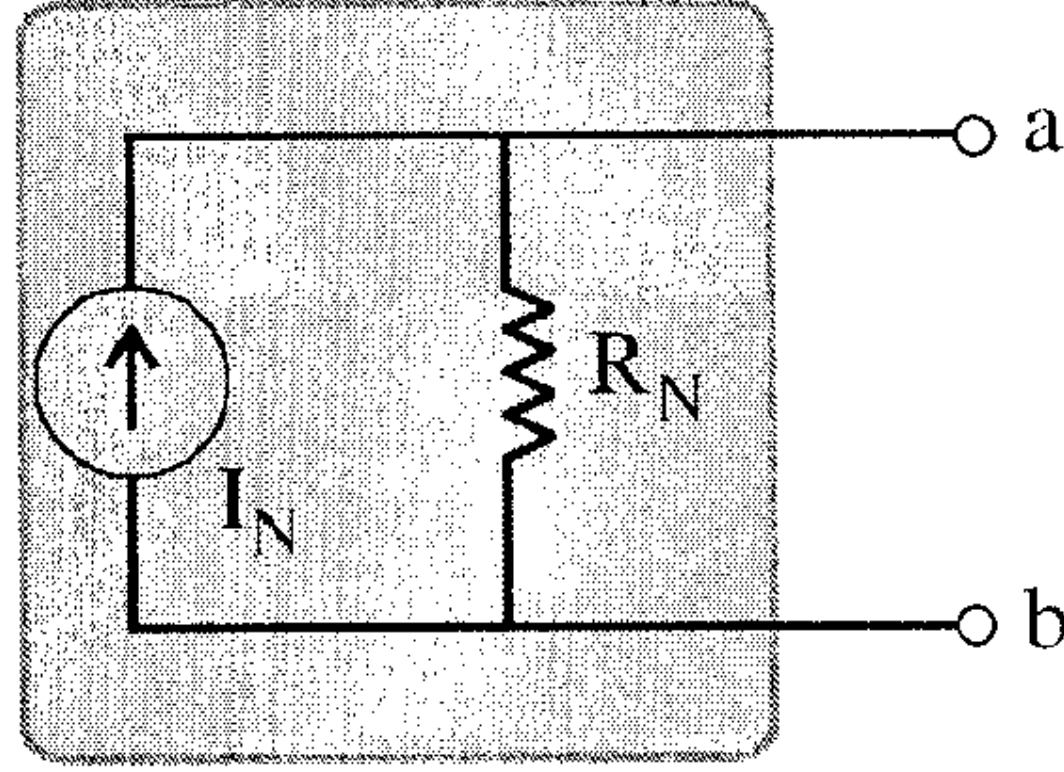


(5) أوجد دائرة ثيفننن المكافئة خارج المقاومة R .

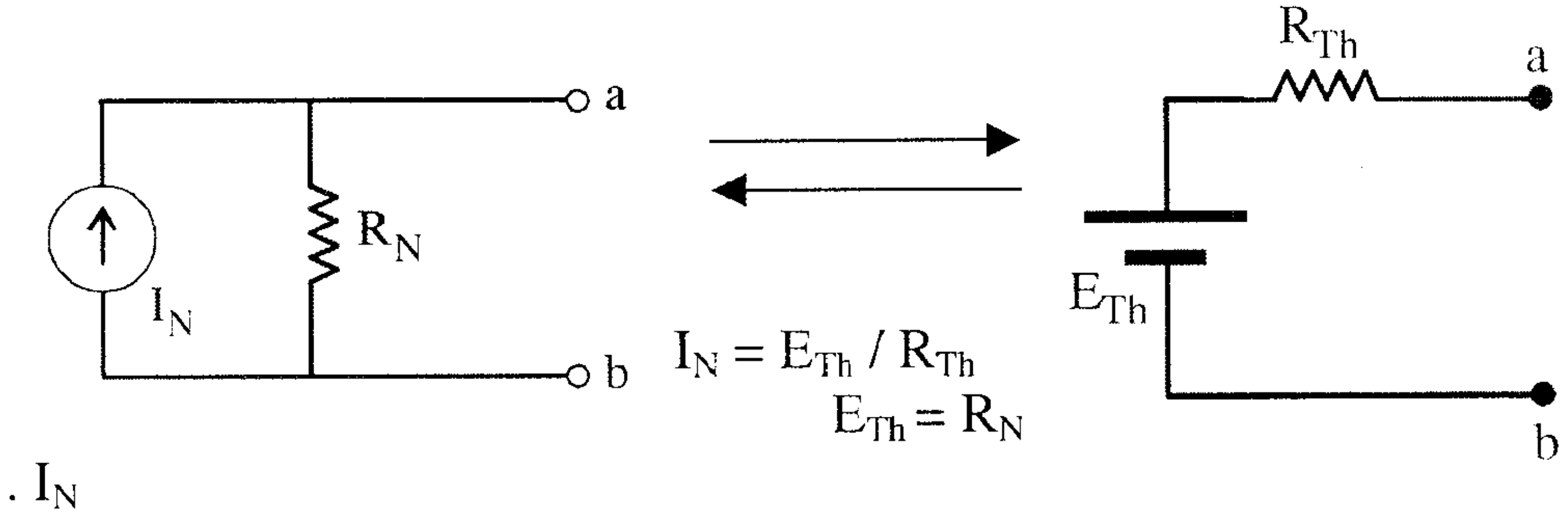


5.6 نظرية نورتن Norton's Theorem

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 ثيفين إلى دائرة نورتن والعكس صحيح كما يلي:



خطوات الحل في طريقة نورتن لا تختلف كثيراً عن طريقة ثيفين وهي كما يلي :
الخطوات من (1) إلى (3) نفس خطوات طريقة ثيفين 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.

مثال 13.6 أوجد دائرة نورتن المكافئة بالشكل خارج المقاومة R_L .

الحل:

1- نقطع الجزء من الدائرة المراد إيجاد دائرة نورتن له:

2- نحذف المصدر بالدائرة لإيجاد R_N

$$R_N = 3\Omega // 6\Omega$$

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

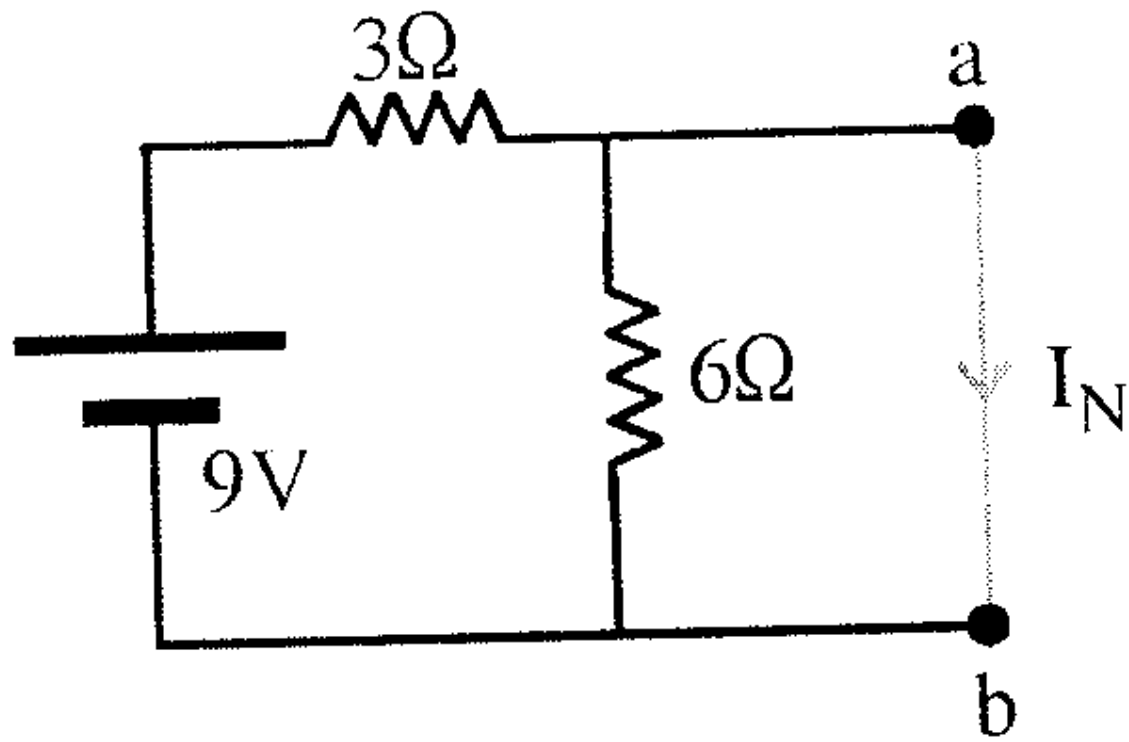
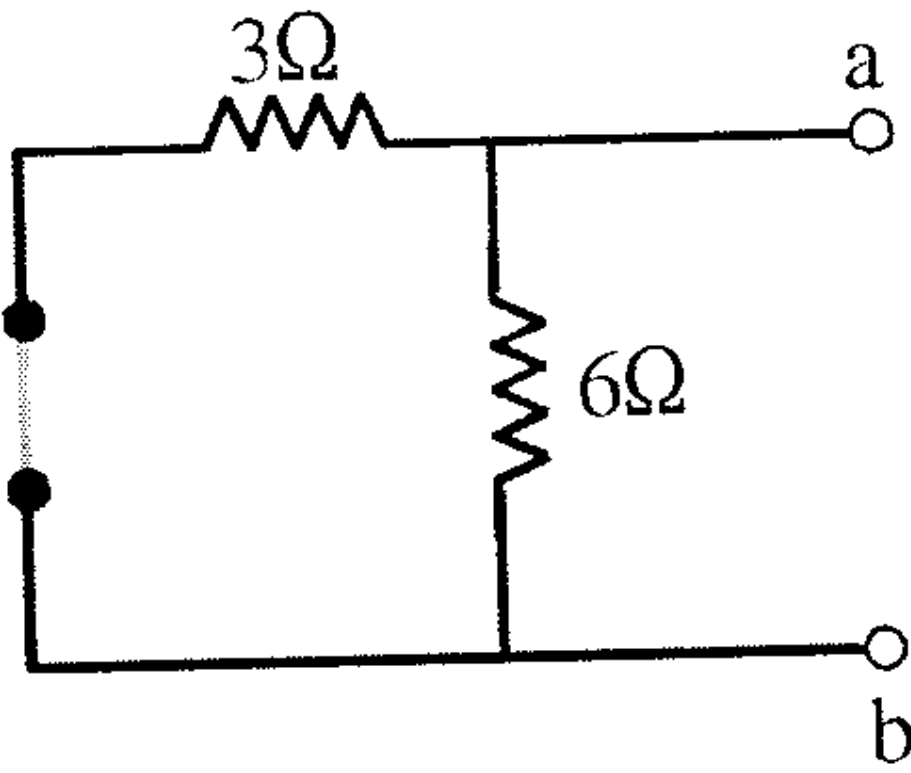
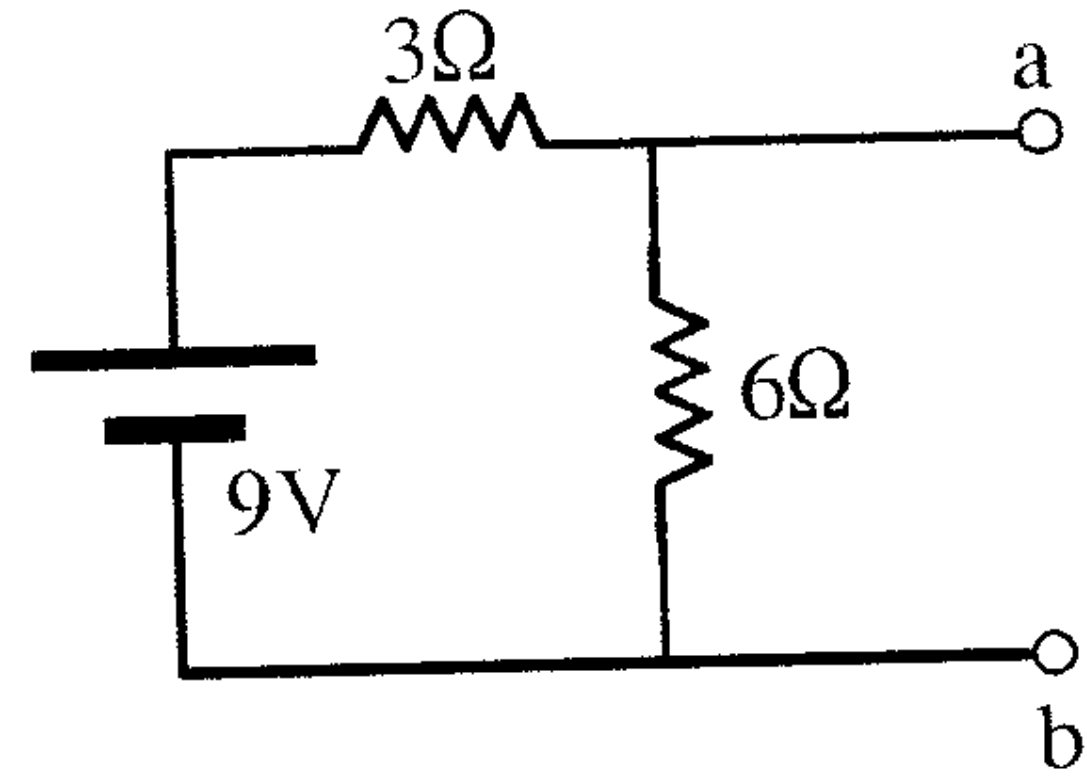
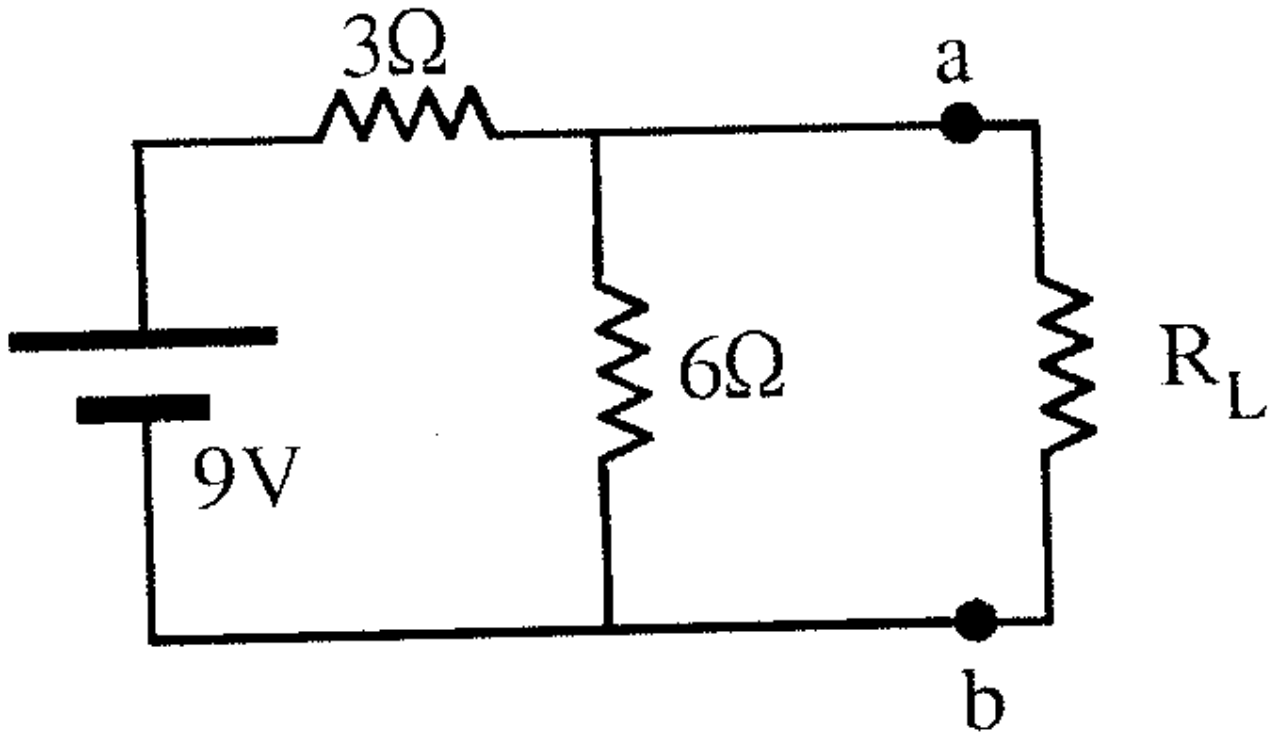
3- إرجاع المصادر لإيجاد تيار نورتن وهو التيار ما بين النقطتين a و b.

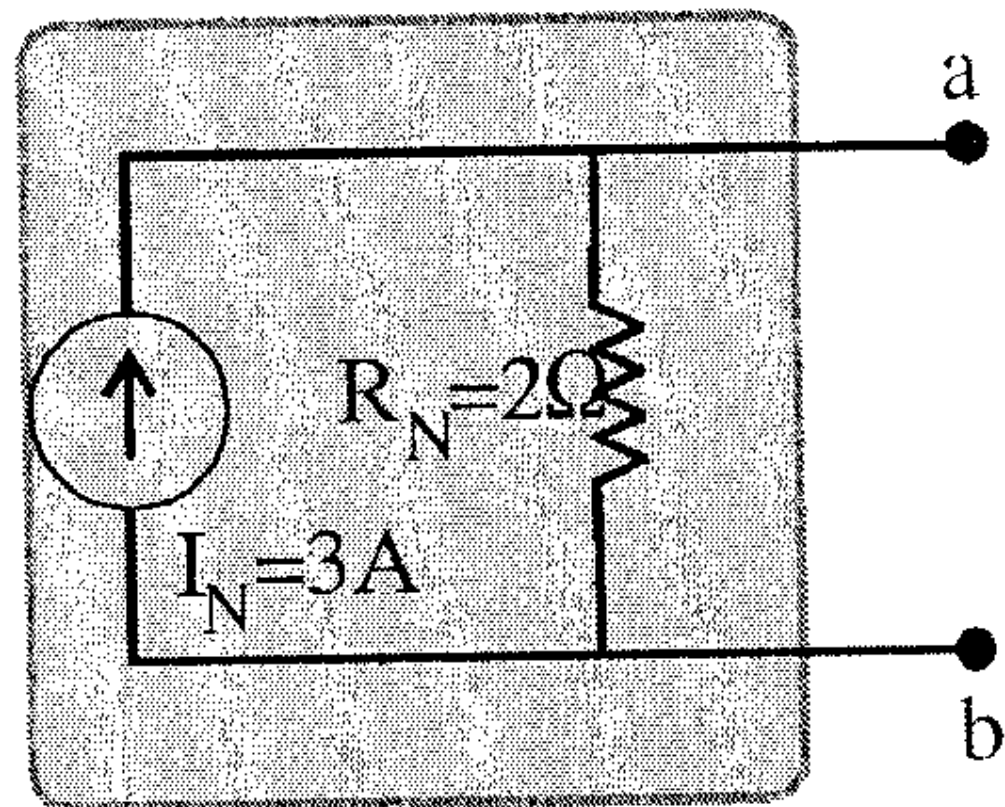
من الدائرة نلاحظ أن تيار نورتن ألغى المقاومة

6Ω وأصبحت (Short circuit) وتيارها

يساوي صفراً وبالتالي فإن تيار نورتن هو تيار

المصدر ويساوي

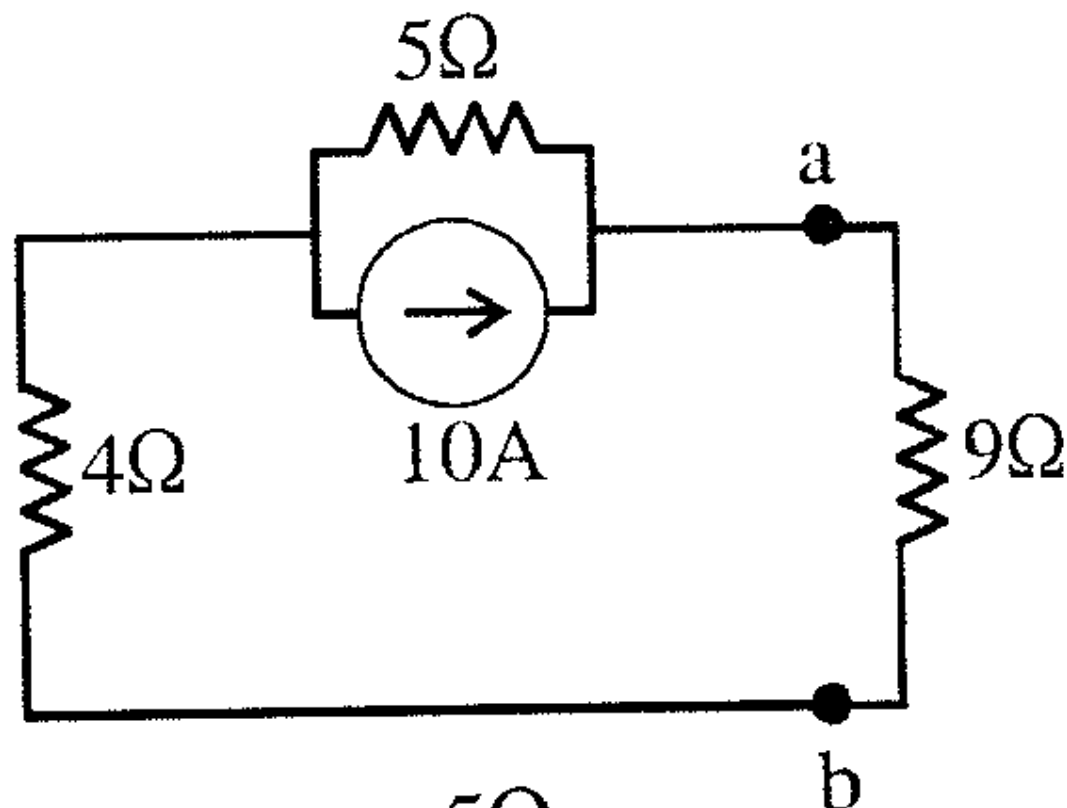




$$I_N = 9V / 3\Omega = 3A$$

وفي النهاية نحصل على دائرة نورتن المكافئة.

مثال 14.6 أوجد دائرة نورتن المكافئة في الدائرة بالشكل وخارج المقاومة (9Ω).

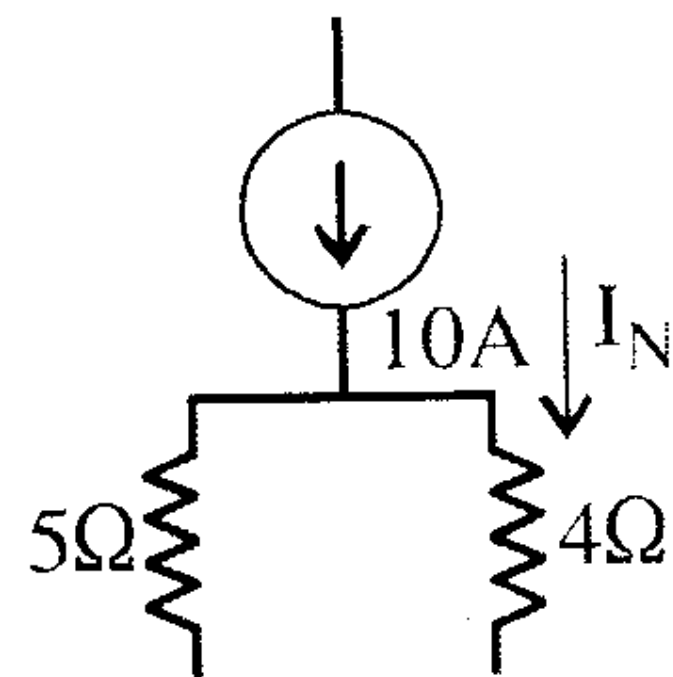
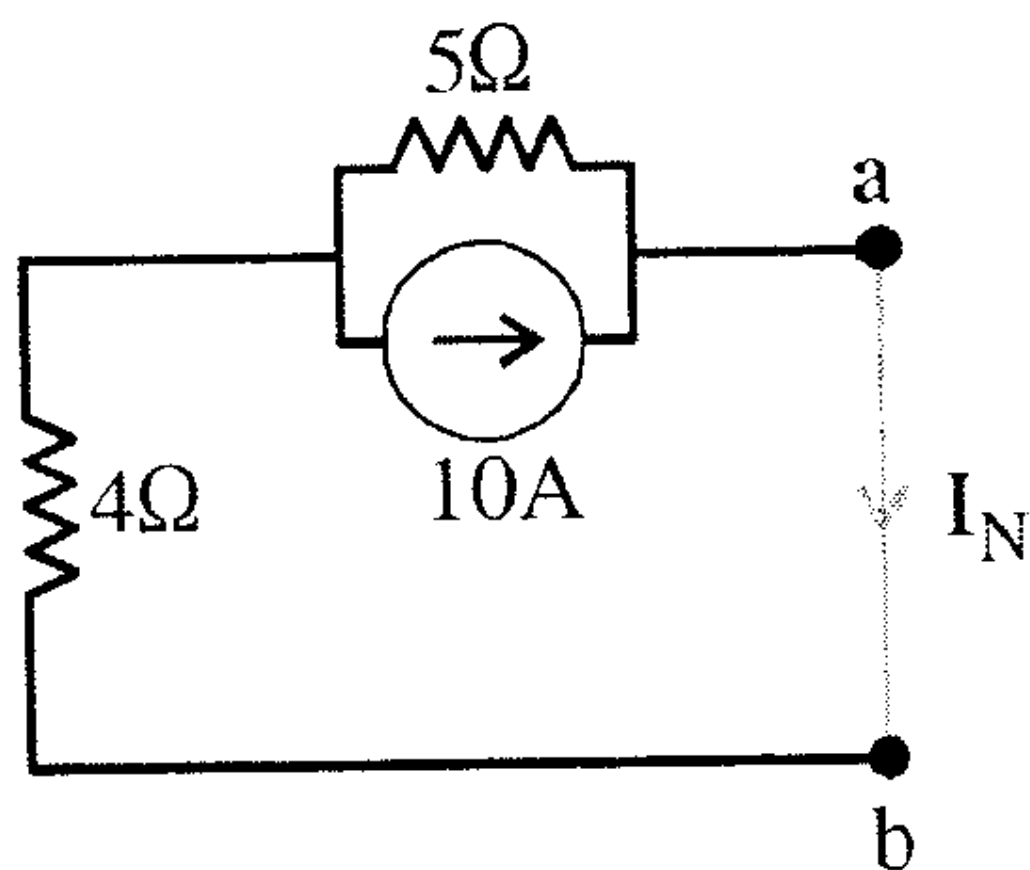


الحل:

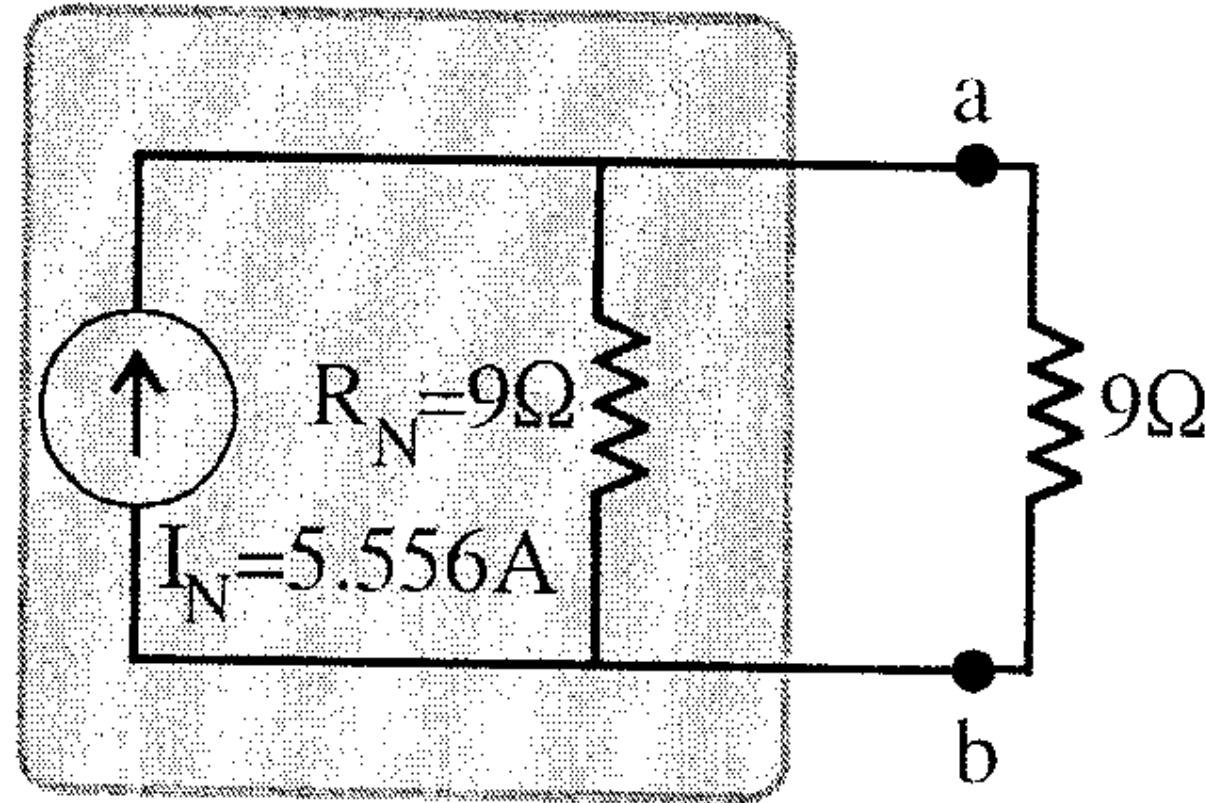
$$R_N = 5\Omega + 4\Omega = 9\Omega$$

نلاحظ أن تيار نورتن هو نفس التيار المار في المقاومة (4Ω) لذا يمكن استخدام قانون مقسم التيار:

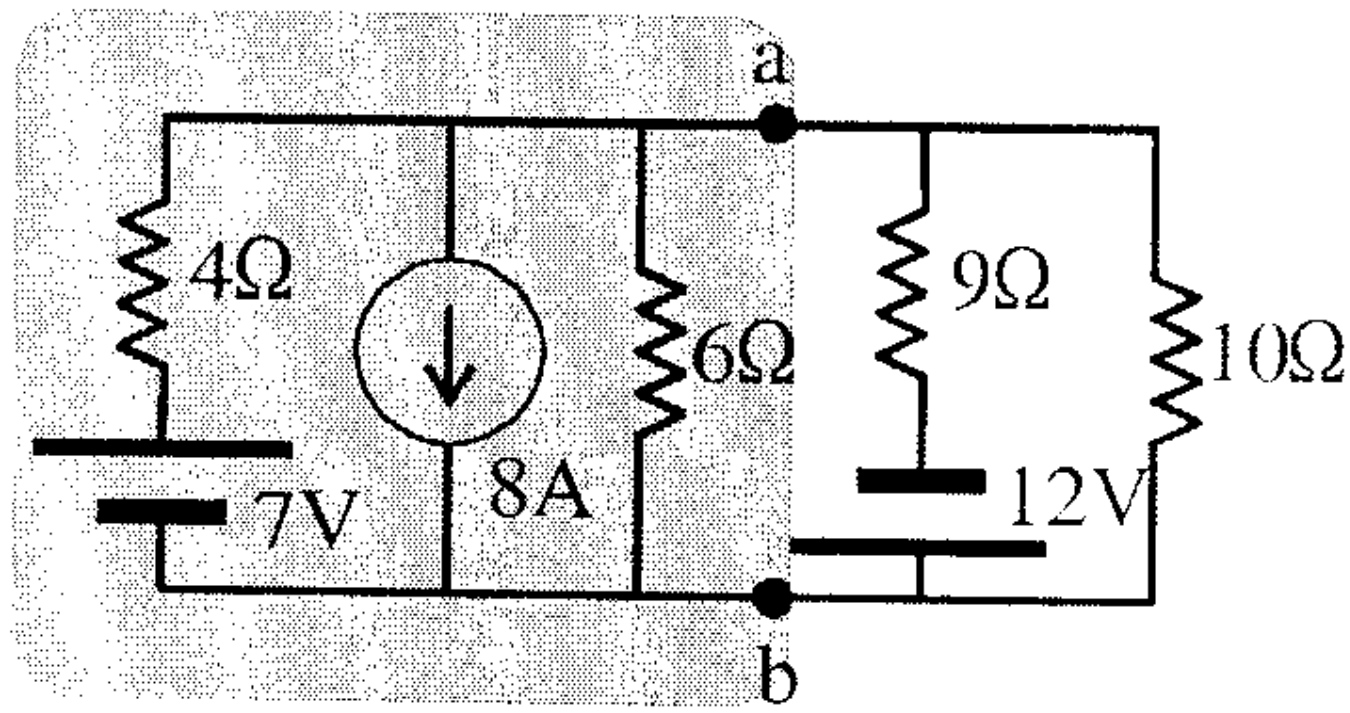
$$I_N = \frac{(5\Omega)(10A)}{5\Omega + 4\Omega} = \frac{50}{9} = 5.556A$$



وفي النهاية نحصل على دائرة نورتن المكافئة.

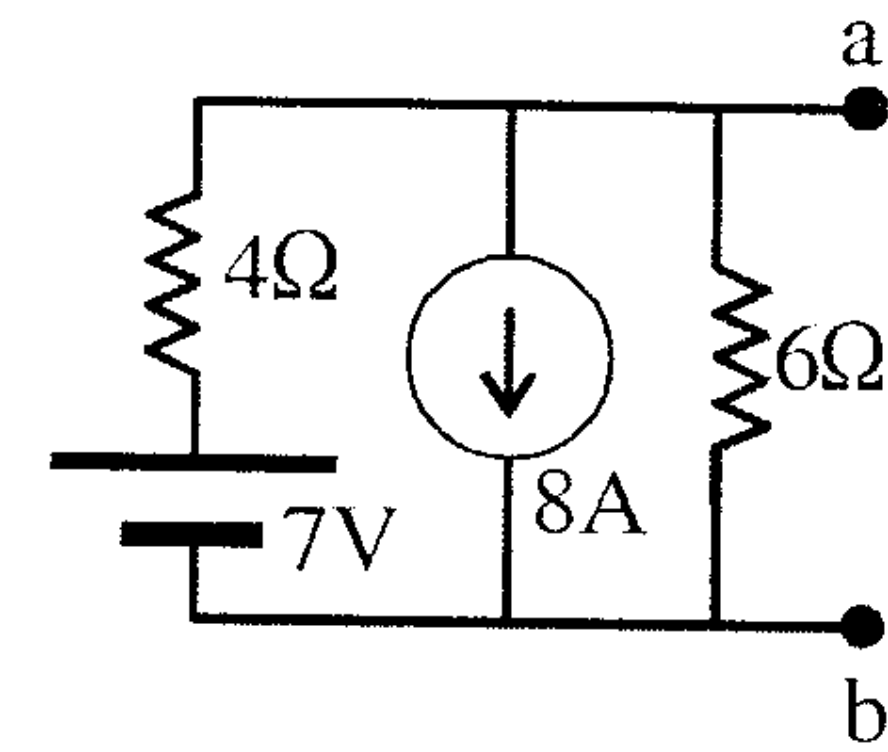


مثال 15.6 أوجد دائرة نورتن للجزء المظلل بالدائرة في الشكل التالي.



الحل:

الجزء المراد إيجاد دائرة نورتن المكافئة له هو كما بالشكل



$$6\Omega // 4\Omega$$

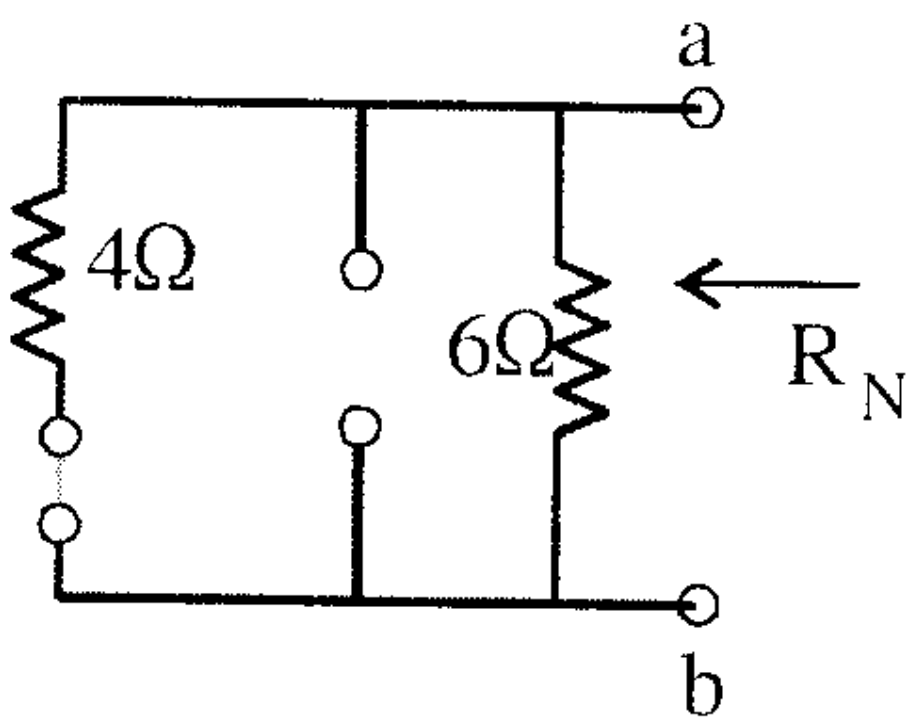
$$R_N = \frac{6\Omega \times 4\Omega}{6\Omega + 4\Omega} = \frac{24}{10} = 2.4\Omega$$

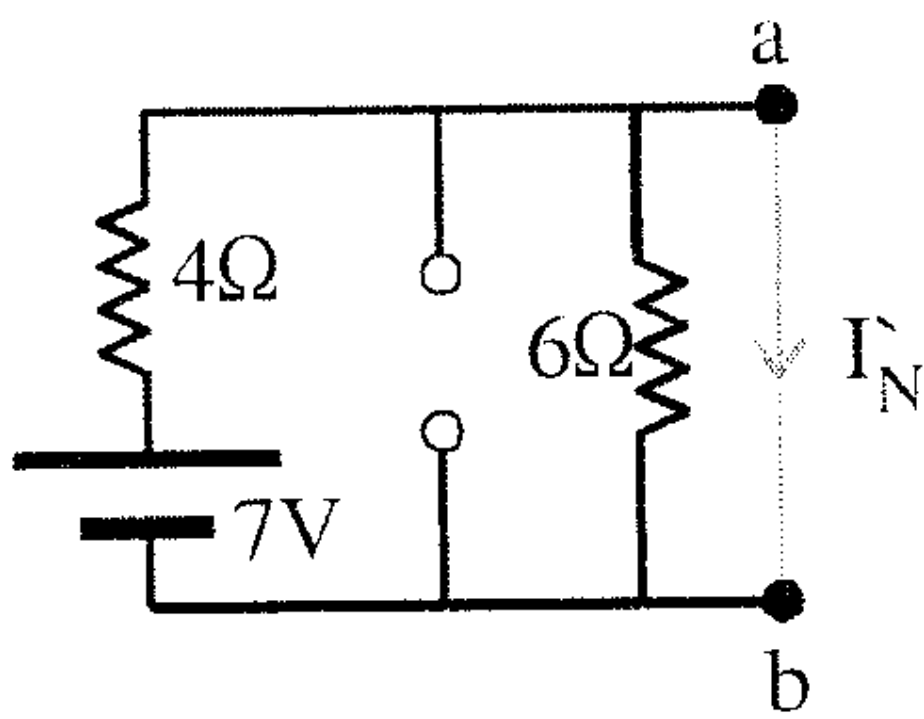
لإيجاد تيار نورتن نستخدم نظرية التراكيب وذلك

لوجود مصدرين بالدائرة (8A) و (7V).

أولاً: تأثير مصدر الجهد (7V)

تيار نورتن تيار (Short) لذلك ألغى المقاومة 6Ω





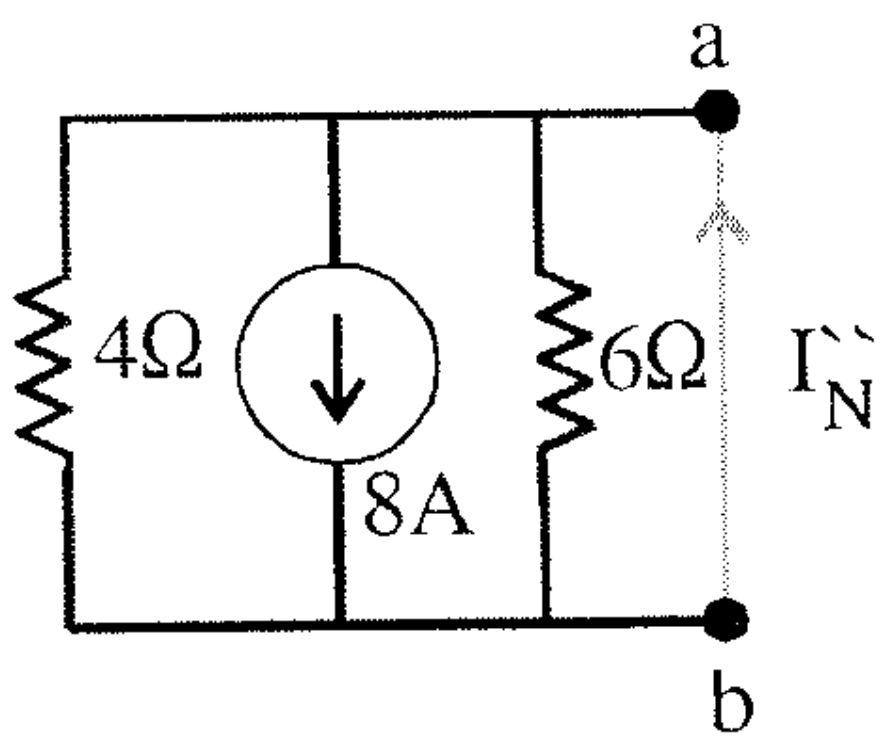
$$I_N' = \frac{7V}{4\Omega} = 1.75A \quad \downarrow$$

ثانياً: تأثير مصدر التيار (8A)

نلاحظ أن المقاومتين (4Ω و 6Ω)

(Short Circuit) لأنهما على التوازي مع I_N'' وهذا

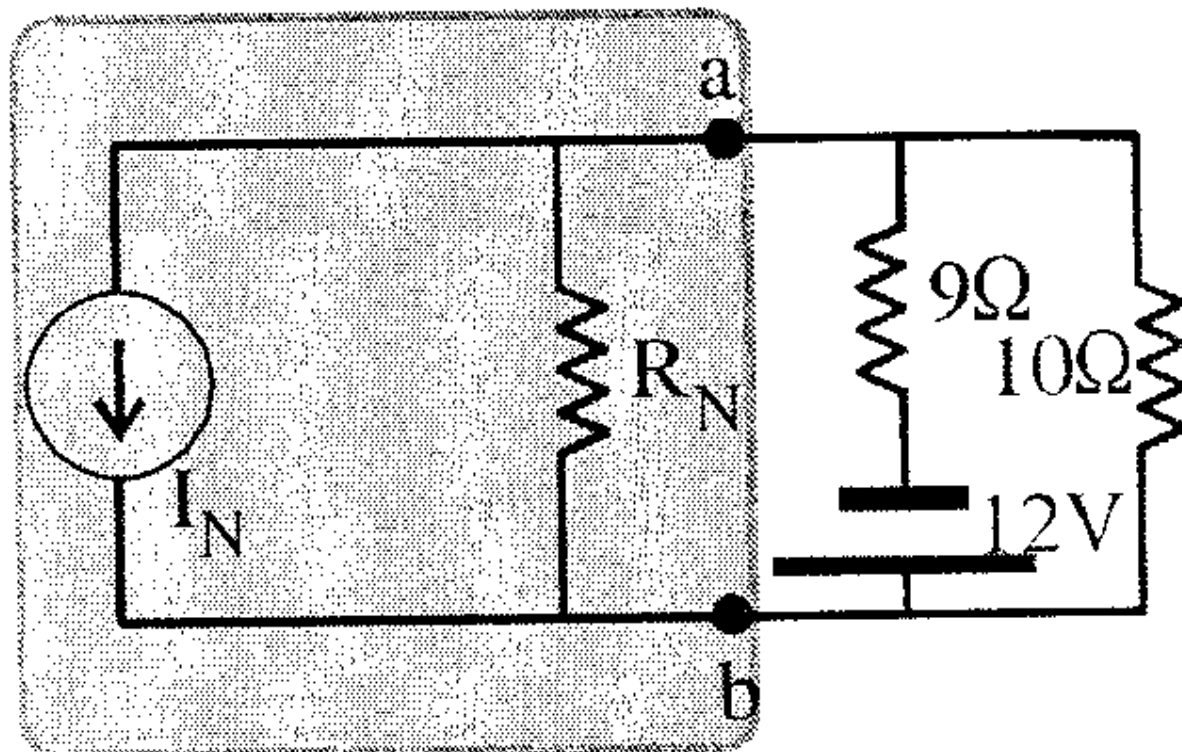
يعتبر توصيلاً مباشراً من مصدر التيار إلى a و b



$$\therefore I_N'' = 8A \quad \uparrow$$

$$\therefore I_N = I_N'' - I_N'$$

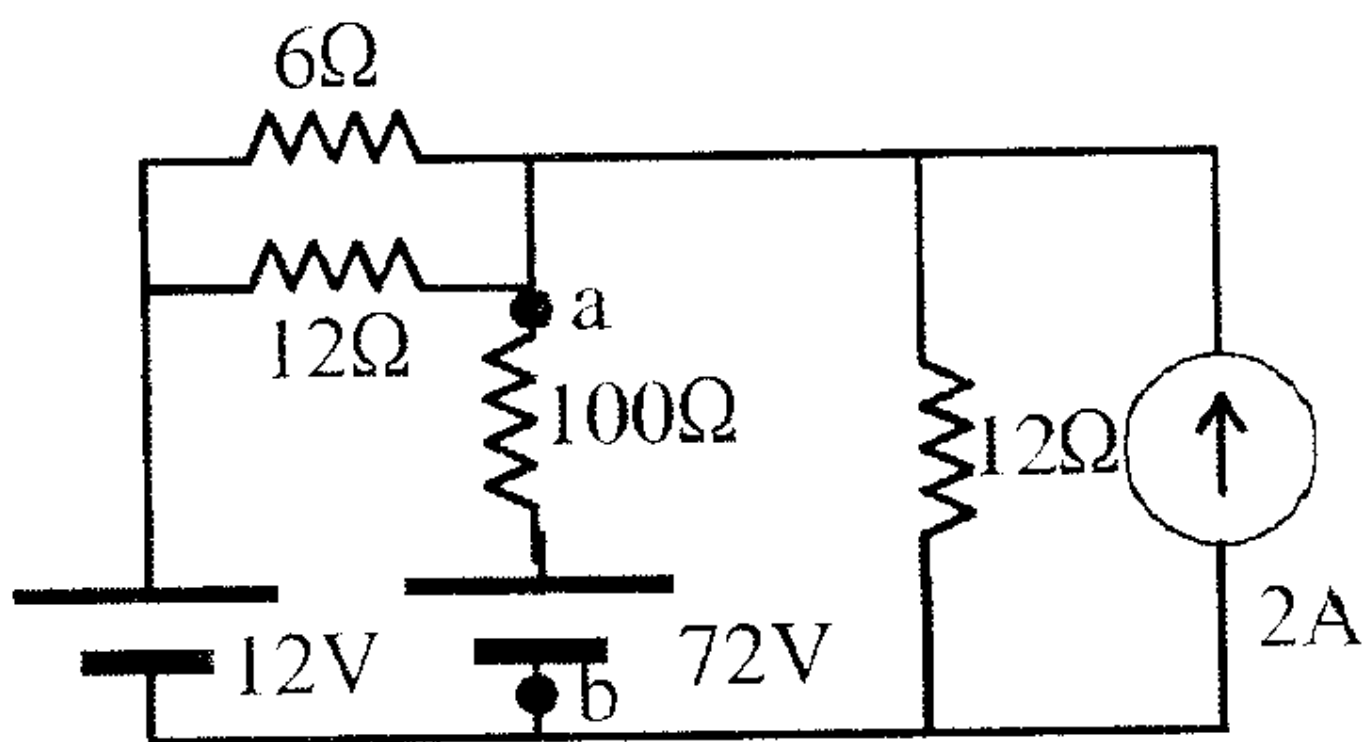
$$= 8A - 1.75A = 6.25A$$



تم طرح التيارين لأنهما في اتجاهين متضادين

I_N' اتجاهه إلى أسفل

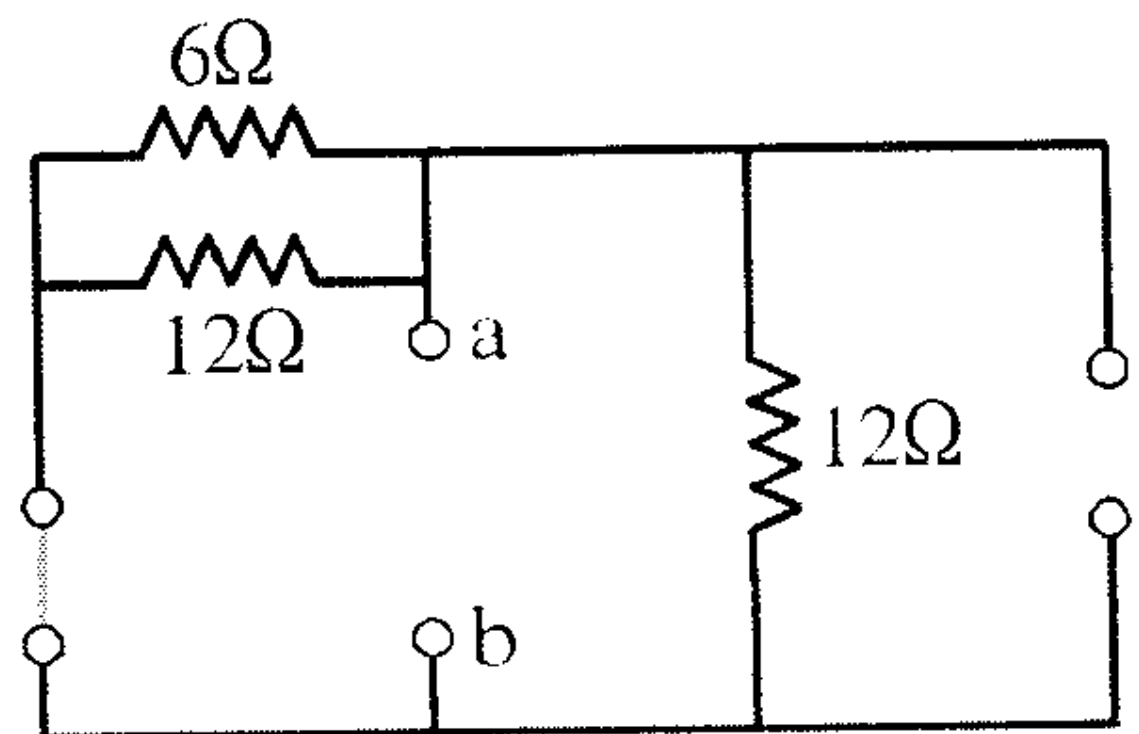
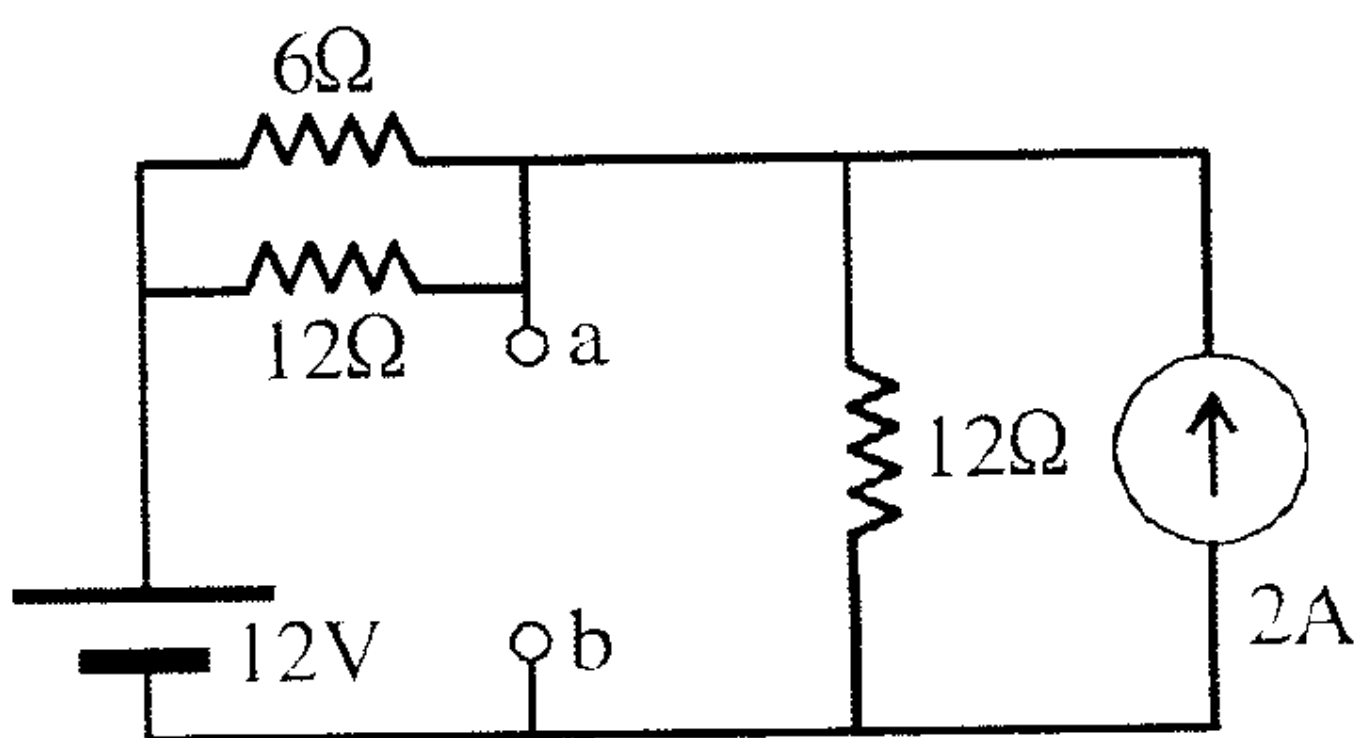
I_N'' اتجاهه إلى أعلى



مثال 16.6 أوجد دائرة نورتن المكافئة

للدائرة بالشكل خارج النقطتين a و b .

الحل:

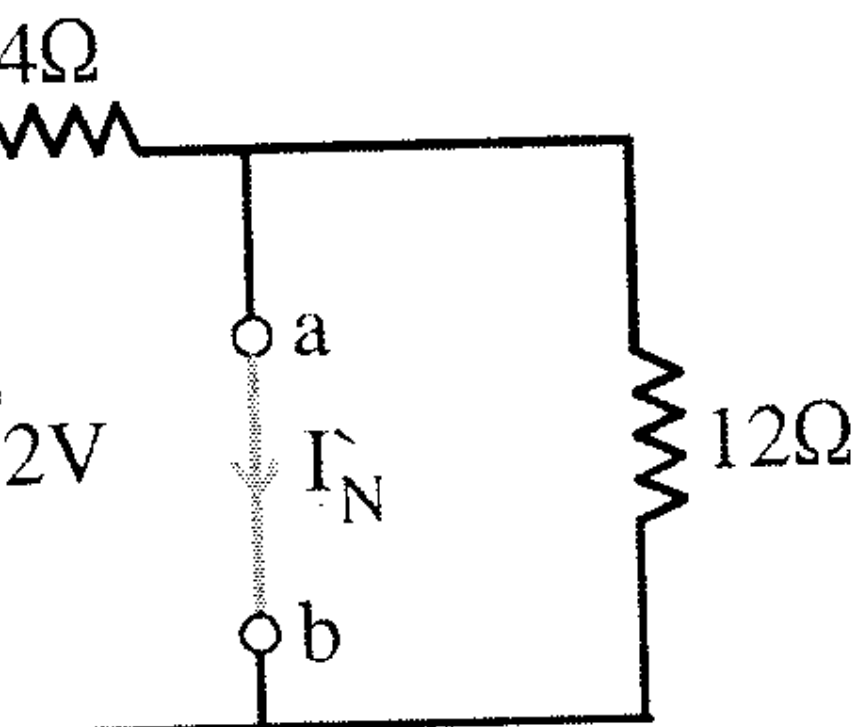


$$6\Omega // 12\Omega = 4\Omega$$

$$R_N = 4\Omega // 12\Omega$$

$$R_N = \frac{4\Omega \times 12\Omega}{4\Omega + 12\Omega} = \frac{48}{16} = 3\Omega$$

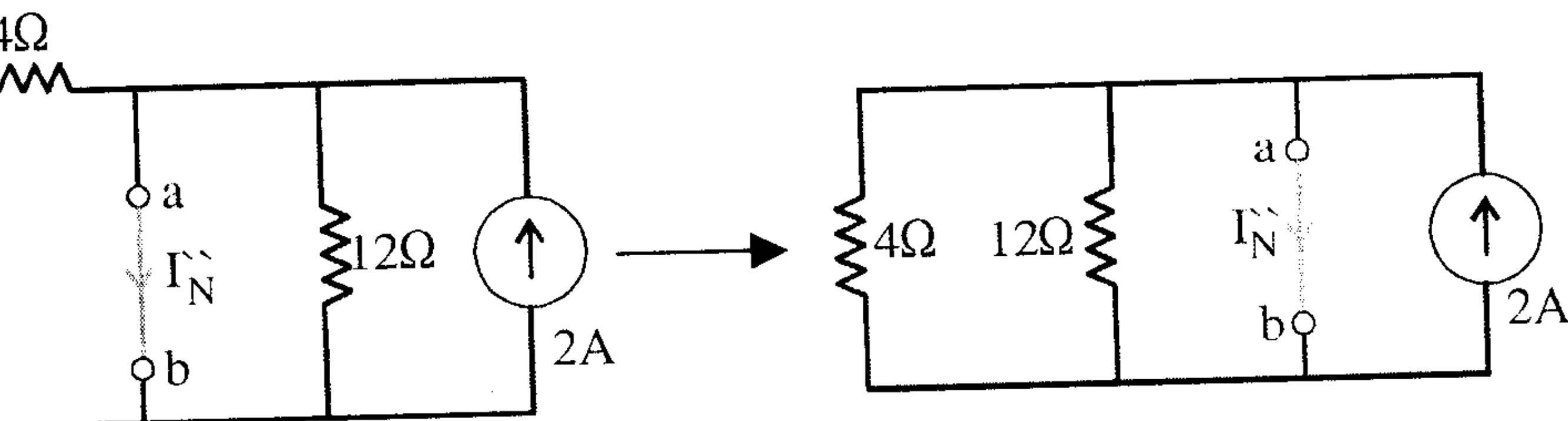
تأثير المصدر (12V) :



12Ω → Short circuit

$$I_N' = \frac{12V}{4\Omega} = 3A \quad \downarrow$$

تأثير المصدر (2A) :

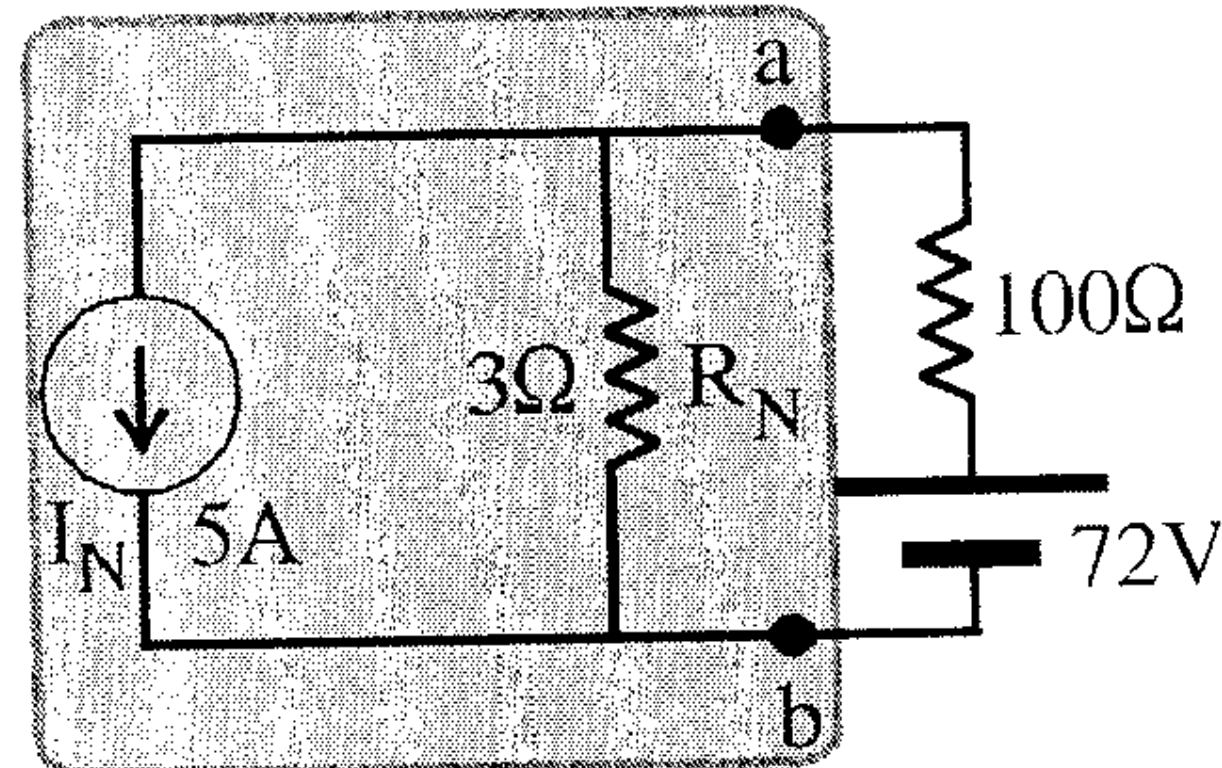


تُلغى المقاومتان 4Ω و 12Ω لأنهما (Short Circuit)

$$I_N'' = 2A \quad \downarrow$$

$$I_N = I_N' + I_N'' = 3A + 2A = 5A$$

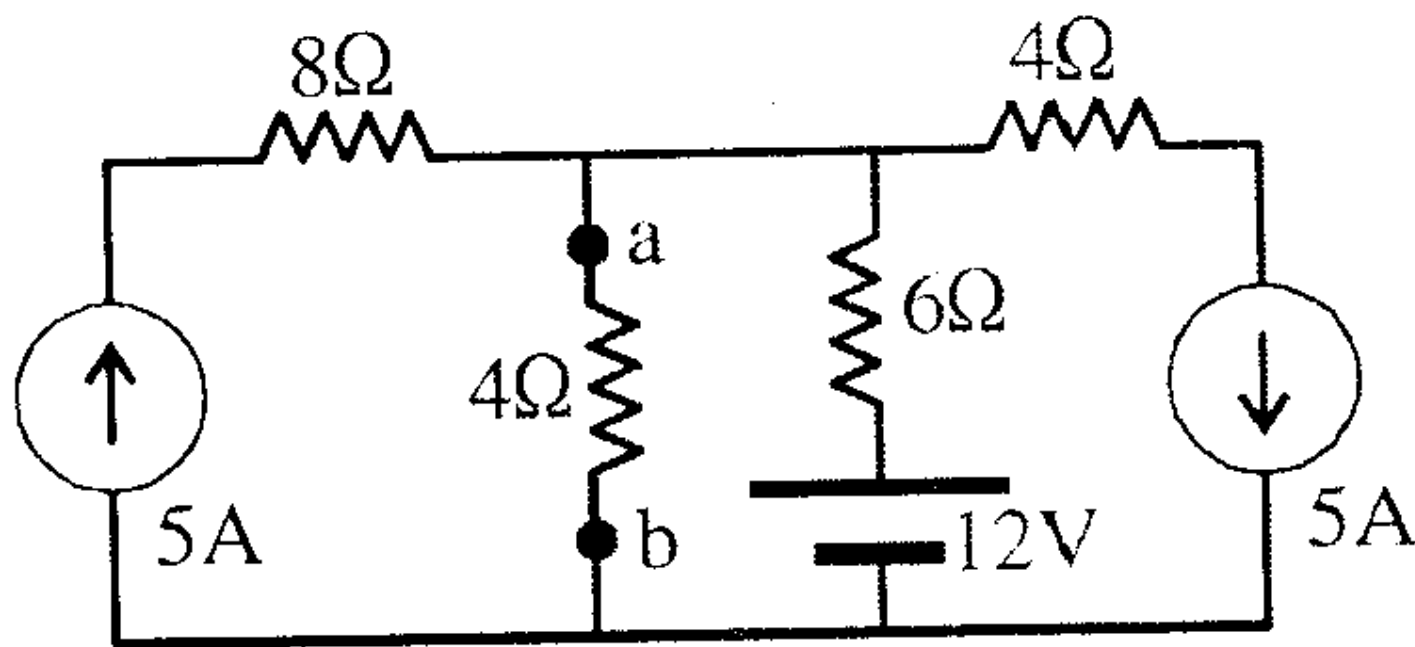
تم جمع I_N' و I_N'' لأنهما في نفس الاتجاه



مثال 17.6 أوجد دائرة نورتن المكافئة

للدائرة بالشكل خارج النقطتين a و b.

الحل:



لإيجاد (R_N) نحذف جميع المصادر

تبقى المقاومتان 8Ω و 4Ω (Open circuit)

$$\therefore R_N = 6\Omega$$

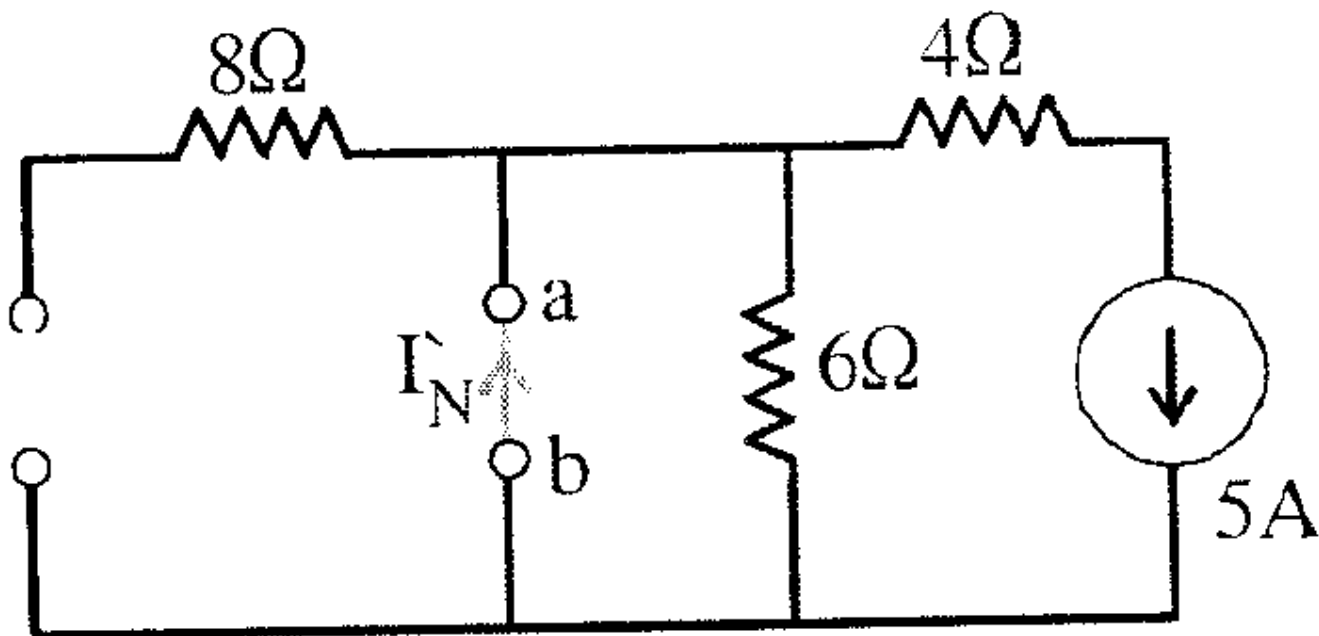
لإيجاد (I_N) :

أولاً: تأثير المصدر $(5A)$ بالطرف الأيمن

للدائرة:

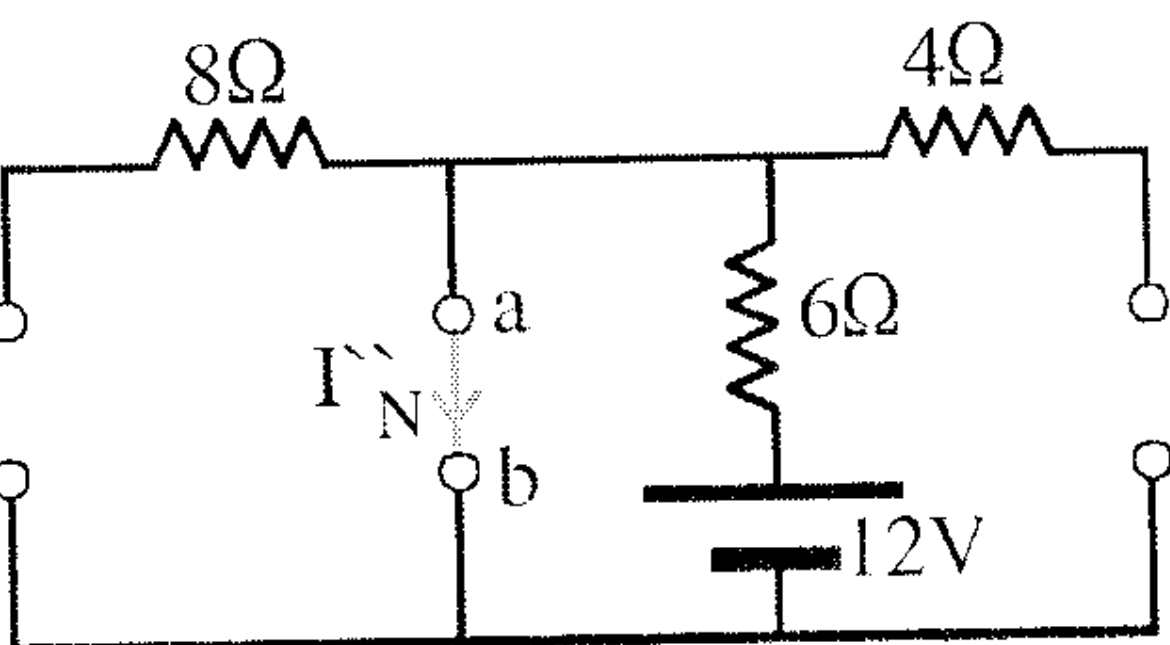
6Ω Short Circuit

8Ω Open Circuit



$$\therefore I_N' = 5A \uparrow$$

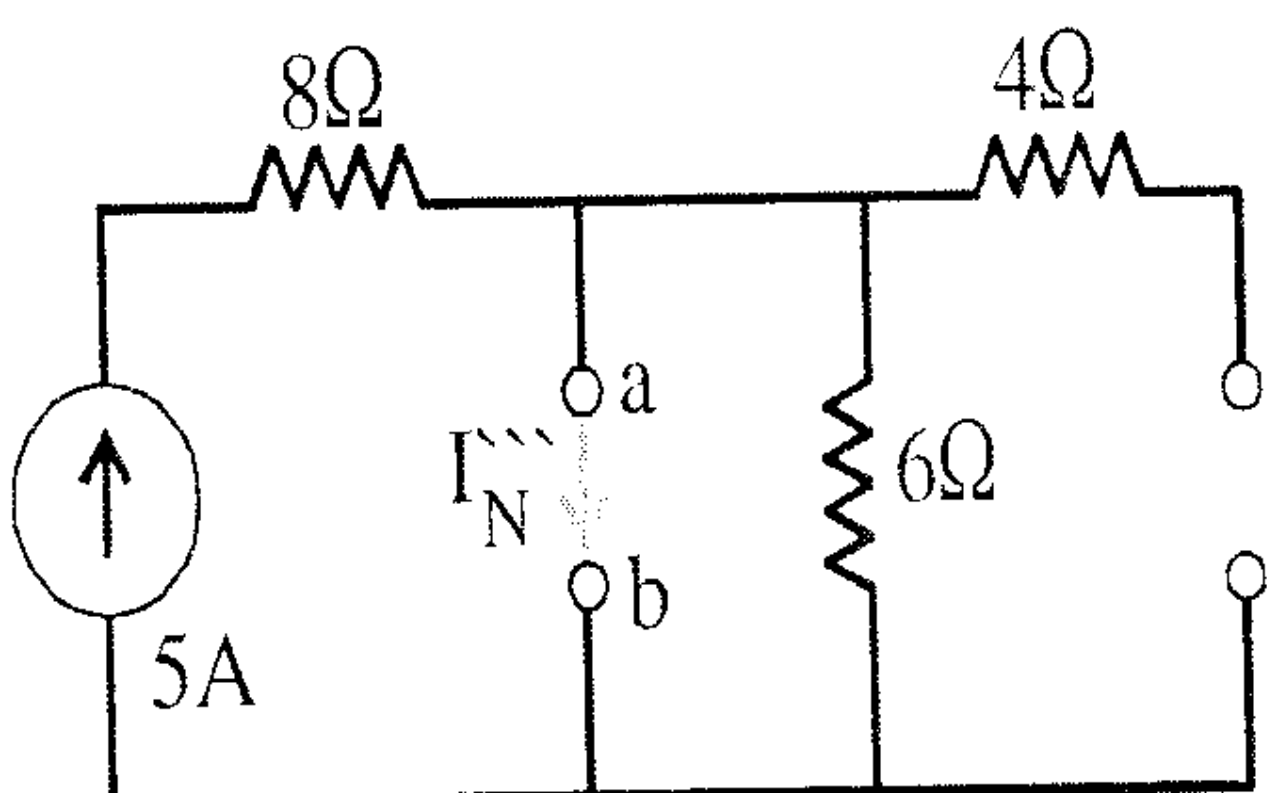
ثانياً: تأثير المصدر (12V) :



4Ω , 8Ω Open Circuit

$$I_N'' = \frac{12V}{6\Omega} = 2A \quad \downarrow$$

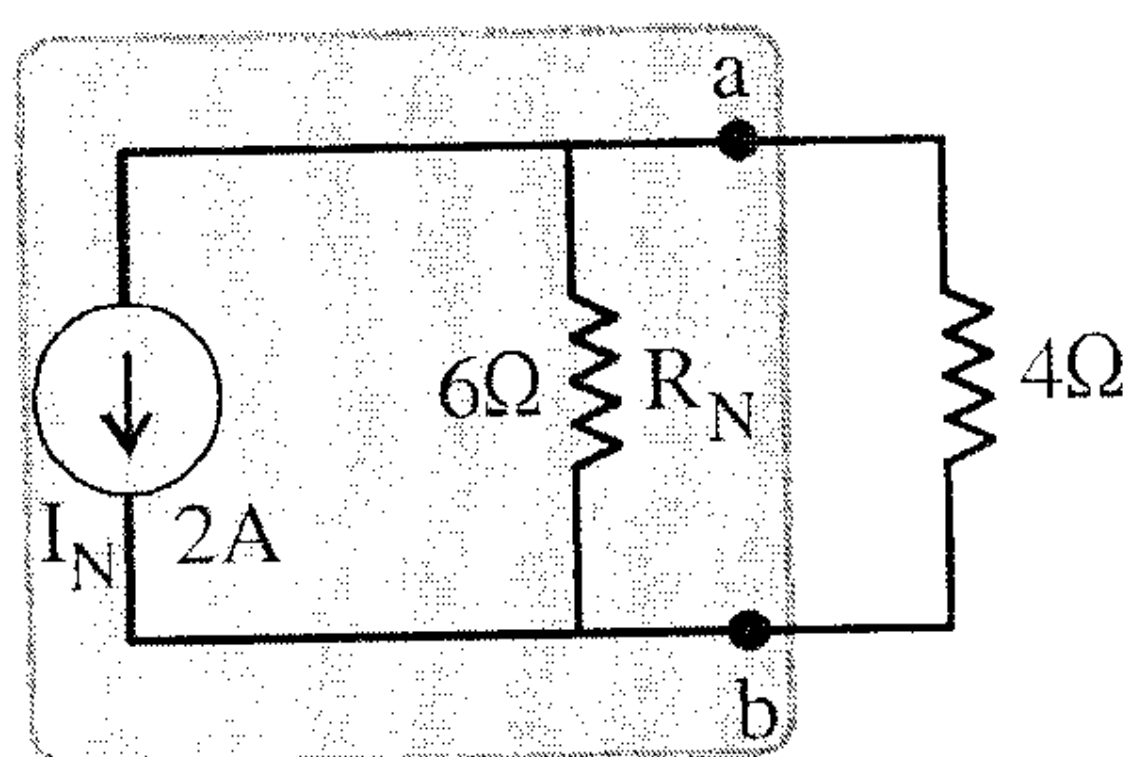
ثالثاً: تأثير المصدر (5A) بالطرف الأيسر للدائرة:



4Ω Open Circuit
6Ω Short Circuit

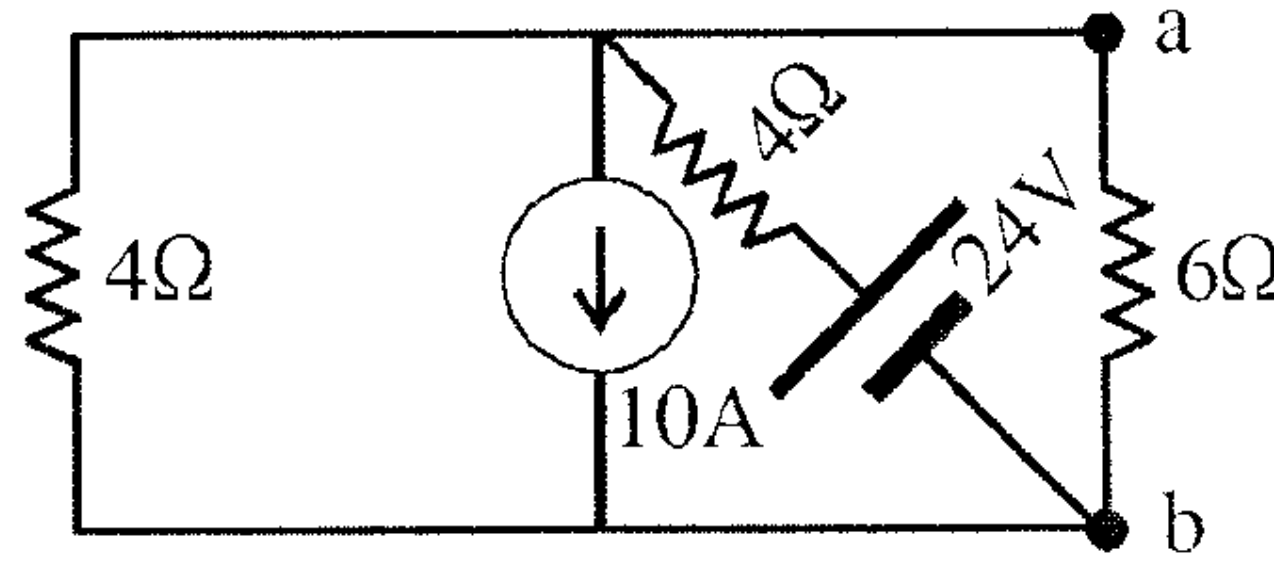
$$I_N''' = 5A \quad \downarrow$$

$$I_N = I_N'' + I_N''' - I_N' = 2A + 5A - 5A = 2A \quad \downarrow$$

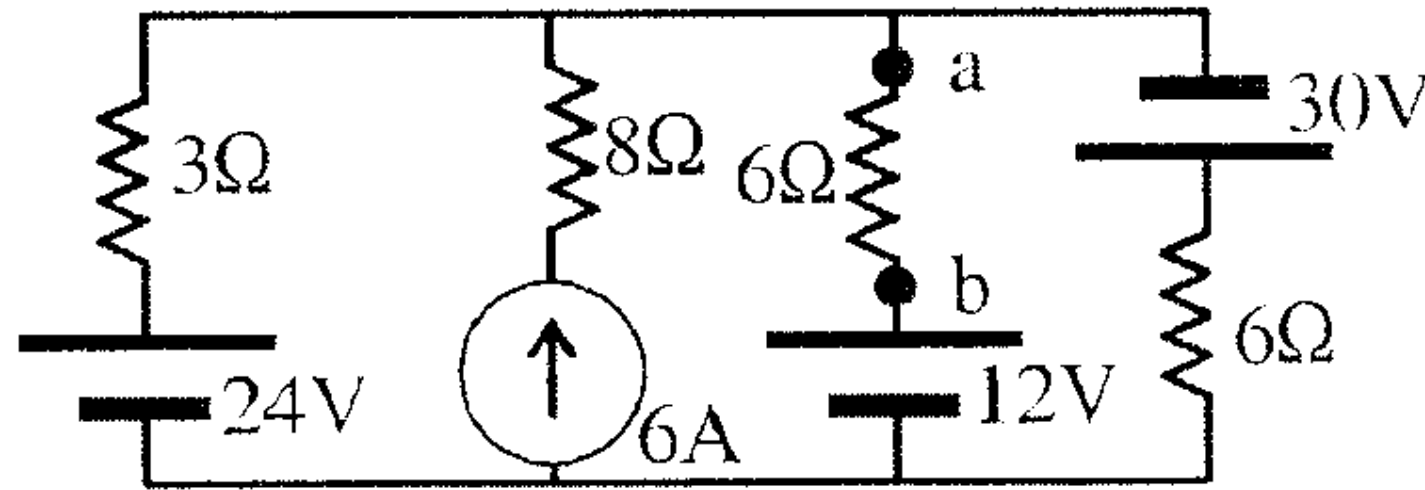


6.6 مسائل عن نظرية نورتن

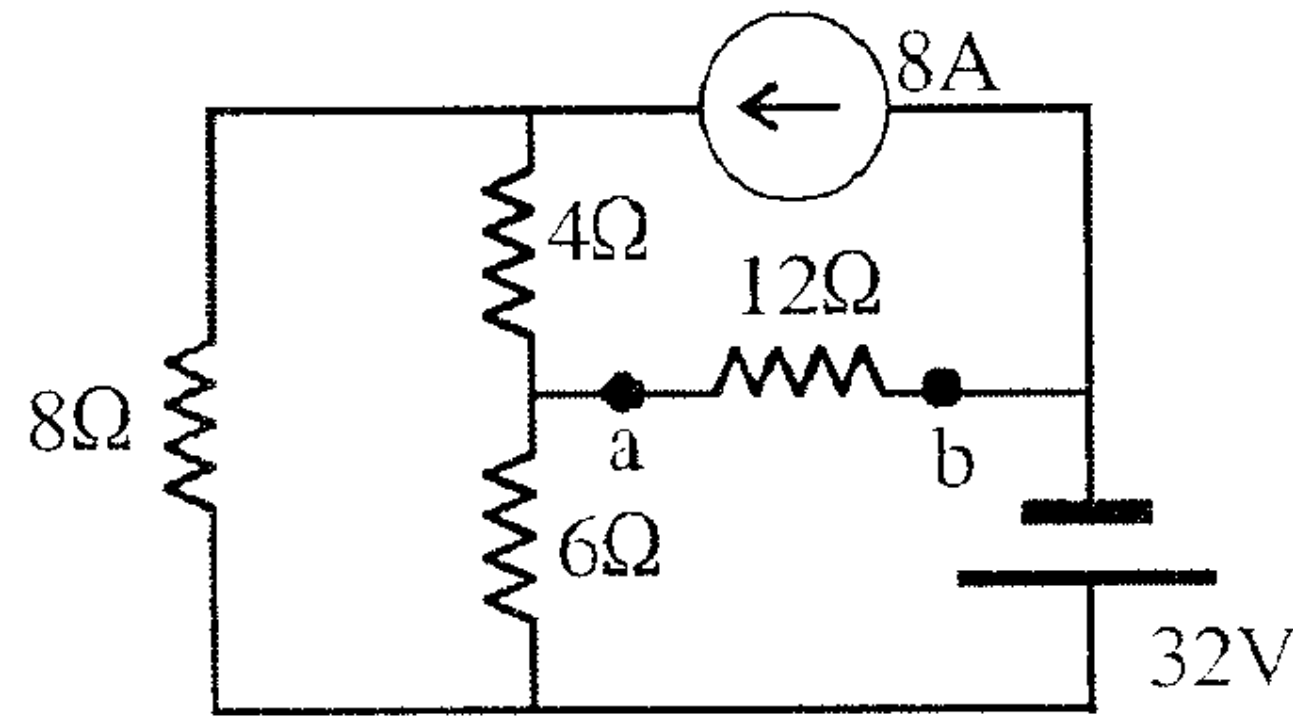
(1) أوجد دائرة نورتن المكافئة خارج النقطتين a و b .



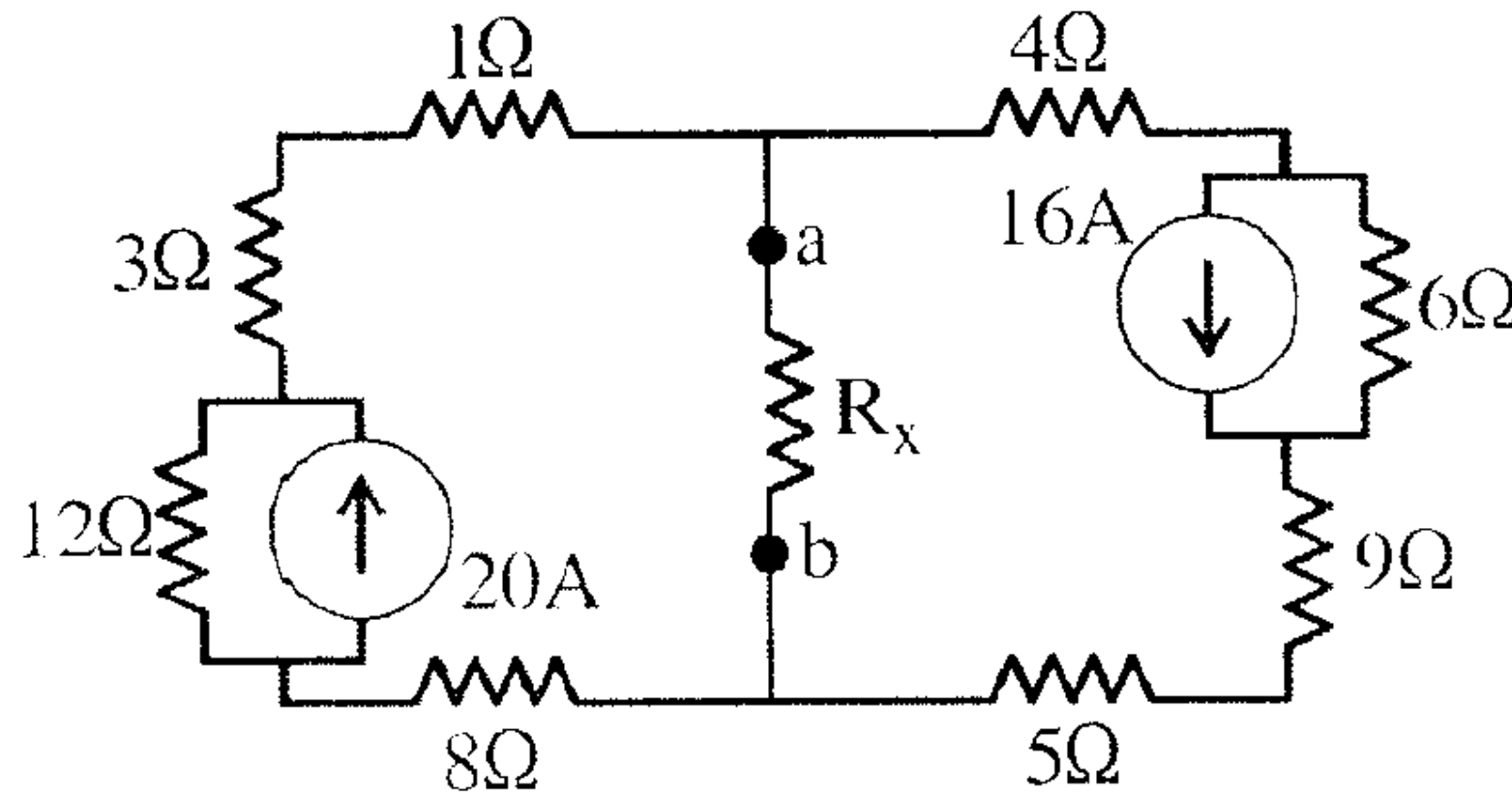
(2) أوجد دائرة نورتن المكافئة خارج النقطتين a و b .



(3) احسب التيار المار في المقاومة (12Ω) باستخدام نظرية نورتن .



(4) باستخدام نظرية نورتن أوجد التيار المار في الفرعين a و b .

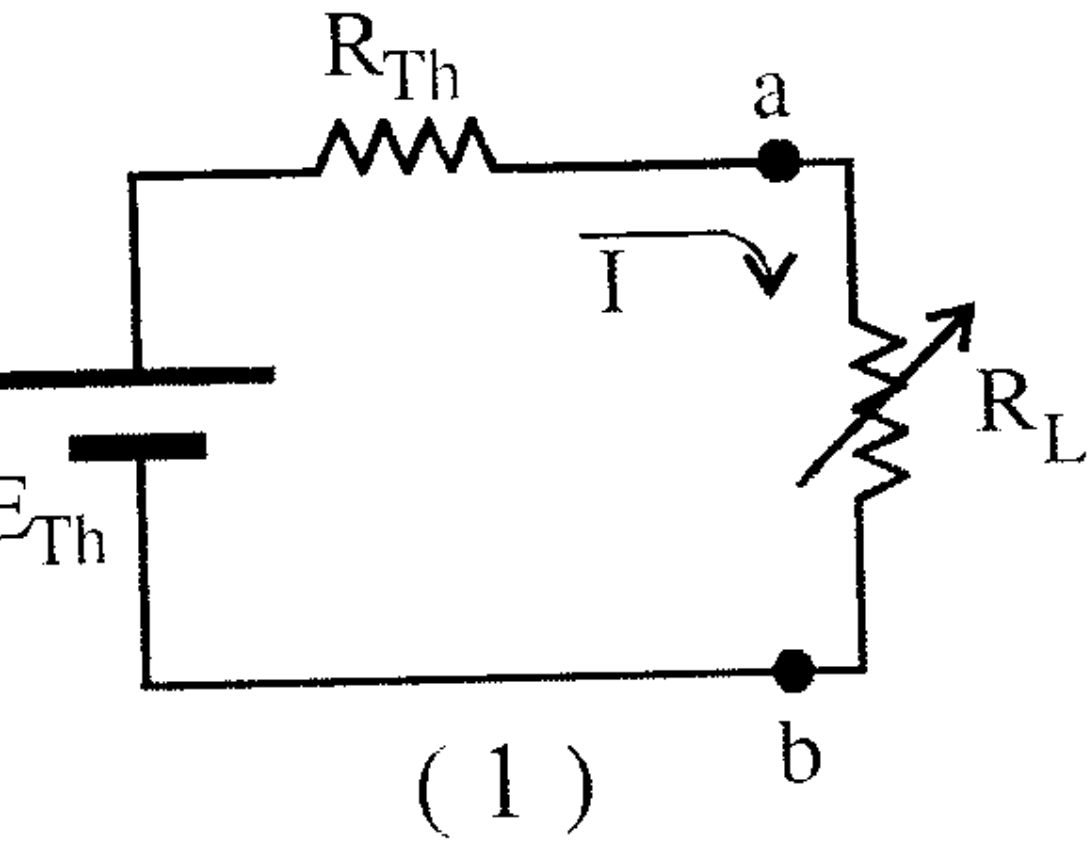


7.6 نظرية انتقال أقصى قدرة Maximum Power Transfer Theorem

تعريف: عندما تكون مقاومة الحمل (Load Resistance) في دائرة كهربائية ذات تيار مستمر مساوية لقيمة مقاومة ثيفنين في هذه الحالة تتم عملية انتقال أقصى قدرة إلى الحمل.

$$R_L = R_{Th} \quad ; \quad R_L = R_N$$

$$R_{Th} = R_N$$

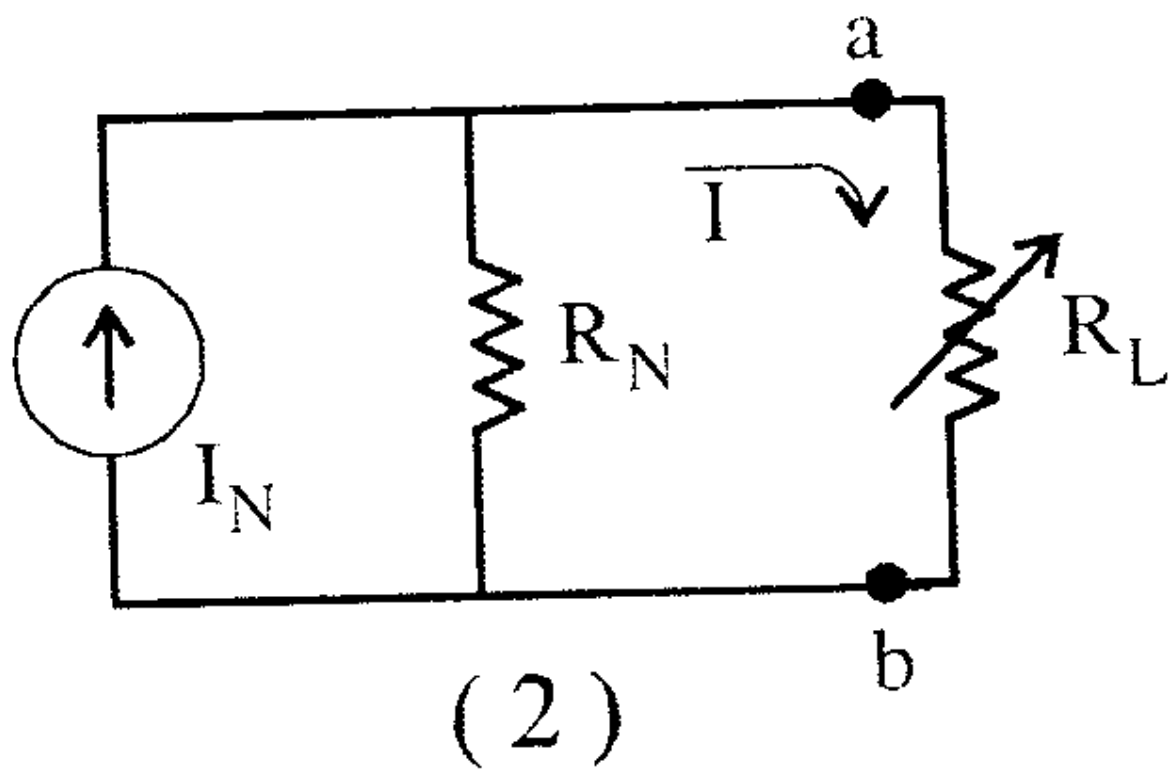


في الدائرة بالشكل (1) يكون انتقال أقصى قدرة عندما يتحقق

$$R_L = R_{Th}$$

وكذلك الحال في دائرة نورتن في الشكل (2) يتحقق انتقال أقصى قدرة إلى مقاومة الحمل R_L عندما تكون

$$R_L = R_N$$



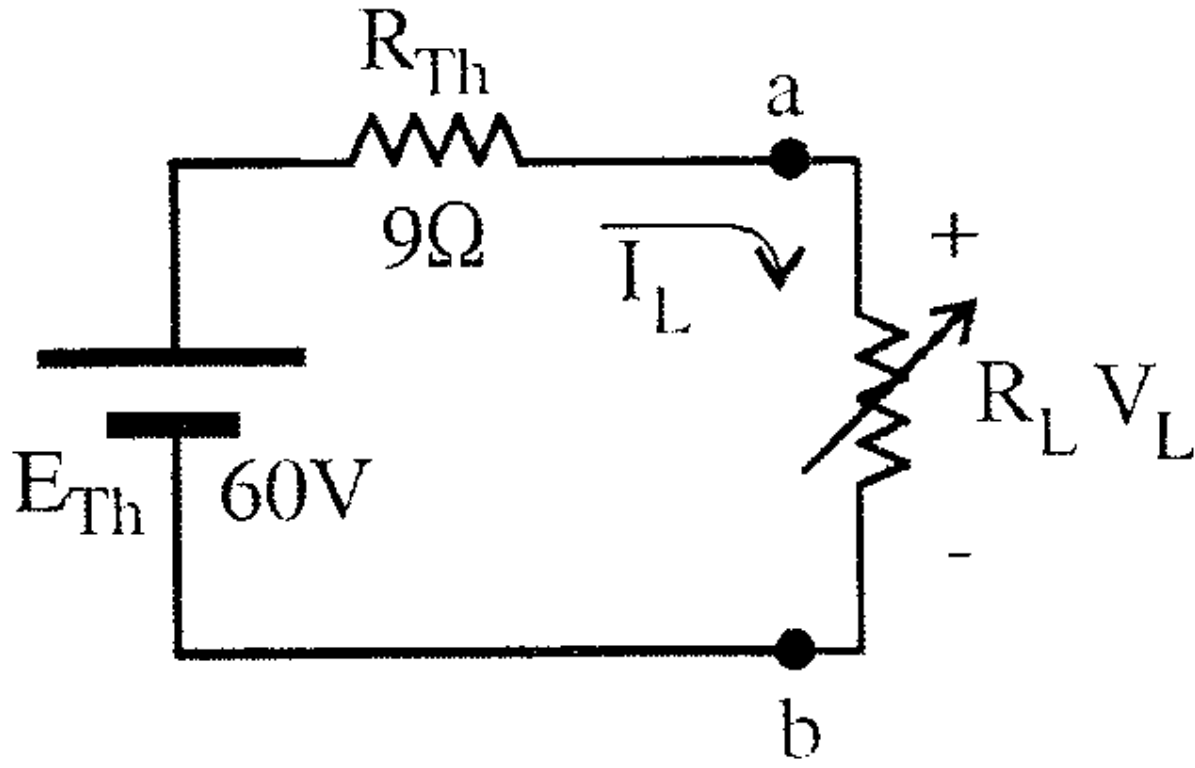
من الدائرة في الشكل (1)

$$I = \frac{E_{Th}}{R_{Th} + R_L}$$

$$P_L = I^2 R_L = \left(\frac{E_{Th}}{R_{Th} + R_L} \right)^2 R_L$$

ومنها:

$$P_L = \frac{E_{Th}^2 R_L}{(R_{Th} + R_L)^2}$$



مثال 18.6 احسب القدرة المستهلكة في مقاومة الحمل (R_L) وكذلك الجهد (V_L) والتيار (I_L).

الحل:

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_L و I_L و V_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 :

$$R_{Th} = R_L$$

ومن هنا 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:

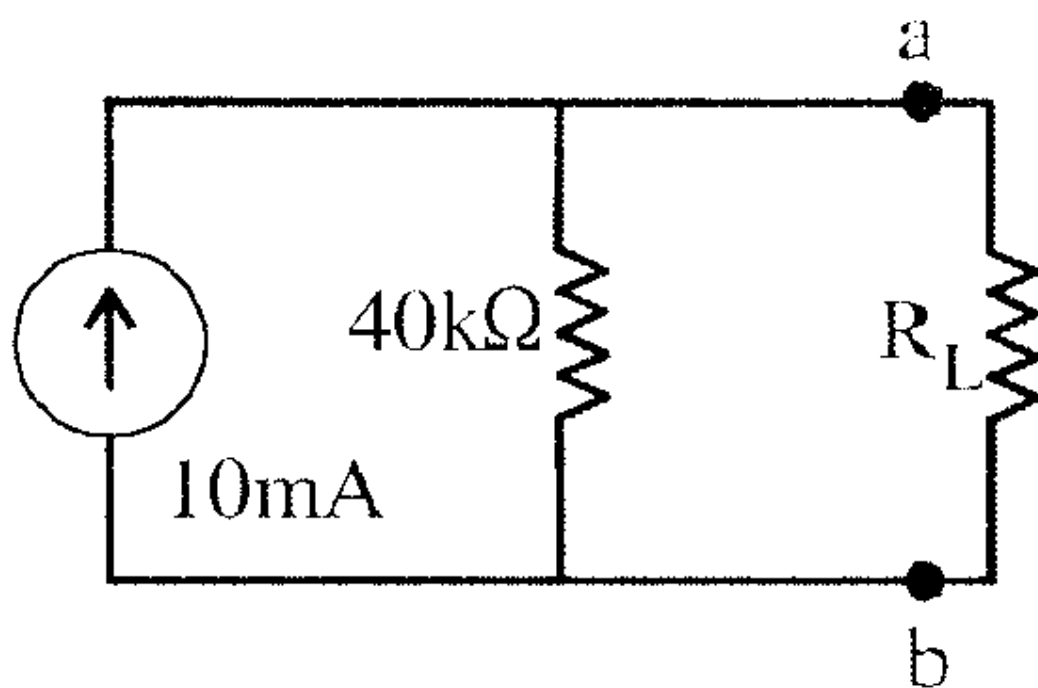
$$P_{L\text{Max.}} = I^2 R_L = \frac{E_{Th}^2 R_{Th}}{(2R_{Th})^2} = \frac{E_{Th}^2}{4R_{Th}}$$

أما بالنسبة لدائرة نورتن وباعتبار أن

$$E_{Th} = I_N R_N \text{ و } R_N = R_{Th}$$

يمكن حساب أقصى قدرة لمقاومة الحمل:

$$P_{L\text{Max.}} = \frac{E_{Th}^2}{4R_{Th}} = \frac{I_N^2 R_N^2}{4R_N} = \frac{I_N^2 R_N}{4}$$



مثال 19.6 أوجد قيمة R_L التي تحقق انتقال أقصى قدرة ثم احسب القدرة القصوى لـ R_L .

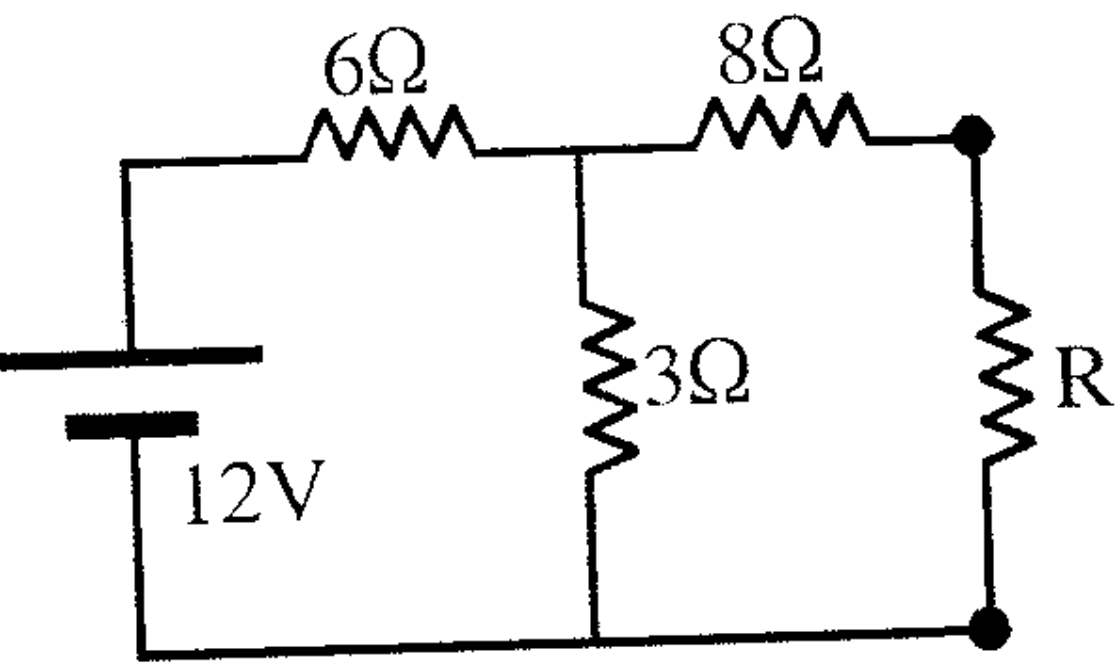
الحل:

دائرة نورتن بالشكل ، فيها $R_N = 40k\Omega$, $I_N = 10mA$

وللحصول على أقصى قدرة فإن $R_L = R_N$

$$\therefore R_L = R_N = 40k\Omega$$

$$P_{LMax.} = \frac{I_N^2 R_N}{4} = \frac{(10 \times 10^{-3} A)^2 (40 \times 10^3 \Omega)}{4} = 1W$$



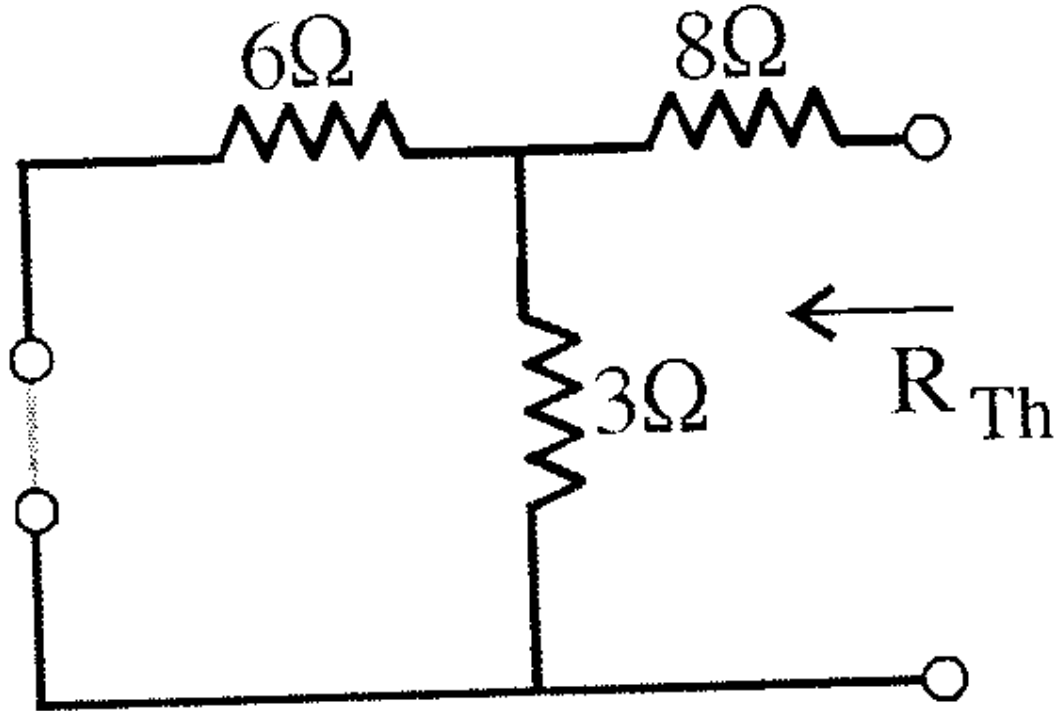
مثال 20.6 أوجد قيمة المقاومة R التي تحقق انتقال أقصى قدرة ثم احسب القدرة الناتجة.

الحل:

أولاً: يجب إيجاد R_{Th} , E_{Th}

$$6\Omega // 3\Omega = 2\Omega$$

$$R_{Th} = 8\Omega + 2\Omega = 10\Omega$$

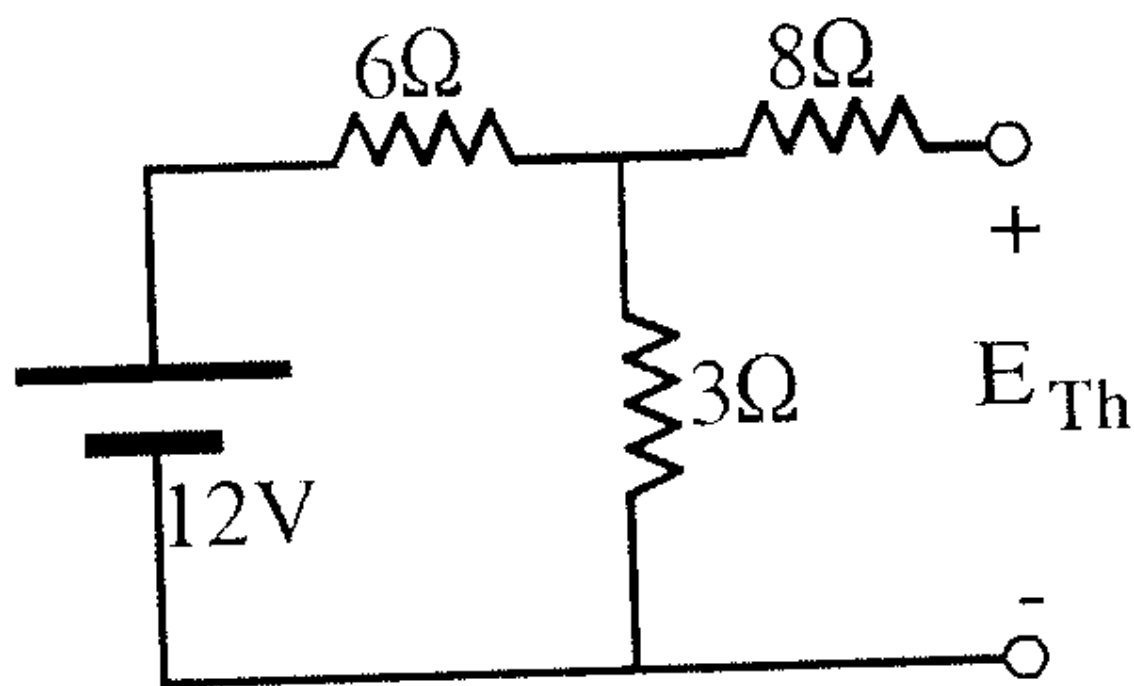


بالتوازي $V_{3\Omega} = E_{Th}$ باستخدام قانون مجزئ الجهد

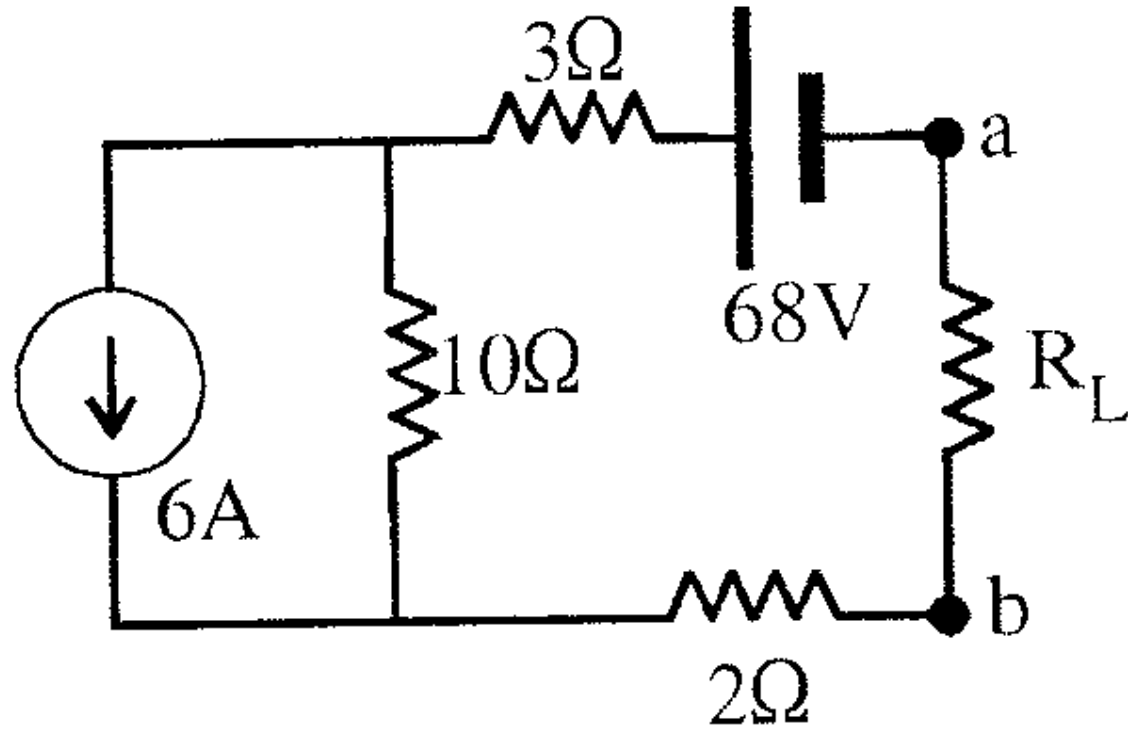
$$E_{Th} = \frac{(12V)(3\Omega)}{3\Omega + 6\Omega} = \frac{36}{9} = 4V$$

لانتقال أقصى قدرة يجب أن تكون

$$R_L = R_{Th} = 10\Omega$$



$$P_{L_{Max.}} = \frac{E_{Th}^2}{4 R_{Th}} = \frac{(4)^2}{4(10)} = \frac{16}{40} = 0.4W$$



مثال 21.6 أوجد قيمة R_L التي تحقق أقصى قدرة واحسب قيمة هذه القدرة.

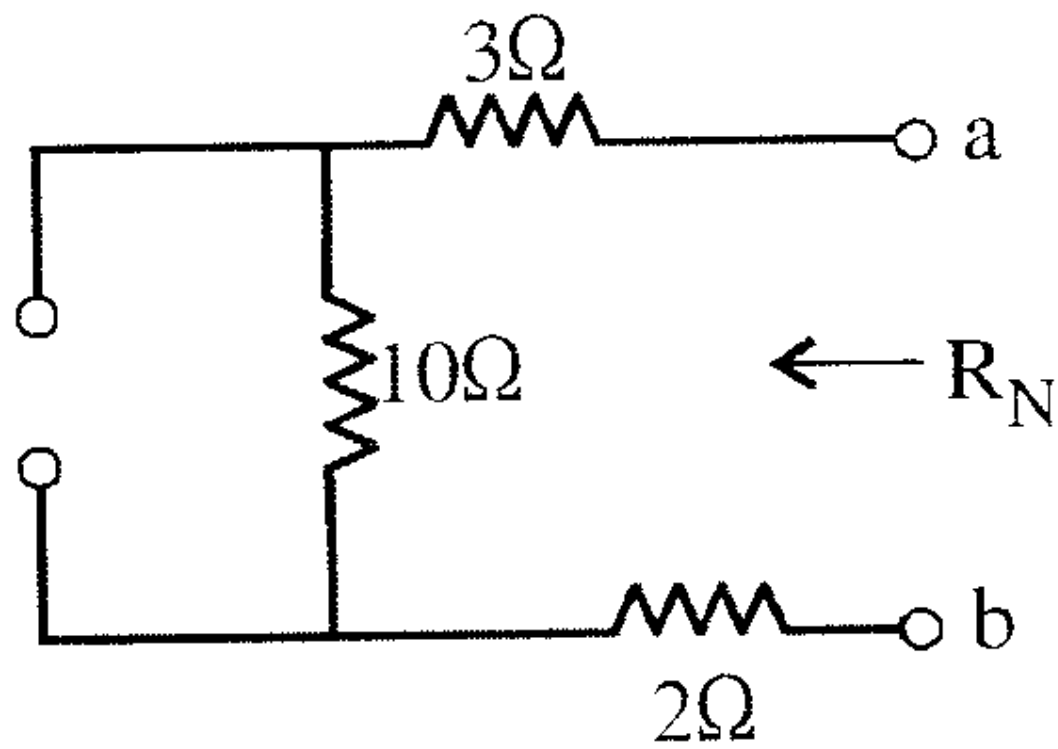
الحل:

يمكن استخدام نظرية نورتن أو نظرية ثيفين لإيجاد الحل، فاستخدام نظرية نورتن يكون الحل كالتالي:

$$R_N = 3\Omega + 10\Omega + 2\Omega = 15\Omega$$

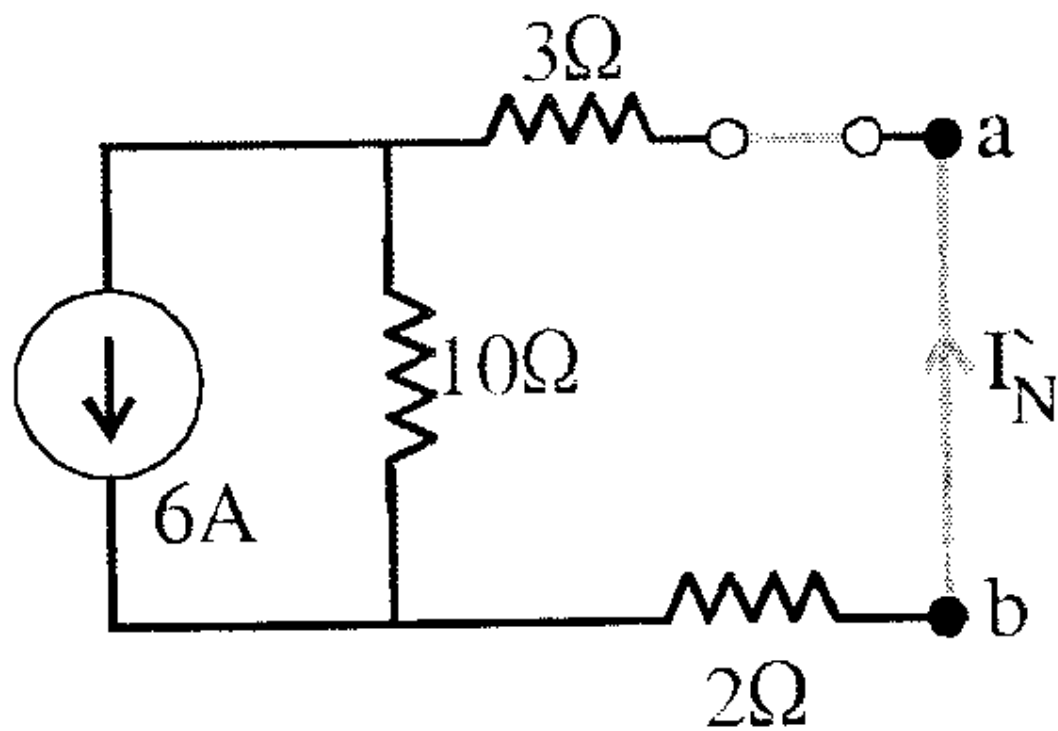
$$R_L = R_N = 15\Omega$$

لإيجاد I_N تكون الخطوات كالتالي:



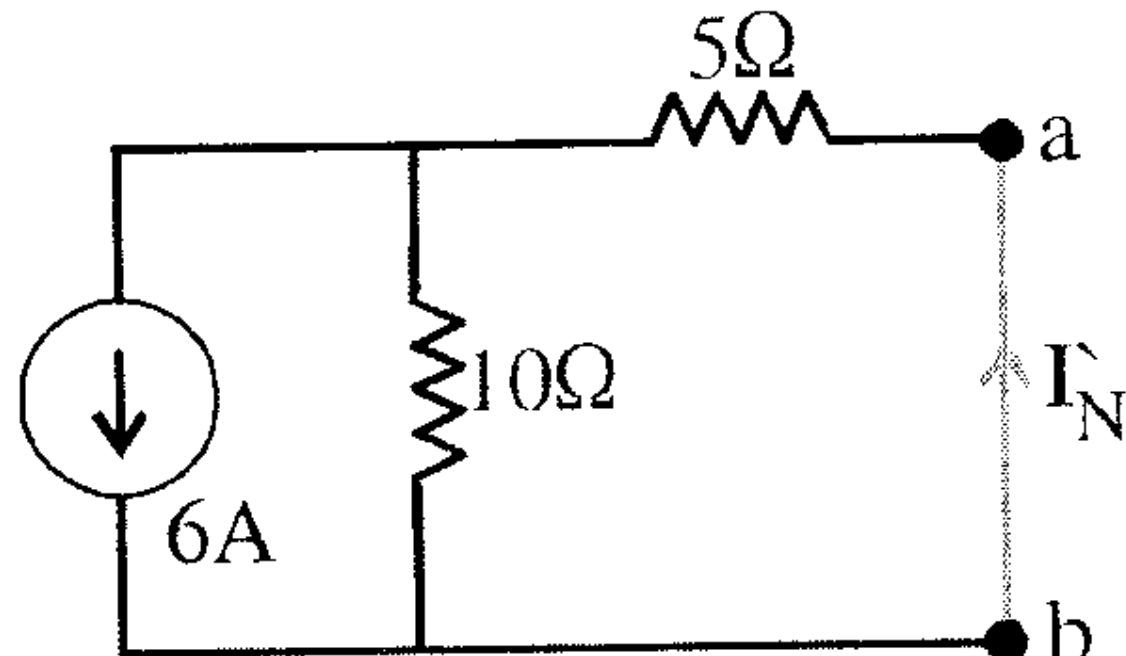
1- تأثير مصدر التيار (6A)

باستخدام مجزئ التيار



$$I_N' = \frac{(6A)(10\Omega)}{10\Omega + 5\Omega} = \frac{60}{15} = 4A \quad \uparrow$$

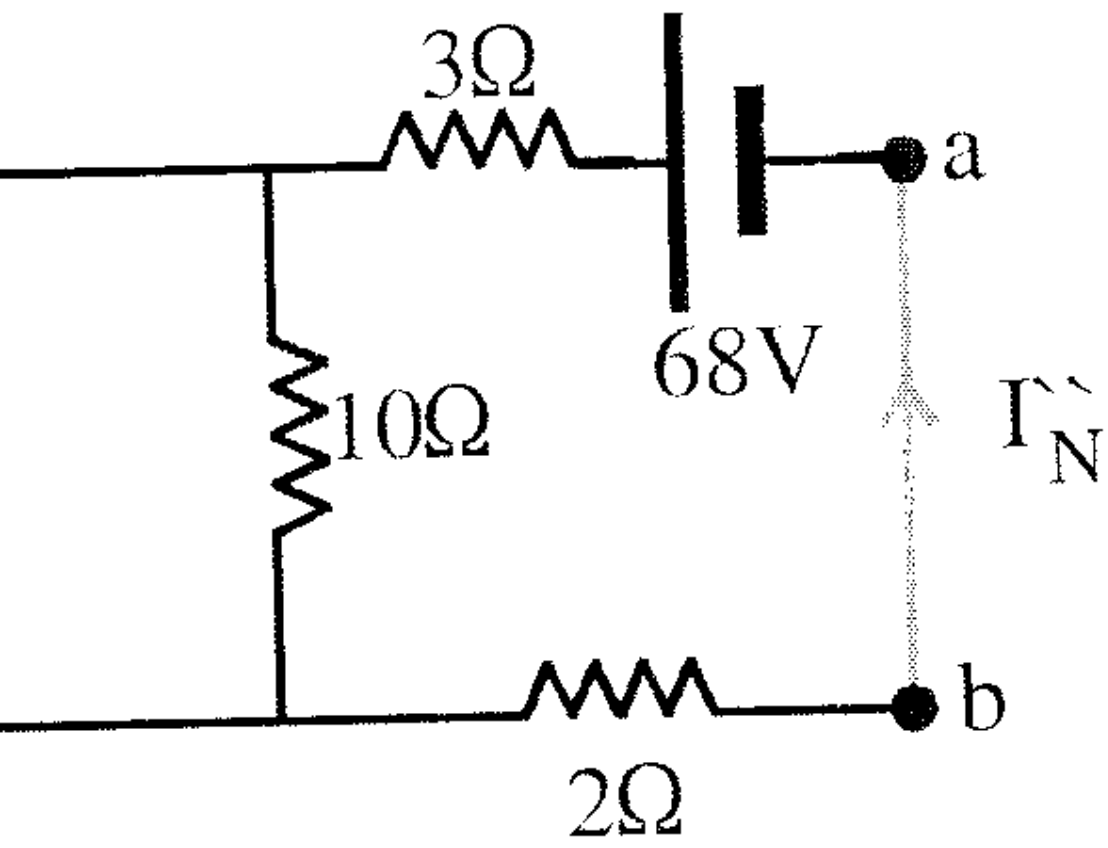
2- تأثير مصدر الجهد (68V)



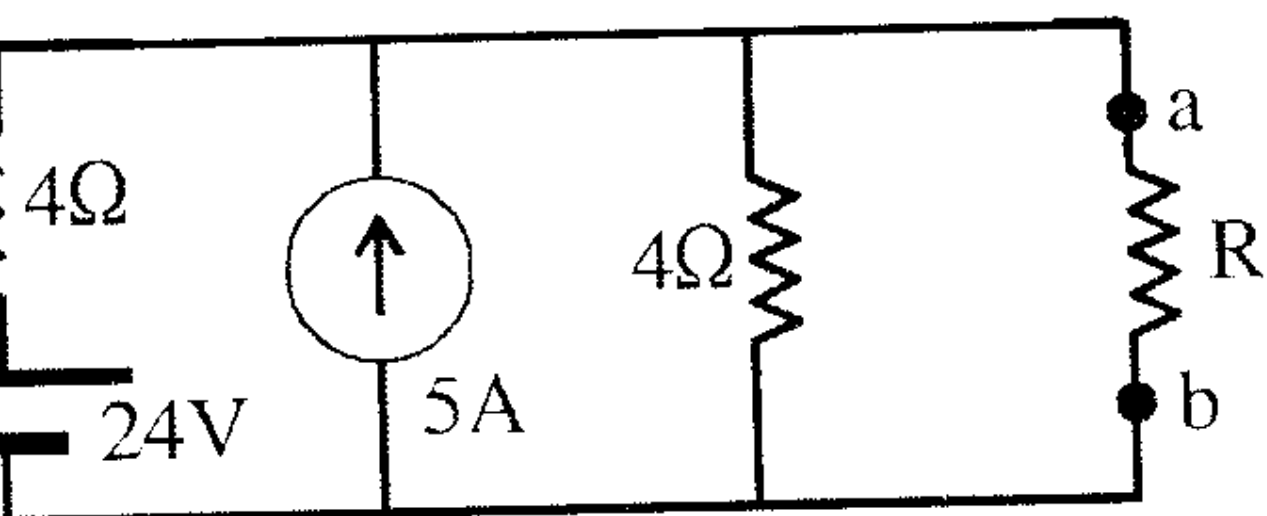
$$I_N'' = \frac{68V}{15\Omega} = 4.533A \quad \uparrow$$

$$\therefore I_N = I_N' + I_N''$$

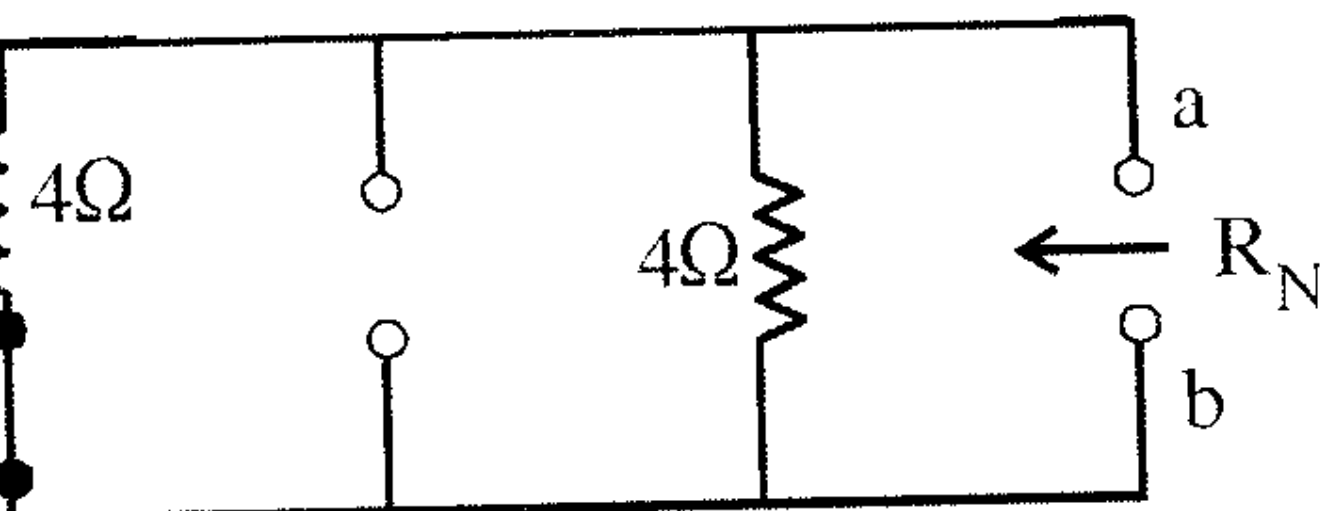
$$= 4A + 4.533A = 8.533A$$



$$P_{LMax.} = \frac{(8.533)^2 (15)}{4} = 273.07W$$



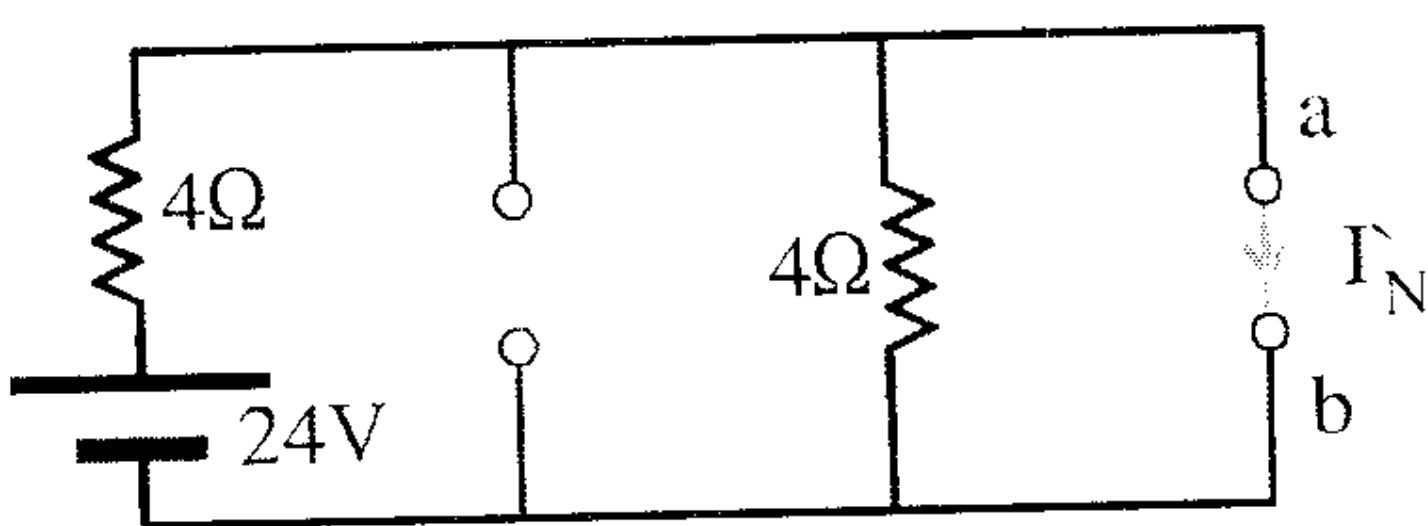
مثال 22.6 أوجد قيمة المقاومة R التي تحقق انتقال أقصى قدرة ثم احسب قيمة هذه القدرة.



الحل:

$$R_N = 4\Omega // 4\Omega = 2\Omega$$

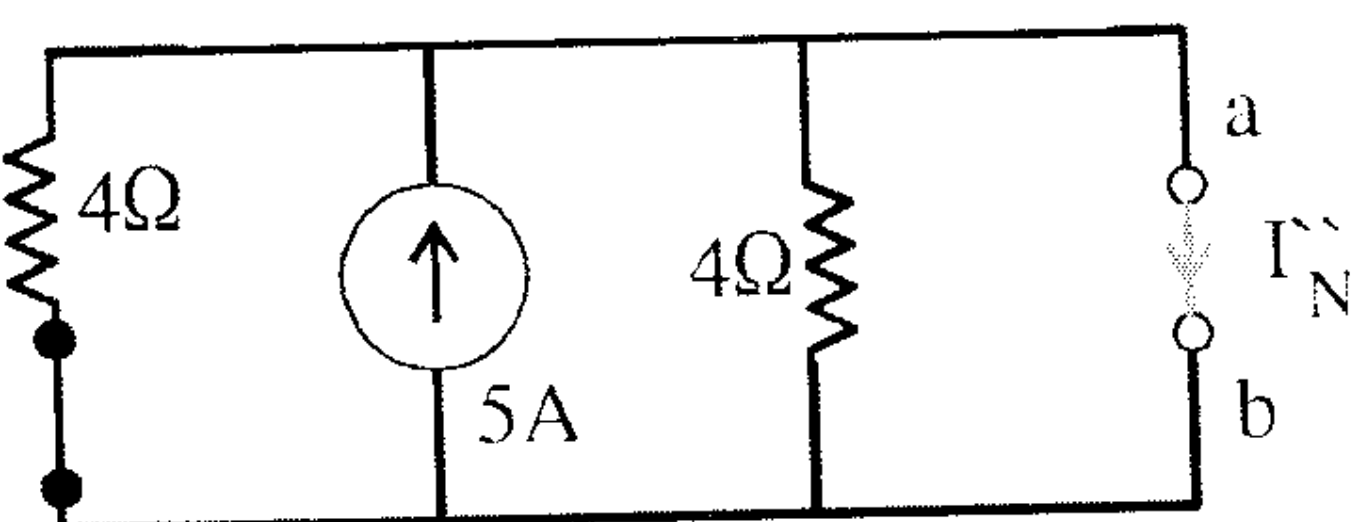
$$R = R_N = 2\Omega \quad \text{شرط انتقال أقصى قدرة}$$



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)

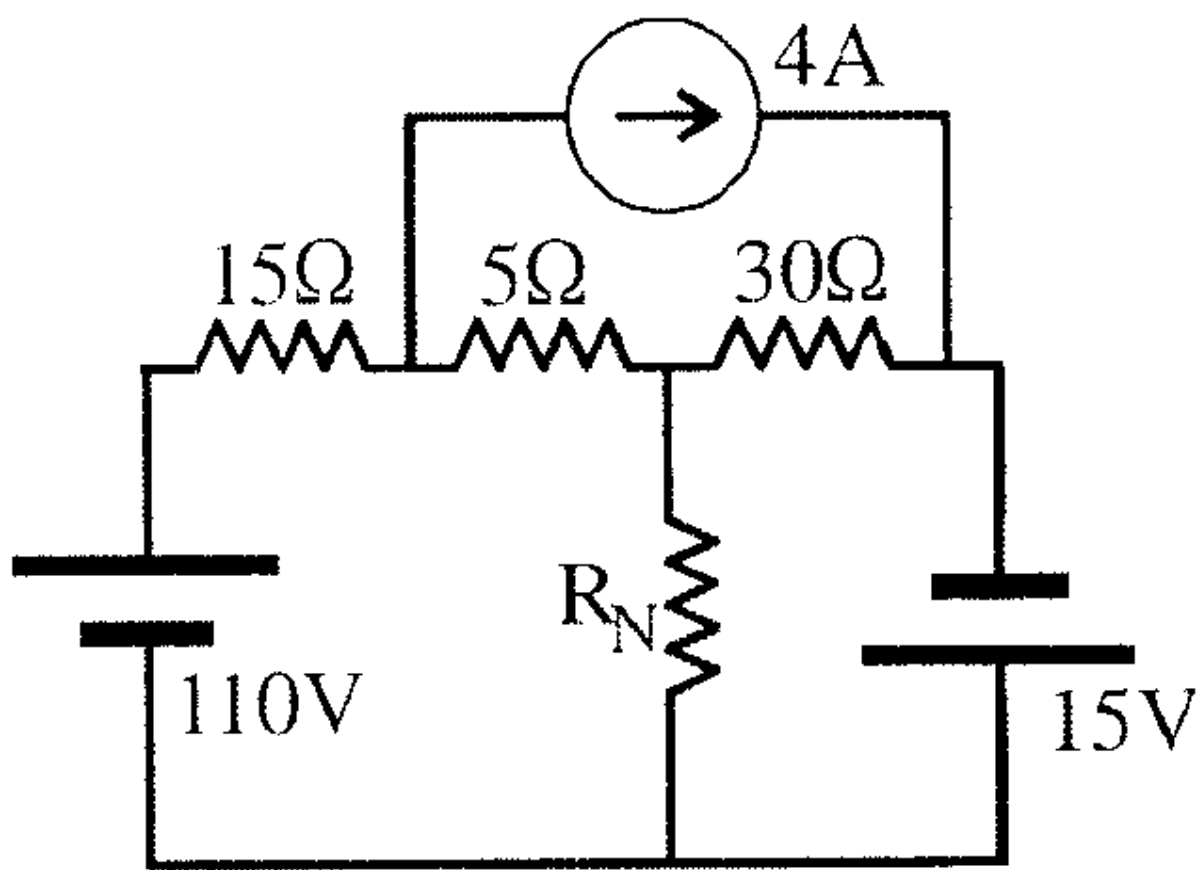
$$I_N'' = 5A$$

$$I_N = 5A + 6A = 11A$$

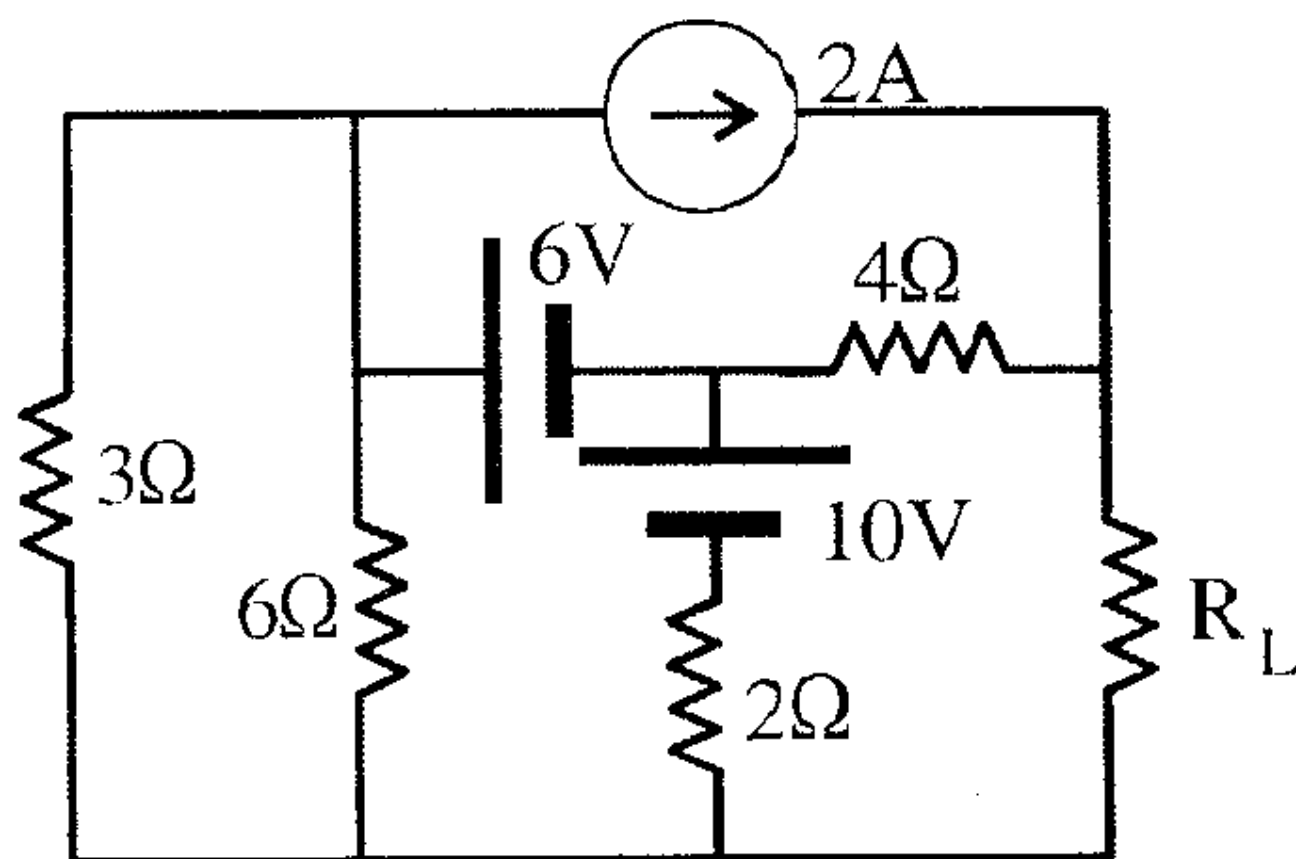
$$P_{LMax.} = \frac{I_N^2 R_N}{4} = \frac{(11)^2 (2)}{4} = 60.5W$$

8.6 مسائل على نظرية انتقال أقصى قدرة

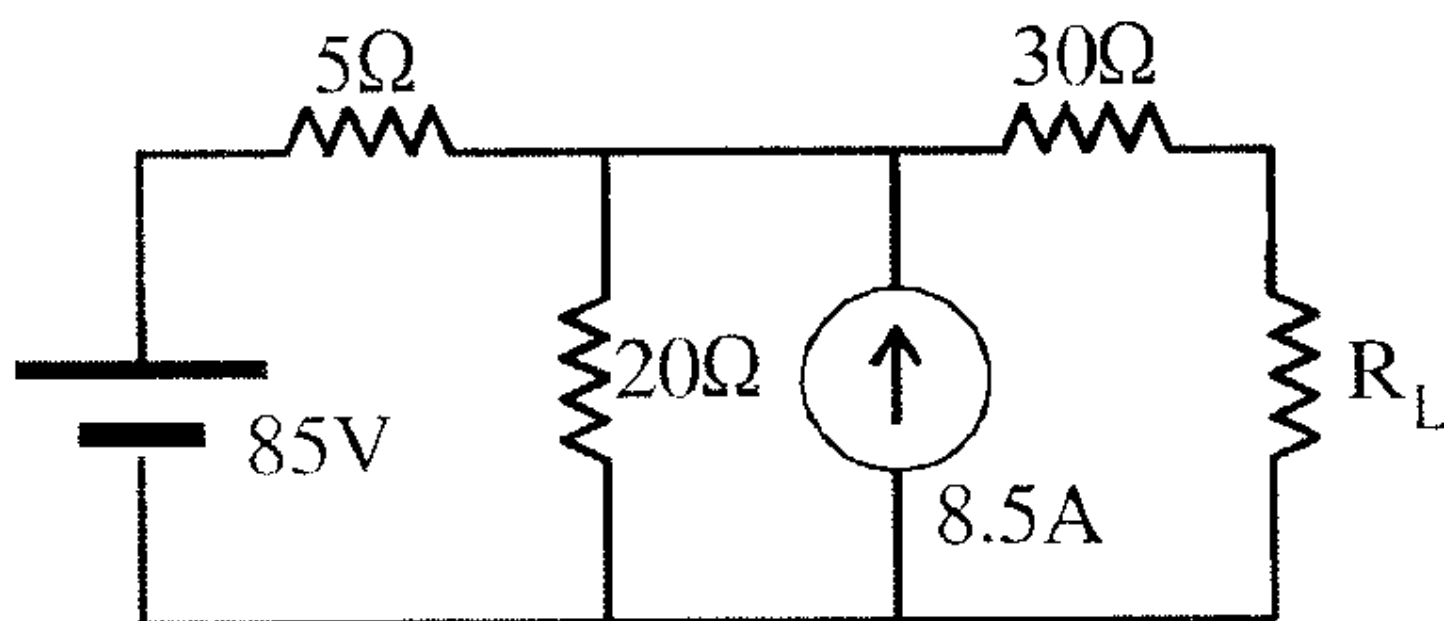
(1) أوجد أقصى قدرة منقولة لمقاومة الحمل R_L مستخدماً مكافئ نورتن عن طريق التراكيب .



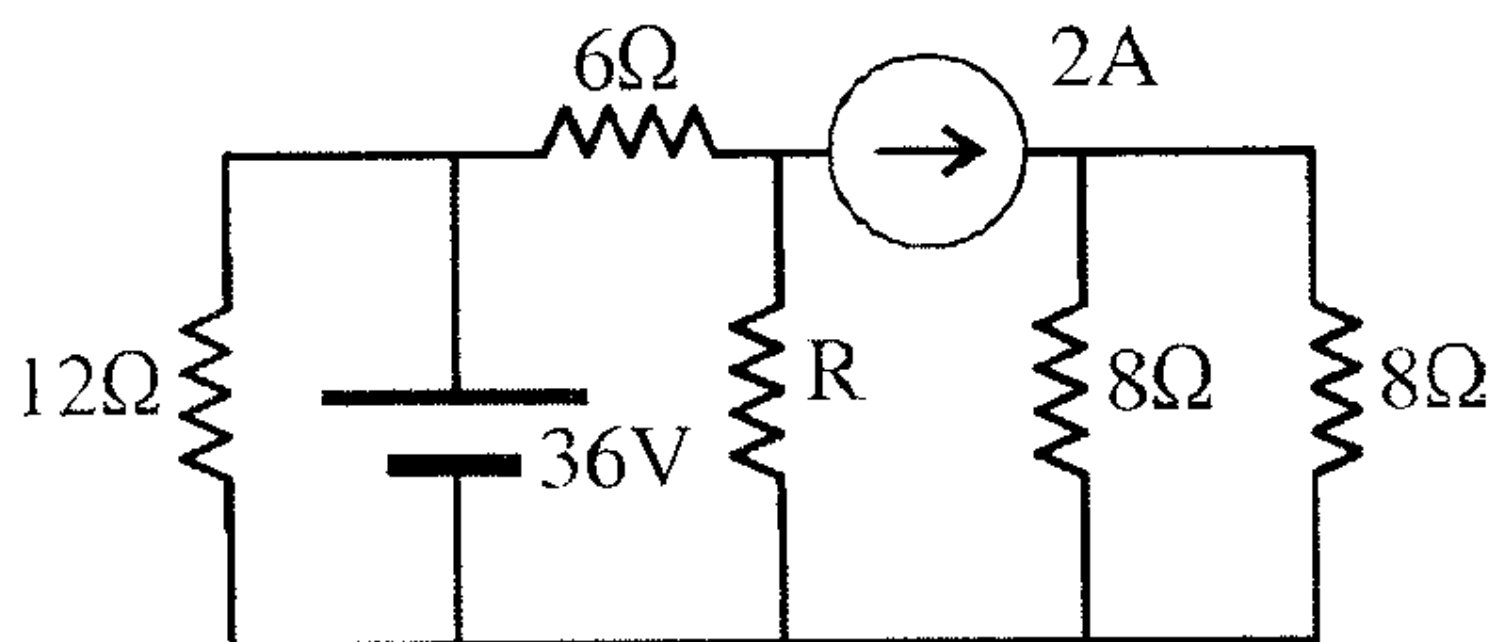
(2) باستخدام مكافئ ثيفنن أوجد قيمة R_L التي تسحب أقصى قدرة ممكنة ثم احسب أقصى قدرة منقولة لها.



(3) أوجد أقصى قدرة منقولة لمقاومة الحمل R_L مستخدماً مكافئ نورتن عن طريق التراكيب .



(5) باستخدام مكافئ ثيفنن أوجد قيمة R_L التي تسحب أقصى قدرة ممكنة ثم احسب أقصى قدرة منقولة لها.

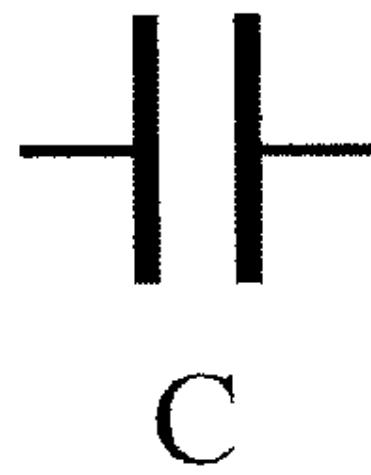


الفصل السابع

- 1.7 السعة.
- 2.7 شحن المكثفات.
- 3.7 تفريغ المكثفات.
- 4.7 القيم اللحظية.
- 5.7 الثابت الزمني $\tau = R_{th} C$.
- 6.7 توصيل المكثفات على التوالي .
- 7.7 توصيل المكثفات على التوازي.
- 8.7 الطاقة المخزنة في المكثفات
- 9.7 أمثلة محلولة.
- 10.7 مسائل متنوعة.

المكثفات Capacitors

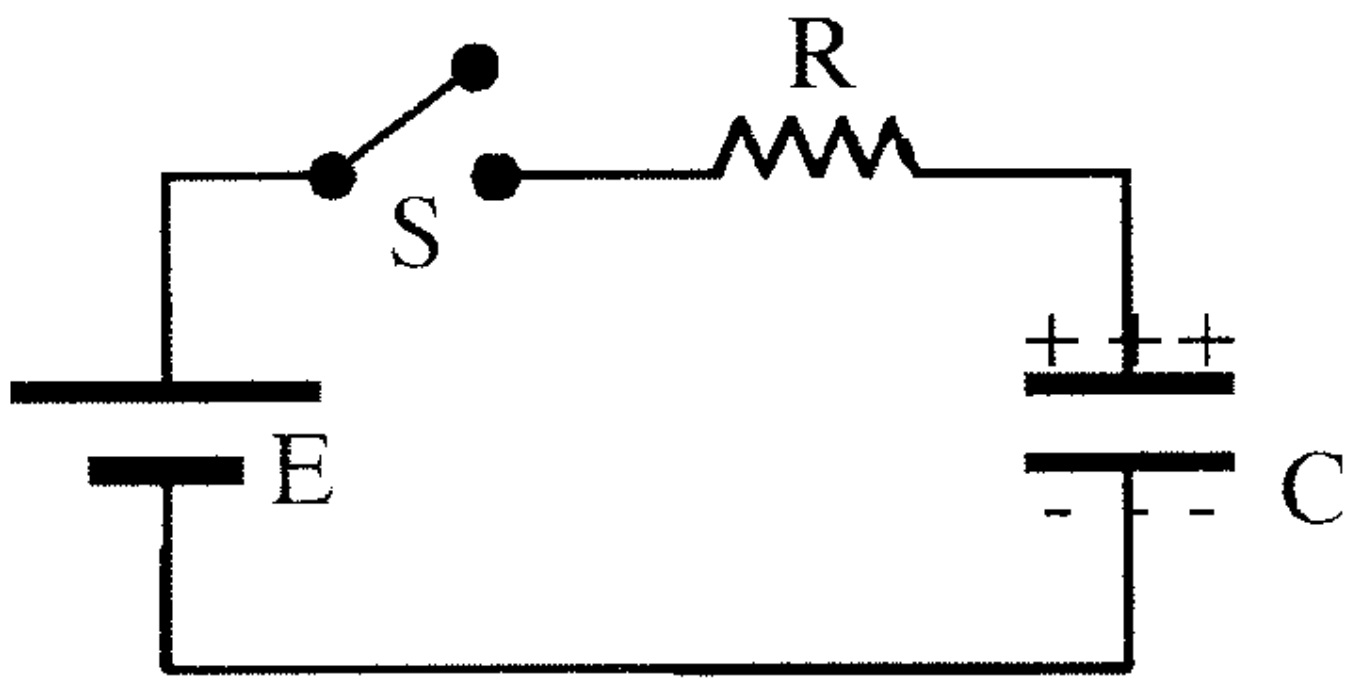
يعتبر المكثف عنصراً من عناصر الدائرة الكهربائية، وبإمكانه تخزين الطاقة الكهربائية. يتكون المكثف من معدنين بينهما عازل، وعادة ما يشحن بشحنتين متساويتين في المقدار ومختلفتين في الإشارة، ومن أشهر أنواع المكثفات هو المكثف ذو اللوحين المتوازيين، ويعبر عن المكثف في الدوائر الكهربائية بالرمز



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)، وتستمر 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 تساوي فاراد (F) واحد إذا شحن هذا المكثف بشحنة مقدارها كولوم (C) واحد ليكون فرق الجهد بين لوحيه فولتاً (V) واحداً.

$$\therefore C = \frac{Q}{V} \quad (1)$$

$$\frac{\text{كولوم}}{\text{فولت}} = \text{فاراد} \quad [F] = \frac{[C]}{[V]}$$

وحدات القياس
يمكن حساب شدة المجال الكهربائي الناتج بين لوحى المكثف من العلاقة

$$E = \frac{V}{d} \quad (2)$$

$$\frac{\text{فرق الجهد}}{\text{المسافة بين لوحى المكثف}} = \text{شدة المجال}$$

وإذا علمت أن كثافة الشحنة للمكثف تساوى شحنته على مساحة السطح لأحد لوحيه

$$D = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

بقسمة المعادلة (3) على المعادلة (2) نحصل على قيمة ثابتة تسمى ثابت السماحية (permittivity) ويرمز لها بالرمز (ε)

$$\epsilon = \frac{D}{E} = \frac{Q/A}{V/d} = \frac{Q d}{V A} \quad (4)$$

وبالتعويض عن المعادلة (1) في (4) نحصل على:

$$\epsilon = \frac{Qd}{AV} = \frac{\cancel{QV}d}{\cancel{AV}} = \frac{Cd}{A}$$

وبالتالي تكون السعة:

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad (5)$$

ملاحظة: المعادلة 5 هي لحساب سعة المكثف متوازي الألواح فقط.

ϵ : ثابت السماحية للمادة

ϵ_0 : ثابت السماحية في الفراغ ومقداره $(\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m})$

ϵ_r : ثابت العزل (relative permittivity) وهو النسبة

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (6)$$

من 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 $\epsilon_r = 1$ لأن $\epsilon = \epsilon_0$ لتكون سعة المكثف

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (7)$$

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:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{\epsilon A / d}{\epsilon_0 A / d} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \epsilon_r$$

$$\therefore C = \epsilon_r C_0 \quad (8)$$

مثال 1.7 من الأشكال التالية لدينا مكثفان C_1 و C_2 أحسب سعة المكثف C_2 بالاستعانة بالمعلومات المتوفرة عن المكثف C_1

$$\begin{aligned} C_1 &= 5\mu F \\ \text{Diagram 1: Parallel plate capacitor with area } A \text{ and distance } d. \\ C_2 &= 3A \\ \text{Diagram 2: Parallel plate capacitor with area } 3A \text{ and distance } d. \end{aligned}$$

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\epsilon_0 A_1 / d_1}{\epsilon_0 A_2 / d_2} \quad -1$$

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\epsilon_0 A / d}{\epsilon_0 (3A) / d} = \frac{1}{3}$$

$$\therefore C_2 = 3C_1 = (3)(5\mu F) = 15\mu F$$

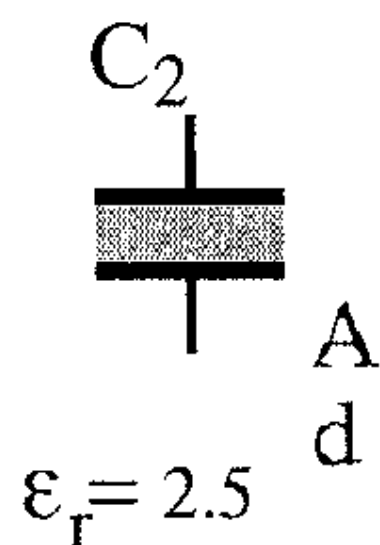
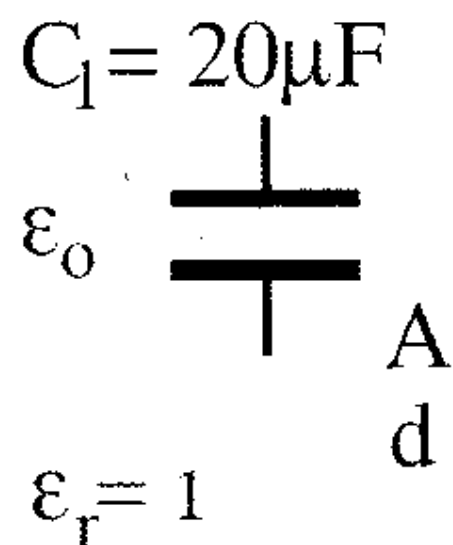
$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\epsilon_0 A / d_1}{\epsilon_0 A / 2d} \quad -2$$

$$\begin{aligned} C_1 &= 0.1\mu F \\ \text{Diagram 1: Parallel plate capacitor with area } A \text{ and distance } d. \\ C_2 &= A \\ \text{Diagram 2: Parallel plate capacitor with area } A \text{ and distance } 2d. \end{aligned}$$

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{2}{1}$$

$$C_2 = \frac{1}{2} C_1 = \left(\frac{1}{2}\right)(0.1\mu F) = 0.05\mu F$$

3- من العلاقة في المعادلة (8)

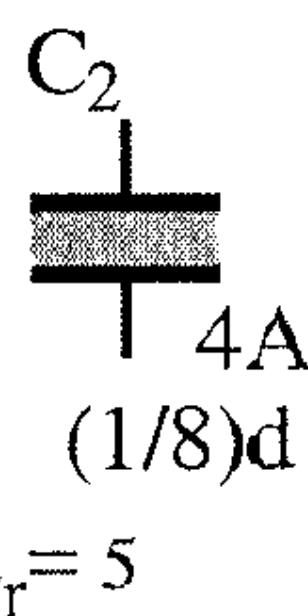
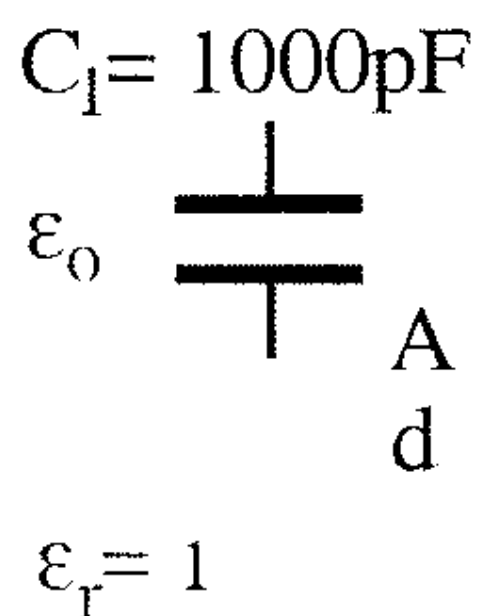


$$C = \epsilon_r C_0$$

$$C_2 = \epsilon_r C_1$$

$$C_2 = (2.5) (20\mu F) = 50\mu F$$

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\epsilon_o \epsilon_{r1} A_1 / d_1}{\epsilon_o \epsilon_{r2} A_2 / d_2} \quad -4$$



$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{(1) \cancel{A/d}}{(5) \cancel{4A/d} \frac{1}{8}}$$

$$\frac{1}{8} C_2 = 20 C_1$$

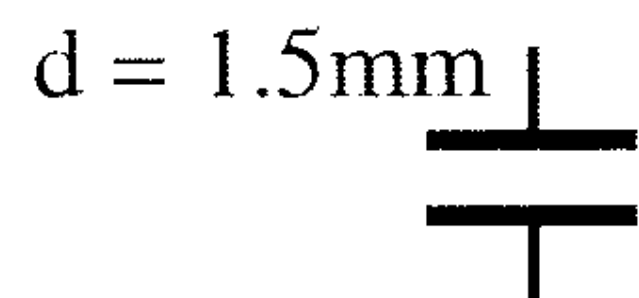
$$C_2 = 160 C_1$$

$$= (160) (1000\text{pF})$$

$$C_2 = 0.16 \mu F$$

مثال 2.7 للمكثف في الشكل التالي:

1- أوجد السعة



$$A = 0.01\text{m}^2$$

2- أوجد شدة المجال الكهربائي بين اللوحين عندما يعمل على

فرق جهد قدره ($V = 450V$)

3- أوجد الشحنة المحصلة لكل لوح.

الحل:

1- بين اللوحين يوجد فراغ إذا السعة

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} = \frac{(8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m})(0.01 \text{ m}^2)}{1.5 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$C = 59 \text{ pF}$$

$$E = \frac{V}{d} = \frac{450 \text{ V}}{1.5 \times 10^{-3} \text{ m}} \quad -2$$

$$= 300 \text{ kV/m}$$

$$C = \frac{Q}{V} \Rightarrow Q = CV \quad -3$$

$$Q = (59 \times 10^{-12} \text{ F})(450 \text{ V})$$

$$Q = 26.55 \text{ nC}$$

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 لوحى المكثف.

2- الشحنة على كل لوح

3- السعة

إذا علمت أن $(\epsilon_r = 5.0)$

الحل:

$$E = \frac{V}{d} = \frac{450V}{1.5 \times 10^{-3} m} = 300 \times 10^3 V / m \quad -1$$

$$E = 300 \text{ kV/m}$$

$$C = \epsilon_r \epsilon_o \frac{A}{d} \quad , \quad C = \frac{Q}{V} \quad -2$$

$$\frac{Q}{V} = \epsilon_r \epsilon_o \frac{A}{d} \quad , \quad E = \frac{V}{d} \rightarrow V = dE$$

$$\frac{Q}{Ed} = \epsilon_o \epsilon_r \frac{A}{d}$$

$$Q = \epsilon_o \epsilon_r EA$$

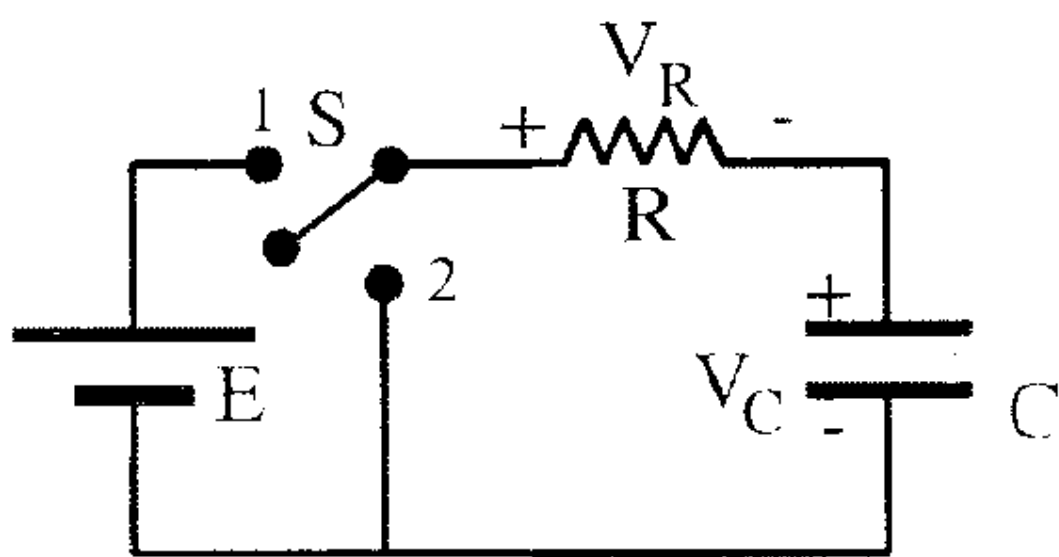
$$= (8.85 \times 10^{-12}) (5) (300 \times 10^3) (0.01)$$

$$Q = 132.75 \text{ nC}$$

بالمقارنة بالمثال السابق نلاحظ أن الشحنة في وجود عازل أكبر خمس مرات من الشحنة في وجود فراغ

$$C = \epsilon_r C_o \quad -3$$

$$= (5) (59 \times 10^{-12} \text{ F}) = 295 \text{ pF}$$



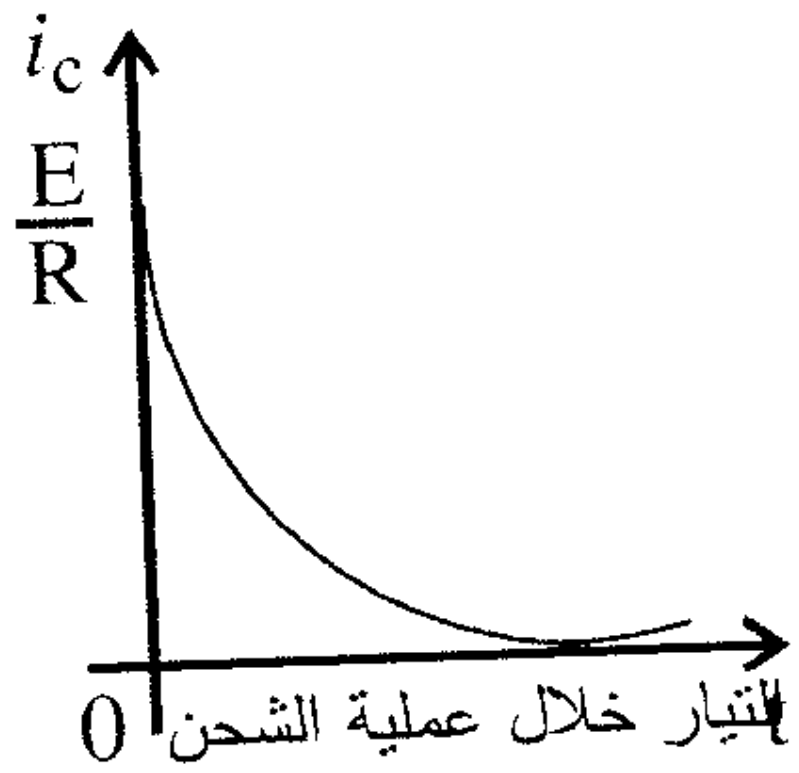
2.7 شحن المكثفات

الدائرة التالية توضح عملية شحن المكثف

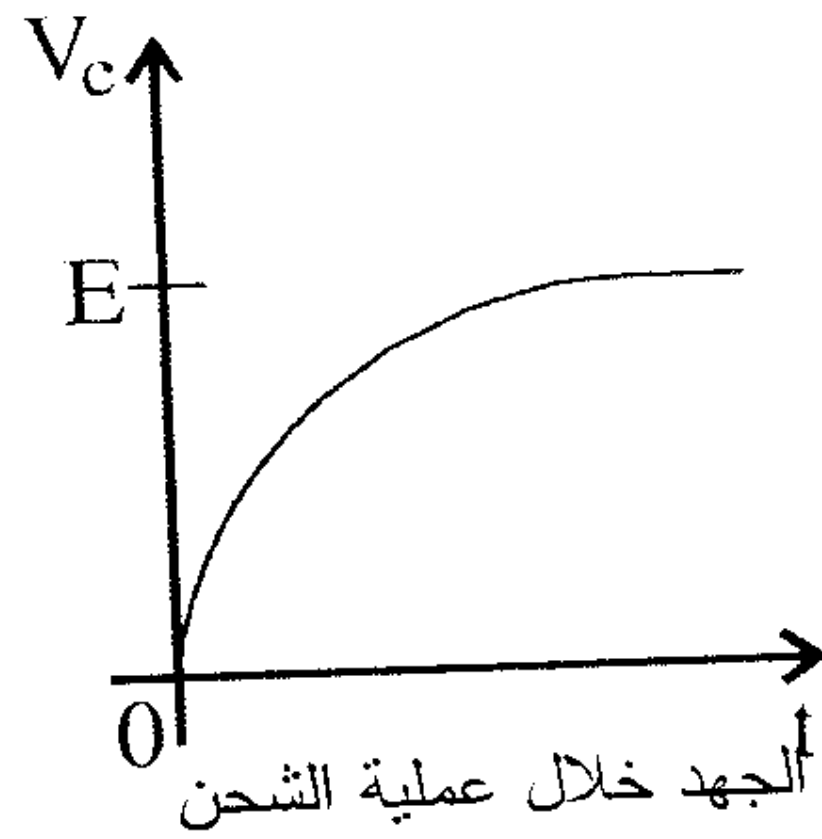
- عند إغلاق المفتاح (الوضع 1) تمر

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 و تيار المكثف مع الزمن.
- عند لحظة غلق المفتاح ($t = 0s$) يقفز التيار إلى أعلى قيمة له والتي تتحدد من العلاقة ($i_c = \frac{E}{R}$)، وعند نهاية الشحن ينحدر التيار إلى الصفر.



• انحد



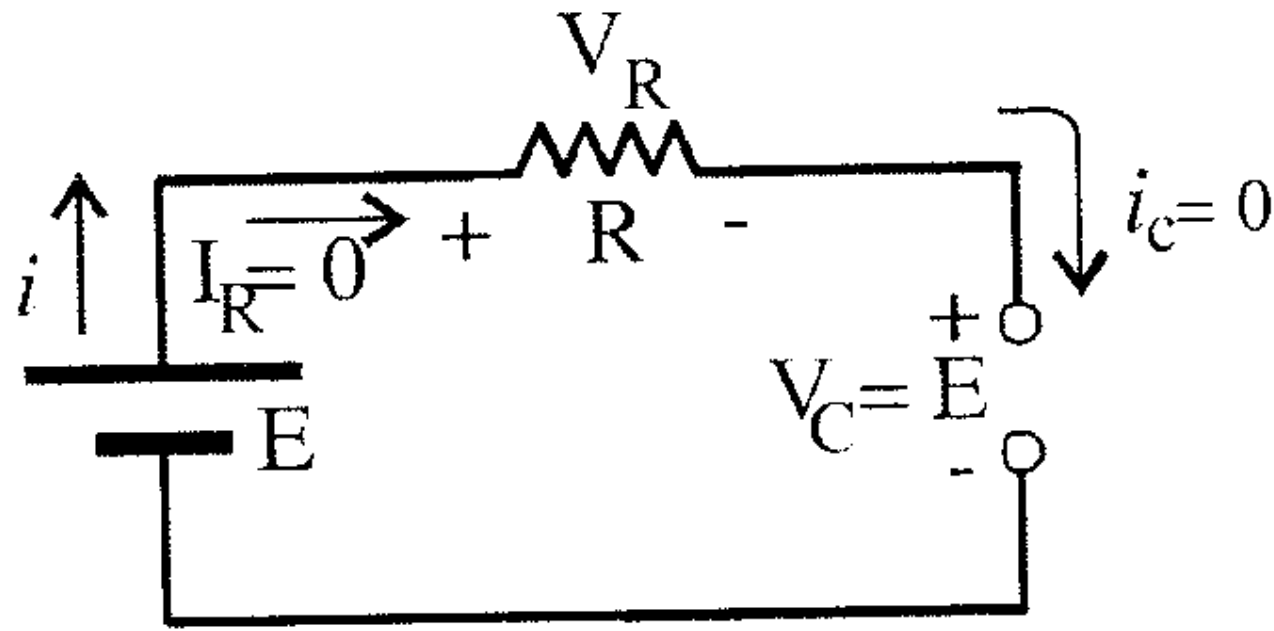
ار قيمة التيار تكشف عن أن كمية الشحنة على الزمن التي تصل إلى اللوح

$$i_c = \frac{Q}{t} \quad \text{نقل أيضا من العلاقة}$$

* 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

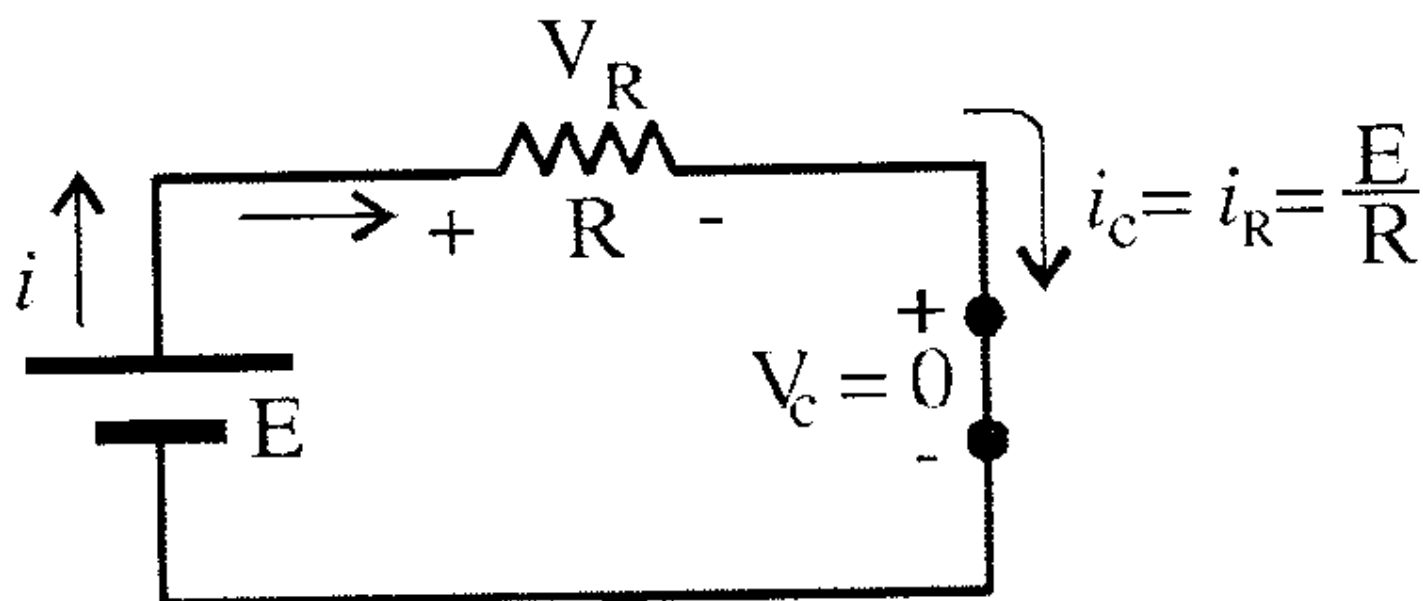
$$i = i_R = i_C = 0$$

$$\therefore V_R = i_R R = (0)R = 0V$$

$$\therefore V_C = E$$

أي أن جهد المكثف يساوي جهد المصدر (نهاية الشحن)

- عند الرجوع إلى الوراء وفي لحظة إغلاق المفتاح يكون المكثف دائرة مغلقة لأن التيار يكون أقصى ما يمكن.



KVL:

$$E - V_R - V_C = 0$$

$$\therefore V_R = i_R R = \frac{E}{R} R = E$$

$$\therefore E - E - V_C = 0 \longrightarrow V_C = 0V$$

باستخدام العلاقات الرياضية نحصل على تيار الشحن (i_C) دالة أسية

$$i_C = \frac{E}{R} e^{-t/RC}$$

المعامل RC وهو حاصل ضرب المقاومة في سعة المكثف يسمى الثابت الزمني (Time Constant)، ووحدة قياس RC هي وحدة قياس الزمن ويمكن إثباته كالتالي:

$$RC = \left(\frac{V}{I}\right) \left(\frac{Q}{V}\right) = \left(\frac{V}{Q/t}\right) \left(\frac{Q}{V}\right) = t$$

ونرمز للثابت الزمني RC بالزمن τ

$$\tau = RC$$

إذاً في الدالة الأسية $e^{-t/RC}$ نعوض عن $\tau = RC$ لنحصل على $e^{-t/\tau}$ في حالة ثابت زمني واحد $t = 1\tau$

$$e^{-1/\tau} = e^{-1} = 0.3679$$

$$\begin{aligned} t = 2\tau &\longrightarrow e^{-t/\tau} = e^{-2\tau/\tau} = e^{-2} = 0.1353 \\ t = 3\tau &\longrightarrow e^{-t/\tau} = e^{-3\tau/\tau} = e^{-3} = 0.05 \\ t = 4\tau &\longrightarrow e^{-t/\tau} = e^{-4\tau/\tau} = e^{-4} = 0.018 \\ t = 5\tau &\longrightarrow e^{-t/\tau} = e^{-5\tau/\tau} = e^{-5} = 0.0067 \end{aligned}$$

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 تقريباً.

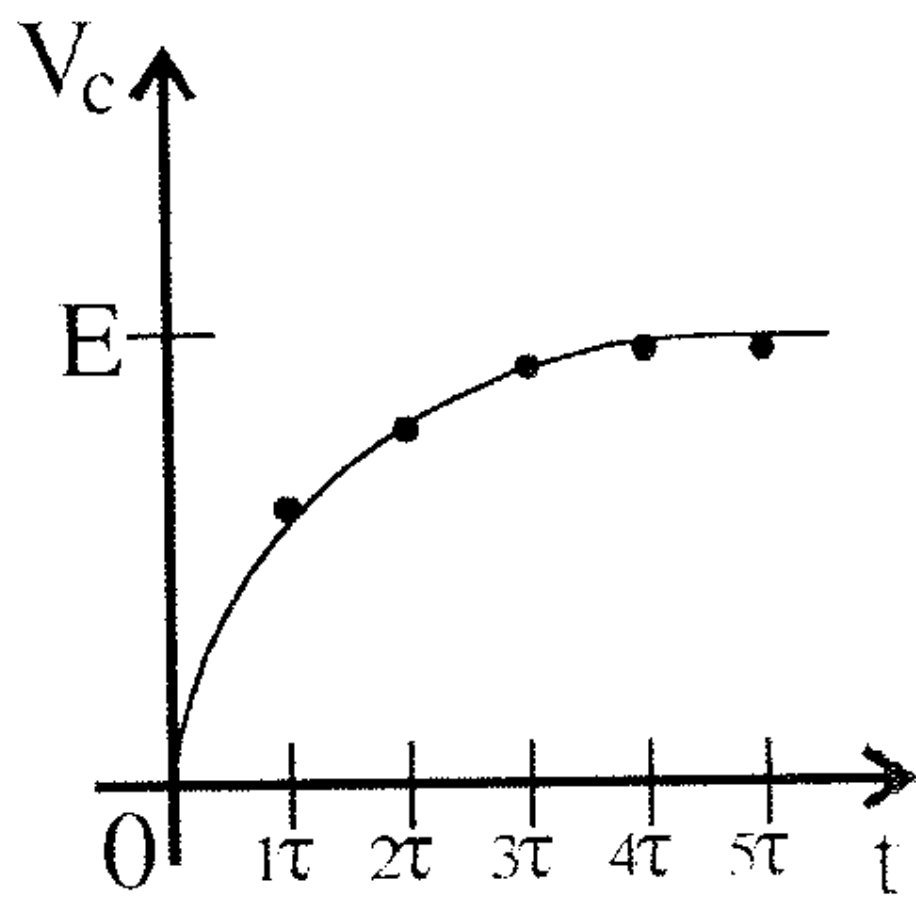
سعة المكثف تكون عادة بالمايكروفاراد (μF)

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 المبينة على أساس فيزيائي يكون جهد الشحن للمكثف:

$$v_c = E(1 - e^{-t/RC})$$

بعد خمس دورات زمنية تكون قيمة جهد المكثف ($V_c = E$)



الزمن t	النسبة المئوية للجهد Vc
0	0
1 τ	63.2 %
2 τ	86.5 %
3 τ	95.0 %
4 τ	98.0 %
5 τ	99.3 %

من علاقة الثابت الزمني $\tau = RC$ وفي 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 بشحنه لفترة أطول.

أثناء عملية الشحن تكون العلاقة بين جهد المكثف وشحنه وسعته كالتالي:

$$V_c = \frac{q}{C} \quad \rightarrow \quad q = CV_c$$

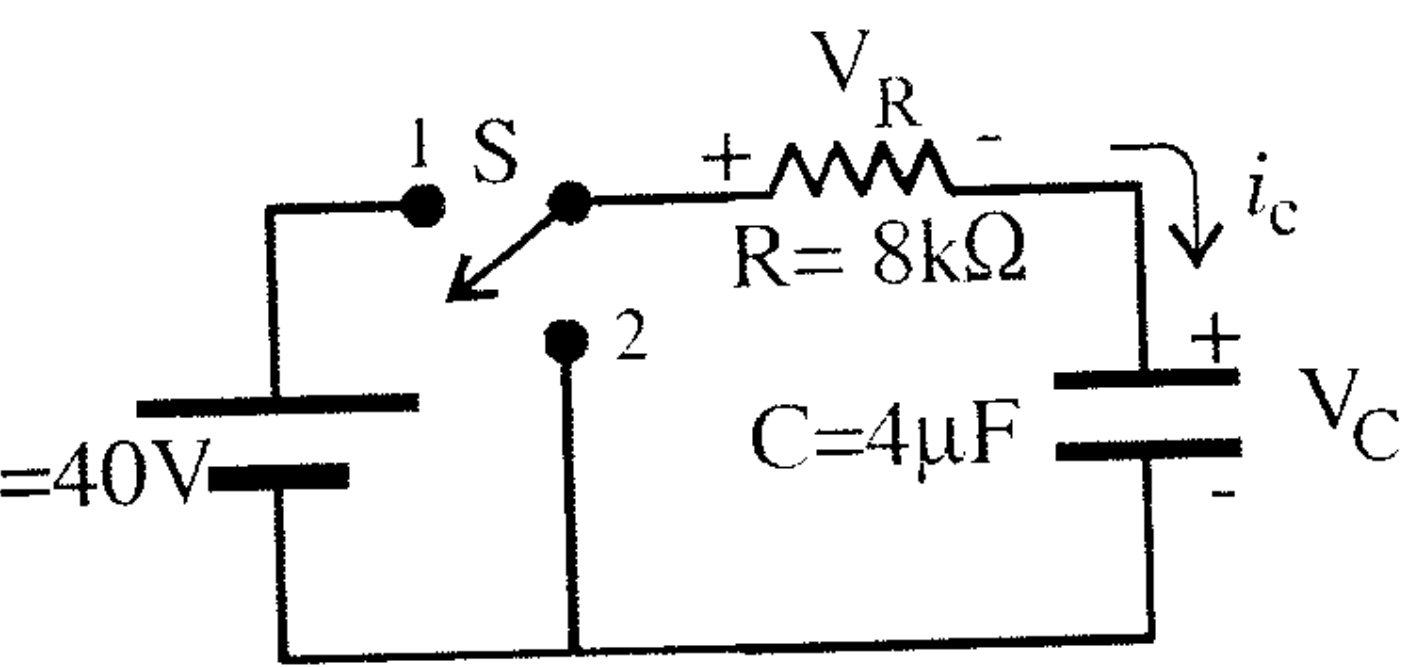
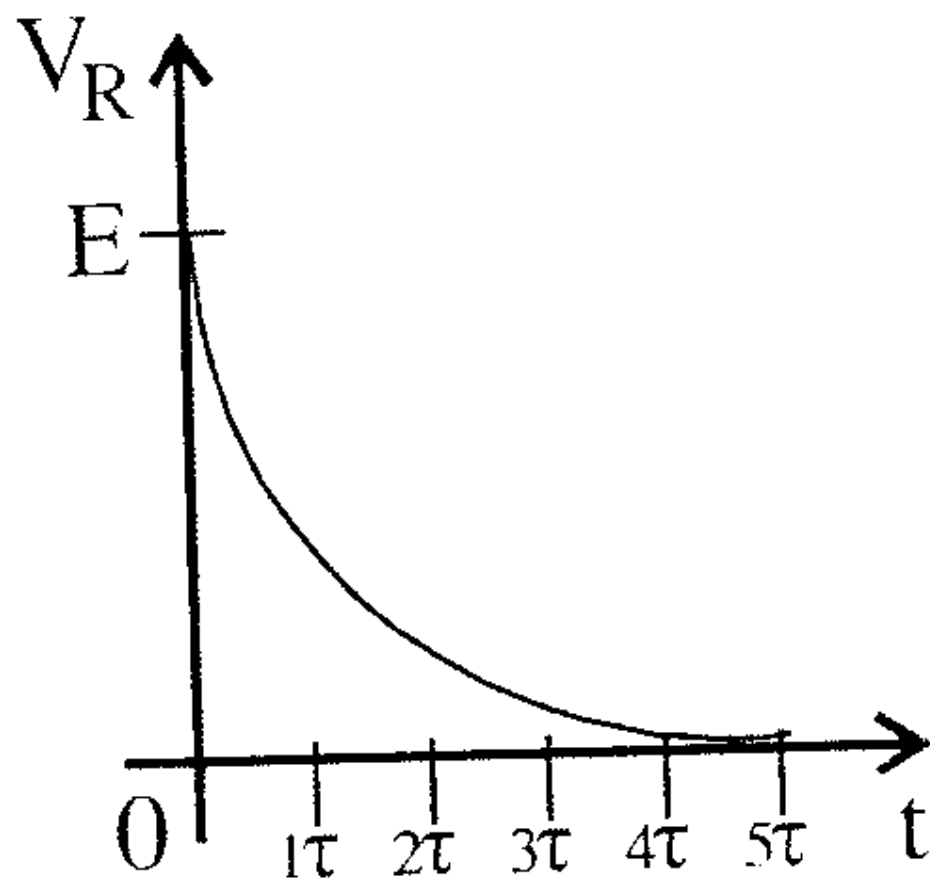
$$\therefore V_c = E (1 - e^{-t/RC})$$

$$\therefore q = V_C C = C E (1 - e^{-t/RC})$$

لإيجاد الجهد خلال المقاومة في دائرة المكثف نستعين بقانون أوم

$$V_R = i_R R = i_C R = R \frac{E}{R} e^{-t/RC}$$

$$V_R = E e^{-t/\tau}$$



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 يمضي من الوقت كي يمكن أن نفترض (في التطبيقات العملية) بأن تيار

المكثف ($i_C = 0A$) وجهد المكثف يساوي جهد المصدر ($V_C = E$).

الحل:

إيجاد قيمة الثابت الزمني

$$\tau = RC = (8k\Omega) (4\mu F)$$

$$= (8 \times 10^3) (4 \times 10^{-6}) = 32 \times 10^{-3}$$

$$\tau = 32ms$$

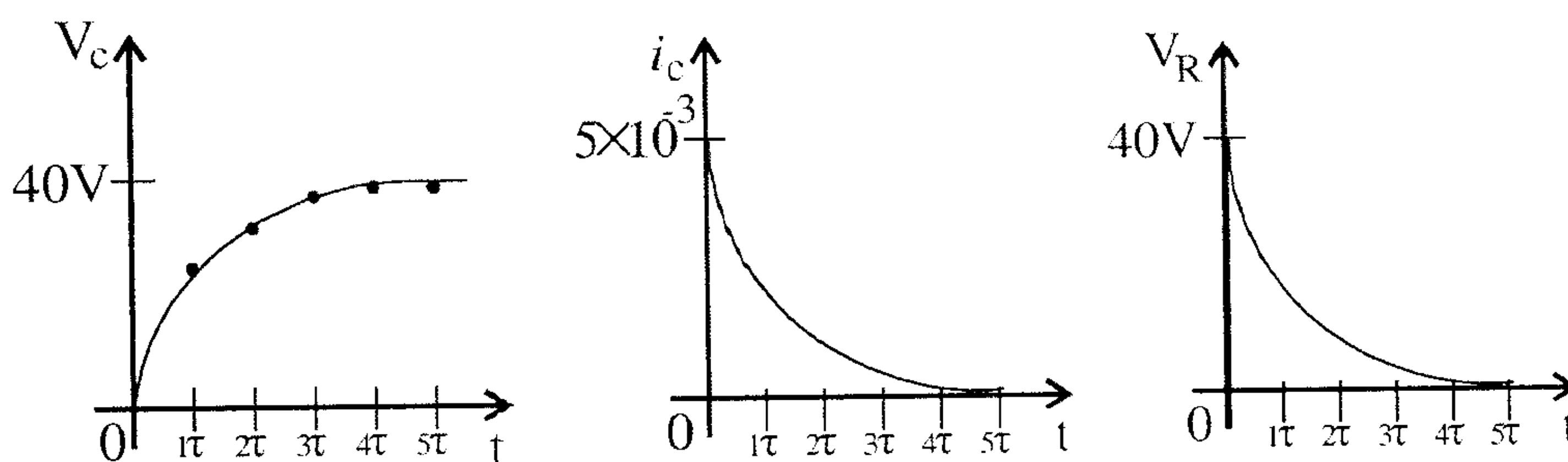
$$V_c = E(1 - e^{-t/\tau}) = 40 (1 - e^{-t/32 \times 10^{-3}}) \quad \text{جهد المكثف}$$

$$i_c = \frac{E}{R} e^{-t/\tau} = \frac{40}{8 \times 10^3} e^{-t/32 \times 10^{-3}} \quad \text{جهد المكثف}$$

$$I_c = (5 \times 10^{-3}) (e^{-t/32 \times 10^{-3}})$$

$$I_R = I_c \quad \text{تيار المقاومة}$$

$$V_R = E e^{-t/\tau} = 40 e^{-t/32 \times 10^{-3}} \quad \text{جهد المقاومة}$$

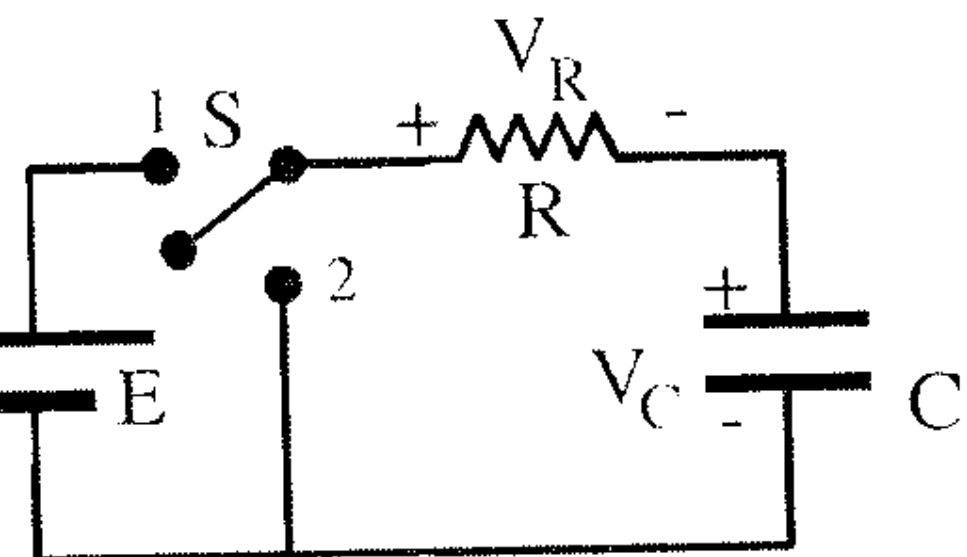


بعد مضي خمس دورات زمنية (5τ) أي نهاية الشحن يعتبر المكثف دائرة مفتوحة ويصبح جهد المصدر $E = V_c$.

وبما أن الدائرة المفتوحة لا يمر بها التيار فإن تيار المكثف في نهاية الشحن ($i_c = 0$) وهذا ما نلاحظه من العلاقات السابقة بالرسم.

$$\therefore 5\tau = (5) (32 \times 10^{-3} \text{ s}) = 160 \text{ ms}$$

3.7 تفريغ المكثفات

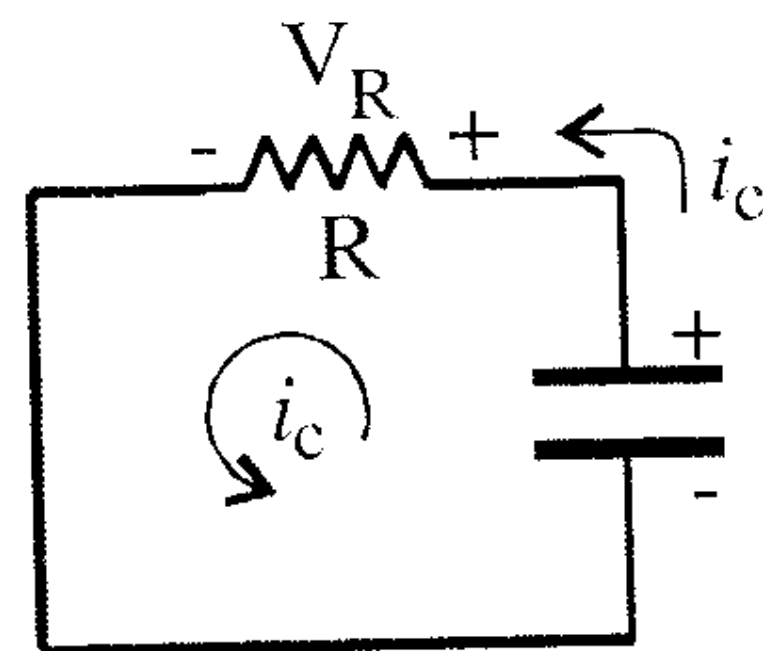


- في حالة وضع المفتاح على الوضع (2) يكون المكثف في حالة تفريغ (أي غير موصل بمصدر الجهد).

- 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:

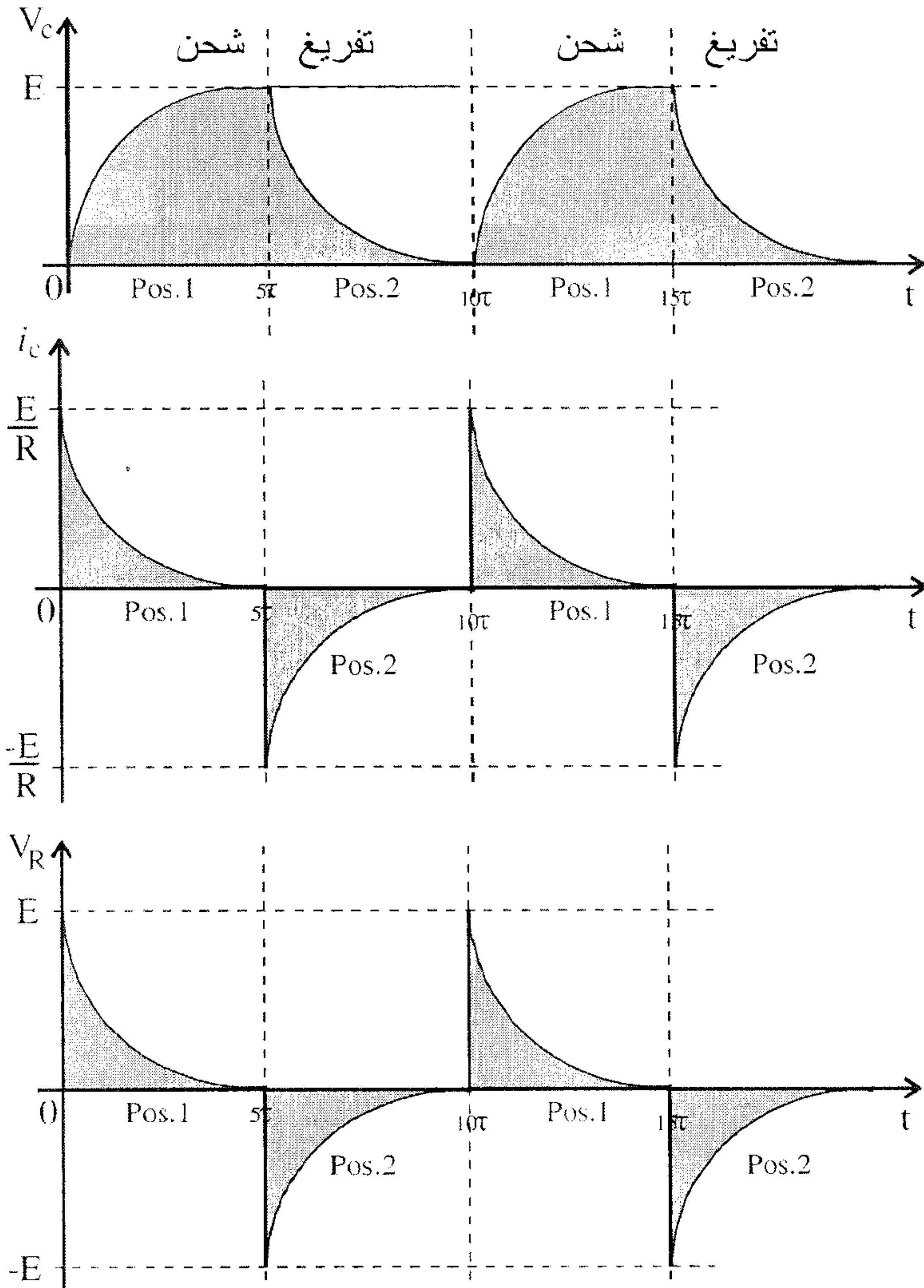
$$V_c = Ee^{-t/RC}$$

$$i_c = \frac{-E}{R} e^{-t/RC}$$

$$V_R = -Ee^{-t/RC}$$

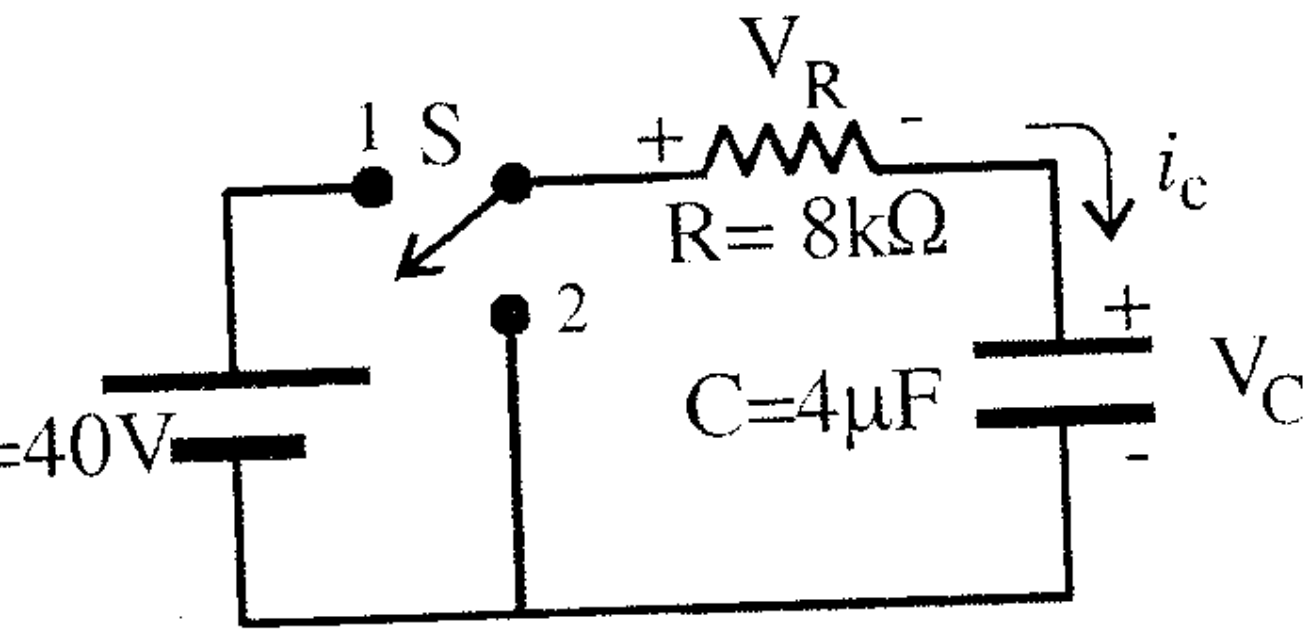
في التطبيقات العملية تتم عملية التفريغ والشحن في خمس مراحل زمنية ثابتة (5τ) وذلك من خلال تغيير وضع المفتاح ما بين الوضعين (1)، (2) كما نلاحظ في الشكل

التالي من خلال العلاقات V_R, i_C, V_C مع الزمن مع الأخذ بعين الاعتبار تغير اتجاه التيار للمكثف عند الانتقال من مرحلة الشحن إلى التفريغ وكذلك أقطاب المقاومة.



علاقة V_R, i_C, V_C مع الزمن (t) في حالتي الشحن والتفريغ للمكثف

مثال من الدائرة بالشكل التالي:



عند الزمن ($t = 0$) وضع المفتاح

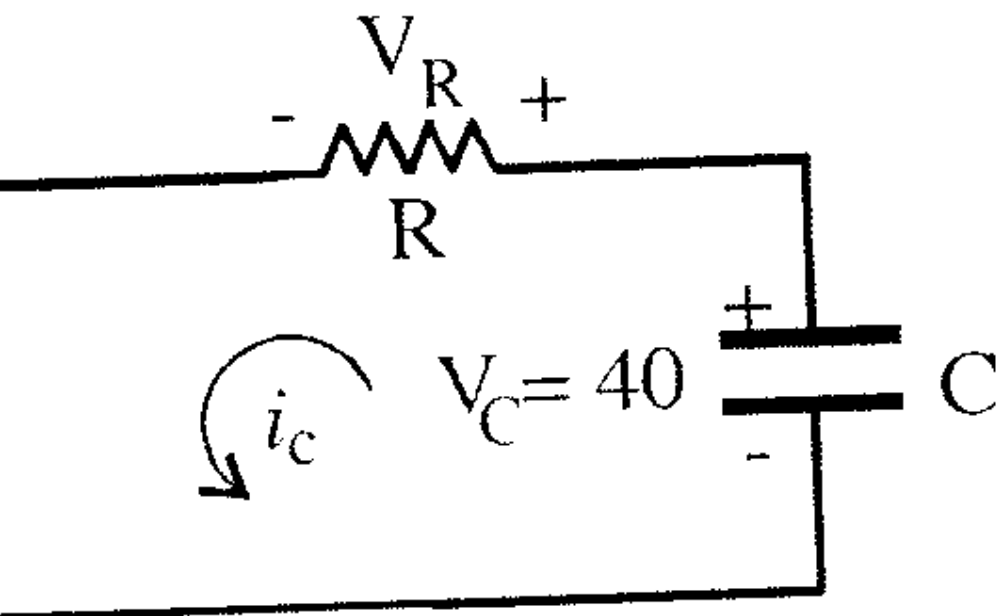
على الوضع (2) بعد أن تم شحن

المكثف إلى قيمة 40 V .

أوجد الصيغ الرياضية للسلوك الانتقالي

لـ V_R , i_c , V_C بعد نقل المفتاح للوضع (2)، ارسم العلاقات لـ V_R , i_c , V_C

الحل:



بعد إتمام عملية الشحن ونقل المفتاح للوضع (2)

يكون شكل الدائرة كالتالي:

من دائرة التفريغ نوجد الثابت الزمني

$$\tau = RC$$

$$\tau = 32\text{ms}$$

$$V_C = E e^{-t/\tau} = 40 e^{-t/32 \times 10^{-3}}$$

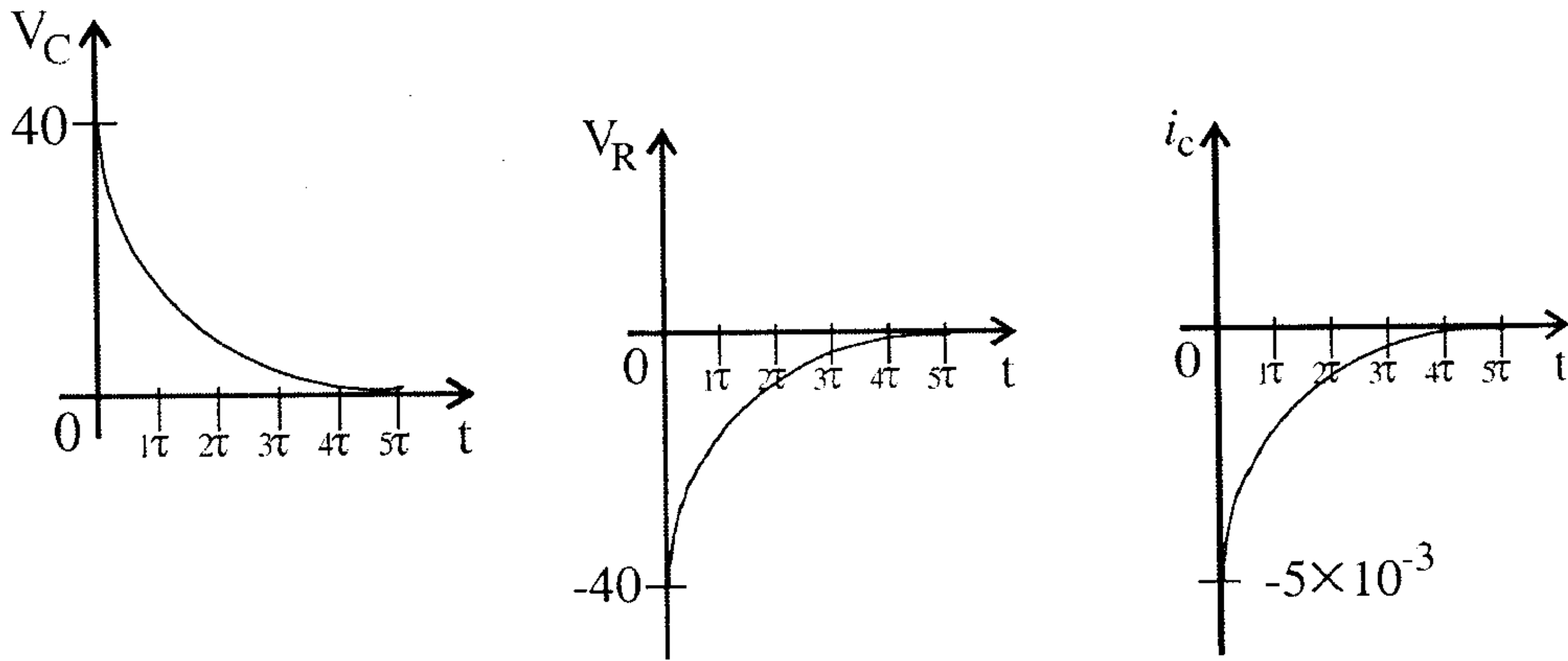
جهد المكثف عند التفريغ

$$i_c = -\frac{E}{R} e^{-t/\tau} = (-5 \times 10^{-3}) e^{-t/32 \times 10^{-3}}$$

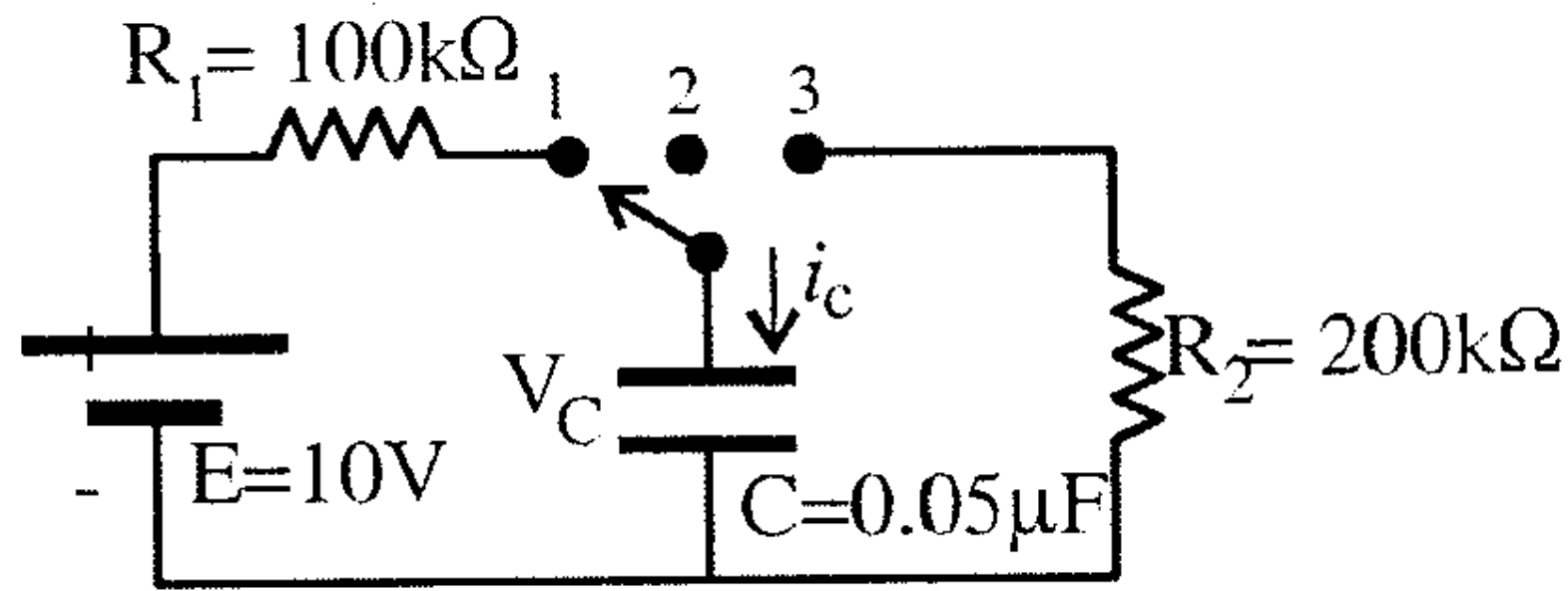
تيار المكثف عند التفريغ

$$V_R = -E e^{-t/\tau} = -40 e^{-t/32 \times 10^{-3}}$$

جهد المقاومة عند التفريغ



مثال 6.7:



1- أوجد الصيغ الرياضية للسلوك الانتقالي لجهد وتيار المكثف في الشكل الذي أمامك عندما

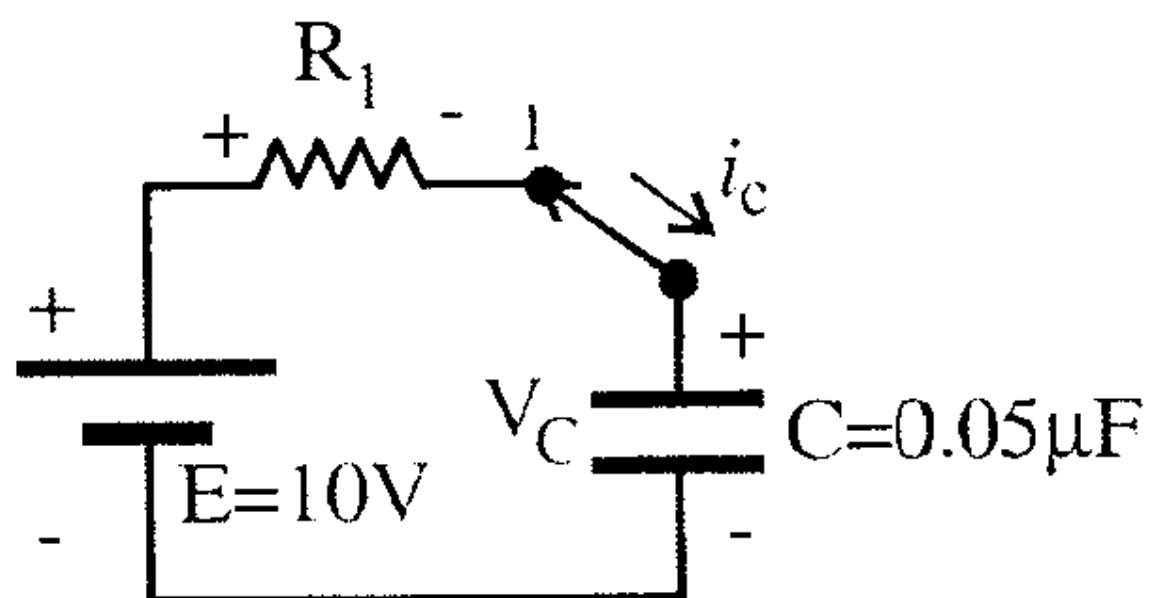
يكون المفتاح في الوضع (1) وعند الزمن $(t = 0s)$.

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 بيانياً.

الحل:



1- حالة الشحن و المفتاح على الوضع (1) المكثف موصل مع مصدر الجهد على التوالي.

$$\tau = R_1 C = (100k\Omega) (0.05\mu F)$$

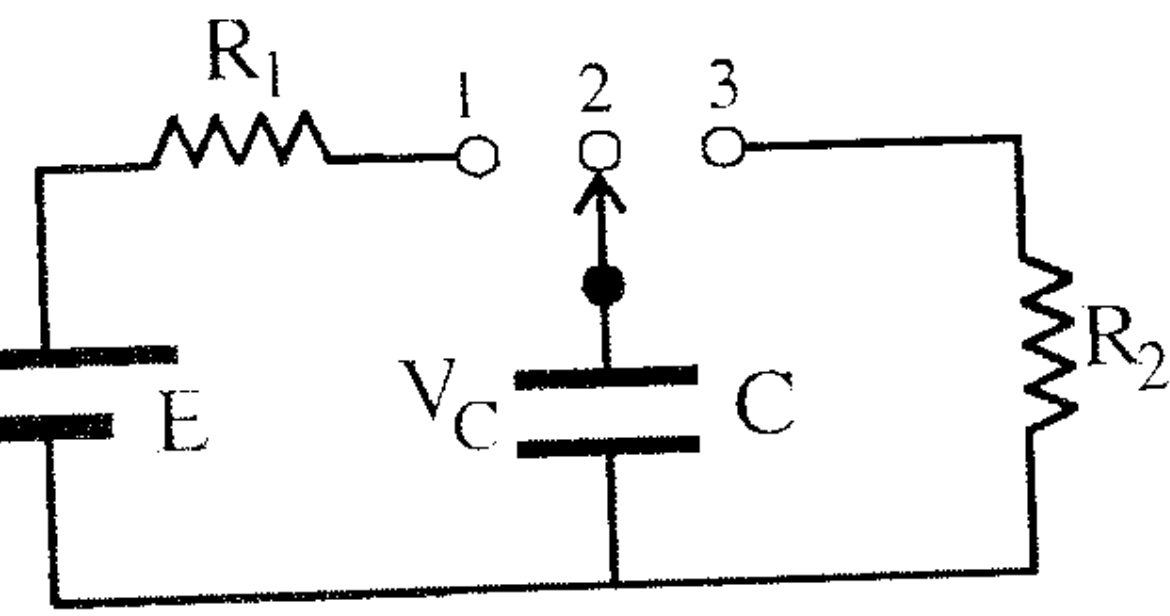
$$\tau = 5 \text{ ms}$$

$$V_c = E(1 - e^{-t/\tau})$$

$$V_c = 10(1 - e^{-t/5 \times 10^{-3}})$$

$$i_c = \frac{E}{R_1} e^{-t/\tau} = \frac{10}{100 \times 10^{-3}} e^{-t/5 \times 10^{-3}}$$

$$i_c = (0.1 \times 10^{-3}) e^{-t/5 \times 10^{-3}}$$



2- حالة التخزين ، والمفتاح على الوضع (2)

المكثف أتم عملية الشحن وصار جهده

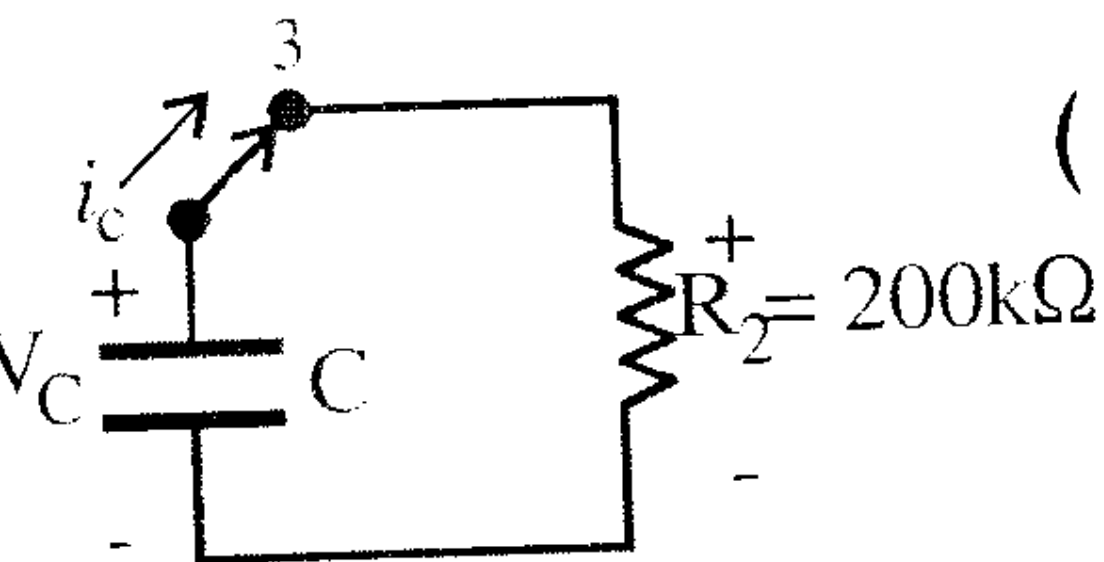
مساوياً لجهد المصدر $V_c = E = 10V$

ولحظة وضع المفتاح على الوضع (2)

تصبح جميع عناصر الدائرة في حالة دائرة مفتوحة لذلك لا يسري التيار

$$\therefore i_c = 0A$$

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

$$\tau' = R_2 C = (200k\Omega)(0.05\mu F)$$

$$\tau' = 10ms$$

$$V_C = Ee^{-t/\tau'} = (10)e^{-t/10 \times 10^{-3}}$$

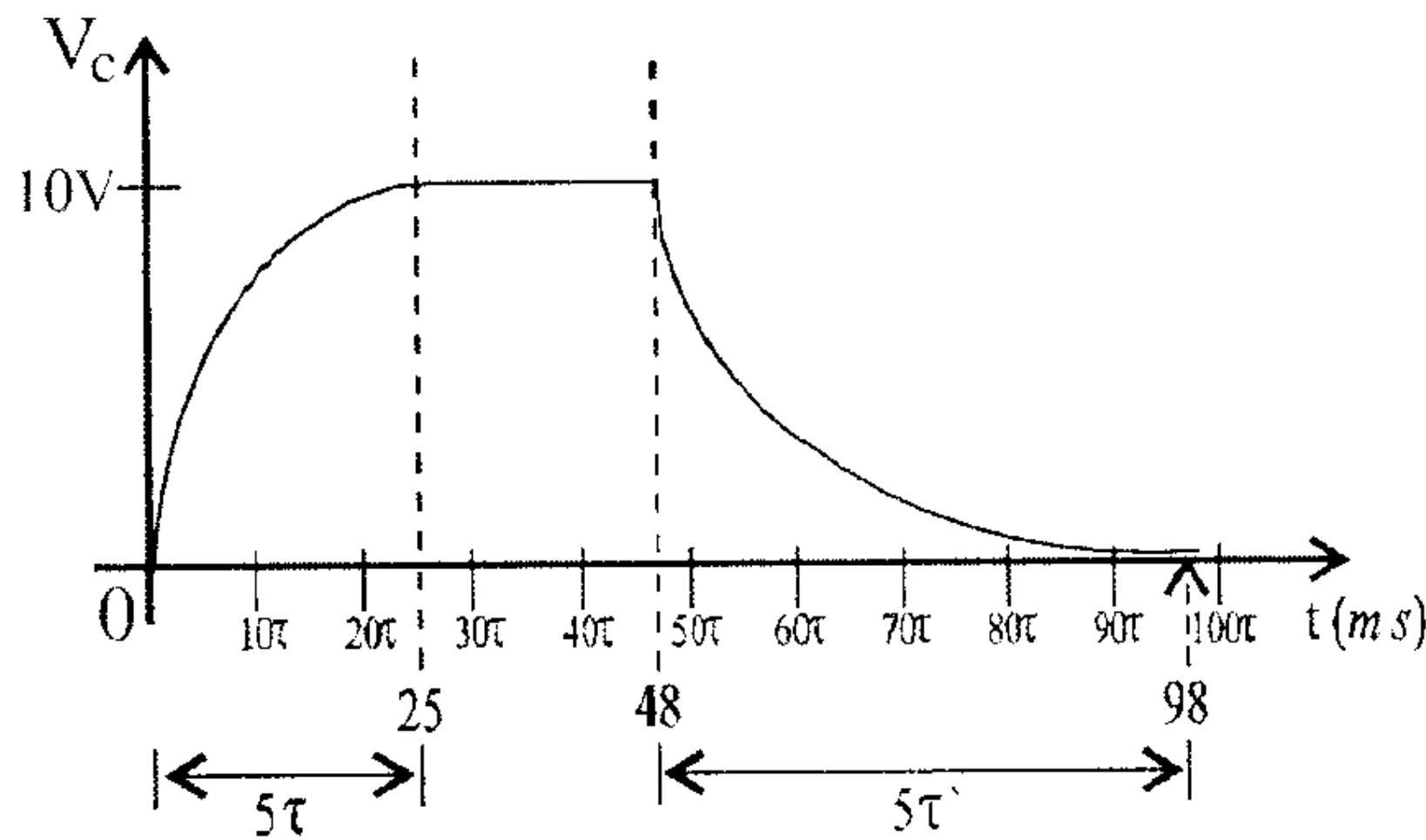
$$i_C = -\frac{E}{R_2}e^{-t/\tau'} = \left(\frac{-10}{200 \times 10^3}\right)e^{-t/10 \times 10^{-3}}$$

$$i_C = (-0.05 \times 10^{-3})e^{-t/10 \times 10^{-3}}$$

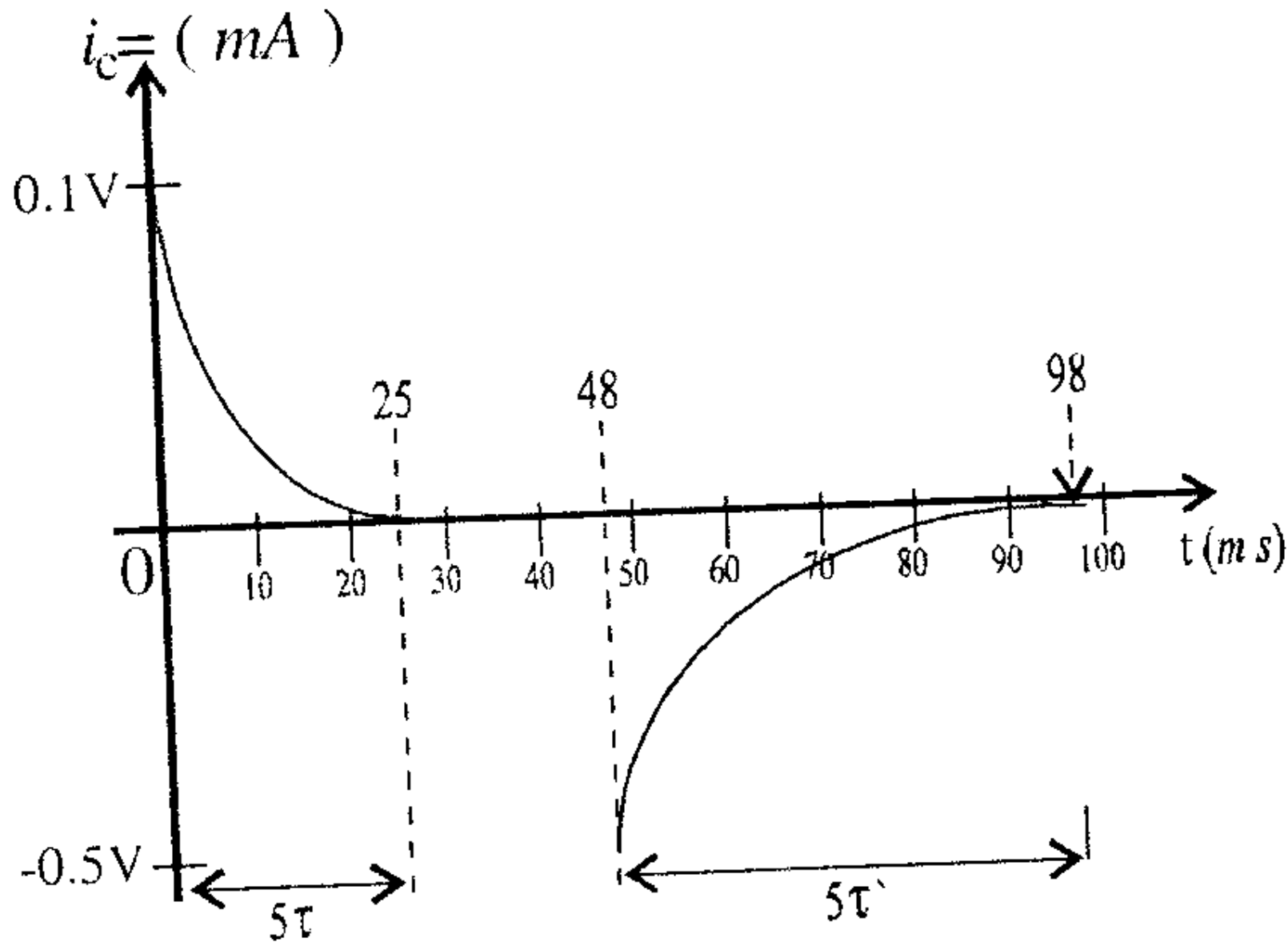
نلاحظ أن إشارة التيار في حالة التفريغ عكس الإشارة في حالة الشحن والتي تكون موجبة (لأن اتجاه التيار تغير).

4- علاقة جهد المكثف بالزمن في حالات الشحن والتخزين والتفريغ

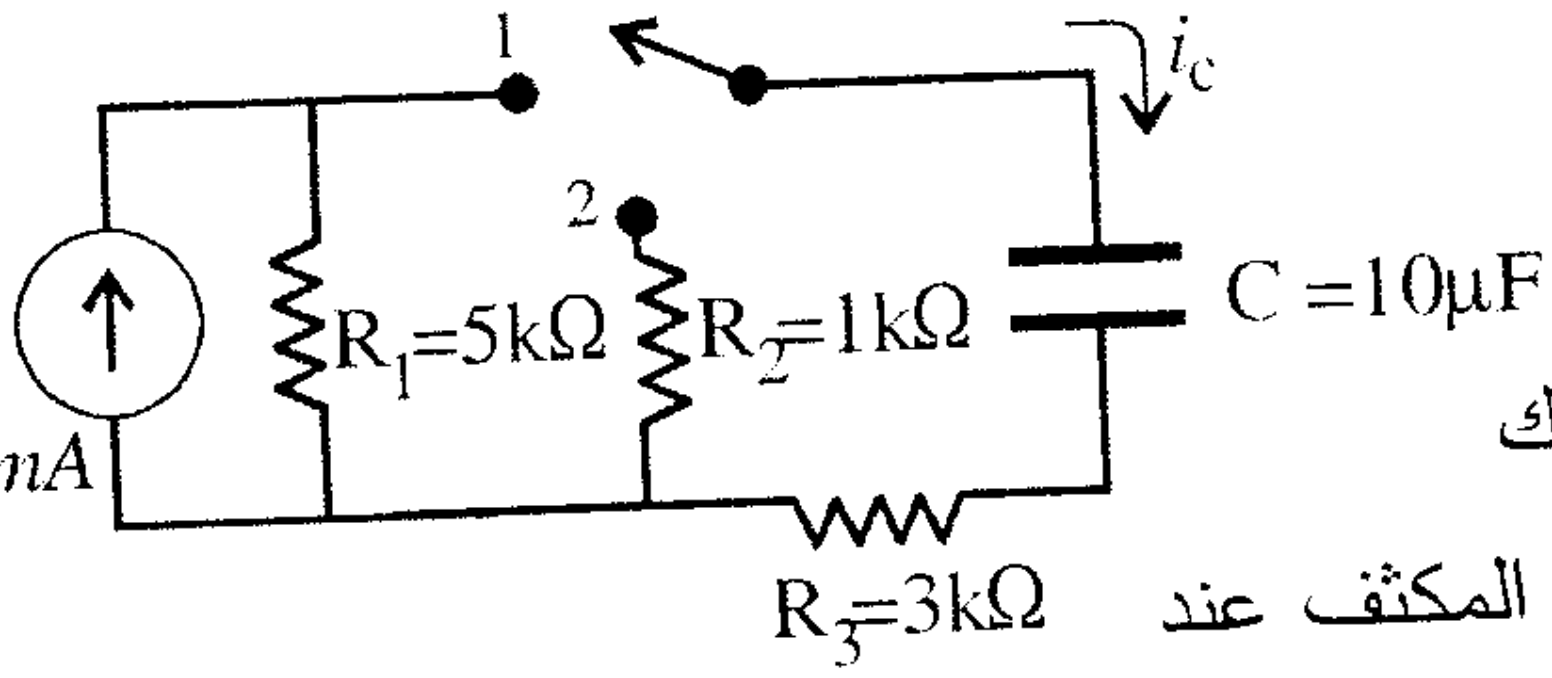
تفريغ تخزين شحن



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

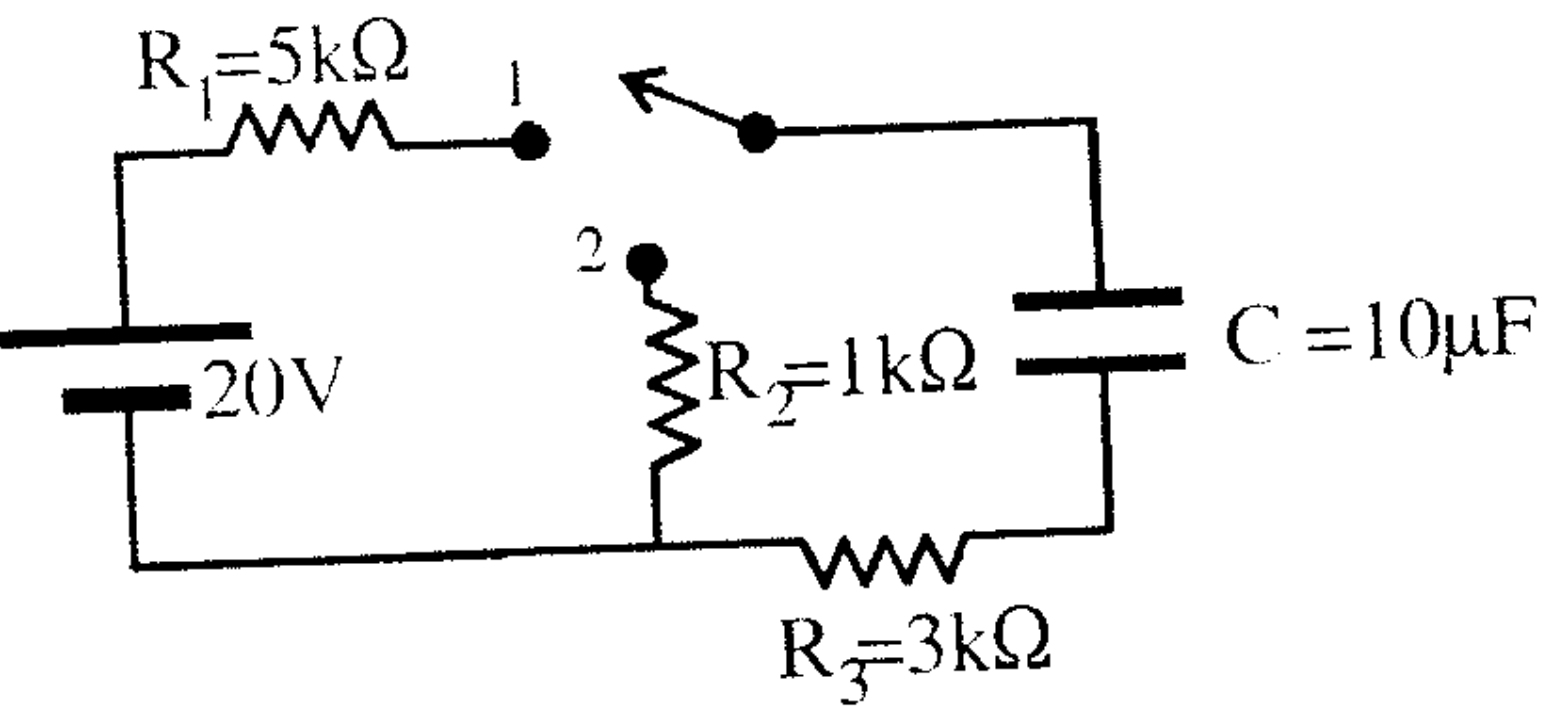
($t = 0$) وعندما يكون المفتاح على الوضع (1).

2- أوجد الصيغ الرياضية للسلوك الانتقالي للجهد والتيار خلال المكثف عند

الزمن ($t = 1\tau$) من مرحلة الشحن وعند وضع المفتاح على الوضع (2).

3- مثل العلاقات بيانيا.

الحل:



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:

$$\tau_1 = (R_1 + R_3) C$$

$$\tau_1 = (5k + 3k) 10\mu F = 80ms$$

$$V_C = E (1 - e^{-t/\tau_1}) = (20) (1 - e^{-t/80 \times 10^{-3}})$$

$$i_C = \frac{E}{R_1 + R_3} e^{-t/\tau_1}$$

$$= \left(\frac{20V}{8k\Omega} \right) e^{-t/80 \times 10^{-3}}$$

$$i_C = (2.5 \times 10^{-3}) e^{-t/80 \times 10^{-3}}$$

-2 مرحلة التفريغ : عند الزمن

$$t = 1\tau_1$$

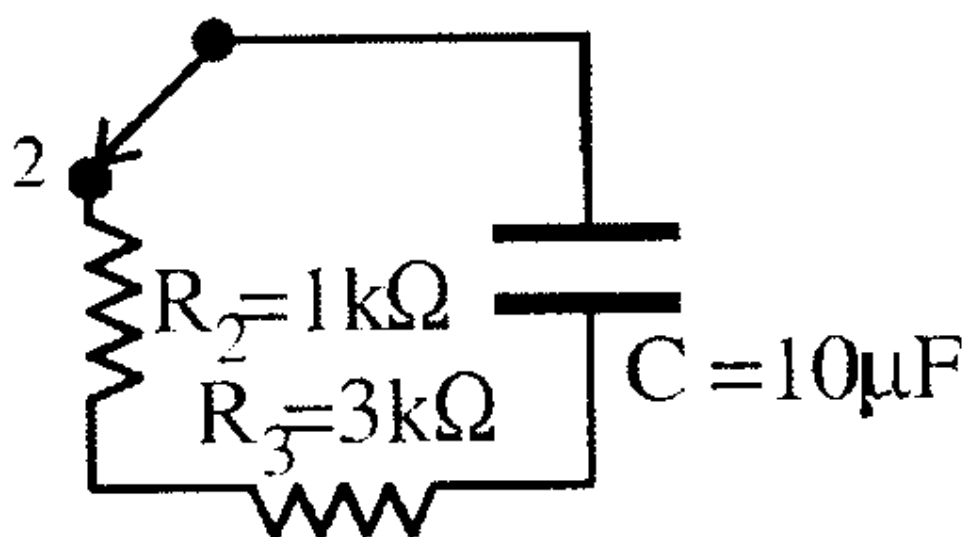
جهد نهاية الشحن = جهد بداية التفريغ

$$V'_C = E (1 - e^{-t/\tau_1}) = E (1 - e^{-1\tau_1/\tau_1})$$

$$= 20(1 - e^{-1}) = 20(1 - 0.3678)$$

$$V'_C = 12.64V$$

الثابت الزمني في مرحلة التفريغ



$$\tau_2 = (R_2 + R_3) C$$

$$= (4k\Omega) (10\mu F)$$

$$\tau_2 = 40ms$$

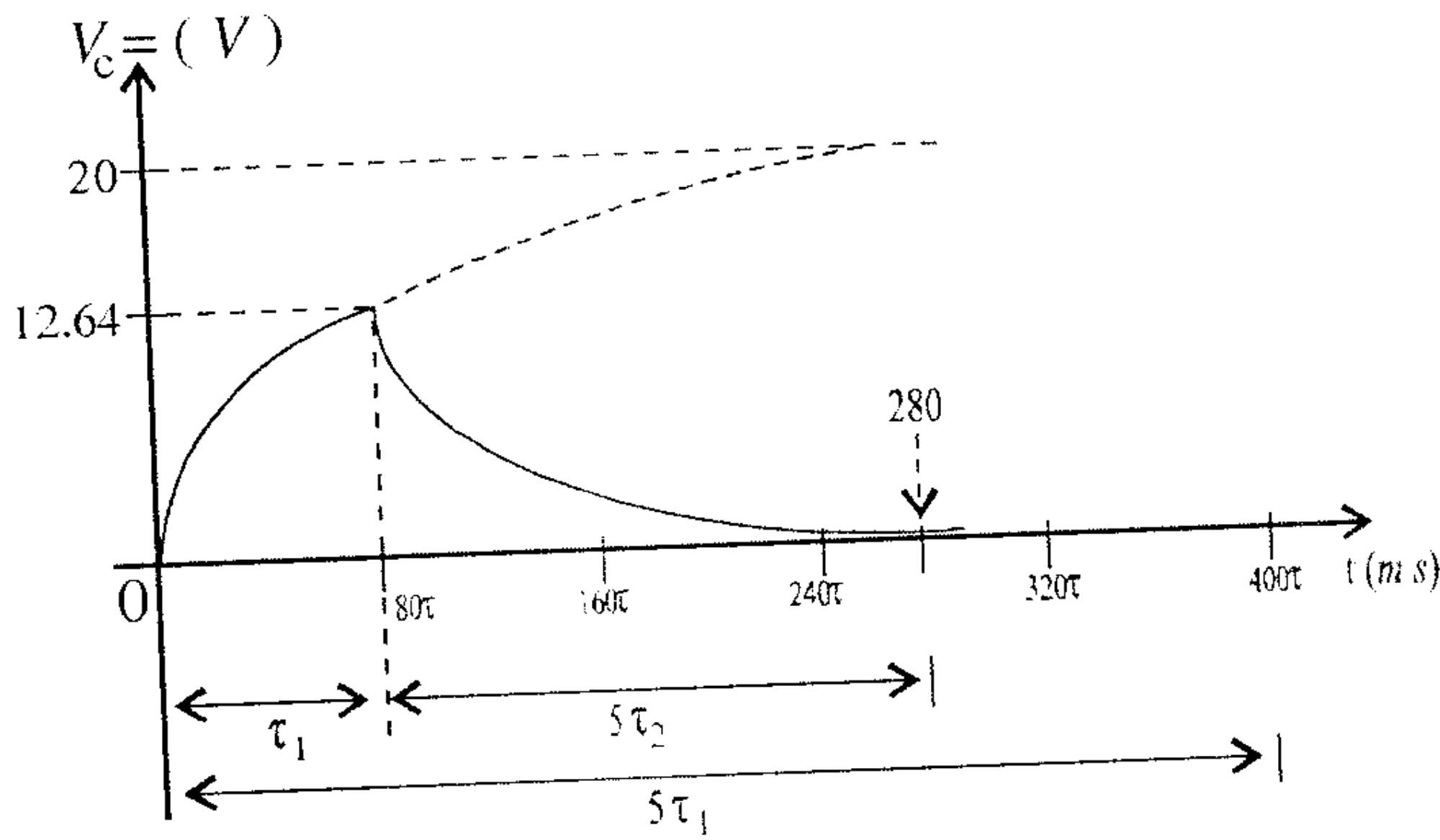
$$\therefore V_C = V_C' e^{-t/\tau_2}$$

$$V_C = (12.64)e^{-t/40 \times 10^{-3}}$$

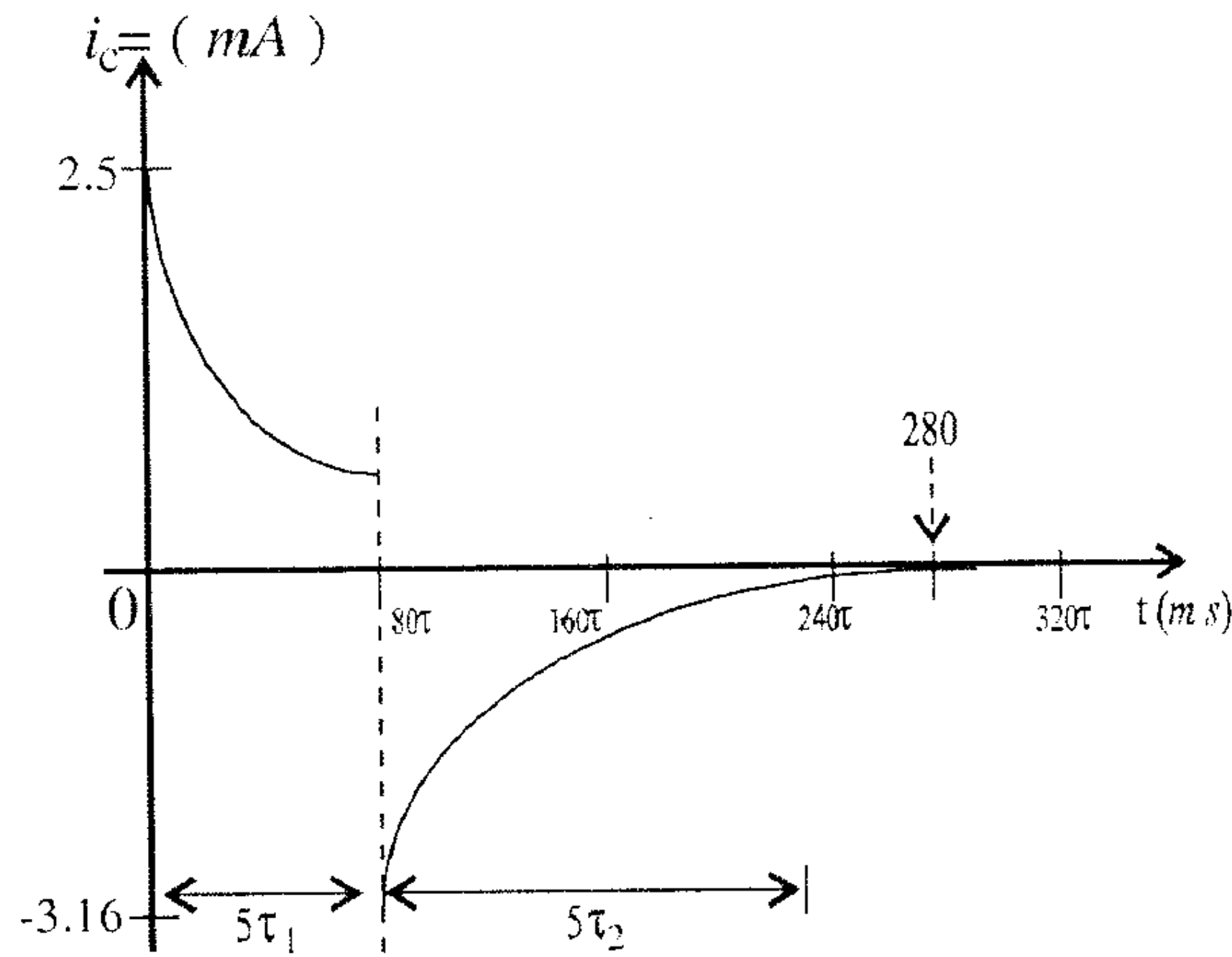
$$i_C = \left(\frac{-V_C'}{R_2 + R_3} \right) e^{-t/\tau_2} = \left(\frac{-12.64V}{4k\Omega} \right) e^{-t/40 \times 10^{-3}}$$

$$i_C = (-3.16 \times 10^{-3}) e^{-t/40 \times 10^{-3}}$$

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

$$V_C = E (1 - e^{-t/RC})$$

$$E = 20V$$

فإذا علمنا جهد المصدر في الدائرة

$$\tau = RC = 2ms$$

وقيمة الثابت الزمني

ومن علاقة الجهد بالزمن عمليا نجد أن

$$t = 5ms$$

جهد المكثف عند الزمن

$$t = 2.5\tau$$

أي

(عمليا)

$$V_C = 18.6V$$

يكون الجهد

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

$$V_C = E (1 - e^{-t/\tau}) \quad \text{ومن المعادلة}$$

وباستخدام اللوغاريتمات 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

$$V_C = E e^{-t/\tau}$$

$$\frac{V_C}{E} = e^{-t/\tau}$$

$$\log\left(\frac{V_C}{E}\right) = \log(e^{-t/\tau})$$

$$\log\left(\frac{V_C}{E}\right) = \frac{-t}{\tau}$$

$$t = -\tau \log\left(\frac{V_C}{E}\right)$$

وباستخدام معادلة تيار المكثف يمكن إيجاد الزمن

$$i_C = \frac{E}{R} e^{-t/\tau}$$

$$\frac{R i_C}{E} = e^{-t/\tau}$$

$$\log\left(\frac{R i_C}{E}\right) = \log(e^{-t/\tau})$$

$$-\frac{t}{\tau} = \log\left(\frac{R i_C}{E}\right)$$

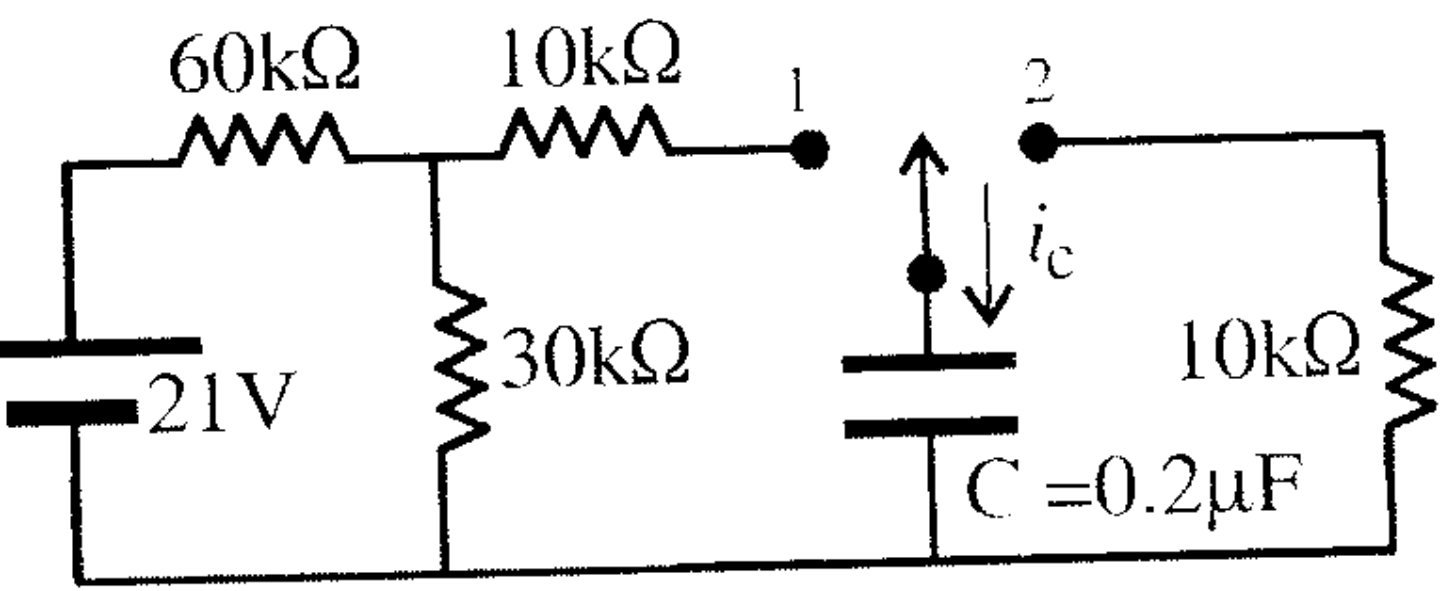
$$t = -\tau \log\left(\frac{R i_C}{E}\right)$$

5.7 القيمة $\tau = R_{th} C$

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، وفي هذه الحالات نستخدم نظرية ثيفن لإيجاد قيمة (R_{Th}) ومنها يمكن إيجاد (τ) حيث تساوي

$$\tau = R_{Th} C$$

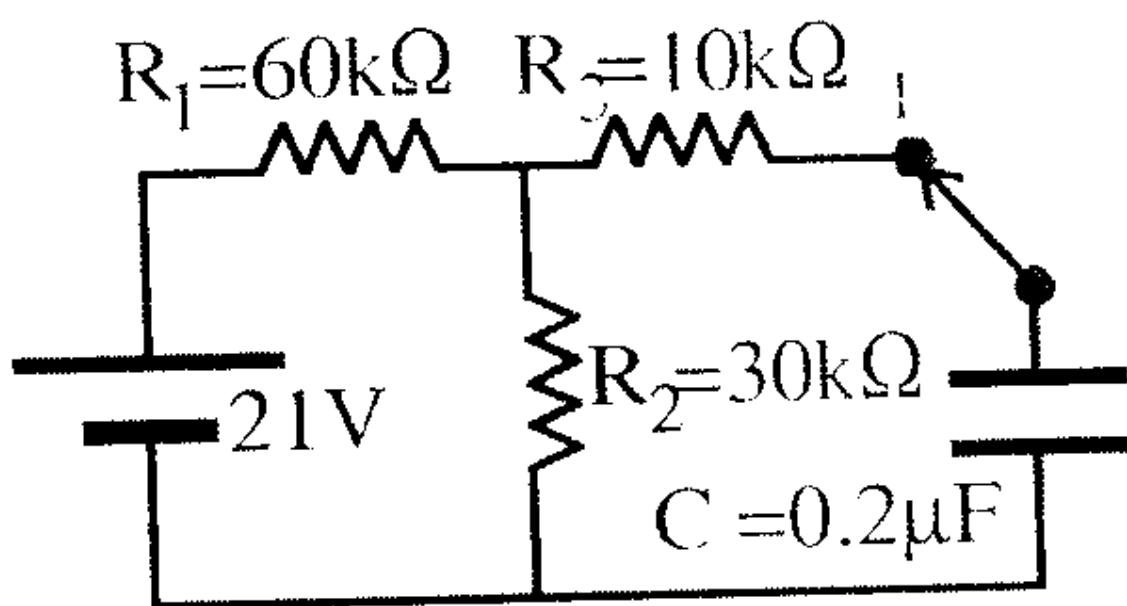
والمثال التالي يوضح طريقة إيجاد (τ) بطريقة ثيفن.



مثال 8.7: من الدائرة بالشكل التالي:

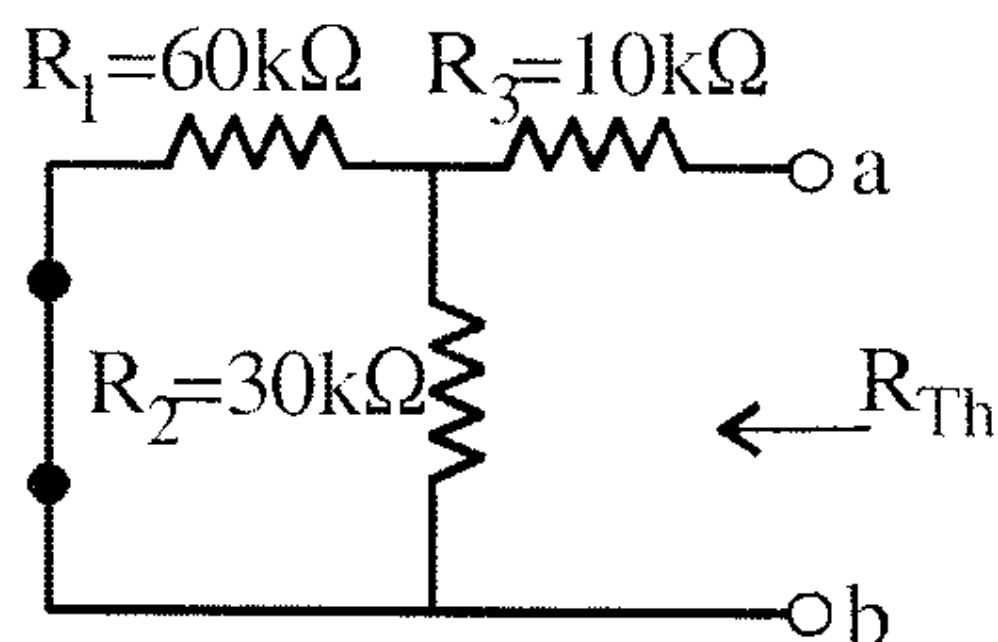
- 1- أوجد الصيغ الرياضية للسلوك الانتقالي للجهد (V_C) والتيار (i_c) عند وضع المفتاح على الوضع (1) وعند الزمن $(t = 0s)$.
- 2- أوجد الصيغ الرياضية للسلوك الانتقالي للجهد (V_C) والتيار (i_c) عندما يتغير المفتاح على الوضع (2) وعند الزمن $(t = 9ms)$.
- 3- ارسم العلاقات في الفترتين (1) و (2) بيانياً.

الحل:



- 1- مرحلة الشحن وضع المفتاح (1) نستخدم نظرية ثيفن لإيجاد R_{Th} ومنها يمكن حساب الثابت الزمني τ

$$R_{Th} = R_1 // R_2 + R_3$$

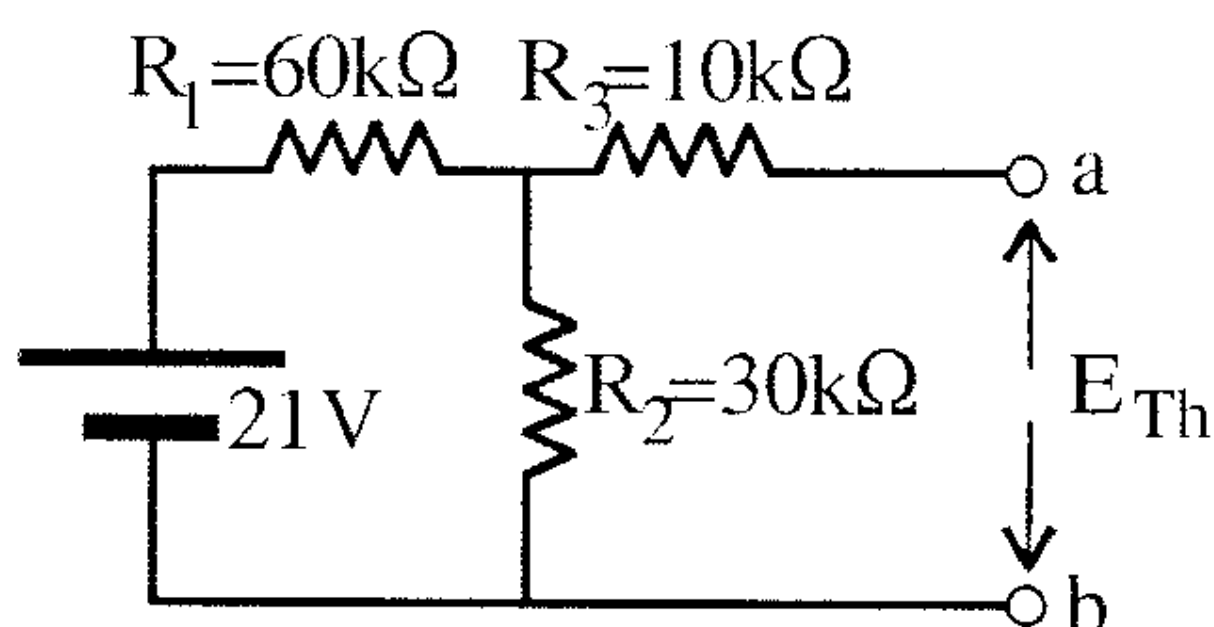


$$= \frac{(60)(30)}{60 + 30} + 10$$

$$= 20k\Omega + 10k\Omega$$

$$R_{Th} = 30k\Omega$$

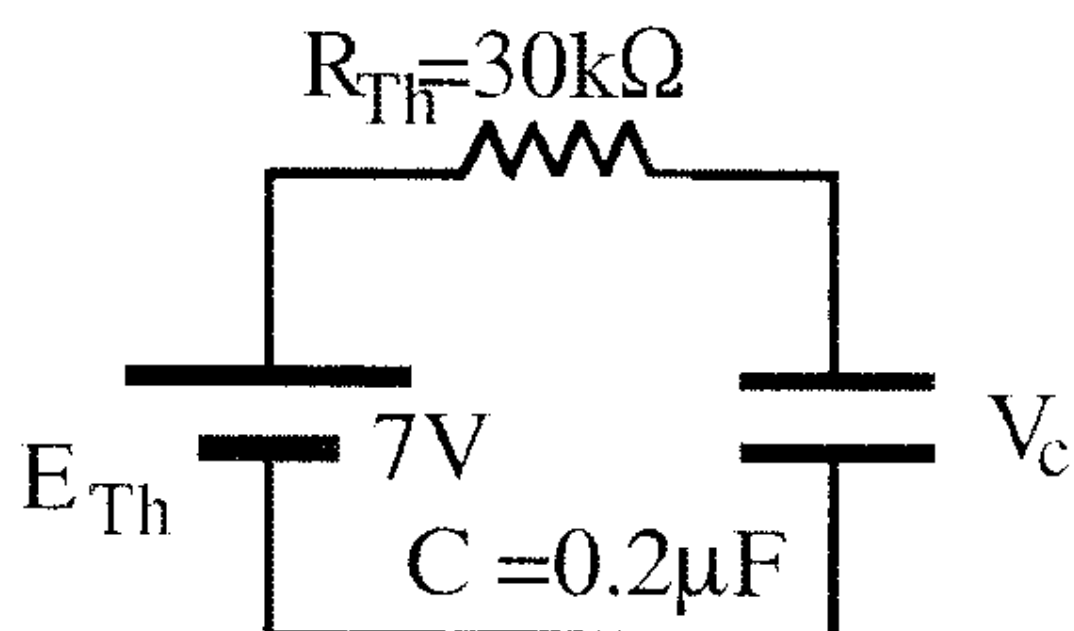
وكذلك يجب إيجاد E_{th} باستخدام قانون مجزئ الجهد



$$E_{Th} = \frac{R_2 E}{R_1 + R_2}$$

$$E_{Th} = \frac{(30k)(21V)}{60k + 30k} = \frac{21}{3}$$

$$E_{Th} = 7V$$



وبالتالي نحصل على الدائرة المكافئة:

ومنها يمكن إيجاد كل من :-

$$\tau = R_{th} C$$

$$= (30k\Omega) (0.2\mu F) = 6ms$$

$$V_C = E_{th} (1 - e^{-t/\tau})$$

$$V_C = 7(1 - e^{-t/6 \times 10^{-3}})$$

$$i_c = \frac{E_{th}}{R_{th}} e^{-t/\tau}$$

$$i_c = \frac{7V}{30k\Omega} e^{-t/6 \times 10^{-3}}$$

$$i_c = (0.233 \times 10^{-3}) e^{-t/6 \times 10^{-3}}$$

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

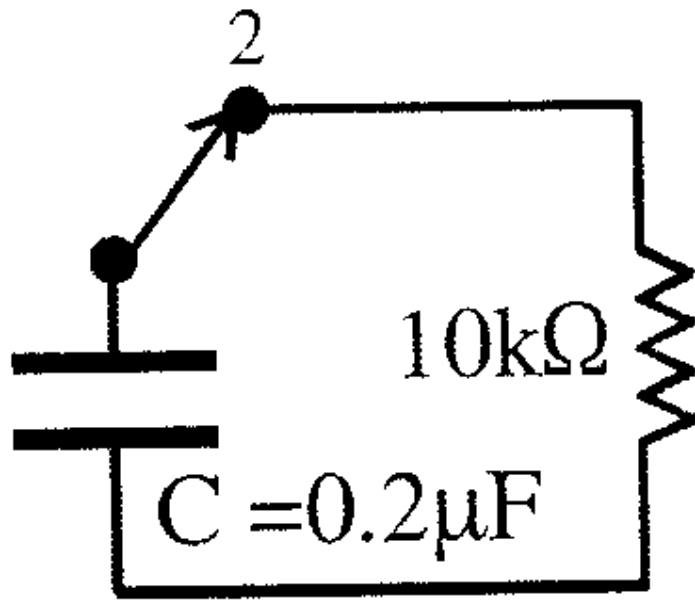
$$i_c = \frac{E_{th}}{R_{th}} e^{-t/\tau}$$

$$= \frac{7V}{30k\Omega} e^{-9ms/6ms} = (0.233 \times 10^{-1.5})(e^{-1.5})$$

$$i_c = 0.052mA$$

في دائرة التفريغ عند نقل المفتاح للوضع (2) تلغى المقاومات R_1, R_2, R_3 وكذلك مصدر الجهد لأن جميعها تقع كدائرة مفتوحة ويصبح شكل الدائرة كالتالي:

وبذلك يمكن حساب الثابت الزمني في حالة التفريغ من الدائرة التالية



$$\tau' = R_4 C$$

$$= (10k\Omega) (0.2\mu F) = 2ms$$

ليكون جهد المكثف وتياره في حالة التفريغ كالتالي:

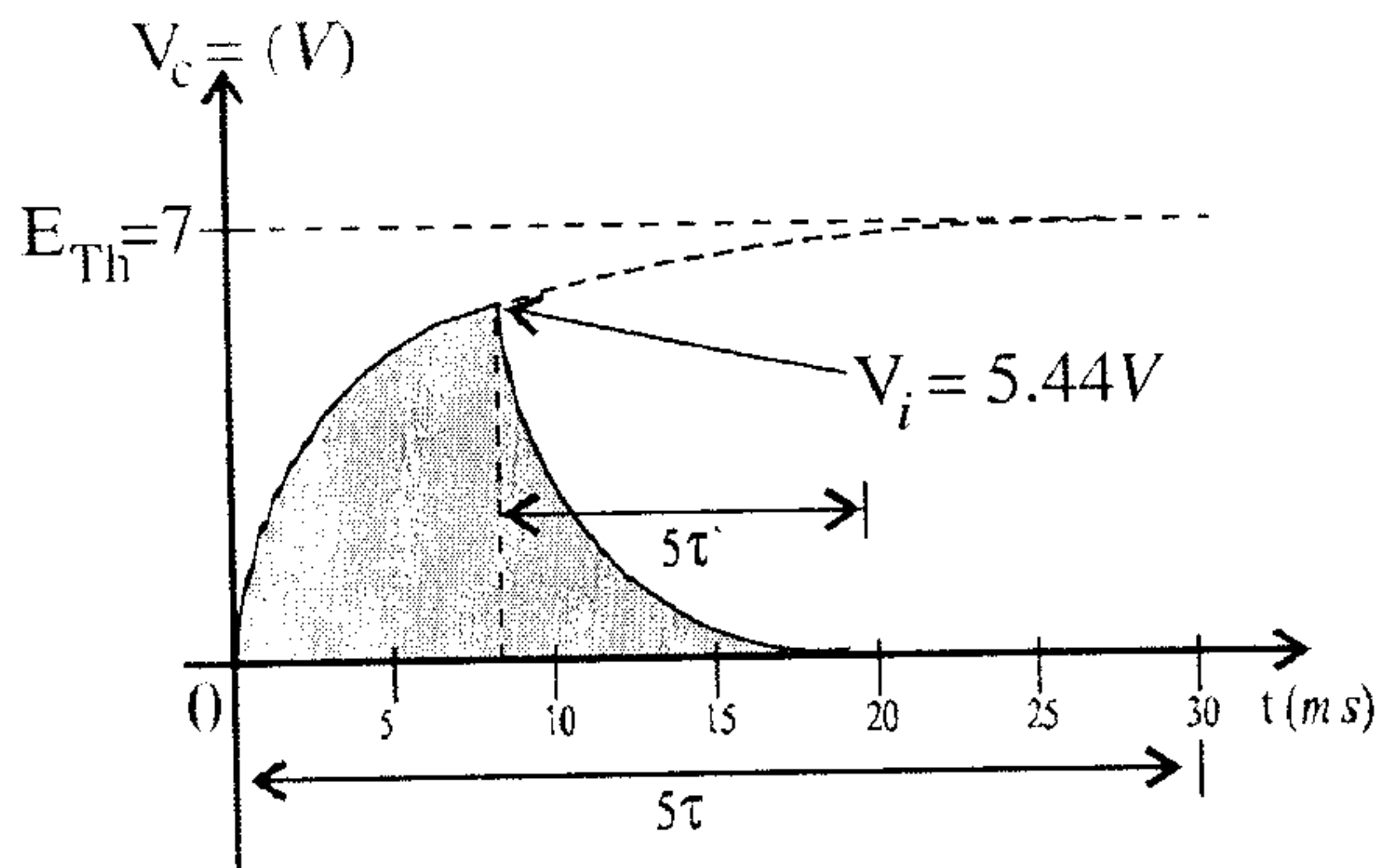
$$V_C = V_C' e^{-t/\tau'} = (5.44)e^{-t/2 \times 10^{-3}}$$

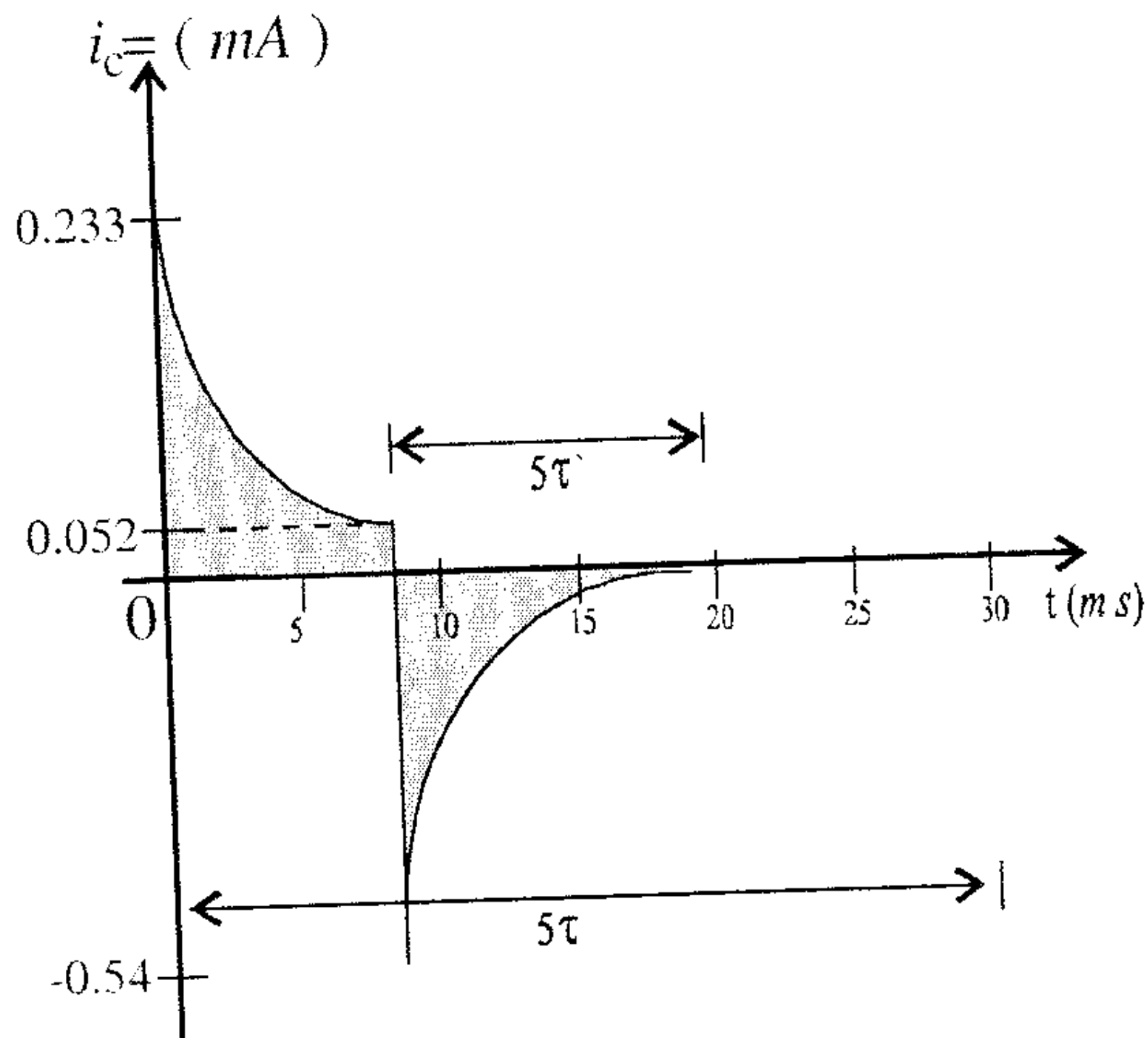
$$i_C = -\frac{V_C'}{R_4} e^{-t/\tau'}$$

$$= \frac{-(5.44V)}{10k\Omega} e^{-t/2 \times 10^{-3}}$$

$$i_C = -(0.544 \times 10^{-3}) e^{-t/2 \times 10^{-3}}$$

-3





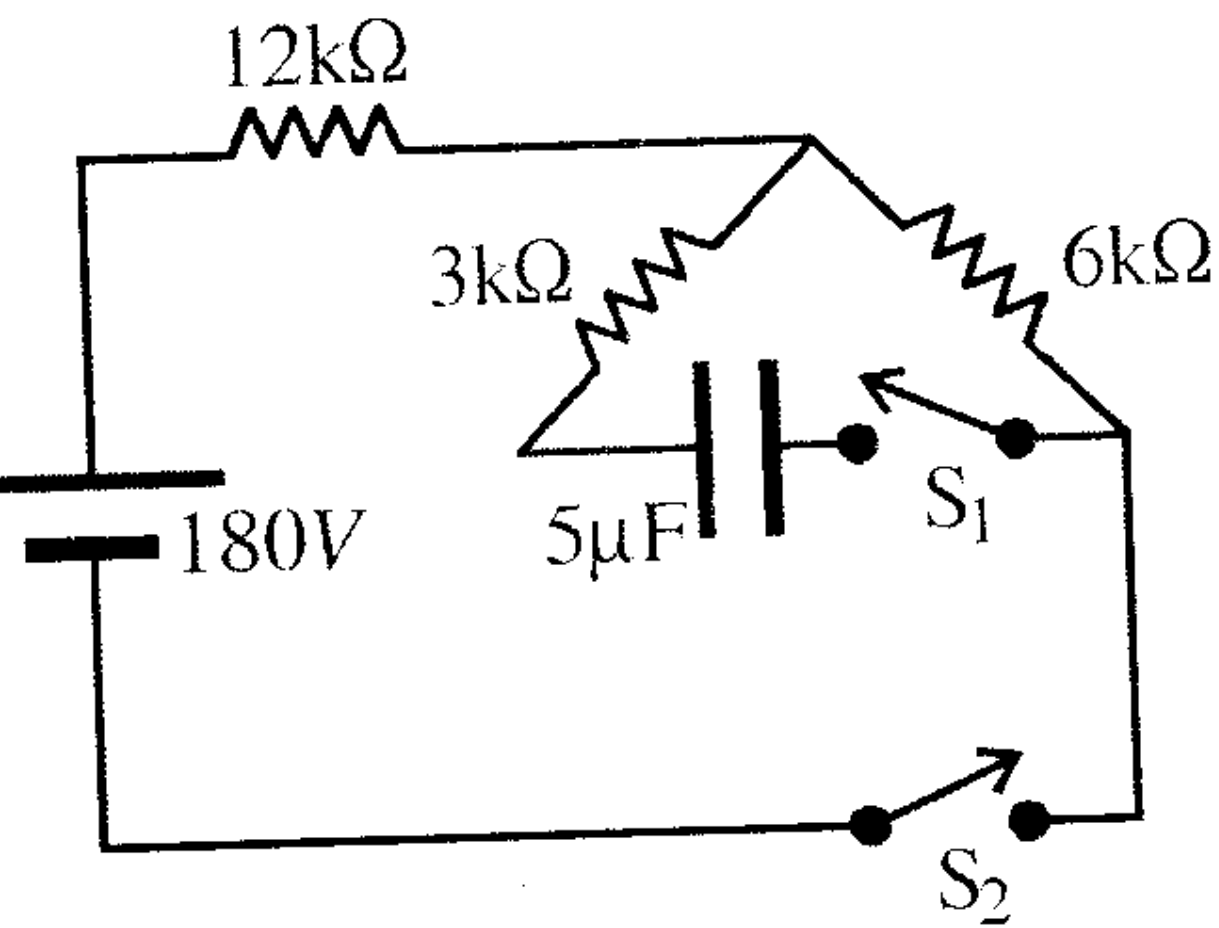
مثال 9.7:

1- عند الزمن ($t = 0s$) أغلق المفتاحان

S_1 و S_2 ، أوجد :

1- الثابت الزمني.

2- جهد المكثف عند ($t = 3\tau$) .



2- عند الزمن ($t = 70ms$) فتح المفتاح

(S_2) وأبقى المفتاح (S_1) مغلقاً أوجد:

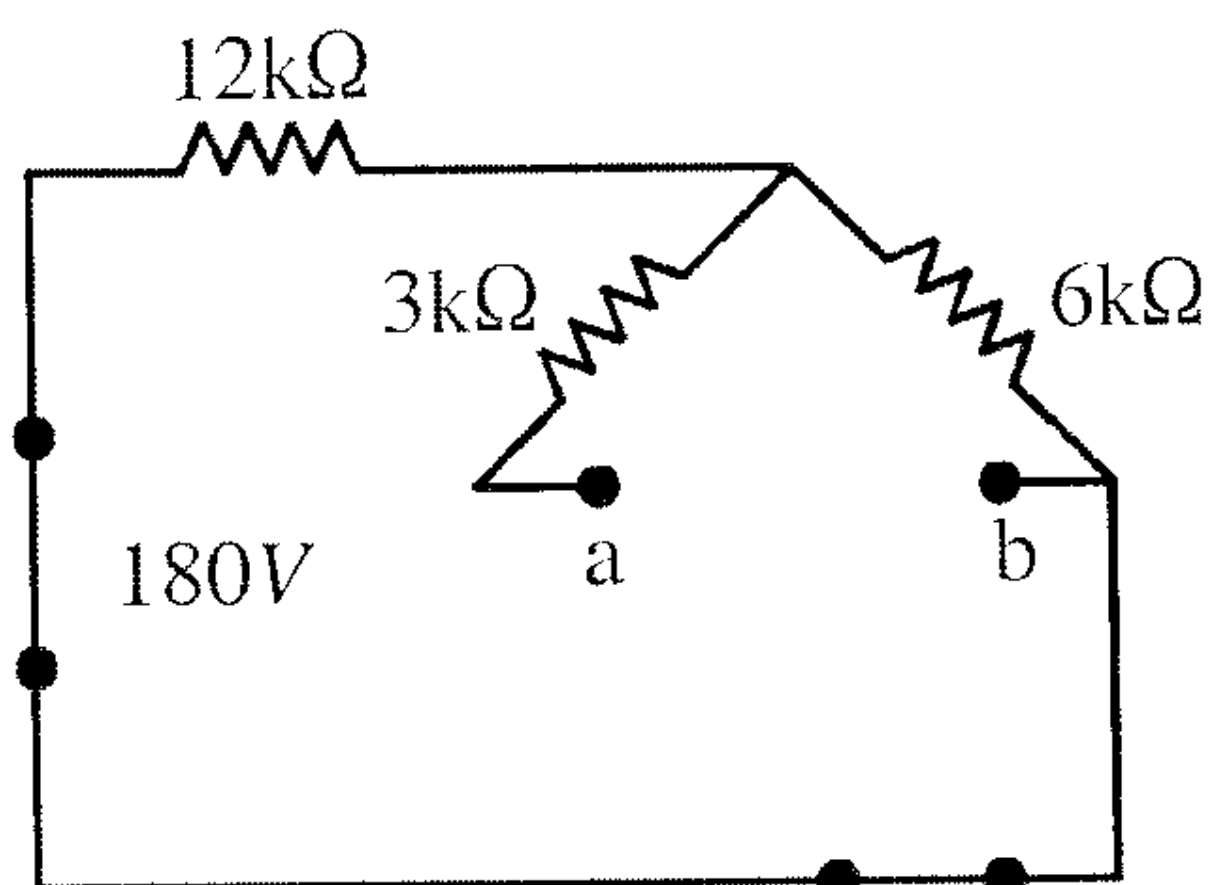
1- الثابت الزمني.

2- الزمن اللازم قبل فتح المفتاحين S_1 و S_2 لكي تبقى شحنة

مقدارها ($57.9\mu C$) على لوح المكثف.

الحل:

1- عند الزمن $t = 0$ أغلق S_1 و S_2 دائرة شحن نستخدم نظرية ثيفنن لإيجاد R_{Th} :



$$R_{Th} = 12k\Omega // 6k\Omega + 3k\Omega$$

$$= 4k\Omega + 3k\Omega$$

$$R_{Th} = 7k\Omega$$

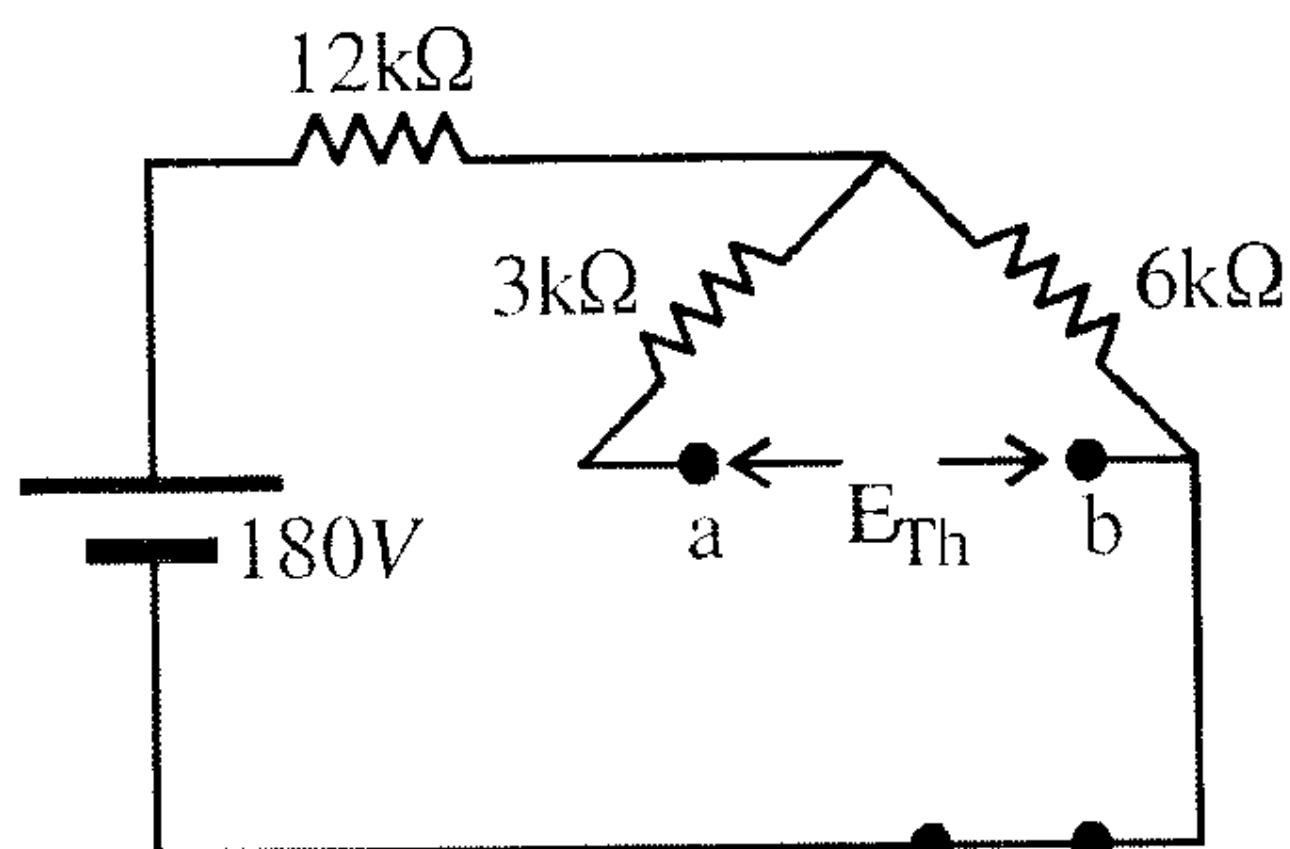
$$\tau = R_{Th}C = (7k\Omega)(5\mu F) = 35ms$$

لإيجاد E_{Th} :

المقاومة 3k تلغى (دائرة مفتوحة)

$$E_{Th} = V_{6k\Omega} \longrightarrow \text{بالتوازي}$$

نستخدم قانون مجزئ الجهد



$$E_{Th} = \frac{(180V)(6k\Omega)}{6k\Omega + 12k\Omega} = \frac{1080}{18} = 60V$$

حساب جهد المكثف عندما ($t = 3\tau$)

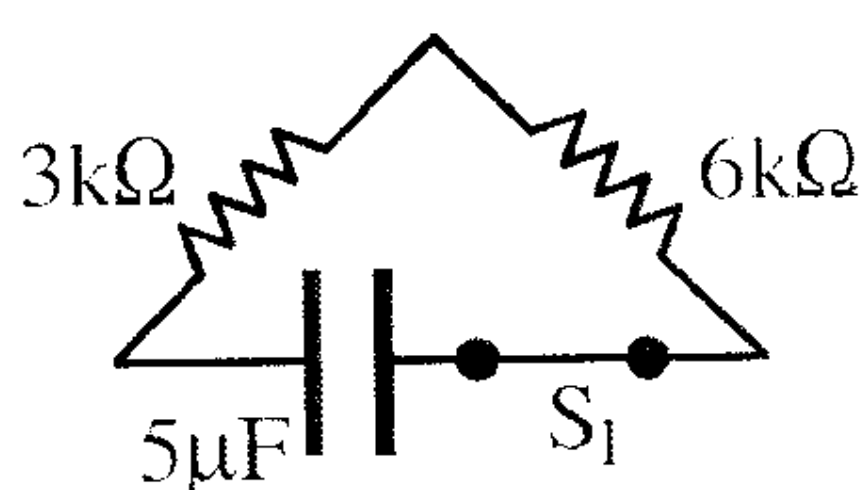
$$V_c = E_{Th}(1 - e^{-t/\tau}) = 60(1 - e^{-3\tau/\tau})$$

$$V_c = 60(1 - e^{-3}) = 57$$

2- عند الزمن ($t = 70ms$) فتح S_2 وبقي S_1 مغلقا

المقاومة 12kΩ والمصدر 180V دائرة مفتوحة

بداية التفريغ



$$\tau' = (3k\Omega + 6k\Omega)(5\mu F) - 1$$

$$\tau' = 45ms$$

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 :

$$V_C = V'_C e^{-t/\tau}$$

$$\frac{Q}{C} = (51.88)(e^{-t/45 \times 10^{-3}})$$

$$\frac{57.9\mu C}{5\mu F} = (51.88)(e^{-t/45 \times 10^{-3}})$$

$$\frac{57.9}{(5)(51.88)} = e^{-t/45 \times 10^{-3}}$$

$$\log(0.223) = \frac{-t}{45 \times 10^{-3}}$$

$$t = -(45 \times 10^{-3}) [\log (0.223)]$$

$$t = 0.0675 \text{ s} = 67.5 \text{ ms}$$

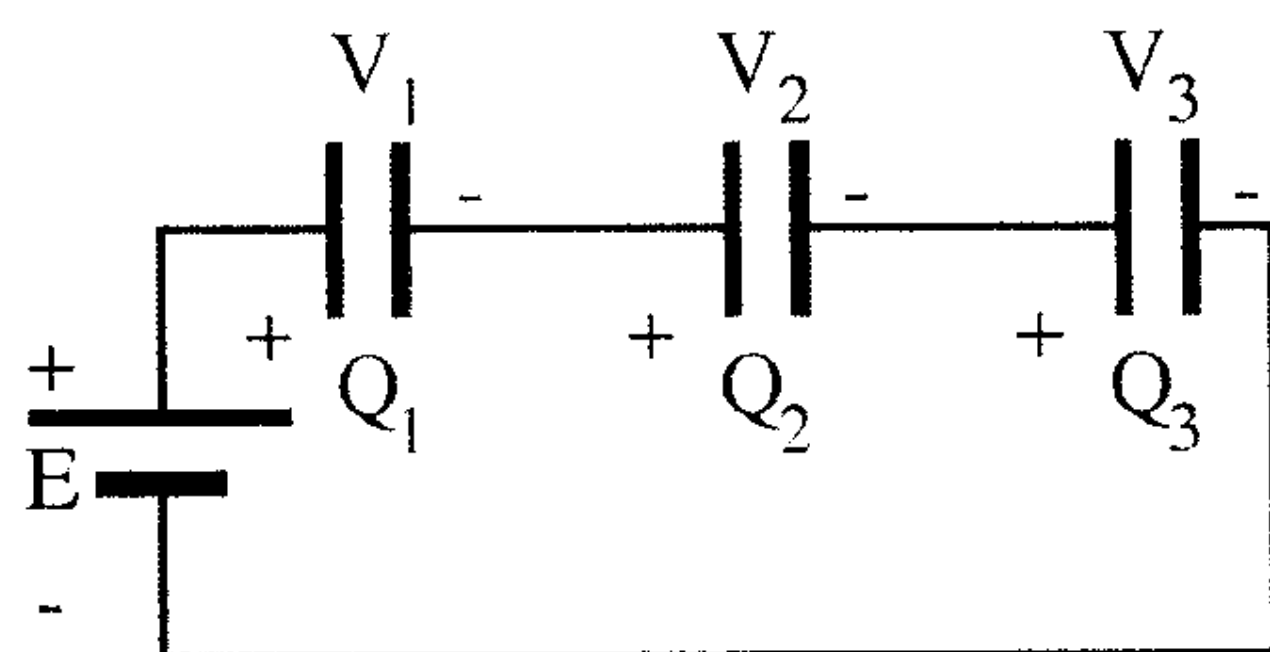
6.7 توصيل المكثفات على التوالي .

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

$$V = \frac{Q}{C}$$

$$\frac{Q_T}{C_T} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3}$$

إذا

وباعتبار أن جميع الشحنات متساوية

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

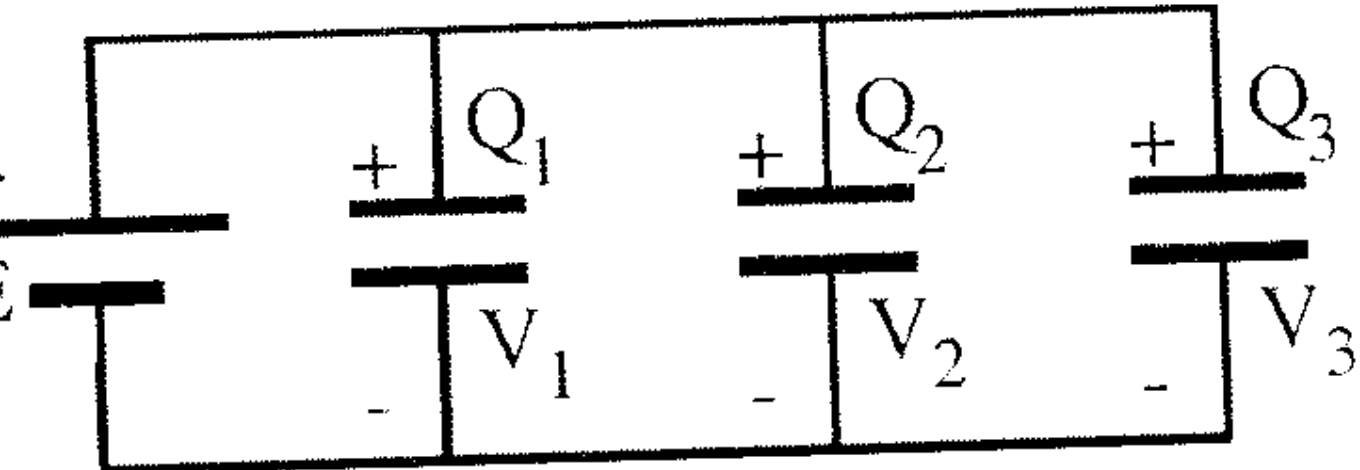
وفى حالة مكثفين اثنين فقط

$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

7.7 توصيل المكثفات على التوازي

الشحنة الكلية

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$



والجهود على التوازي متساوية
 $E = V_1 = V_2 = V_3$

وبما أن
 $Q = CV$

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_T E = Q_1 V_1 + Q_2 V_2 + Q_3 V_3$$

$$\therefore C_T = C_1 + C_2 + C_3$$

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

$$W_C = \frac{1}{2} C V^2$$

$$V = \frac{Q}{C} \quad \text{وبما أن}$$

$$W_c = \frac{1}{2} C \left(\frac{Q}{C} \right)^2 \quad \text{إذاً}$$

$$W_c = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

$$C = \frac{Q}{V} \quad \text{أو}$$

$$W_c = \frac{1}{2} \frac{Q}{V} V^2 \quad \text{إذاً}$$

$$W_c = \frac{1}{2} QV$$

9.7 أمثلة محلولة

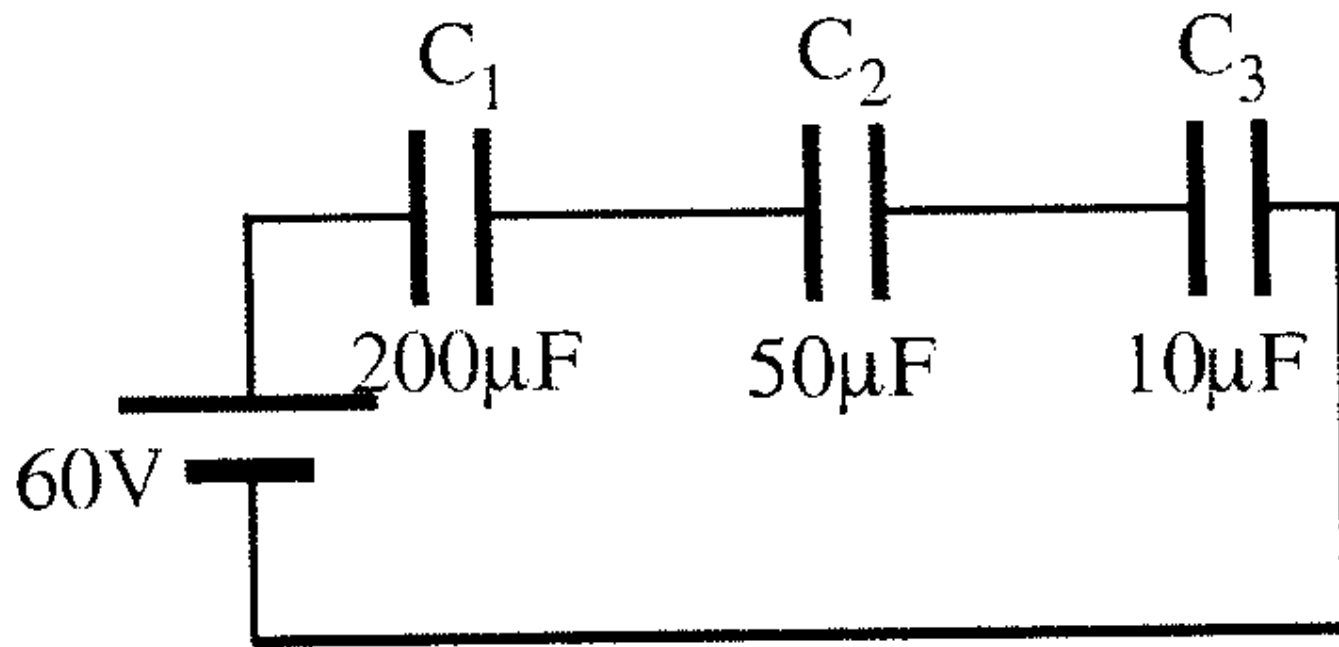
مثال 10.7:

من الشكل التالي أوجد :

1- السعة الكلية.

2- الشحنة على كل لوح.

3- الجهد خلال كل مكثف.



الحل:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad -1$$

$$= \frac{1}{200 \times 10^{-6}} + \frac{1}{50 \times 10^{-6}} + \frac{1}{10 \times 10^{-6}} = \frac{25}{200 \times 10^{-6}}$$

$$\therefore C_T = \frac{200 \times 10^{-6}}{25} = 8 \times 10^{-6} = 8 \mu F$$

$$Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad -2 \text{ في دائرة التوالي:}$$

$$Q_T = C_T E = (8 \times 10^{-6})(60) = 480 \mu C$$

$$V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{480 \times 10^{-6}}{200 \times 10^{-6}} = 2.4V \quad -3$$

$$V_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{480 \times 10^{-6}}{50 \times 10^{-6}} = 9.6V$$

$$V_3 = \frac{Q_3}{C_3} = \frac{480 \times 10^{-6}}{10 \times 10^{-6}} = 48V$$

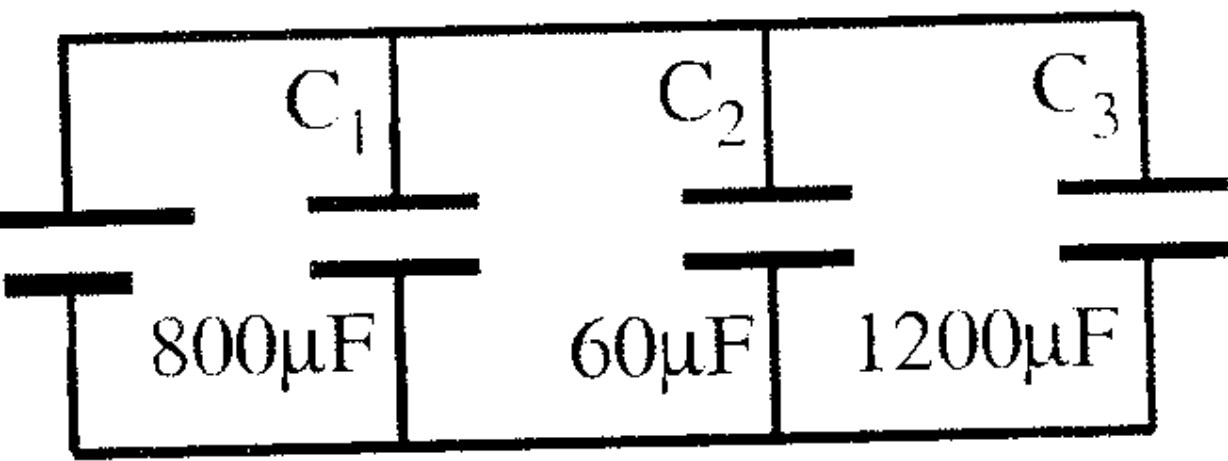
لإثبات صحة الحل نطبق قانون (KVL)

$$E = V_1 + V_2 + V_3$$

$$60V = 2.4V + 9.6V + 48V$$

$$60V = 60V$$

مثال 11.7:



من الدائرة بالشكل التالي أوجد:

- 1- السعة الكلية .
- 2- الشحنة على كل لوح.
- 3- الشحنة الكلية.

الحل

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3$$

-1

$$= 800\mu F + 60\mu F + 1200\mu F$$

$$C_T = 2060\mu F$$

$$Q_1 = C_1 E = (800 \times 10^{-6}) (48) = 38.4 \text{ mC}$$

-2

$$Q_2 = C_2 E = (60 \times 10^{-6}) (48) = 2.88 \text{ mC}$$

$$Q_3 = C_3 E = (1200 \times 10^{-6}) (48) = 57.6 \text{ mC}$$

لأن جهود دائرة التوازي متساوية $E = V_1 = V_2 = V_3$

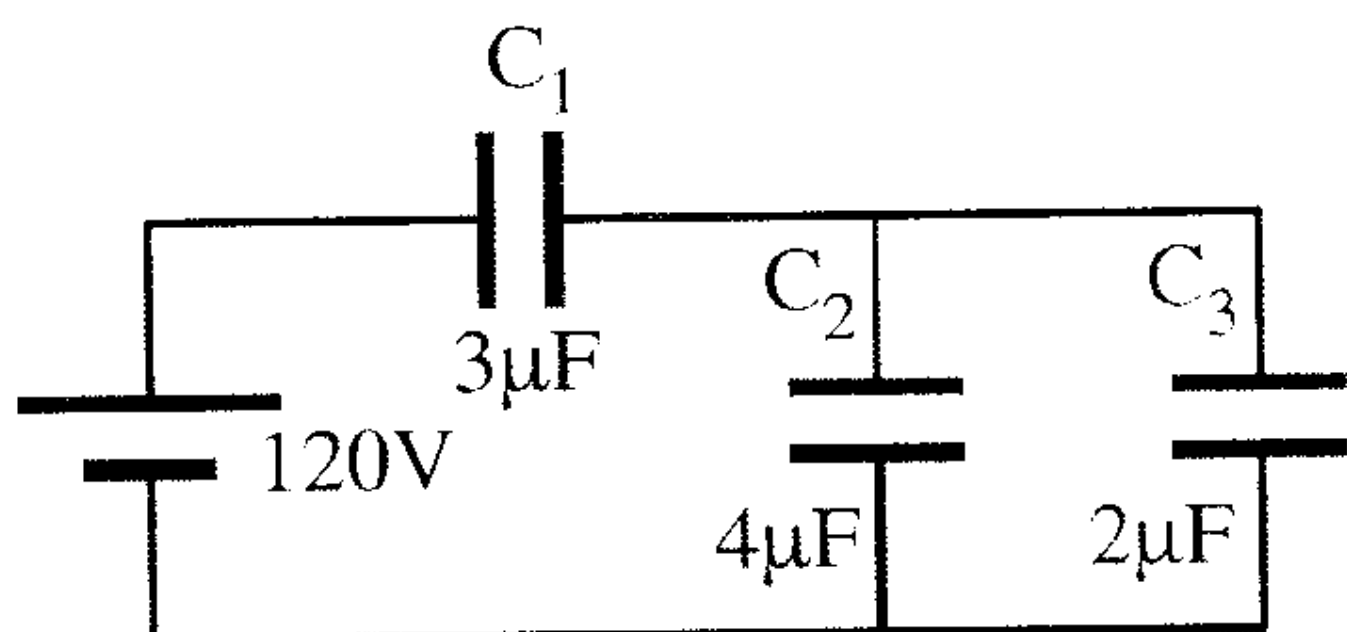
$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad -3$$

$$= 38.4mC + 2.88mC + 57.6mC$$

$$Q_T = 98.88mC$$

مثال 12.7:

أوجد جهد وشحنة كل مكثف من الدائرة في الشكل التالي:



الحل:

توازي $C_2 // C_3$

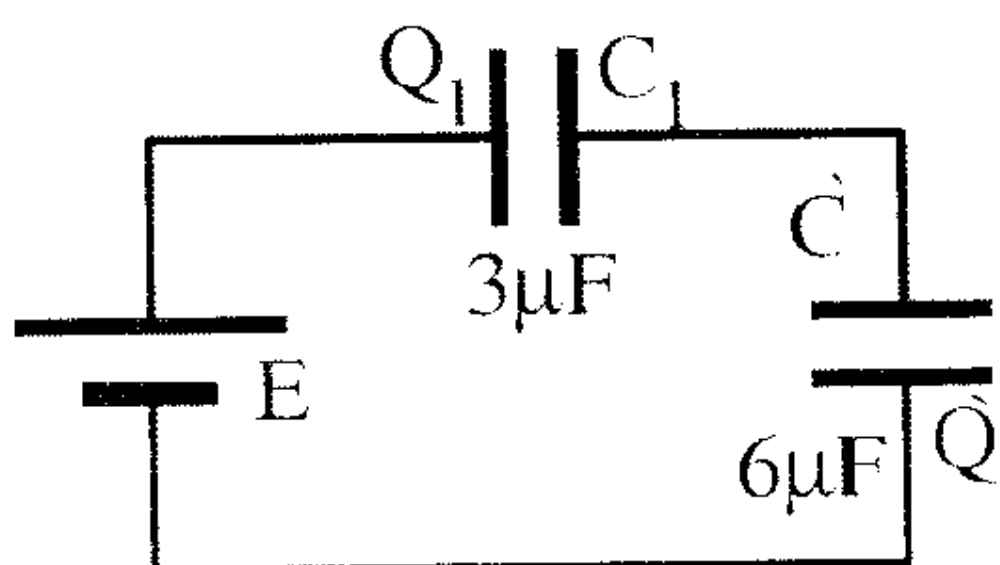
$$4\mu F // 2\mu F = 6\mu F$$

$$C_T = \frac{(3\mu F)(6\mu F)}{3\mu F + 6\mu F} = \frac{18}{9} = 2\mu F$$

$$Q_T = C_T E = (2 \times 10^{-6} F) (120 V)$$

$$Q_T = 240\mu C$$

دائرة توالٍ فيها



$$Q_T = Q_1 = Q'$$

$$\therefore Q_1 = 240 \mu C$$

$$V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{240\mu C}{3\mu F} = 80V$$

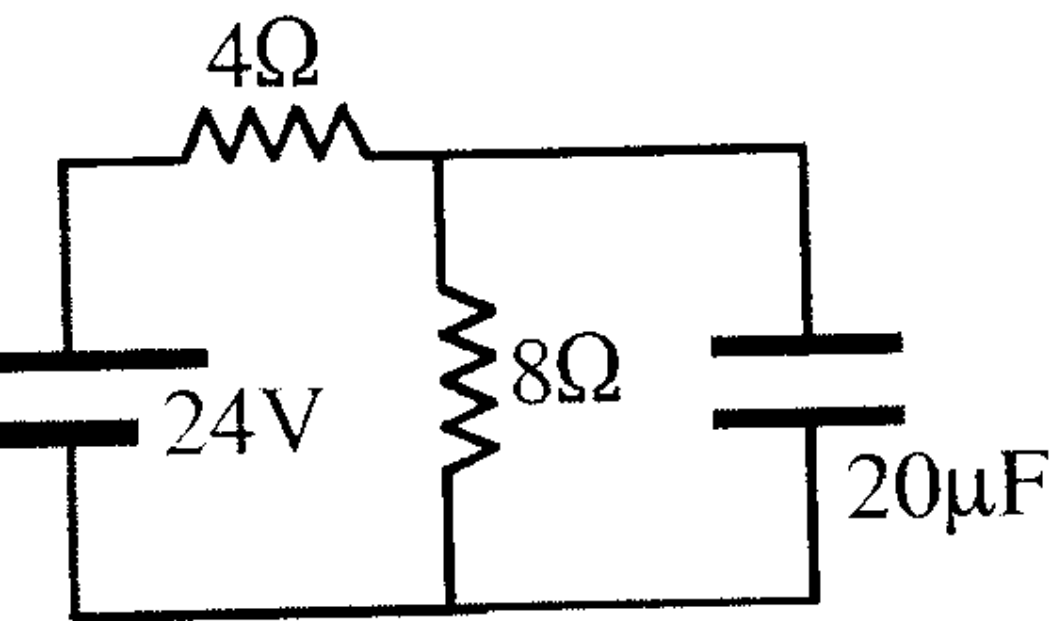
$$V' = \frac{Q'}{C'} = \frac{240\mu C}{6\mu F} = 40V$$

في التوازي الجهود متساوية $V_2 = V_3 = V'$

$$Q_2 = C_2 V' = (4\mu F)(40V) = 160\mu C$$

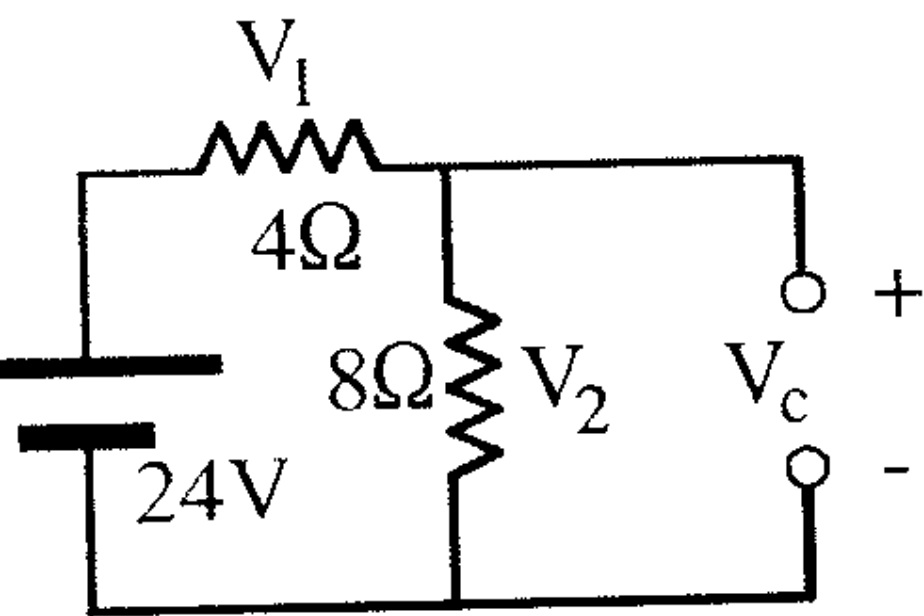
$$Q_3 = C_3 V' = (2\mu F)(40V) = 80\mu C$$

مثال 13.7:



من الدائرة في الشكل التالي أوجد جهد وشحنة المكثف (C_1) وذلك بعد شحنه إلى حد قيمته النهائية.

الحل:



جهد المقاومة (8Ω) يساوي جهد المكثف بالتوازي. ويمكن إيجاد جهد المقاومة (8Ω) باستخدام قانون مجزئ الجهد.

والمكثف بعد الانتهاء من شحنه يصبح دائرة مفتوحة

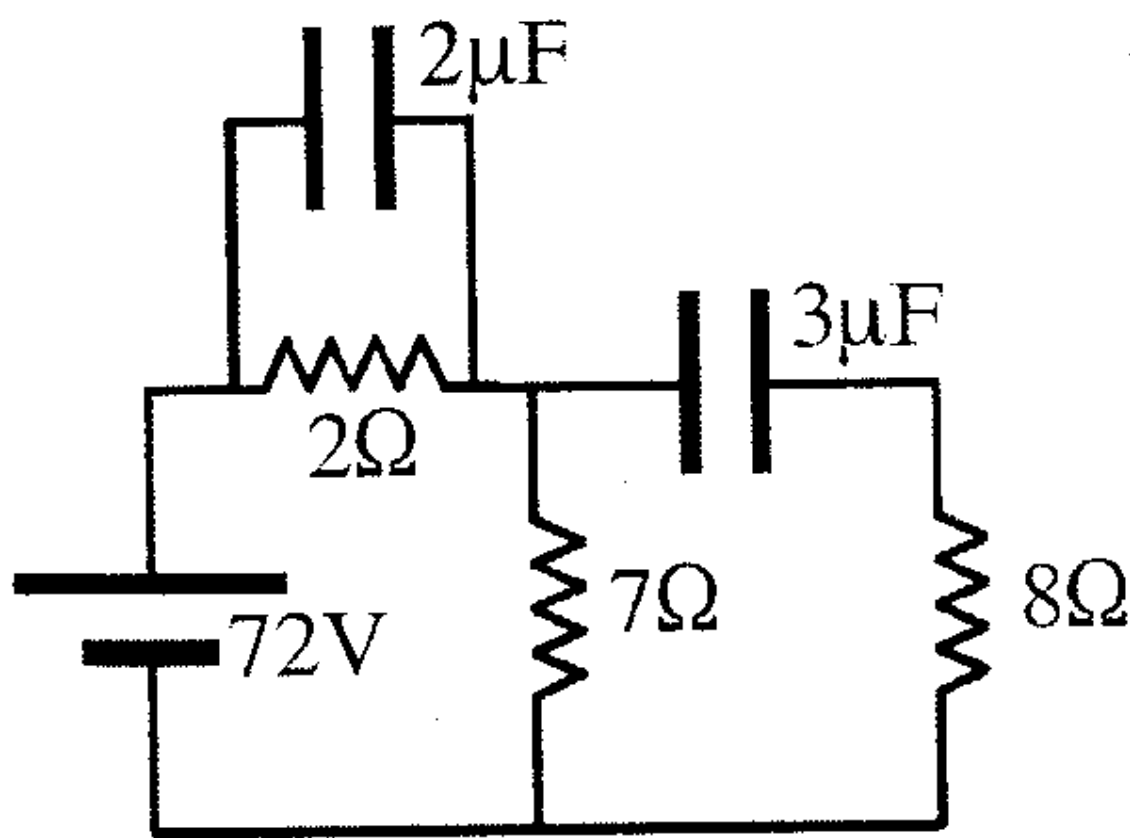
$$V_C = V_2 = \frac{(E)(R_2)}{R_1 + R_2} = \frac{(24V)(8\Omega)}{4\Omega + 8\Omega} = \frac{192}{12}$$

$$\therefore V_C = 16V$$

$$Q_1 = C_1 V_C = (20 \times 10^{-6} F) (16V)$$

$$Q_1 = 320 \mu C$$

مثال 14.7 من الدائرة في الشكل التالي:

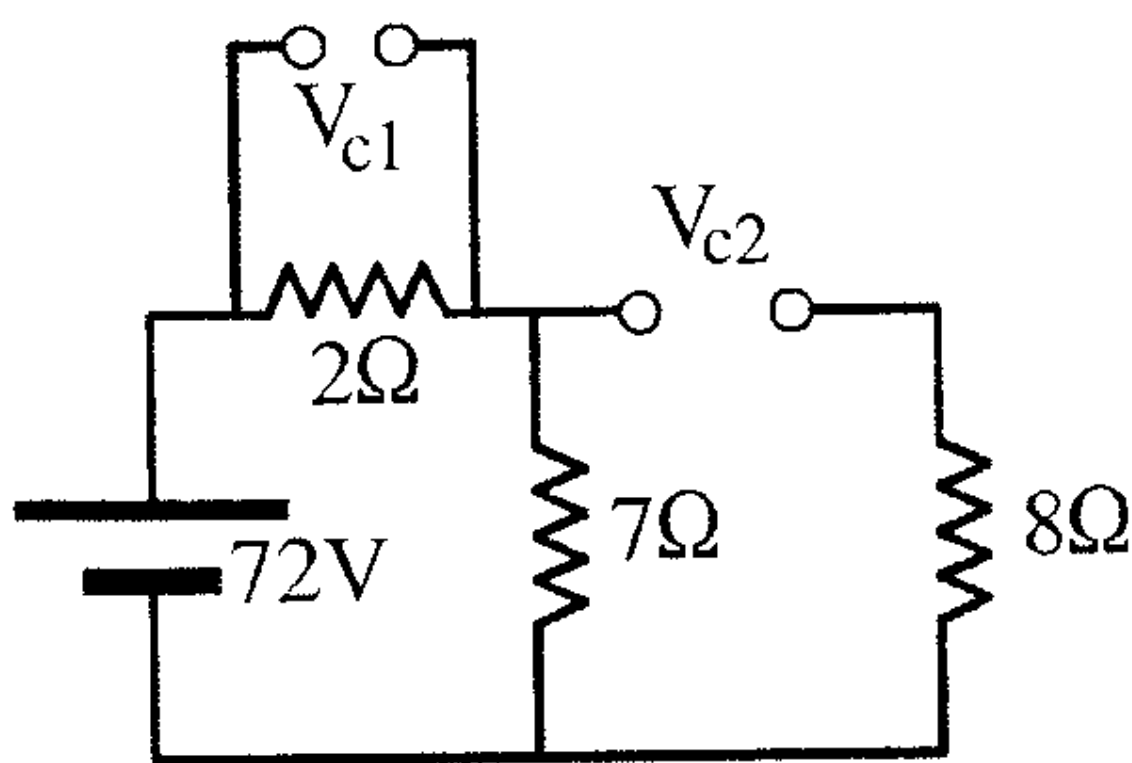


1- أوجد جهد وشحنة كل مكثف بالدائرة وذلك بعد عملية شحنه إلى حد قيمته النهائية.

2- أحسب الطاقة المخزنة في كل مكثف.

الحل:

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}

$$V_{C1} = \frac{(E)(R_1)}{R_1 + R_2} = \frac{(72V)(2\Omega)}{2\Omega + 7\Omega} = \frac{144}{9} = 16V$$

$$V_{C2} = \frac{(E)(R_2)}{R_1 + R_2} = \frac{(72)(7)}{2+7} = \frac{504}{9} = 56V$$

$$Q_1 = C_1 V_{C1} = (2\mu F)(16V) = 32\mu C$$

$$Q_2 = C_2 V_{C2} = (3\mu F)(56V) = 168\mu C$$

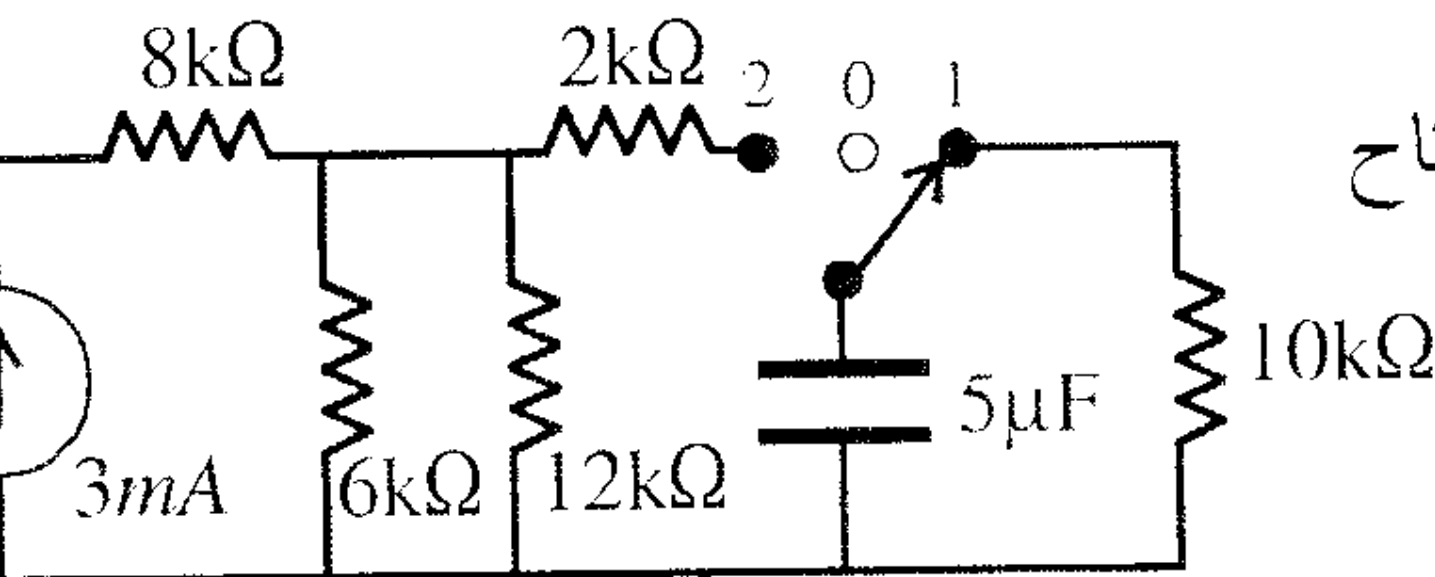
$$W_{C1} = \frac{1}{2} C_1 V_{C1}^2 = \frac{1}{2} (2\mu F)(16V)^2$$

$$W_{C1} = 256\mu J$$

$$W_{C2} = \frac{1}{2} C_2 V_{C2}^2 = \frac{1}{2} (3\mu F)(56V)^2$$

$$W_{C2} = 4704\mu J$$

مثال 15.7:



1- عند الزمن ($t = 0$) نقل المفتاح

للوضع (2)، أوجد :

أ- الثابت الزمني.

ب- التعبير الرياضي لجهد وتيار المكثف.

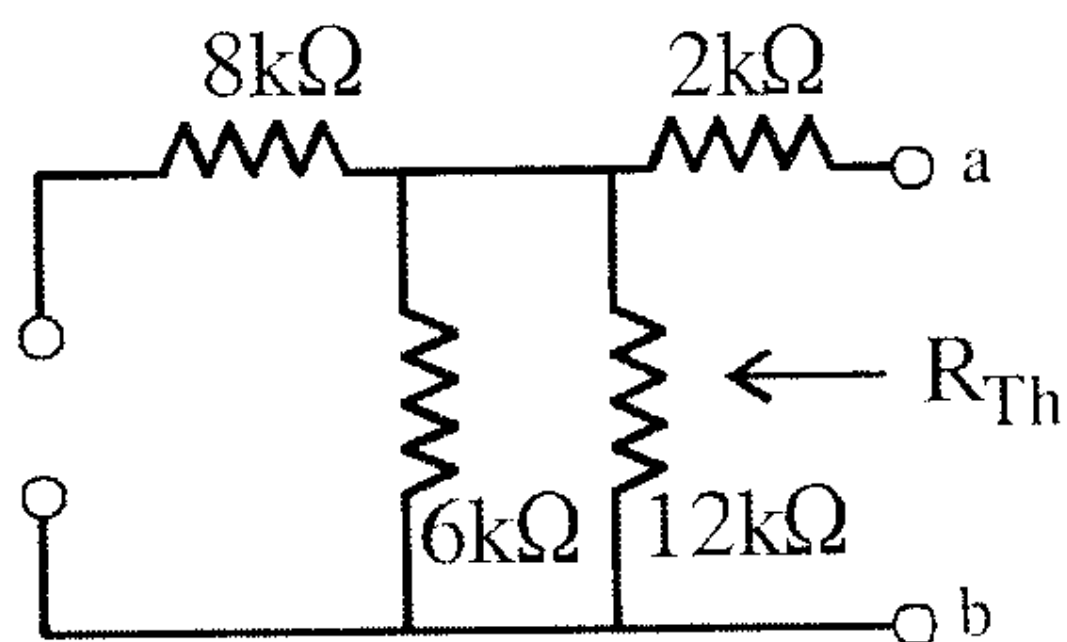
2- وعند الزمن ($t = 60ms$) نقل المفتاح للوضع (1)، أوجد :

أ- الثابت الزمني.

ب- الوقت اللازم قبل نقل المفتاح للوضع (0) لكي تبقى شحنة مقدارها

($7.02\mu C$) على لوحي المكثف.

الحل:



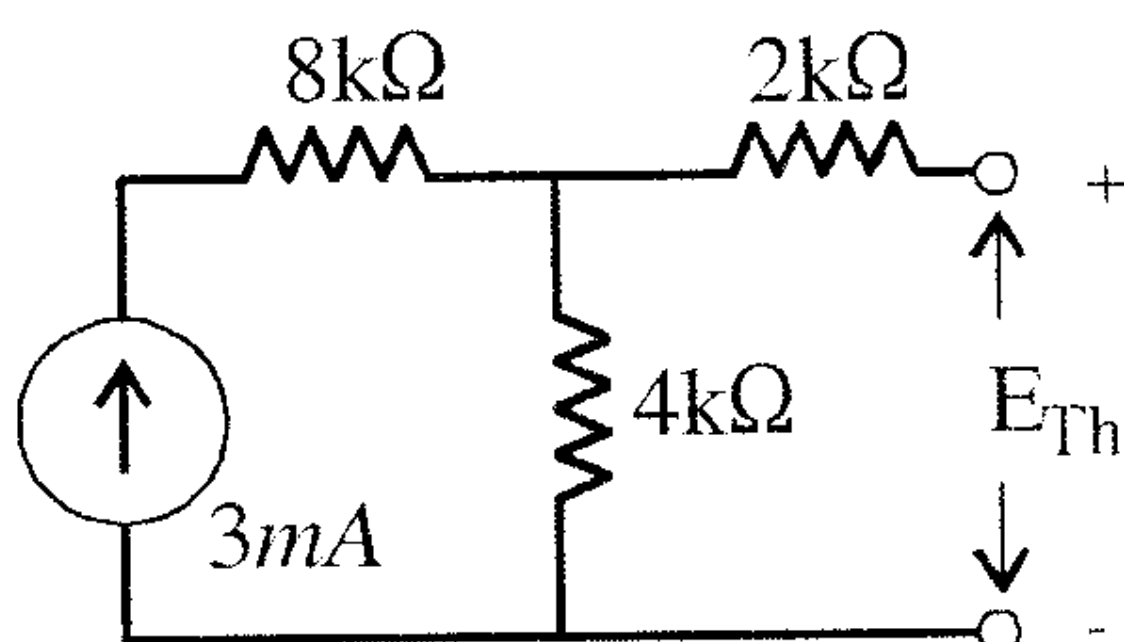
أ- المفتاح في الوضع (2) دائرة مفتوحة، إيجاد R_{Th} و E_{Th} المقاومة (8k) تلغى (دائرة مفتوحة)

$$6k\Omega // 12k\Omega \longrightarrow 4k\Omega$$

$$R_{Th} = 2k\Omega + 4k\Omega$$

$$R_{Th} = 6k\Omega$$

$$\tau = R_{Th} C = (6k\Omega) (5\mu F) = 30ms$$



$$E_{Th} = V_{4k\Omega}$$

$$E_{Th} = I R_{4k}$$

$$= (3mA) (4k\Omega)$$

$$E_{Th} = 12V$$

$$V_C = E_{Th} (1 - e^{-t/\tau})$$

$$V_C = 12(1 - e^{-t/30 \times 10^{-3}})$$

$$i_C = \frac{E_{th}}{R_{th}} e^{-t/\tau} = \frac{12V}{6k\Omega} e^{-t/30 \times 10^{-3}}$$

$$i_C = (2 \times 10^{-3}) e^{-t/30 \times 10^{-3}}$$

2- عند نقل المفتاح الوضع (1) عند الزمن ($t = 60ms$) تبدأ عملية التفريغ

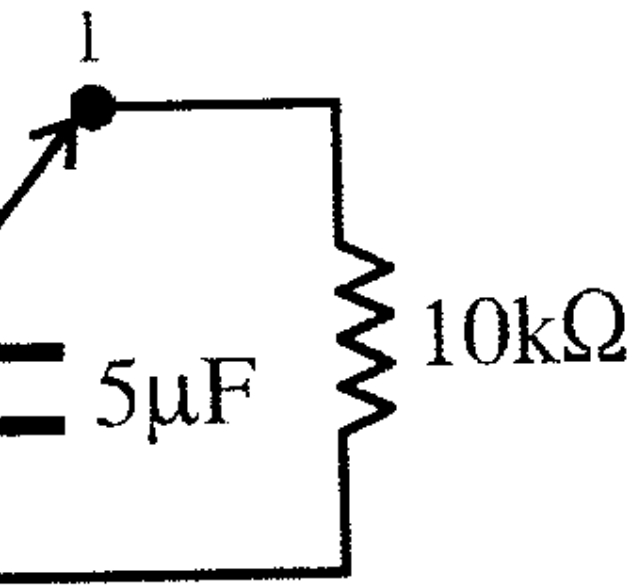
$V'_C = \text{جهد نهاية شحن المكثف} = \text{جهد بداية التفريغ للمكثف}$

$$V'_C = 12(1 - e^{-60/30})$$

$$= 12(1 - e^{-2})$$

$$V'_C = 10.376V$$

أ- دائرة التفريغ هي كما بالشكل التالي:



$$\tau' = (10k\Omega)(5\mu F) = 50ms$$

$$V_C = \frac{Q}{C} = \frac{7.02 \times 10^{-6}}{5 \times 10^{-6}} \quad \text{ب-}$$

$$V_C = 1.404V$$

$$V_C = V'_C e^{-t/\tau'}$$

$$1.404 = (10.376)e^{-t/50 \times 10^{-3}}$$

$$\frac{1.404}{10.376} = e^{-t/50 \times 10^{-3}}$$

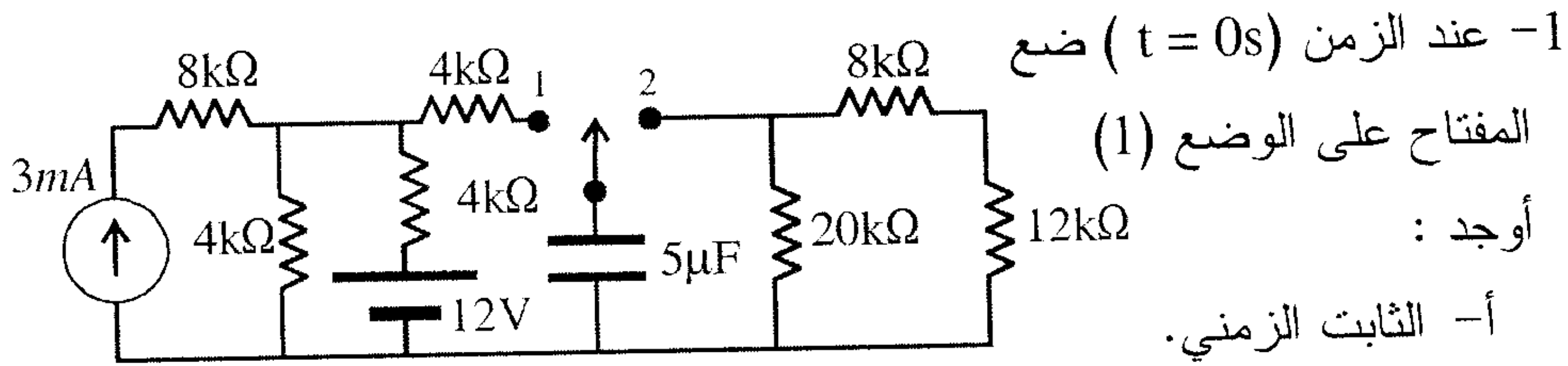
$$0.1353 = e^{-t/50 \times 10^{-3}}$$

$$\log(0.1353) = \frac{-t}{50 \times 10^{-3}}$$

$$t = (-50 \times 10^{-3}) \log(0.1353)$$

$$t = 0.1s = 100ms$$

مثال 16.7: من الدائرة بالشكل التالي:



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 ($t = 100ms$).

الحل:

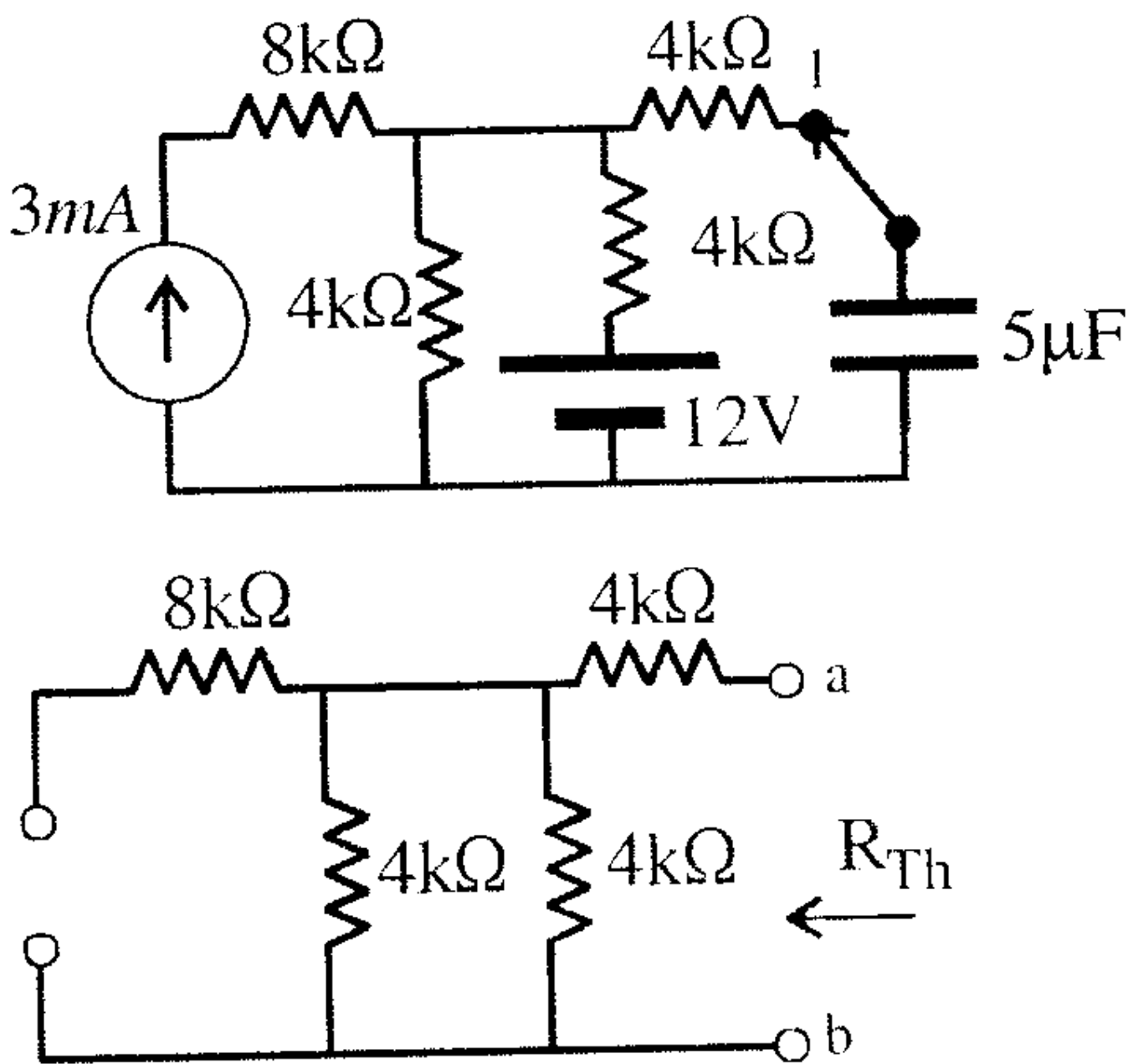
1- الوضع (1) شحن المكثف لتصبح دائرة الشحن كالتالي:

إيجاد R_{Th}

$$R_{Th} = 4k\Omega // 4k\Omega + 4k\Omega$$

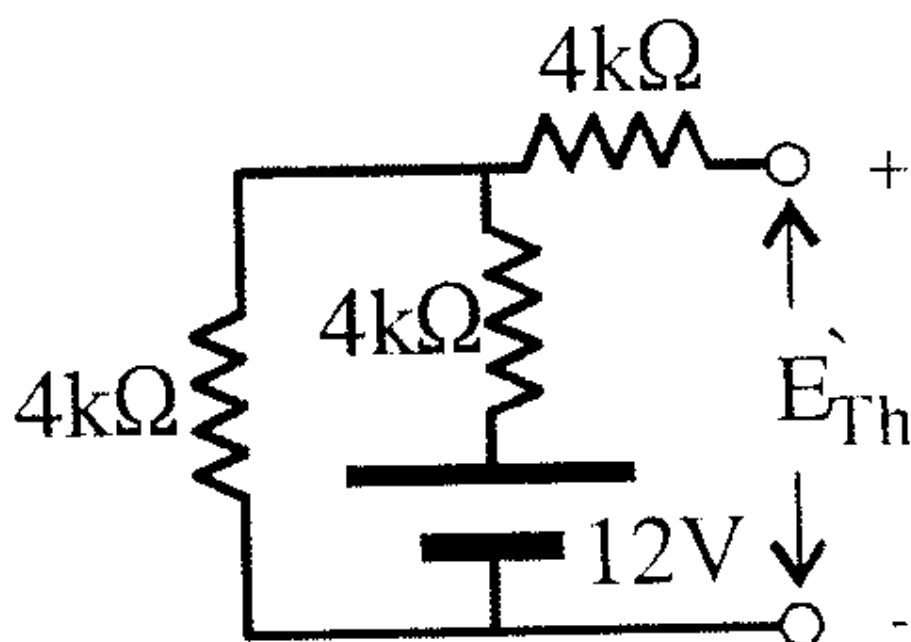
$$= 2k\Omega + 4k\Omega$$

$$R_{Th} = 6k\Omega$$



إيجاد E_{Th} (الدائرة بها مصدران) تأثير المصدر ($12V$)

$$R_i = 8k\Omega$$

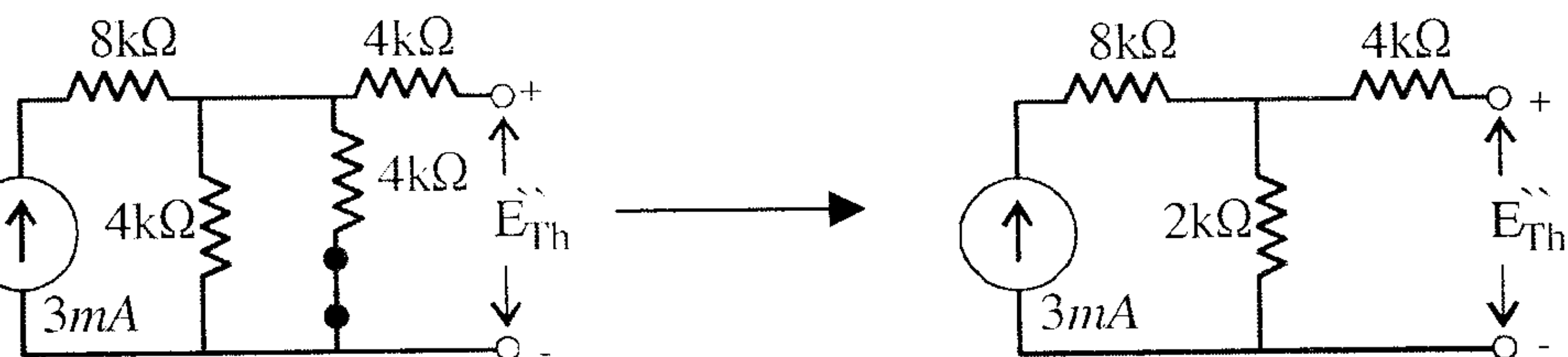


$$I_s = \frac{12V}{8k\Omega} = 1.5mA$$

$$V_{4\Omega} = (4k\Omega) (1.5mA) = 6V$$

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 .

$$\tau = E_{Th}C = (6k\Omega) (5\mu F) = 30ms$$

$$V_C = E_{Th}(1 - e^{-t/\tau})$$

$$V_C = 12(1 - e^{-t/30 \times 10^{-3}})$$

$$i_C = \frac{E_{Th}}{R_{Th}} e^{-t/\tau} = \frac{12V}{6k\Omega} e^{-t/30 \times 10^{-3}}$$

$$i_C = (2 \times 10^{-3}) e^{-t/30 \times 10^{-3}}$$

(2) الوضع (2) تفريغ المكثف لتكون الدائرة كالتالي:

عند الزمن ($t = 30ms$)

$$R_T = 8k\Omega + 12k\Omega // 20k\Omega$$

$$= 20k\Omega // 20k\Omega$$

$$R_T = 10k\Omega$$

ثابت الزمن في حالة التفريغ

$$\tau' = (10k\Omega)(5\mu F) = 50ms$$

جهد نهاية الشحن للمكثف = جهد بداية التفريغ

$$V_C' = E_{th}(1 - e^{-T/\tau}) = 12(1 - e^{-30 \times 10^{-3} / 30 \times 10^{-3}})$$

$$V_C' = 12(1 - e^{-1}) = 7.585V$$

وبالتالي يمكن إيجاد جهد المكثف عند الزمن ($t = 100ms$)

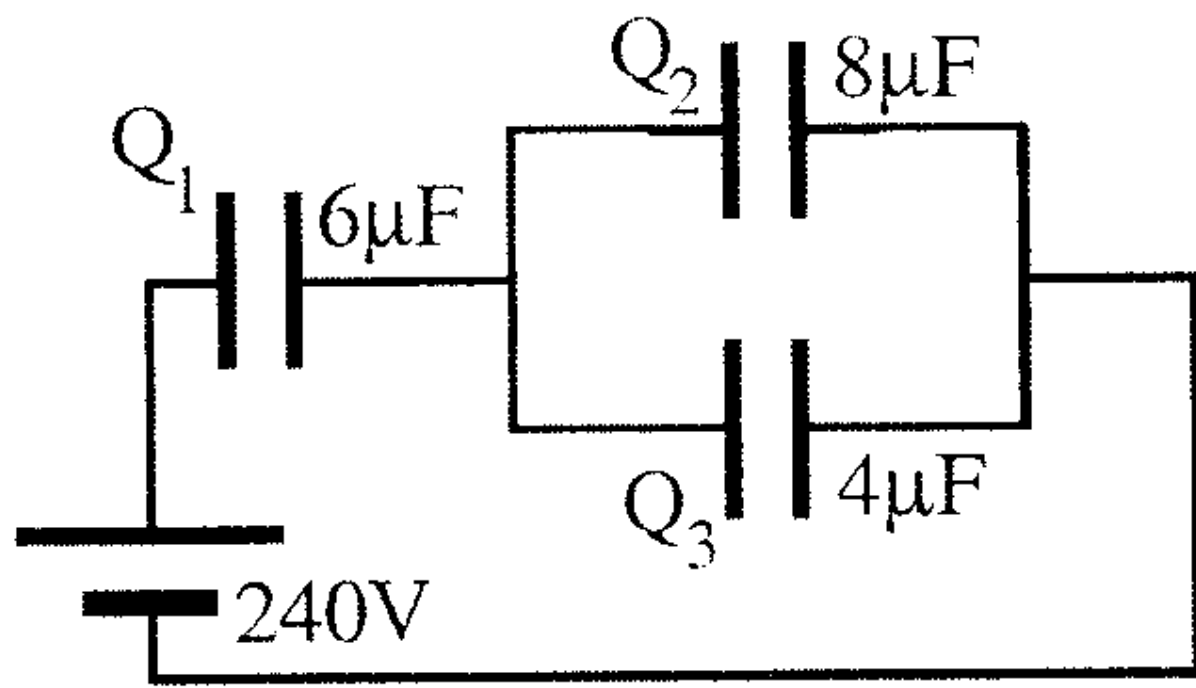
$$V_C = V_C' e^{-t/\tau^1} = (7.585) e^{-100 \times 10^{-3} / 50 \times 10^{-3}}$$

$$V_C = (7.585) e^{-2} = 1.03V$$

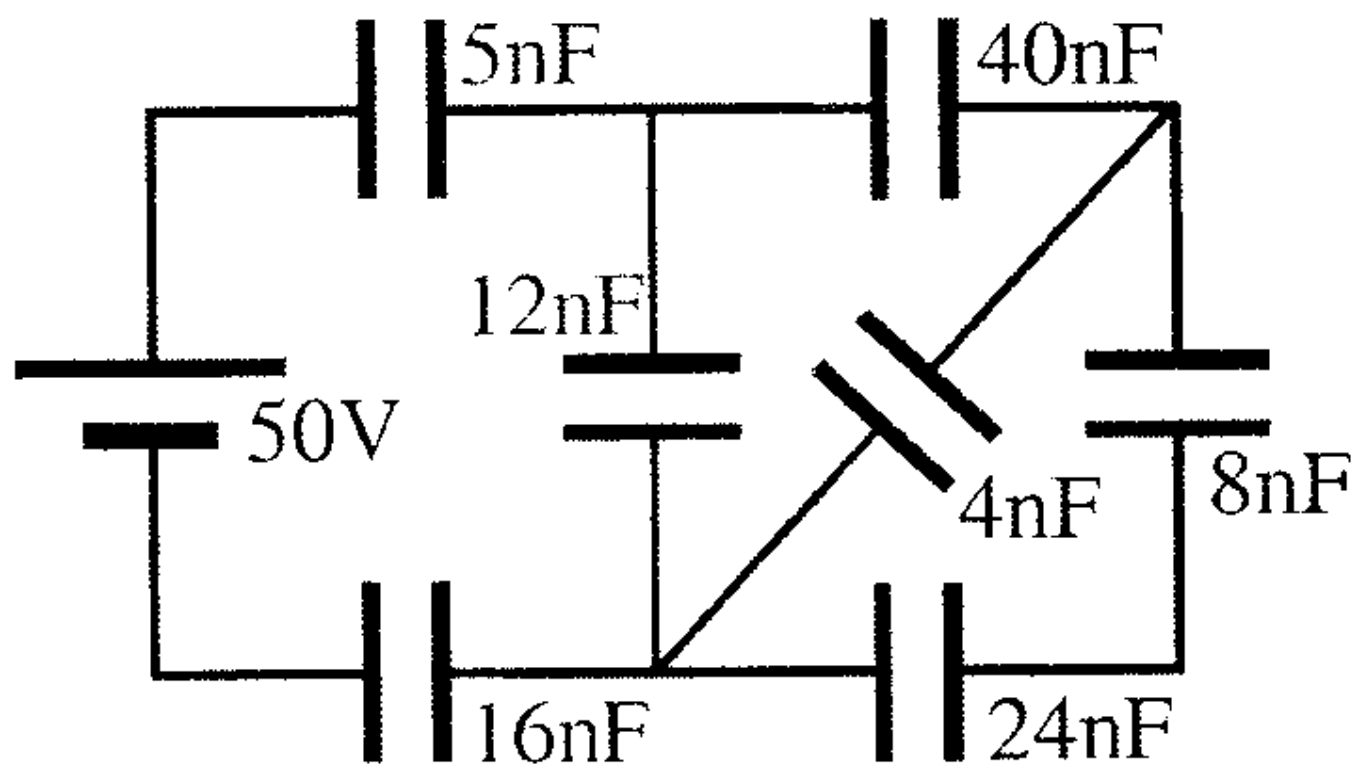
10.7 مسائل متنوعة

- (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

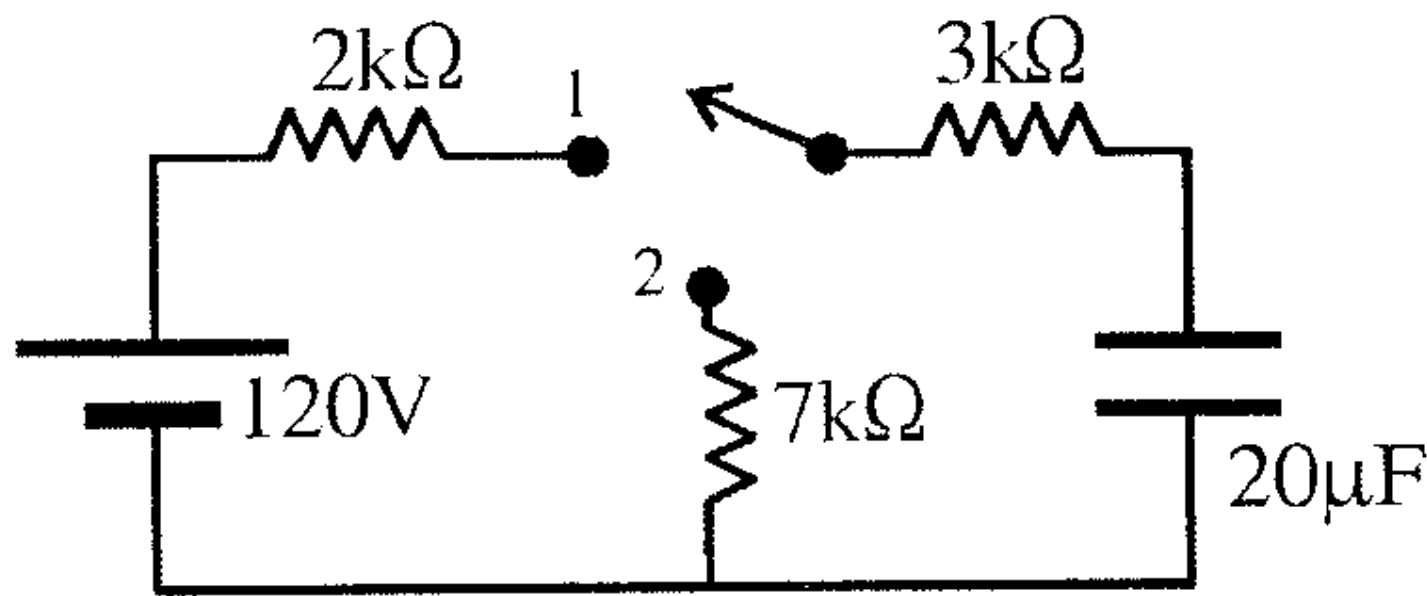
$$\epsilon_o = 8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N.m^2}$$



- (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 .

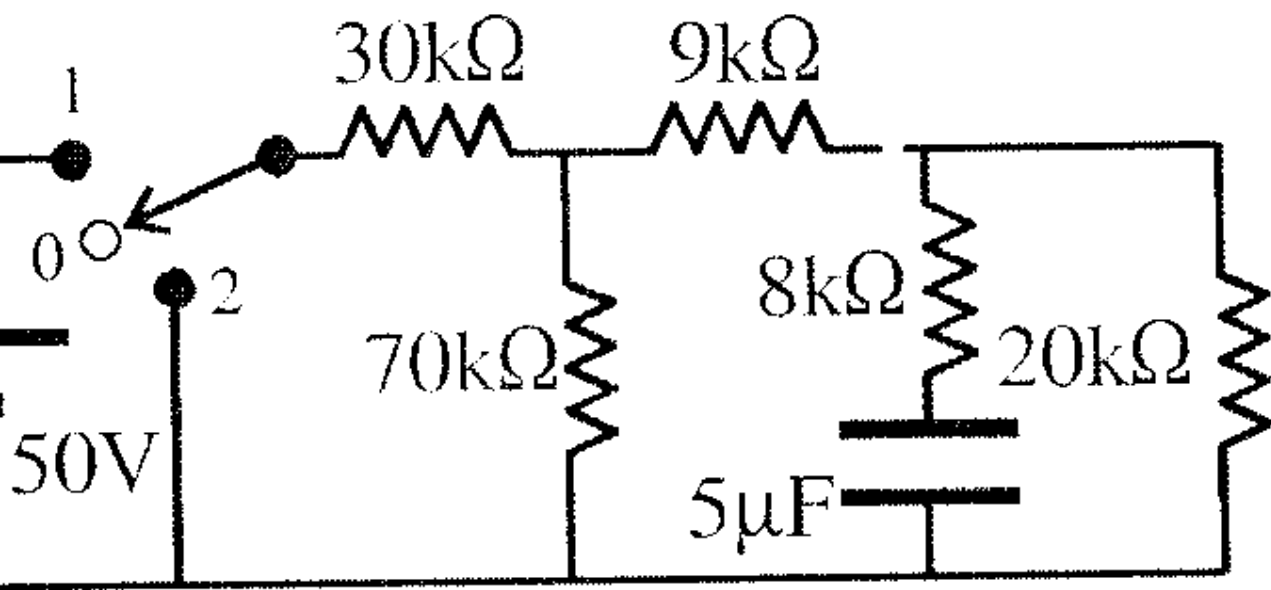


- (4) للدائرة بالشكل التالي:
 (5)
 1- المكثف خالٍ من الشحنة وعند الزمن

(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 لـ 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 :

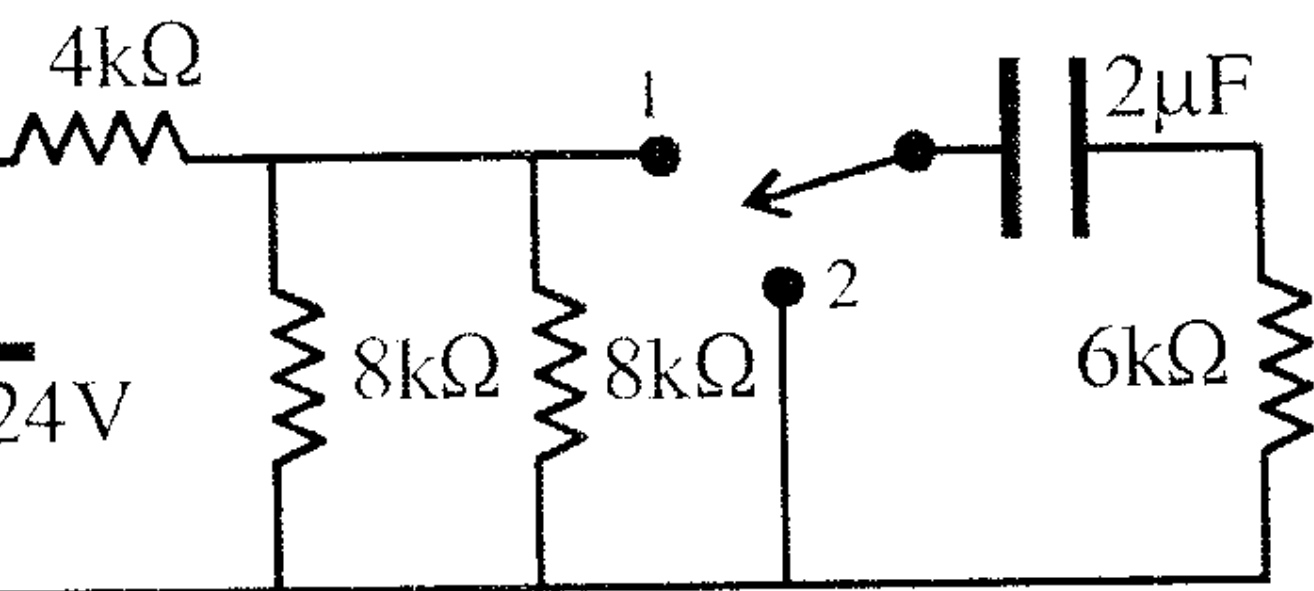
أ- الثابت الزمني.

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 لوح المكثف.



(6) 1- في البداية المكثف فارغ

من الشحنة تماماً وعند ($t = 0s$)

نقل المفتاح إلى الوضع (1) أوجد :

أ- الثابت الزمني.

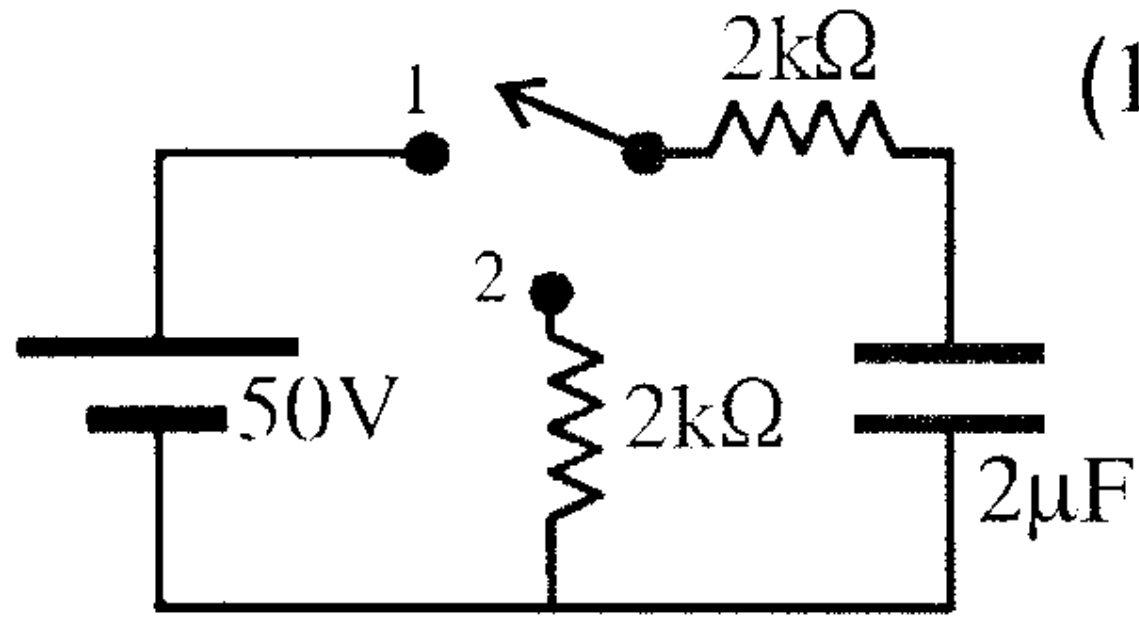
ب- الزمن اللازم لكي يصل جهد المكثف إلى (6V).

2- وعند الزمن ($t = 48ms$) نقل المفتاح إلى الوضع (2) أوجد :

أ- الثابت الزمني.

ب- الشحنة المتبقية على لوح 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.

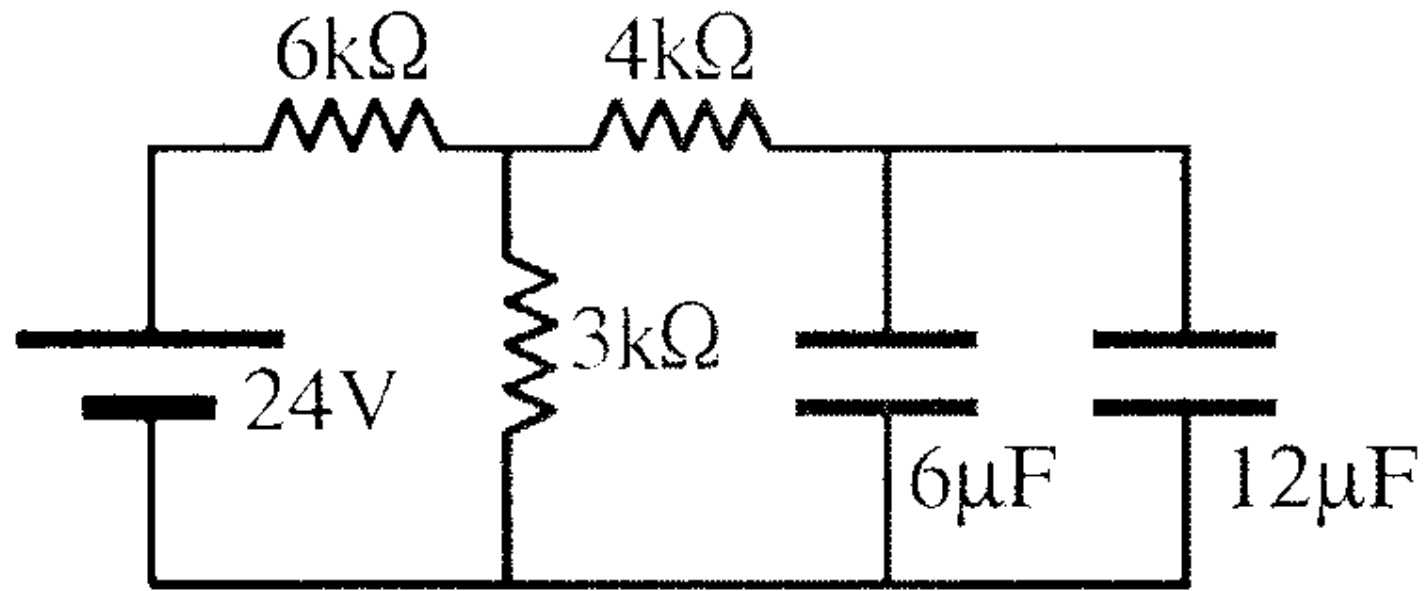
ج- قيمة التيار المار بالمكثف في اللحظة التي تكون فيها الشحنة على المكثف (63μC).

د- الطاقة المخزنة في المكثف عند حالة الاستقرار.

وعند الزمن ($t = 10ms$) نقل المفتاح إلى الوضع (2):

أ- أوجد V_C , i_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 وصل 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 ونيوترونات (n) متعادلة الشحنة.
- 2- إلكترونات (e) سالبة الشحنة تدور في مدارات حول النواة، هذه المدارات تسمى الأغلفة الرئيسية وهي مرقمة كالتالي:

$$n = 1, 2, 3, 4, \dots$$

ويرمز لها بـ K, L, M, N, ...

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 : $2s^2 2p^2$

السليكون Si^{14} K : $1s^2$

L : $2s^2 2p^6$

M : $3s^2 3p^2$

الكلور Cl^{17} K : $1s^2$

L : $2s^2 2p^6$

M : $3s^2 3p^5$

الجرمانيوم Ge^{32} K : $1s^2$

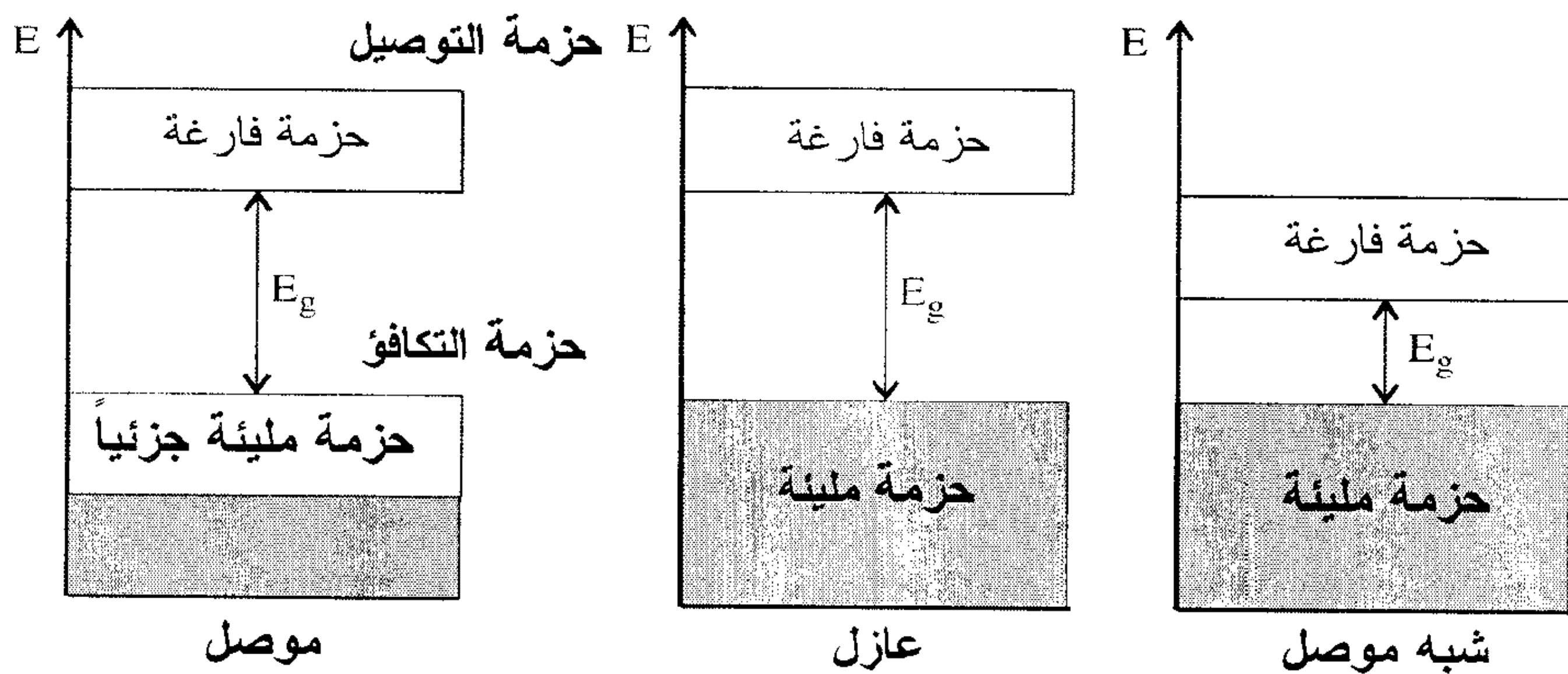
L : $2s^2 2p^6$

M : $3s^2 3p^6 3d^{10}$

N : $4s^2 4p^2$

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 بناءً 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 النحاس 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 أو جز و (conductor) معناها الموصل وهي المادة التي تسمح بانسياب الشحنات أي الموصلية. فالموصلات هي المواد التي لها موصلية كهربائية عالية مثل النحاس والفضة مقاومة صغيرة، أما العوازل فمقاومتها عالية جداً وبالتالي فإن موصليتها ضعيفة. ودرسنا في الفصل الأول العلاقات التالية:

$$\rho = R \cdot A / L \quad \text{المقاومة النوعية } (\rho) :$$

والموصلية وهي مقلوب المقاومة النوعية $(\sigma) :$

$$\sigma = 1 / \rho$$

$$\sigma = L / (R \cdot A)$$

والجدول التالي يوضح الفرق في المقاومة النوعية للمواد الصلبة:

عازل	شبه موصل	موصل
$\rho \sim 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ الميكا	$\rho \sim 50 \Omega \cdot \text{cm}$ الجرمانيوم $\rho \sim 5 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ السليكون	$\rho \sim 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ النحاس

أشباه الموصلات تكون مواد عازلة عند درجات الحرارة المنخفضة، ولكنها تصبح موصلة نوعاً 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 $(k_B T)$ 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:

$$W = P \cdot t \quad P = I \cdot V \quad Q = I \cdot t \quad I = Q / t$$

$$W = P \cdot t = I \cdot V \cdot t = (Q/t) \cdot V \cdot t$$

$$W = Q \cdot V$$

وباستبدال الشحنة الكهربائية (Q) بشحنة الإلكترون النوعية (e) نحصل على العلاقة:

$$W = e \cdot V \quad e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$1eV = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

وهي علاقة وحدة القياس (eV) بوحدة القياس (J) .

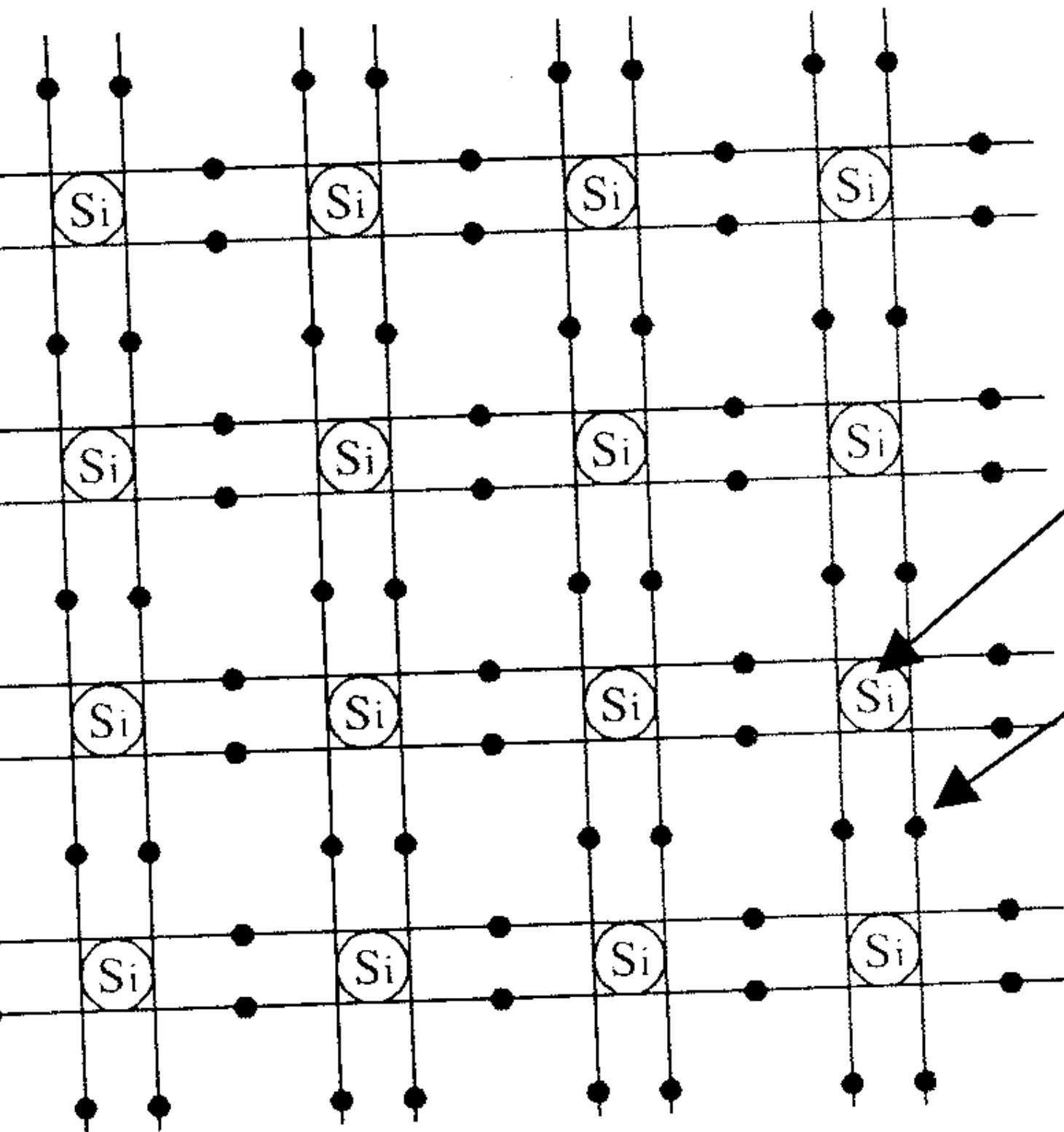
يعتبر عنصري السليكون (Si) والجرمانيوم (Ge) من أهم العناصر التي تدخل في صناعة أشباه الموصلات والتي تستخدم في الدوائر و الأجهزة الإلكترونية، وهما

عنصران من عناصر المجموعة الرابعة في الجدول الدوري للعناصر والتي يغلّفها الخارجي على (4) إلكترونات ويحتاج إلى (4) إلكترونات أخرى لكي يمتلئ

مثال على بلورة السليكون:

(البلورة هي عبارة عن مجموعة من الذرات)

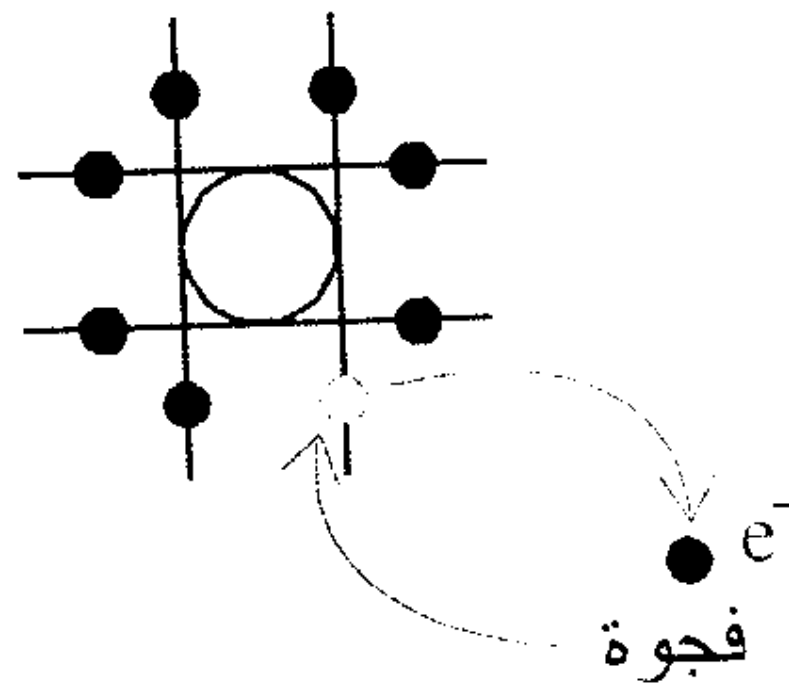
- ترتبط ذرات السليكون بروابط تساهمية حيث أن كل ذرة محاطة بأربع ذرات وتشارك هذه الذرات الأربع في ملء الغلاف الخارجي للذرة الوسطية وبمساهمة إلكترون واحد من كل منها كما في الشكل (1)، فعند درجات الحرارة المنخفضة يعتبر السليكون عازلاً على الرغم من أن تكافؤه رباعي.
- بارتفاع درجة الحرارة فإن الطاقة الحرارية تكون كافية لتحطيم الروابط التساهمية بانطلاق أحد الإلكترونات من مكانه تاركاً فجوة كما في الشكل (2) الطاقة اللازمة لإتمام 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)

ذرة سليكون

إلكترون التكافؤ



الشكل (1)

أشباه الموصلات النقية (Intrinsic Semiconductors)

أشباه الموصلات النقية الخالية من الشوائب تسمى بأشباه الموصلات الذاتية، وفيها يكون عدد الإلكترونات مساوياً لعدد الفجوات.

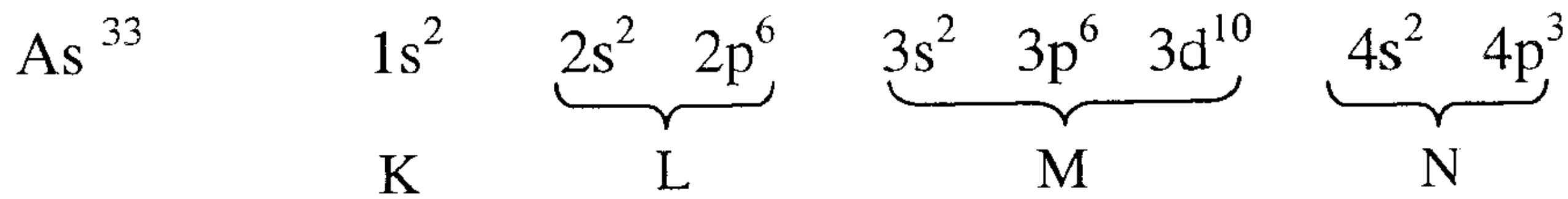
$$\text{Electrons} \equiv \text{Holes}$$

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:

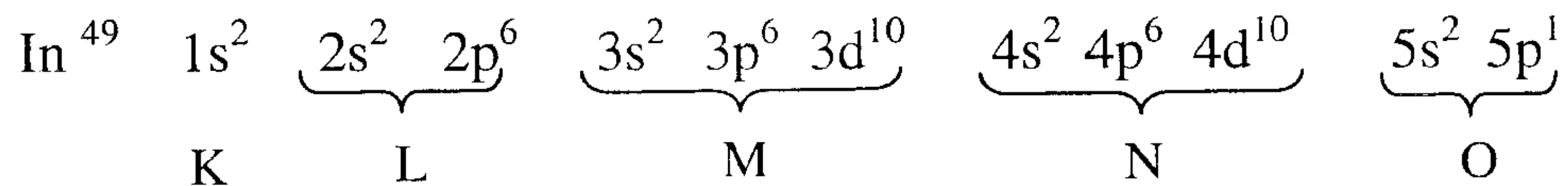
1- النوع السالب (n-type)

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:



2- النوع الموجب (p-type)

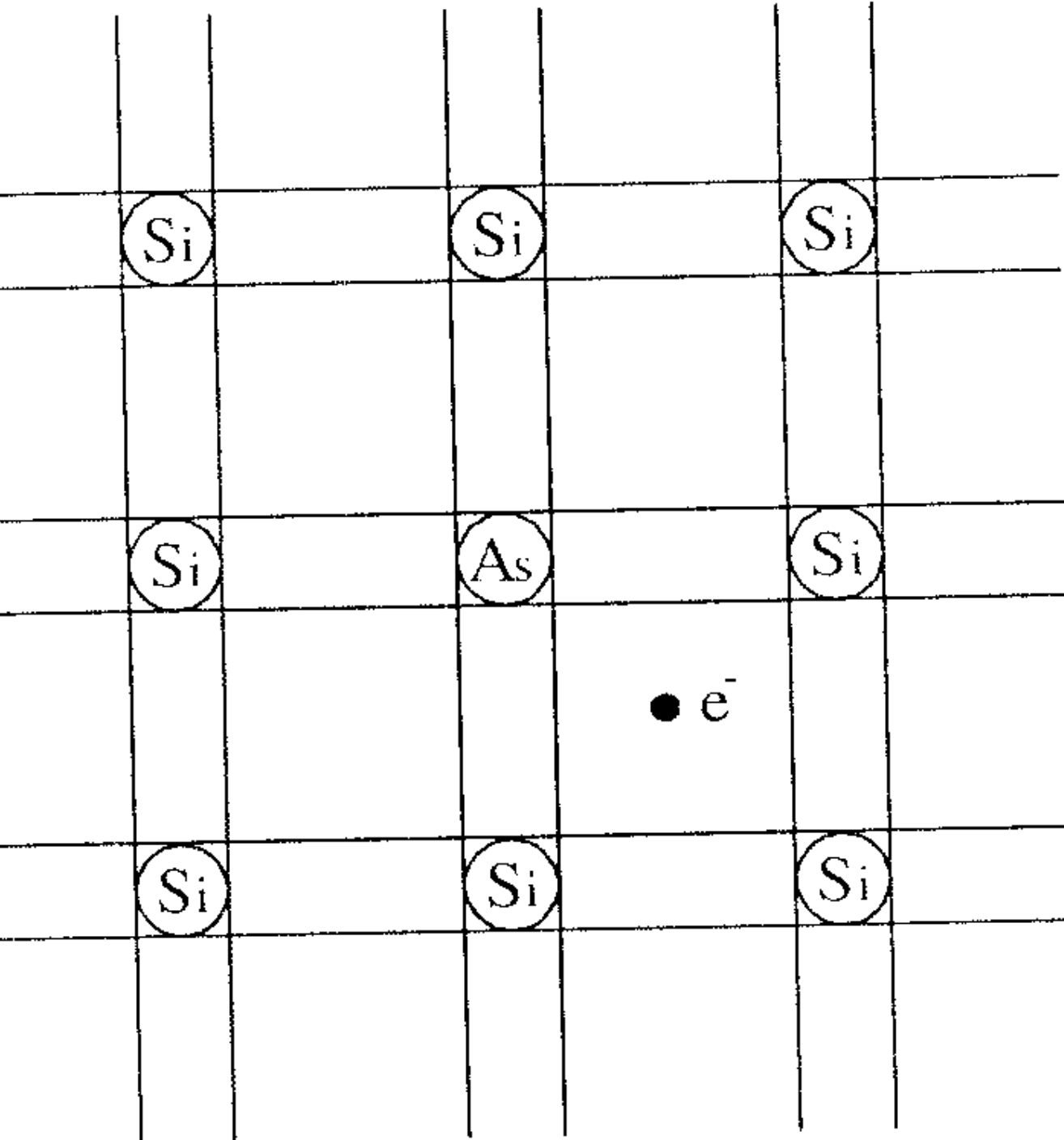
يكون التطعيم من عناصر المجموعة الثالثة وتسمى بالعناصر القابلة (Acceptors) مثل عنصر الأنديوم (In^{49}) وتوزيعه الإلكتروني كالتالي:



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 الأنثيمون (Sb^{51}) إلى أشباه الموصلات النقية كالسليكون مثلاً، إذ أن الذرات الشائبة التي لها خمسة إلكترونات تكافؤ تدخل ضمن تركيب السليكون



وتكون 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

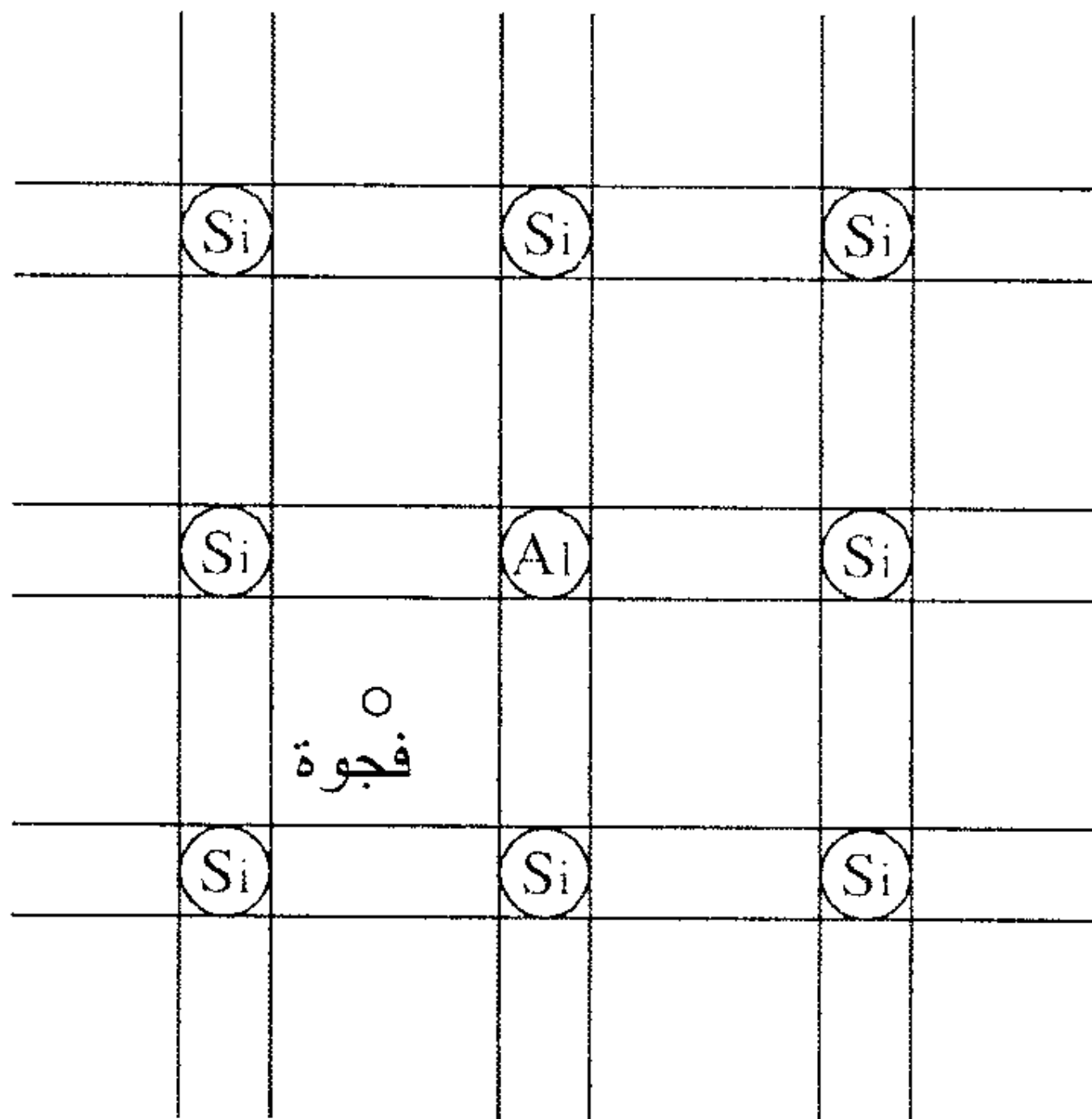
نقل التيار الكهربائي. يتجه الإلكترون الحر لكسر بعض الإلكترونات في ذرات الجرمانيوم أو السليكون لروابطها لتترك خلفها فجوات تنتج تياراً موجباً يتحرك عكس التيار السالب. إذاً في شبه الموصل هناك تياران:

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 الأنديموم (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 أوأصر تساهمية. وبما أن ذرات الشوائب تحتوي على ثلاثة إلكترونات فقط في غلافها الخارجي لهذا سوف تبقى رابطة تساهمية واحدة تحوي إلكترون واحدًا و تحتاج إلى إلكترون آخر لاستكمال البنية البلورية الاعتيادية لشبه الموصل.

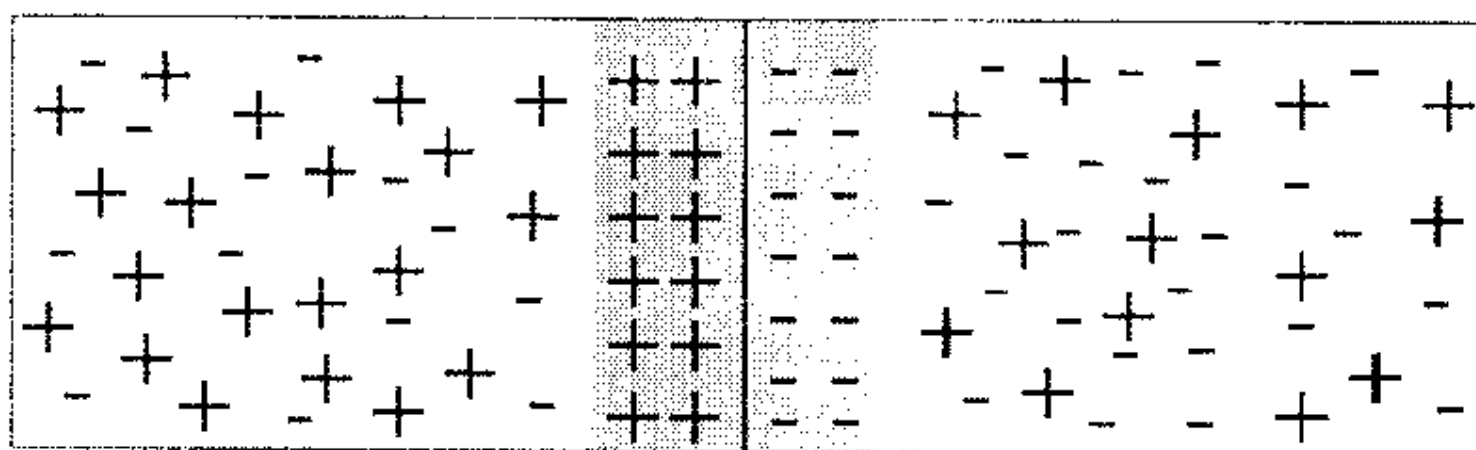
الذرة الشائبة تكتسب بسهولة إلكترونات من الروابط المجاورة لتكمل روابطها إلا أن

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 تتدفع الإلكترونات الحرة



من المنطقة (n) والقريبة من منطقة الاستنفاد إلى المنطقة (p) لتملأ الفجوات القريبة من منطقة الاستنفاد

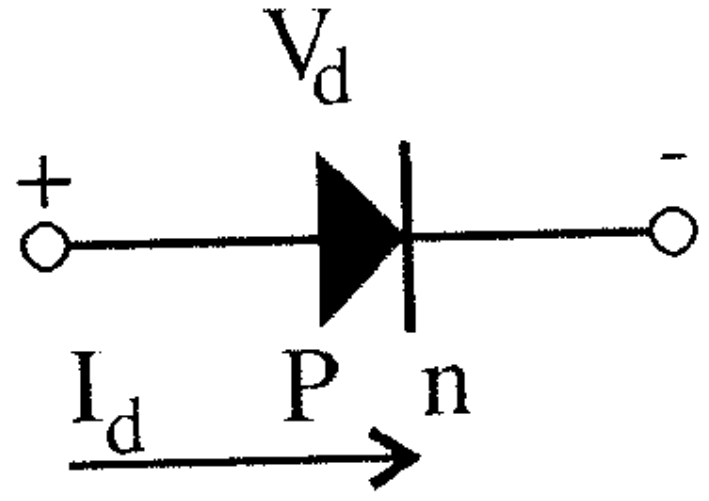
وذلك بفعل التجاذب،و يستمر هذا الانتقال فترة وجيزة ثم يحدث التوازن ويكون بذلك حاجز يفصل بين المنطقة (n) والمنطقة (p)،ويسمى هذا الحاجز بحاجز الجهد (Potential Barrier)، والشكل السابق يوضح عملية الحصول على وصلة الموجب بالسالب.

4.8. الصمام الثنائي (Diode)

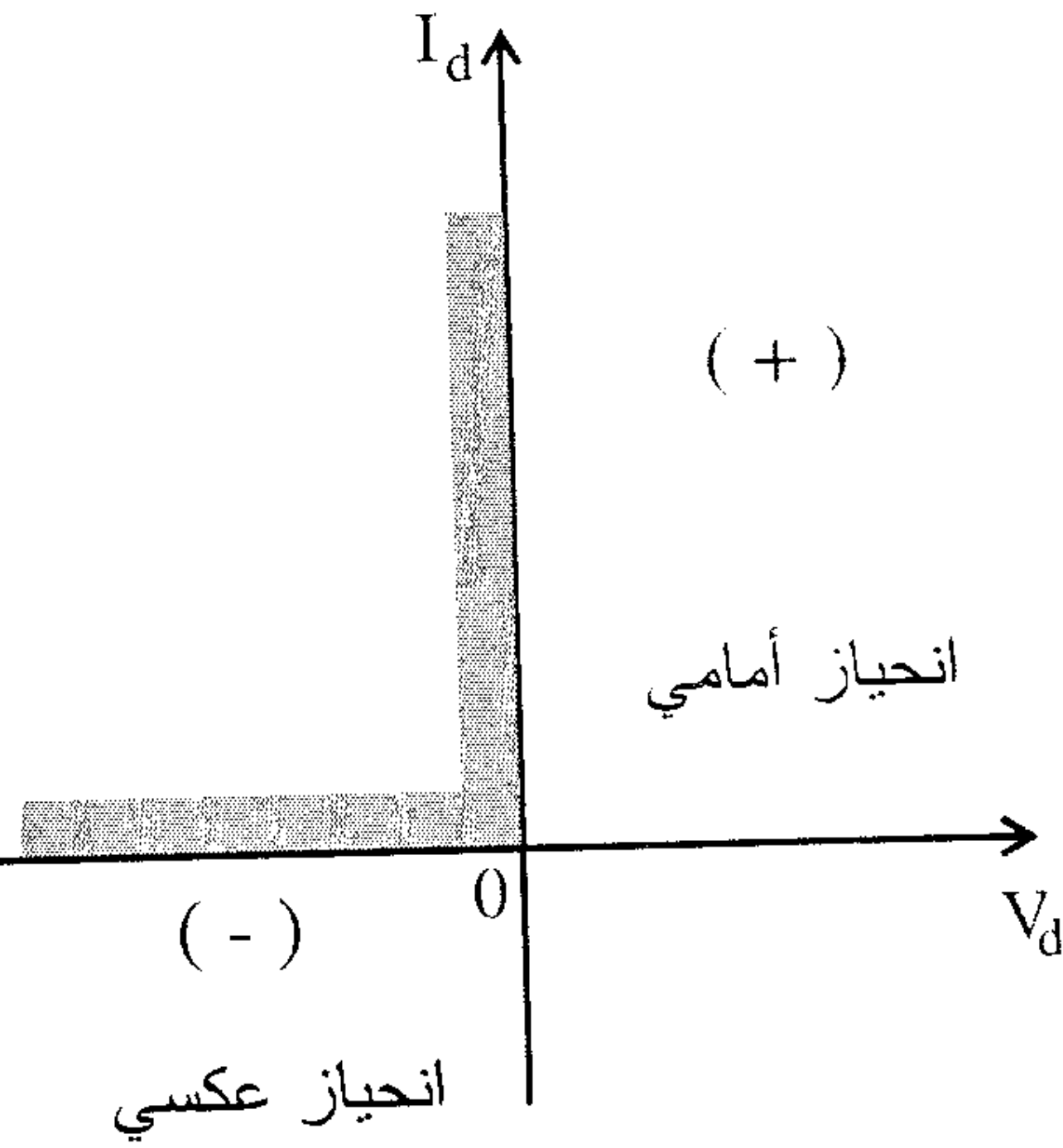
هو عبارة عن وصلة ثنائية (n-p) تستخدم في الدوائر الكهربائية.

الثنائي المثالي (Ideal Diode)

ويرمز له كما في الشكل التالي



حيث أن V_d جهد الثنائي و I_d تيار الثنائي. ومنحنى 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 المنحنى وهي

النقطة (0,0) وفيها يكون الجهد

المسلط على الثنائي مساوياً صفراً

وبالتالي فإن التيار يساوي أيضاً صفراً:

$$V_d = 0V$$

$$I_d = 0A$$

2- منطقة الانحياز الأمامي (forward bias Resistance) : وهي

منطقة الجزء العلوي الموجب للمنحنى، وفيها الجهد يساوي صفراً والتيار له

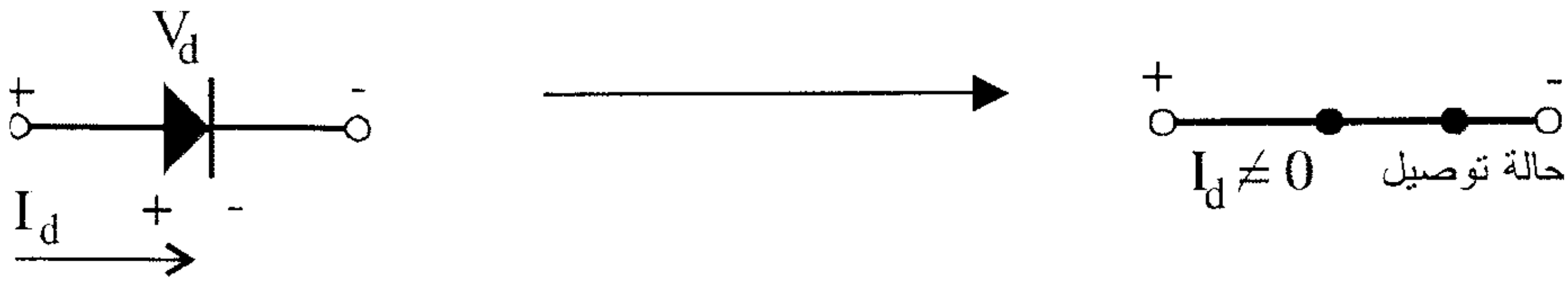
قيمة موجبة، ويمكن حساب مقاومة الانحياز الأمامي

$$R_f = \frac{V_f}{I_f} = \frac{0V}{2,3,4,...mA} = 0\Omega$$

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

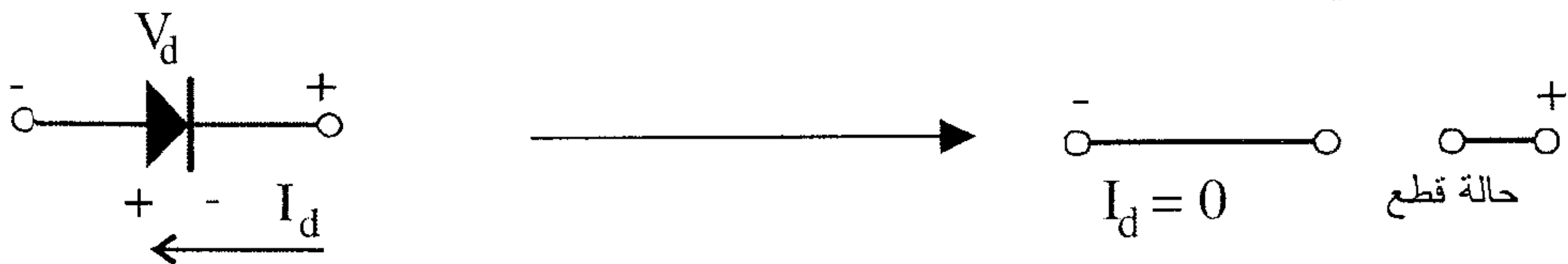
الشكل التالي:



3- منطقة الانحياز العكسي (reverse bias Resistance) : وهي منطقة الجزء السفلي الأيسر السالب للمنحنى وفيها الجهد يساوي قيمة سالبة أقل من الصفر والتيار يساوي صفر، ويمكن حساب مقاومة الانحياز العكسي وقيمة المقاومة كبيرة جداً:

$$R_r = \frac{V_r}{I_r} = \frac{-5, -10, -20, \dots V}{0mA} = \infty$$

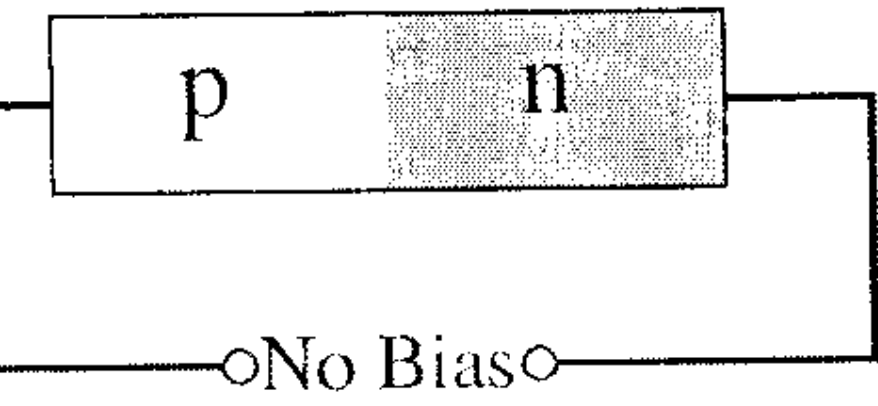
ويعتبر الثنائي في هذه الحالة دائرة مفتوحة (open circuit) أي في حالة قطع (off state) (عدم توصيل)، ويستبدل الثنائي في هذه الحالة بدائرة مفتوحة كما في الشكل التالي:



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 اتصال (n) بالقطب الموجب لمصدر الجهد و (p) بالقطب السالب لمصدر الجهد لتنتج عن ذلك زيادة في منطقة الاستنفاد ليزداد بذلك عرض حاجز الجهد، والأسباب كالتالي:

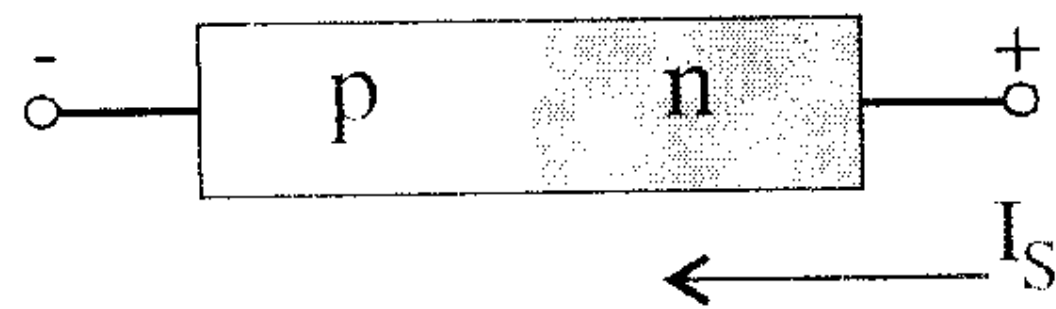
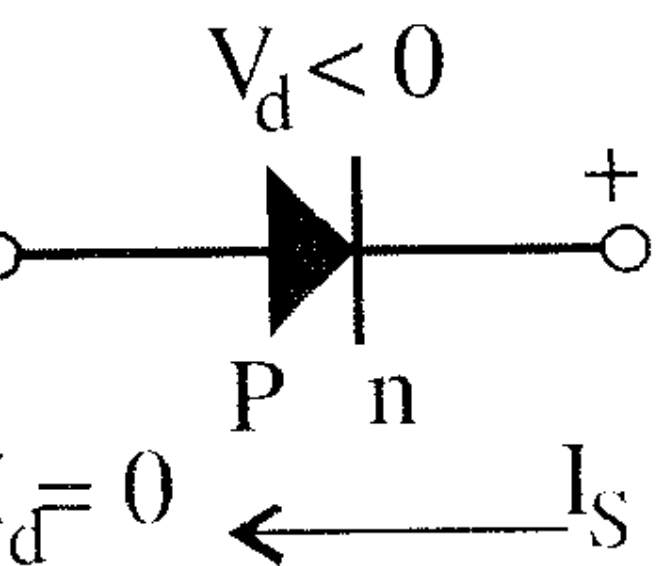
(1) تتجه الإلكترونات الحرة والتي تمثل الأقلية (تيار الأقلية) من (n) إلى القطب الموجب والفجوات في (p) نحو القطب السالب (تيار الأغلبية) مما يؤدي إلى زيادة مساحة حاجز الجهد.

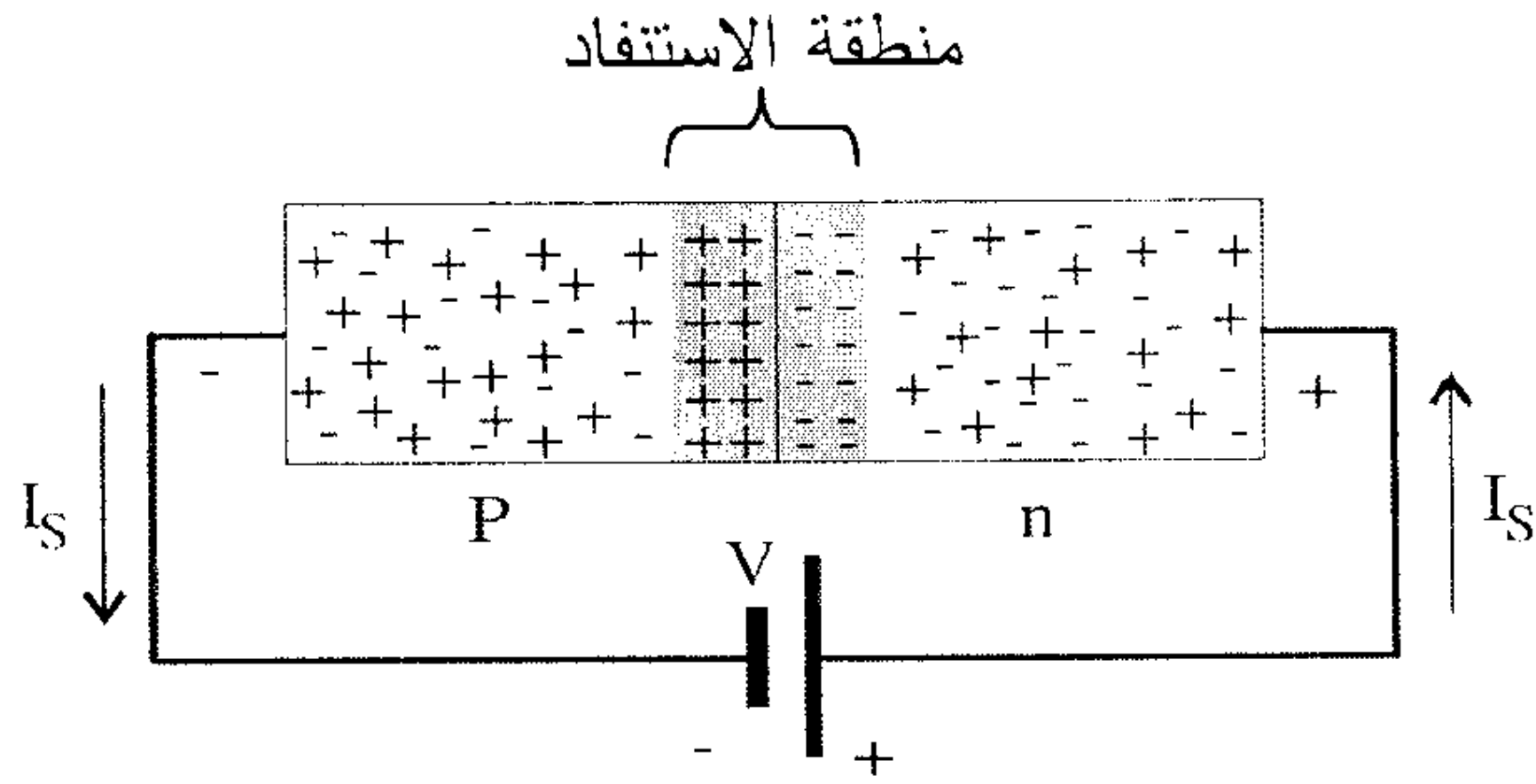
(2) لا يتمكن تيار الأغلبية من عبور منطقة الاستنفاد وتقل قيمته.

(3) تيار الأقلية الناتج عن الإلكترونات في (p) والفجوات في (n) يسري ويرمز له بالرمز (I_s) ويسمى أيضاً تيار التشبع العكسي

(Reverse saturation current)

وهو تيار صغير جداً بحدود النانو أمبير (nA) في ثنائي السليكون وفي حدود المايكرو أمبير (μA) في الجرمانيوم. ومن ميزات هذا التيار أنه ثابت ولا يزداد بزيادة الجهد V_d ، ويعبر عن الثنائي في هذه الحالة كما في الشكل التالي:

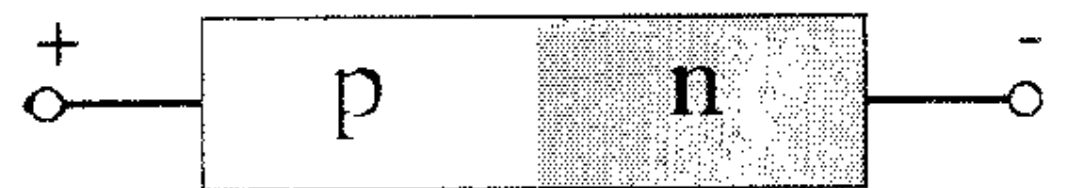
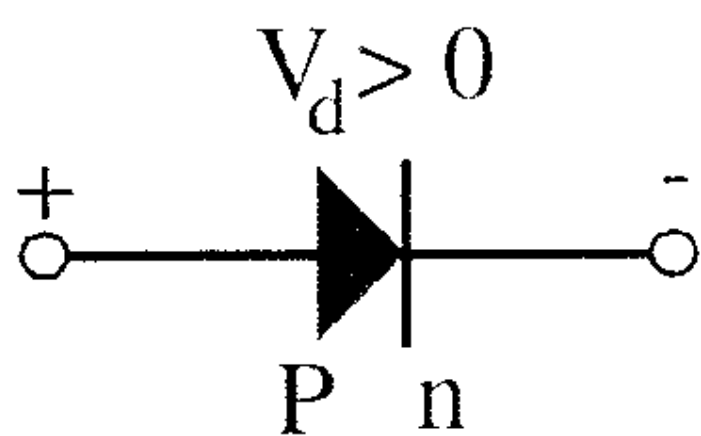


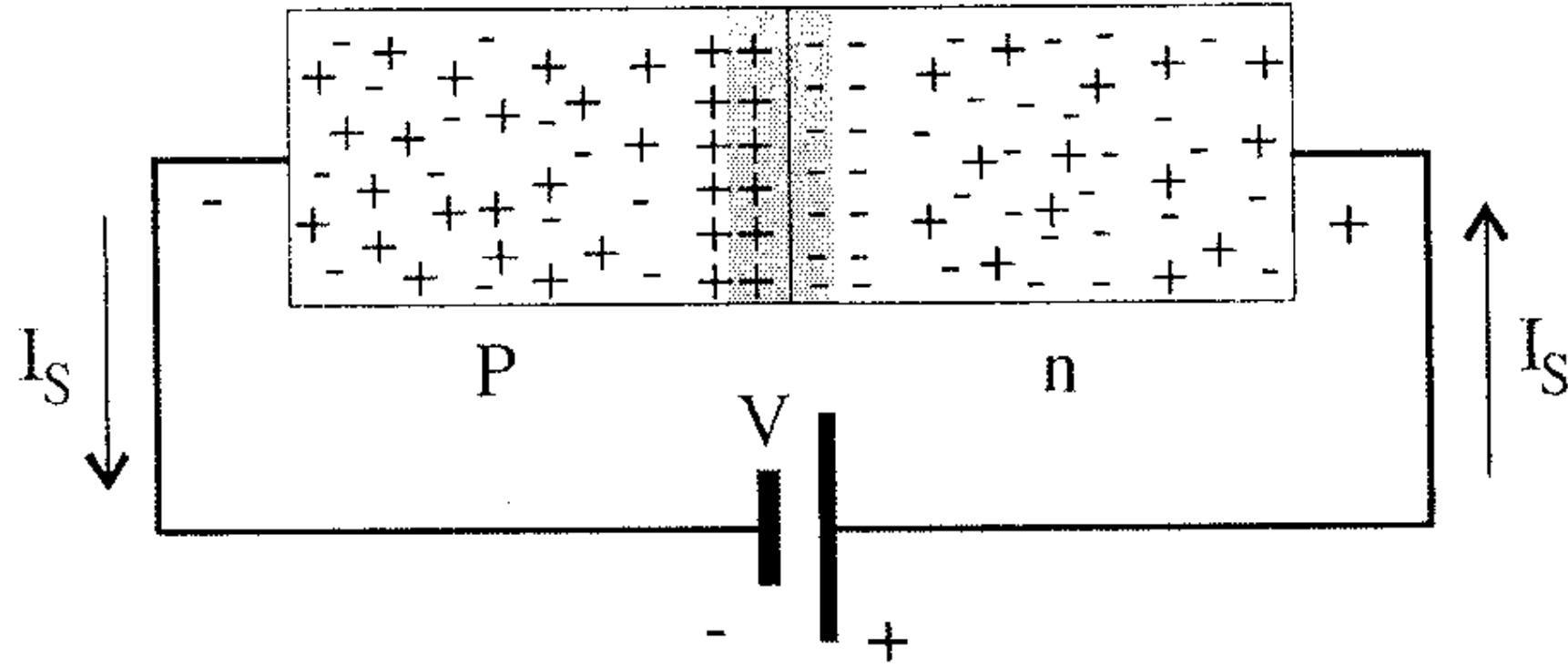


(3) الحالة الثالثة للثنائي: الانحياز الأمامي Forward-Bias Condition

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:



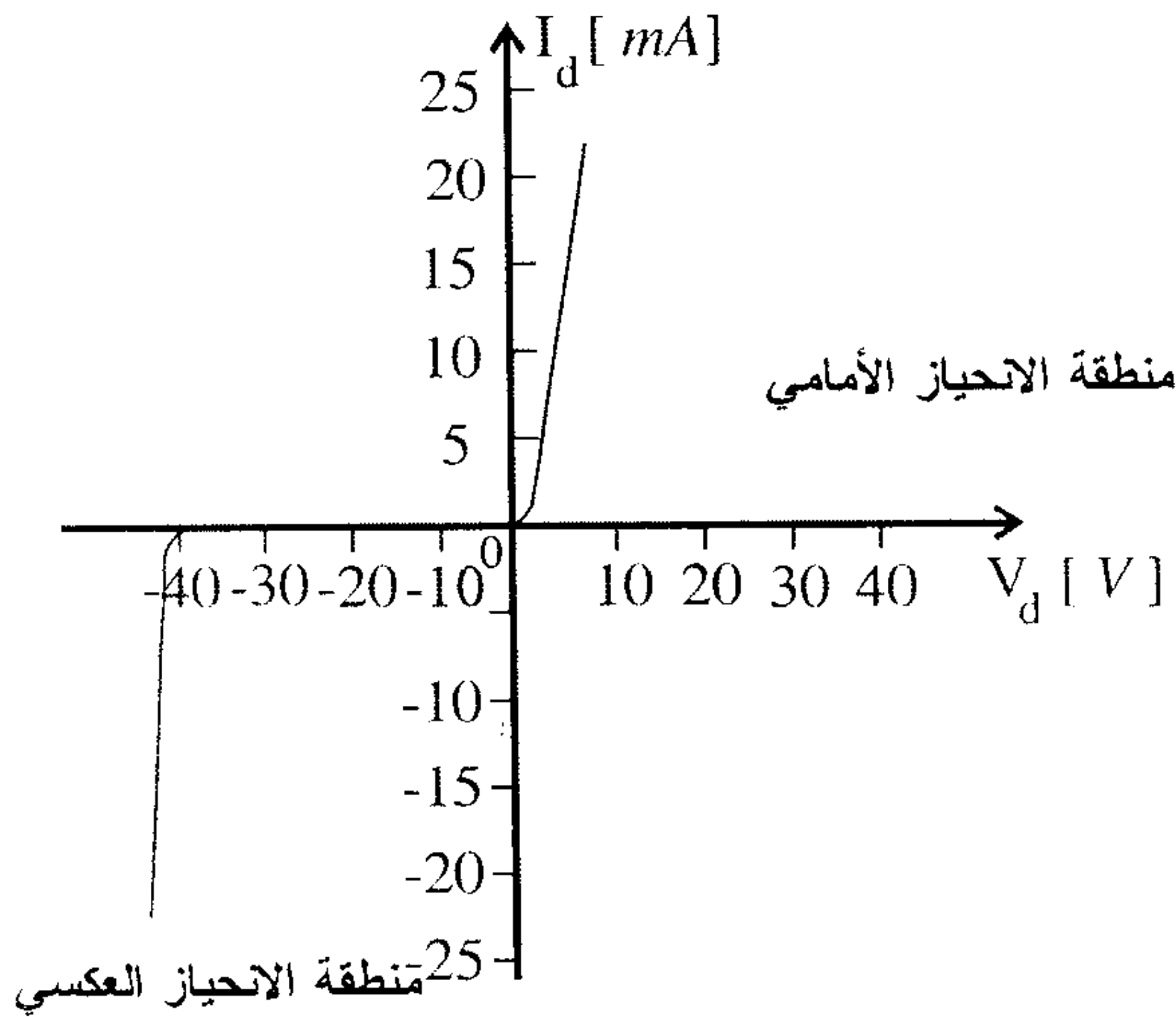


تكون قيمة تيار الثنائي كالتالي:

$$I_D = I_{\text{Majority}} - I_S$$

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:

$$I = I_S (e^{(kV/T_k)} - 1)$$

حيث أن:

I_S : تيار التشبع العكسي.

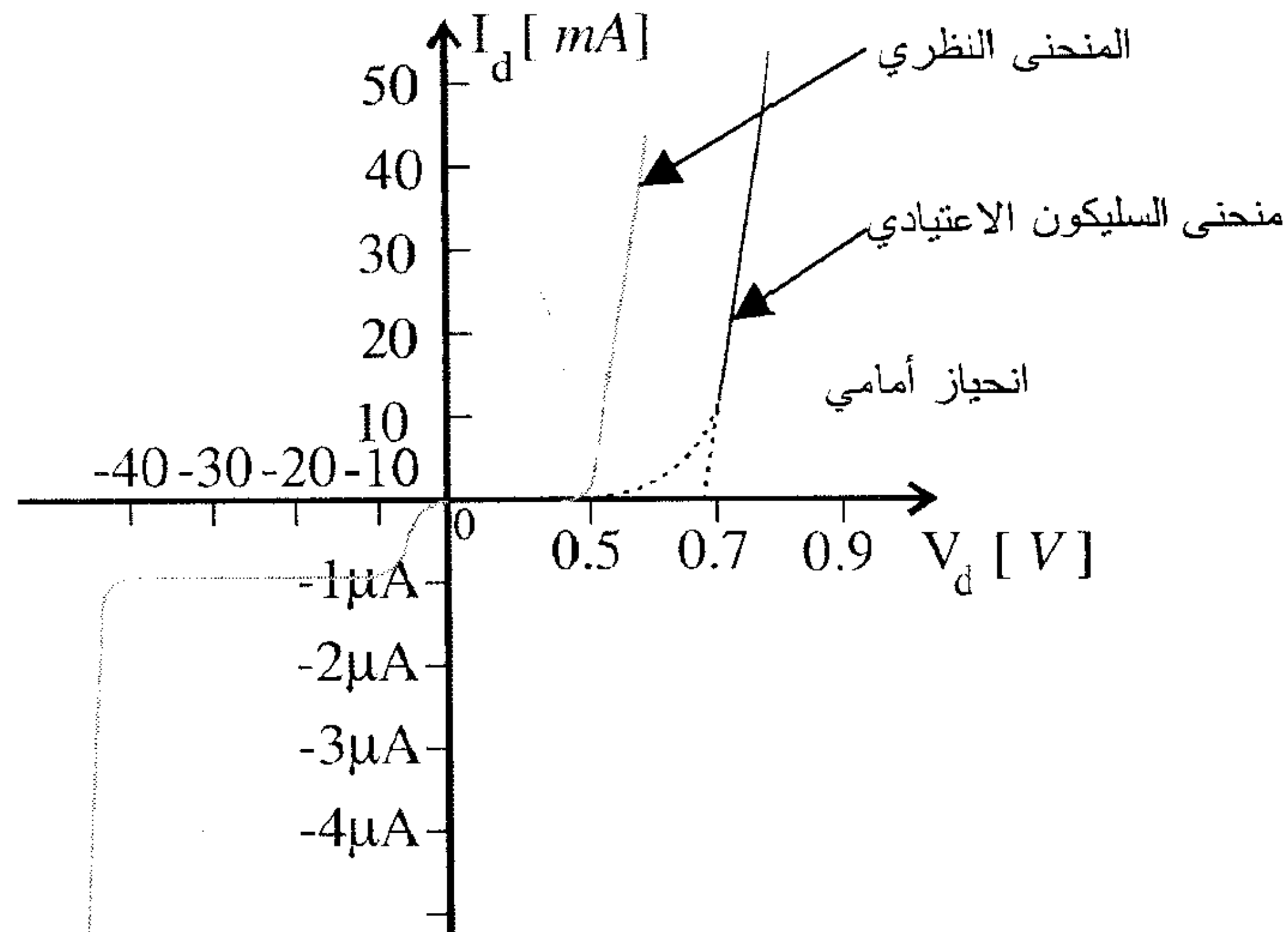
k : مقدار ثابت يساوي 5800 للسليكون و 11600 للجرمانيوم.

$$T_k = T_C + 273$$

T_C : درجة الحرارة معطاة بالدرجة المئوية.

T_k : درجة الحرارة معطاة بالدرجة المطلقة (كلفن).

منحنى الخواص لثنائي السليكون:



مثال 1.8:

باستخدام المعادلة السابقة والاستعانة بمنحنى الخواص لثنائي السليكون يمكن حساب تيار الثنائي عند درجة حرارة الغرفة ($T_C = 25^\circ C$).
انحياز عكسي

$$T_k = 25 + 273 = 298 \text{ K}$$

ومن المنحنى نحصل على قيمة :

$$I_s = 1\mu A$$

$$V = 0.5V$$

$$K = 5800 \quad (\text{للسليكون})$$

$$\frac{KV}{T_k} = \frac{(5800)(0.5)}{298} = 9.732$$

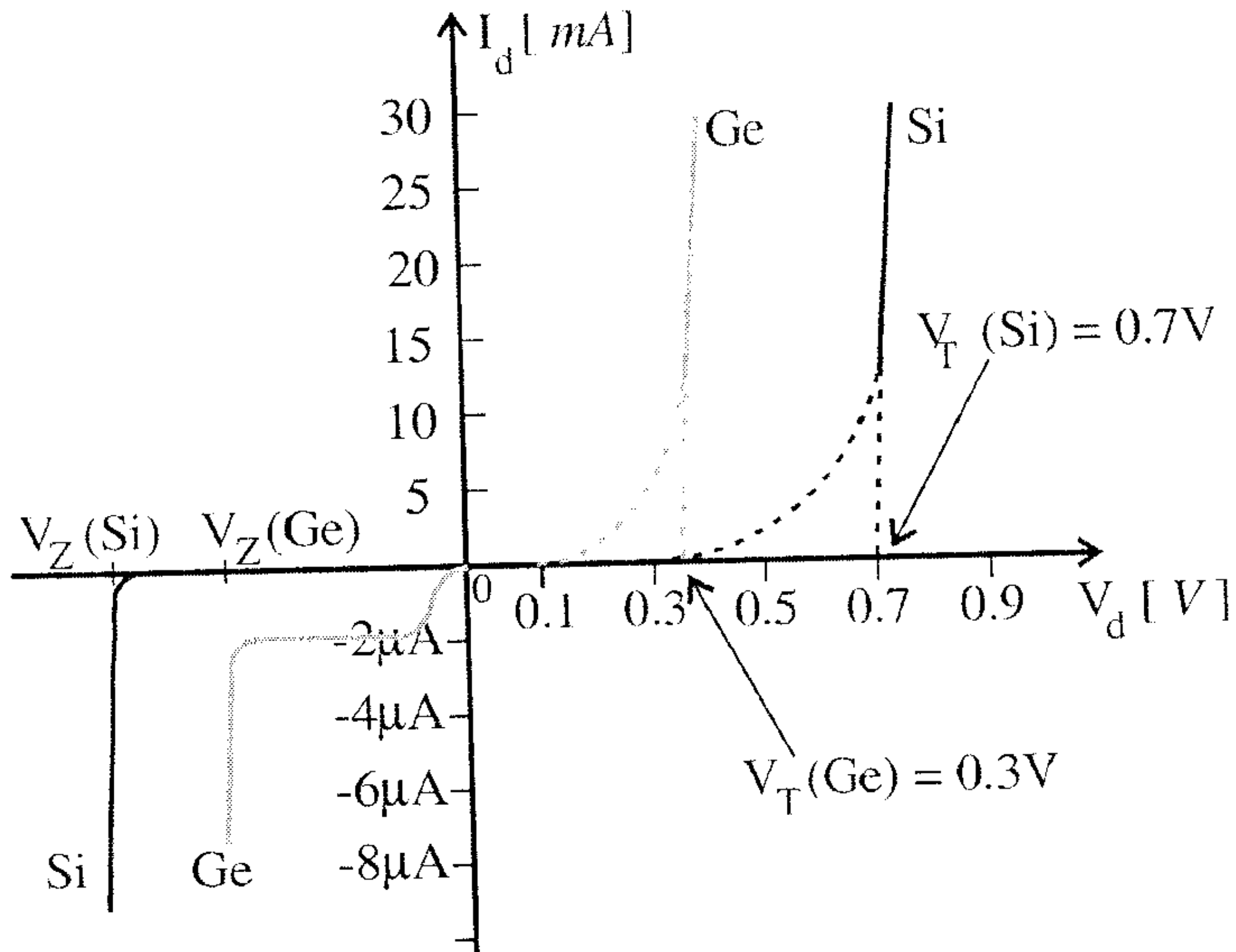
$$I = I_s (e^{9.732} - 1)$$

$$I = 1 \times 10^{-6} (e^{9.732} - 1)$$

$$I = 16.8mA$$

مقارنة بين السليكون و الجرمانيوم:

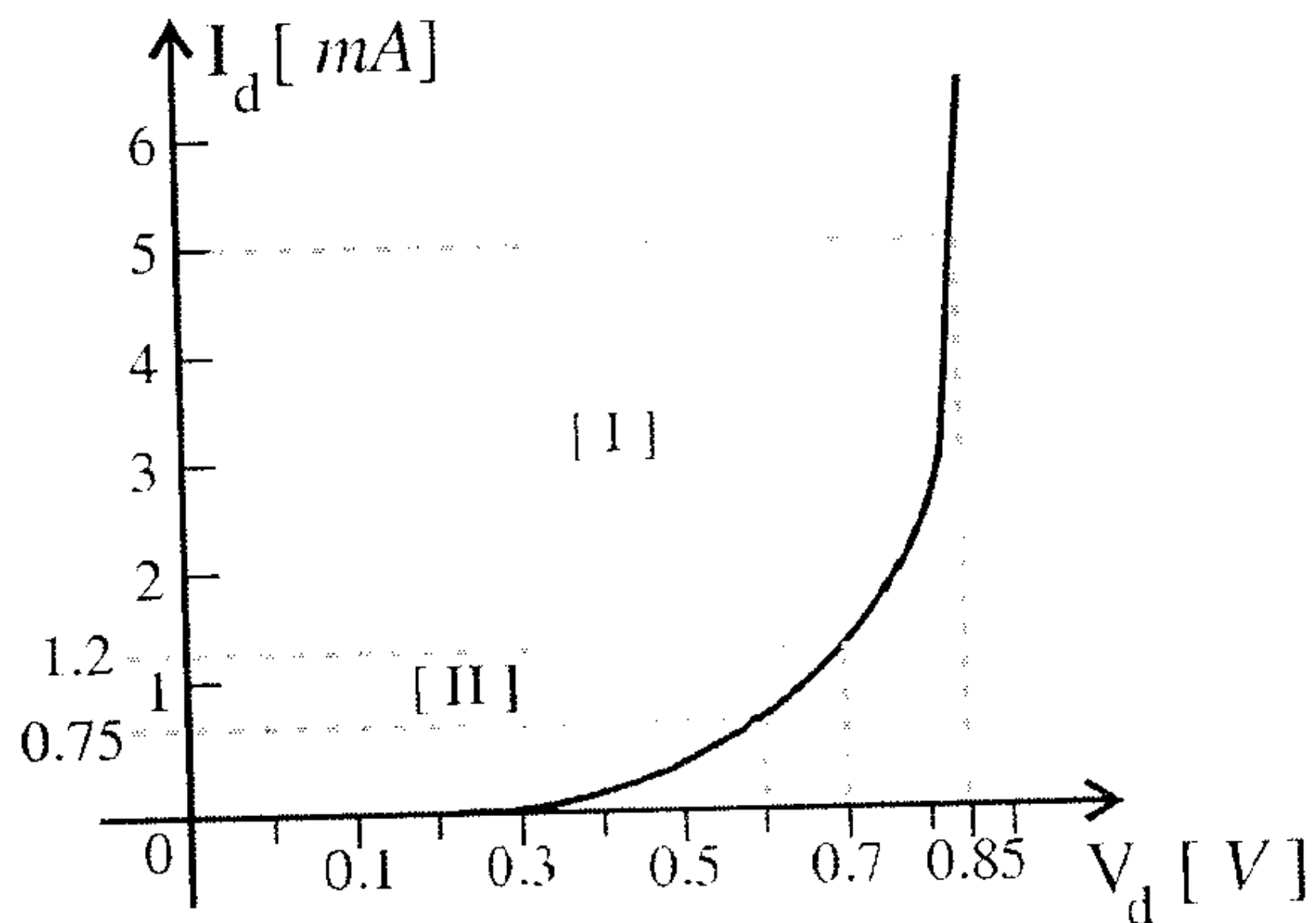
التفصيل	جرمانيوم (Ge)	سليكون (Si)
أقصى جهد عكسي يمكن أن يسلط	400V	1000V
يمكن استخدامه في درجات حرارة تصل	100 °C	200 °C
جهد الانحياز الأمامي (V_T)	0.3 V	0.7V
طاقة الفجوة (E_g)	0.67 eV	1.1 eV
تيار التسرب العكسي	يقاس بـ (μA)	يقاس بـ (nA)



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 :

$$\Delta I_d = 5mA - 0.75mA = 4.25mA$$

$$\therefore r_{av} = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} = \frac{0.25V}{4.25 \times 10^{-3} A} = 58.82\Omega$$

وكذلك بالنسبة للمنطقة (II) من المنحنى:

$$r_{av} = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} = \frac{0.7V}{1.2 \times 10^{-3} A} = 583.3\Omega$$

5.8 نماذج دوائر الثنائي المكافئة Equivalent Circuits Diode Models

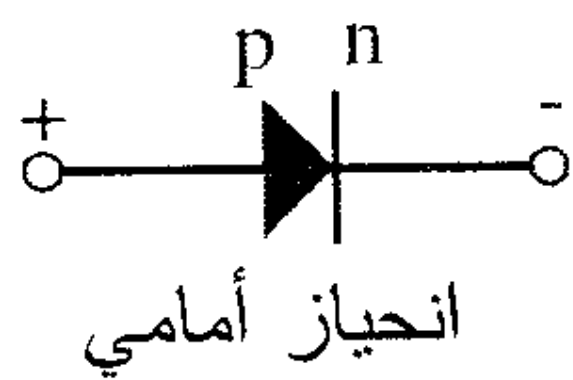
الغرض من نماذج دوائر الثنائي المكافئة هو تحليل سلوكيات الثنائي في الدوائر ويمكن تفسيرها بدراسة النماذج الآتية:

1- نموذج الثنائي المثالي (التقريب الأول):

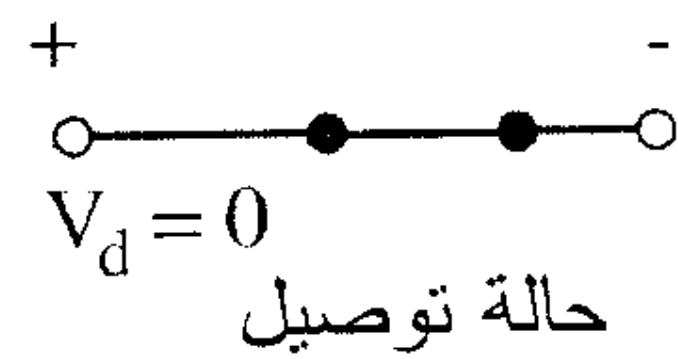
هذا النموذج يفترض أن يكون الثنائي إما مفتوحاً (off state) أو مغلقاً (on state).

أ- في حالة الإغلاق (التوصيل) أثناء الانحياز الأمامي يكون الجهد على طرفي الثنائي مساوياً صفراً وبالتالي فإن المقاومة الأمامية:

$$R_f = \frac{V_f}{I_f} = \frac{0V}{I_f} = 0\Omega$$



=

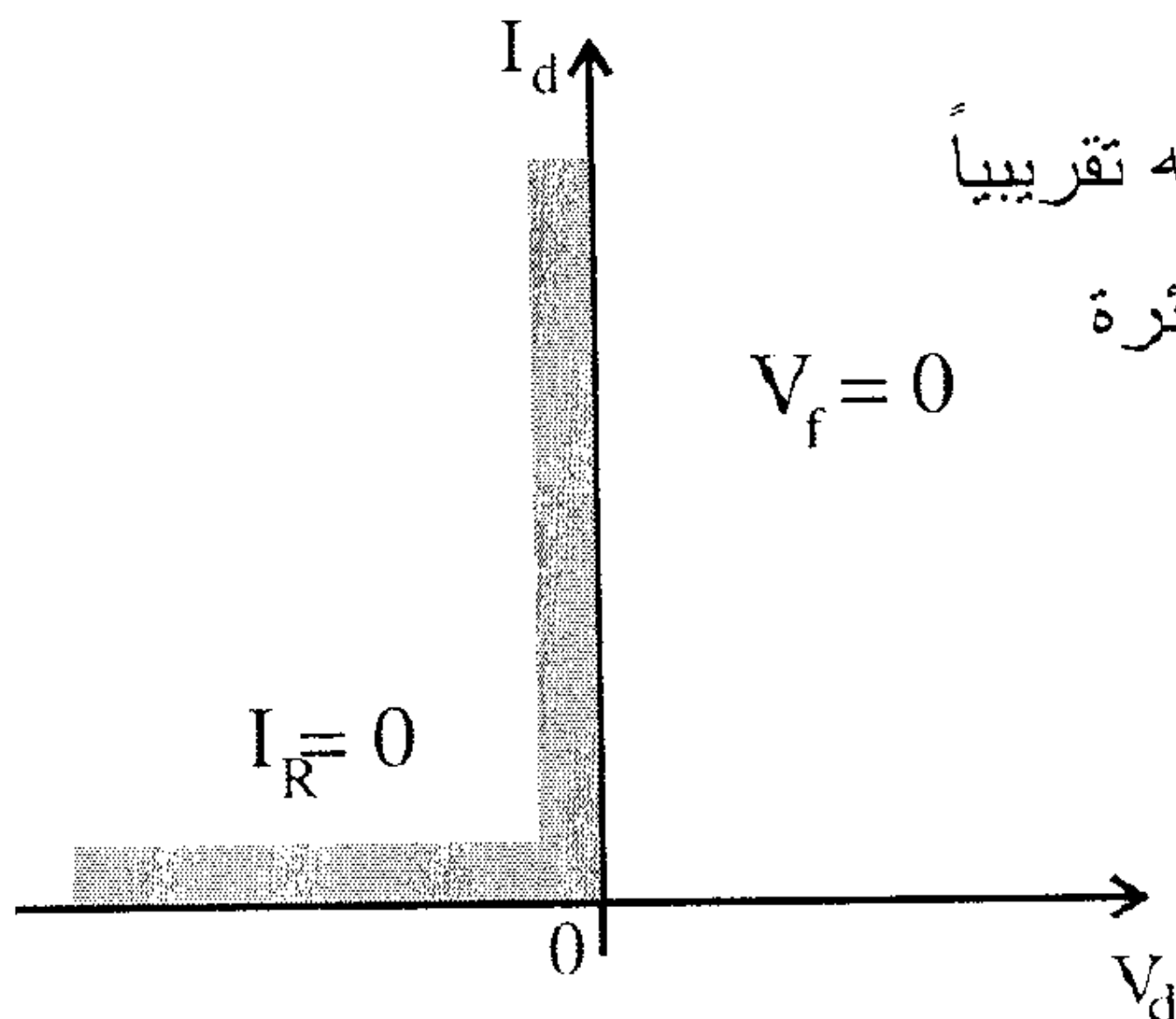
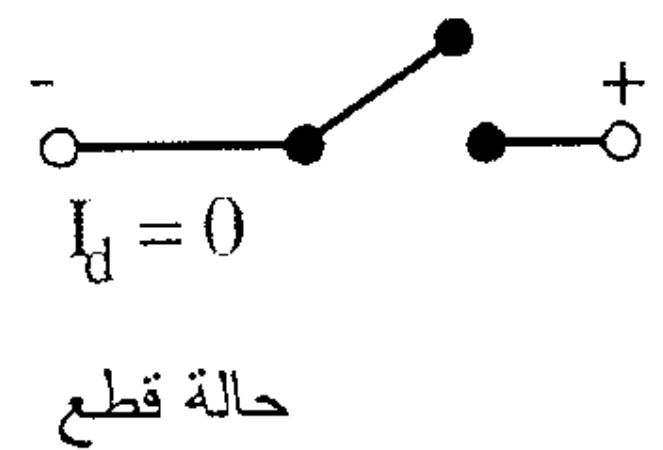


ب- في حالة الفتح (القطع) أثناء الانحياز العكسي يكون التيار مساوياً صفراً وتكون المقاومة العكسية R_R :

$$R_R = \frac{V_R}{I_R} = \frac{V_R}{0} = \infty$$



=



منحنى الخواص للثنائي المثالي

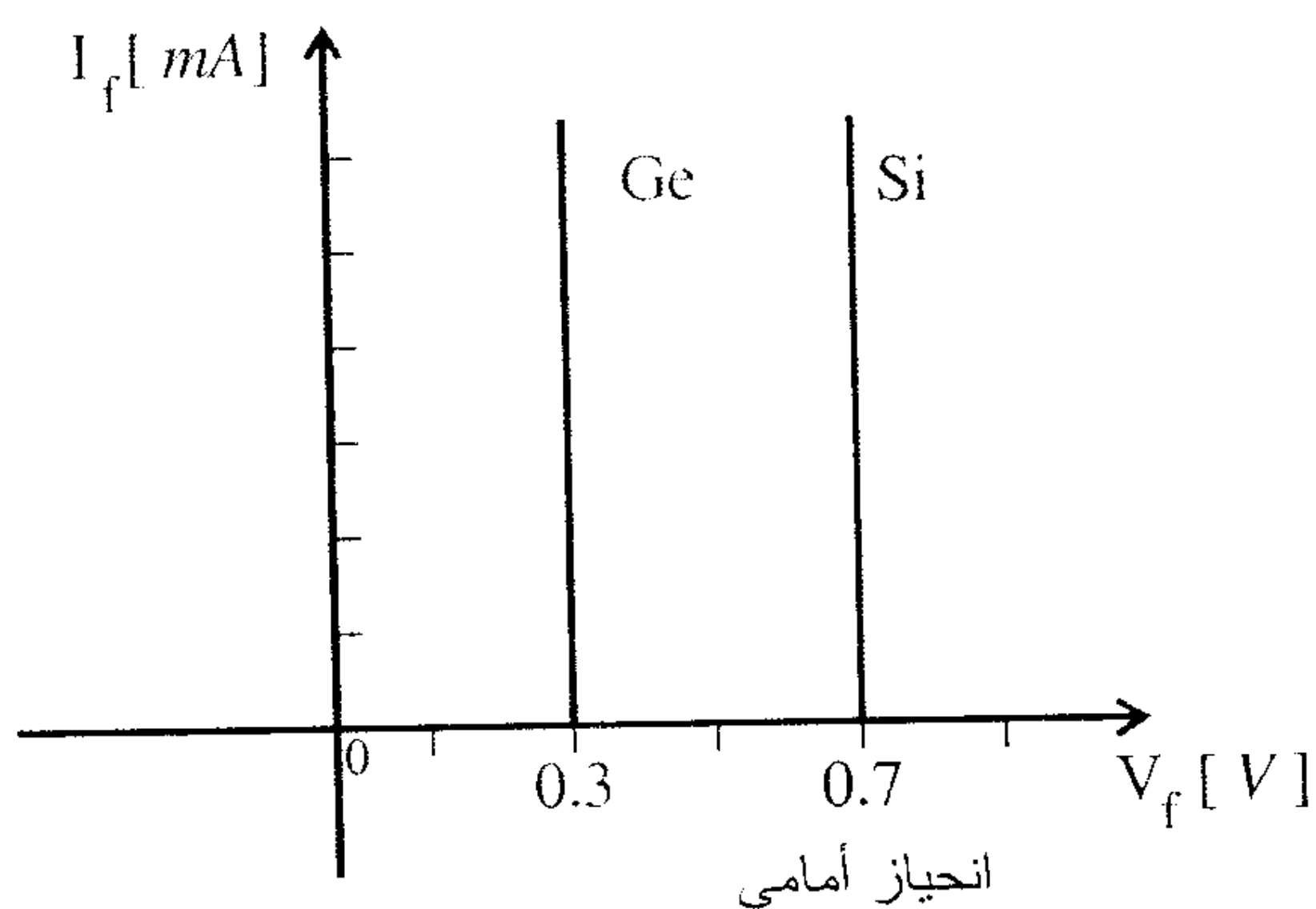
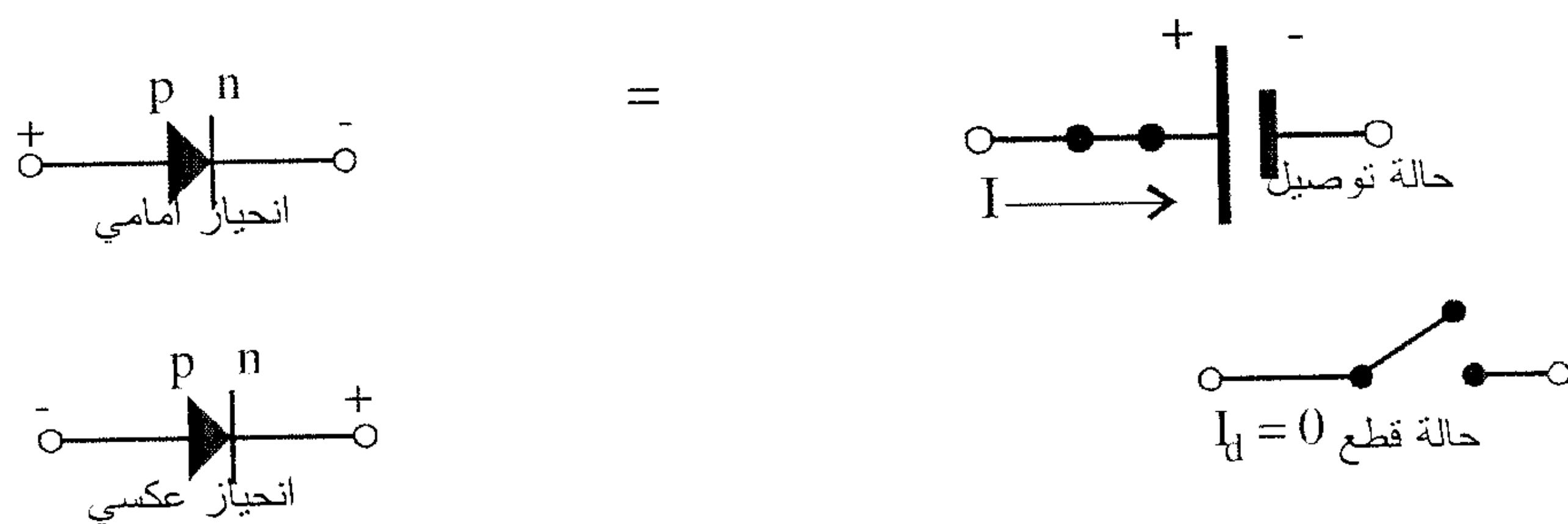
هذا النموذج يستخدم لمعرفة ما ستكون عليه تقريباً قيمة التيارات والفروق في الجهود في الدائرة وكذلك جهد الحاجز لهذا الثنائي المثالي ($V_T = 0V$).

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.

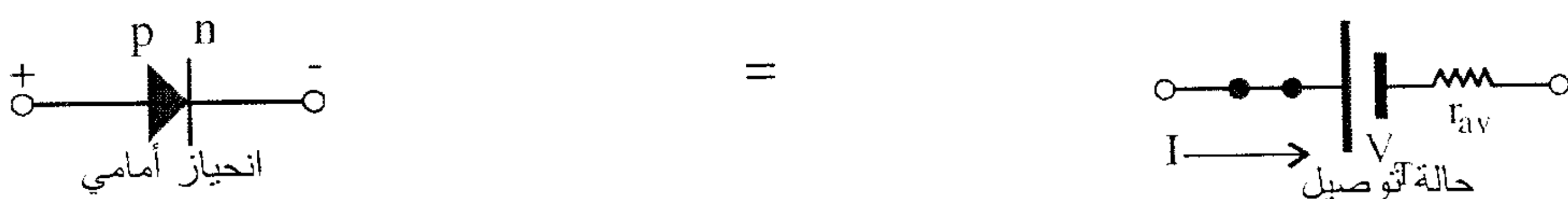
في هذا التقريب يعتبر الثنائي مثالياً وموصل على التوالي بمصدر جهد مقداره (0.7V) بالنسبة لثنائي السليكون ومصدر جهد مقداره (0.3V) بالنسبة لثنائي الجرمانيوم في حالة الانحياز الأمامي.

أما في حالة الانحياز العكسي فمثله مثل التقريب الأول حيث يعتبر الثنائي دائرة مفتوحة وتياره يساوي صفراً.



3- نموذج الثنائي الحقيقي (التقريب الثالث):

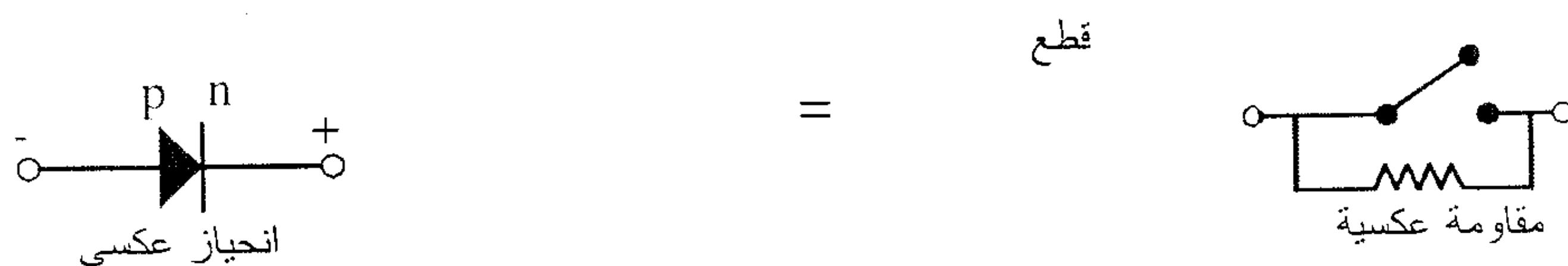
في هذا النموذج يتم أخذ المقاومة (r_{av}) بعين الاعتبار ليصبح الثنائي في حالة الانحياز الأمامي كثنائي مثالي موصل على التوالي مع مصدر جهد مقداره ($0.7V$) للسليكون و ($0.3V$) للجermanيوم ، وكذلك مع مقاومة على التوالي (r_{av}) .



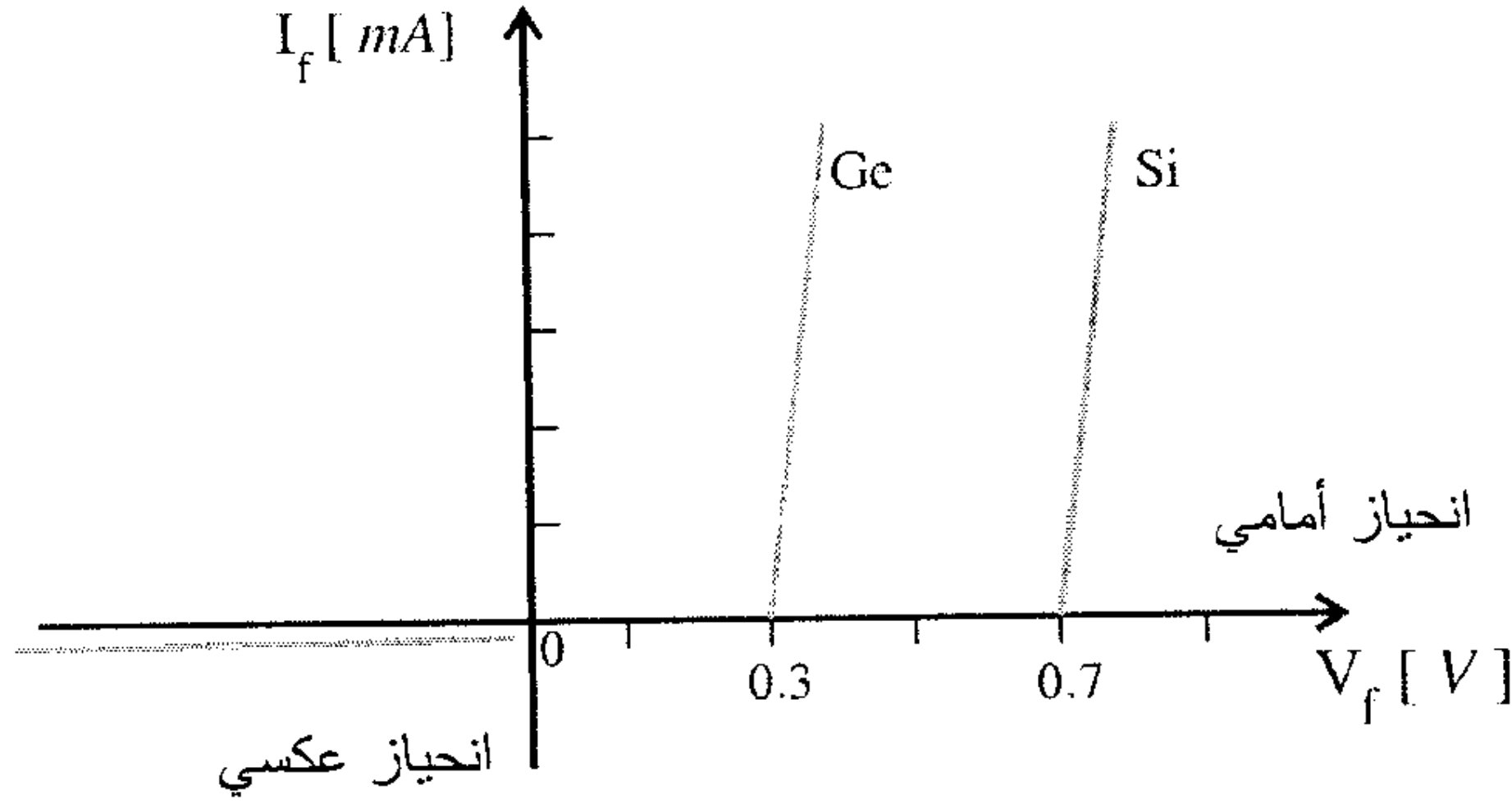
ليكون جهد الثنائي في حالة الانحياز الأمامي كالتالي:

$$V_d = V_T + I_d r_{av}$$

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:

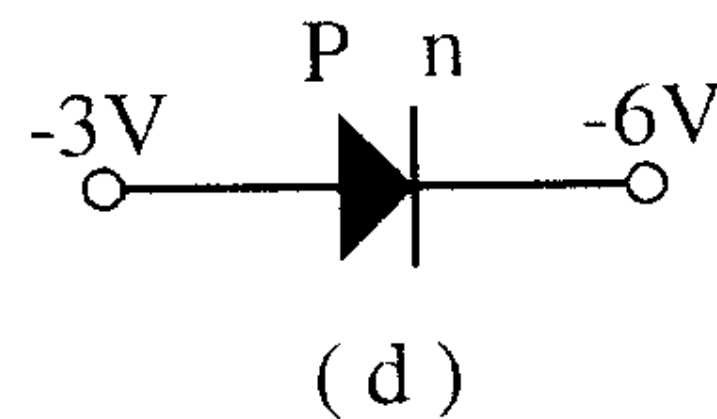
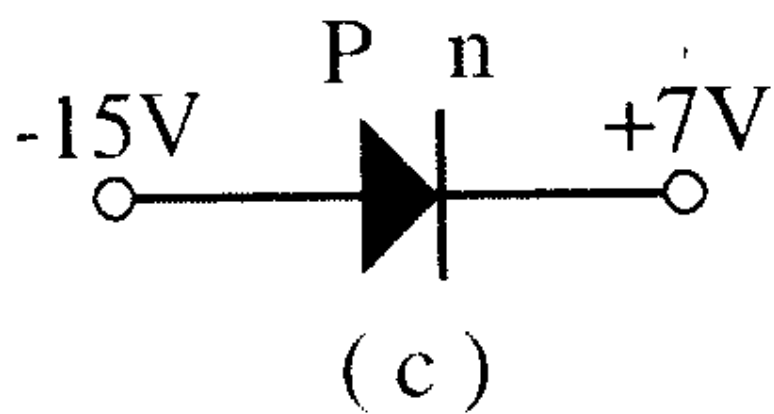
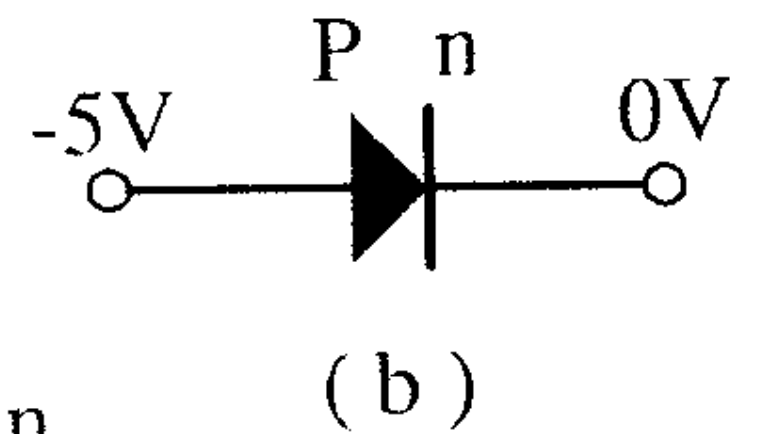
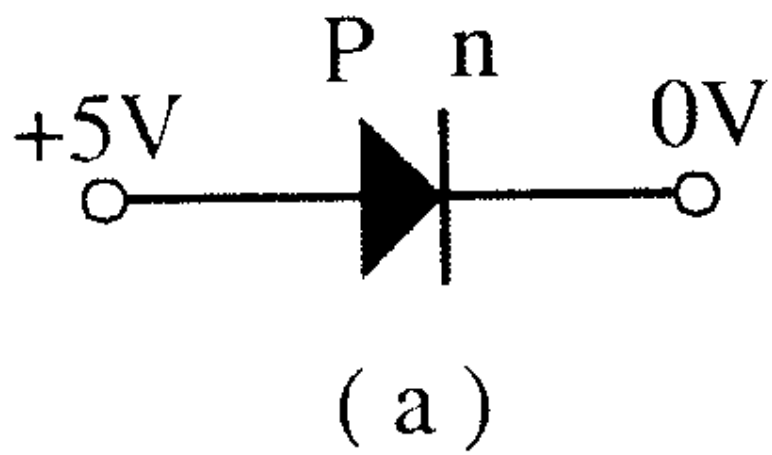
1- إذا كانت مقاومة الدائرة بالكامل (R) أكبر من (r_{av}) نستخدم التقريب الثاني ($R \gg r_{av}$).

2- إذا كانت ($R \gg r_{av}$) وكذلك ($V \gg V_T$) ، أي مصدر جهد الدائرة أكبر بكثير من الحاجز (V_T) ففي هذه الحالة نستخدم التقريب الأول.

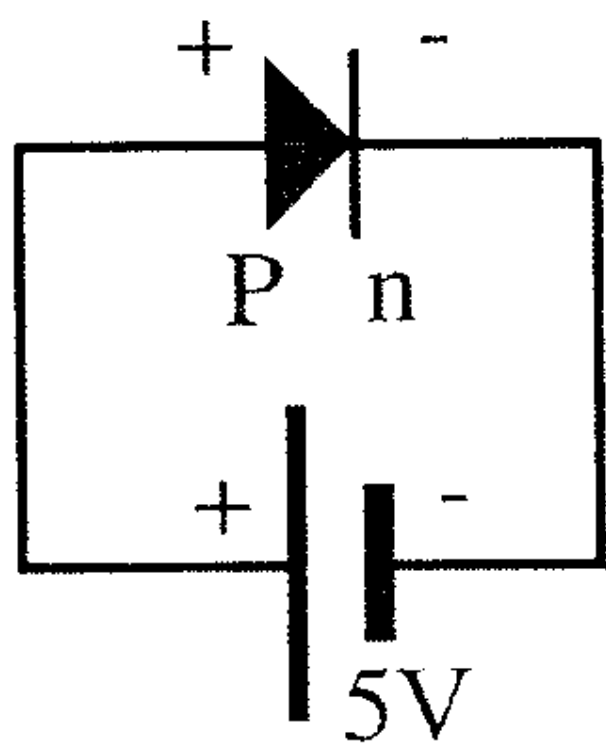
ولكن في التطبيقات العملية وتحليل الدوائر غالباً ما نستخدم التقريب الثاني أو الثالث.

مثال 2.8 :

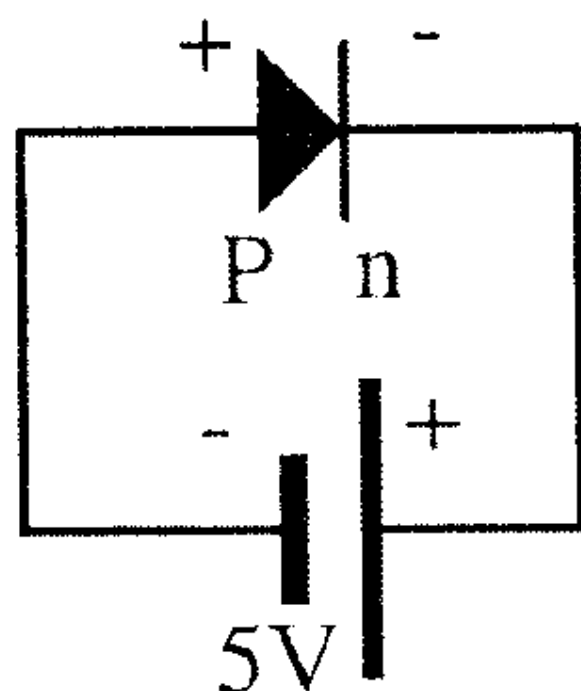
حدد نوع الانحياز (عكسي أو أمامي) للثنائيات في الأشكال التالية:



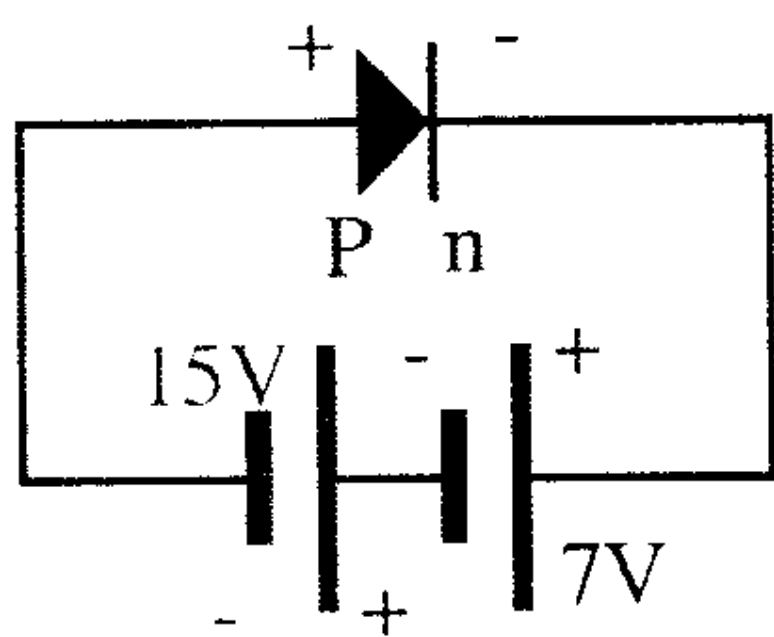
الحل:



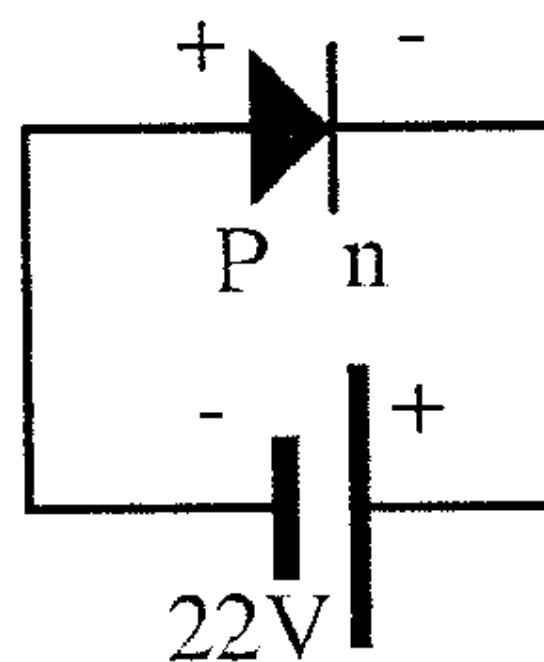
a- انحياز أمامي لأن القطب السالب لمصدر الجهد موصل بالوصلة (n) والموجب بالوصلة (p) .



b- انحياز عكسي لأن القطب الموجب لمصدر الجهد موصل بالوصلة (n) والسالب بالوصلة (p) .

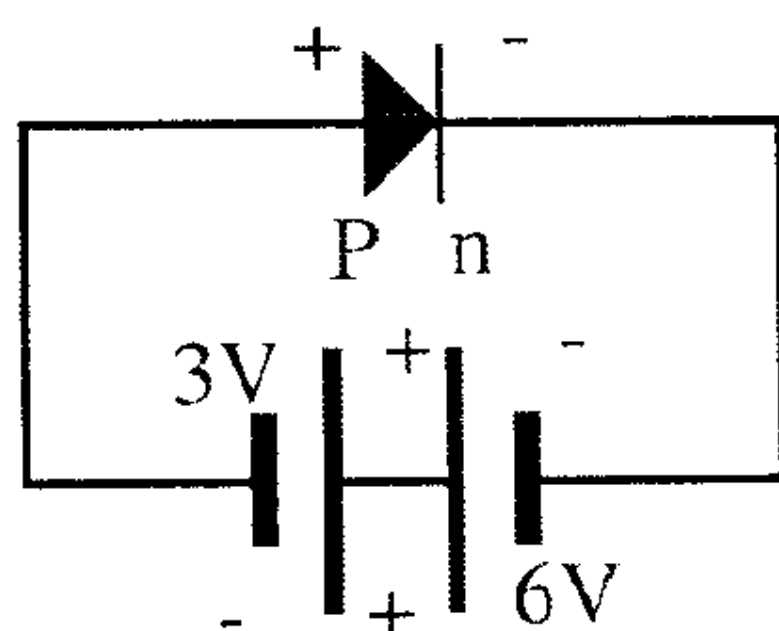


=

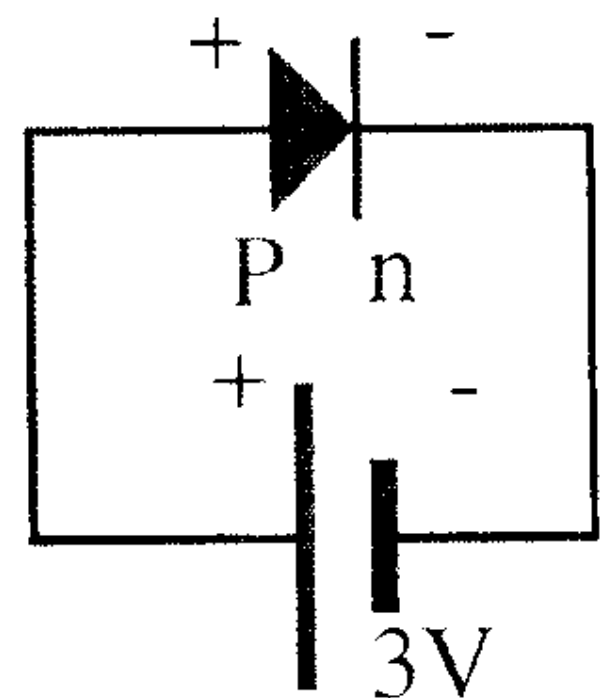


c- انحياز عكسي .

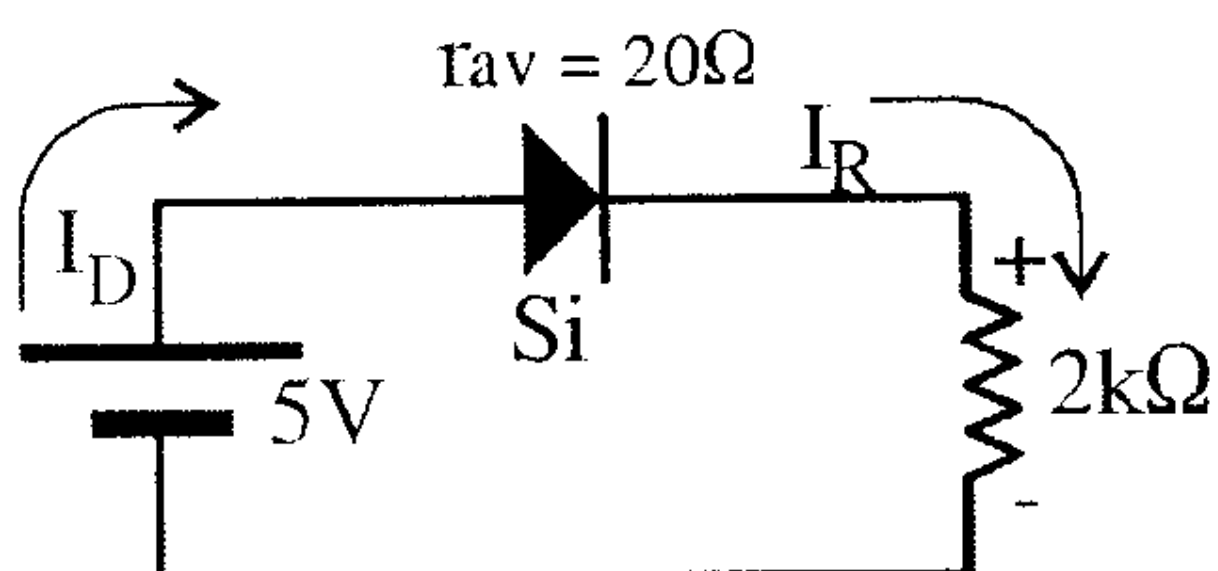
=



d- انحياز أمامي .



مثال 3.8:



من الدائرة بالشكل :

1- حدد نوع التقريب لثنائي السليكون .

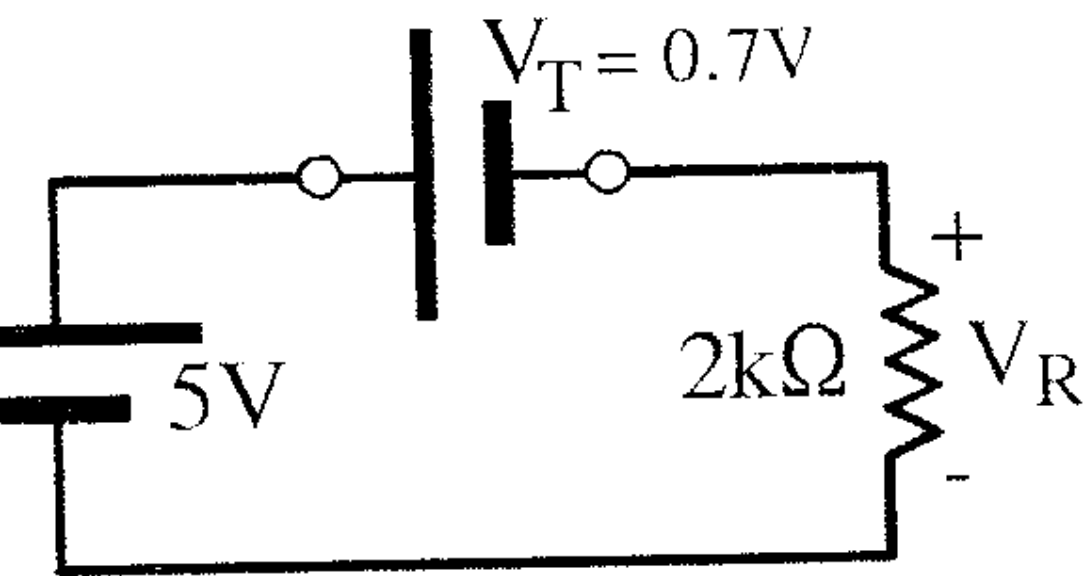
2- احسب تيار وجهد المقاومة (R) .

الحل:

1- بما أن R أكبر بكثير من r_{av} للتنائي 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 التنائي بمصدر

جهد ($V_T = 0.7V$) للسليكون

وباستخدام (KVL) يمكن إيجاد V_R

$$V - V_T - V_R = 0$$

$$5V - 0.7V - V_R = 0$$

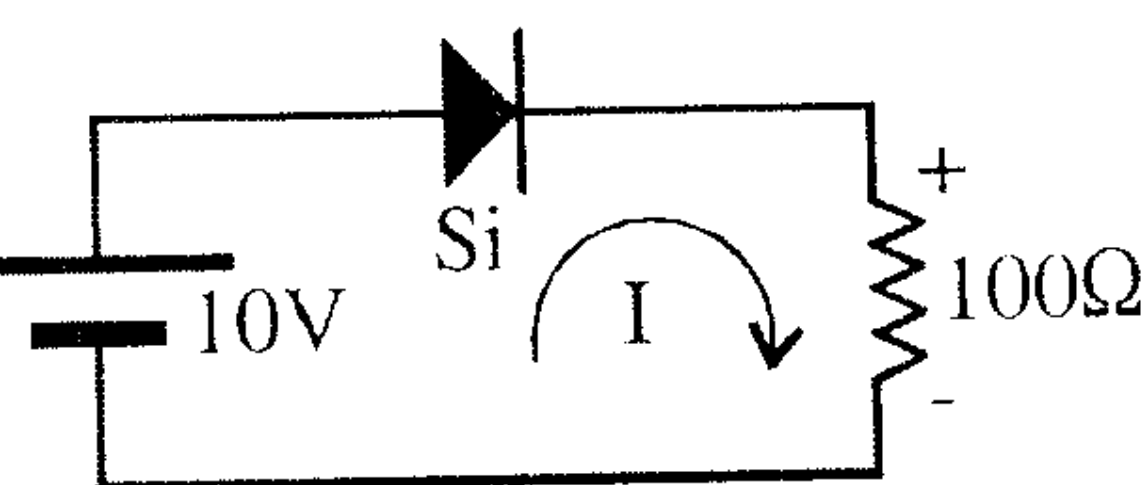
$$\therefore V_R = 5V - 0.7V = 4.3V$$

وباعتبار أن الدائرة دائرة توالٍ وتيارها ثابت فإن $I_D = I_R$

$$I_R = I_D = \frac{V_R}{R} = \frac{4.3V}{2k\Omega} = 2.15mA$$

مثال 4.8 :

باستخدام النماذج الثلاثة أوجد التيار المار في الدائرة (I) والجهد على المقاومة



R (V_R). مع الأخذ بعين الاعتبار عند

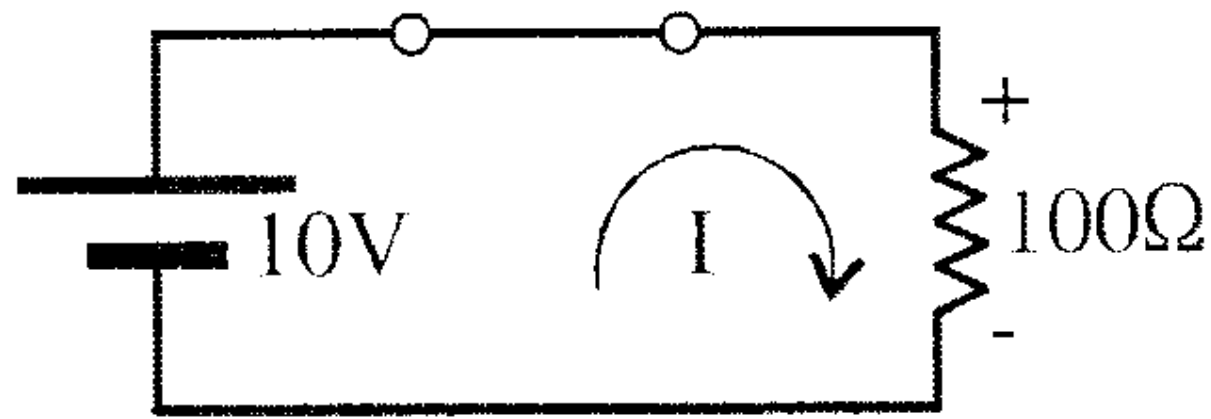
استخدام التقريبين الثاني والثالث أن التنائي من

السليكون وعند استخدام التقريب الثالث أن

المقاومة ($r_{av} = 50\Omega$).

الحل:

1- التقريب الأول:



KVL:

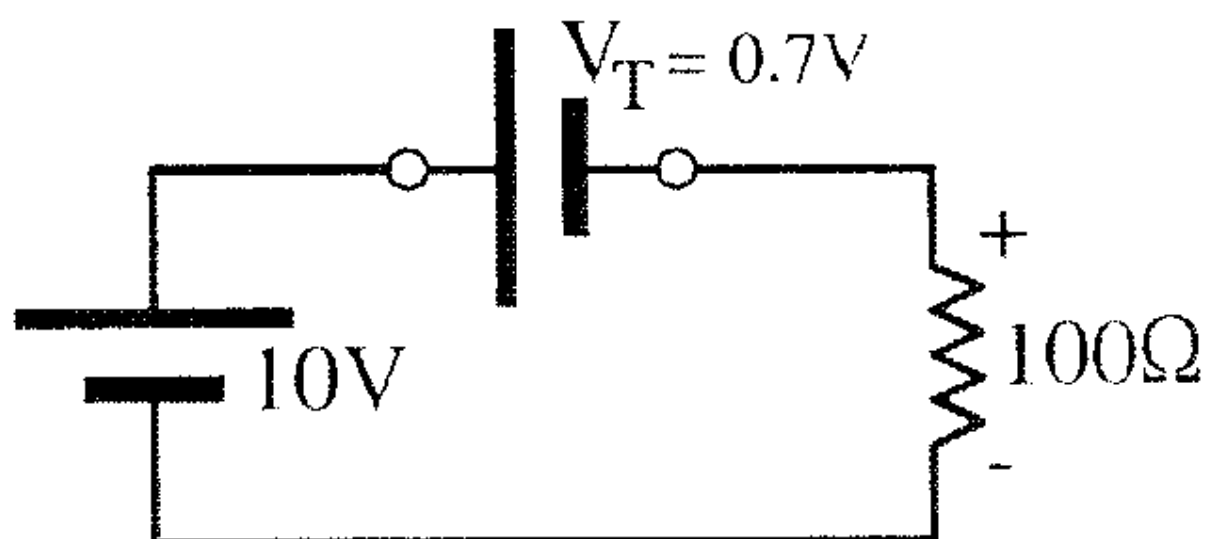
$$10V - 0V - I R = 0$$

$$\therefore I = \frac{10V}{R} = \frac{10}{100} = 0.1A$$

$$\therefore I = 100mA$$

$$V_R = I R = (100mA) (100\Omega) = 10V$$

2- التقريب الثاني:



KVL:

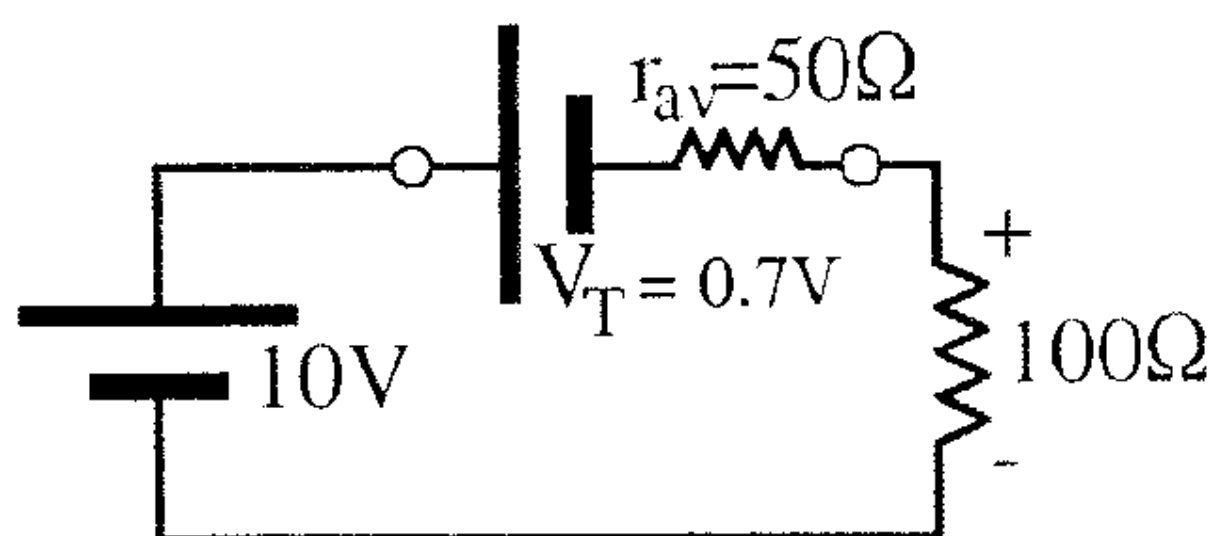
$$10V - 0.7V - I R = 0$$

$$10V - 0.7V - I (100\Omega) = 0$$

$$I = \frac{9.3V}{100\Omega} = 0.093A = 93mA$$

$$V_R = I R = (93mA) (100\Omega) = 9.3V$$

3- التقريب الثالث:



KVL:

$$10V - 0.7V - (50\Omega) I - 100 I = 0$$

$$I = \frac{9.3V}{150\Omega} = 0.062A = 62mA$$

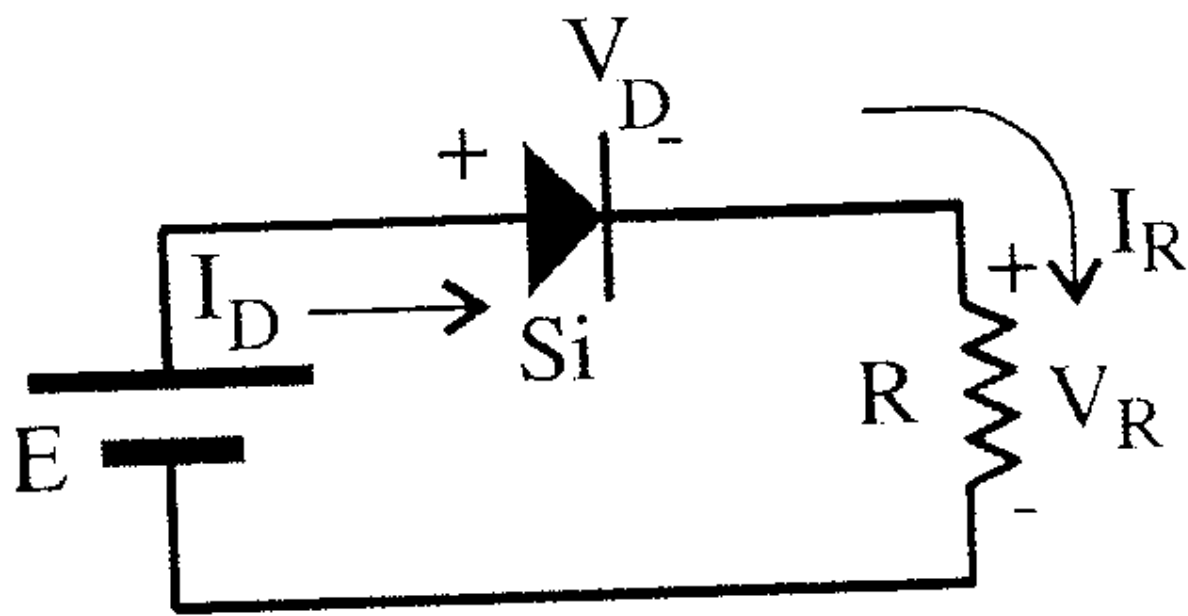
$$V_R = I R = (62mA) (100\Omega) = 6.2V$$

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 قيمة التيار:



$$V_D = V_T$$

الثنائي في حالة توصيل

وباستخدام قانون كرشوف للجهد (KVL):

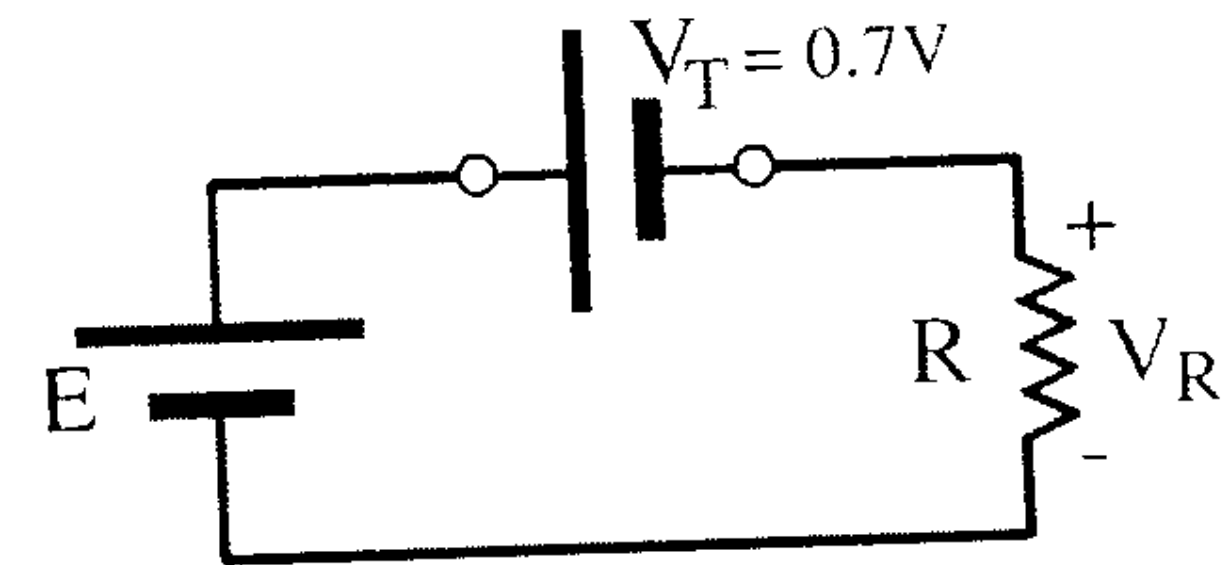
$$E - V_T - V_R = 0$$

$$\therefore V_R = E - V_T$$

وبما أن التيار في دائرة التوالي ثابت

$$I_D = I_R = I$$

$$\therefore I_D = I_R = V_R / R$$



مثال 5.8 :

من دائرة الثنائي في الشكل أوجد:

I_D , V_R , V_D

الحل:

الثنائي في حالة توصيل ($V_D = 0.7V$) للسليكون .

$$V_R = E - V_D = 8V - 0.7V = 7.3V$$

$$I_D = I_R = \frac{7.3V}{2.2k\Omega} = 3.32mA$$

مثال 6.8 :

استبدل اتجاه الثنائي في الدائرة بالمثل السابق.

الحل:

تيار الدائرة عكس اتجاه السهم للثنائي إذا كان الثنائي في حالة قطع (لا يمر التيار في الدائرة):

$$I_D = 0A , I_R = 0A$$

$$V_D = E - V_R$$

$$= E - I_R R$$

$$= 8V - (0A) (2.2k\Omega)$$

$$= 8V - 0 = 8V$$

$$\therefore V_D = E = 8V$$

مثال 7.8:

من الدائرة بالشكل أوجد : I_D , V_o .

الحل:

الثنائيان في حالة توصيل لأن اتجاه

مع اتجاه التيار:

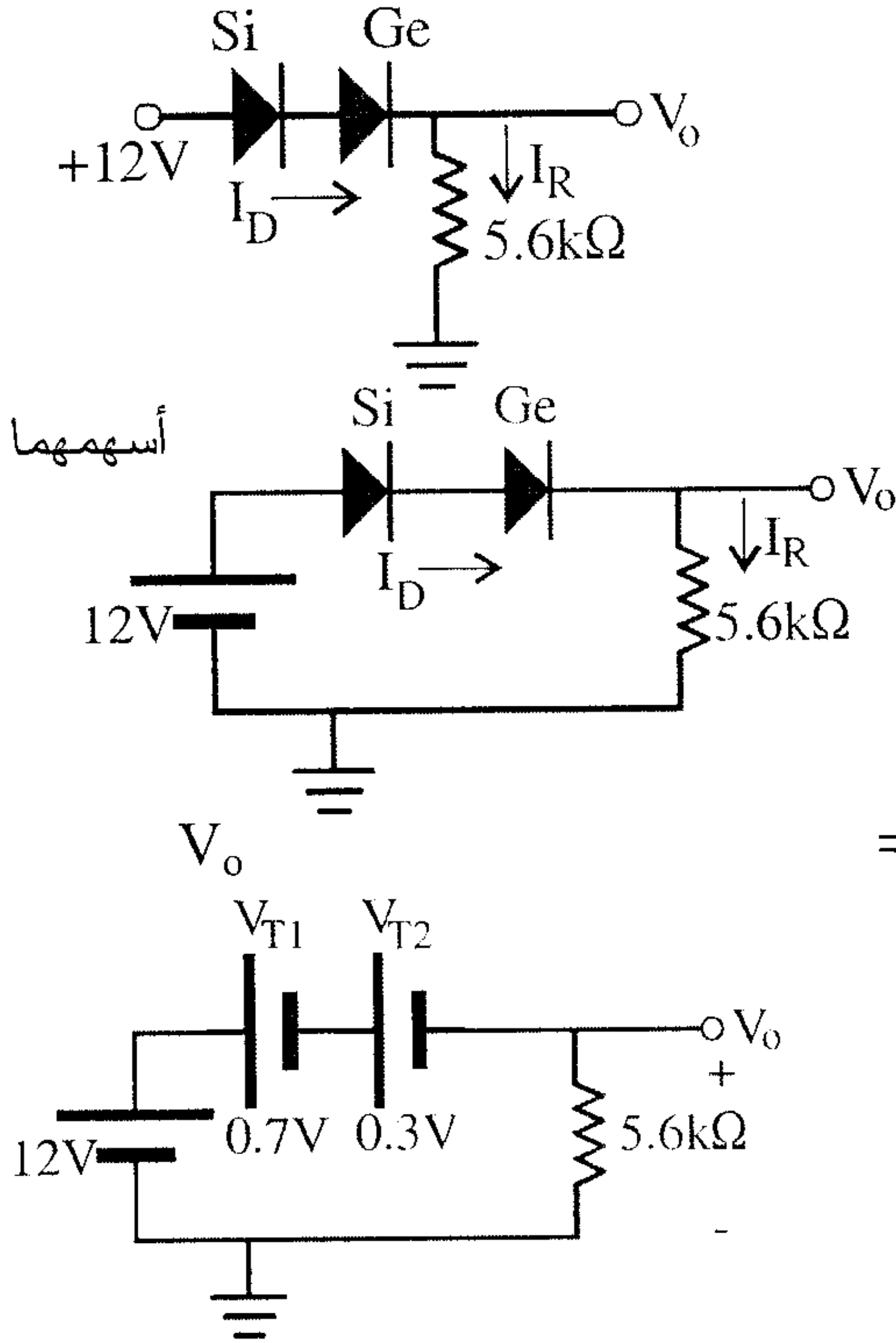
KVL

$$E - V_{T1} - V_{T2} - V_o = 0$$

$$= E - V_{T1} - V_{T2}$$

$$= 12V - 0.7V - 0.3V = 11V$$

$$I_D = I_R = \frac{11V}{5.6k\Omega} = 1.96mA$$



مثال 8.8:

من الدائرة بالشكل أوجد : V_o , V_{D2} , I_D .

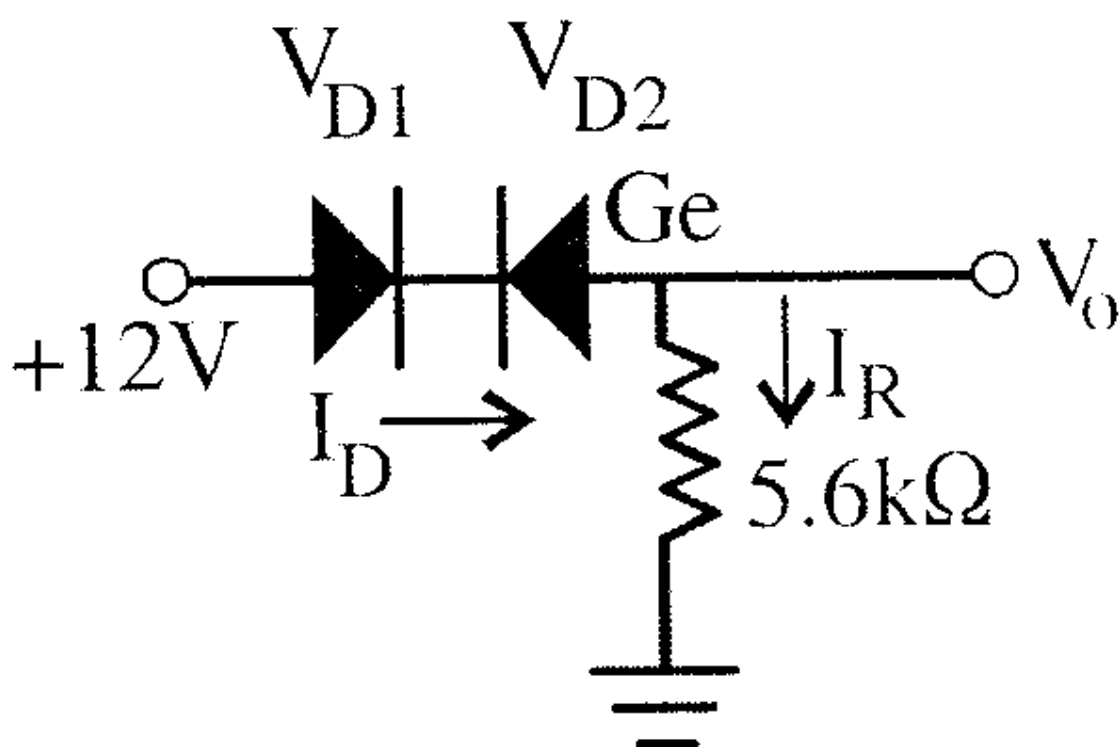
الحل:

سهم ثنائي الجرمانيوم عكس اتجاه التيار يجعله في

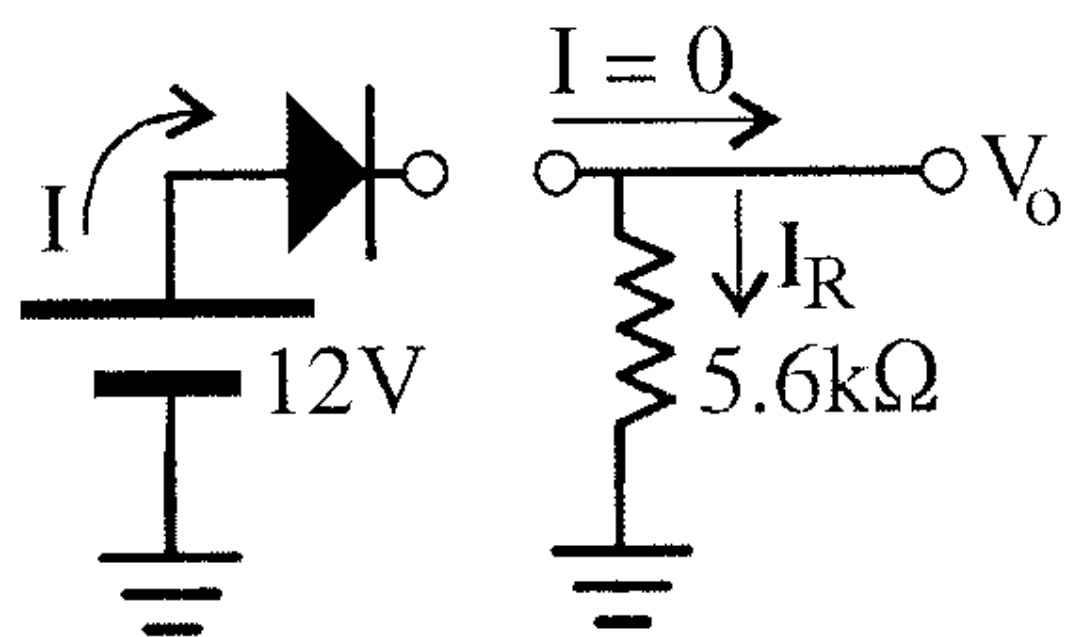
حالة قطع ويستبدل بدائرة مفتوحة

الدائرة المفتوحة إذا كان تيار الدائرة يساوي صفراً

($I = 0A$) وبالتالي فإن تيار الثنائيين



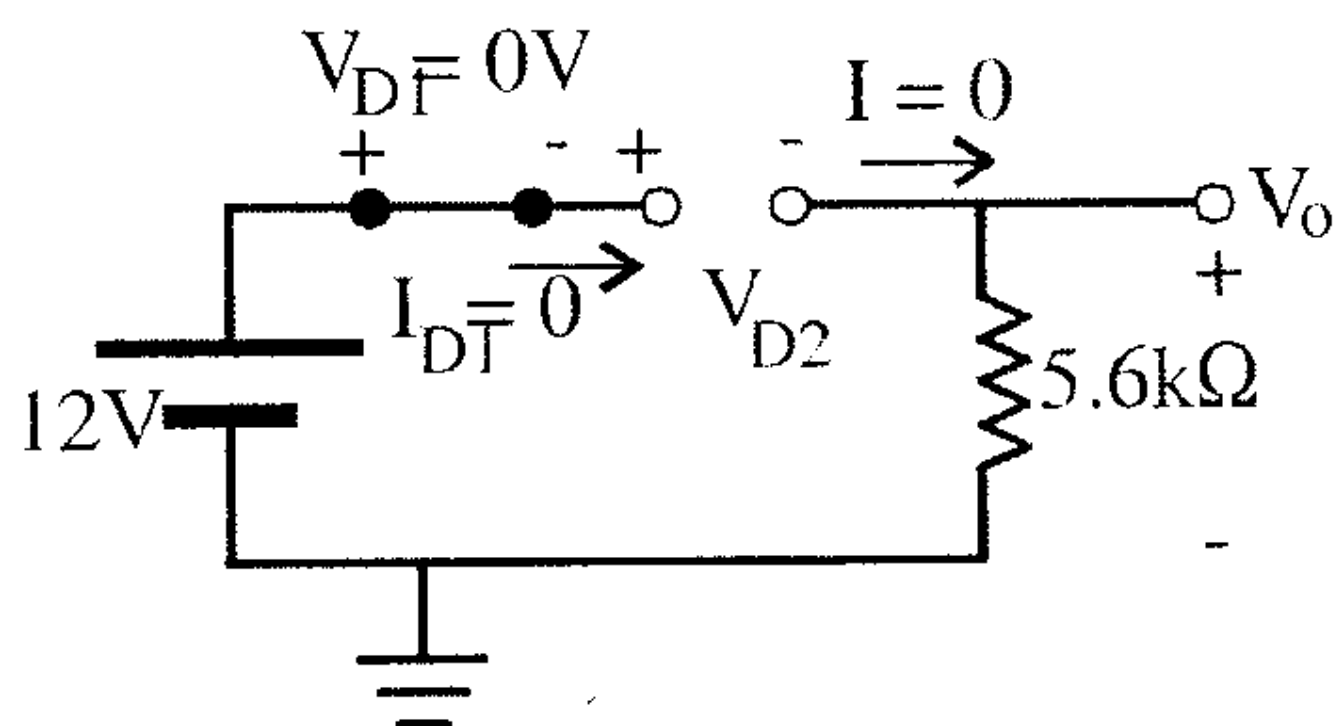
يساوي صفراً ($I_D = 0A$) .



يستبدل الثنائي الأول (مثالي) بدائرة مغلقة لأنه في حالة توصيل

$$V_o = I_R R$$

$$= I_D R$$



$$V_o = (0) R = 0V$$

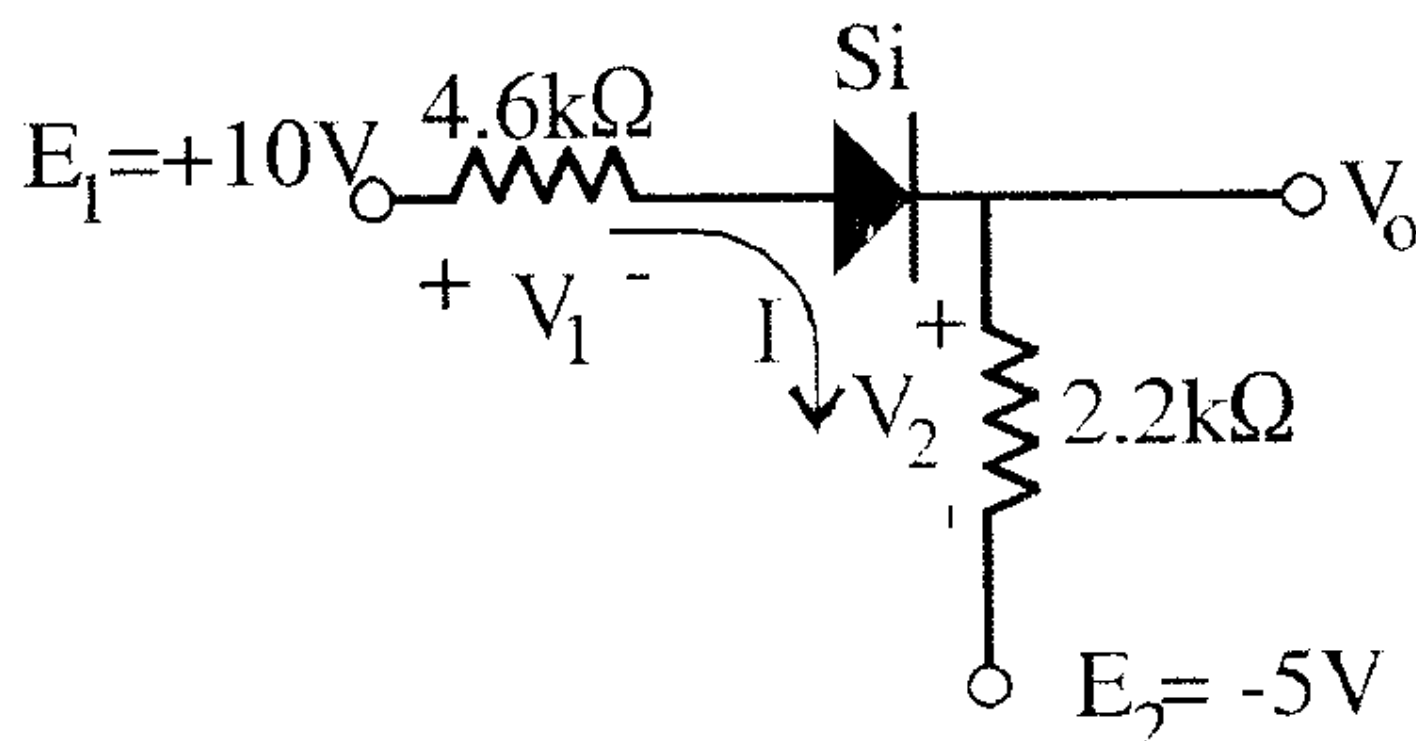
:KVL

$$E - V_{D1} - V_{D2} - V_o = 0$$

$$12V - 0V - V_{D2} - 0V = 0$$

$$12V - V_{D2} = 0$$

$$V_{D2} = 12V = E$$



مثال 9.8:

من الدائرة بالشكل أوجد:

$$V_o, V_2, V_1, I$$

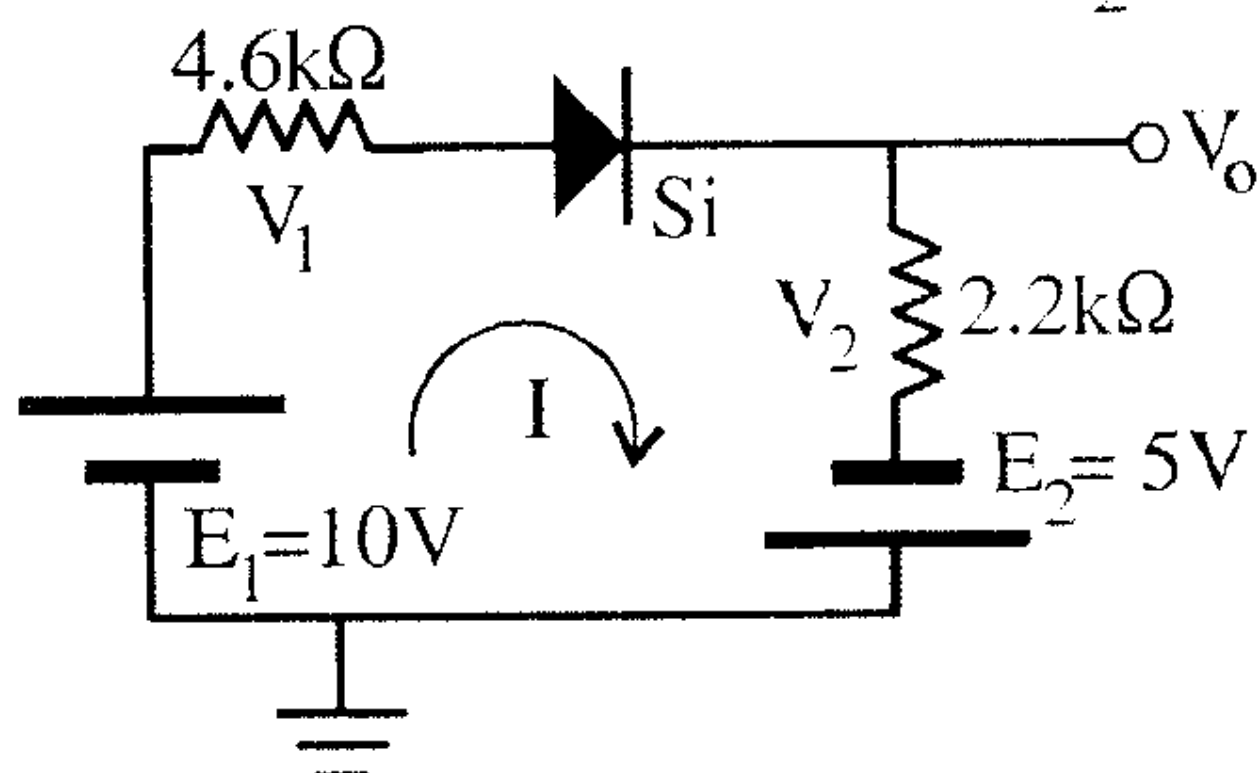
الحل:

إعادة رسم الدائرة لمعرفة ما إذا كان الثنائي في وضعية قطع أم توصيل.

من الرسم :

الدائرة في حالة توصيل لذلك يستبدل الثنائي

بمصدر جهد $V_D = 0.7V$

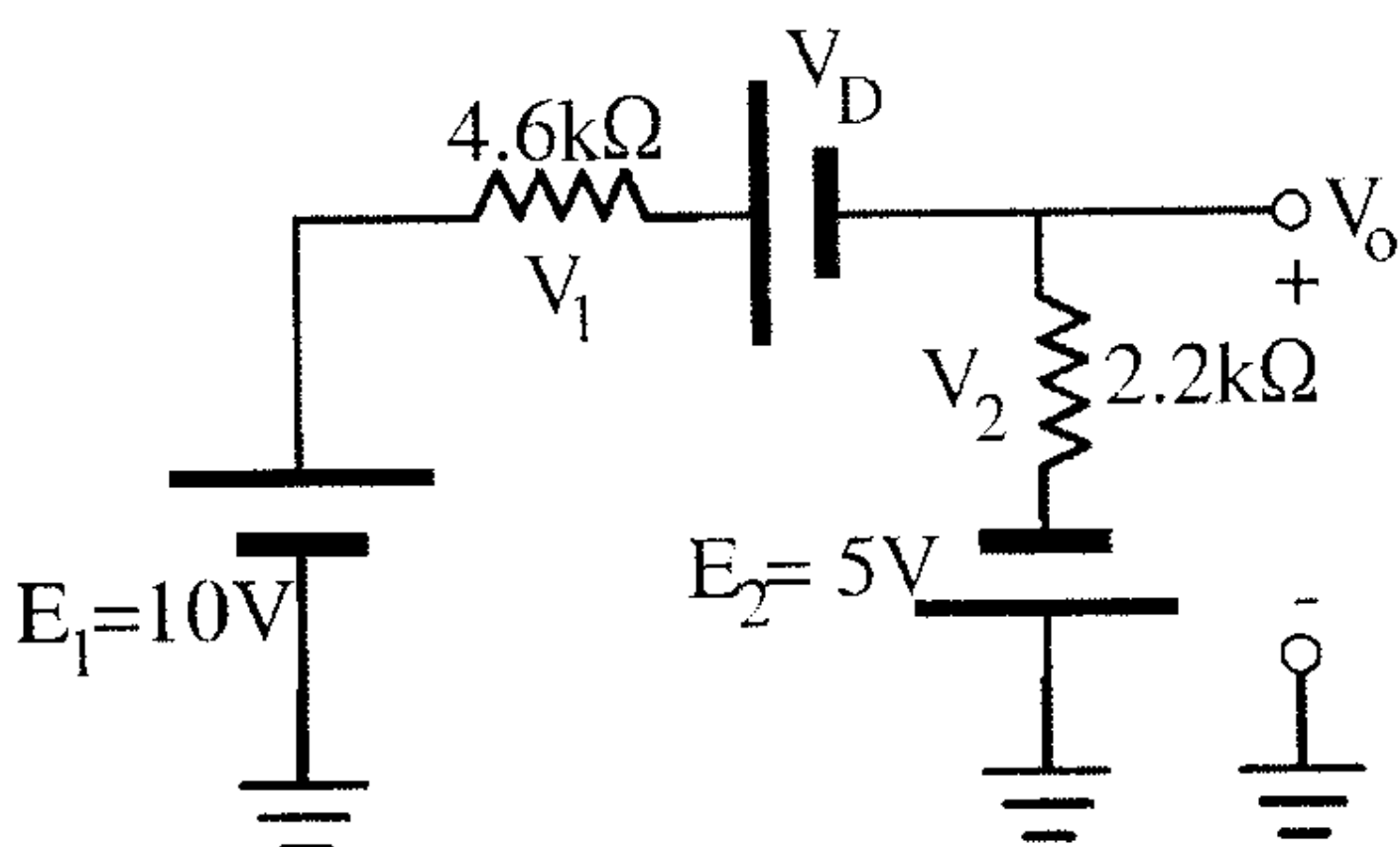


$$R_T = R_1 + R_2$$

$$= 4.6k\Omega + 2.2k\Omega = 6.8k\Omega$$

$$E_T = E_1 + E_2 - V_D$$

$$= 10V + 5V - 0.7V = 14.3V$$



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:

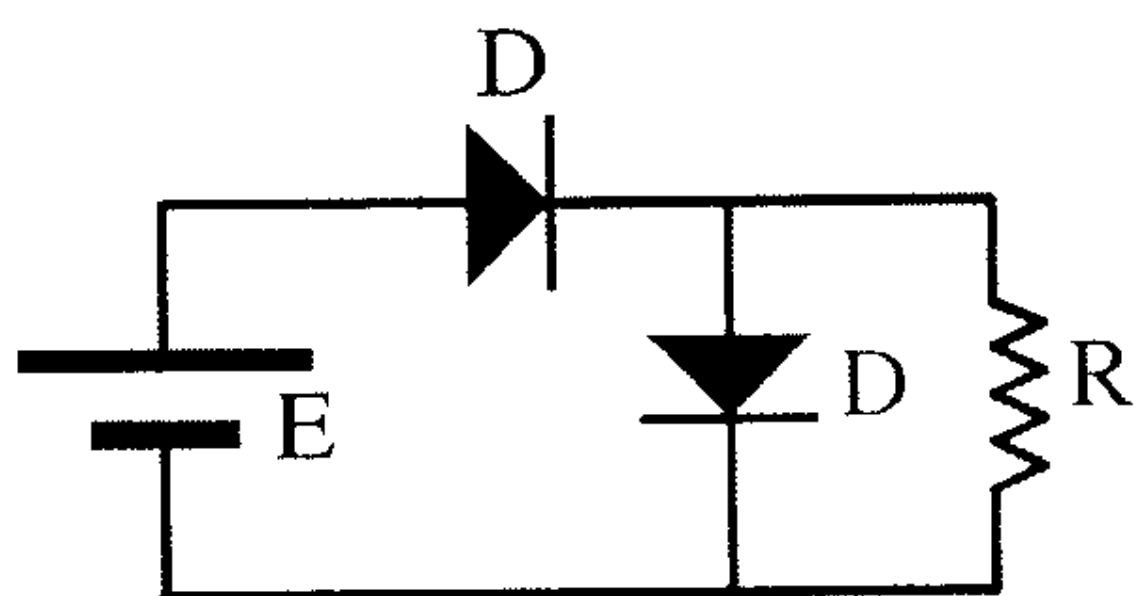
$$- E_2 + V_2 - V_o = 0$$

$$V_o = V_2 - E_2 = 4.62V - 5V$$

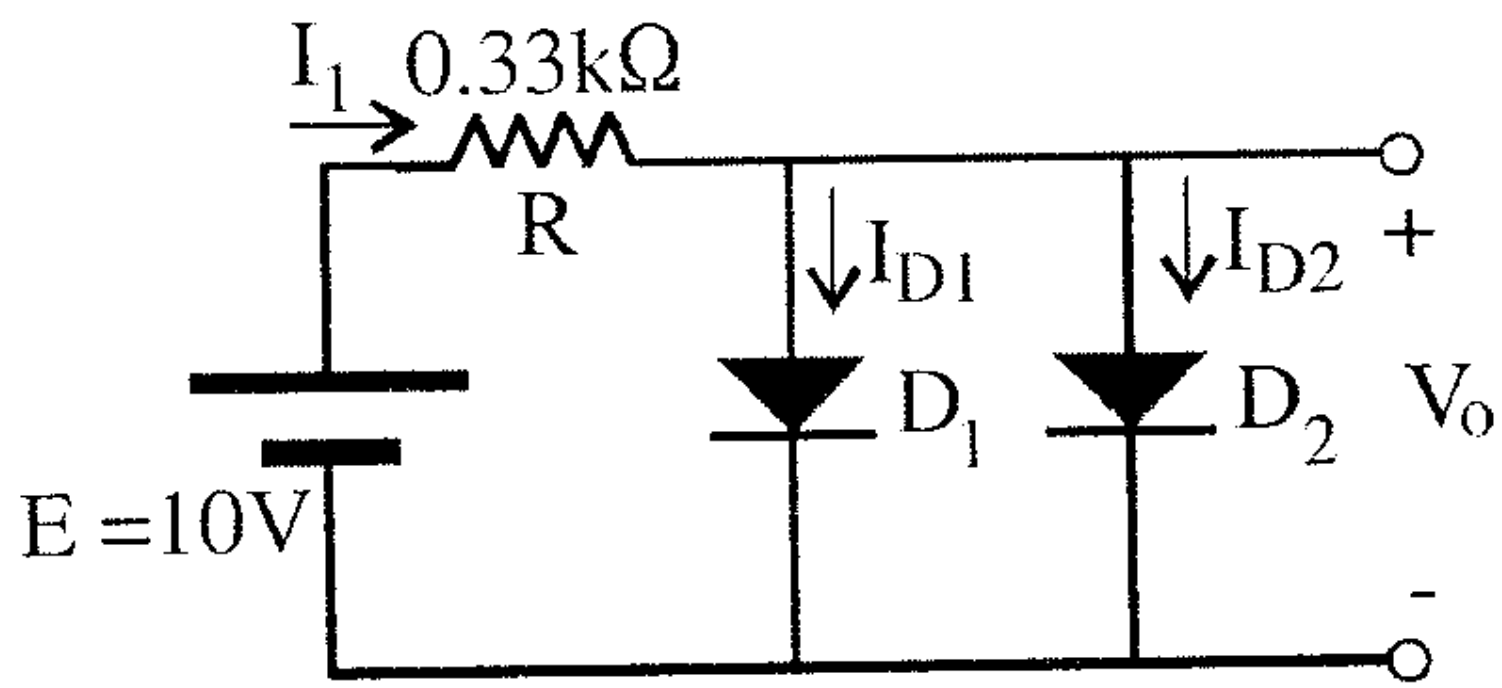
$$V_o = - 0.38V$$

ثانياً: دوائر التوالي والتوازي:

يمكن توصيل الثنائي في دوائر التوالي والتوازي معاً كما في الشكل التالي:



مثال 10.8:

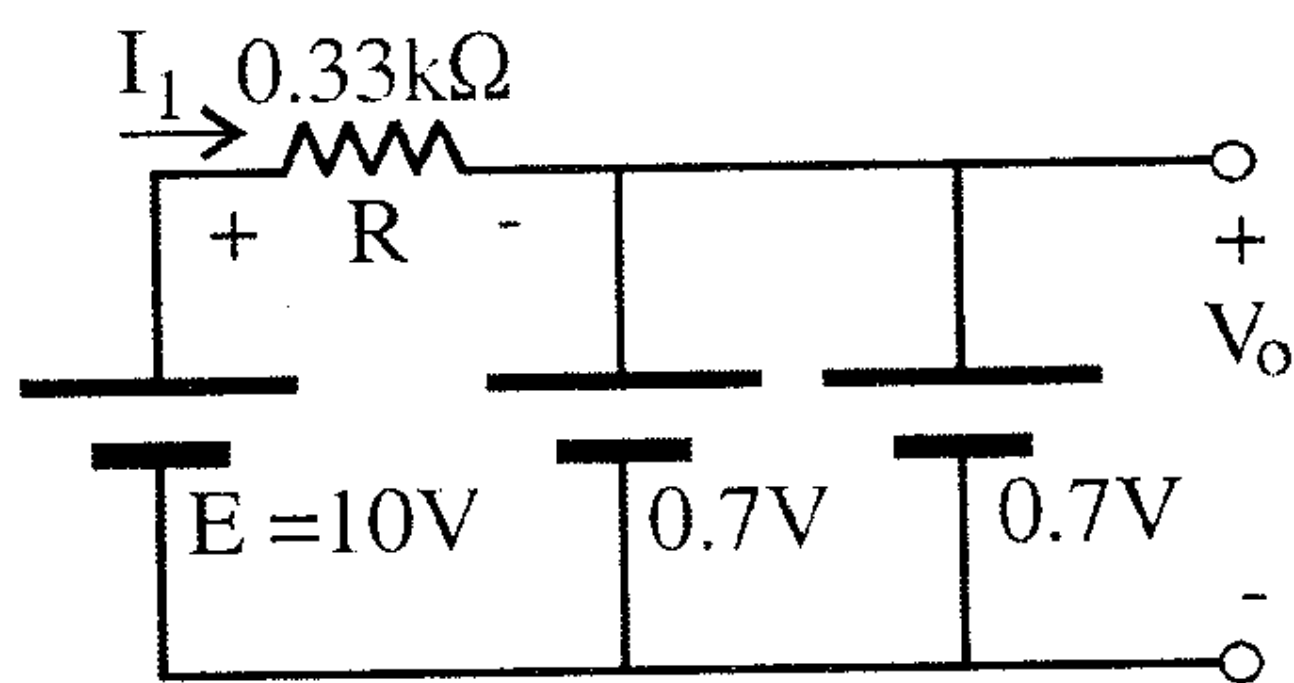


من الدائرة بالشكل التالي أوجد: I_{D2} , I_{D1} , I_1 , V_0

الحل:

من الشكل نلاحظ أن أسهم الثنائين الأول

والثاني مع اتجاه التيار إذا الثنائيان في حالة توصيل (On state):



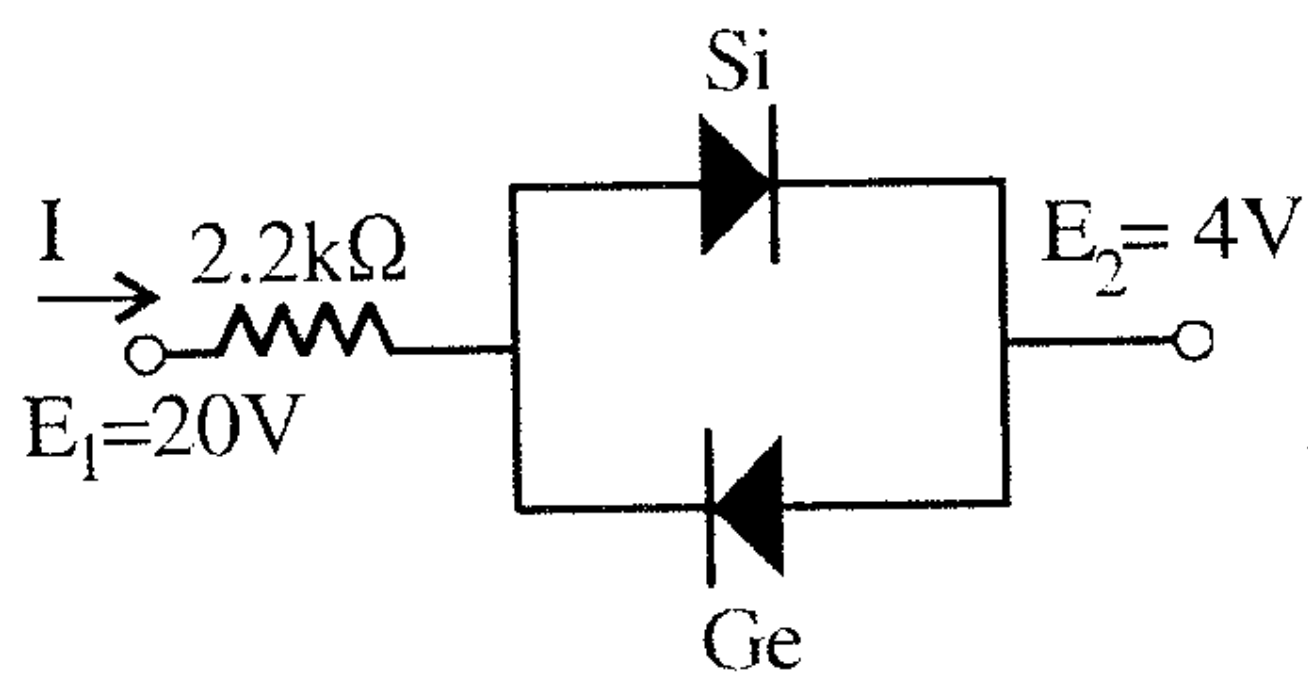
$$V_0 = 0.7V$$

$$I_1 = \frac{V_R}{R} = \frac{E - V_{D1}}{R} = \frac{10V - 0.7V}{0.33k\Omega} = 28.18mA$$

بما أن الثنائيين من نفس النوع وجهدهما متساو فإن التيار I_1 يتجزأ بينهما بالتساوي:

$$I_{D1} = I_{D2} = \frac{I_1}{2} = \frac{28.18mA}{2} = 14.09mA$$

مثال 11.8:



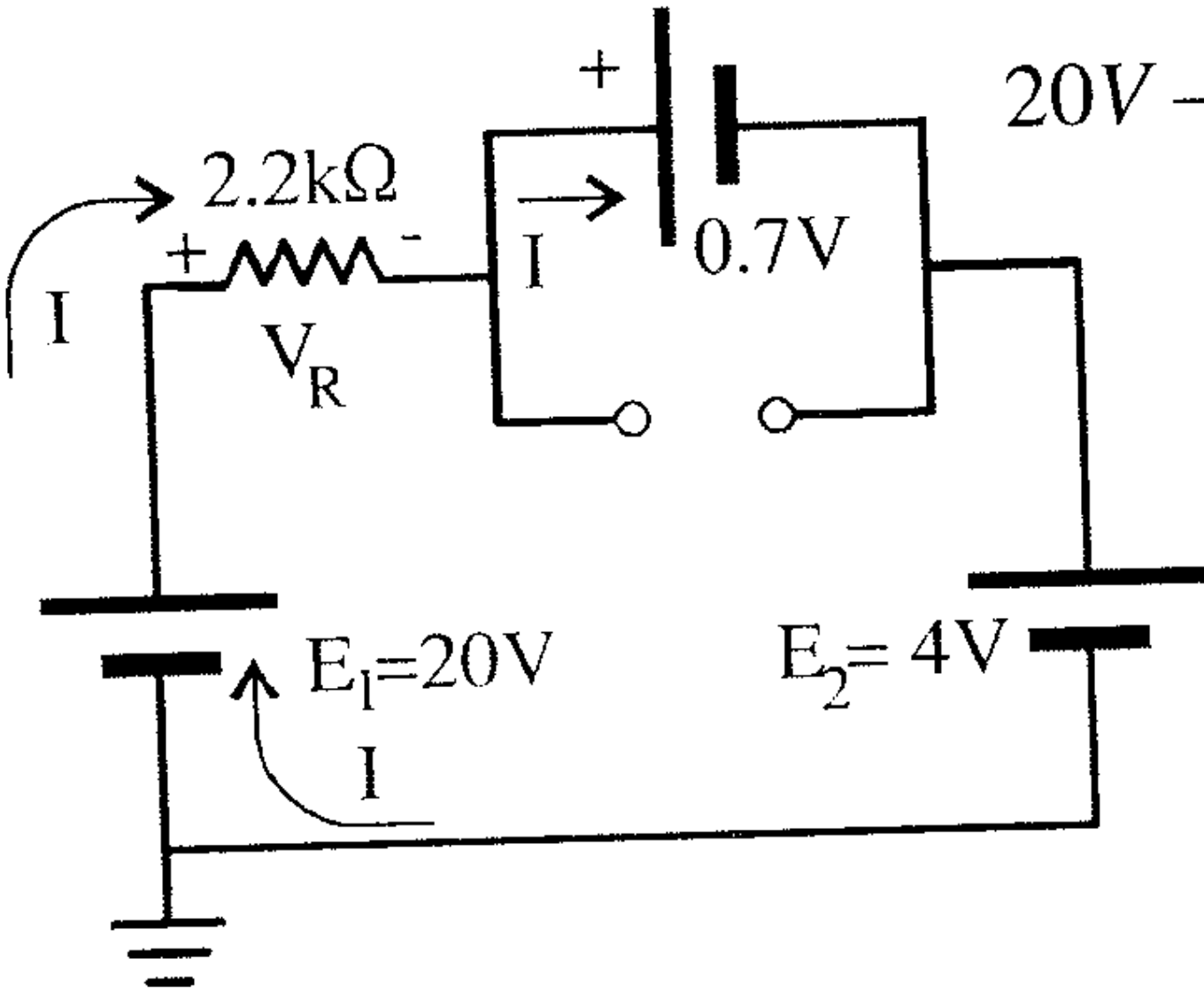
من الدائرة بالشكل التالي أحسب التيار I .

الحل:

اتجاه التيار يجعل ثنائي السليكون في حالة توصيل وثنائي الجرمانيوم في حالة قطع.

باستخدام (KVL) يمكن إيجاد (V_R):

$$E_1 - V_R - V_D - E_2 = 0$$



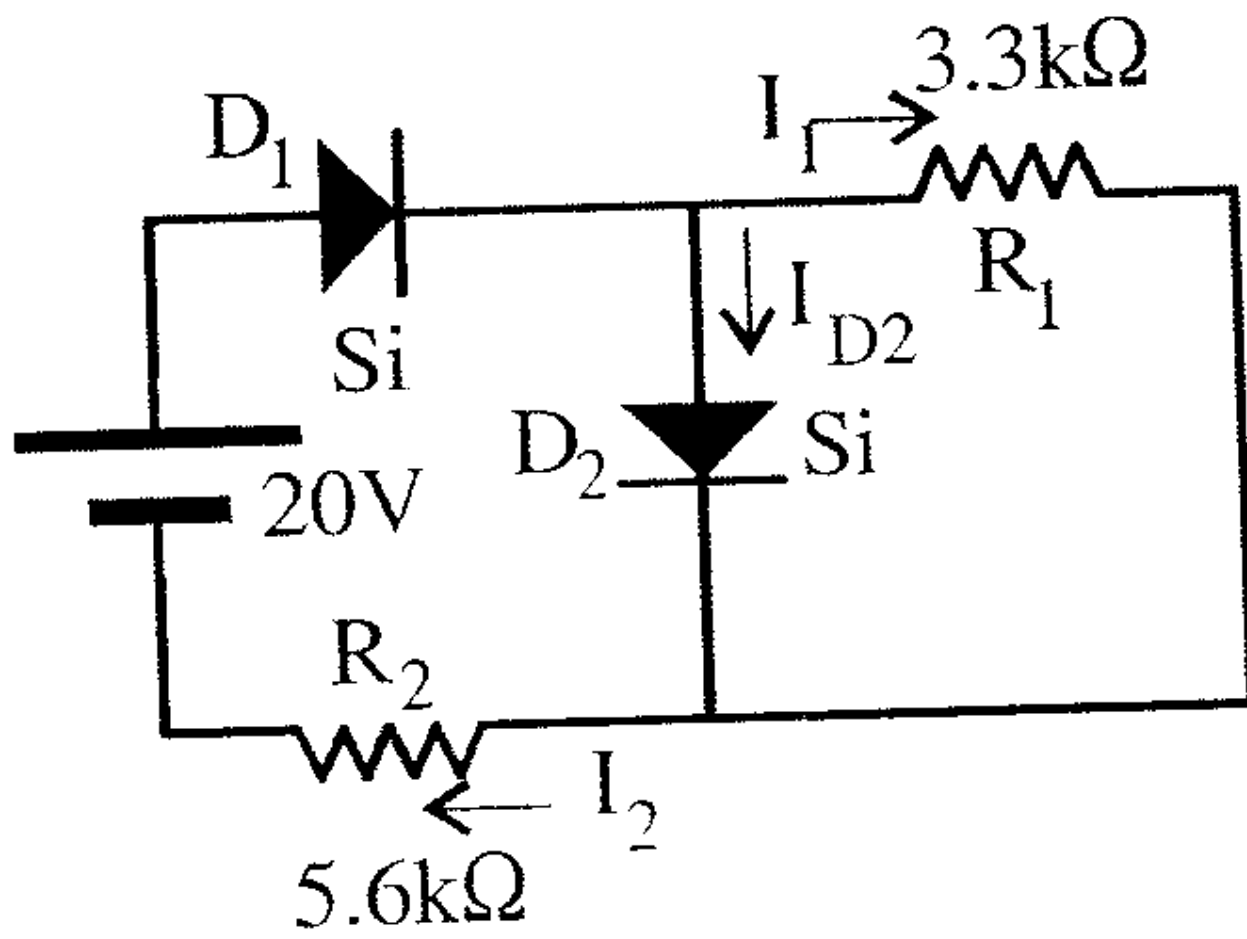
$$20V - V_R - 0.7V - 4V = 0$$

$$V_R = 20V - 0.7V - 4V = 15.3V$$

$$\therefore I = \frac{V_R}{R} = \frac{15.3V}{2.2k\Omega} = 6.95mA$$

مثال 12.8:

من الدائرة بالشكل التالي أوجد:
 I_{D2} , I_2 , I_1



الحل:

التنائي D_1 وكذلك D_2 في حالة توصيل.

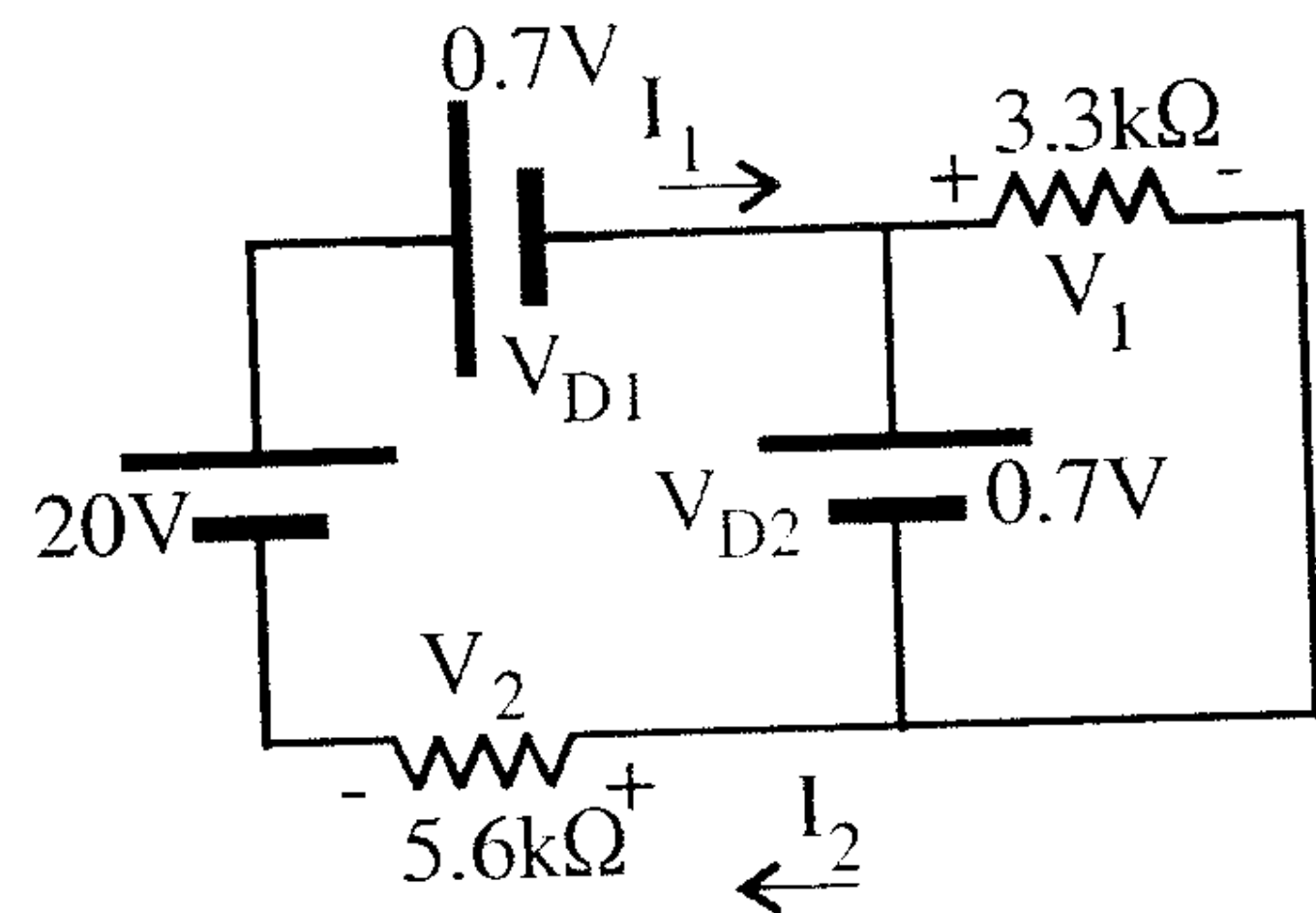
KVL:

$$E - V_{D1} - V_{D2} - V_2 = 0$$

$$20V - 0.7V - 0.7V - V_2 = 0$$

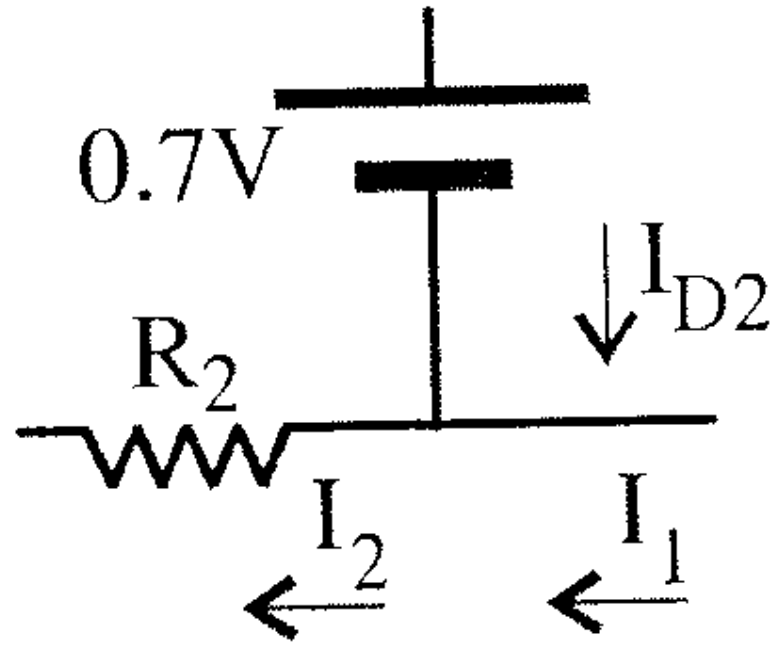
$$V_2 = 18.6V$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{18.6V}{5.6k\Omega} = 3.32mA$$



بما أن $V_{D2} = V_1$ بالتوازي وتساوي $0.7V$

$$\therefore I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{0.7V}{3.3k\Omega} = 0.212mA$$



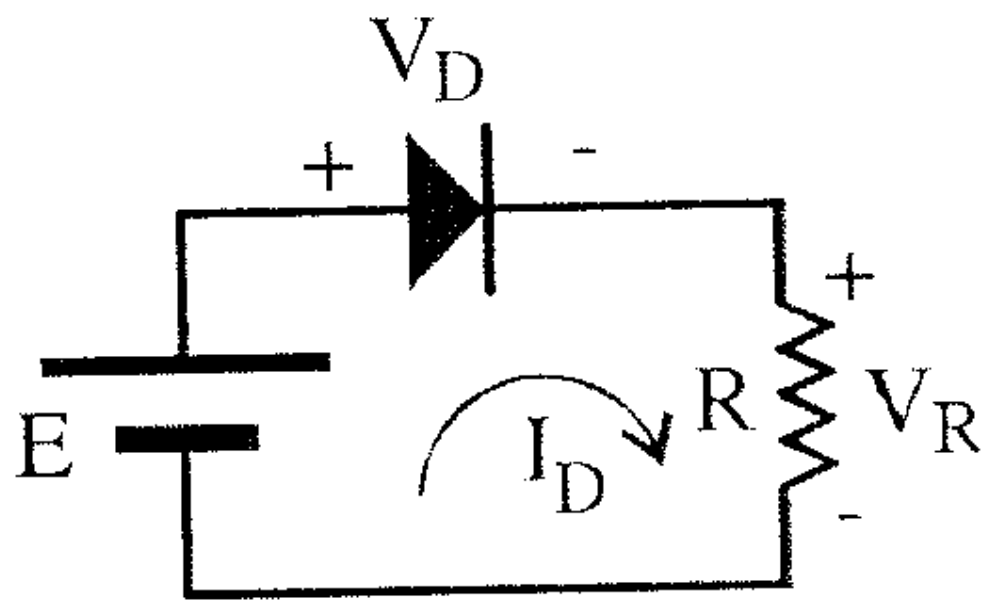
أخيراً وباستخدام قانون التيار لكرشوف يمكن إيجاد التيار I_{D2}

$$I_{D2} = I_2 - I_1$$

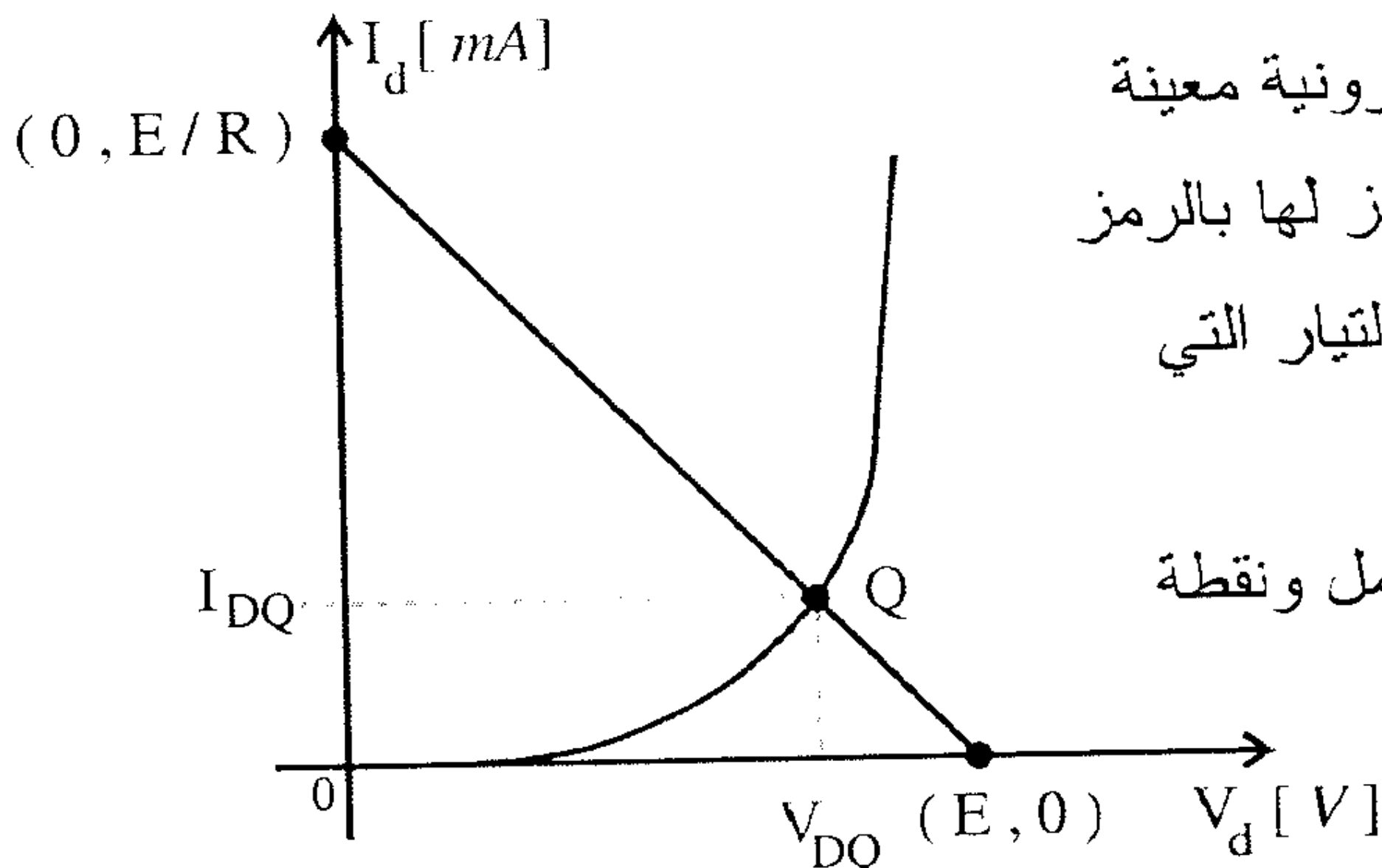
$$= 3.32mA - 0.212mA$$

$$I_{D2} = 3.108mA$$

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 خاصة 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

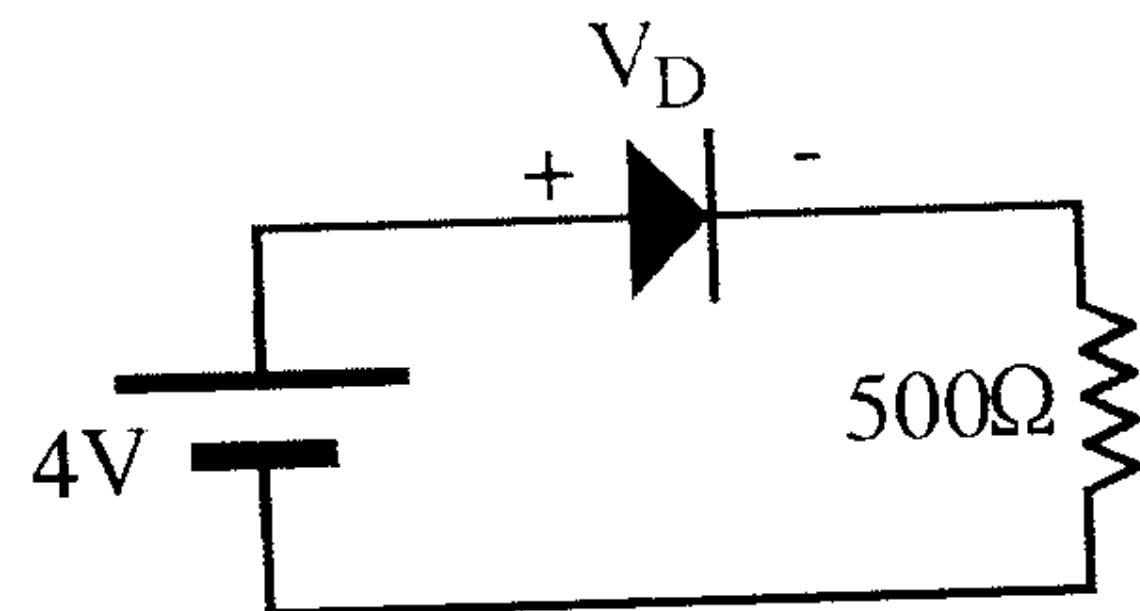
$$E = I_D R$$

$$\therefore I_D = E / R$$

وهذا يظهر في المنحنى كنقطة تقاطع مع محور الصادات ($0, E / R$) .

مثال 13.8:

في الدائرة بالشكل التالي:



1- ارسم خط الحمل موضعاً نقطة التشغيل.

2- أوجد قيمة كل من I_{DQ} , V_{DQ} التي

تعمل عندها الدائرة.

الحل:

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:

$$V_D = 0$$

$$\therefore 4V = 500 I_D$$

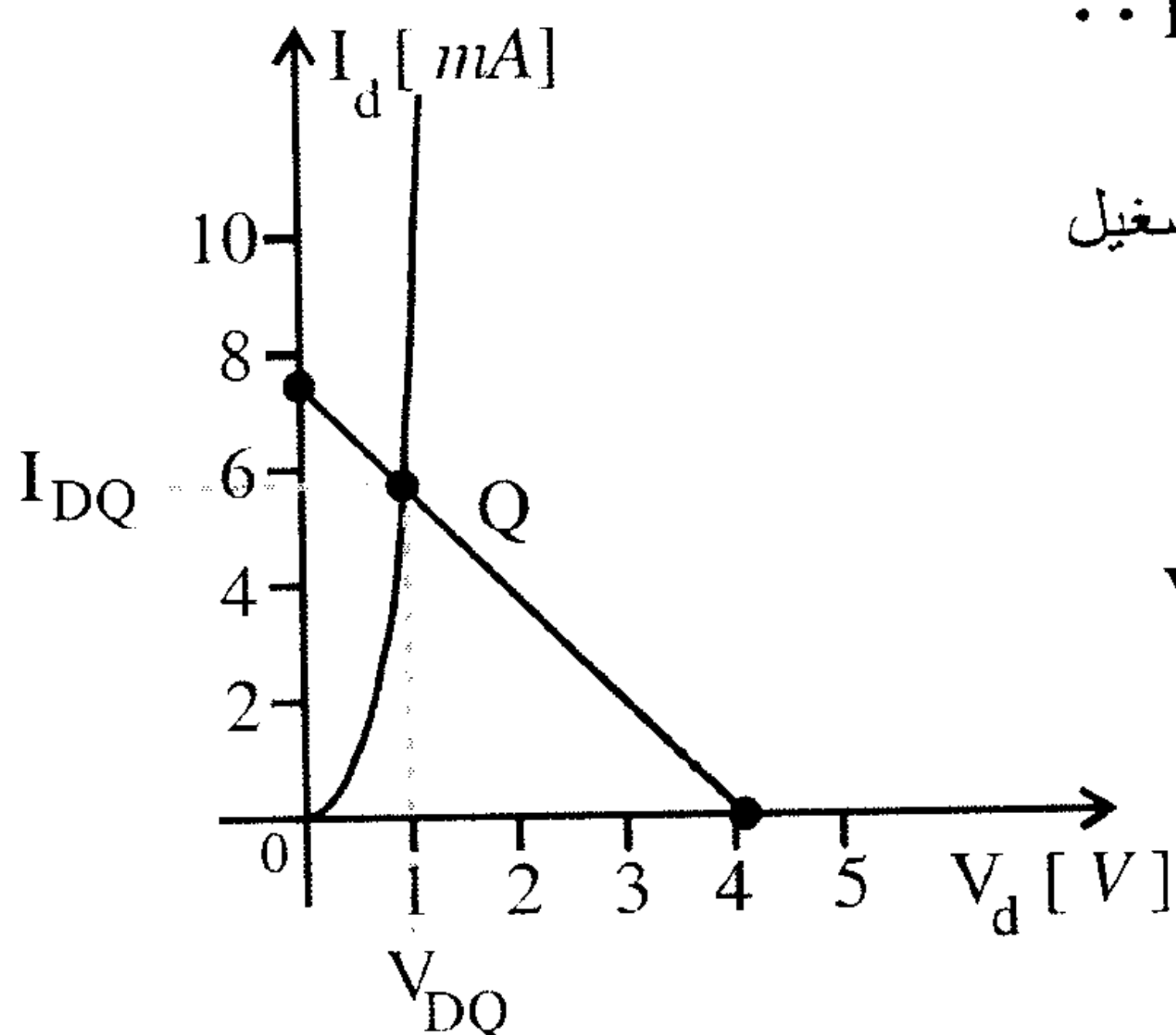
$$\therefore I_D = 4 / 500 = 8mA$$

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 .

تتقسم 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 .

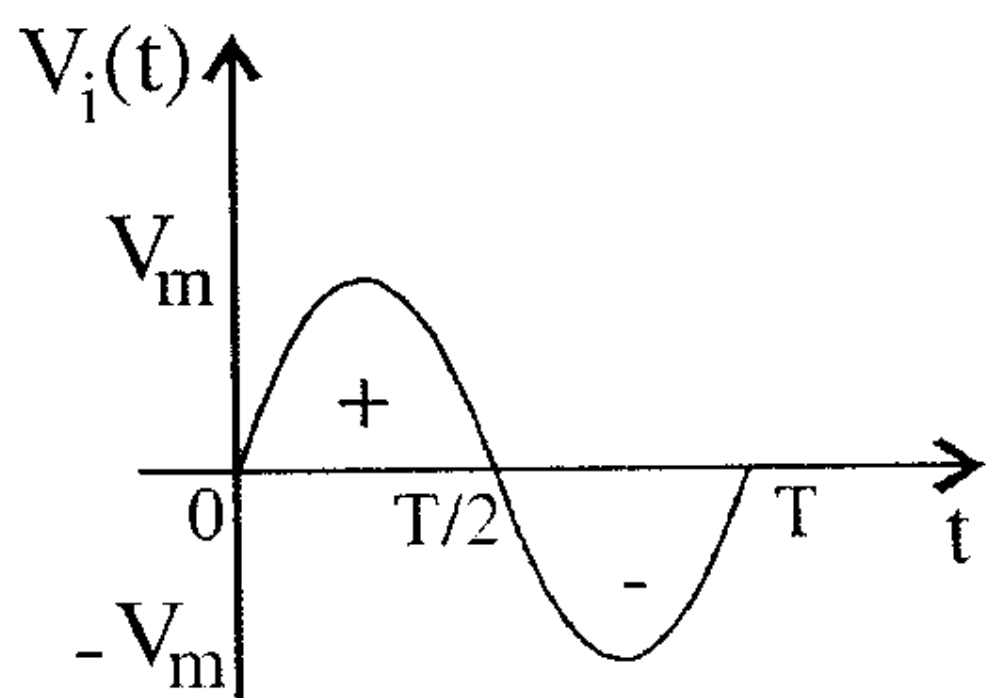
فإذا كانت موجة الدخول على مقوم نصف الموجة موجة جيبية (Sin Wave) :

$$V_i(t) = V_m \sin \omega t$$

حيث: V_m سعة الموجة.

$$\omega = 2\pi f \text{ ، حيث : } f \text{ تردد الموجة}$$

(t) الزمن.

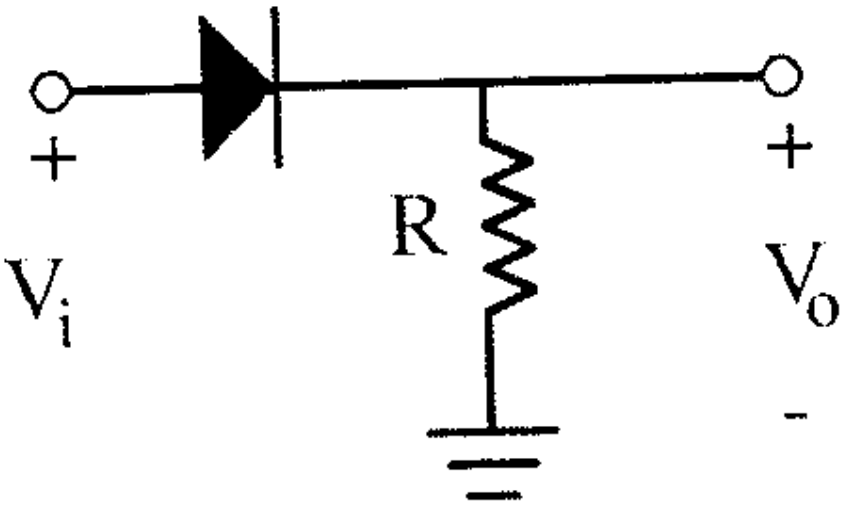


فمن العلاقة بين جهد الدخول $V_i(t)$ والزمن نجد أن شكل الموجة موجة جيبية سعتها

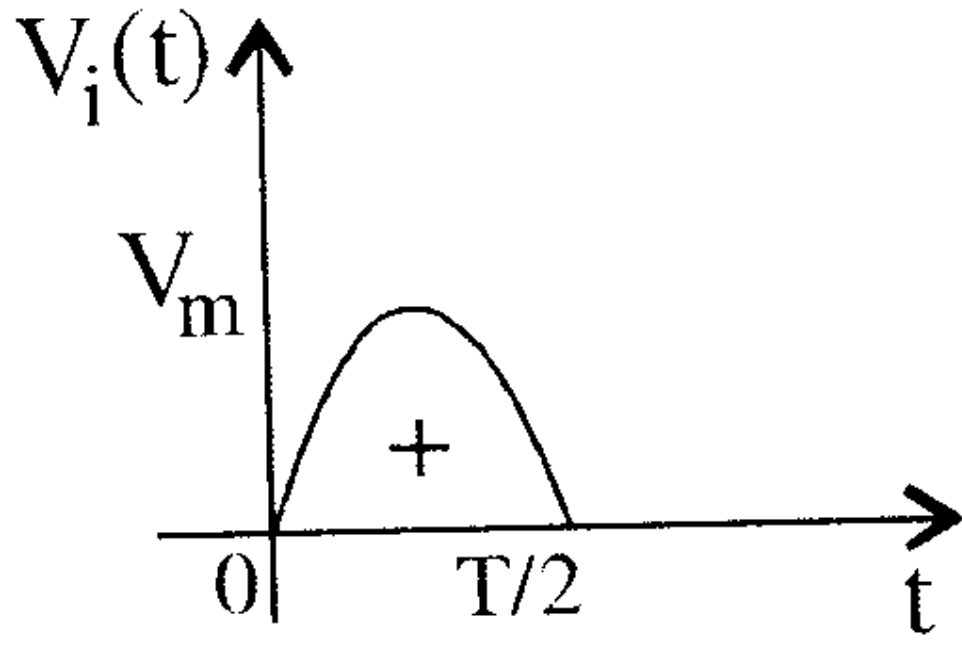
(V_m) وزمنها الدوري لدورة كاملة (T)

ونصفها ($T/2$) نصف الموجة الأول موجب والنصف الثاني سالب .

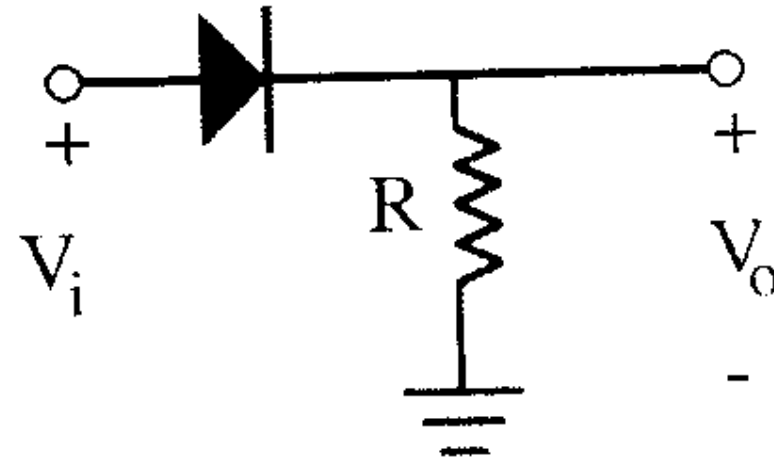
فعند مرور هذه الموجة في دائرة مقوم نصف الموجة فإنه سيتم قطع نصف الموجة الموجب أو السالب والإبقاء على النصف الآخر وذلك حسب وضعية الثنائي في الدائرة.



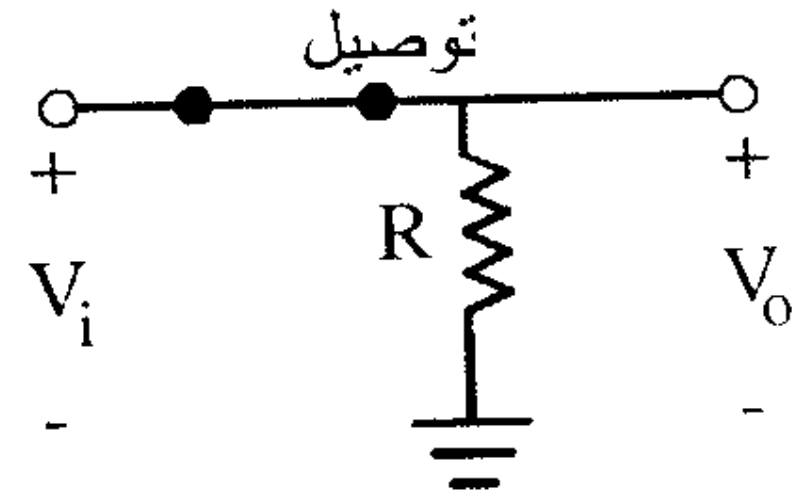
والدائرة التالية توضح مقوم نصف الموجة حيث يتم تمرير نصف الموجة الموجب (V_i) خلال هذا المقوم لتكون الخطوات موضحة بالرسم كالتالي:



جهد الدخول (نصف الموجة الموجب)

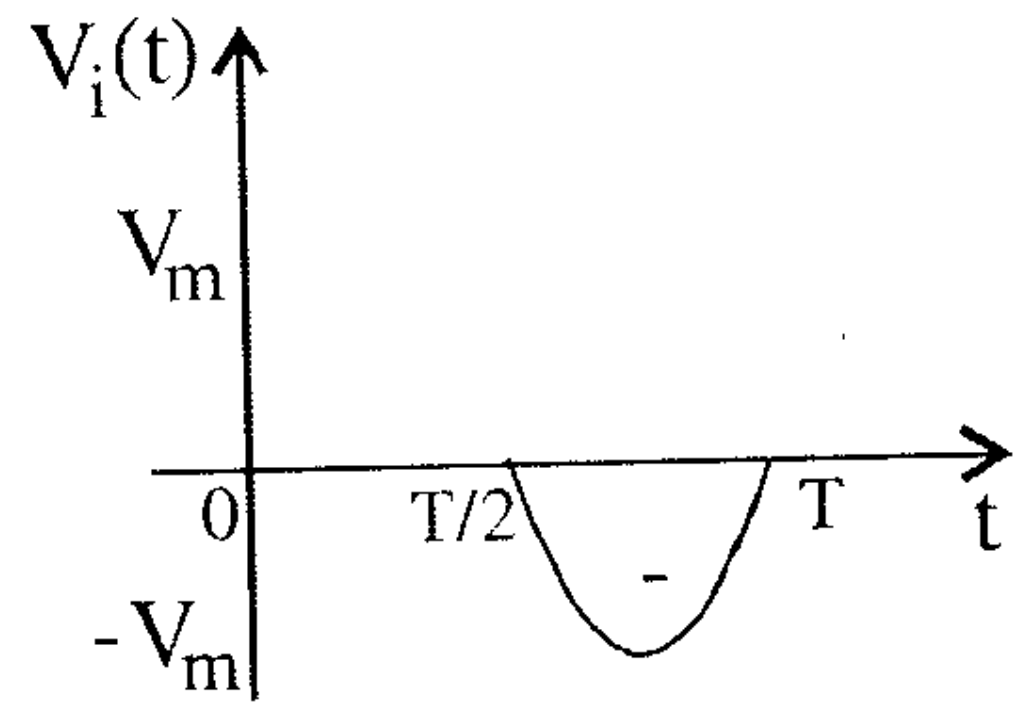


انحياز أمامي

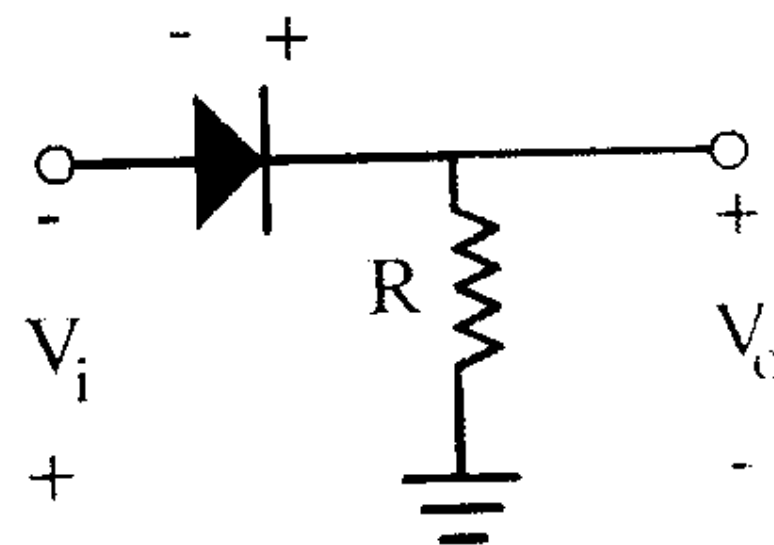


الدائرة المكافئة ($V_o = V_i$)

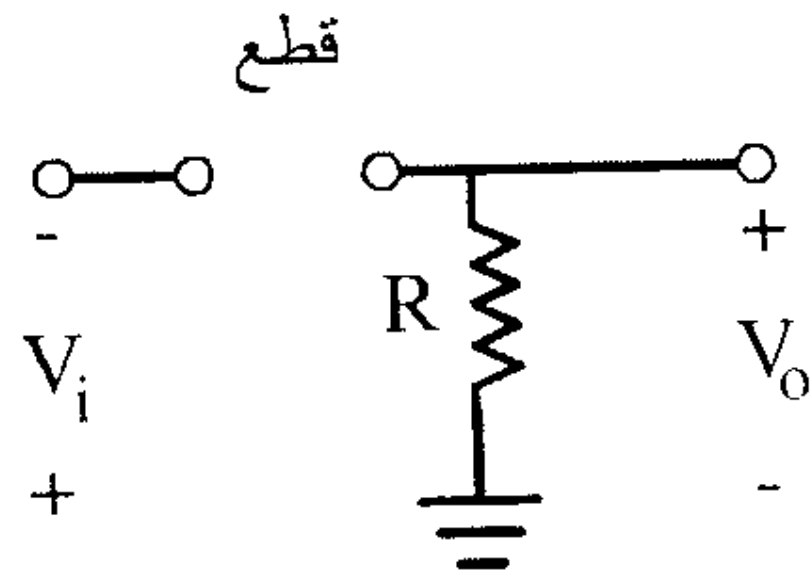
أما عند مرور نصف الموجة السالب:



جهد الدخول (نصف الموجة السالب)

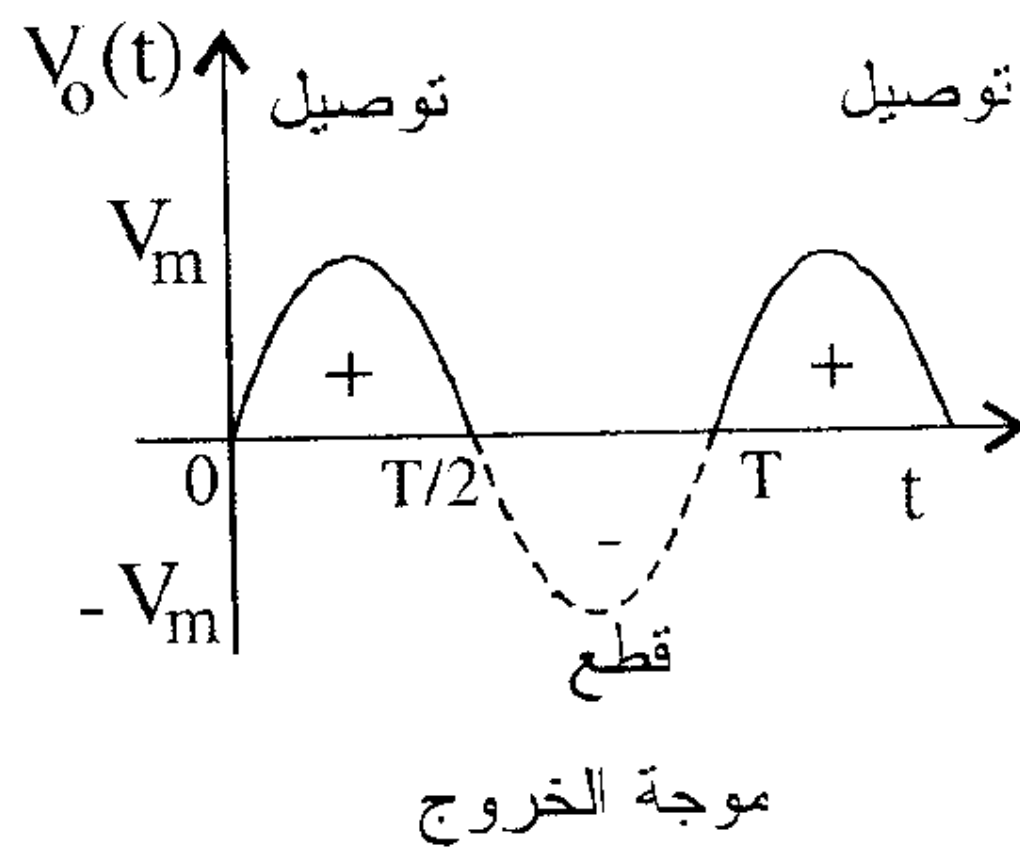
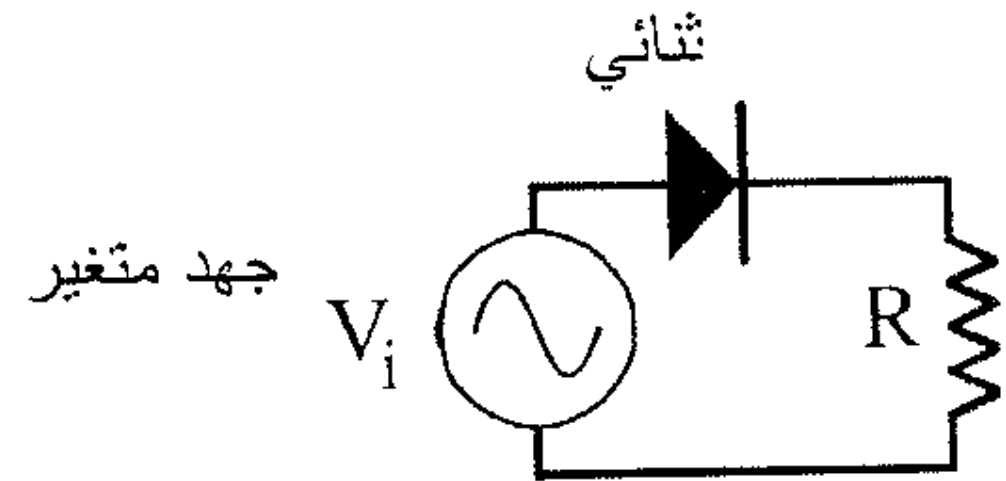
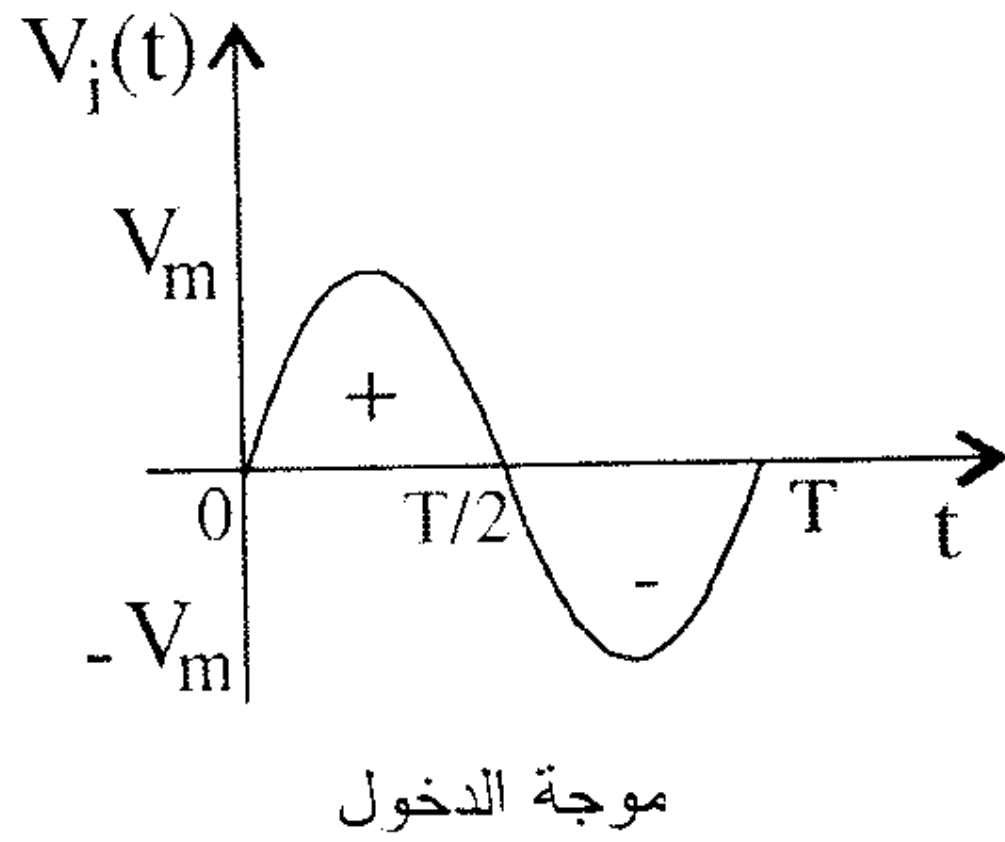


انحياز عكسي



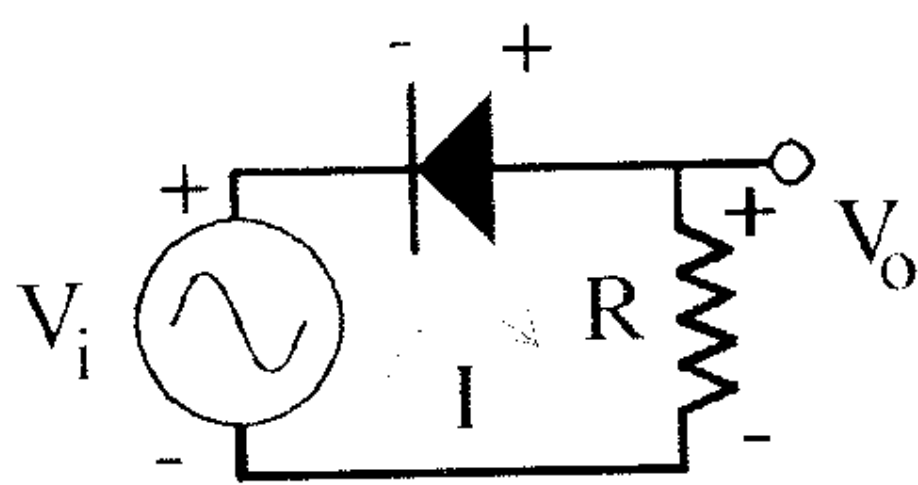
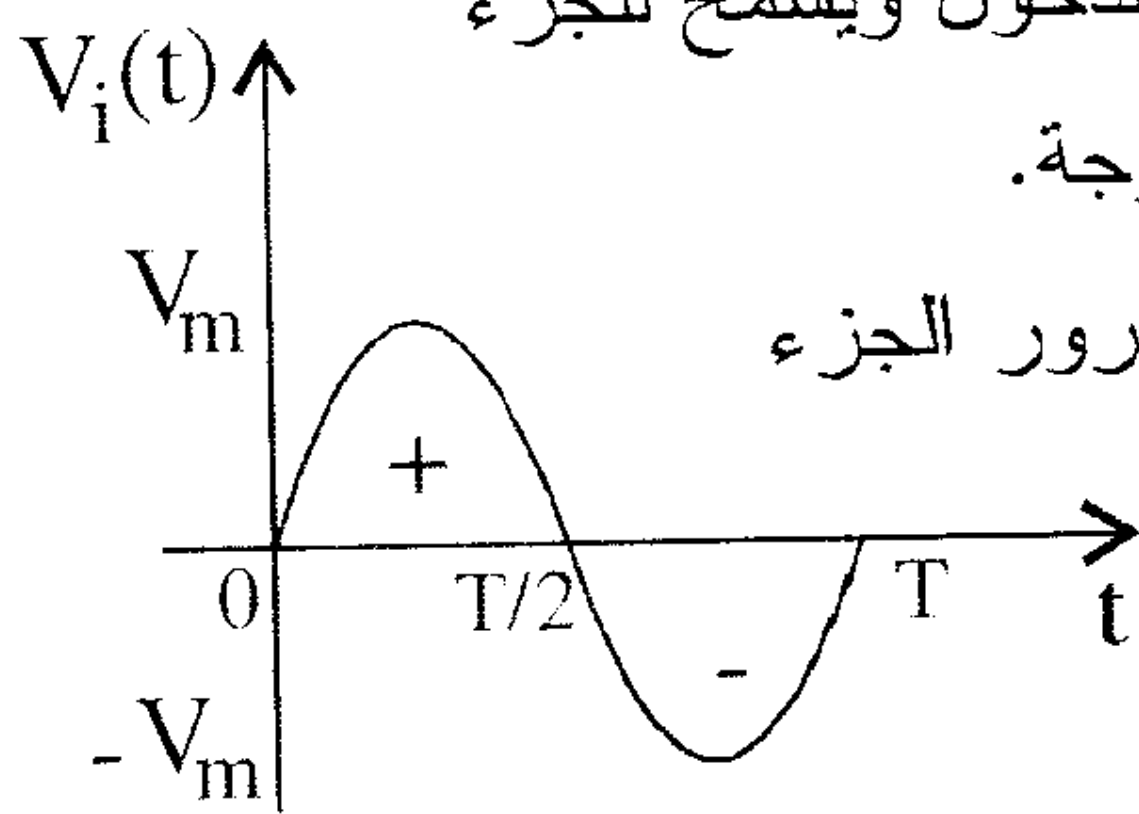
لتيار $0 = 0V$ ، ($V_o = 0V$)

لنحصل على شكل نهائي لجهد الخروج كما بالرسم التالي:

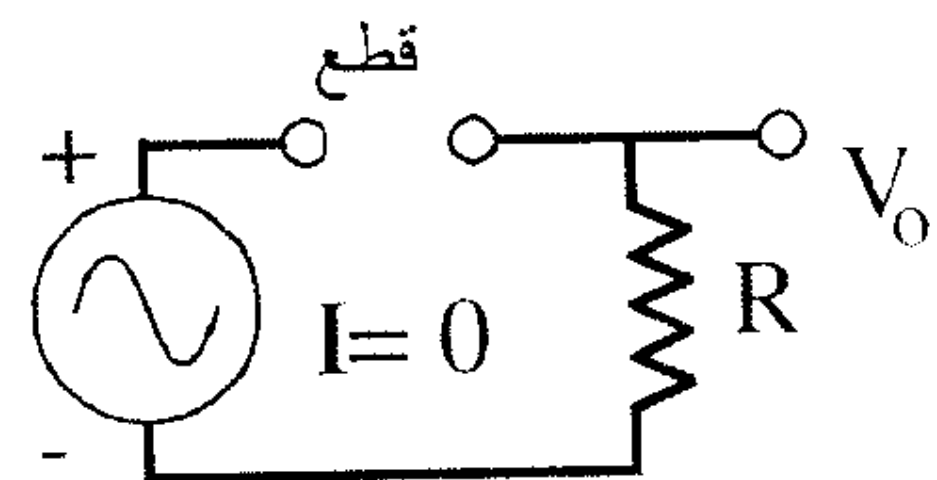


إذا في هذه الدائرة يتم قطع الجزء السالب من موجة الدخول ويسمح للجزء الموجب بالمرور، ولهذا السبب تسمى مقوم نصف موجة.

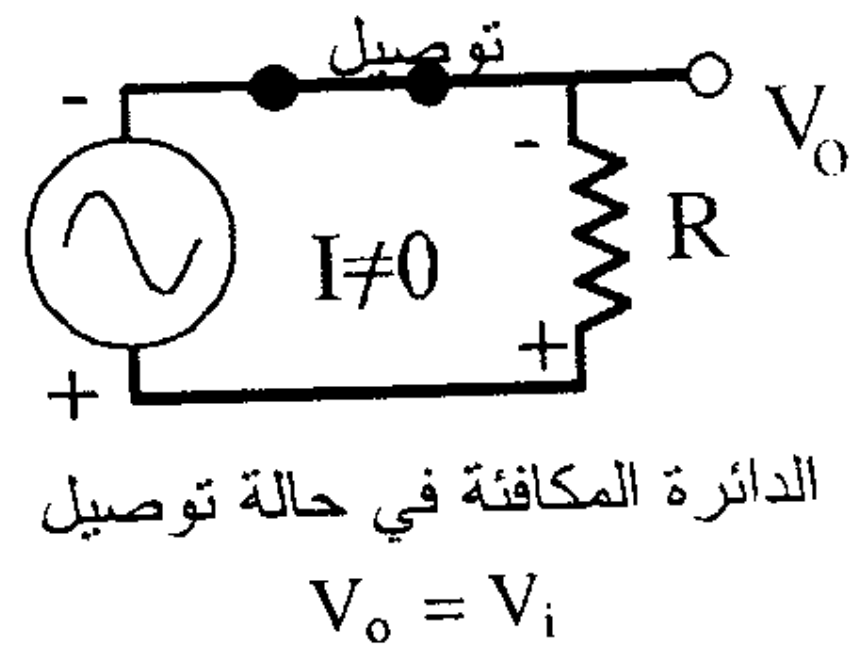
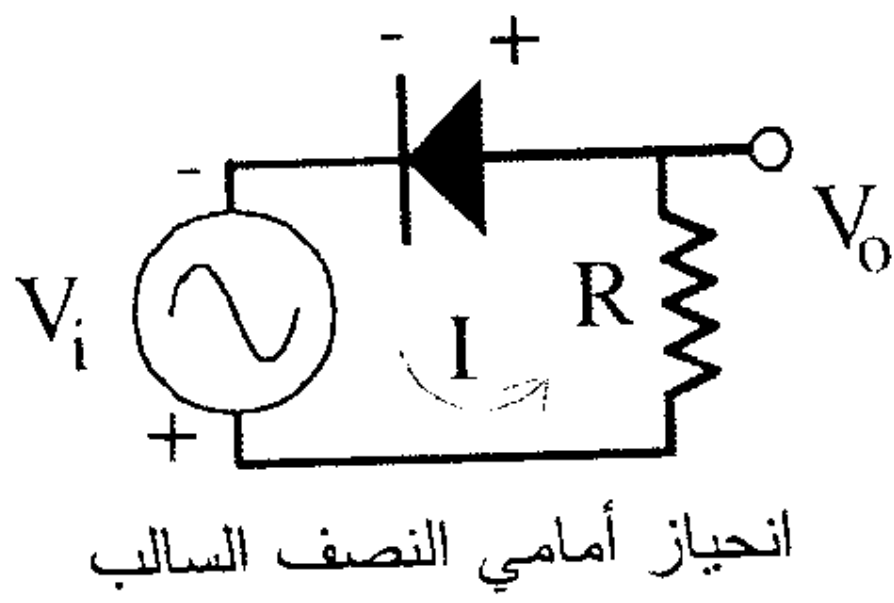
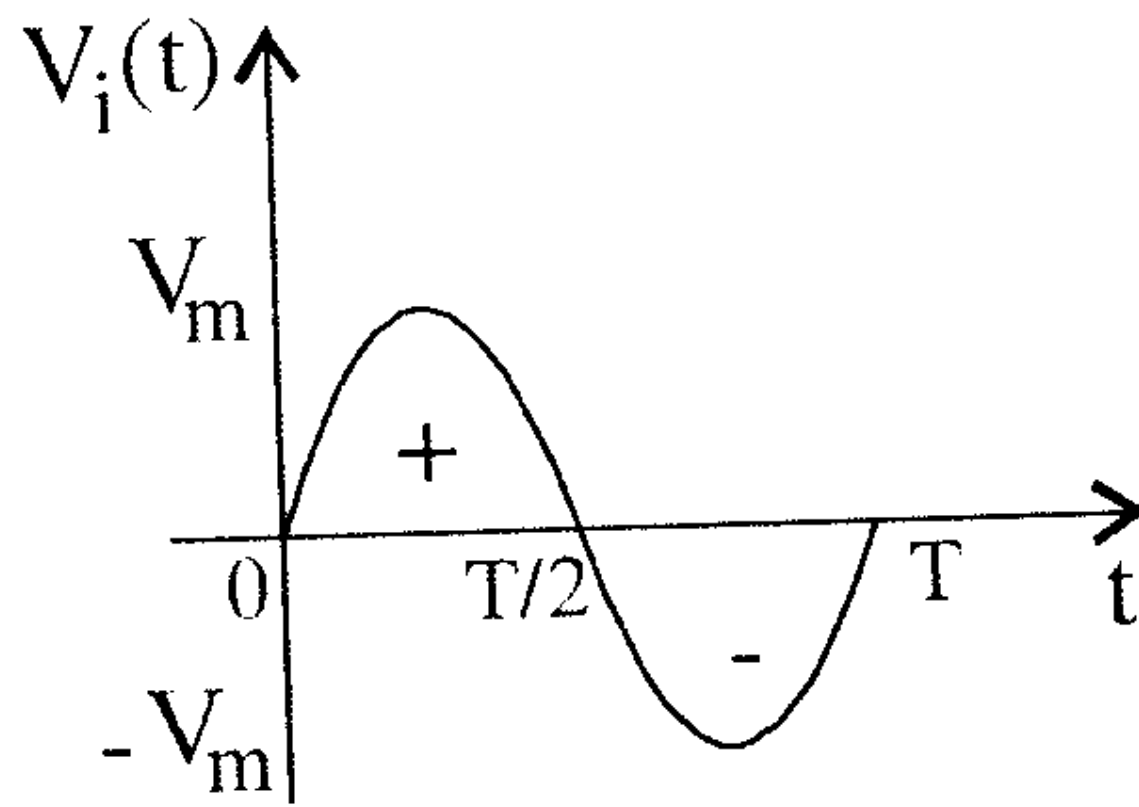
أما إذا عكسنا قطبية الثنائي في الدائرة فإنه سيسمح بمرور الجزء السالب فقط وقطع الجزء الموجب من موجة الدخول. وهذا ما يتضمنه الرسم التالي



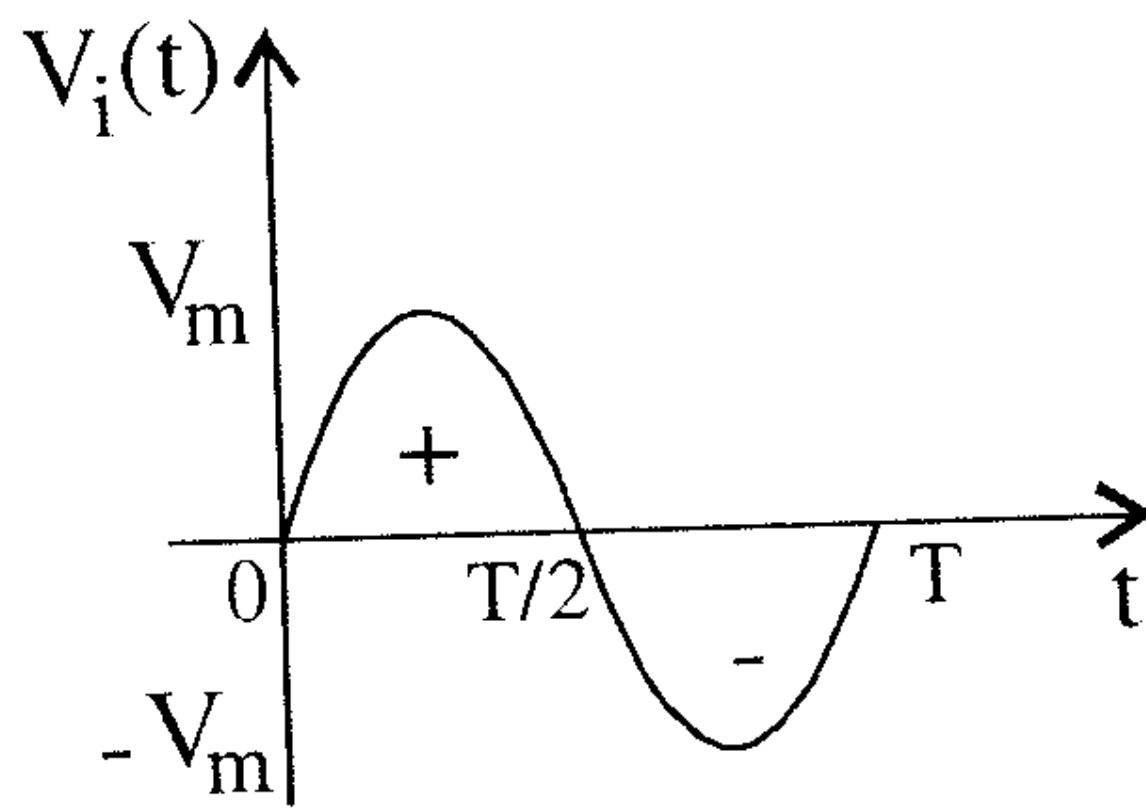
انحياز عكسي النصف الموجب



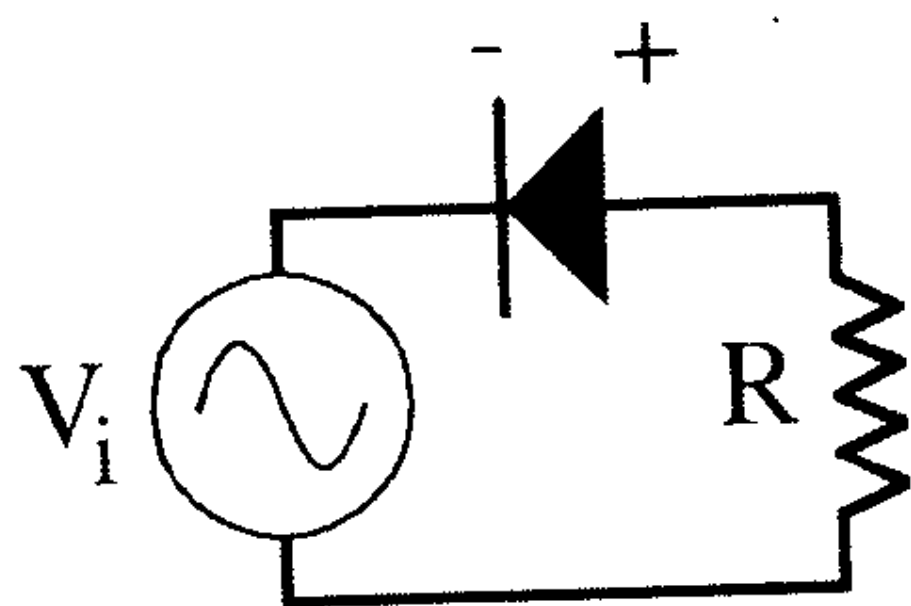
الدائرة المكافئة في حالة قطع



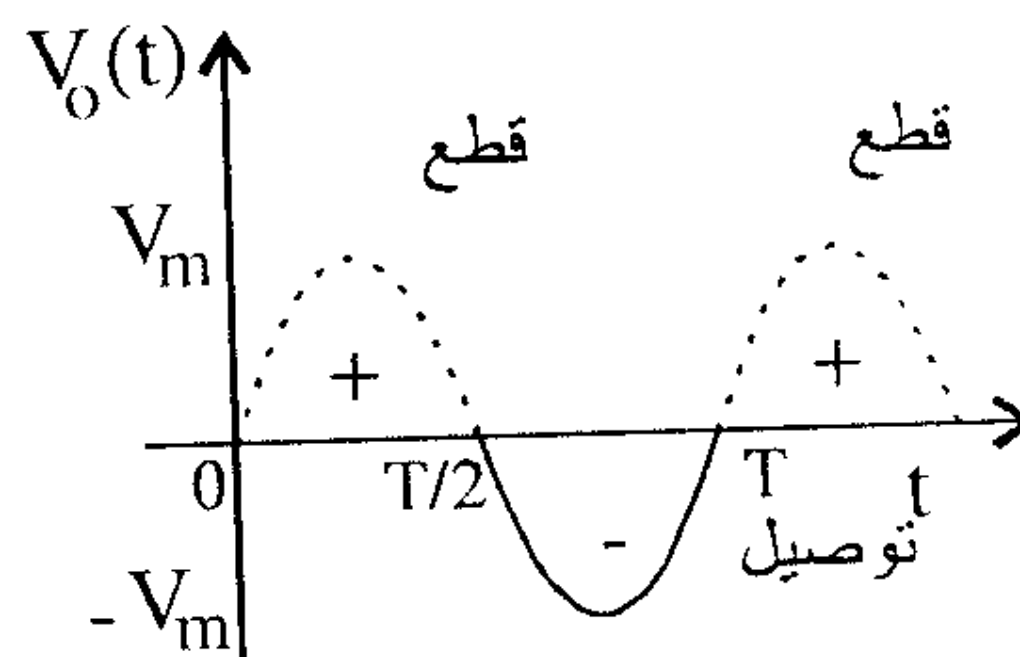
∴ في هذه الدائرة يتم قطع الجزء الموجب والسماح للجزء السالب بالمرور:



جهد الدخول V_i



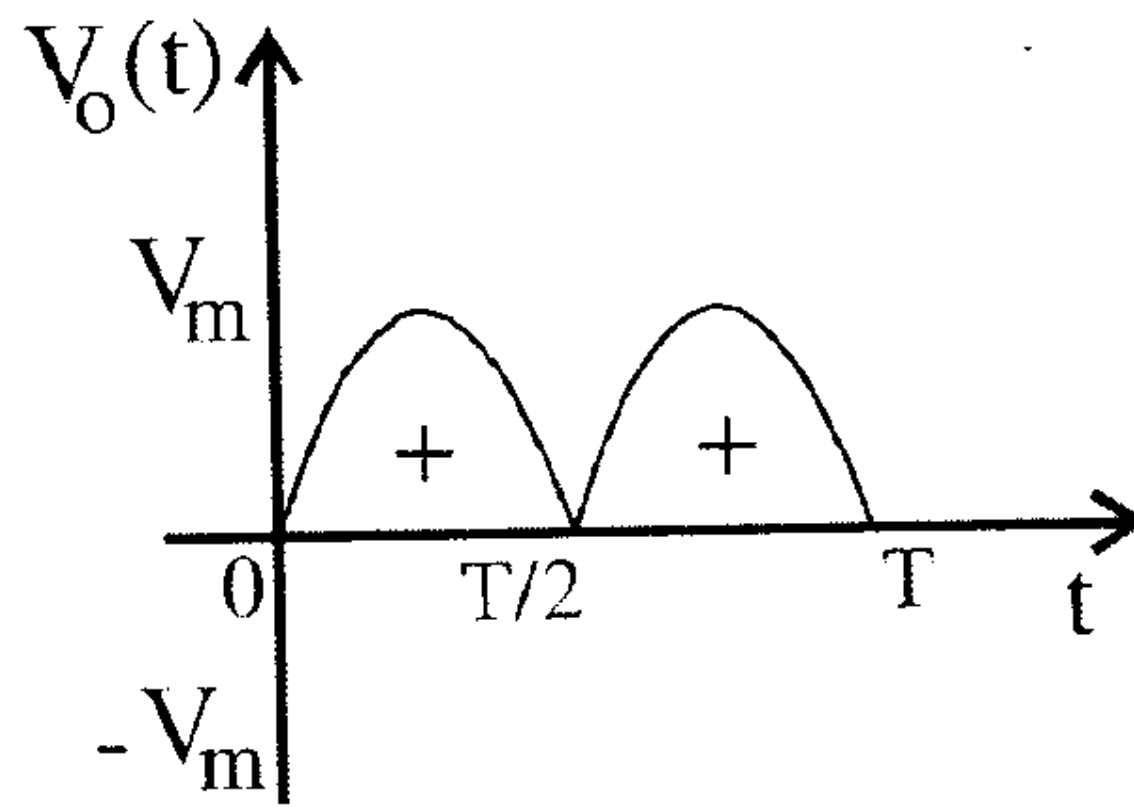
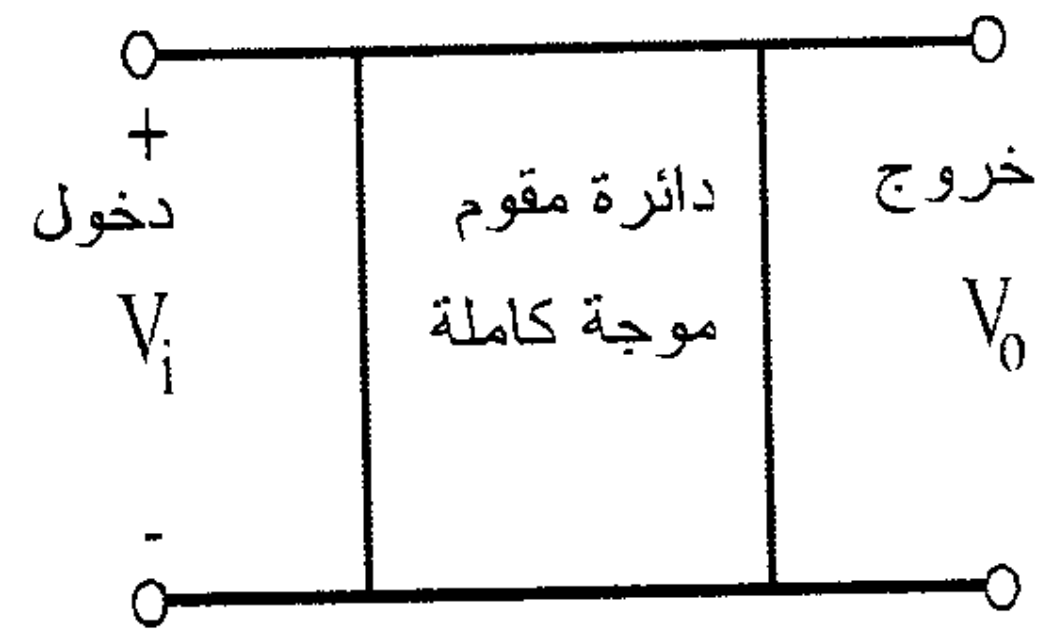
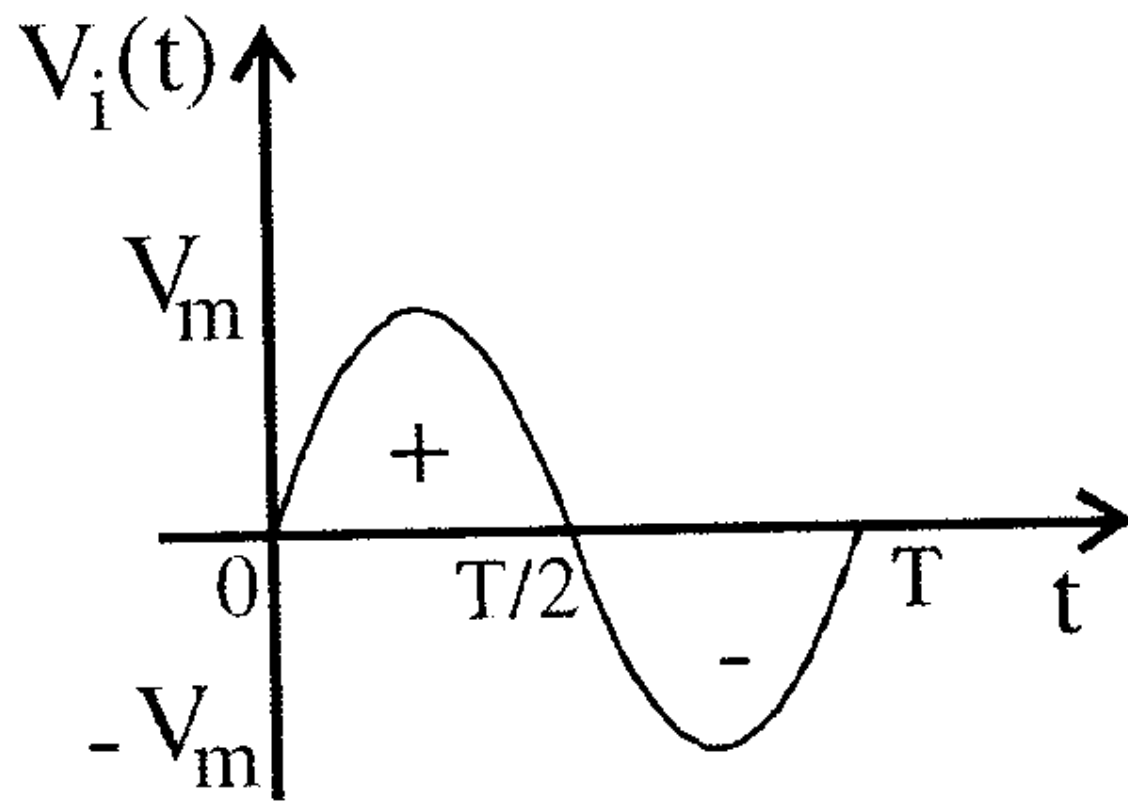
مقوم نصف الموجة



جهد الخروج V_o

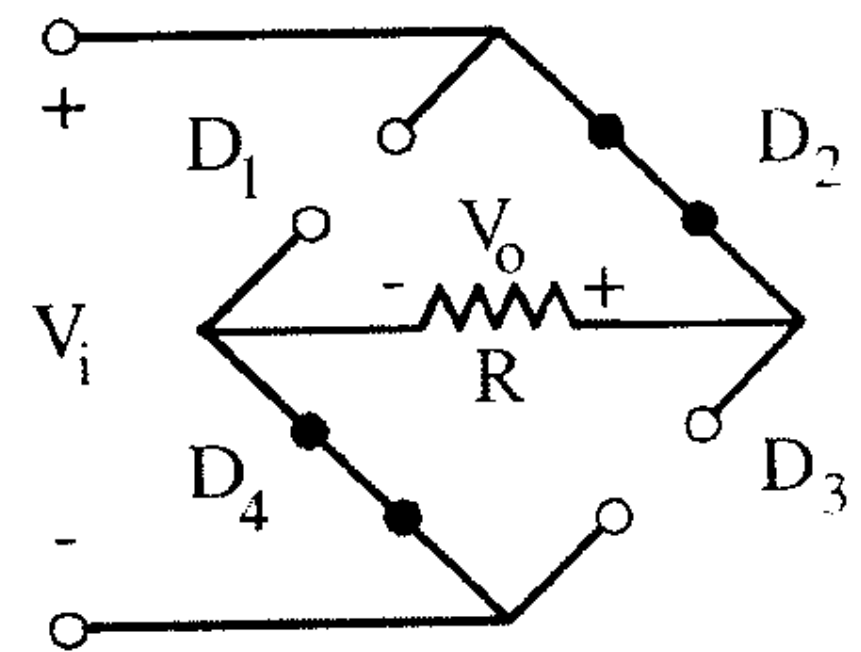
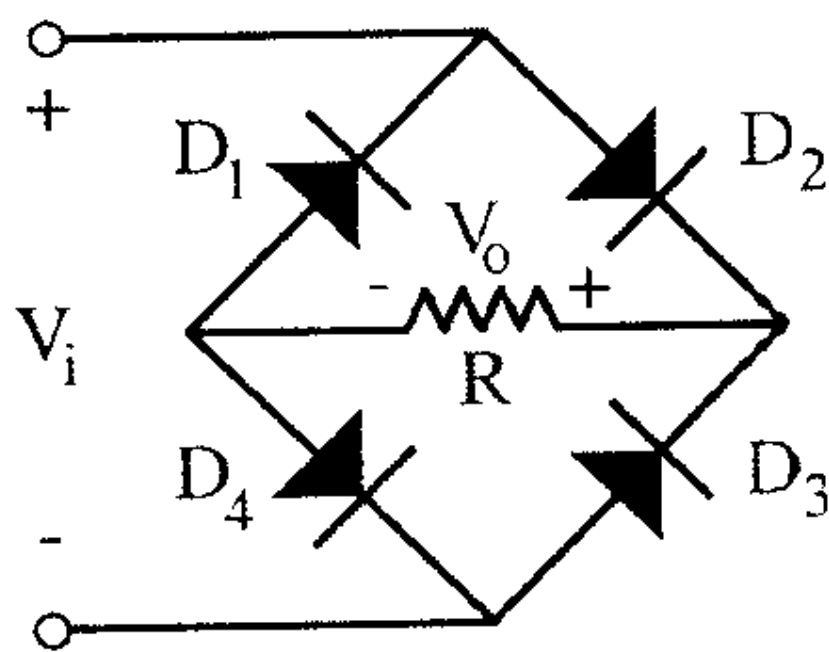
2.1.9 مقوم الموجة الكاملة Full-Wave Rectifier

في مقوم الموجة الكاملة يتم التقويم بالحصول على موجة خروج كاملة كما في الشكل التالي:

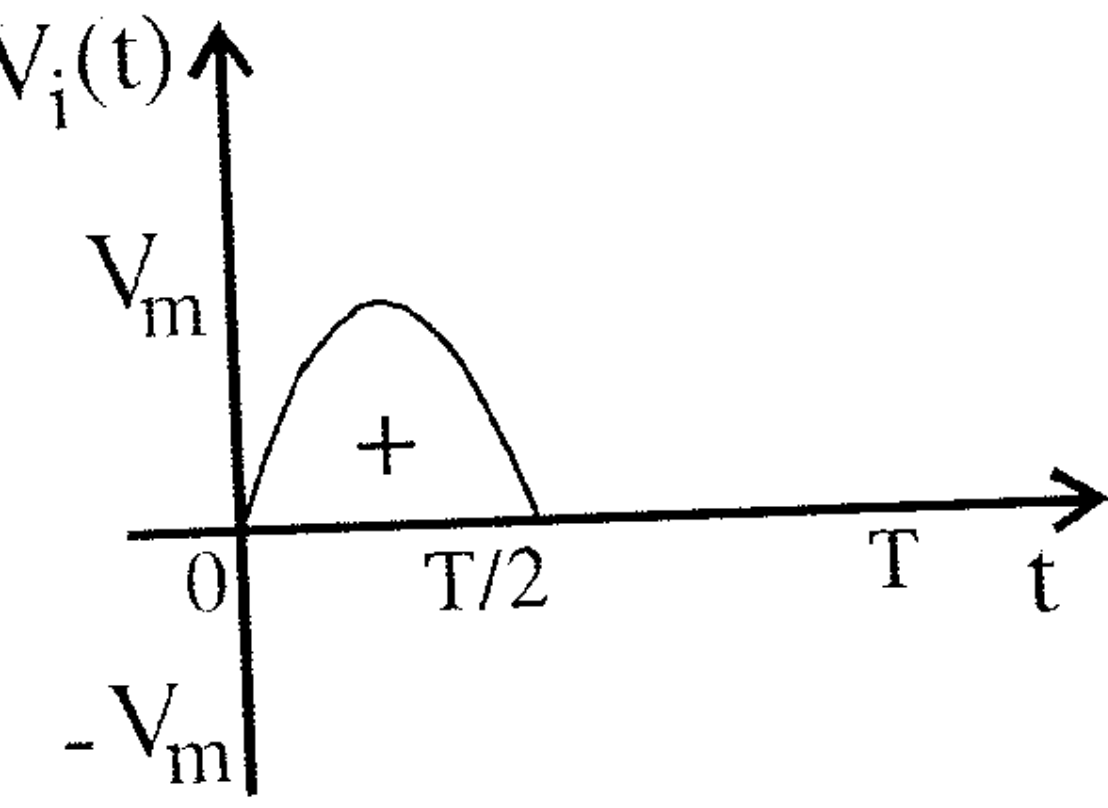


1- دائرة القنطرة لتقويم الموجة الكاملة Bridge Rectifier

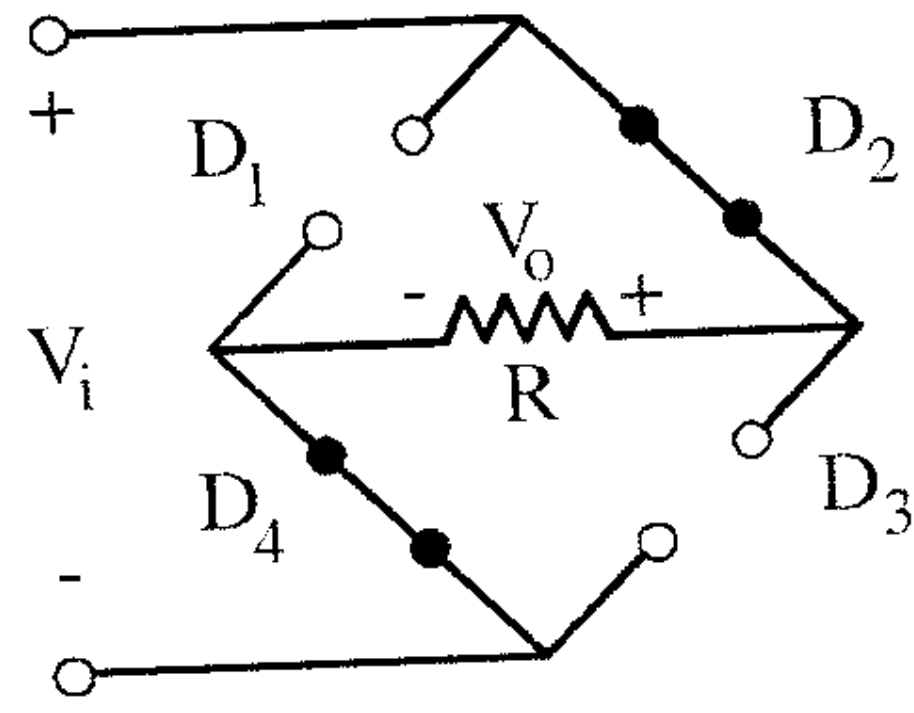
أكثر الأنواع استخداماً للحصول على مقوم موجة كاملة هو استخدام أربعة ثنائيات موصلة في نظام القنطرة كما في الشكل التالي:



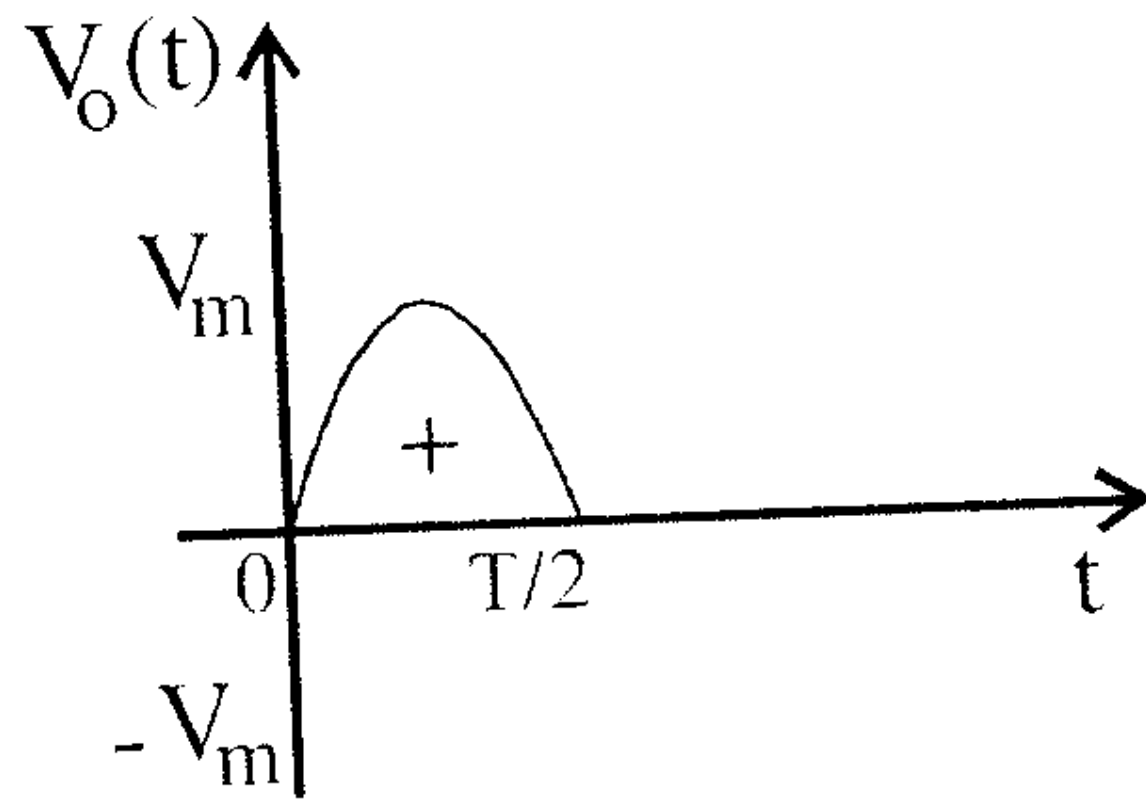
خلال زمن نصف الموجة الموجب ($0 \leftarrow T/2$) يكون الثنائيان D_1 و D_3 في حالة قطع والثنائيان D_2 , D_4 في حالة توصيل، وإذا كانت جميع الثنائيات من النوع المثالي نتحصل على الدائرة المكافئة التالية للنصف الموجب من موجة الدخول.



جهد دخول نصف الموجة الموجب

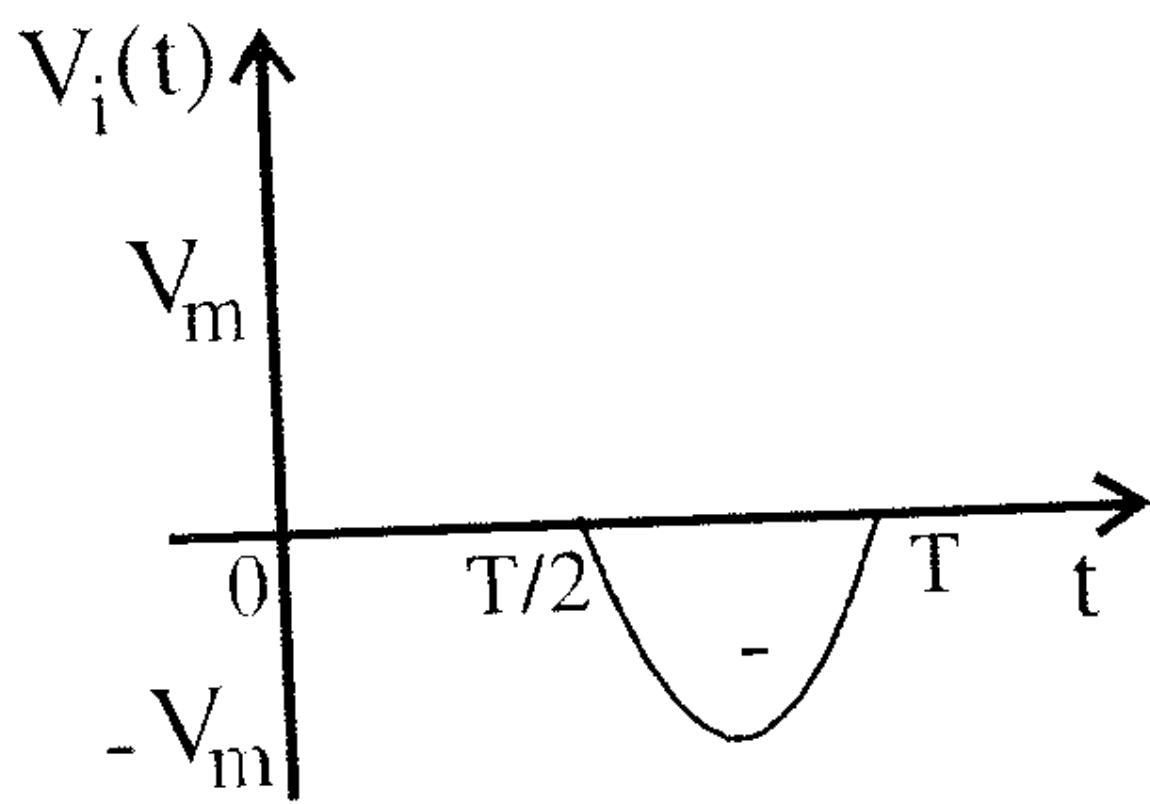


الدائرة المكافئة

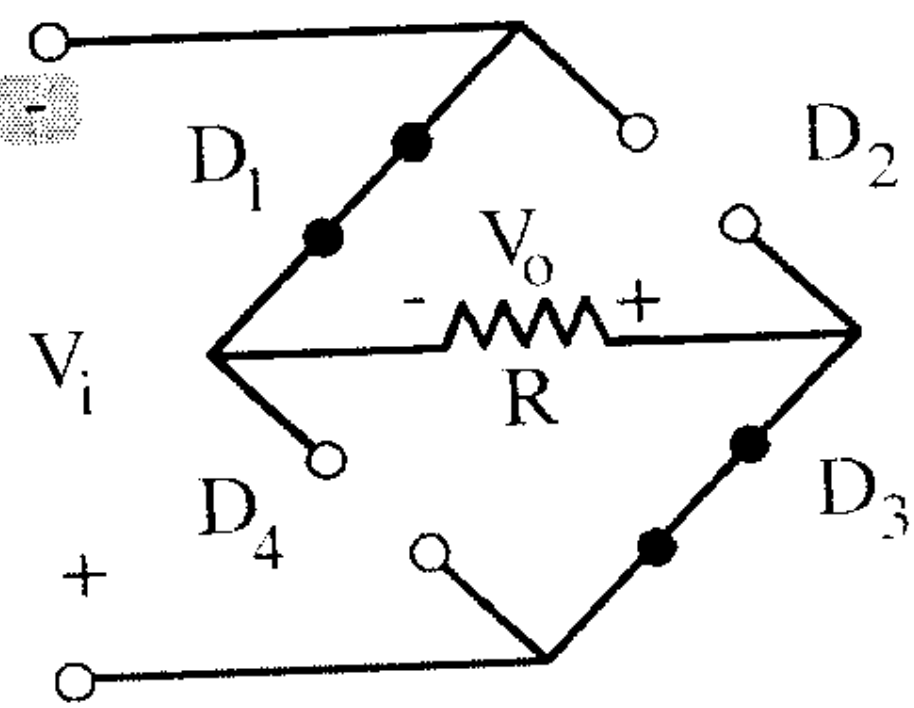


جهد الخروج $V_o = V_i$

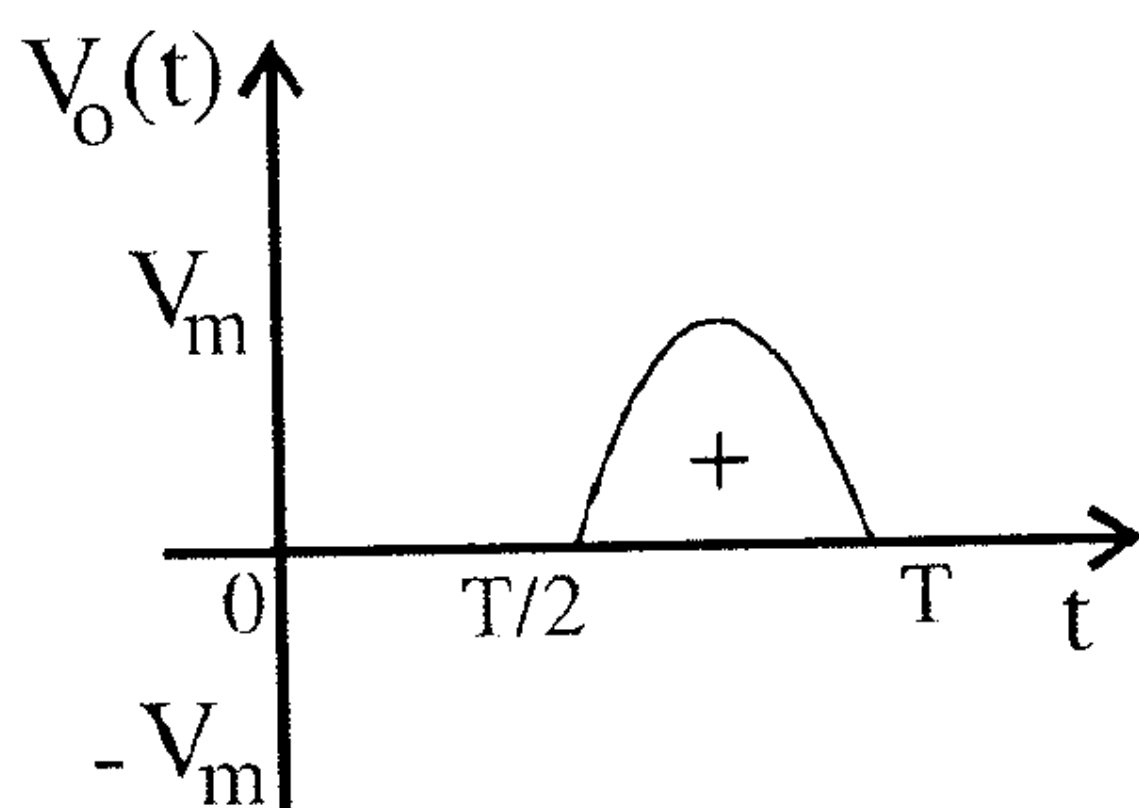
أما النصف السالب لموجة الدخول فهو كالتالي:



جهد دخول نصف الموجة السالب

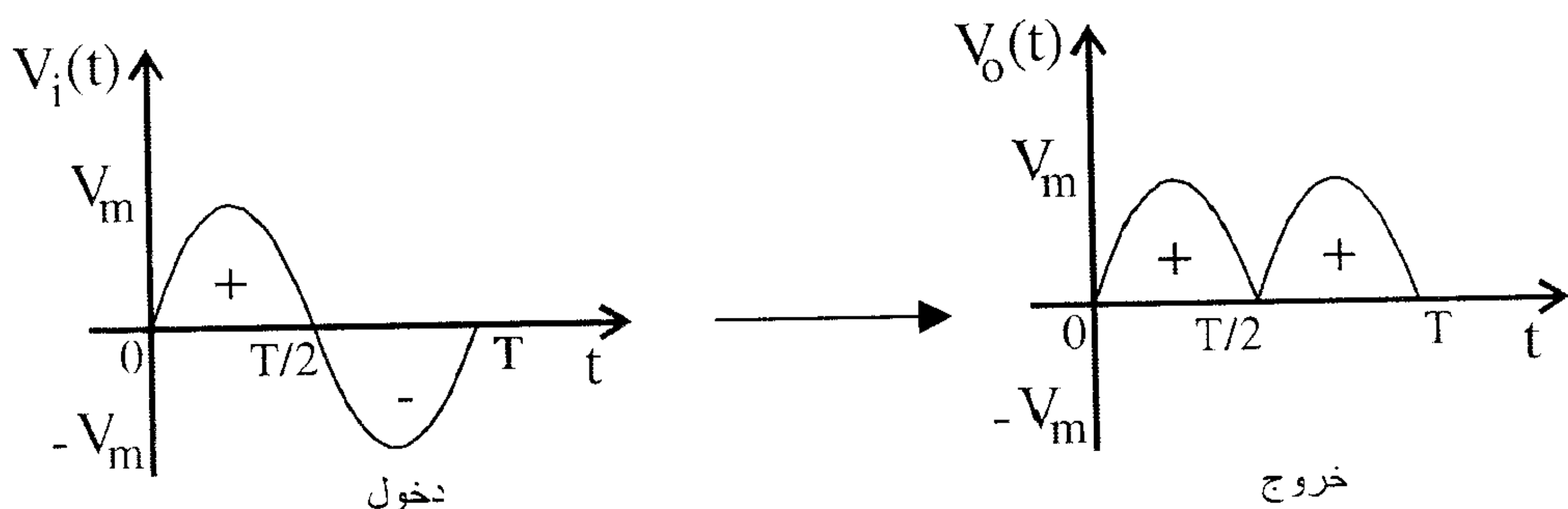


الدائرة المكافئة

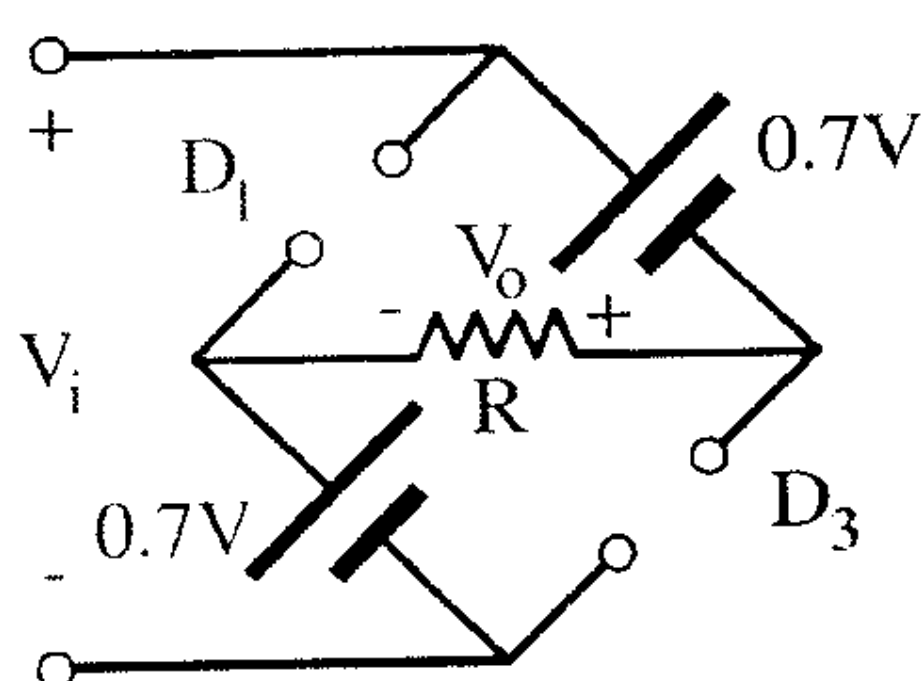


$$V_o = V_i \text{ جهد الخروج}$$

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 :

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s}$$

$$V_s = V_p \left(\frac{N_s}{N_p} \right)$$

فإذا كان لدينا جهد دخول ($V_p = 240V$) ونريد خفضه (تحويله) وكان عدد اللفات للمحول

لفة $N_p = 1000$, لفة $N_s = 100$

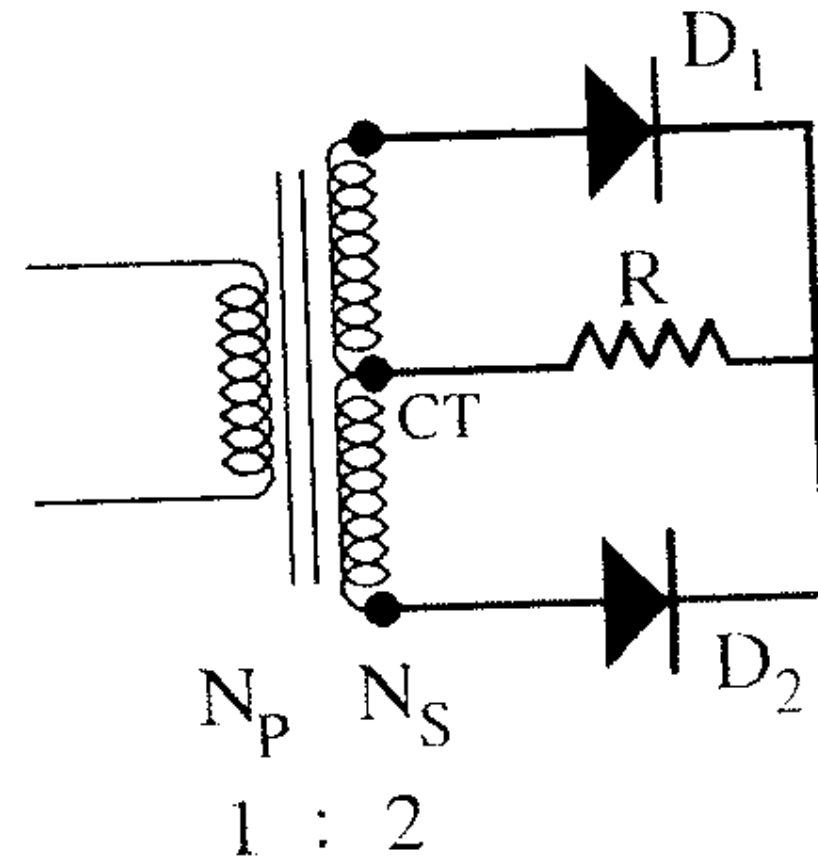
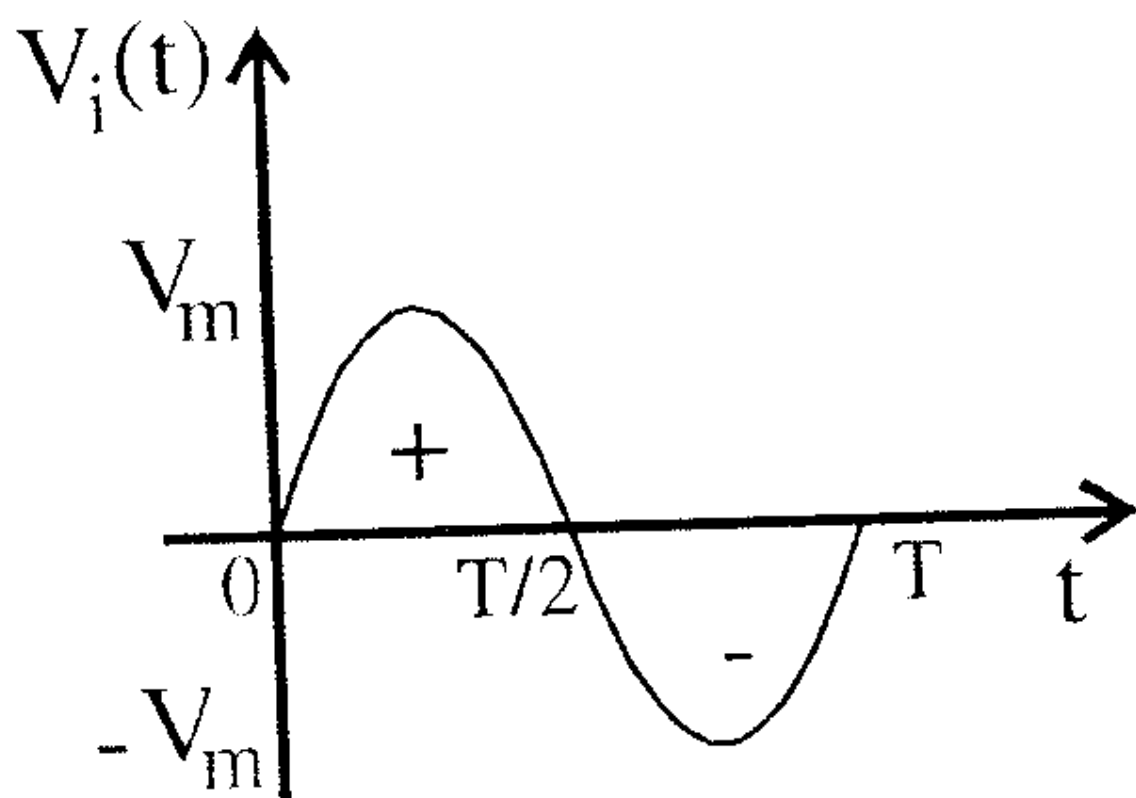
فإن جهد الخروج:

$$V_s = (240V) \left(\frac{100}{1000} \right) = 24V$$

في هذه الحالة يسمى المحول بالخفض لأنه يحول الجهد من ($240V$) إلى ($24V$) .

نعود إلى مقوم الموجة الكاملة باستخدام المحول، ففي الشكل التالي رسم لدائرة مقوم

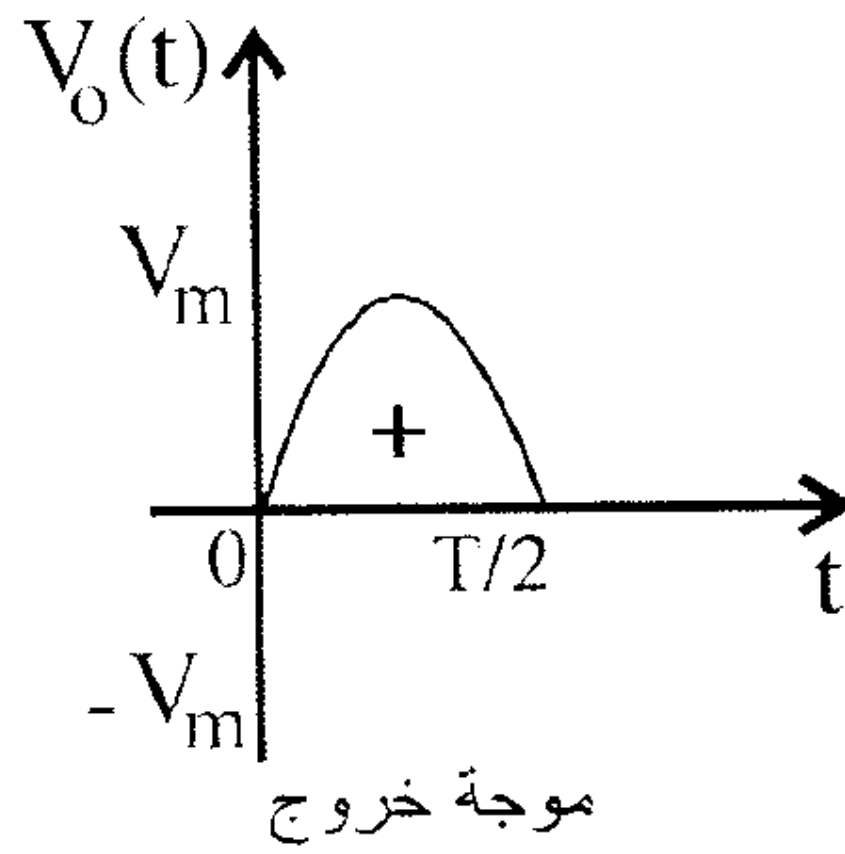
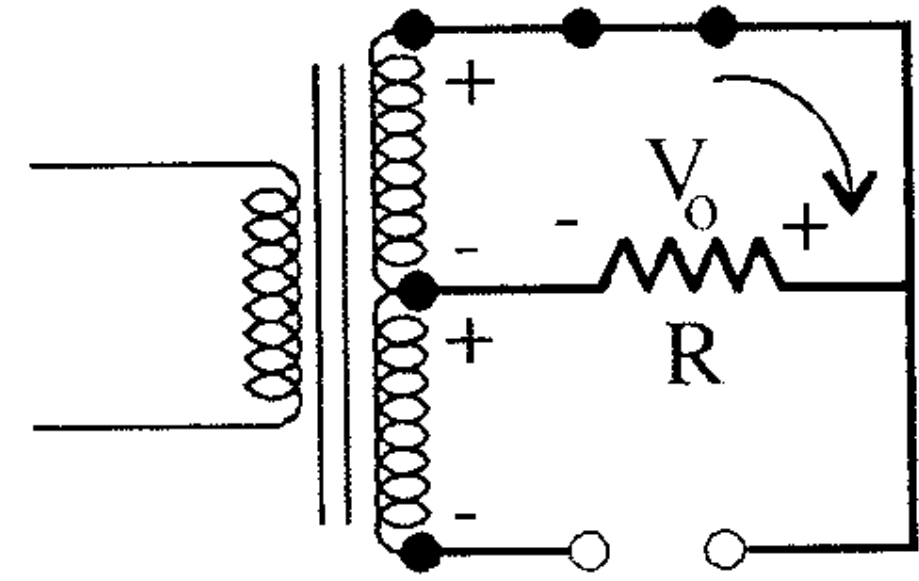
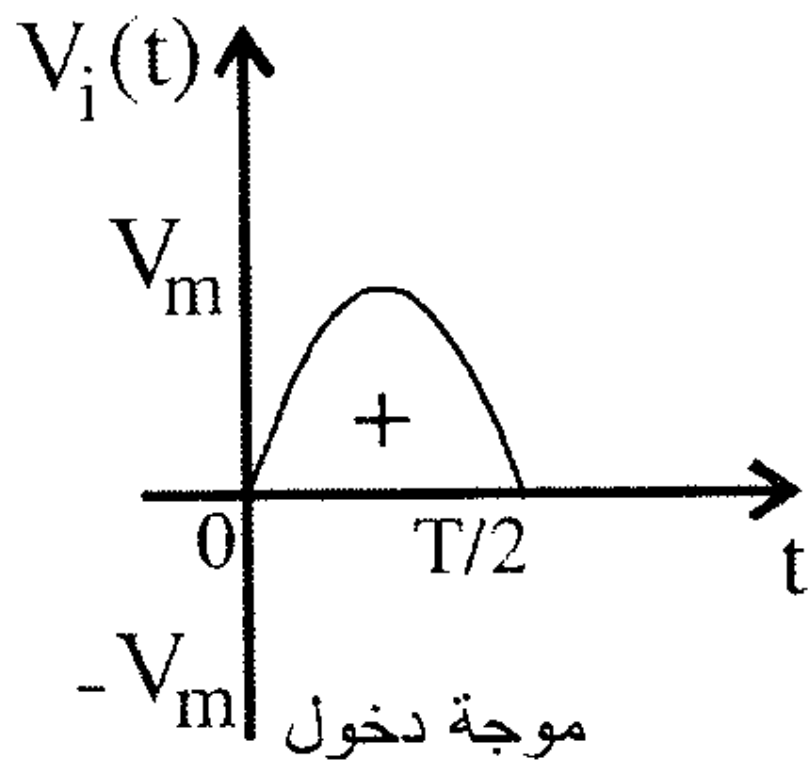
الموجة الكاملة باستعمال المحول



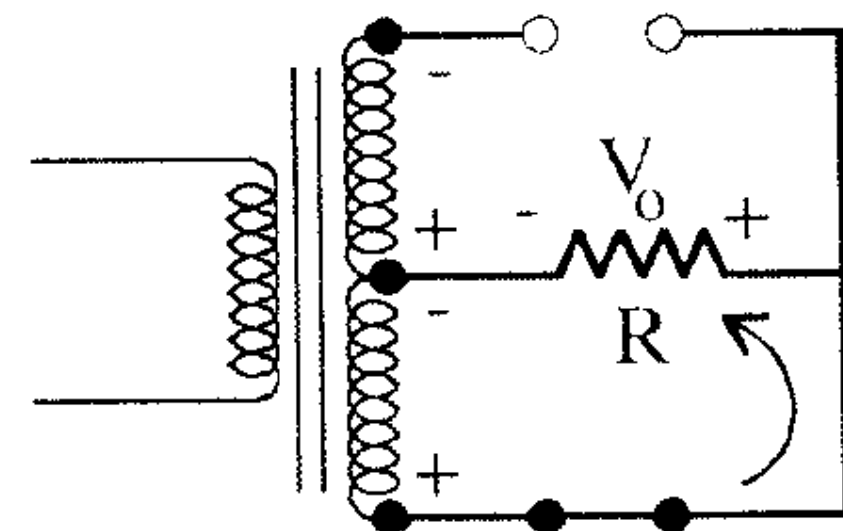
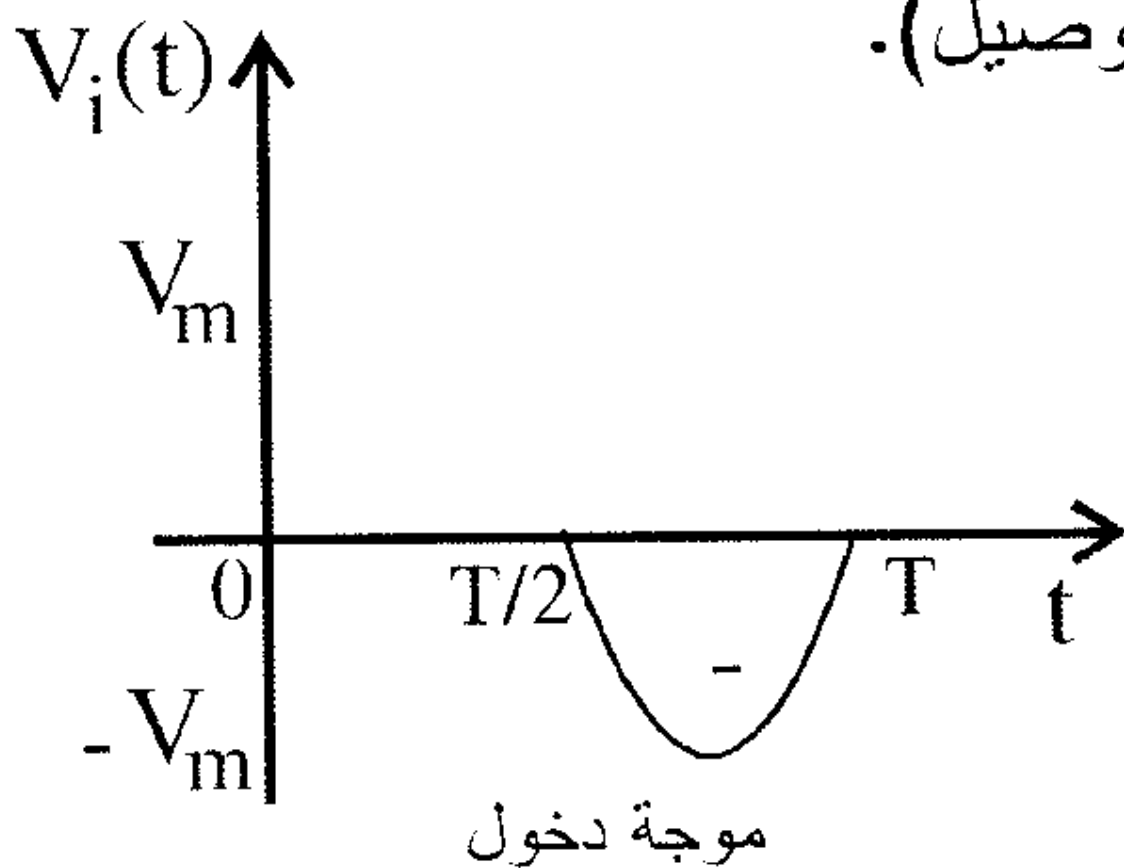
هذه الدائرة بها ثنائيان فقط حيث يتم تنصيف المحول الثانوي للحصول على جهدي خروج (V_i) متساويين على نصفي الملف الثانوي، ويعرف هذا النوع من المحولات بالمحول ذي النقطة الوسطية أي النقطة المنصفة للملف الثانوي [Center Tapped Transformer (CT)].

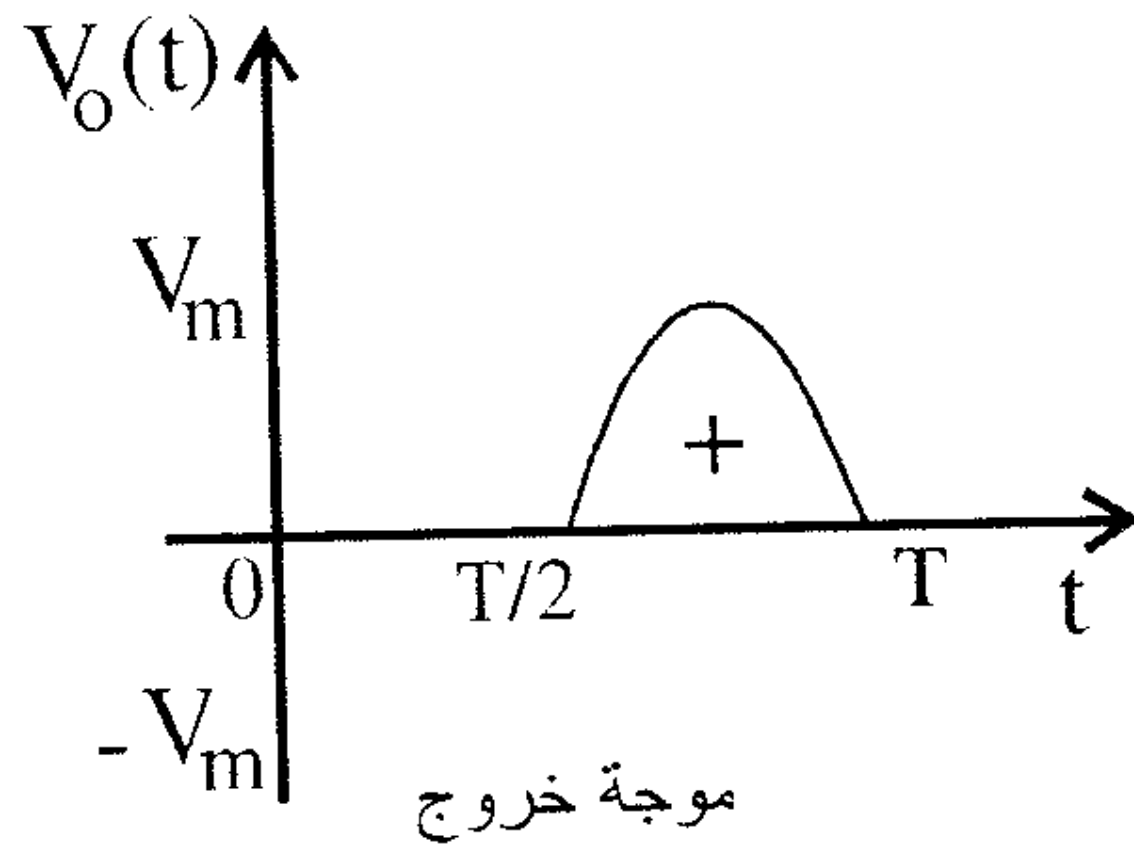
ويمكن شرح طريقة تقويم الموجة الكاملة باستخدام محول كالتالي:

1- في زمن نصف الموجة الموجب من ($0 \leftarrow T/2$) يكون الثنائي D_1 في حالة انحياز أمامي (توصيل) والثنائي D_2 في حالة انحياز عكسي (قطع).

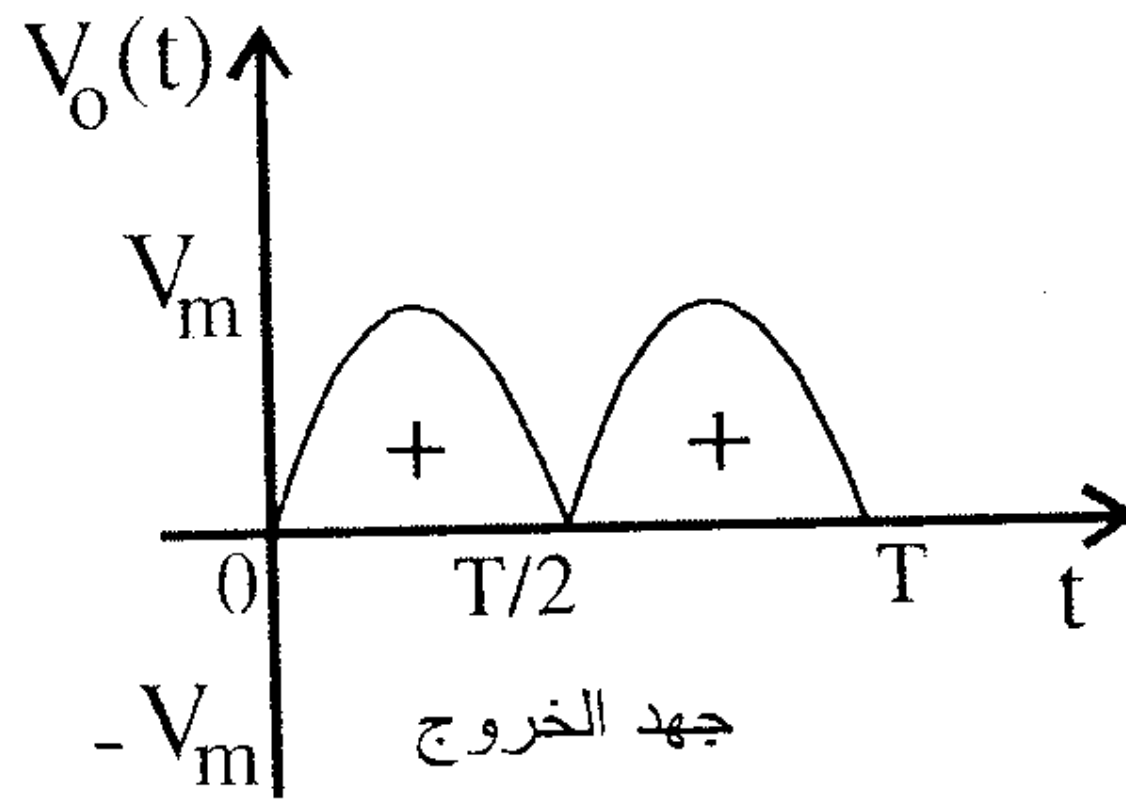
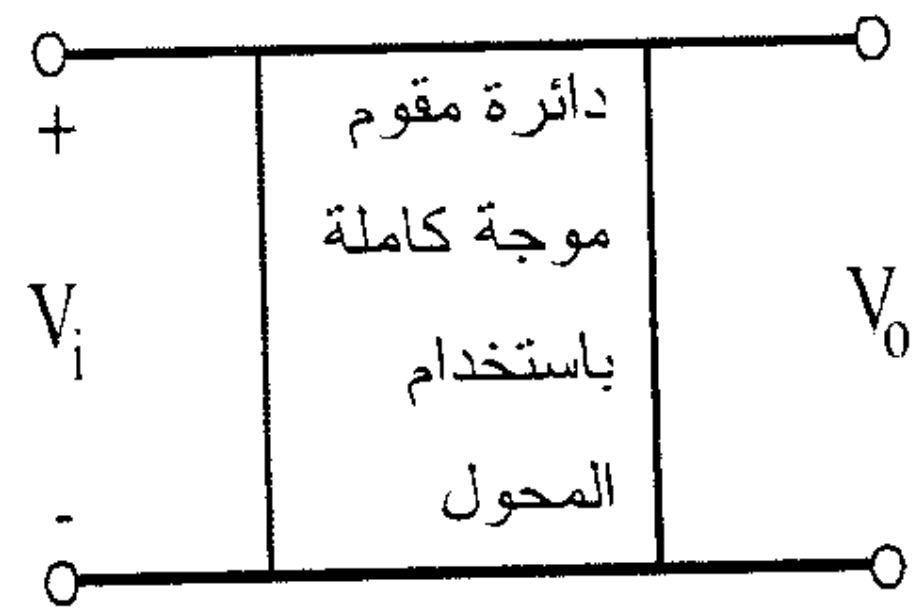
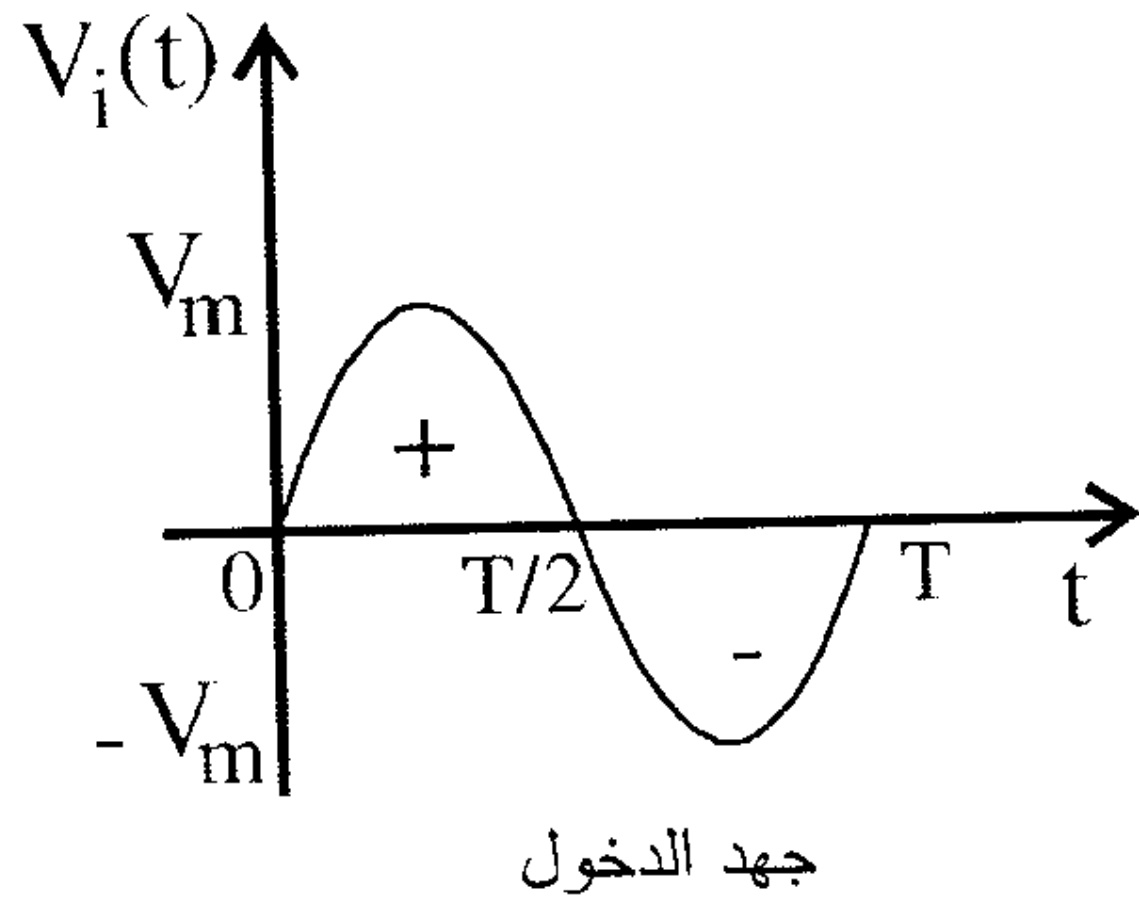


2- في زمن نصف الموجة السالب ($T \leftarrow T/2$) يكون الثنائي D_1 في حالة انحياز عكسي (قطع) والثنائي D_2 في حالة انحياز أمامي (توصيل).

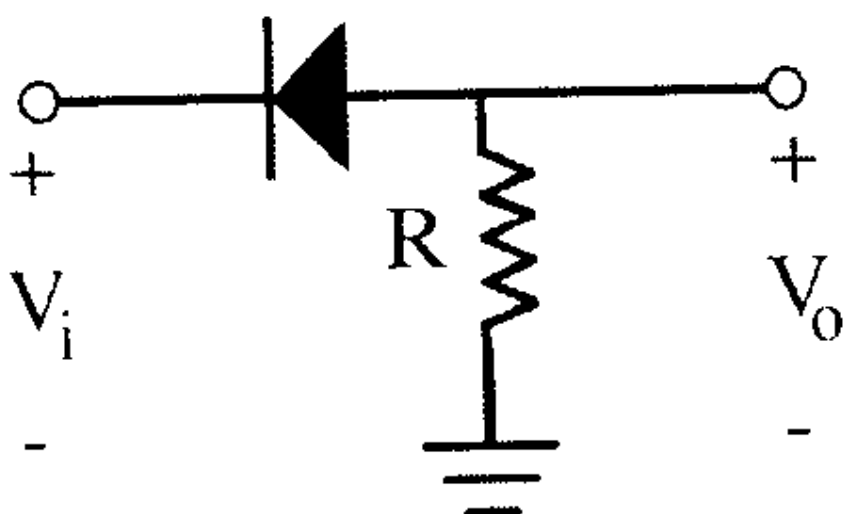




من الحالتين نلاحظ أن اتجاه التيار في دخوله على المقاومة R لم يتغير، لذلك فإن جهد الخروج موجب في الحالتين .



مثال 1.9 من الدائرة التي في الشكل التالي إذا كان جهد الدخول يعطى بالعلاقة



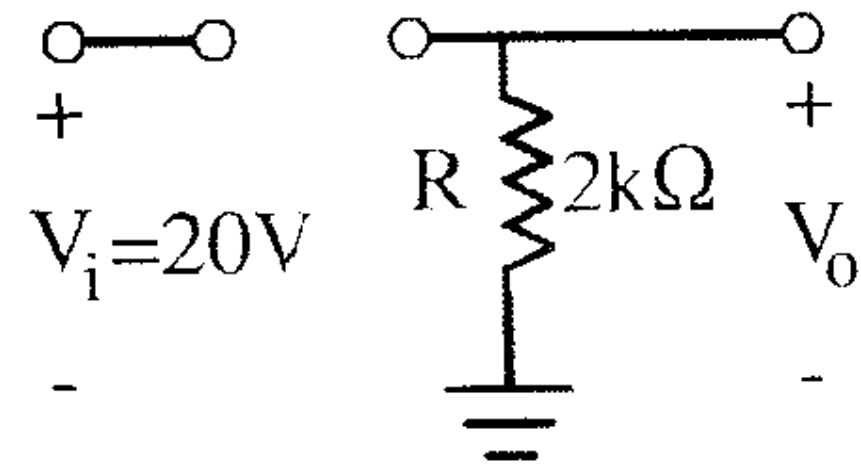
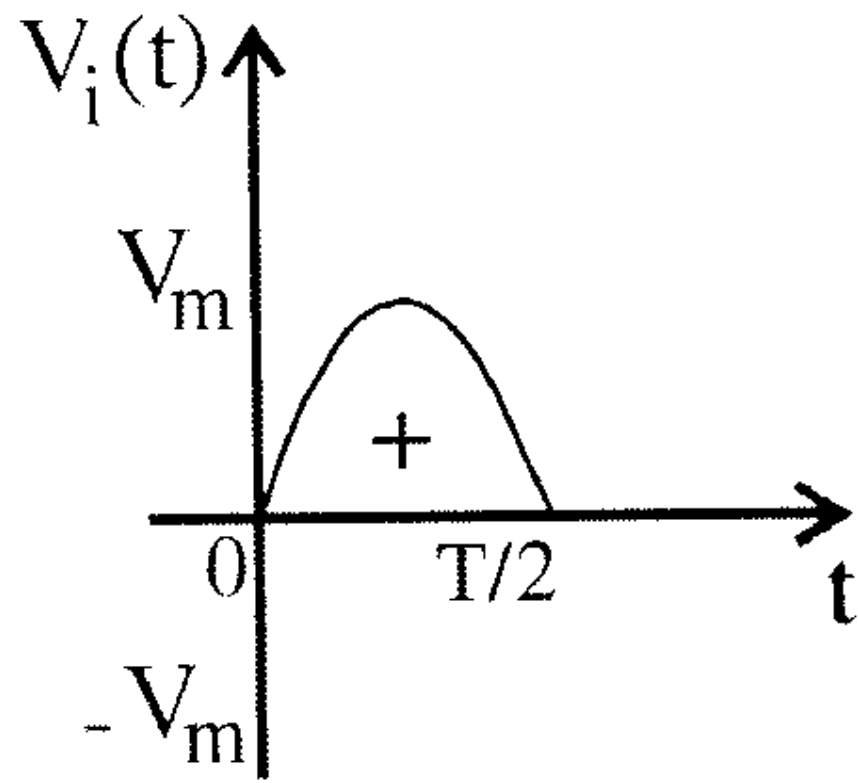
$$V_i = 20 \sin \omega t$$

- 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.

الحل:

- 1- عندما يكون جهد الدخول نصف الموجة الموجب:
- يكون الثنائي في حالة قطع

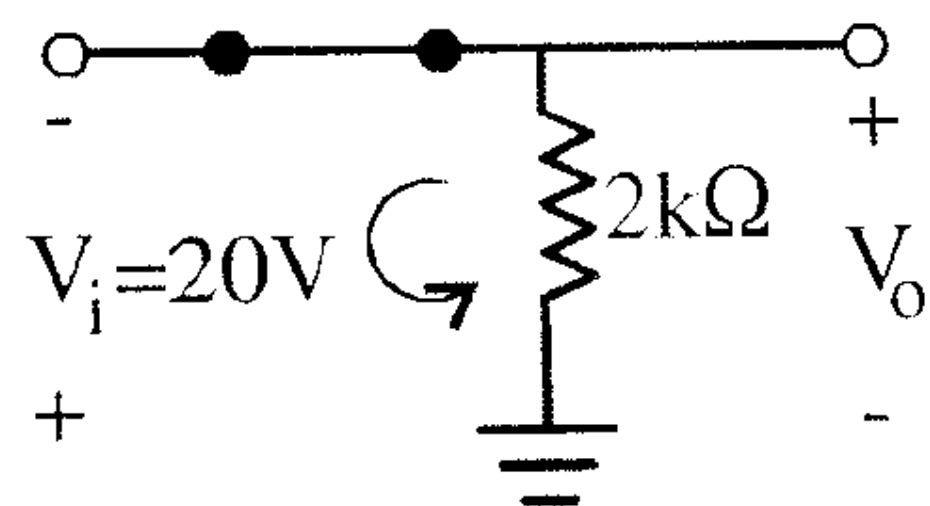
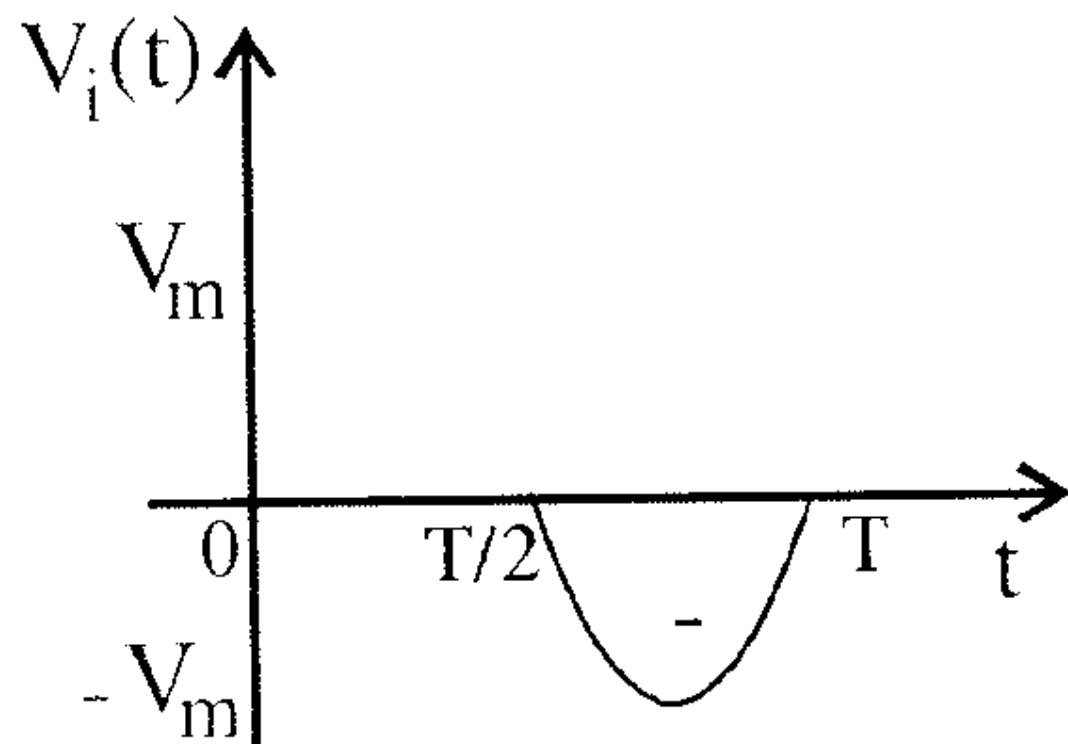
$$V_o = 0V$$



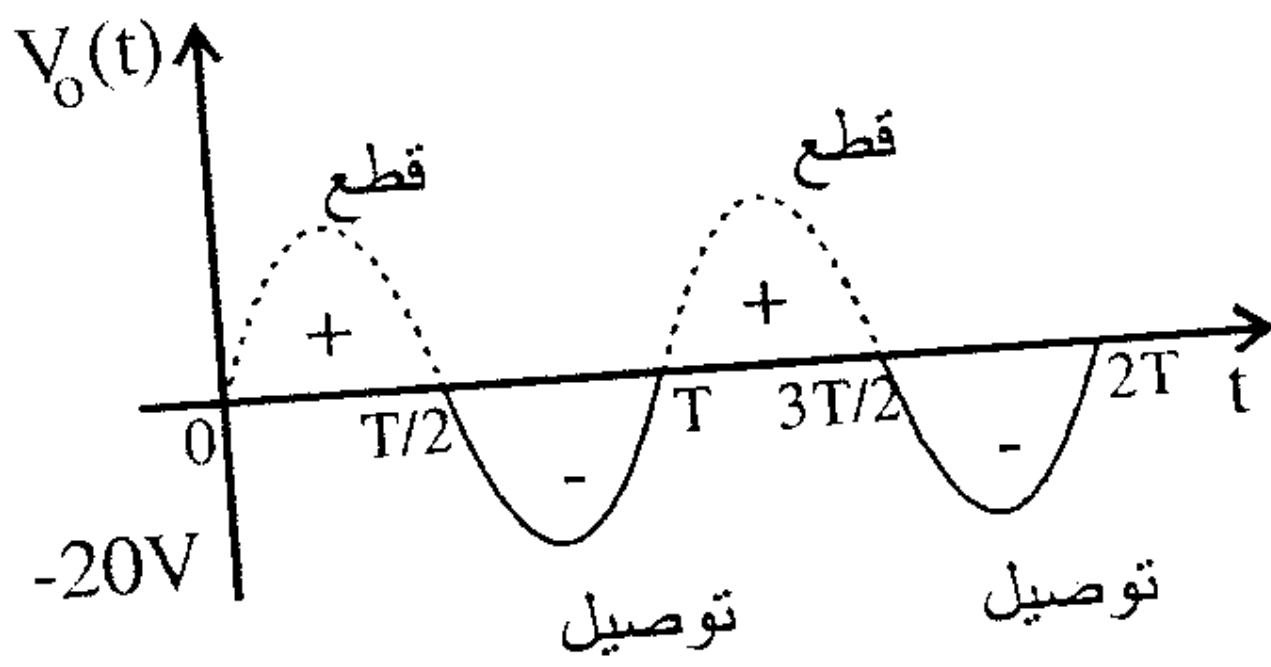
عندما يكون جهد الدخول نصف الموجة السالب يكون الثنائي في حالة توصيل

$$\therefore V_o = -V_R = -V_i$$

$$V_o = -20V$$



لنحصل على جهد خروج (مقوم نصف موجة) كما بالشكل التالي:



2- عند استخدام ثنائي السيليكون :
KVL:

$$-V_i + V_D + V_R = 0$$

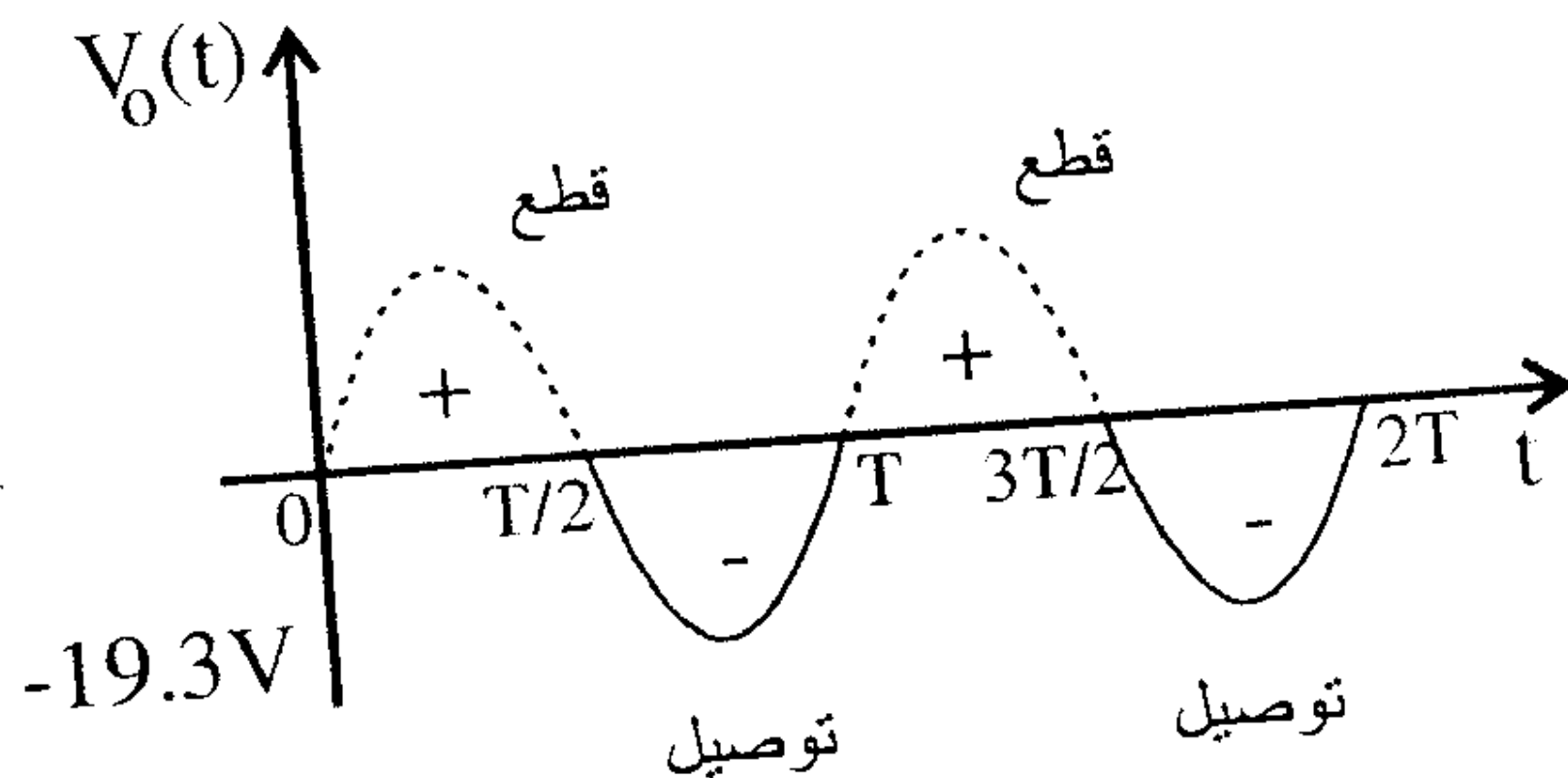
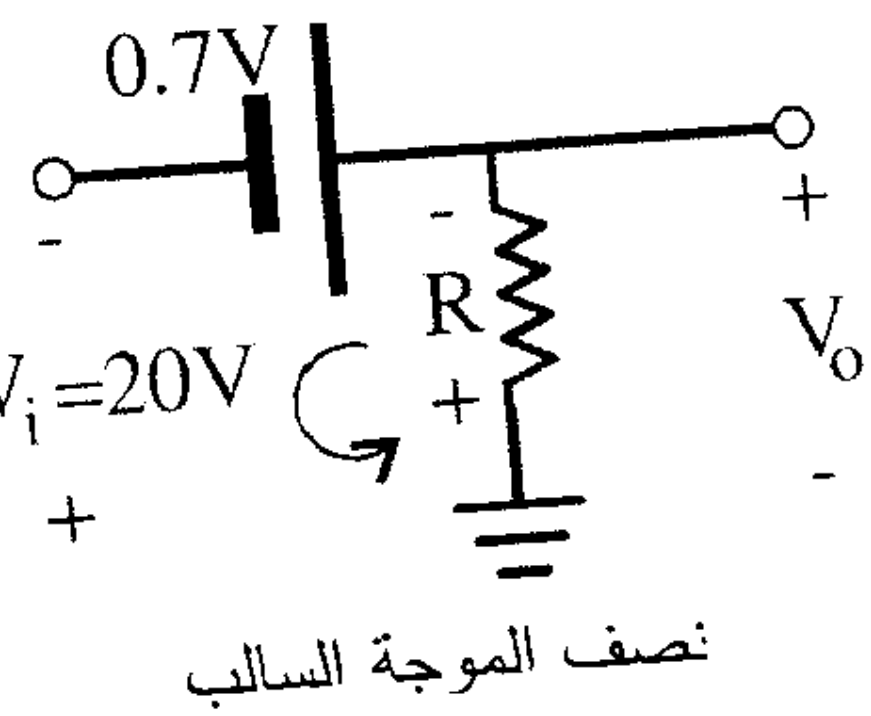
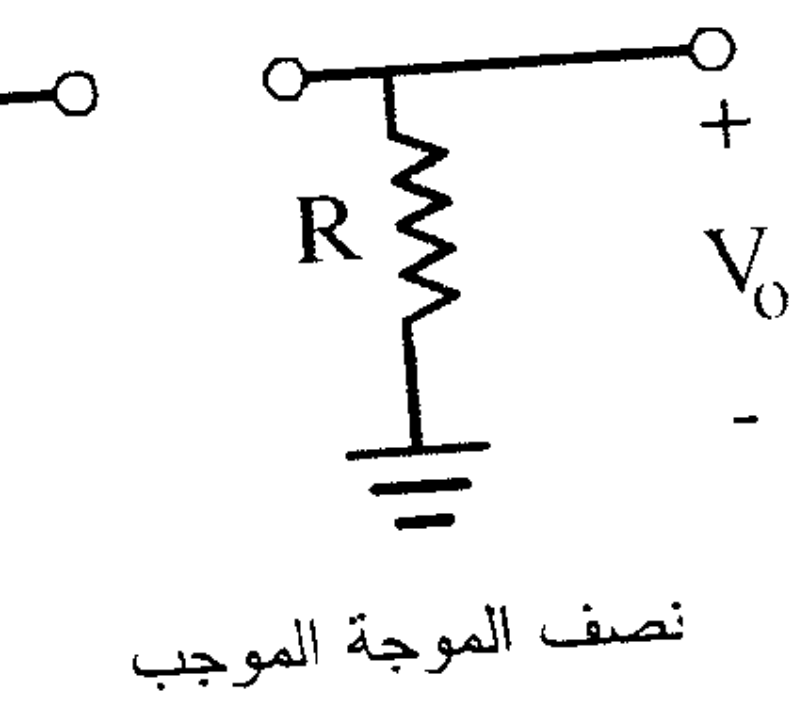
$$\therefore V_R = 0$$

$$-V_i + V_D + V_o = 0$$

$$\therefore V_o = V_i - V_D$$

$$V_o = 20V - 0.7V = 19.3V$$

وبالتالي يكون شكل منحنى جهد الخروج كالتالي:



مثال 2.9 من الدائرة بالشكل التالي أوجد قيمة وشكل موجة الخروج (V_o).

إذا كان جهد الدخول معطى بالعلاقة:

$$V_i = 10 \sin \omega t$$

الحل:

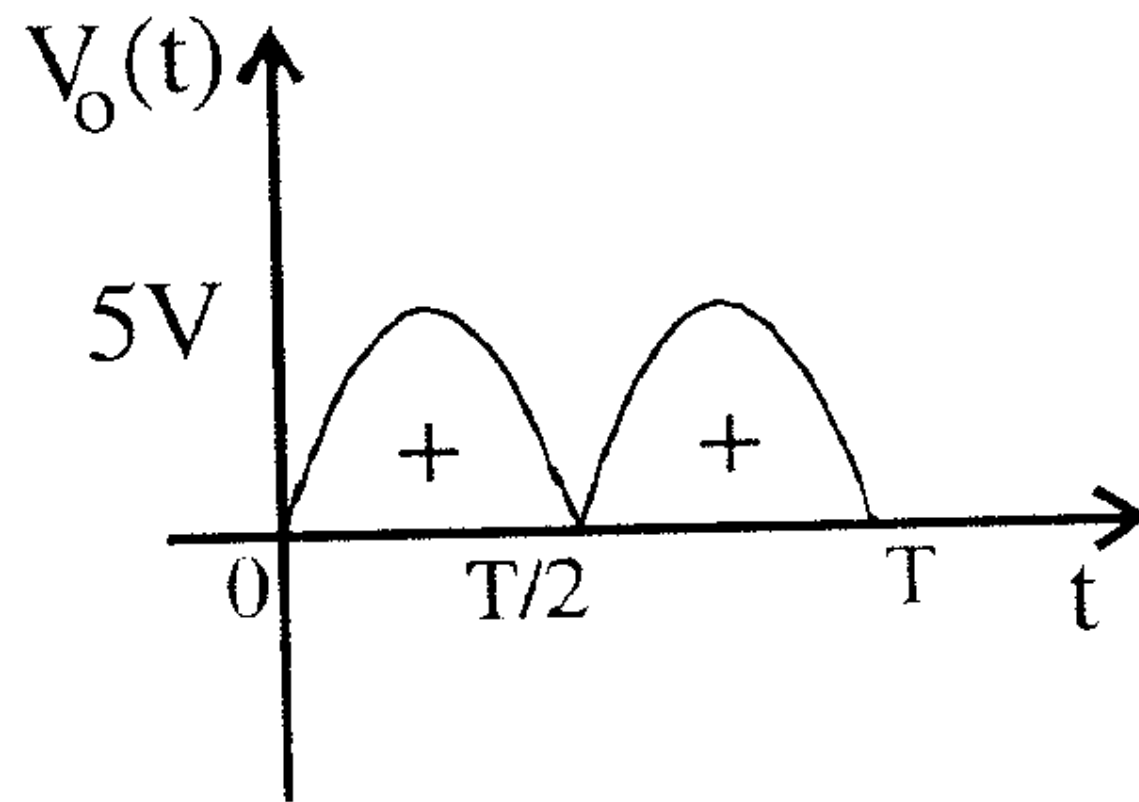
نصف الموجة الموجب:

D_1 حالة قطع

D_2 حالة توصيل

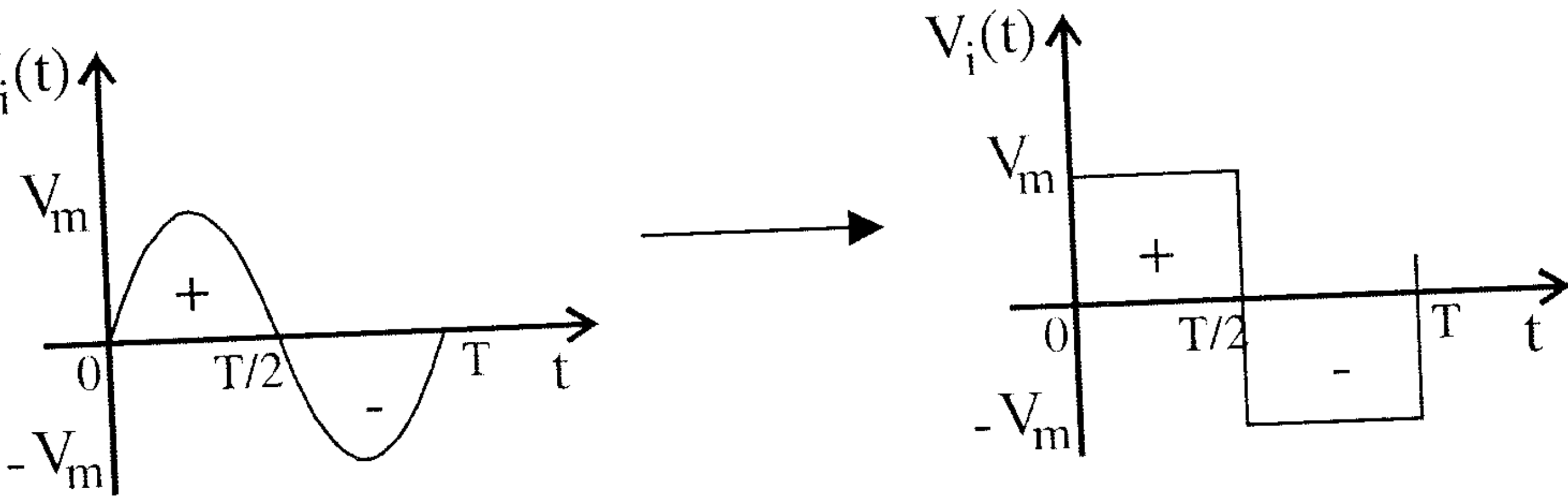
$$V_o = \frac{(10V)(2k\Omega)}{2k\Omega + 2k\Omega} = \frac{20}{4} = 5V$$

وفي حالة نصف الموجة السالب نتحصل على نفس الناتج ليكون شكل موجة الخروج:

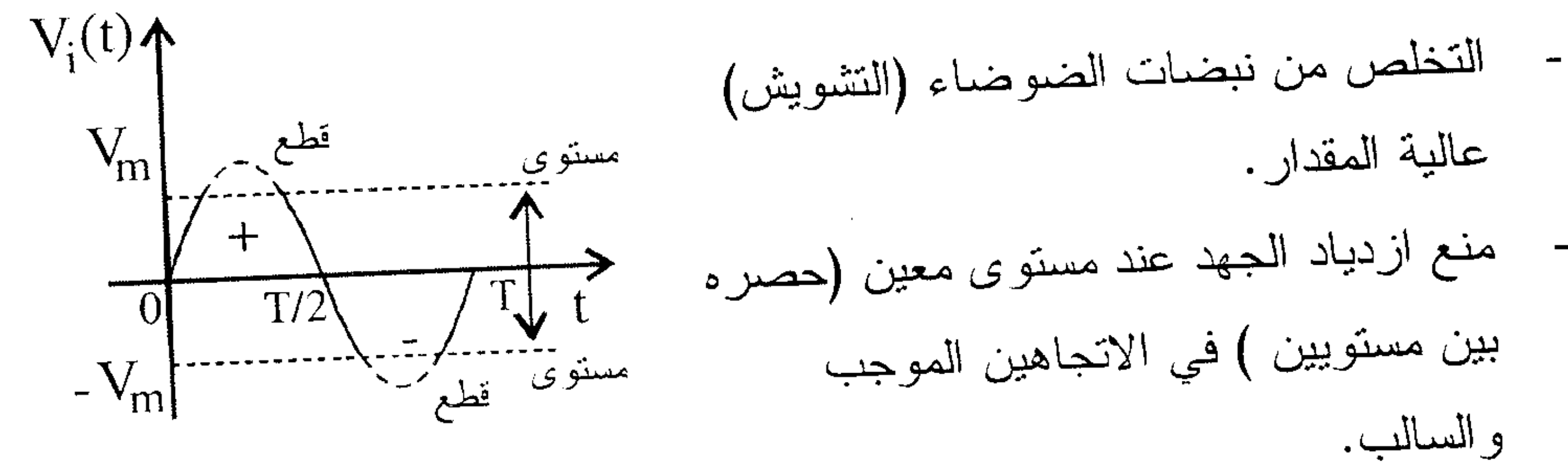


2.9 دوائر التقليم (القص) Clipping Circuits

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:

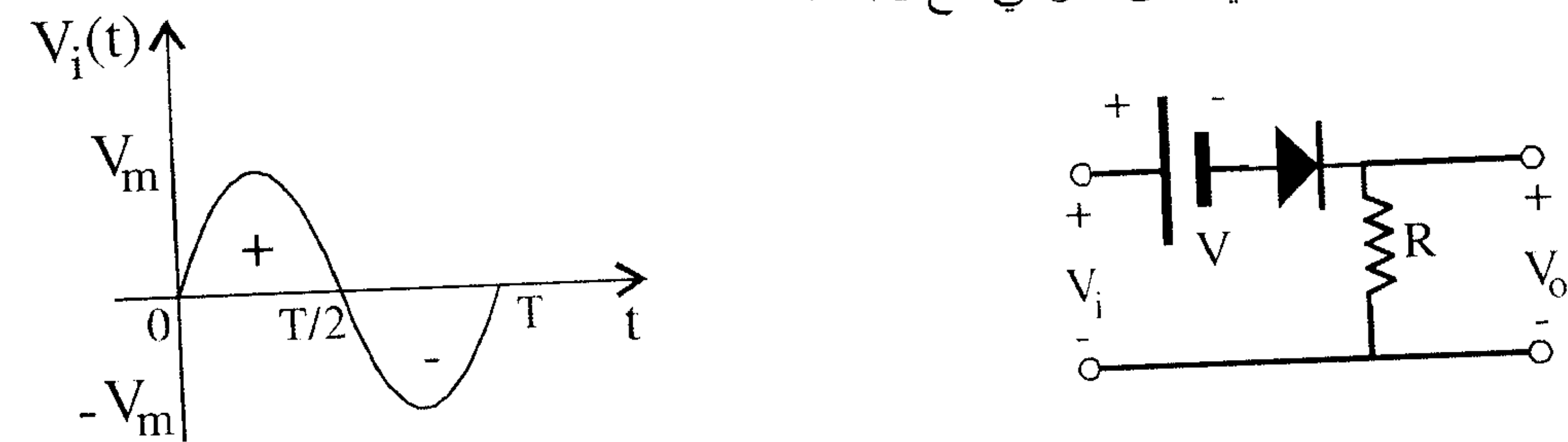


- التخلص من نبضات الضوضاء (التشويش) عالية المقدار.
- منع ازدياد الجهد عند مستوى معين (حصره بين مستويين) في الاتجاهين الموجب والسالب.

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 V_i .



نلاحظ وجود مصدر جهد مستمر (DC) إضافي في الدائرة .

- في حالة ما يكون الجهد $V_i < V$: يكون الثنائي في حالة توصيل، أي انحياز أمامي (الجزء الموجب من موجة الدخول V_i).

- أما في حالة ما يكون جهد الدخول V_i أقل من V فإن الثنائي في هذه الحالة يكون في حالة قطع أي انحياز عكسي (الجزء السالب من موجة الدخول V_i).

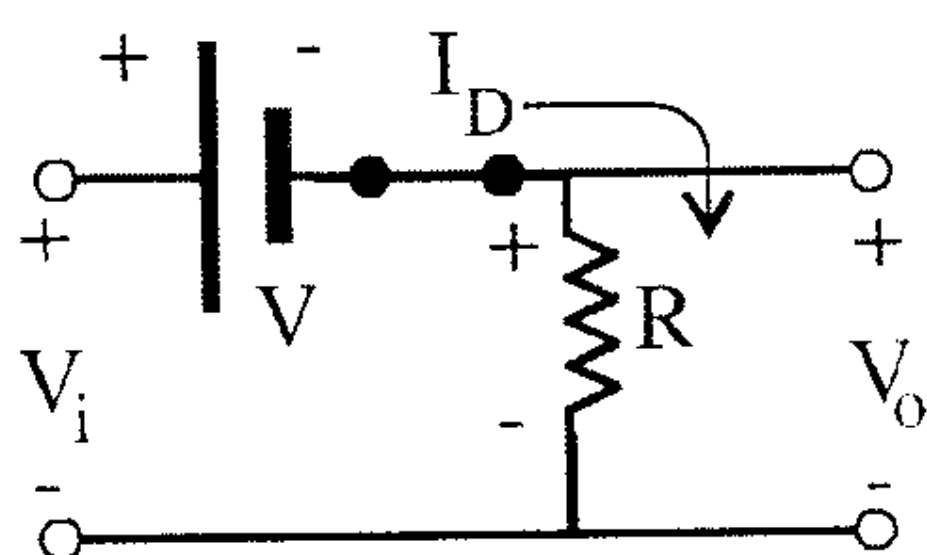
- يتم تحديد مستوى الانتقال للثنائي بوضع ($I_D = 0A$, $V_D = 0V$) هذا إذا كان الثنائي مثالياً.

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

$$\therefore V_o = I_R R$$

$$= I_D R$$

ومن الفرضية:

$$\therefore I_D = 0A$$

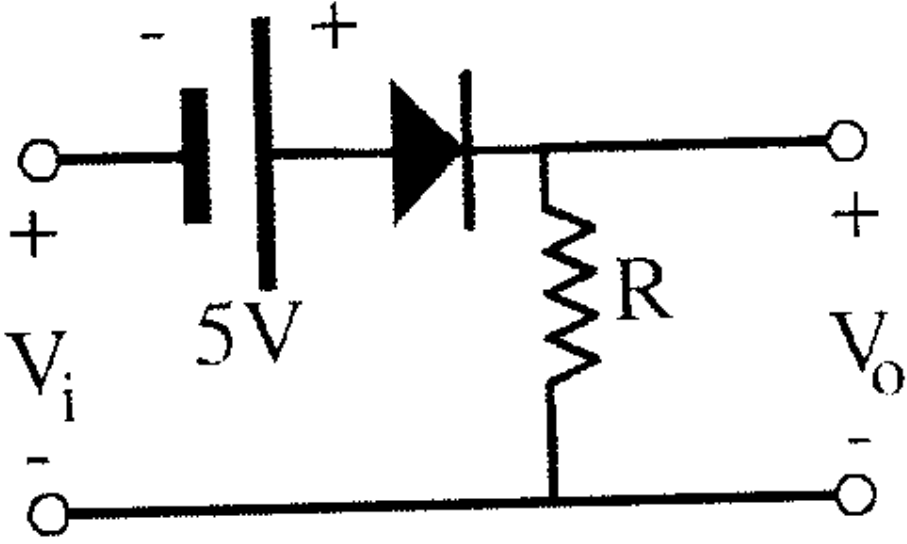
$$\therefore V_o = (0A) R = 0V$$

$$\therefore V_i - V - V_o = 0$$

$$V_i - V - 0 = 0$$

$$V_i = V$$

مثال 3.9 للدائرة في الشكل التالي حدد شكل موجة الخروج إذا علمت أن :



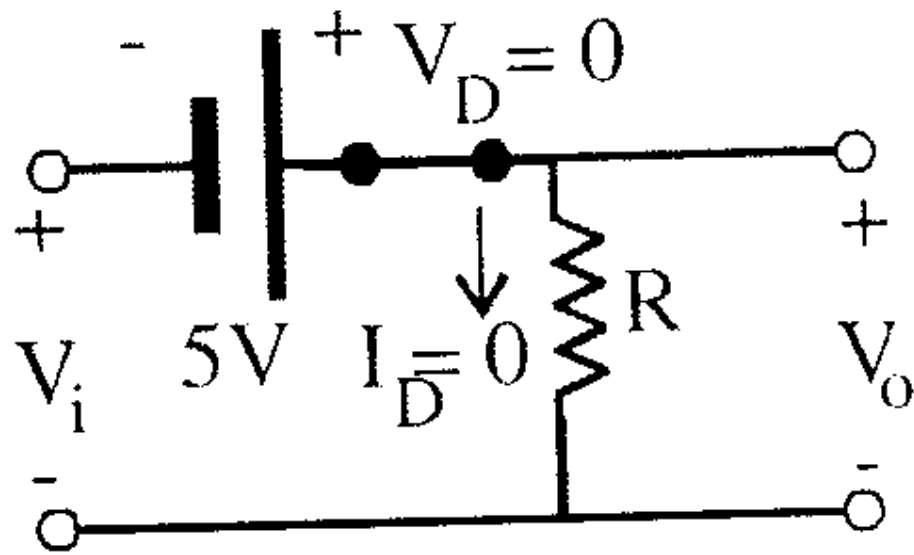
$$V_i = 20 \sin \omega t$$

والثنائي من النوع المثالي.

الحل:

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 :
($I_D = 0A$, $V_D = 0V$)

$$\therefore V_o = V_R = I_R R = I_D R = 0V$$

$$\therefore V_o = V_i + 5V$$

$$0V = V_i + 5V$$

$$\therefore V_i = -5V$$

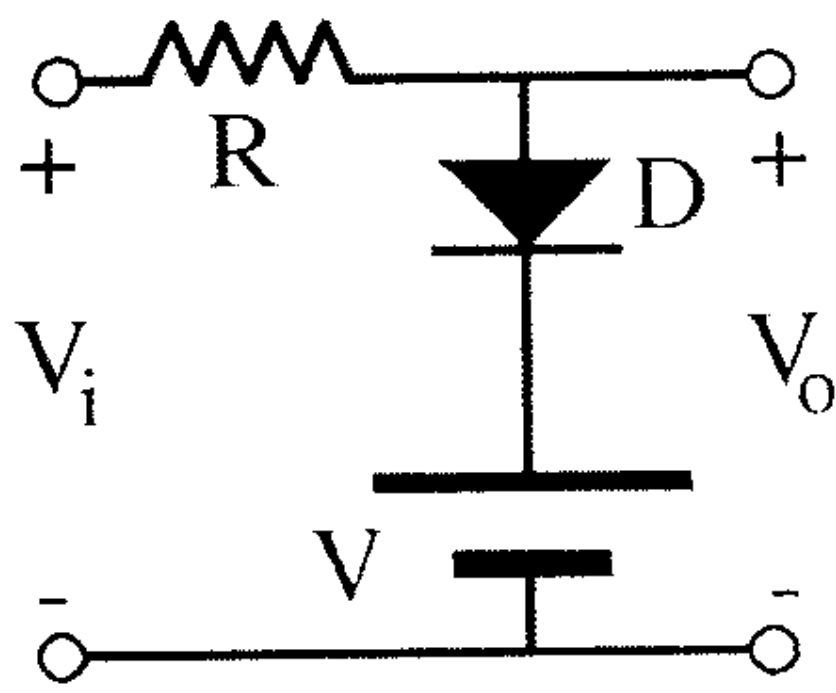
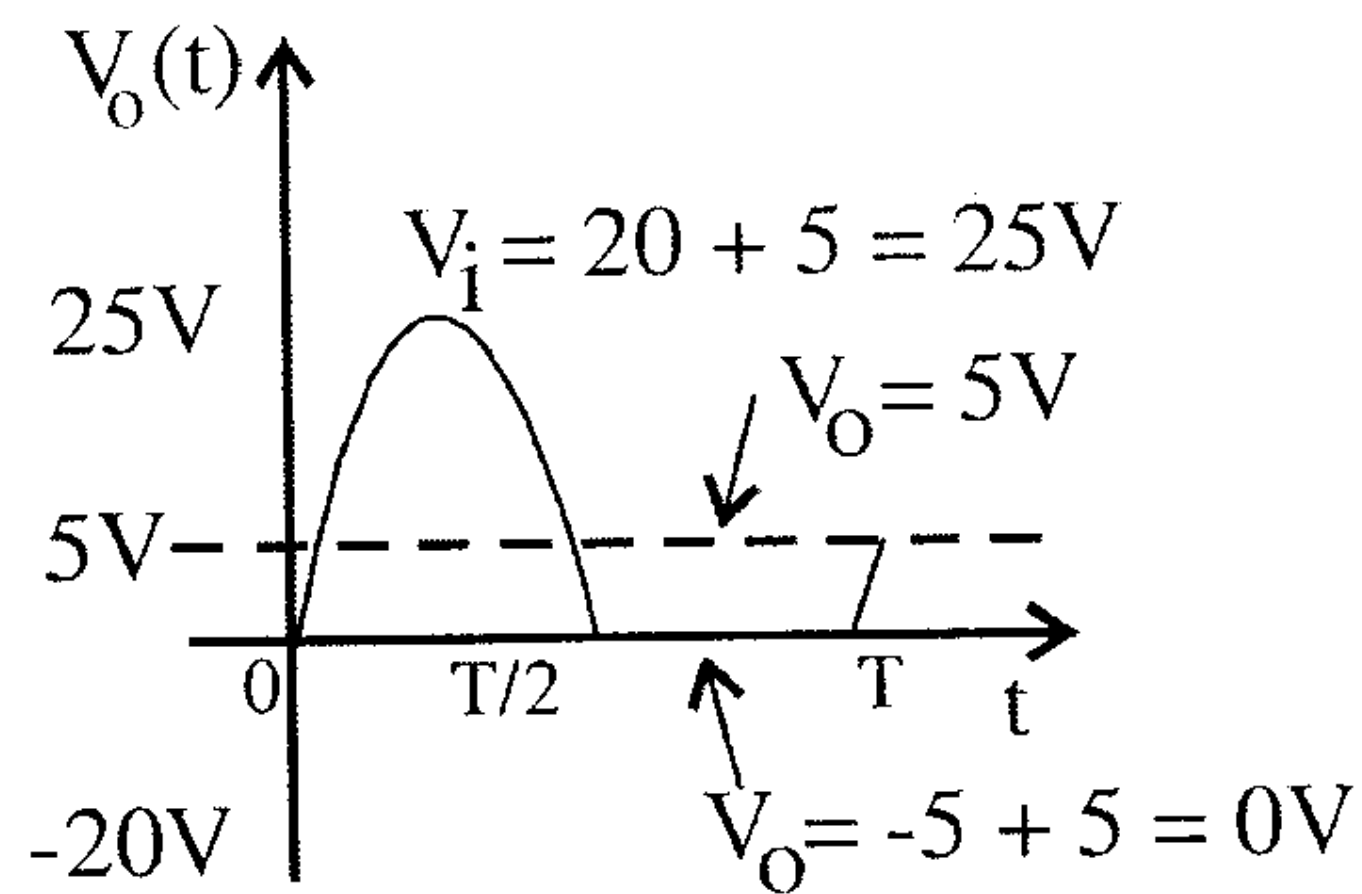
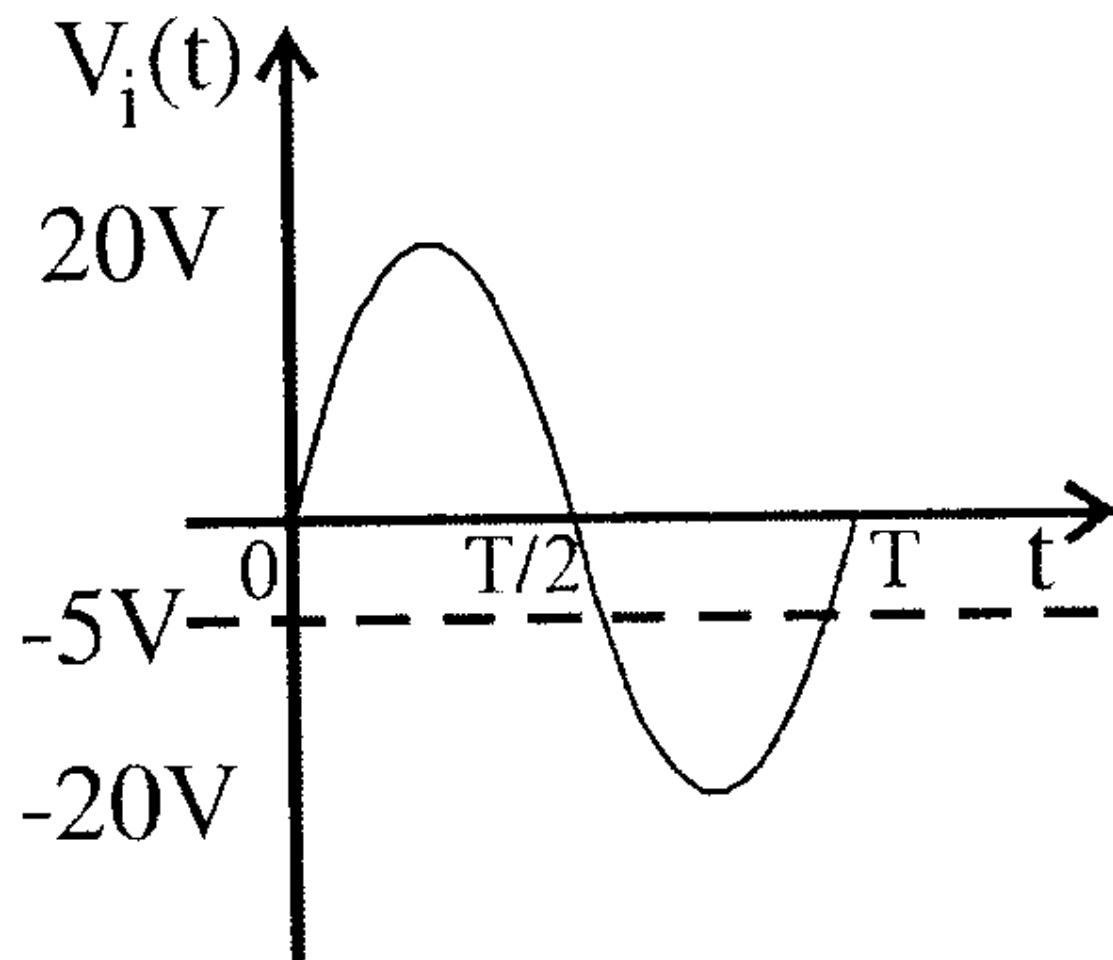
إذا يكون مستوى الانتقال عندما يكون الجهد ($V_i = -5V$) وبالتالي يكون الثنائي:

$$V_i > -5V$$

في حالة توصيل

$$V_i < -5V$$

في حالة قطع

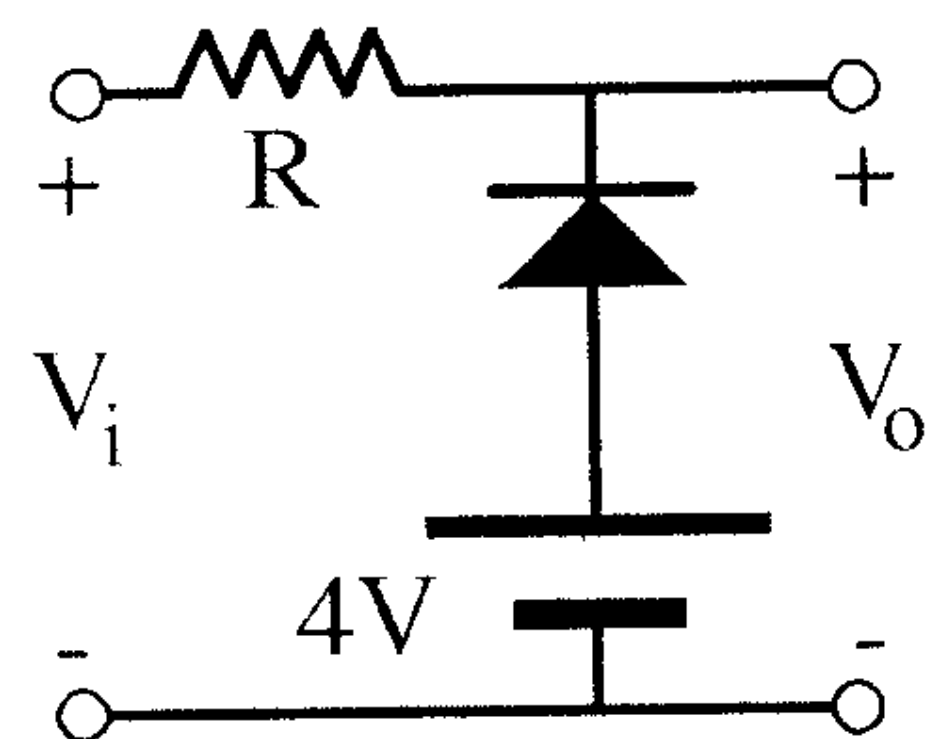
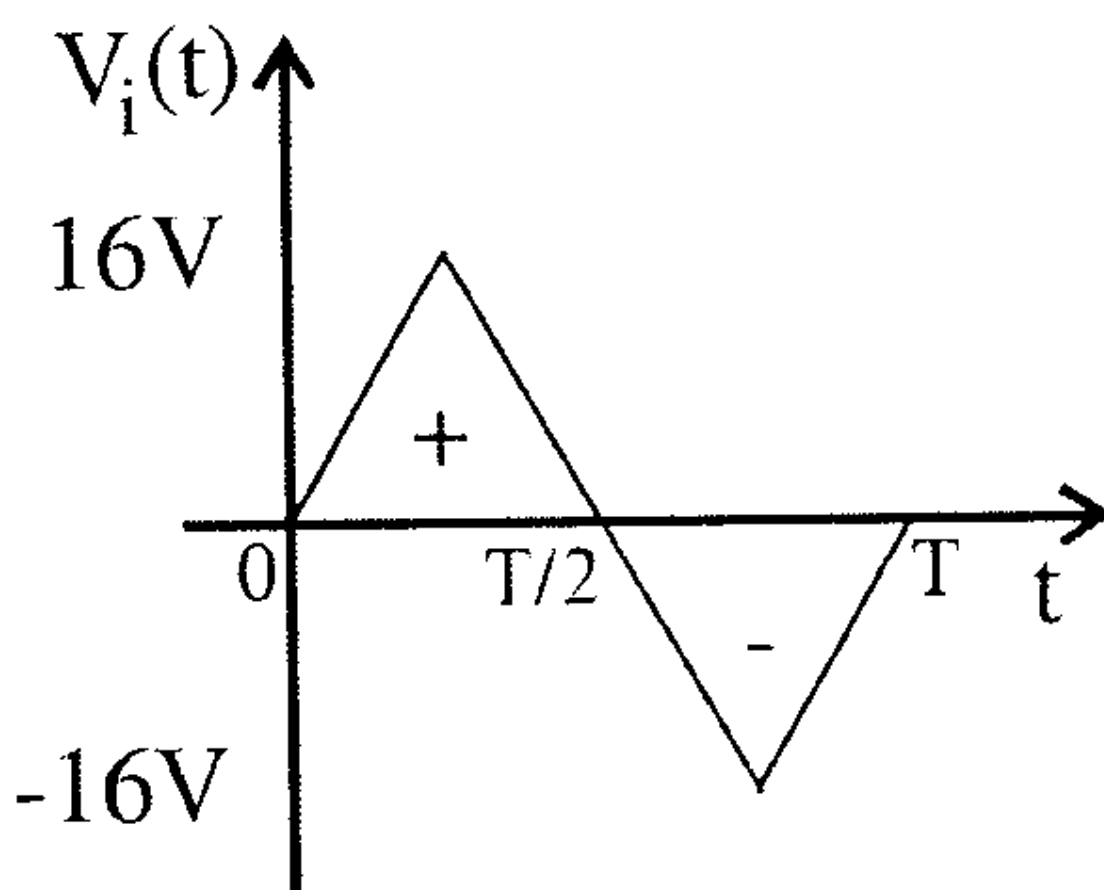


ثانياً: توصيل دوائر التقليم على التوازي.

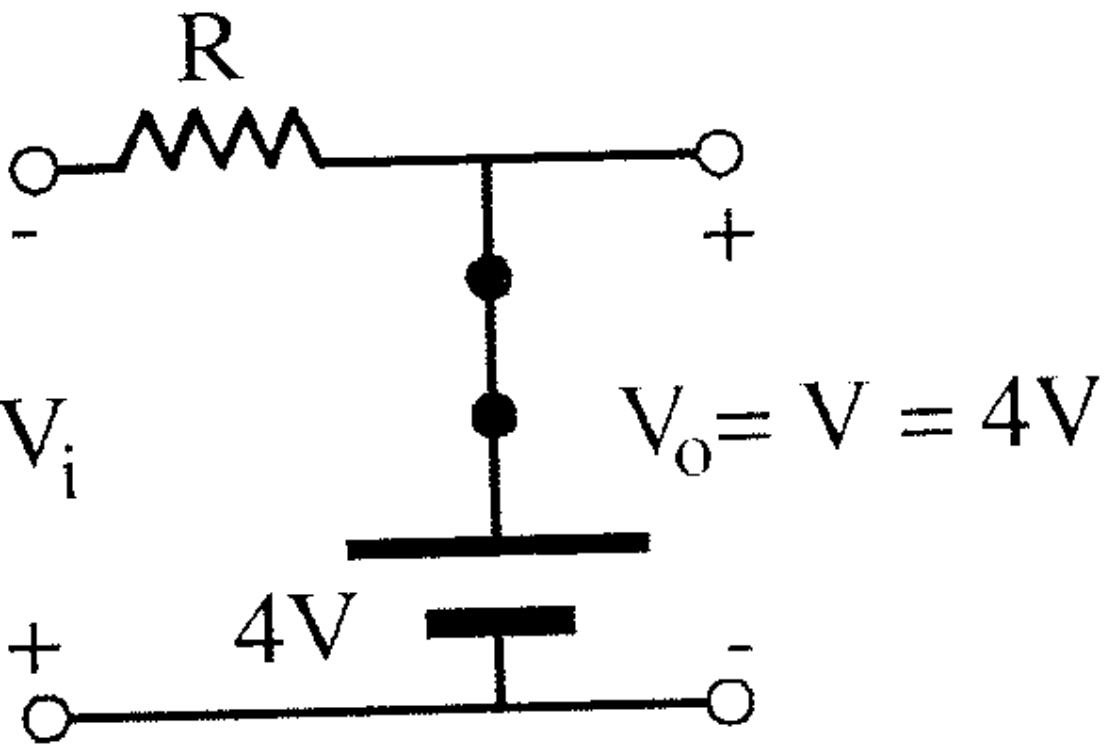
يوصل الثنائي على التوازي مع جهد الدخول V_i كما بالشكل التالي:

مثال 4.9 من دائرة الثنائي بالشكل التالي حدد شكل

موجة الخروج V_o ، (علماً بأن الثنائي من النوع المثالي).



الحل:



الجزء الموجب من موجة الدخول ($16V$) يجعل

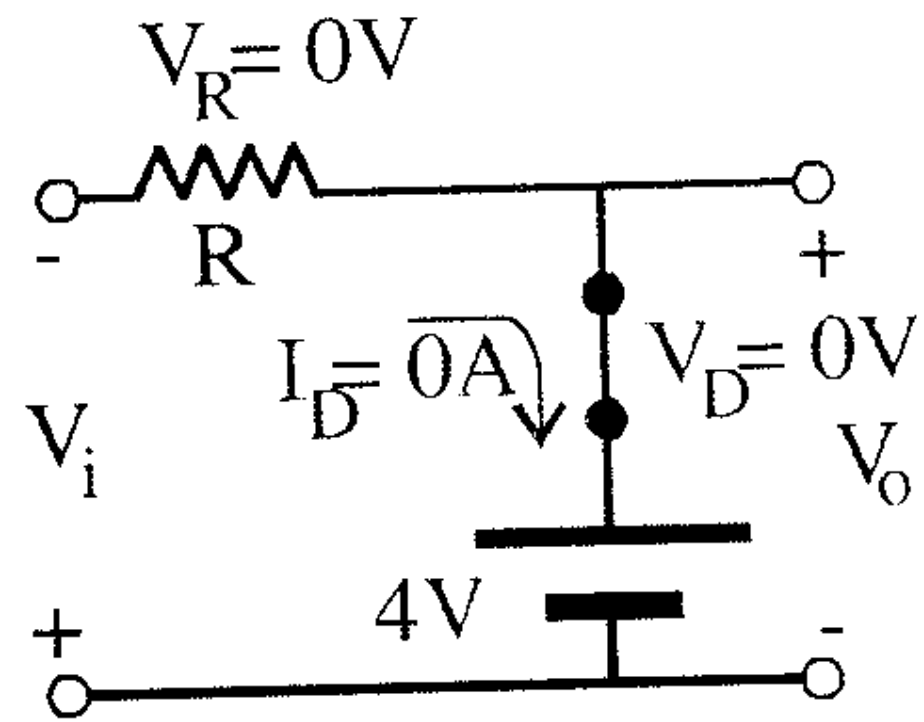
الثنائي في حالة قطع (انحياز عكسي)، أما

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

$$V_i - V_R - V_D - V = 0$$

$$\therefore V_R = I_D R$$

$$= (0A) R = 0$$

$$\therefore V_i - 0 - 0 - V = 0$$

$$V_i = V = 4V$$

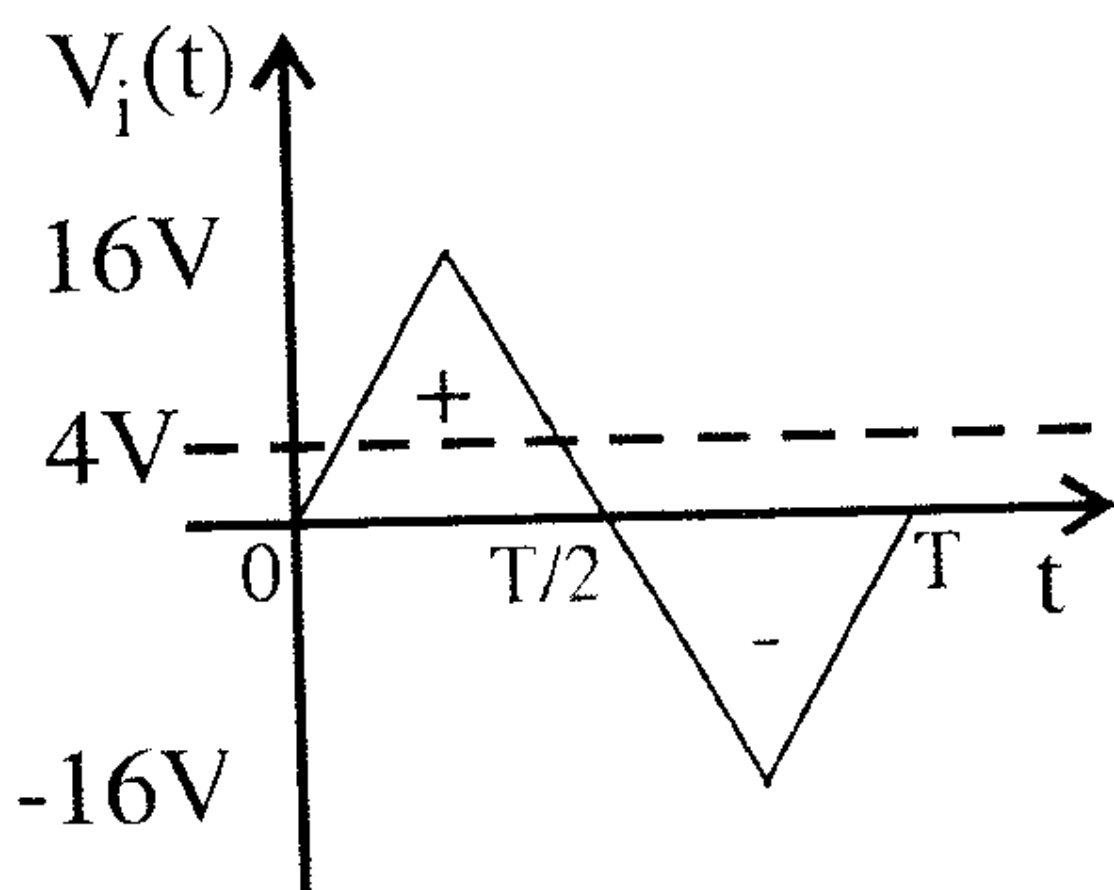
إذاً لكي يكون الثنائي في حالة قطع يجب أن يكون

جهد الدخول ($V_i > 4V$) وأي جهد دخول

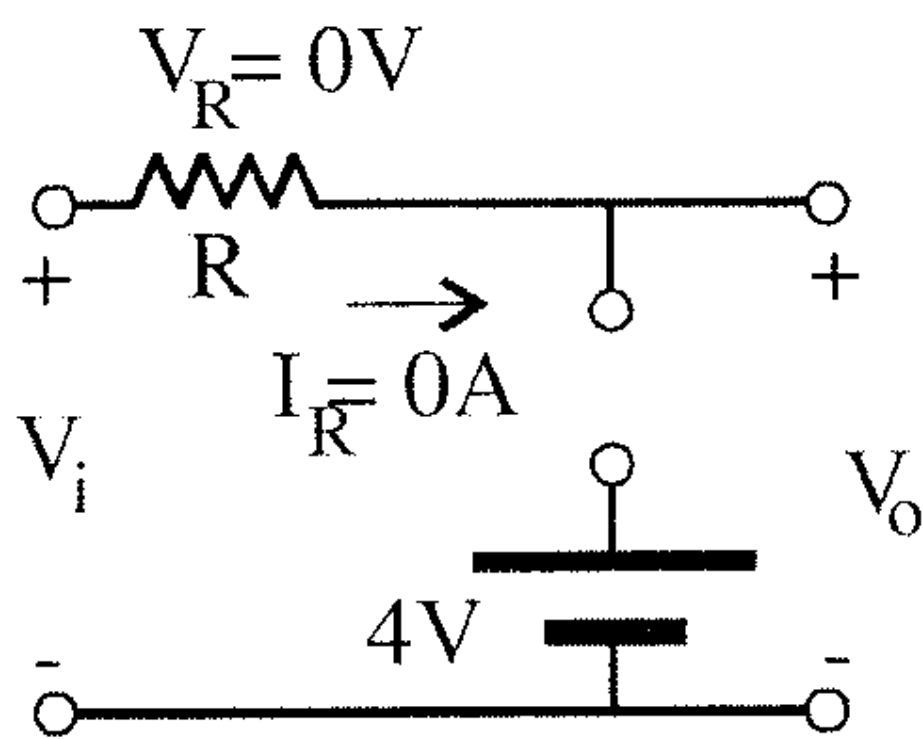
($V_i < 4V$) يكون الثنائي في حالة توصيل.

وتحديد مستوى الانتقال على موجة الدخول

كالتالي:

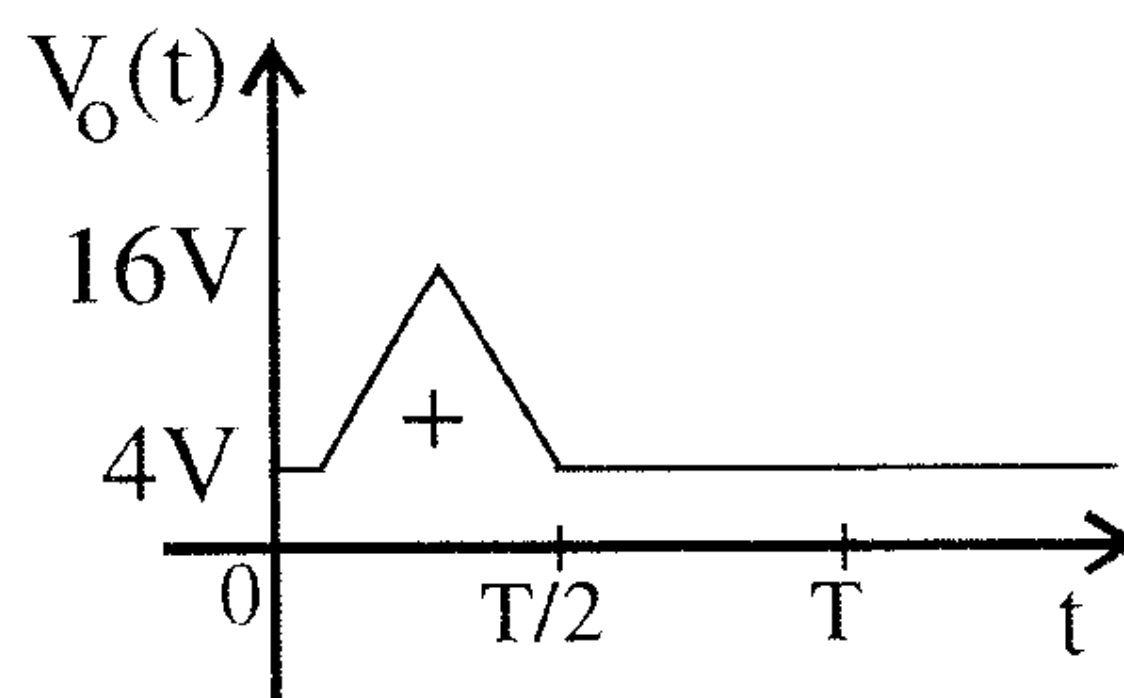


وحالة القطع للثنائي يمكن تمثيلها في الدائرة المكافئة التالية:



$$V_i = V_o$$

لتكون موجة الخروج على الشكل التالي:

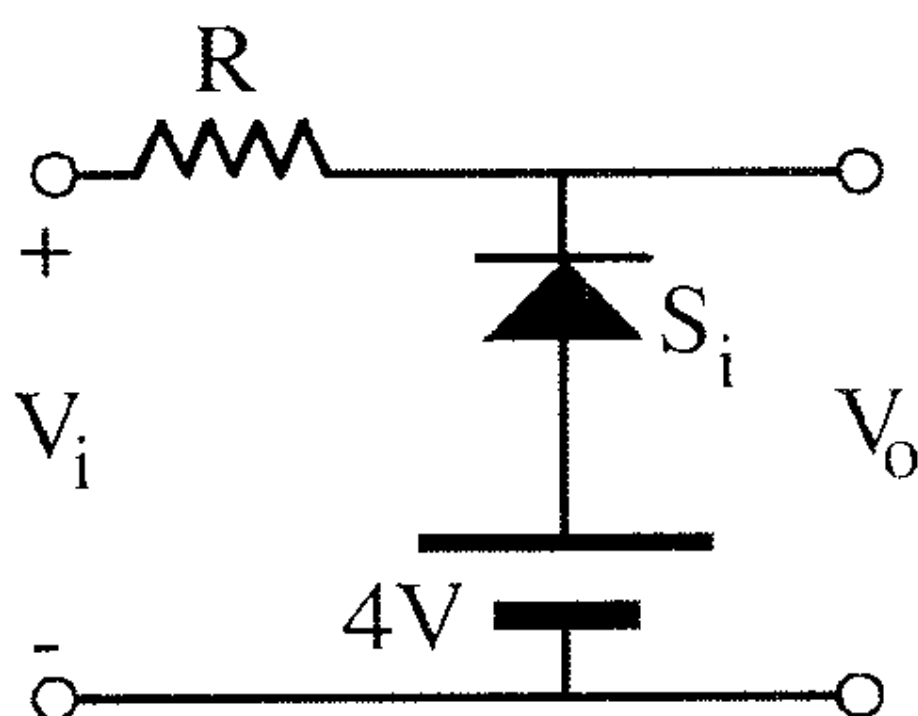


مثال 5.9 من المثال السابق استبدل الثنائي المثالي بثنائي السليكون لتقليم الموجة:

$$V_i = 16 \sin \omega t$$

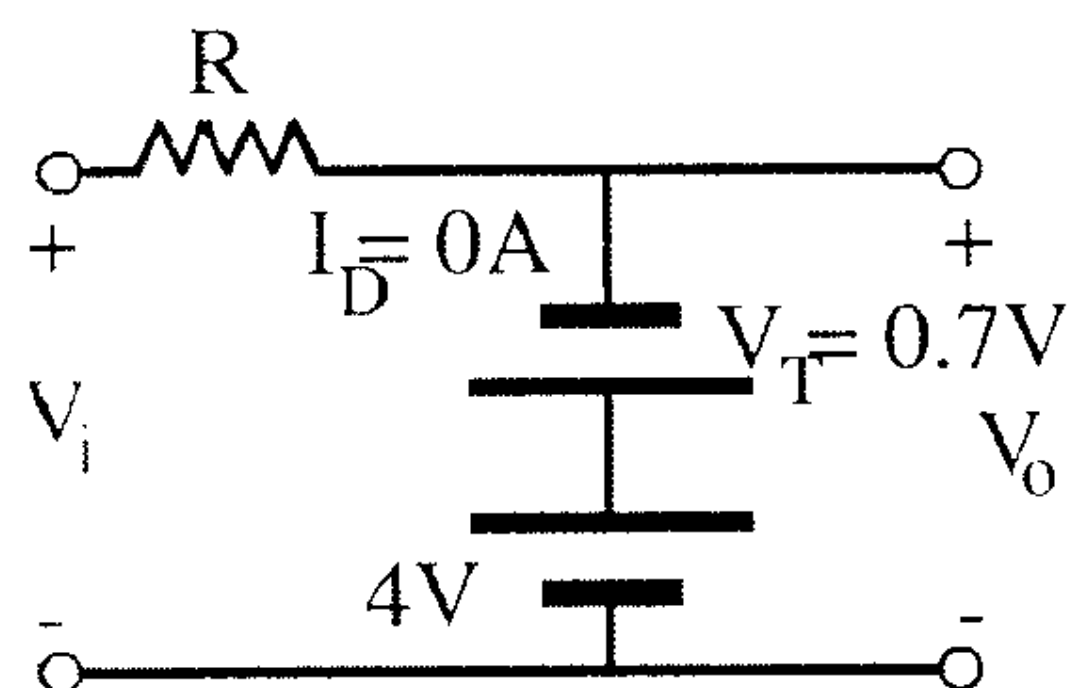
الحل:

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:

$$V_i - V_R + V_T - V = 0$$

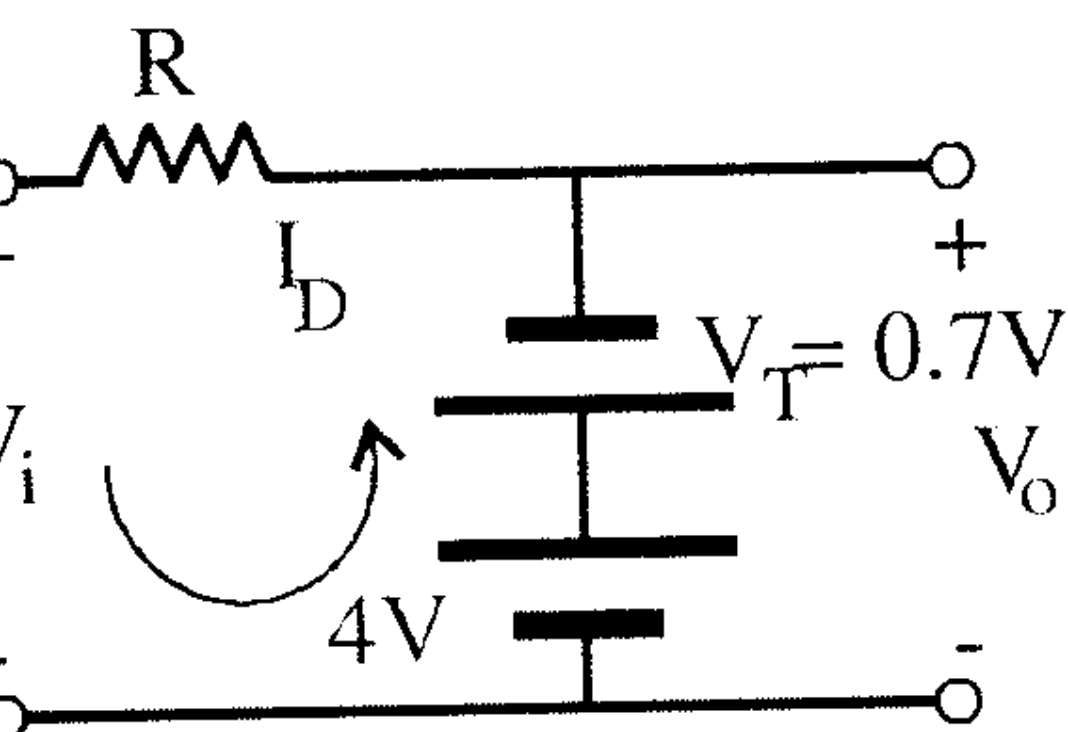


$$V_i + V_T - V = 0$$

$$V_i = V - V_T = 4V - 0.7V$$

$$V_i = 3.3V$$

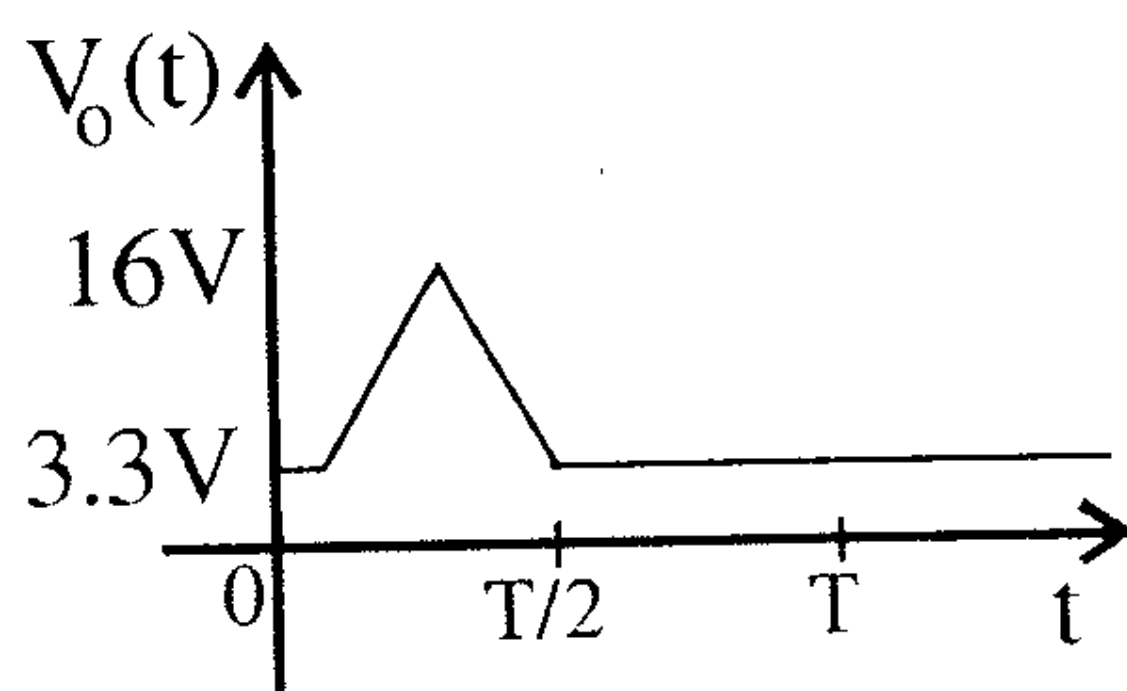
إذاً لكي يكون الثنائي في حالة توصيل يجب أن يكون $(V_i < 3.3V)$ ، وأي جهد دخول $(V_i > 3.3V)$ يكون الثنائي في حالة قطع.



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

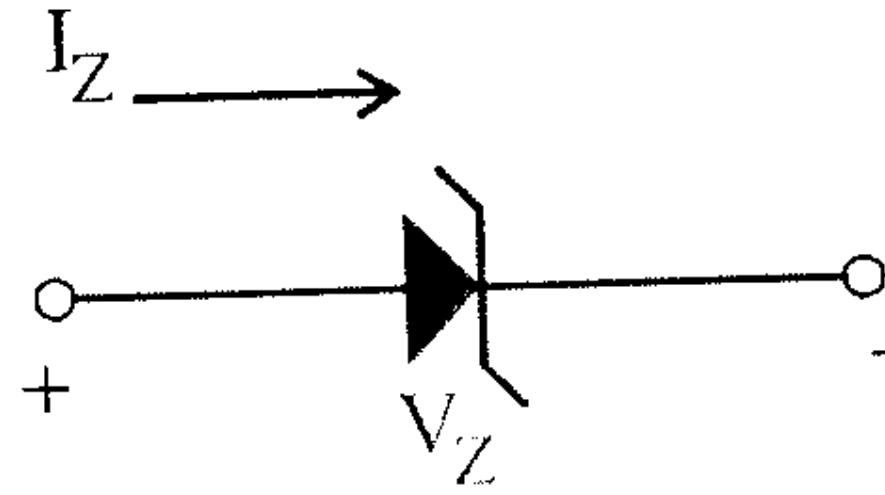
ويتم التحكم في التيار المار عبر الثنائي في منطقة الانهيار بتوصيله على التوالي مع مقاومة خارجية، ويجب عدم تخطي القدرة القصوى للثنائي أي عدم تشغيل الثنائي بتيار أكبر من تيار زينر الأقصى (I_{Zmax}) .

استعمالات ثنائي زينر:

من أهم استخداماته:

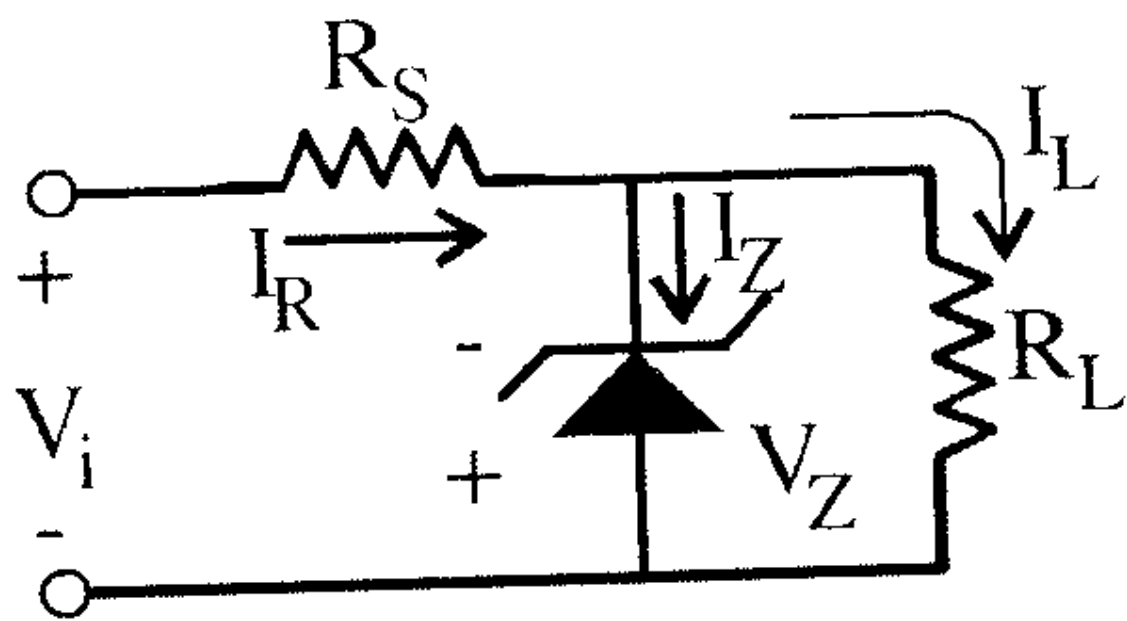
- 1- منظم للجهد لأنه بتغير التيار يبقى الجهد ثابتاً.
- 2- مقلم للجهد المتغير مع الزمن أي تحديد جهد الخروج بين مستويين.

رمز ثنائي زينر:



2.10 ثنائي زينر كمنظم للجهد.

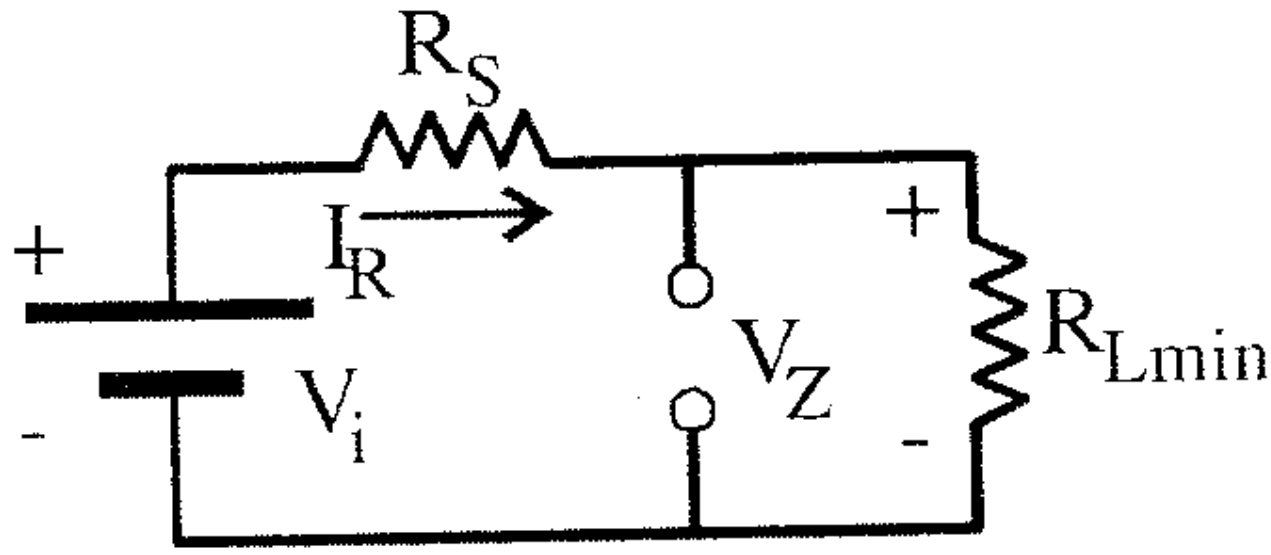
أولاً: مقاومة حمل متغيرة (R_L) وجهد دخول ثابت (V_i) .



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:

$$V_L = V_Z = \frac{(R_{Lmin})(V_i)}{R_S + R_{Lmin}}$$

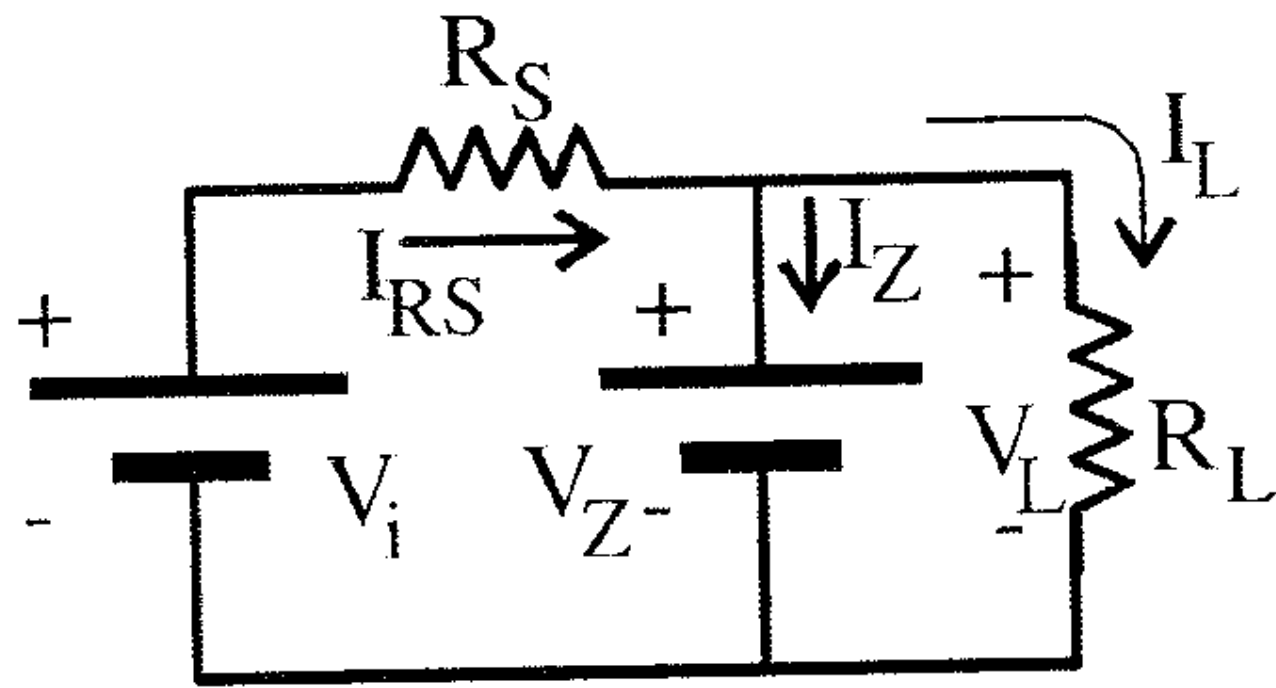
ومنها يمكن إيجاد R_{Lmin}

$$V_Z R_S + V_Z R_{Lmin} = V_i R_{Lmin}$$

$$R_{Lmin} (V_i - V_Z) = V_Z R_S$$

$$R_{Lmin} = \frac{V_Z R_S}{V_i - V_Z}$$

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:

$$I_{Lmax} = \frac{V_L}{R_{Lmin}} = \frac{V_Z}{R_{Lmin}}$$

بوصول الثنائي إلى حالة التوصيل عند جهد زينر يبقى جهد المقاومة V_{RS} ثابتاً :

KVL:

$$V_i - V_{RS} - V_Z = 0$$

$$V_Z = V_i - V_{RS} \quad , \quad V_{RS} = V_i - V_Z$$

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:

$$I_Z (\text{Min}) \longrightarrow I_L (\text{Max})$$

$$I_Z (\text{Max}) \longrightarrow I_L (\text{Min})$$

$$\therefore I_{Lmin} = I_{RS} - I_{Zmax}$$

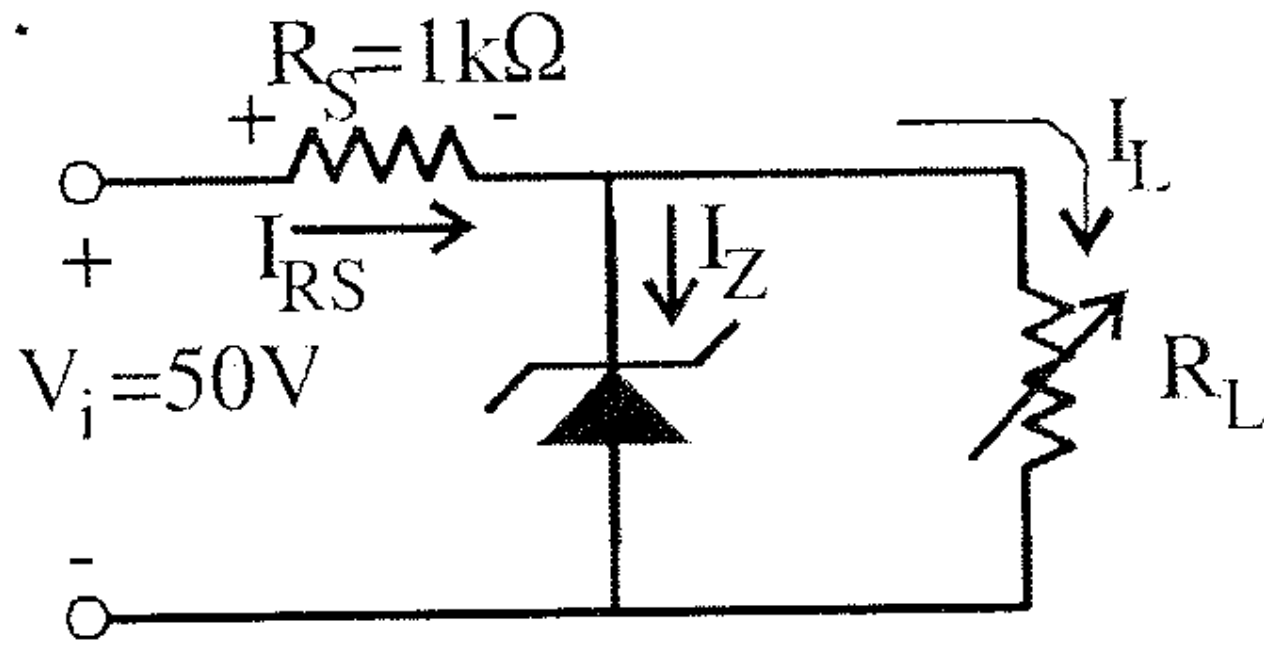
$$I_{Lmax} = I_{RS} - I_{Zmin}$$

وأقصى مقاومة حمل تبقى الثنائي في حالة توصيل دون اجتياز الحد الأقصى المسموح

به لتيار زينر هي :

$$R_{L\max} = \frac{V_Z}{I_{L\min}}$$

مثال 1.10 في الدائرة المبينة بالشكل التالي :



1- أوجد أصغر وأكبر قيمة لتيار ومقاومة الحمل.

2- أحسب أقصى قدرة لثنائي زينر إذا علمت أن:

$$(I_{Z\max} = 32mA, V_Z = 10V)$$

الحل:

تعيين $R_{L\min}$ التي تجعل الثنائي في حالة توصيل:

$$R_{L\min} = \frac{V_Z R_S}{V_i - V_Z} = \frac{(10)(1000)}{50 - 10} = \frac{10000}{40} = 250\Omega$$

$$V_{RS} = V_i - V_Z = 50V - 10V = 40V$$

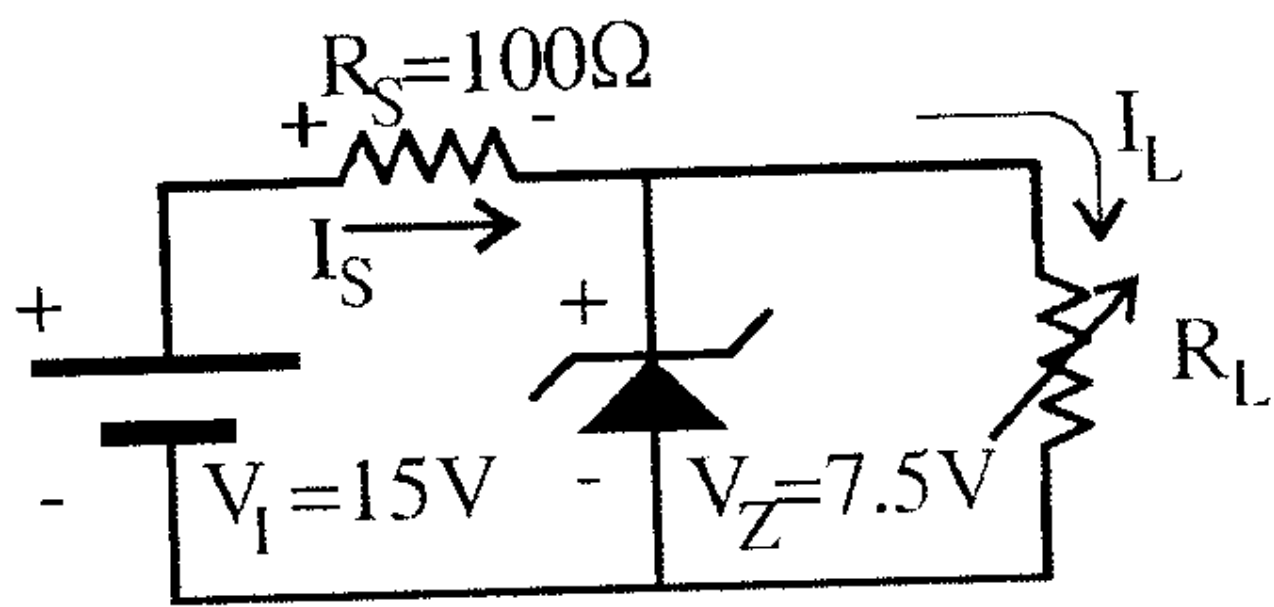
$$I_{RS} = \frac{V_{RS}}{R_S} = \frac{40}{1000} = 40mA$$

$$I_{L\min} = I_{RS} - I_{Z\max} = 40mA - 32mA = 8mA$$

$$I_{L\max} = \frac{V_L}{R_{L\min}} = \frac{V_Z}{R_{L\min}} = \frac{10V}{250\Omega} = 40mA$$

$$R_{L\max} = \frac{V_Z}{I_{L\min}} = \frac{10V}{8mA} = 1.25k\Omega$$

$$P_{Z\max} = V_Z I_{Z\max} = (10V)(32mA) = 320mW$$



مثال 2.10 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 : $R_{Lmin} = 150\Omega$, $R_{Lmax} = 250\Omega$.

الحل:

$$V_i \geq V_Z$$

الثنائي في حالة توصيل

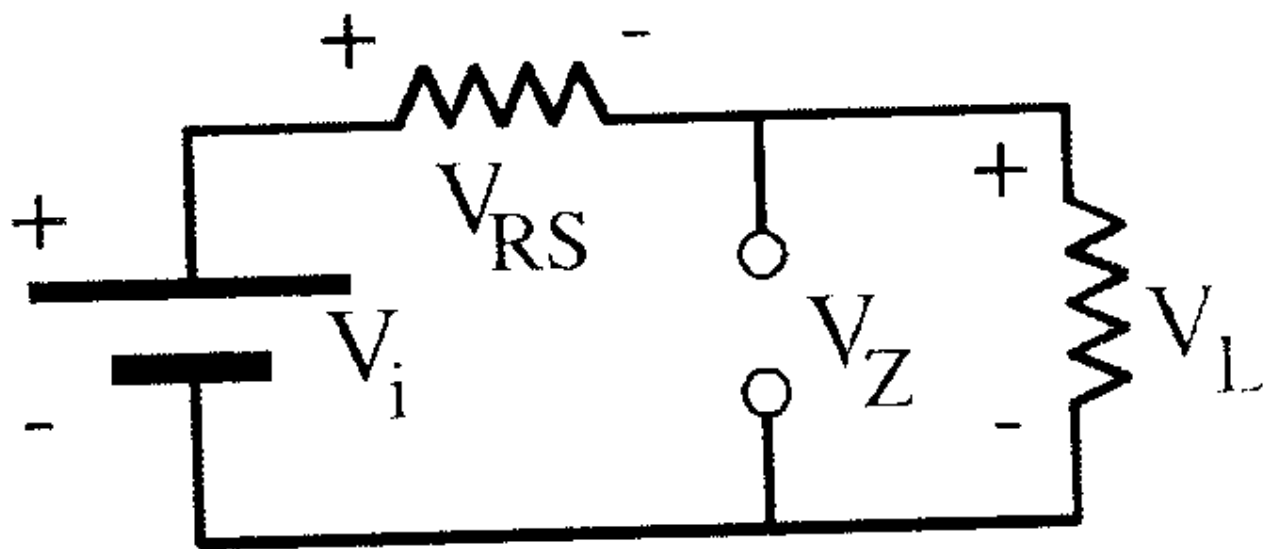
$$V_i < V_Z$$

الثنائي في حالة قطع

$$V_Z = V_L = \frac{V_i R_{Lmin}}{R_S + R_{Lmin}} = \frac{(15)(150)}{100+150} = 9V$$

$$\therefore 15V > 9V$$

حالة توصيل



نحذف الثنائي من الدائرة

$$V_L = V_Z = 7.5V$$

$$I_{Lmin} = \frac{V_L}{R_{Lmax}} = \frac{7.5V}{250\Omega} = 30mA$$

$$I_{Lmax} = \frac{V_L}{R_{Lmin}} = \frac{7.5V}{150\Omega} = 50mA$$

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:

$$I_{Zmax} = I_{RSmax} - I_L$$

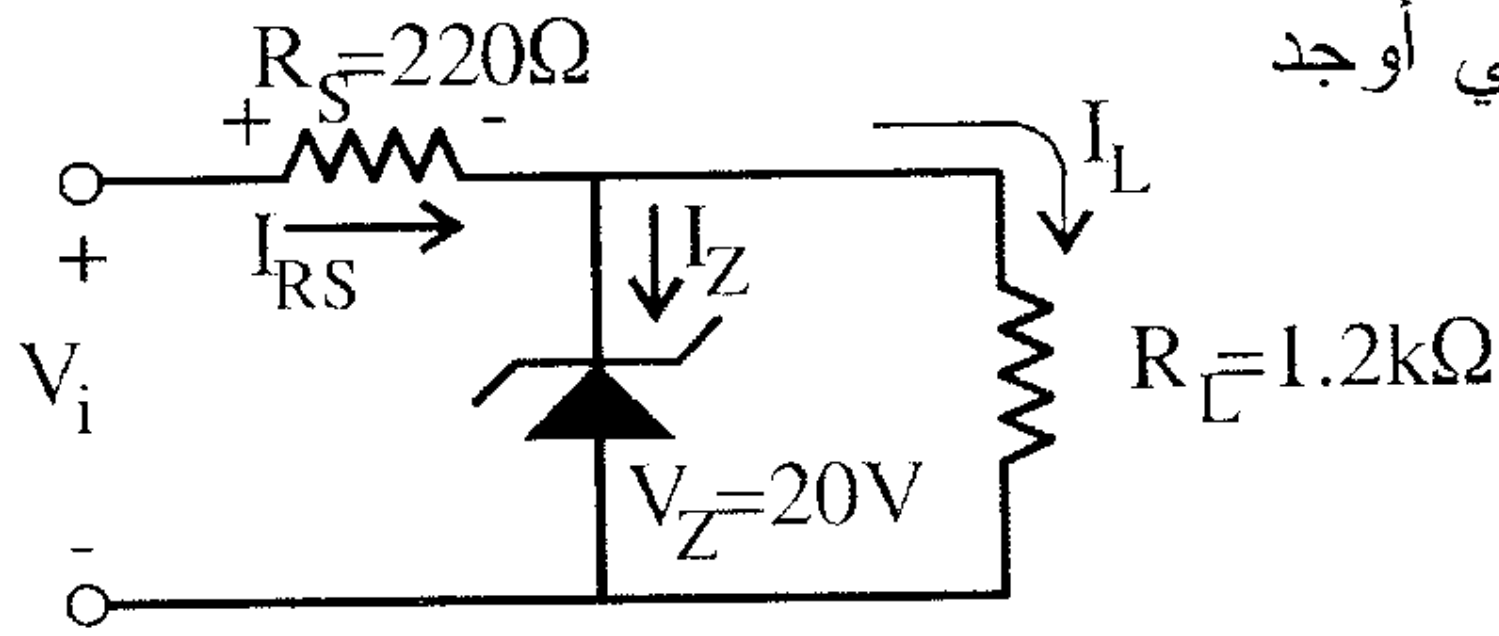
$$I_{RSmax} = I_{Zmax} + I_L$$

وبما أن I_L ثابت:

$$I_L = \frac{V_Z}{R_L}$$

$$V_{imax} = V_{RSmax} + V_Z$$

$$V_{imax} = R_S I_{RSmax} + V_Z$$



مثال 3.10 في الدائرة المبينة بالشكل التالي أوجد

أصغر وأكبر قيمة لجهد الدخول:

إذا علمت أن ($I_{Zmax} = 60mA$)

الحل:

$$V_{imin} = \frac{(R_L + R_S) V_Z}{R_L} = \frac{(1200 + 220)(20)}{1200} = 23.67V$$

$$I_L = \frac{V_Z}{R_L} = \frac{20V}{1200\Omega} = 16.67mA$$

$$I_{RSmax} = I_{Zmax} + I_L = (60mA) + (16.67mA) = 76.67mA$$

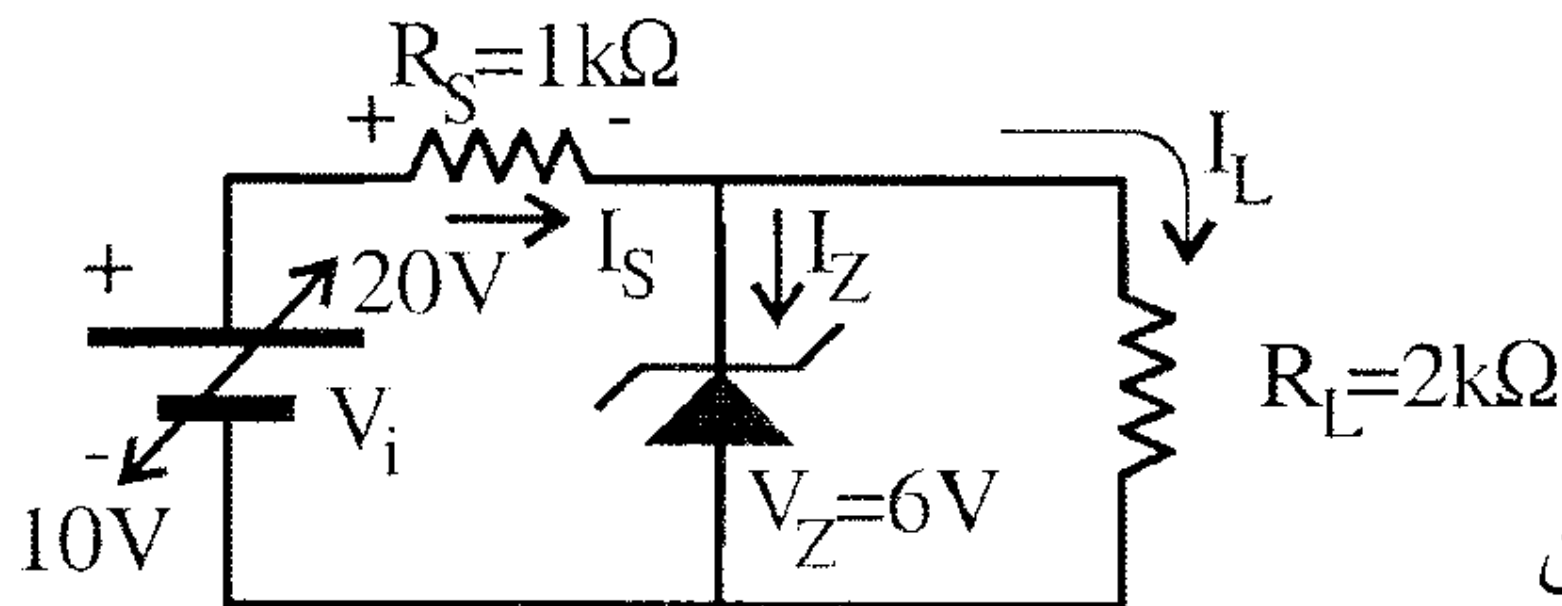
$$V_{imax} = R_S I_{RSmax} + V_Z = (220\Omega)(76.67mA) + 20V = 36.87V$$

تظهر النتيجة أنه عند ثبوت R_L يظل جهد الخروج ثابتاً على قيمة ($20V$) على

الرغم من تغير جهد الدخول من $23.67V$ إلى $36.87V$.

مثال 4.10 من الدائرة المبينة بالشكل التالي أوجد أصغر وأكبر قيمة لتيار المصدر (I_S)

وكذلك لتيار زينر (I_Z) .



الحل:

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:

$$V_i - V_{RS} - V_Z = 0$$

$$V_{Rsmin} = V_{imin} - V_Z = 10V - 6V = 4V$$

$$I_{Smin} = \frac{V_{RSmin}}{R_S} = \frac{4V}{1000\Omega} = 4mA$$

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{6V}{2000\Omega} = 3mA$$

$$I_{Smin} = I_{Zmin} + I_L$$

$$I_{Zmin} = I_{Smin} - I_L = 4mA - 3mA = 1mA$$

عندما يتغير جهد الدخول إلى قيمته القصوى ($V_{imax} = 20V$)

KVL:

$$V_{imax} - V_{Rmax} - V_Z = 0$$

$$V_{Rmax} = V_{imax} - V_Z = 20V - 6V = 14V$$

$$I_{Smax} = \frac{V_{RSmax}}{R_S} = \frac{14V}{1000\Omega} = 14mA$$

$$I_{Smax} = I_{Zmax} + I_L$$

$$I_{Zmax} = I_{Smax} - I_L = 14mA - 3mA = 11mA$$

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

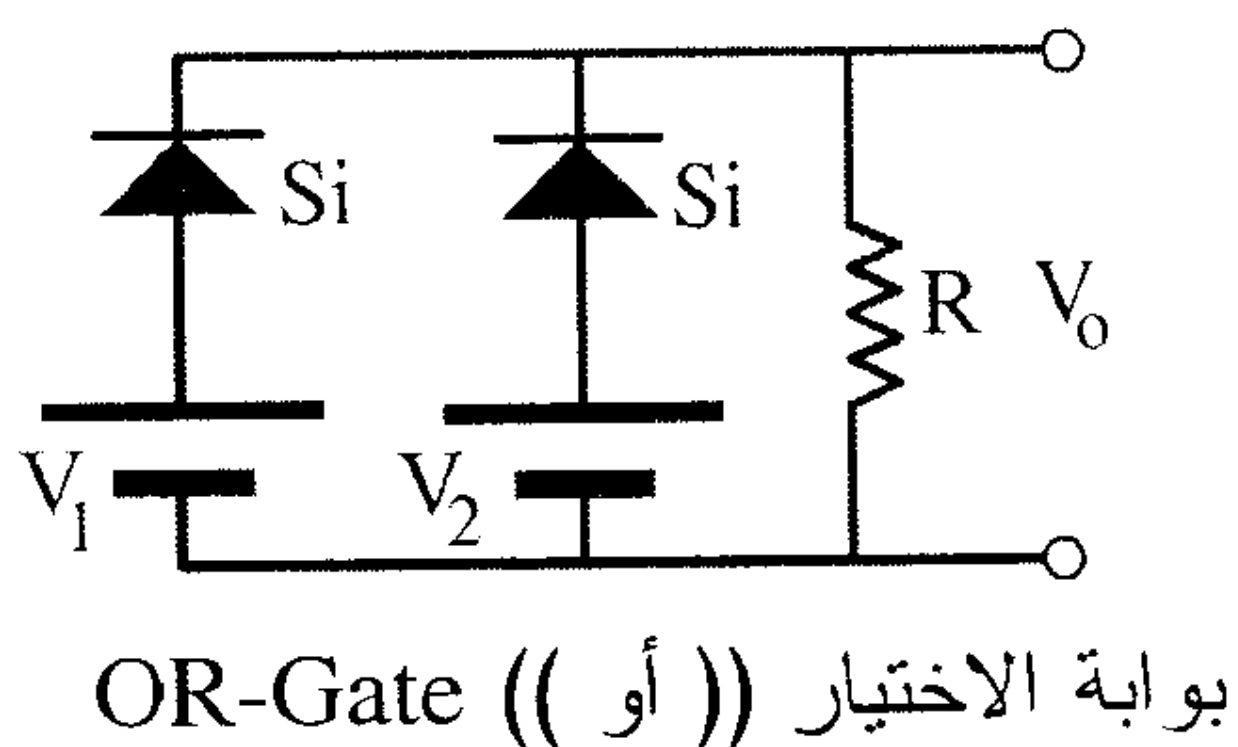
1.11. بوابة الاختيار ((أو)) OR - Gate

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 بـ (Low) ، أو (0) أو مرتفعة ويعبر عنها بـ (High) أو (1). فعلى سبيل المثال إذا أردنا التمثيل المنطقي لقيمتين إحداها 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:

$$Y = A + B$$



الدخول		الخروج
V_1	V_2	V_0
5	5	4.3
5	0	4.3
0	5	4.3
0	0	0

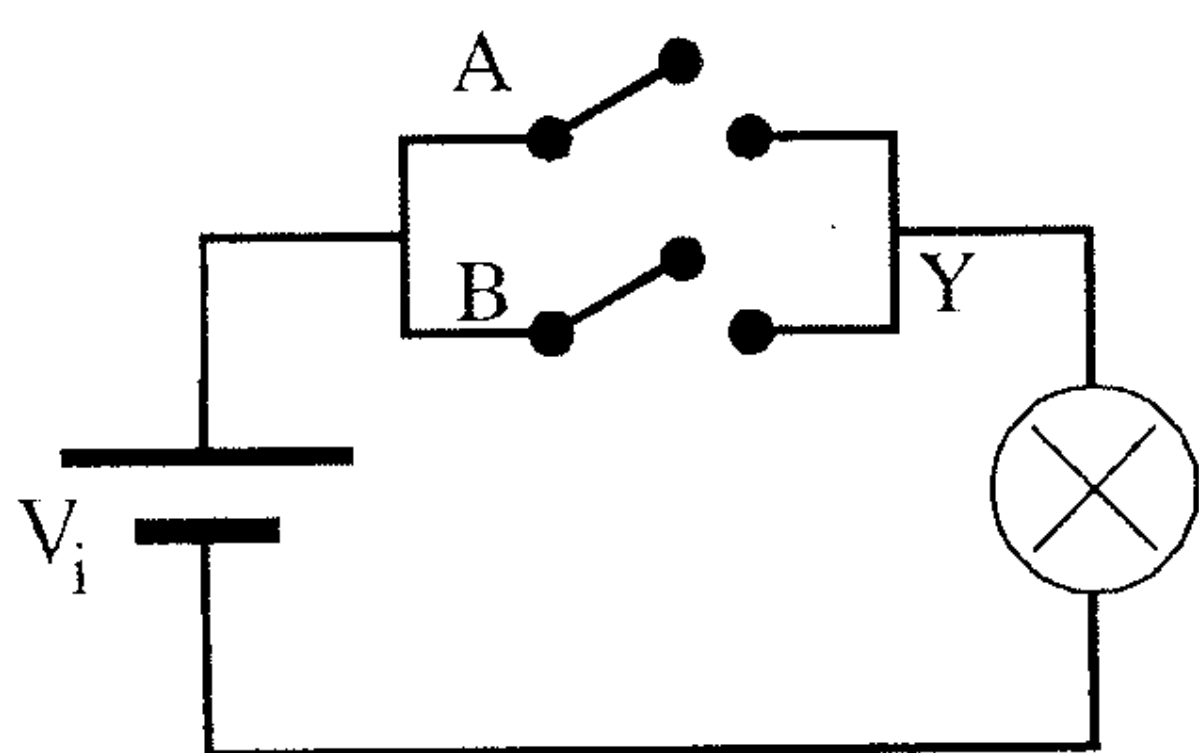
جدول المنطق لدائرة ((أو))

A	B	Y
1	1	1
1	0	1
0	1	1
0	0	0

الرمز المنطقي لبوابة ((أو)) (OR)

وعملية الجمع المنطقية : $Y = A + B$

مثال 1.11 :



في الدائرة بالشكل التالي (1) مغلق ، (0) مفتوح

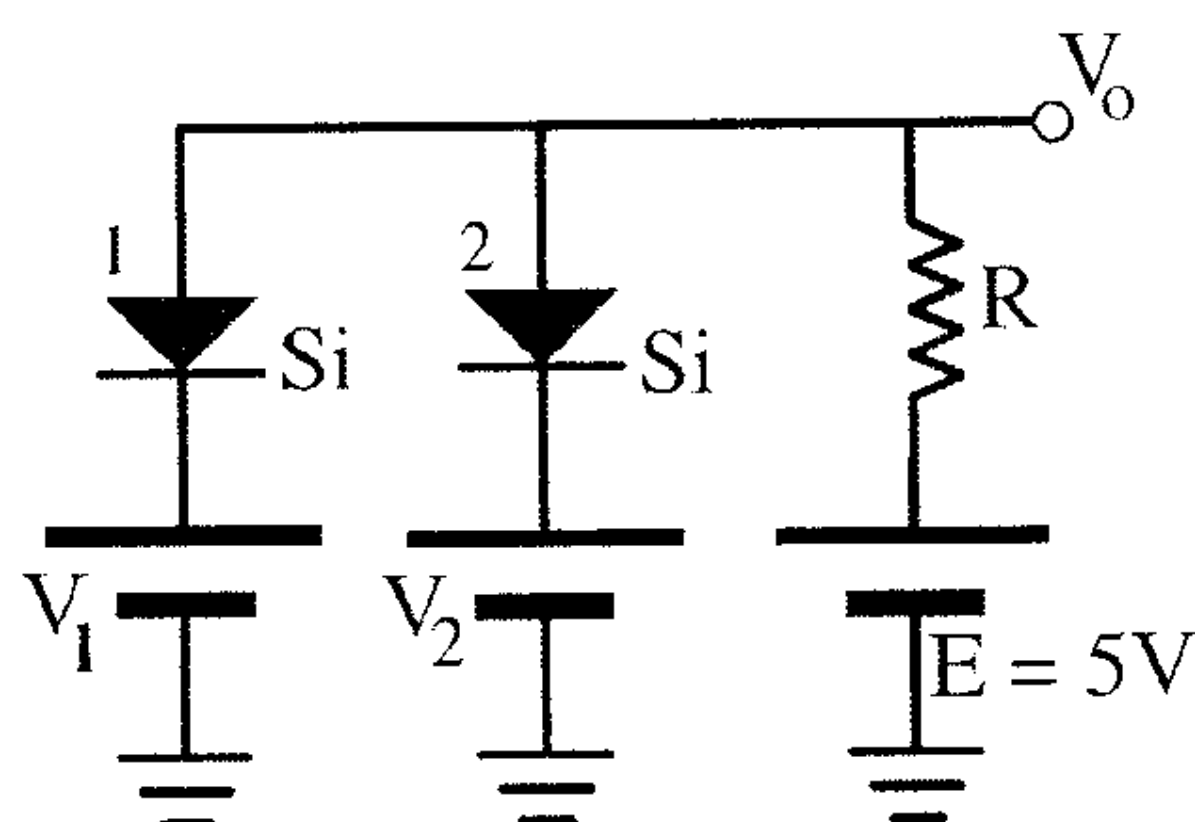
المصباح في هذه الدائرة يضيء إذا كان (A) مغلقاً أو (B) مغلقاً أو الاثنان معا في حالة إغلاق،

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

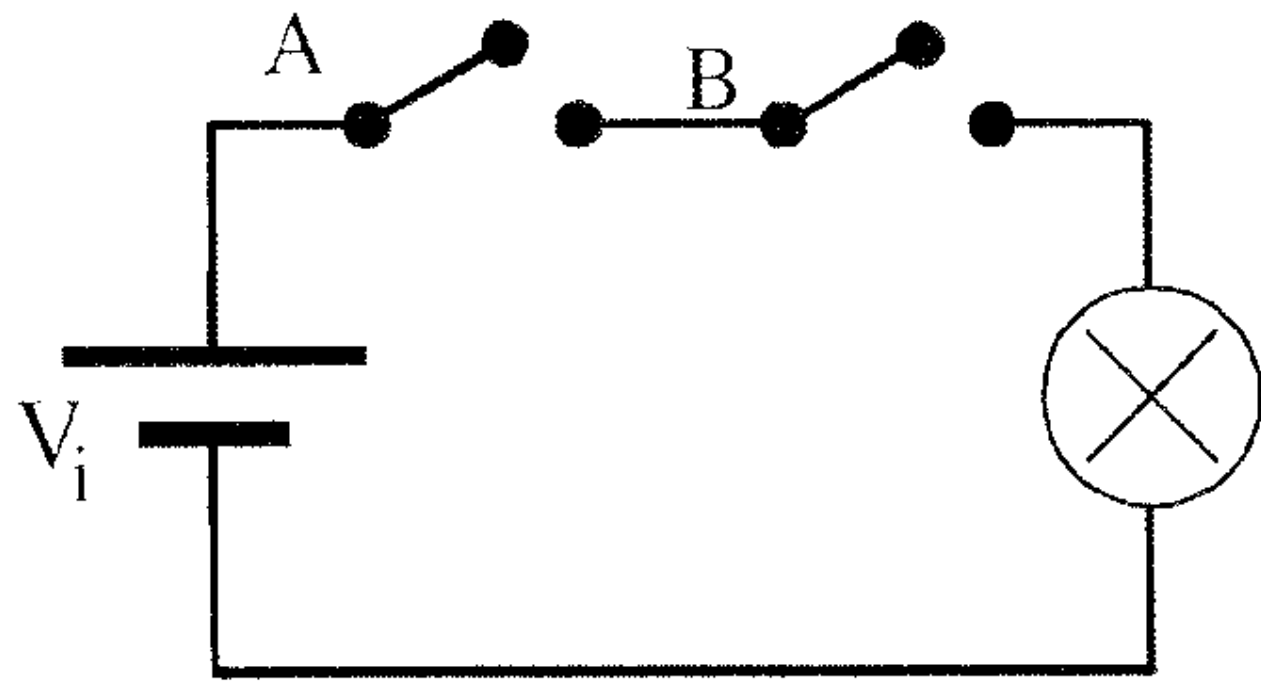
A	B	Y
1	0	0
0	1	0
0	0	0
1	1	1

الدخول		الخروج
V ₁	V ₂	V ₀
5	0	0.7
0	5	0.7
0	0	0
5	5	5



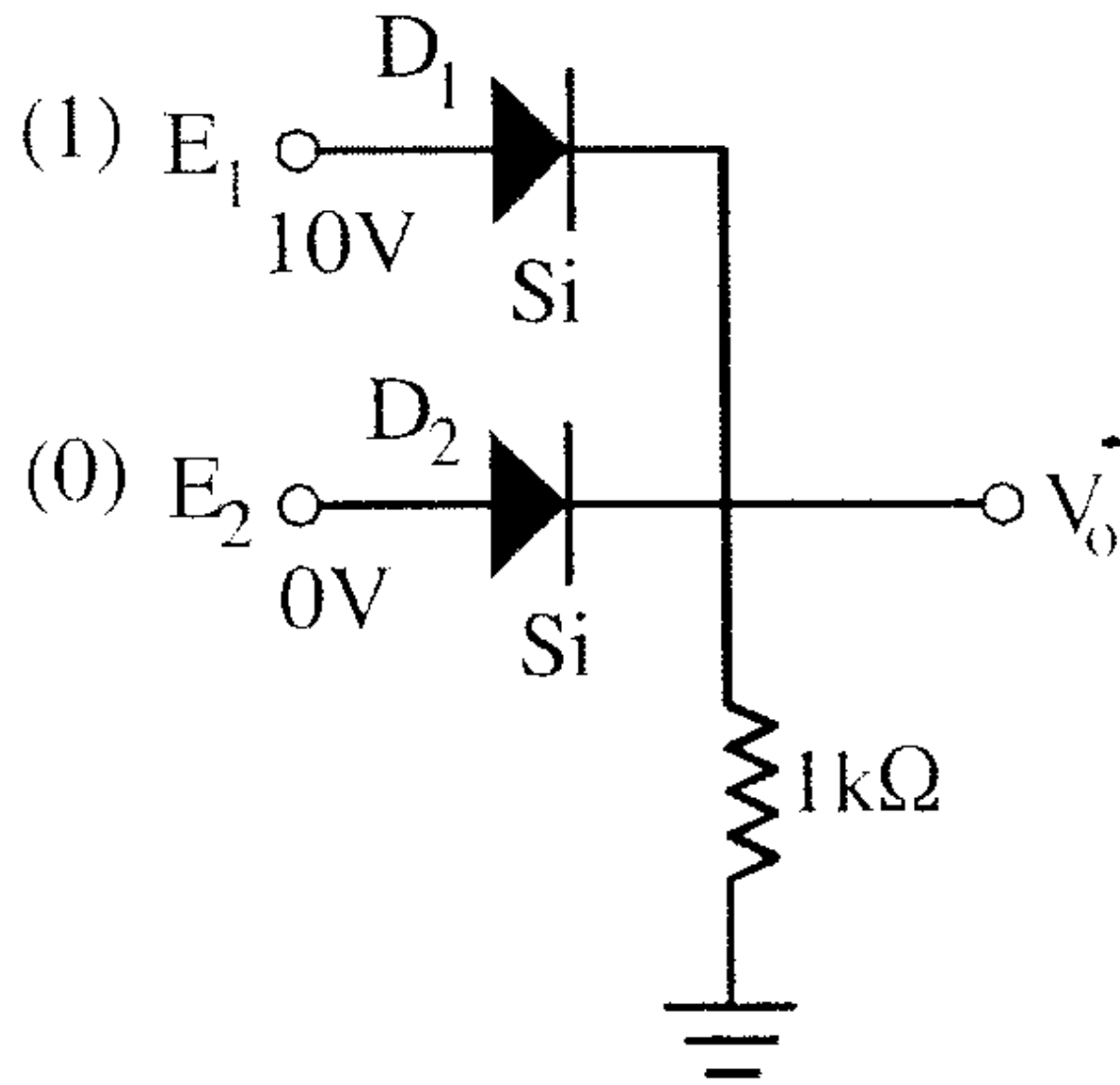
الرمز المنطقي لبوابة ((و)) (AND)

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 ما عدا ذلك فالمصباح يبقى منطفئ.



مثال 3.11 :

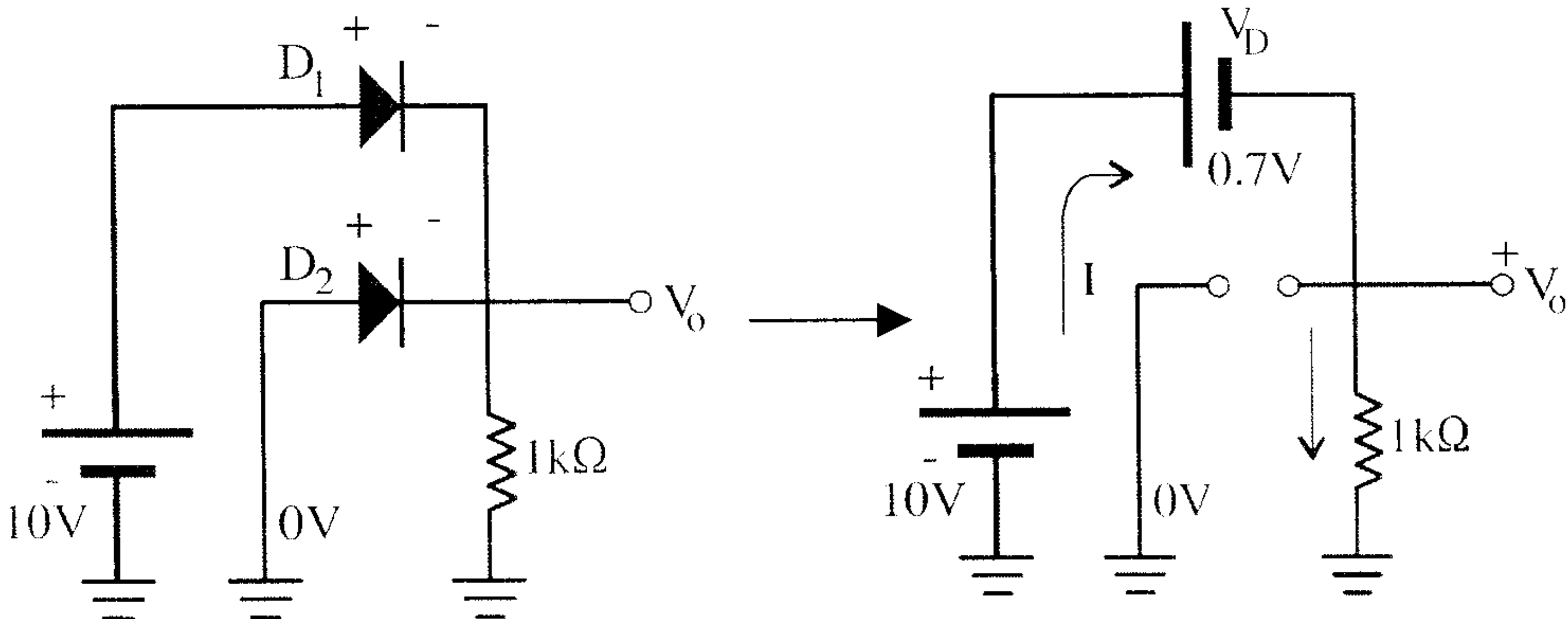
للدائرة في الشكل التالي أوجد V_o
وحدد نوع بوابة الاختيار مع وضع
جدول المنطق واحسب التيار المار
في الدائرة.

الحل:

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) :

$$E_1 - V_D - V_o = 0$$

$$V_o = E_1 - V_D = 10\text{ V} - 0.7\text{ V} = 9.3\text{ V}$$

ويمكن إيجاد التيار المار بالدائرة:

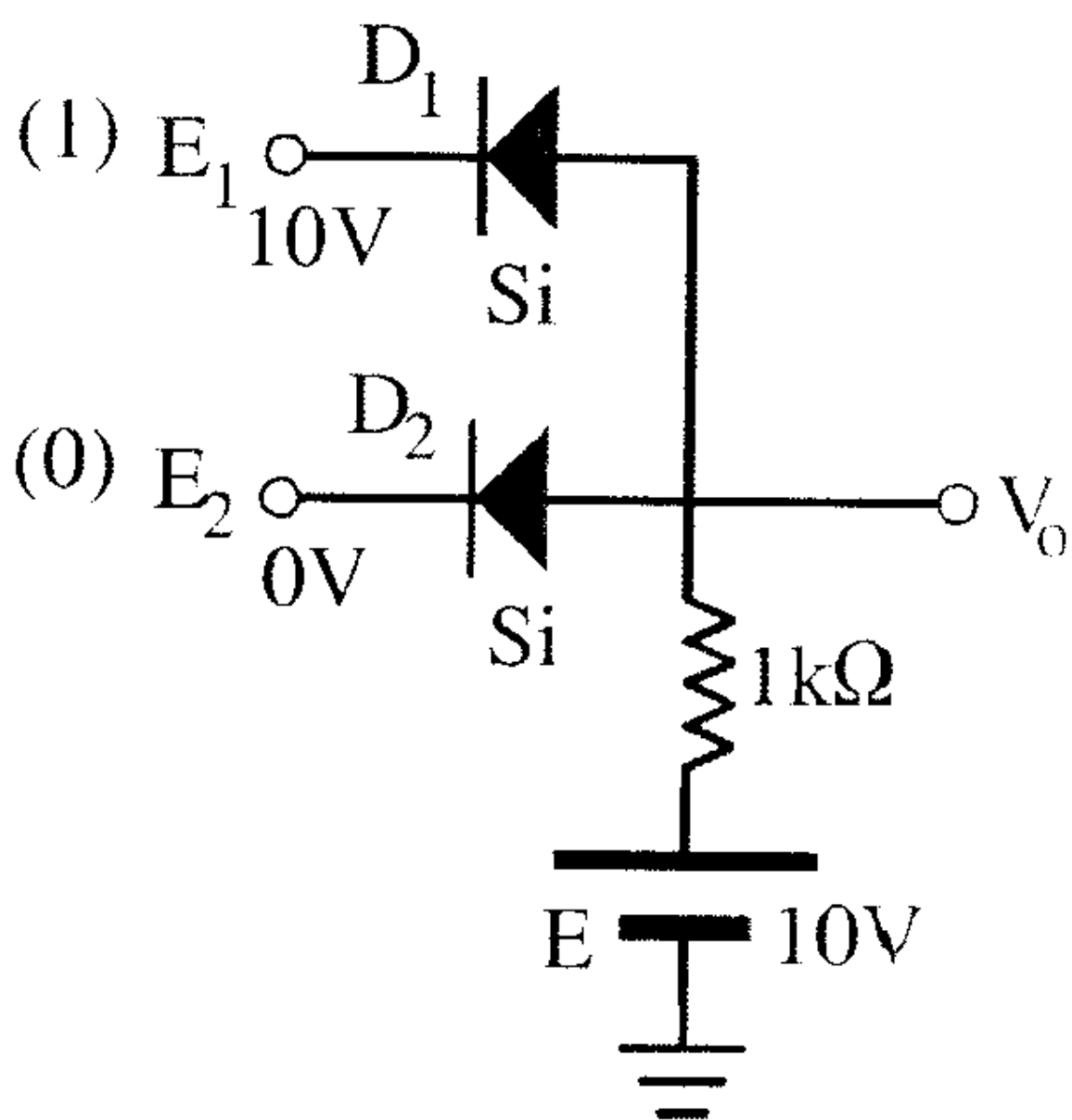
$$I = \frac{E_1 - V_D}{R} = \frac{10\text{V} - 0.7\text{V}}{1000\Omega} = 9.3\text{mA}$$

لهذا فإن هذه الدائرة من نوع الاختيار (OR) والجدول التالي يوضح ذلك:

جدول المنطق

A	B	Y
1	0	1
0	1	1
1	1	1
0	0	0

الدخول		الخروج
E_1	E_2	V_o
10	0	9.3
0	10	9.3
10	10	9.3
0	0	0

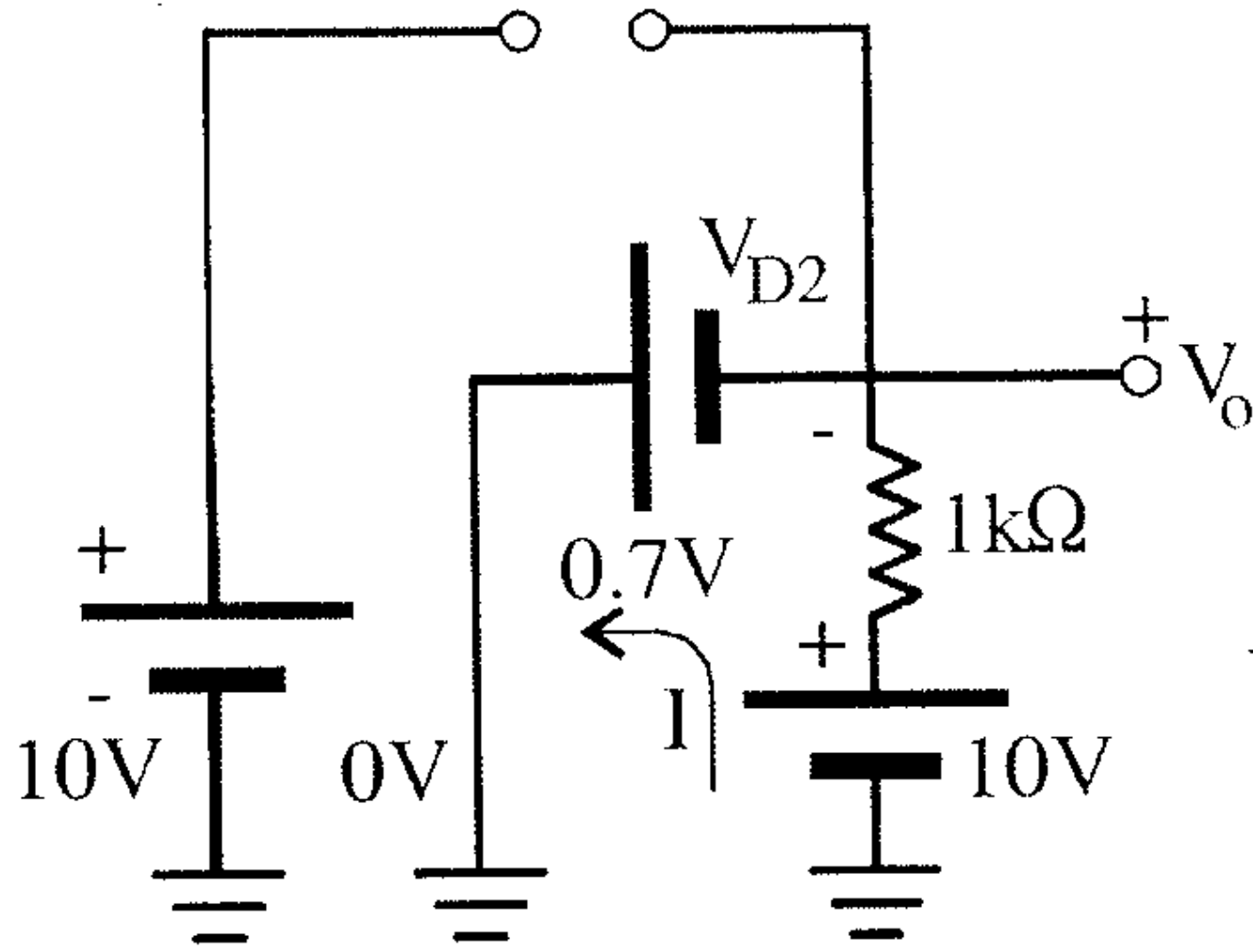


مثال 4.11 :

للدائرة في الشكل التالي أوجد V_o
وحدد نوع بوابة الاختيار ثم احسب
التيار المار في الدائرة.

الحل:

الثنائي D_1 في حالة قطع (انحياز عكسي)
والثنائي D_2 في حالة توصيل (انحياز أمامي)



باستخدام قانون (KVL):

$$V_{D2} + V_R - E = 0$$

$$V_R = E - V_{D2} = 10\text{ V} - 0.7\text{ V} = 9.3\text{ V}$$

باستخدام قانون (KVL):

$$E - V_R - V_0 = 0$$

$$V_0 = E - V_R = 10\text{ V} - 9.3\text{ V} = 0.7\text{ V}$$

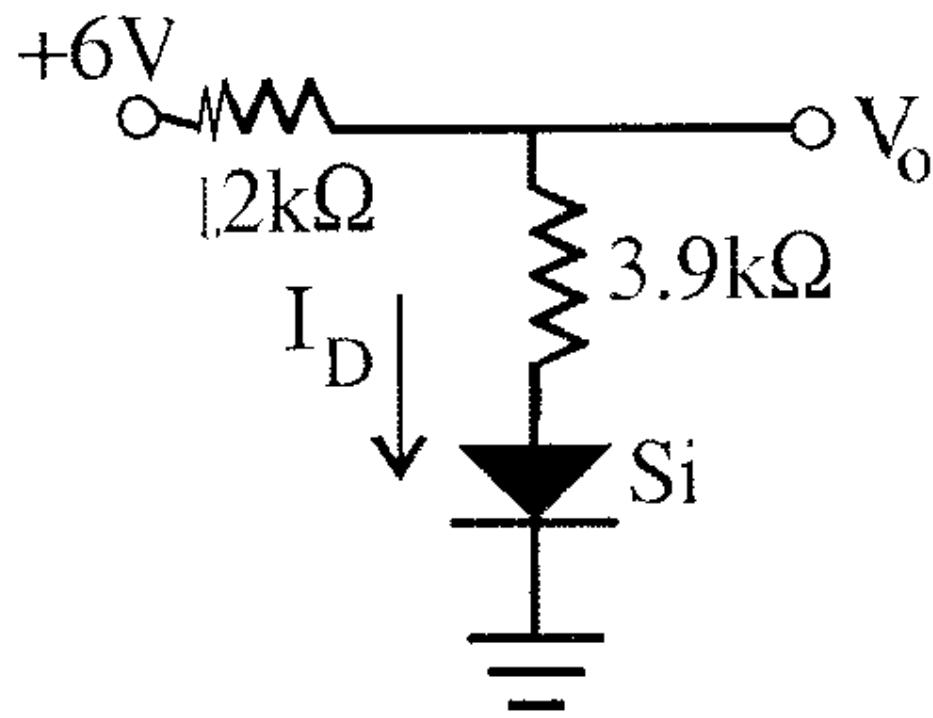
ويمكن إيجاد التيار المار بالدائرة:

$$I = \frac{E - V_{D2}}{R} = \frac{10\text{ V} - 0.7\text{ V}}{1000\Omega} = 9.3\text{ mA}$$

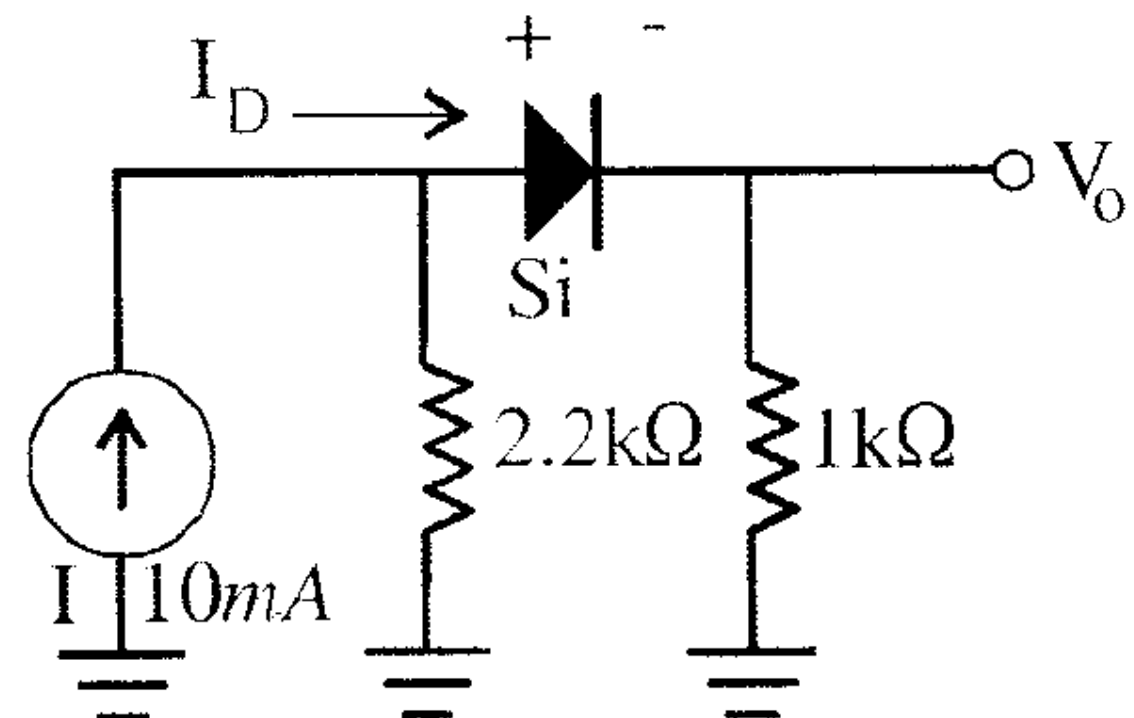
نوع البوابة (AND – Gate)

3.11 مسائل متنوعة عن الجزء الثاني

(1) من الدائرة بالشكلين (a) و (b) أوجد I_D و V_o .

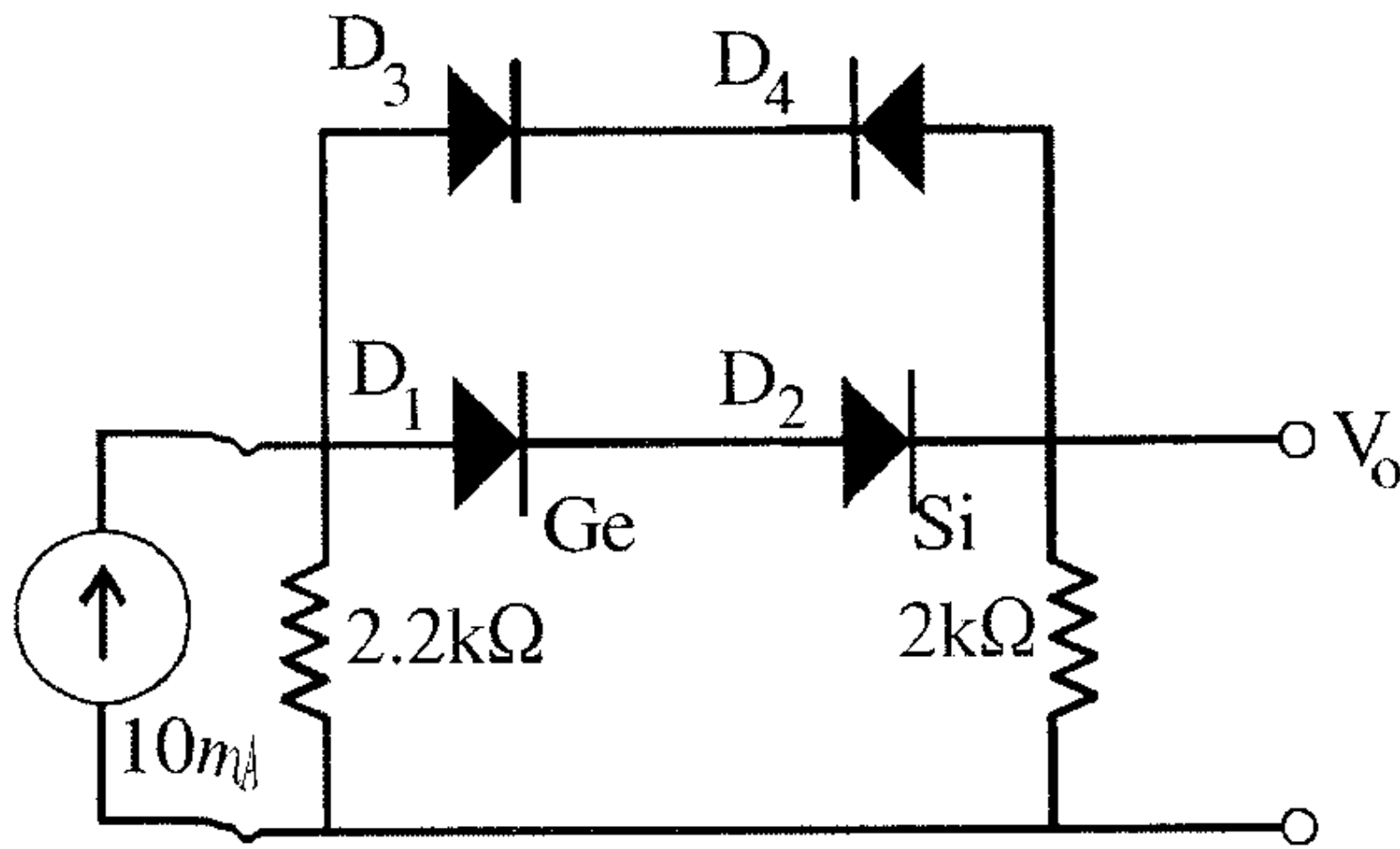


(a)



(b)

(2) من الدائرة بالشكل التالي:



1- ارسم الدائرة التقريبية المكافئة.

2- أوجد قيمة التيار المار في

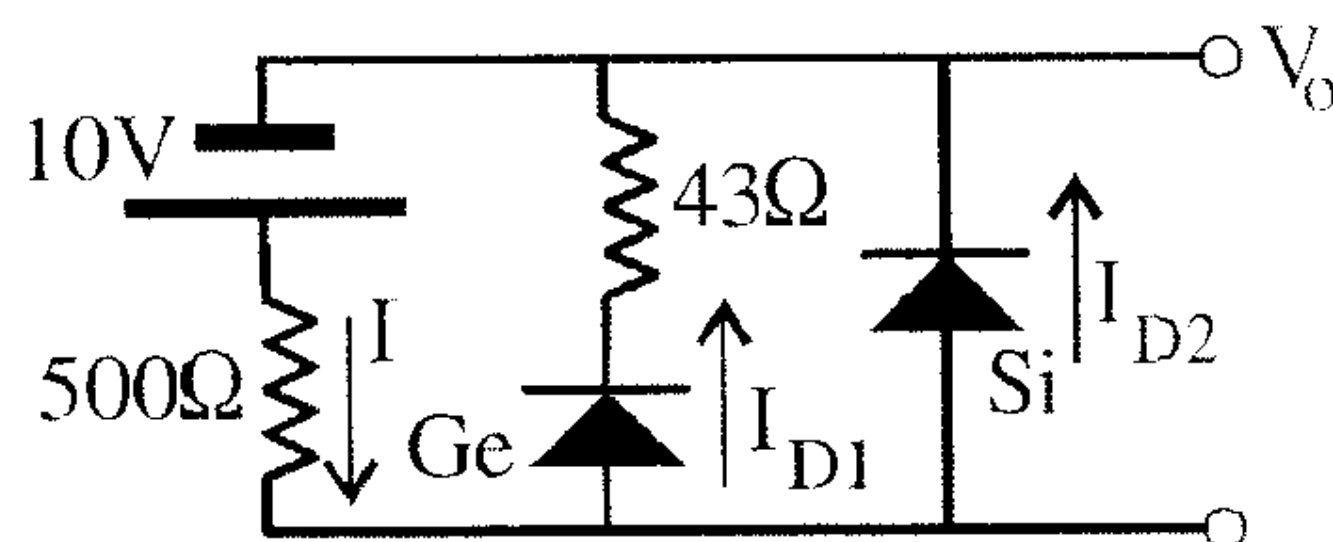
الثنائي D_1 .

3- أوجد قيمة الجهد خلال

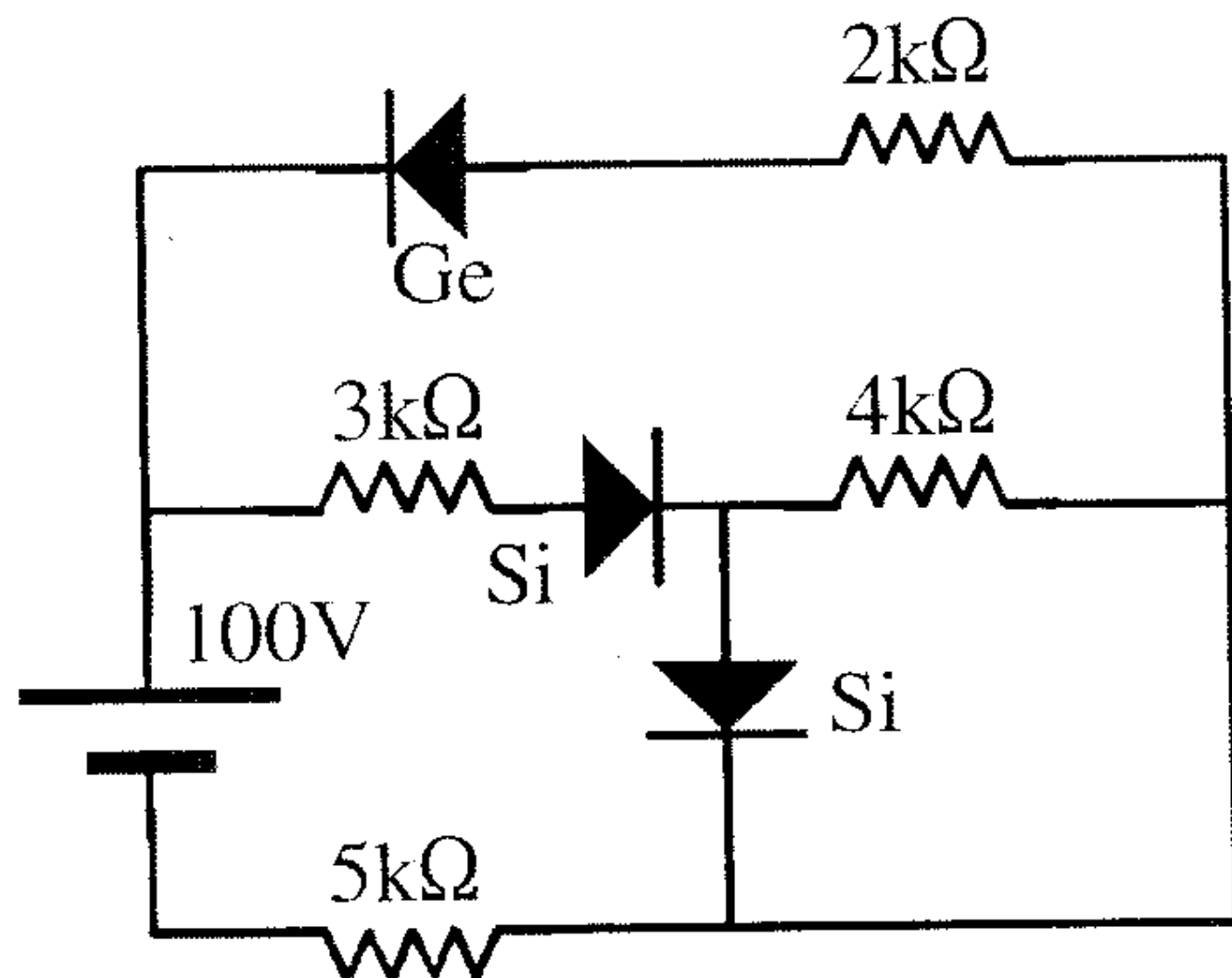
الثنائي D_4 .

4- أوجد قيمة جهد الخروج V_o .

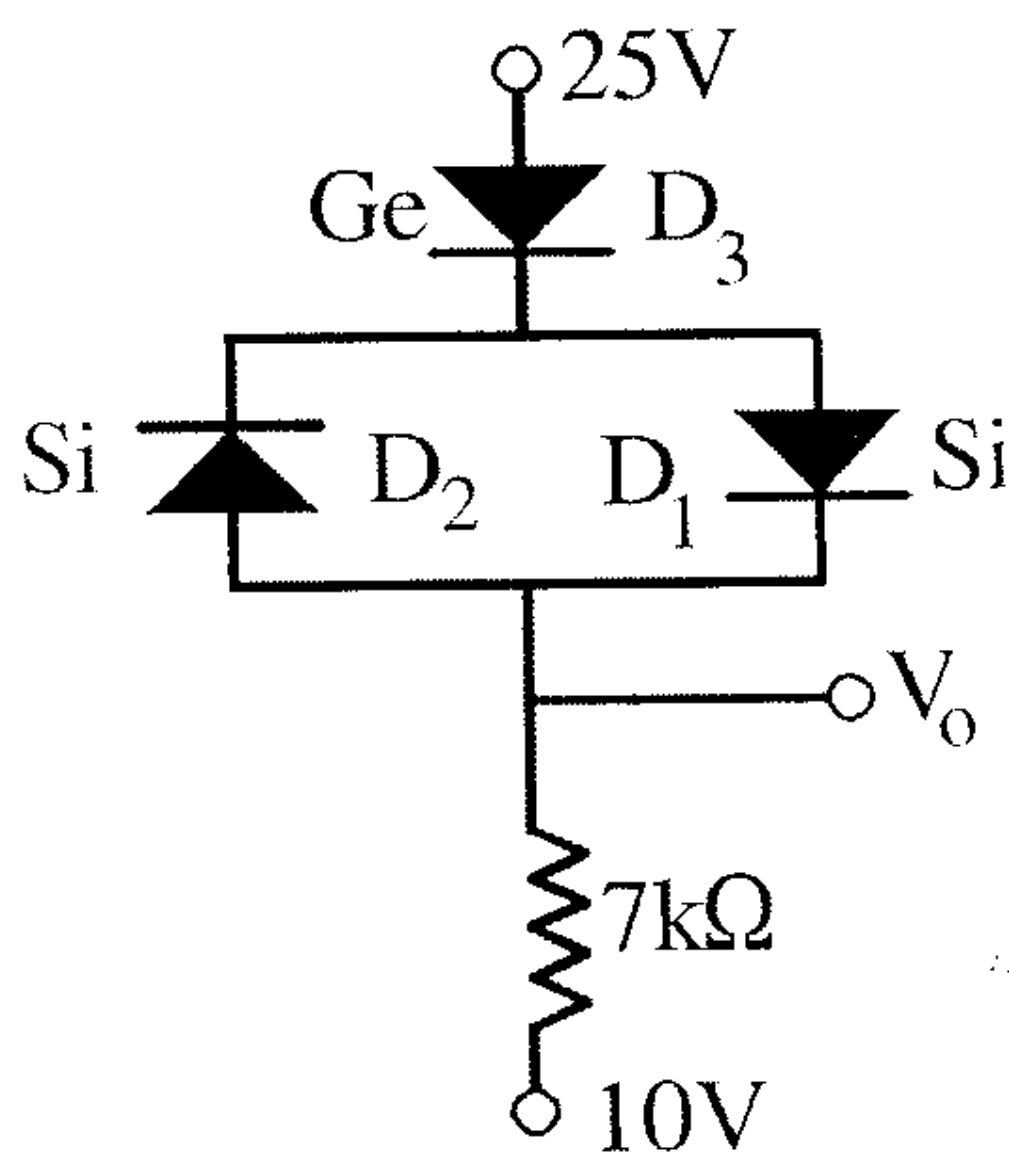
(3) من الدائرة التي بالشكل التالي أوجد: I_{D2} , I_{D1} , I , V_o .



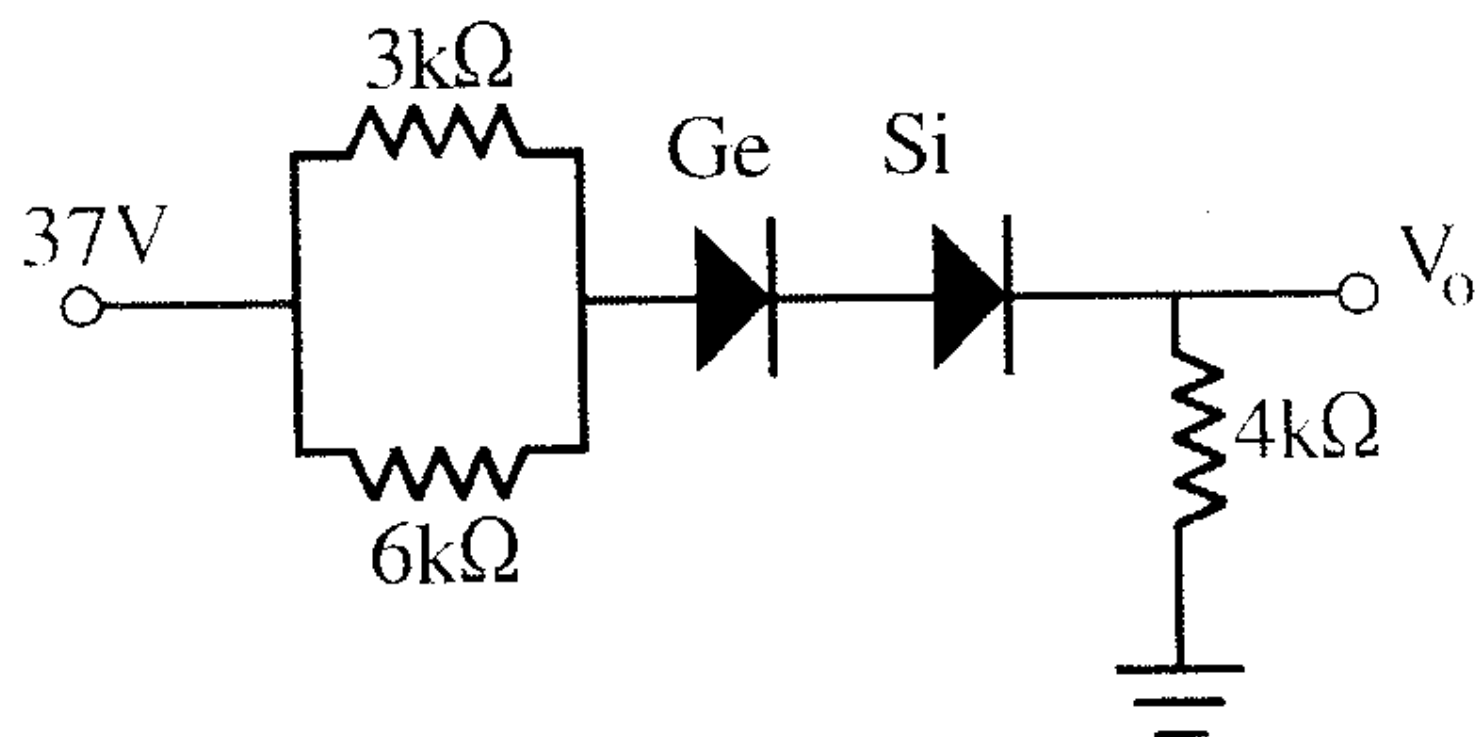
(4) للدائرة في الشكل التالي أوجد التيار المار في كل ثنائي وكذلك فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة.

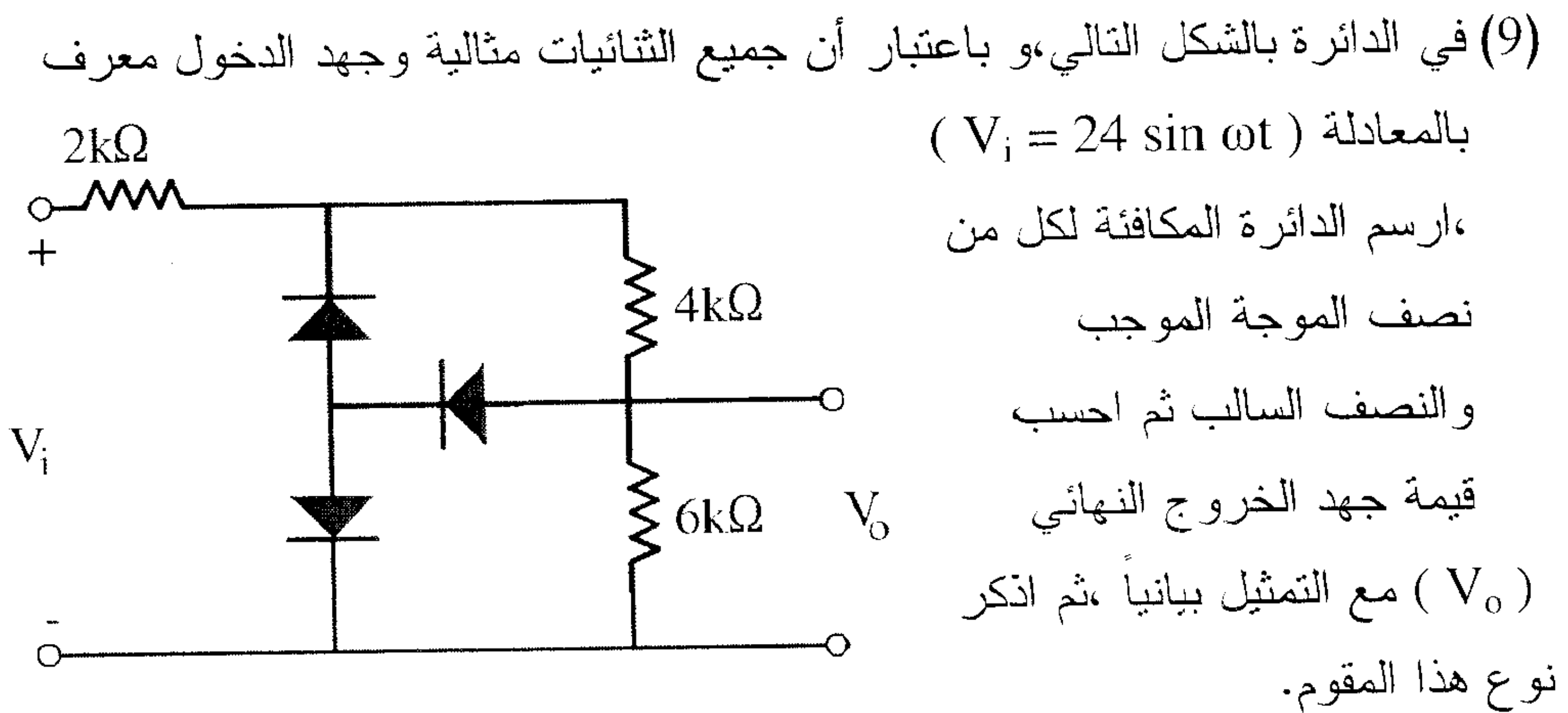
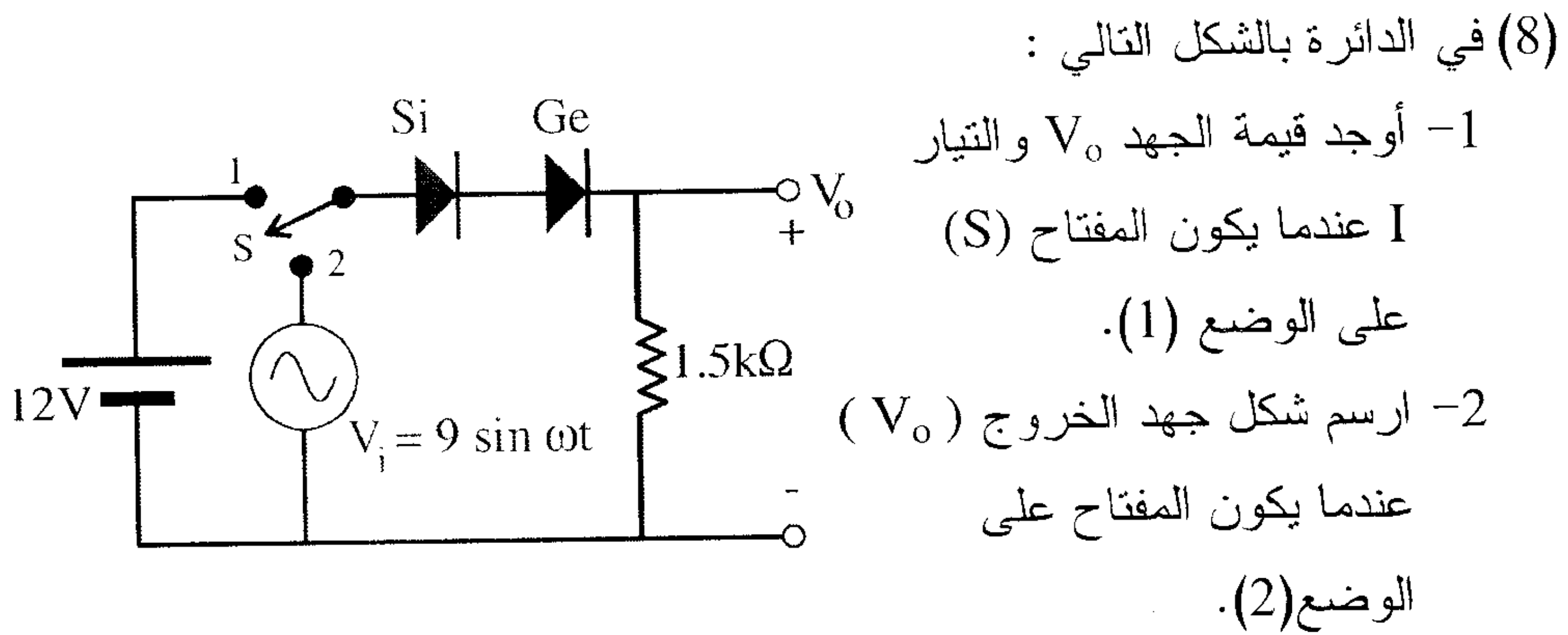
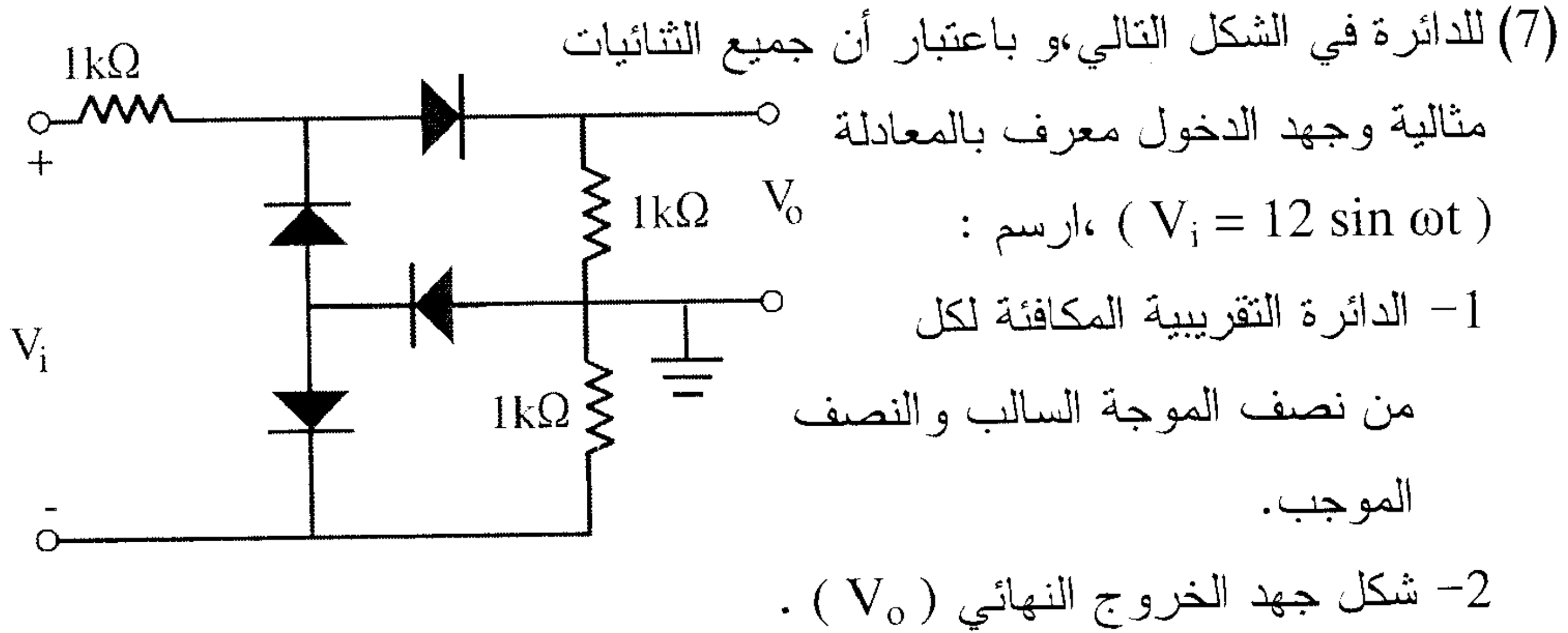


(5) للدائرة في الشكل التالي أوجد كلاً من: V_o , V_{D2} , I_{D2} , I_{D1} , I_R .



(6) من الدائرة في الشكل التالي أوجد قيمة التيار المار في المقاومة ($6k\Omega$).





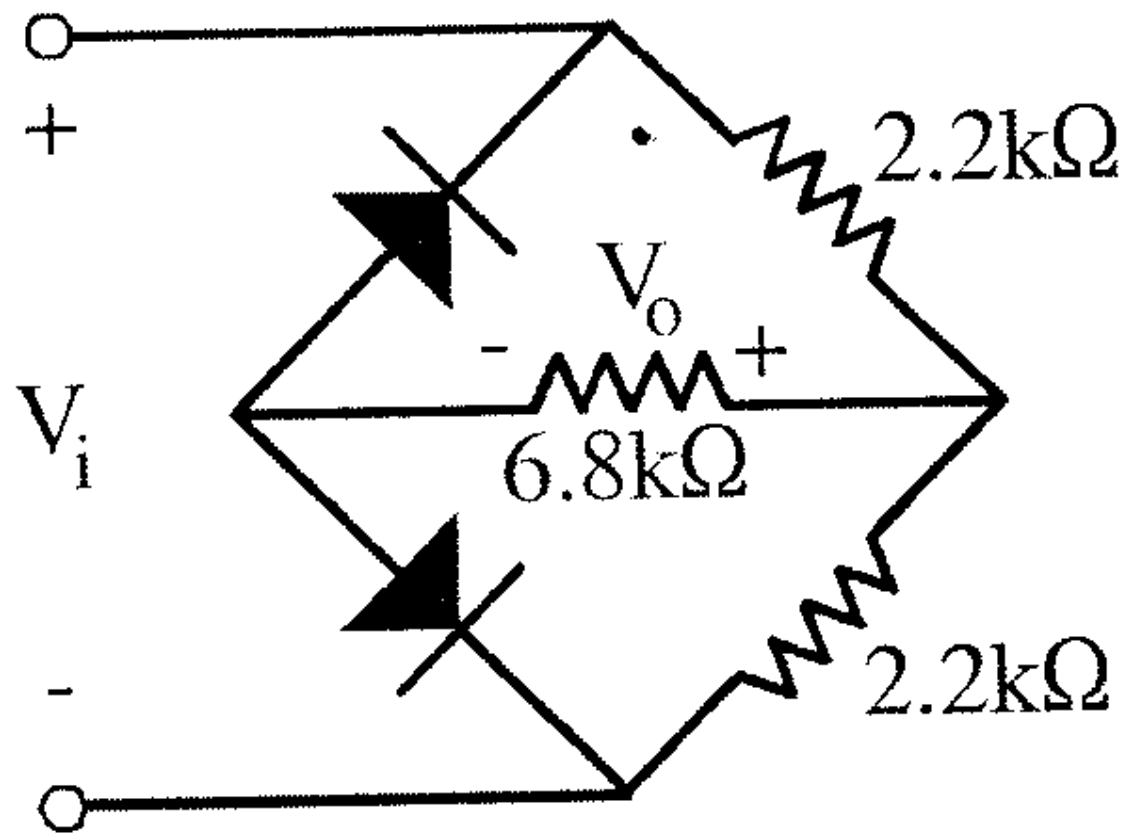
(10) باستخدام مقوم الموجة الكاملة، أوجد

شكل موجة الخروج V_o للدائرة التي بالشكل

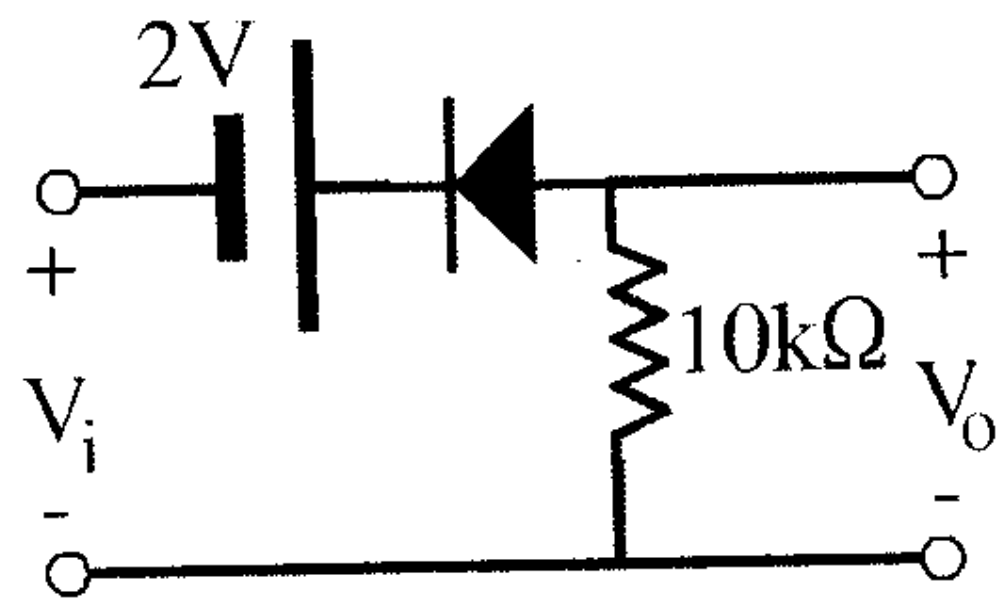
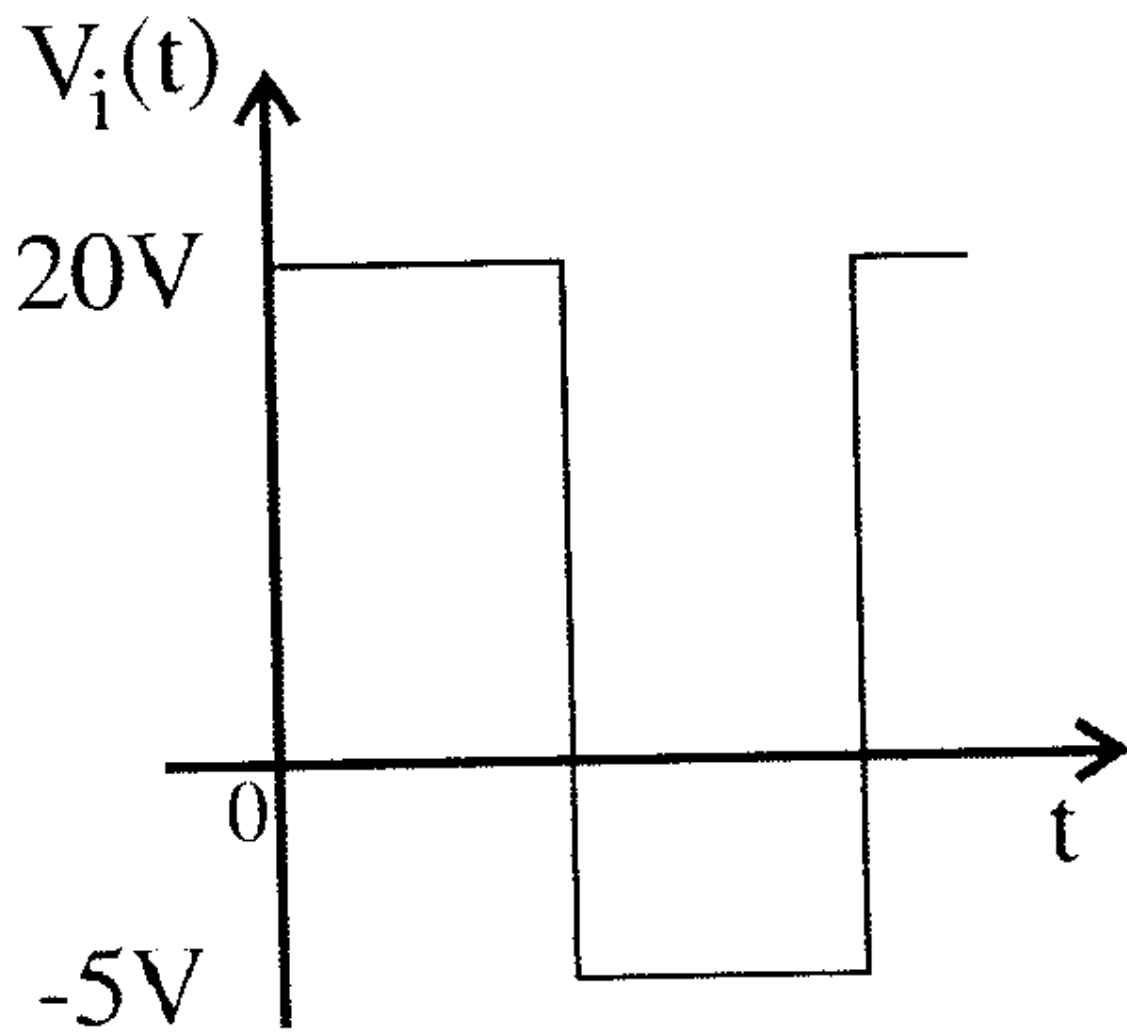
التالي إذا علمت أن جهد الدخول معرف

بالمعادلة $(V_i = 10 \sin \omega t)$ وأن

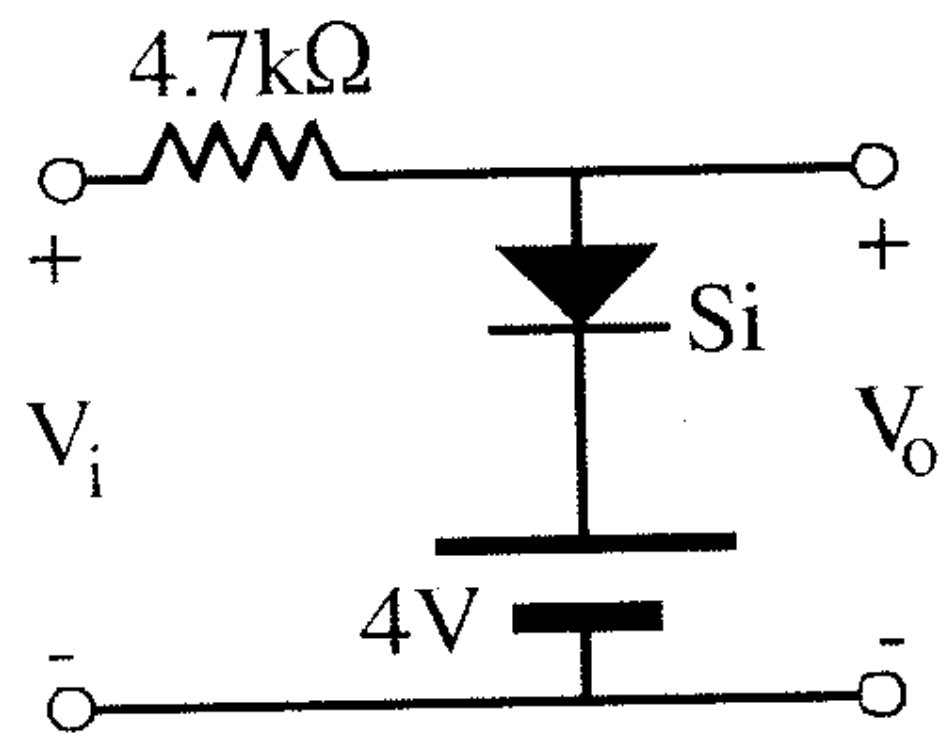
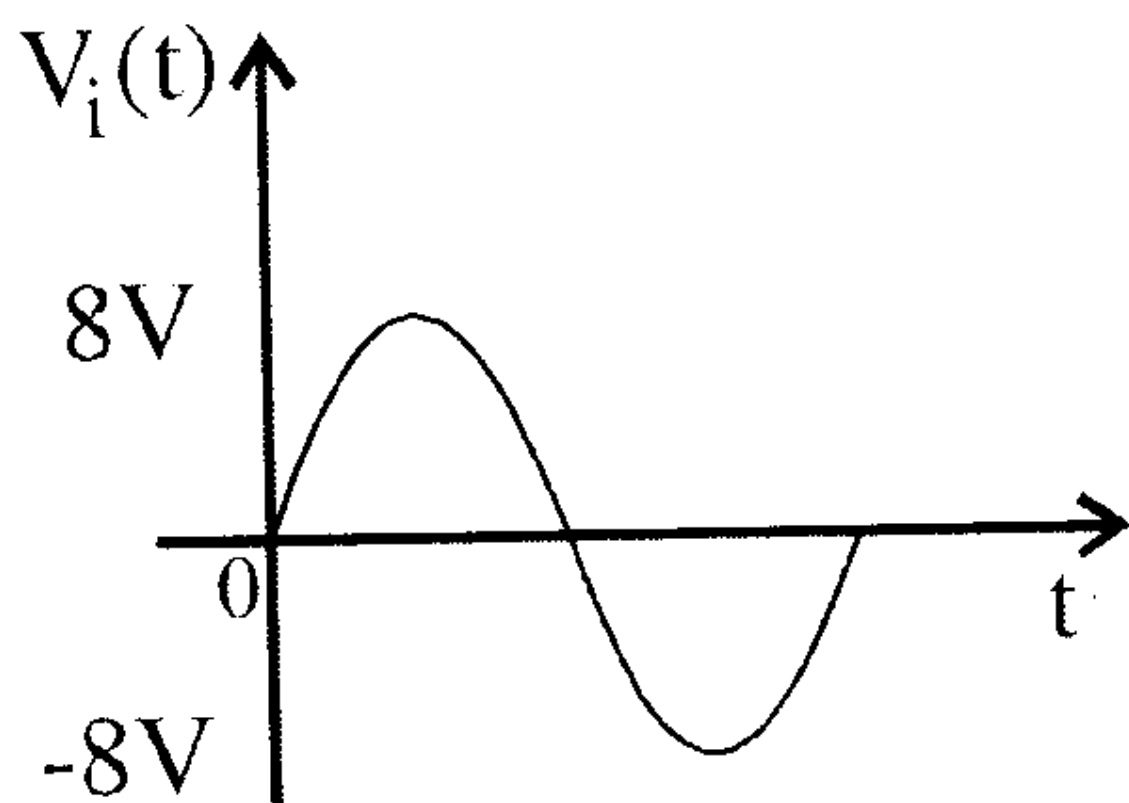
جميع الثنائيات مثالية.

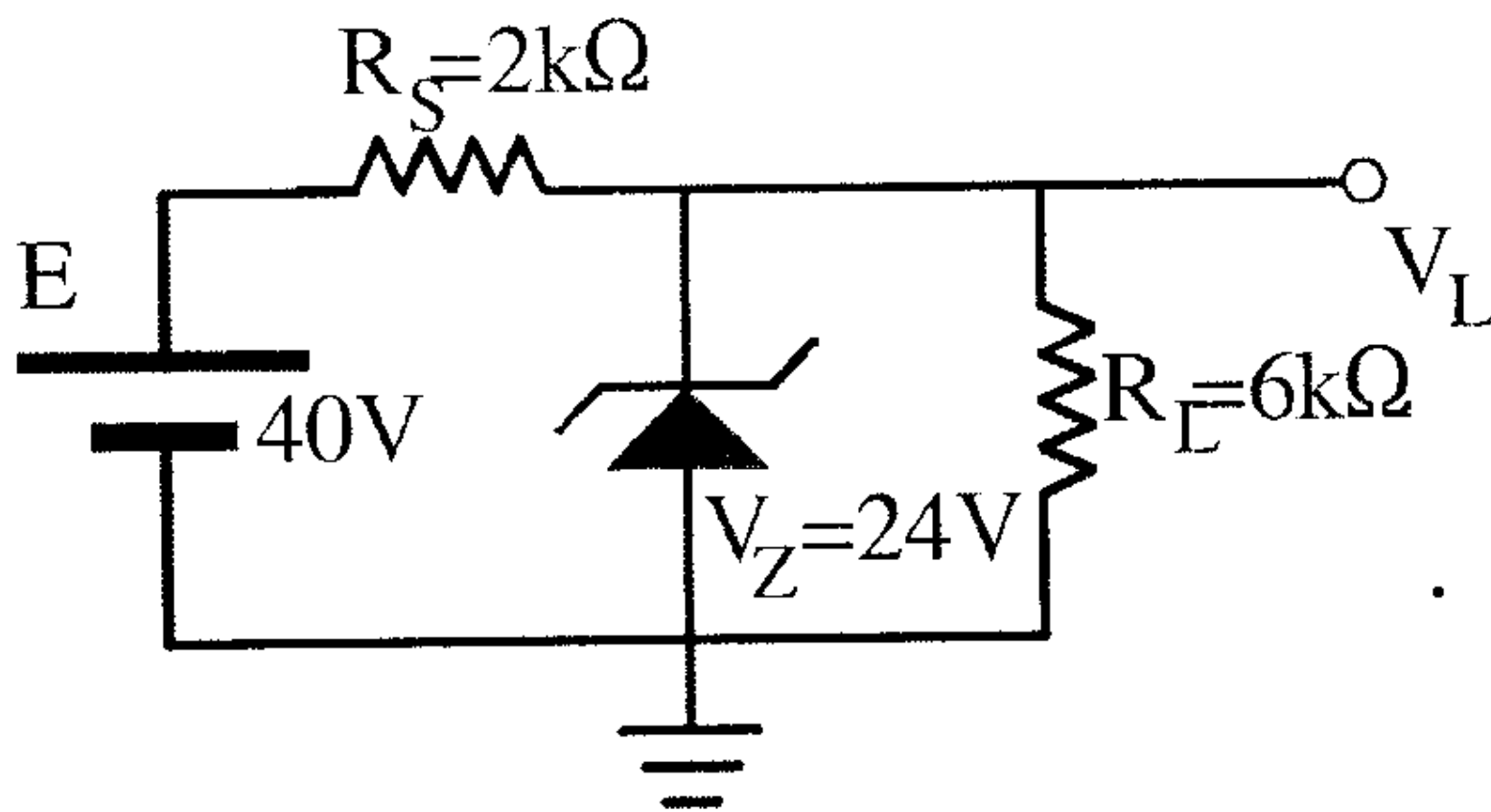


(11) من الدائرة بالشكل التالي حدد شكل موجة الخروج V_o إذا علمت أن الثنائي من النوع المثالي.



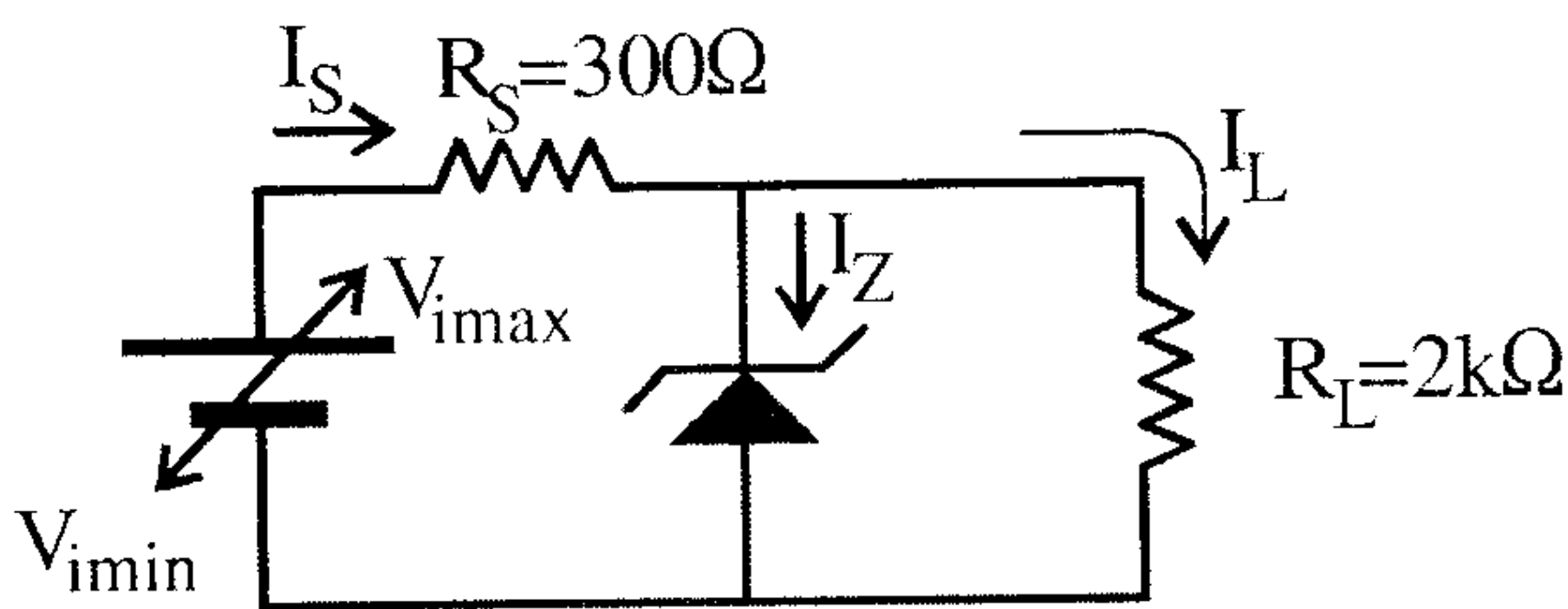
(12) من الدائرة بالشكل التالي حدد شكل موجة الخروج V_o .





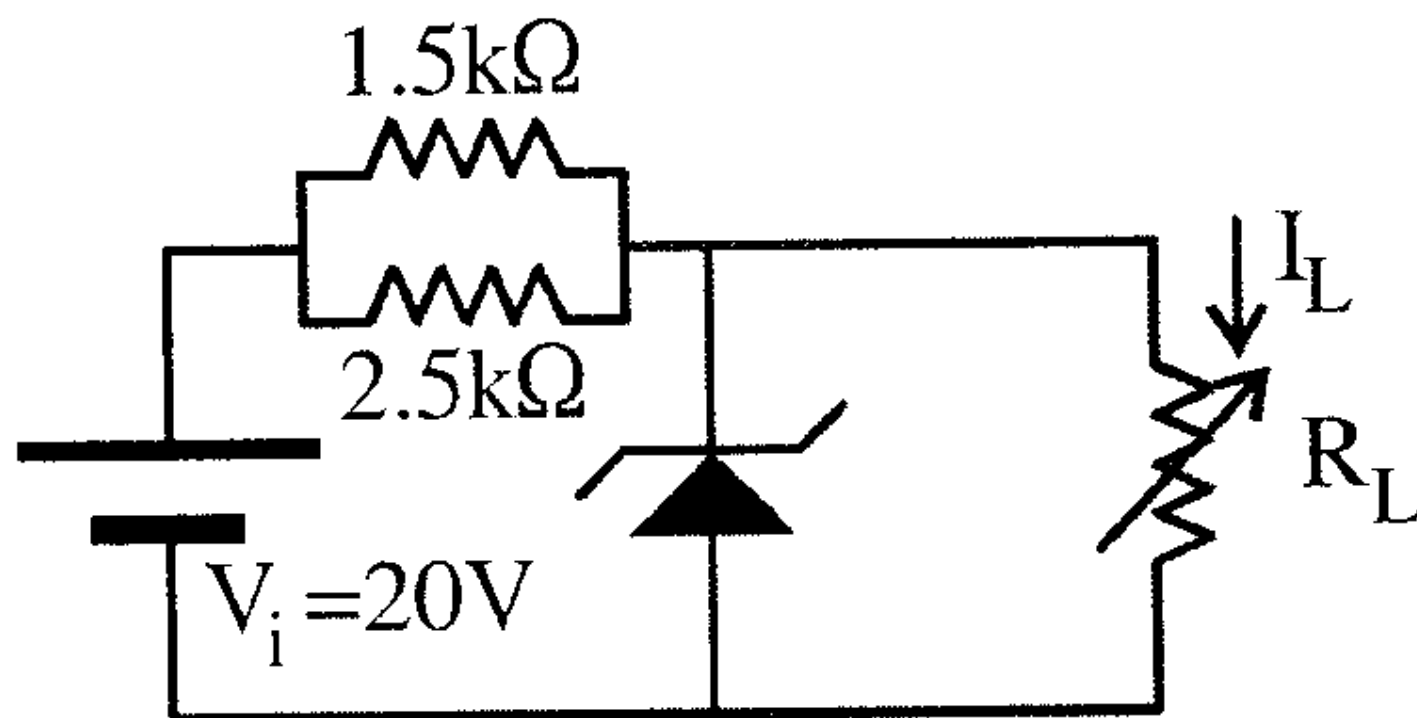
(13) من الدائرة بالشكل التالي :

- 1- أوجد قيمة الجهد (V_L) .
- 2- أوجد القدرة المستهلكة على ثنائي زينر ($I_{Zmax} = 18mA$) .

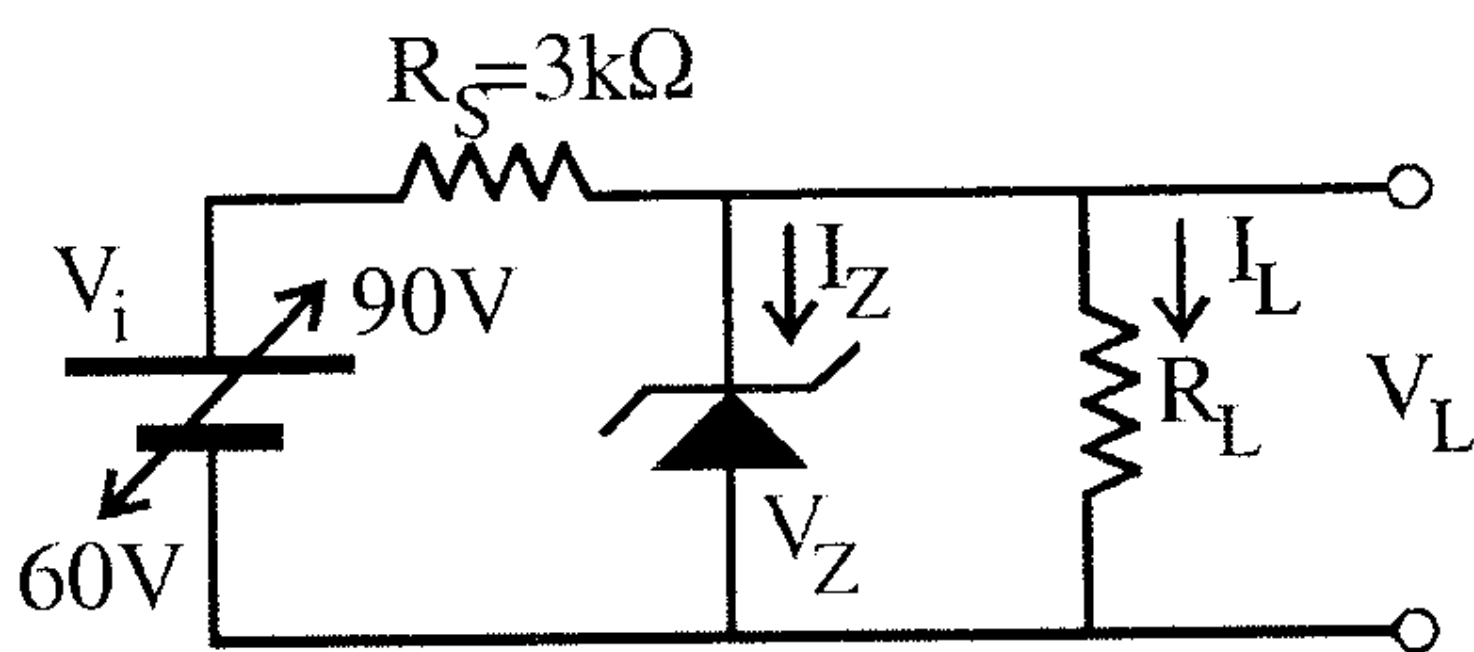


(14) أوجد أدنى وأقصى قيمة لجهد

- 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_{Zmax} و I_{Zmin} . I_{Smax} و I_{Smin}

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 يحيى نوري الجمال –
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)