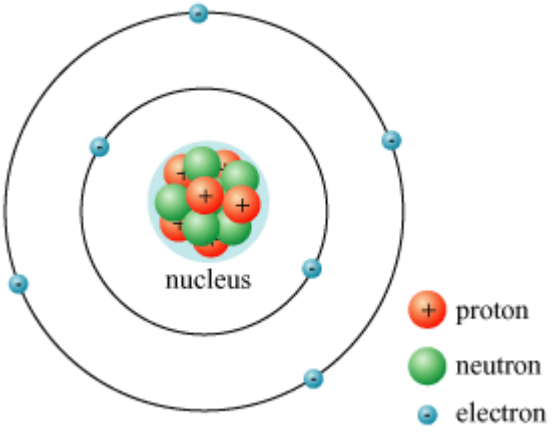
قبل البدء لا بدّ أن نتعرّف على آلية النقل الكهربائي ،حيث أن انتقال التيار الكهربائي في مادة يتطلّب حركة حرّة للشحنات تحت فرق كمون يطبّق على طرفي المادة ،ما يؤدّي لظهور ناقلية معيّنة في هذه المواد .

جميع العناصر في محيطنا تتألف من وحدات أساسيّة هي الذرّات ،حيث تتألّف الذرة من نترونات - عديمة الشحنة - ،وبروتونات -موجبة الشحنة- ،تدور حولها -أي النواة- الكترونات سالبة الشحنة ،وذلك ضمن مدارات إهليجيّة .

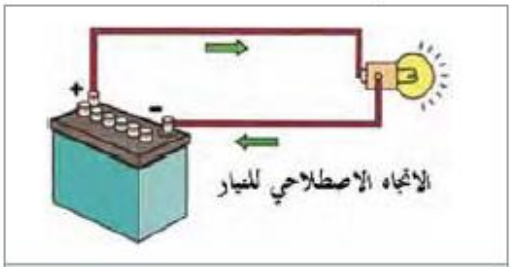


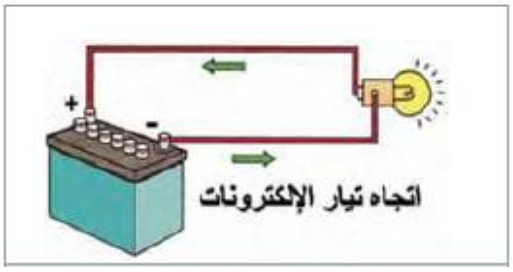
الإلكترونات الأقرب إلى النواة تمتلك طاقةً أقل من تلك البعيدة عن النواة ،ما يؤدّي – ضمن ظروف وشروط معيّنة – إلى تكسّر روابطها بالنواة وتحرّكها من ذرّة إلى أخرى .

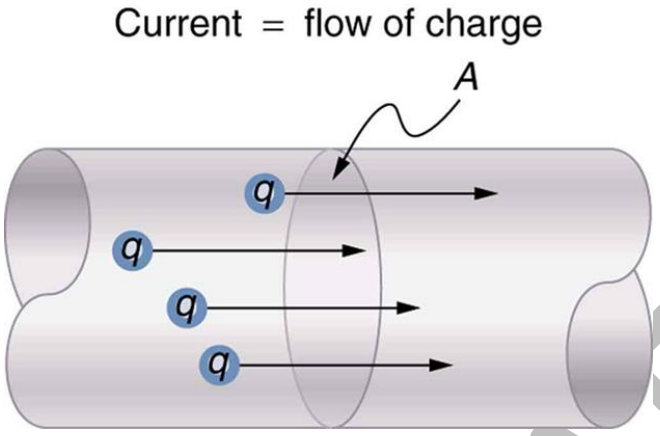
إذاً ،تعرف الكهرباء بأنّها عمليّة انتقال الالكترونات الحرّة الموجودة في المدار الأخير حول النواة من ذرّة إلى ذرّة ، بينما يعرف التيّار الكهربائي بأنّه عمليّة انتقال هذه الالكترونات باتّجاه واحد تحت تأثير فرق كمون – جهد كهربائي – معيّن ،وإن مدى ناقليّة مادّة للكهرباء من عدمه يُحدّد بشكل أساسي عبر معرفة عدد الإلكترونات الحرّة في مدارها الأخير.

الأمبير .AMP : واحدة شدّة التيار الكهربائي ،ويُقصد بـ 1 أمبير: مرور عدد معيّن من الإلكترونات يقدّر بـ 1 كولوم أي حوالي 6,24 إكسا إلكترون خلال ثانية واحدة ضمن مقطع من سلك ما .

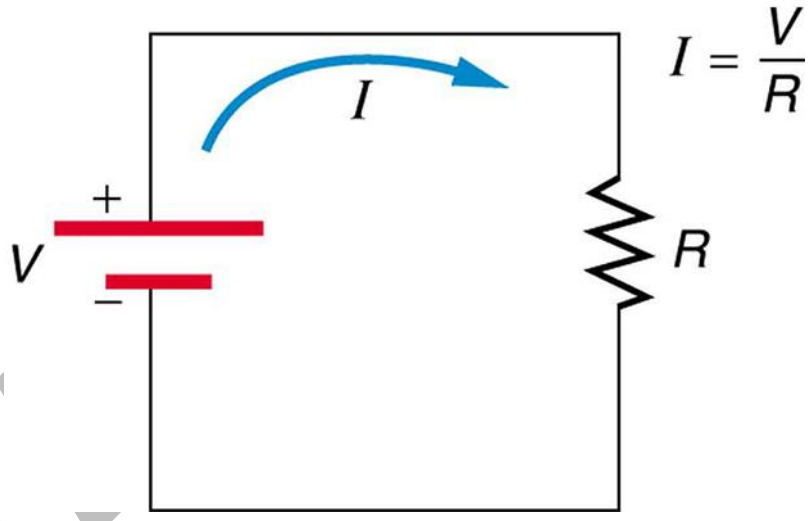
ويكون اتجاه التيار معاكساً لاتّجاه الالكترونات (اتجاه التيار"الاصطلاحي" من الموجب إلى السالب)







الجهد الكهربائي : هو التأثير الذي يخلق فرقاً في الشحنات بين طرفي موصل ليجعل أحدهما مليئاً بالإلكترونات والآخر فقيراً بها ،وفق مبدأ تنافر الشحنات المتماثلة عن بعضها وتجاذب المختلفة منها نحو بعضها البعض .



س : ما السرعة التي تتحرك وفقها الإلكترونات ؟

ج : تتحرّك الإلكترونات بسرعة الضوء البالغة حوالي 300 مليون مترفي الثانية الواحدة .

الكميات الكهربائية الأساسية:

سنستخدم وحدات النظام الدولي في هذا المقرر،ونستعرض أدناه الكميات الكهربائية الأساسية ورموزها وفق الجدول التالي:

الكمية	الرمز العام	الوحدة	الرمز الدال على الوحدة
الزمن	T	ثانية	S
التيار	I	أمبير	A
الشحنة الكهربائية	Q	كولوم	C
الكمون(الجهد) الكهربائي	V	فولط	V
المقاومة	R	أوم	Ω
الحث (التحريض)	L	هنري	H
السعة	C	فاراد	F
التردد	F	هيرتز	Hz
القدرة (الإستطاعة)	P	واط	W

يبين الجدول التالي قيم المضروب الذي يسبق رمز الوحدات المذكورة في الجدول السابق:

معامل التصغير أو التكبير	قيمة المعامل	الرمز
Tera	10^{12}	T
Giga	10^{9}	G
Mega	10^{6}	M
Kilo	10^{3}	K
Milli	10^{-3}	m
Micro	10^{-6}	μ
Nano	10^{-9}	N
Pico	10^{-12}	P

تصنيف المواد حسب موصليّتها للكهرباء:

1- المواد الموصلة: وهي المواد التي تسمح بمرور التيار الكهربائي من خلالها مثل النحاس، الألمنيوم، وغيرها من المعادن الموصلة للكهرباء، وتتراوح المواد في موصليتها حسب المقاومة النوعية لكل مادة.

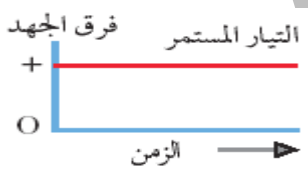
E/ABDULKAFI

2- المواد العازلة: وهي المواد التي لا تسمح بمرور التيار الكهربائي من خلالها، وذلك بسبب تركيبها الداخلي و الترابط القوي بين ذراتها، مثل الخشب، المطاط، الخزف وغيرها من المواد العازلة.

3- المواد شبه الموصلة: وهي مواد تقع بين المواد الموصلة والمواد العازلة من حيث توصيلها للكهرباء، أي بمعنى أخر تكون عازلة عند درجة الصفر المطلق وتحت تأثير درجة حرارتها تبدأ موصليتها بالزيادة نتيجة تفكك الرابطة القوية بين ذراتها بفعل الحرارة، ومن المواد شبه الموصلة الجرمانيوم، السيلكون.

أنواع التيار الكهربائي:

1- التيار المستمر (DC(Direct Current: هو التيار الذي تبقى قيمته واتجاهه ثابت مع مرور الزمن، ومن مصادر التيار المستمر المركم الرصاصي (البطارية) المستخدم في السيارات.



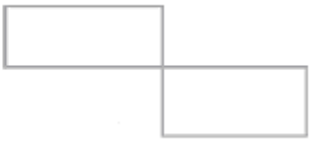
2-التيار المتناوب (AC(Alternating Current: هو التيار الذي تتغير قيمته واتجاهه مع تغير الزمن، ومن أمثلة التيار المتناوب، التيار المتولد من محطة توليد الطاقة الكهربائية والذي يزود المنازل بالتيار الكهربائي.

س : لماذا لا نلاحظ تغيّر الإضاءة رغم كون التيّار متناوباً ؟

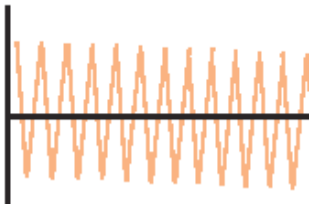
ج : لأنّ عين الإنسان تلاحظ التغيّرات عند 40 هرتز و أقل ،إضافةً لأن الأجهزة المنزليّة تقوم عادةً بتحويل التيار المتناوب إلى مستمر.

- بعض أشكال موجات التيار المتناوب :

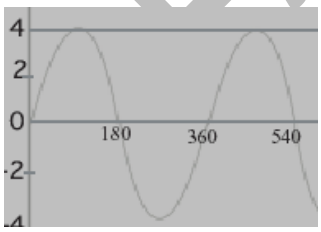
تيار متناوب شكل موجه مربعة



تيار متناوب شكل موجة سن منشار



تيار متناوب شكل موجة جيبي



يستخدم التيار المتناوب في معظم التطبيقات المنزلية والصناعية ويتنوع بين أحادي الطور وثلاثي الطور ويستخدم ثلاثي الطور في نقل الطاقة من المحطات الكهربائية وفي المحركات الصناعية.

E/ABDULKAFI

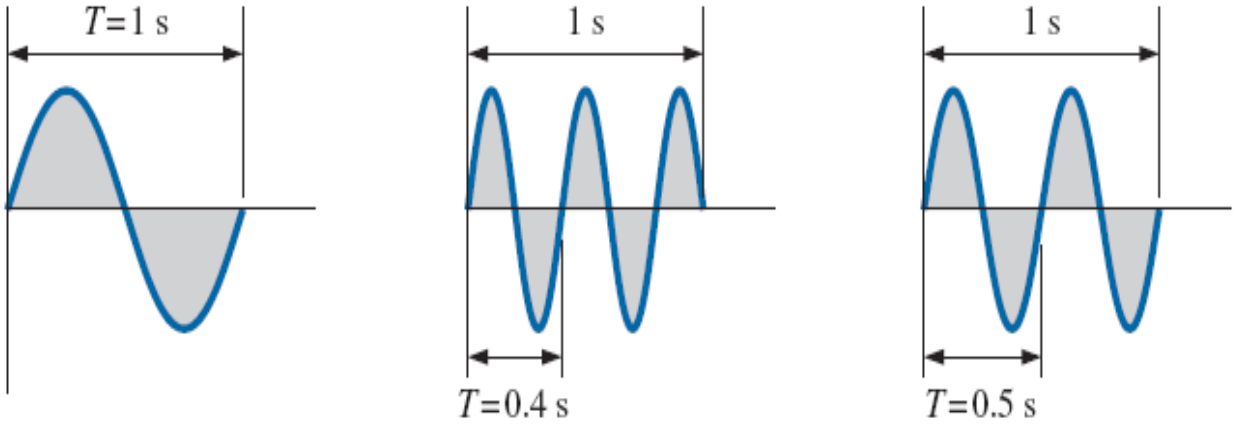
التردد frequency: يعرف بأنه عدد الموجات في الثانية الواحدة ويرمز بالرمز F ويقاس بواحدة الهرتز Hz، بعض الدول تستخدم التردد 50 هرتز والأخرى 60 هرتز.

كما يعبر عن الدور كمقلوب للتردد ويقاس بالثانية:

$$f = \frac{1}{T}$$

$f = \text{Hz}$
$T = \text{seconds (s)}$

يبين الشكل التالي إشارة جيبية بترددات مختلفة:



- **المقاومه R: ممانعة المادة لمرور التيار الكهربائي فيها، وتقاس بواحده الأوم Ω، وبالتالي كلما ازدادت قيمة المقاومه قلت قيمة التيار الماروالعكس صحيح.**
- **الاستطاعة P: معدّل الشغل المبذول بالنسبة للزمن وتقاس بواحدة الواط W.**

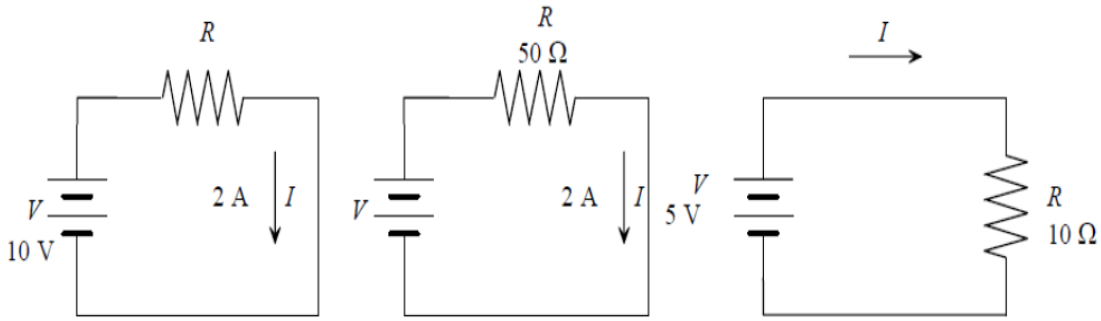
وتعطى بالعلاقة: Power = Energy\time

وفي الدارات الكهربائية: $P=I^2*R$ أو $P=V^2/R$ أو $P=V*I$

V: الجهد ،I: التيار، R مقاومة

للتوضيح نفرض أن شخصاً يحمل وزناً معيّناً ويصعد به سلالم وآخر يحمل نفس الوزن ويجري به يكون الشغل المبذول في الحالتين متساوي بينما القدرة أكبر في الحالة الثانية(الجري) حيث يتم بذل نفس الشغل في زمن أقل مما يحتاج لاستهلاك معدّل طاقة أكبر بالنسبة لوحدة الزمن.

مسألة: أحسب قيمة الإستطاعة الكهربائية في الدارات التالية:



الحل:

باستخدام قانون حساب الاستطاعة الكهربائية فإن:

$$a)P = IV = 2A \times 10V = 20W$$

$$b)P = I^2R = (2A)^2 \times 50\Omega = 200W$$

$$C)P = \frac{V^2}{R} = \frac{(5V)^2}{10\Omega} = 2.5W$$

E/ABDU

الدارة الكهربائية:

تتكون معظم الدارات الكهربائية المعروفة من عناصر متعددة يمكن تقسيمها لقسمين:

1- **العناصر غير الفعالة: المقاومات، المكثفات، الملفات والمفاتيح والمصابيح والمقاييس وغيرها.**
2- **العناصر الفعالة: ممثلة بمصادر التغذية وأشباه الناقلات (الثنائيات والترانزستورات) والدارات المتكاملة.**

العناصر الإلكترونية الفعالة هي العناصر التي تحتاج إلى قيمةٍ محددة وإضافية من الجهد الكهربائي كي تعمل كما يجب.

كمثال :كافة العناصر نصف الناقلة عبارة عن عناصر إلكترونية فعالة، فالترانزيستور ثنائي القطبية BJT يحتاج لقيمة محددة من الجهد المطبق على قاعدته كي يفتح الترانزيستور ويعمل كمكبر Amplifier ، أو كمفتاح Switch.

العناصر الإلكترونية غير الفعالة هي العناصر التي لا تحتاج إلى أي قيمة محددة أو إضافية من الجهد الكهربائي كي تعمل، بل تعمل فوروضعها مباشرةً في الدارة الكهربائية.

كمثال :المقاومة الكهربائية، المكثف الكهربائي، الملف.

يمكن أيضاً توضيح الفرق بين العناصر الإلكترونية الفعالة وغير الفعالة على أن العناصر الإلكترونية الفعالة هي العناصر التي تقوم بمنح جهد إضافي ضمن الدارة التي تعمل فيها. بينما العناصر الإلكترونية غير الفعالة فهي عبارة عن عناصر مستهلكة للجهد، ولا تساهم بتقديم أي قيمة إضافية للجهد الكهربائي المار في الدارة.

قانون أوم:

استطاع العالم الألماني جورج سيمون أوم أن يجد عن طريق التجربة العلاقة بين الجهد والتيار في ناقل كهربائي وقدم القانون المعروف بقانون أوم الذى ينص على:

فرق الجهد بين طرفي ناقل كهربي يساوى حاصل ضرب كل من مقاومة الناقل والتيار المار فيه ، ويمكن تمثيل قانون أوم رياضيًا على الصورة :

$$V = I \cdot R$$

حيث V فرق الجهد ويقدر بالفولت.

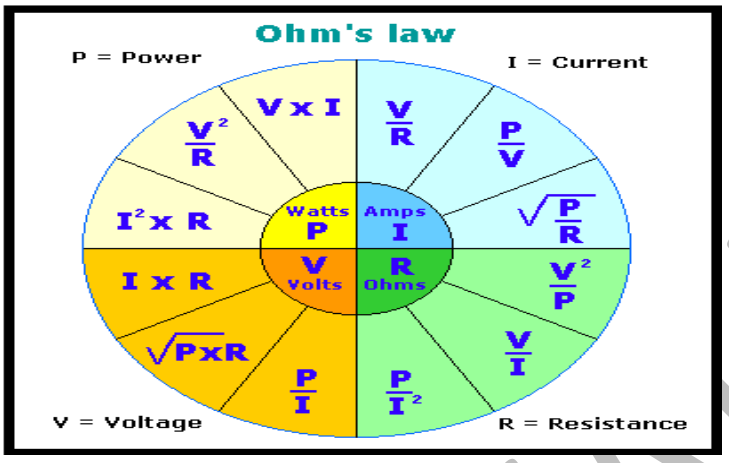
I شدة التيار وتقدر بالامبير .

R قيمة المقاومة وتقدر بالأوم.

ويعرف الأوم: بأنه المقاومة التي تسمح بمرور تيار قيمته واحد أمبير عند ما يكون فرق الجهد بين طرفي المقاومة واحد فولت، ويمكن كتابة قانون أوم في عدة صورة كالآتى:

فرق الجهد = شدة التيار×المقاومة $V = I \cdot R$

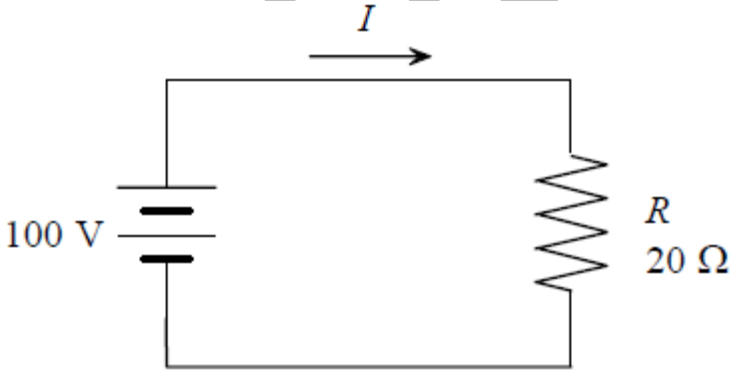
ومنه شدة التيار $I=V/R$



لقانون أوم أهمية كبرى في تحليل الدارات الكهربائية وذلك بهدف معرفة التيارات أو المقاومات أو مصادر الكمون المجهولة ولهذا الهدف نبين الاحتمالات الثلاثة:

A- تحديد التيار عندما يكون قيم الكمون والمقاومة معلومين:

احسب قيمة التيار في الدارة التالية:



باستخدام قانون أوم

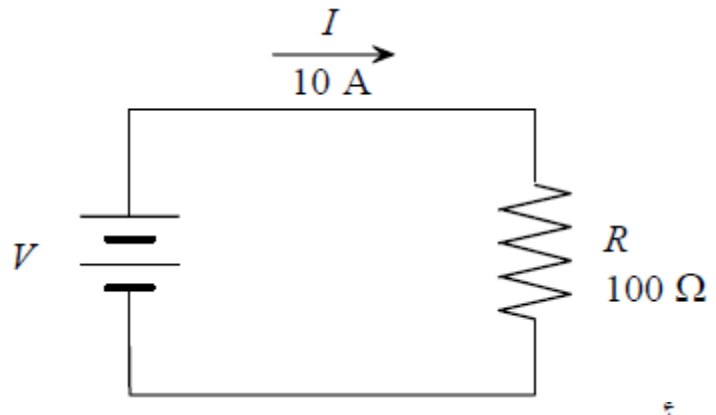
$$I = \frac{V}{R}$$

$$I = \frac{100}{20}$$

$$I = 5A$$

B- تحديد الكمون عندما يكون قيم التيار والمقاومة معلومين:

احسب قيمة الكمون (الجهد) في الدارة التالية:



باستخدام قانون أوم

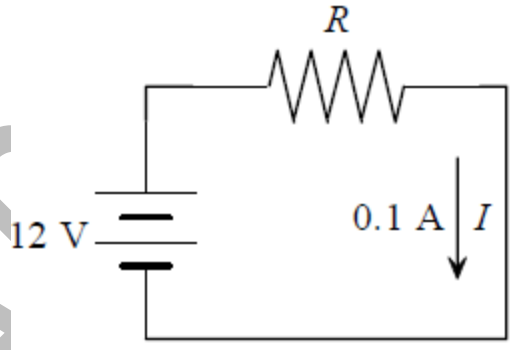
$$V = IR$$

$$V = 10A \times 100\Omega$$

$$V = 1000V$$

C- تحديد قيمة المقاومة عندما يكون قيم التياروالكمون معلومين:

احسب قيمة المقاومة في الدارة التالية:



باستخدام قانون أوم

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

$$R = \frac{12}{0.1}$$

$$R = 120\Omega$$

العوامل التي تتوقف عليها قيمة مقاومة الناقل:

1-نوع مادة الناقل: لأن كل مادة تختلف عن الأخرى من حيث عدد الالكترونات الحرة الموجودة في المدار الخارجي لذرة المادة ويعبر عن تغير المقاومة بتغير مادة الناقل بالمعامل ρ ويسمى المقاومة النوعية و تتناسب تناسبًا طرديًا مع المقاومة.

2-طول الناقل: تتوقف مقاومة الناقل كذلك على طوله L فكلما زاد طول الناقل كلما زادت مقاومته.

3-مساحة مقطع الناقل: تتوقف مقاومة الناقل كذلك على مساحة مقطعه S فكلما زادت مساحة مقطع الناقل كلما قلت مقاومته.

ويعبرعن المقاومة بالعلاقة : $R=\rho \times L / S$

مثال: ما هي القوة الدافعة الكهربية لبطارية مقاومتها الداخلية 0.5 أوم لكي يمر تيار شدته 0.6 أمبير في دائرة خارجية مقاومتها 2 أوم؟

الحل: مقاومة الدائرة هي مجموع مقاومات أجزاء الدائرة المختلفة.

E = القوة الدافعة الكهربية.

I = شدة التيار المار= 0.6 أمبير.

R =المقاومة الخارجية= 2 أوم، المقاومة الداخلية للبطارية r = 0.5 أوم.

مقاومة الدائرة الكلية= (R + r).

$$E = I (R + r) = 0.6 (2 + 0.5) = 1.5 \text{ Volts}$$

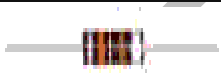
من أهم وأكثر القطع الإلكترونية شيوعاً واستخداماً ، وتستخدم للتحكم في فرق الجهد (الفولت)- كمقسم جهد ، وشدة التيار(الأمبير)- كمقسم تيار، وتقاس المقاومة بوحدة الأوم Ohm ، وترمز بالرمز R .

1 Ohm	1 Ω
10^9 Ohms = 1 G Ohm	جيجا أوم
10^6 Ohms = 1 M Ohm	ميجا أوم
10^3 Ohms = 1 K Ohm	كيلو أوم
10^{-3} Ohms = 1 m Ohm	ميلي أوم
10^{-6} Ohms = 1 µ Ohm	ميكرو أوم
10^{-9} Ohms = 1 n Ohm	نانو أوم

وتختلف نوعيتها حسب طريقة صنعها ، والمواد المركبة منها ، وأهم أنواع المقاومات هي:

1- المقاومة الثابتة .
2- المقاومة المتغيرة .
3- المقاومة الضوئية .
4- المقاومة الحرارية .

1- تتميز هذه المقاومات بثبات قيمتها وتختلف في استخدامها على حسب قدرتها في تمرير التيار الكهربائي فهناك مقاومات ذات أحجام كبيرة تستخدم في التيارات الكبيرة وأخرى صغيرة للتيارات الصغيرة .

 مقاومة ذات أوم منخفض Low Ohm	 مقاومة كربونية Carbon Comp
 مقاومة شبكية Network	 مقاومة سيراميكية Ceramic Encased
 مقاومة خاصة	 مقاومة غطائية

E/ABDULKAFI

مقاومة سطحية Surface Mount	مقاومة مصهرية Fusible
مقاومة حساسة للحرارة Temp. Sensitive	مقاومة ذات جهد عالي High Voltage
مقاومة سلكية	مقاومة ذات أوم عالي

المقاومات الثابتة (كربونية – سلكية) : وهي المقاومة التي لها قيمة ثابتة لا تتغير، وتكون هذه القيمة مكتوبة عليها بشكل مباشر (أرقام) أو غير مباشر (ألوان) .

المقاومات الكربونية : وتكون المادة الناقلة فيها مصنوعة من الكربون ، ويكون لها قيم أومية كبيرة ولكن استطاعتها صغيرة .

المقاومات السلكية : وتكون المادة الناقلة فيها سلك يكون ملفوف على جسم المقاومة عدد معين من اللفات حسب قيمة المقاومة ويجب أن يكون هناك مسافة بين كل لفة ، ويكون لها قيم أومية صغيرة نوعا ما ، ولكن الاستطاعة تكون كبيرة .

E/ABDULKAFI

ثانياً :المقاومة المتغيرة: (Potentiometer or Variable Resistor VR) :

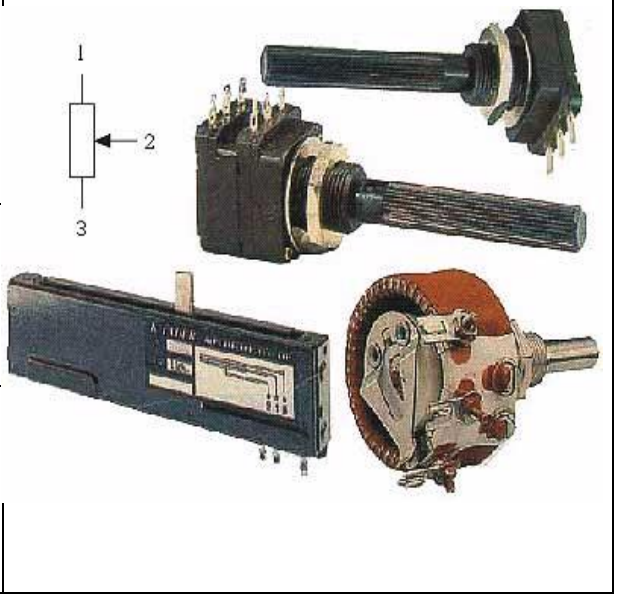
هي مقاومة يمكن تغيير قيمتها ، حيث تتراوح قيمتها بين الصفر وأقصى قيمة لها . فمثلا : عندما نقول أن قيمة المقاومة 10KΩ ، يعني أن قيمة المقاومة تتراوح بين الصفر أوم وتزداد بالتدريج يدويا حتى تصل قيمتها العظمى 10KΩ (0−10KΩ) ، ويمكن تثبيتها على قيمة معينة .

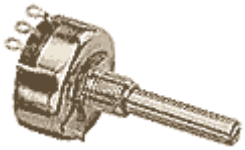
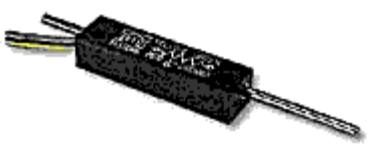
A: تتغير قيمة هذه المقاومة ميكانيكيا بواسطة وصلة متحركة (منزلقة) أو ضوئياً (ضوئية) أو حراريا (حرارية).

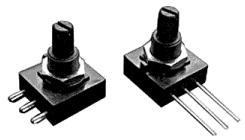
رمز المقاومة المتغيرة

ويمكن مشاهدة المقاومة المتغيرة في كافة الأجهزة الصوتية ، فعندما نريد رفع صوت الجهاز "الراديو" أو نخفضه فإننا نغير في قيمة المقاومة المتغيرة ، فعندما تصل قيمة المقاومة أقصاها فإن الصوت ينخفض إلى أقل شدة والعكس عند رفع الصوت .

هناك عدة أنواع من المقاومات المتغيرة نذكر منها:



المقاومة المتغيرة الدورانية	
المقاومة المتغيرة الخطية	

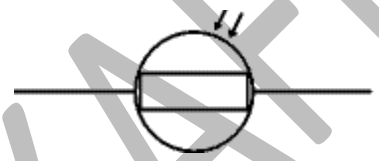
	المقاومة المتغيرة الدائرية المستخدمة في الألواح الاليكترونية	

B:المقاومة الضوئية (LDR) :

وهي تقوم على تحويل الضوء إلى مقاومة ..

تنخفض قيمتها الأومية عند ازدياد شدة الإضاءة ، وتزداد قيمتها عند انخفاض الضوء.

وتعتبر المقاومة الضوئية حساسة جداً للضوء وسهلة الاستخدام .



الرمز الإلكتروني

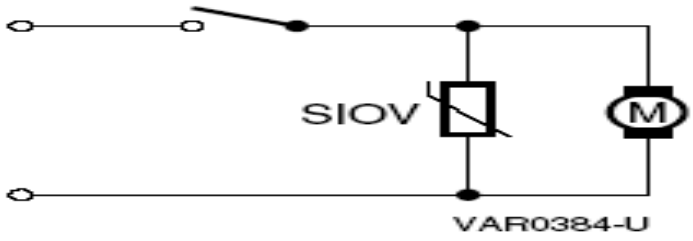
C: المقاومة الحرارية الموجبة (PTC) [Positive Temperature Coefficient Thermistor]: تزداد قيمتها الأومية عند ارتفاع درجة الحرارة .

D: المقاومة الحرارية السالبة (NTC) [Negative Temperature Coefficient Thermistor]: تنقص قيمتها الأومية عند ارتفاع درجة الحرارة .

E: مقاومة الكمون المتغير (VDR): تنقص قيمة هذه المقاومة كلما ازداد فرق الكمون المطبق على طرفيها.

يستخدم VDR في الدارات للحماية من ارتفاع الجهد فوق عتبة معينة في دارات التيار المتناوب والمستمر وهو يوصل دائماً على التوازي مع العناصر والأحمال المراد حمايتها ..

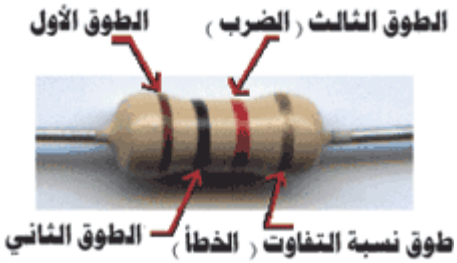
الرمز الإلكتروني



تمثل هذه الدارة لحماية المحرك، فعند ارتفاع الجهد بشكل مفاجئ تنقص قيمة المقاومة VDR مما يؤدي الى مرور التيار في الفرع الموجود فيه المقاومة وبالتالي حماية المحرك.

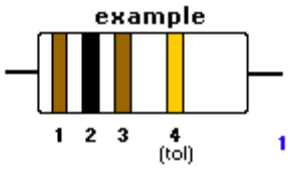
F/ABDULKAFI

قراءة قيمة المقاومة الثابتة:



يوجد على المقاومة أطواق ملونة لمعرفة قيمتها .
ولمعرفة قيمة المقاومة ننظر إلى الطوق الذهبي أو الفضي "وهو الطوق الذي يحدد نسبة التفاوت أو الخطأ في المقاومة " ، ونجعل الطوق الذهبي أو الفضي على يمينك ونبدا القراءة من اليسار إلى اليمين" .

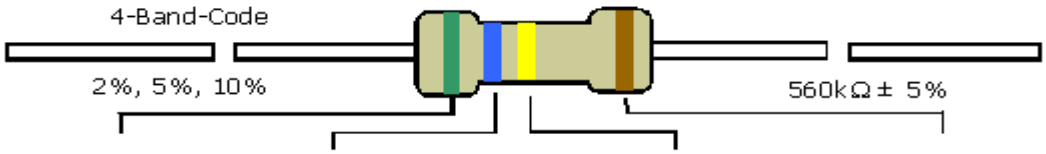
مثلاً : مقاومة لونها بني اسود بني :



أبدأ من اليسار إلى اليمين، أنظر للطوق الأول وحدد لونه وأكتب رقمه على حسب الجدول الموضوع ، اللون بني ويساوي 1 ، ثم أنظر للطوق الثاني وحدد لونه وأكتب رقمه على حسب الجدول الموضوع ، اللون أسود ويساوي صفر ، ثم أنظر للطوق الثالث والأخير وحدد لونه وأكتب رقمه عدد أصفار على حسب الجدول الموضوع ، اللون بني ويساوي 1 ، فتصبح قيمة المقاومة 100 ohms ، ونلاحظ اللون الرابع الذي هو ذهبي يحدد نسبة التفاوت والتي هي حسب الجدول 10% .

الجدول التالي يوضح الألوان المستخدمة لتعريف المقاومات وقيمها .

E/ABDULKAFI



COLOR	1st BAND	2nd BAND	3rd BAND	MULTIPLIER	TOLERANCE	
Black	0	0	0	1Ω		
Brown	1	1	1	10Ω	± 1%	(F)
Red	2	2	2	100Ω	± 2%	(G)
Orange	3	3	3	1KΩ		
Yellow	4	4	4	10KΩ		
Green	5	5	5	100KΩ	±0.5%	(D)
Blue	6	6	6	1MΩ	±0.25%	(C)
Violet	7	7	7	10MΩ	±0.10%	(B)
Grey	8	8	8		±0.05%	
White	9	9	9			
Gold				0.1	± 5%	(J)
Silver				0.01	± 10%	(K)

عادة الترميز بخمسة أحزمة لونية يستخدم في المقاومات ذات الدقة ±1% و ±2% . النموذج الأكثر توفراً هو ±5% يأتي عادة بأربعة أحزمة لونية .

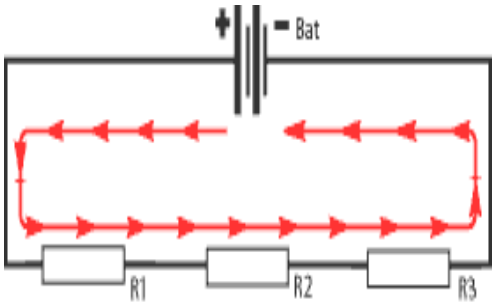
في حال المقاومات بخمسة أطواق : الأمر مماثل تماماً للحالة السابقة ولكن اللون الأول والثاني والثالث أرقام أما اللون الرابع فهو عدد الأصفار والخامس كما سبق نسبة التفاوت .

ملاحظة : المصانع لا تضع قيمة المقاومة كالقيمة الفعلية بالضبط ، لكن هناك نسبة خطأ أو تفاوت في الخطأ Tolerance .

لذلك وضعت المصانع الطوق الأخير "الذهبي أو الفضي" لمعرفة دقة المقاومة ، وهي ببساطة تقاس على حسب لون الطوق ، فاللون الذهبي يعني أنه هناك نسبة خطأ قدره 5% والفضي 10% و20% للمقاومة من غير طوق أخير .

ملاحظة : بعض المقاومات تكتب عليها قيمتها كتابةً .

E/ABDO

الوصل على التسلسل : **توصل نهاية كل مقاومة مع بداية المقاومة الثانية بمعنى أن التيار يمرّ باتجاهٍ واحد .** **المقاومة: تكون قيمة المقاومة الكلية هي مجموع قيم المقاومات .** $R(T)=R_1+R_2+R_3$ **التيّار: قيمة التيّار متساوية في أية نقطة ،وعن طريق قانون أوم نستطيع الحصول علي قيمة التيار المار في الدارة .** **الجهد: تفقد الدارة من جهدها على حسب قيمة المقاومات ، وتكون قيمة المنبع الكلية هي مجموع قيم الجهد المفقودة على المقاومات، وتختلف قيمتها على حسب قيمة المقاومات .**	

ملاحظة : ماذا نقصد بهبوط الجهد ؟

هبوط الجهد في الشبكات الكهربائية يقصد به انخفاض في الطاقة الكهربائية المحمّلة في الشحنة والتي اكتسبتها من المولد الكهربائي نتيجة قيامها بالشغل اللازم لمرورها في موصل كهربائي ما، تفقد الشحنة هذه الطاقة نتيجة لمقاومية المادة التي صنع منها الموصل ،والتي تقوم باستهلاك هذه الطاقة التي اكتسبتها الشحنة وبعثها على شكل حرارة .

مثال : عند المولد يكون الجهد 415 فولت ، ولكن عند قياسه في نهاية الخط نجده 405 فولت اي انه حصل فقد 10 فولت أثناء الطريق.

وبما أن مقاومية المواد تختلف فكذلك قيمة هبوط الجهد تختلف من موصل لآخر وتعتمد قيمة هبوط الجهد على عنصرين:

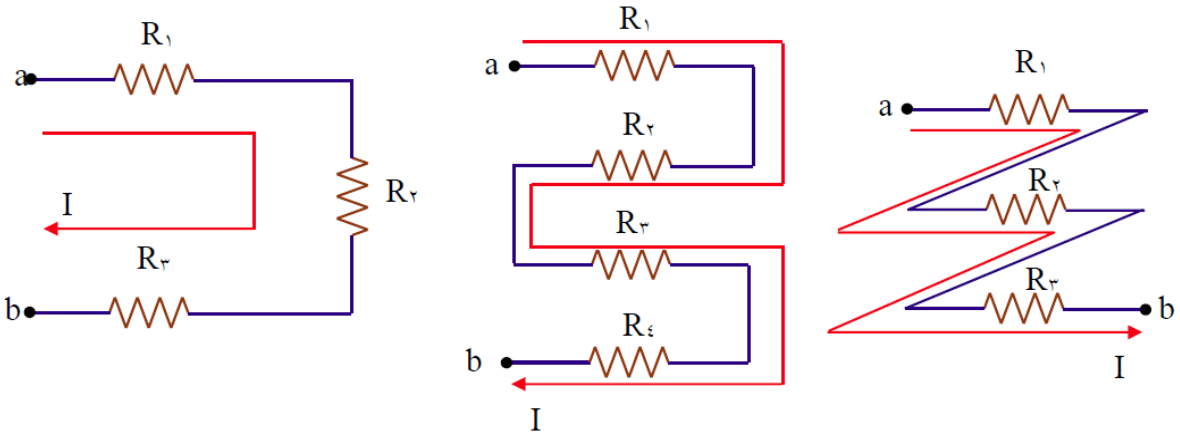
1. **مقاومية الموصل : فكلما زادت خاصية المقاومة في الموصل واشتدت معاكسته للتيار كان الفقد أكبر مما لو كانت المادة ذات موصلية كبيرة ولذلك يستخدم الألمنيوم والنحاس في الدوائر الكهربية بسبب موصليتهم العالية و انخفاض معاكستهم للتيار بسبب انخفاض قيم مقاوميتهم.**

1. **العنصر الثاني هو عدد الشحنات المارّة في الموصل : فكلّما زاد عدد الشحنات زاد الفقد والانتقاص من الطاقة المكتسبة ولذلك في محطات القدرة يتم استعمال محولات كهربائية تقوم برفع الجهد وخفض التيار في خط النقل ليكون بالإمكان نقله إلى مسافات بعيدة جدا دون أن يعاني هبوطا كبير في الجهد وبهذه الطريقة يمكن تقليل**

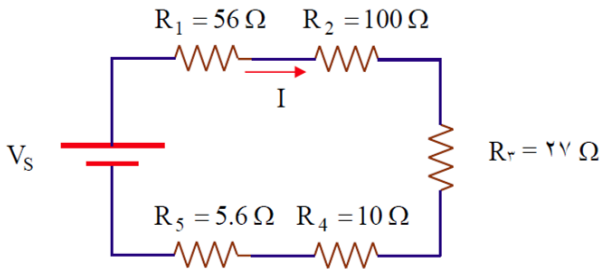
الفقد حتى 100 مرة مما لو كان ينقل على مستوى الخرج من محطة القدرة أي من دون استعمال محولات تخفض قيمة التيار.

1- التوصيل على التسلسل (التوالي):

عندما يكون هناك عدد من المقاومات متصلة بحيث تكوّن مساراً واحداً بمرور التيار، وأن التيار ثابت القيمة في جميع المقاومات، في هذه الحالة تكون المقاومات متصلة على التوالي، والشكل التالي يوضح حالات مختلفة من التوصيل. تذكر بأنه إذا كانت هناك قيمة واحدة للتيار بين أي نقطتين، تصبح جميع المقومات بين النقطتين موصلة على التوالي.



مثال أوجد قيمة المقاومة الكلية في دائرة مكونة من خمس مقاومات على التوالي كما في الشكل التالي:



الحل

من الدائرة نجد أن خمس مقاومات فيها متصلة على التوالي ولإيجاد المقاومة الكلية لهذه المقاومات

$$R_T = 56\Omega + 100\Omega + 27\Omega + 10\Omega + 5.6\Omega$$

$$= 198.6\Omega$$

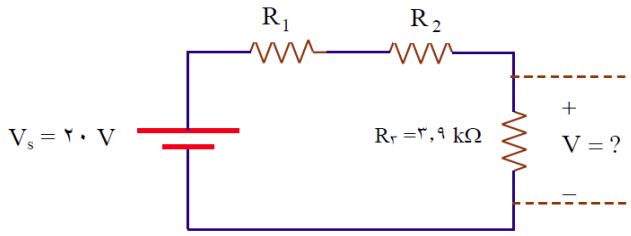
$$\therefore \ R_T = 198.6\Omega$$

2- تطبيق قانون اوم في دارات التسلسل:

سوف نوضح كيفية تطبيق قانون أوم سواء في أي جزء في الدائرة أو التعامل مع الدائرة، وذلك من خلال تطبيق بعض الأمثلة.

مثال:

المقاومة الكلية لثلاث مقاومات متصلة على التوالي في دائرة كهربائية تساوي 12.6 kΩ ، ما هي قيمة هبوط الجهد Voltage Drop على المقاومة 3.9 kΩ في الدائرة التالية:



الحل

في الدائرة السابقة نجد أن كل من المقاومات R_1، R_2 مجهولة القيمة، نوجد أولاً قيمة التيار I بدلالة كل من قيمة جهد المصدر وكذلك المقاومة الكلية كما يلي:

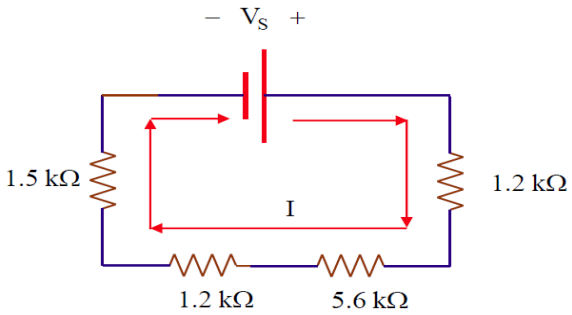
$$I = \frac{V_S}{R_T} = \frac{20}{12.6*10^3} = 1.59mA$$

$$V = I*R_3 = 1.59*10^{-3}*3.9*10^3 = 6.19V$$

∴ قيمة هبوط الجهد على المقاومة R_3 يساوي ٦,١٩ V

مثال

قيمة التيار المار في الدائرة التالية يساوي 1mA ، ما هي قيمة مصدر تغذية الجهد V_S ؟



الحل

لحساب قيمة مصدر الجهد V_S ، أولاً نوجد قيمة المقاومة الكلية R_T

$$R_T = 1.2 + 5.6 + 1.2 + 1.5 = 9.5k\Omega$$

$$\therefore R_T = 9.5k\Omega$$

وباستخدام قانون أوم لإيجاد V_S

$$V_S = IR_T = (1mA)\cdot(9.5k\Omega) = 1*10^{-3}*9.5*10^{3}$$

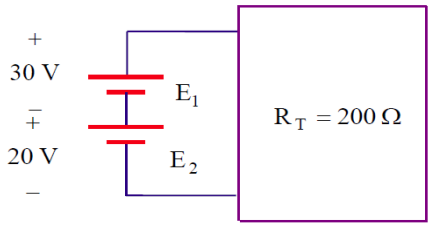
$$\therefore V_S = 9.5V$$

3- مصادر الجهد على التوالي Voltage Sources in Series

عندما يكون موجوداً في الدائرة الكهربائية أكثر من مصدر جهد وإذا كان الجهد الكلي الناتج عبارة عن مجموع مصادر الجهد ، في هذه الحالة يكون توصيل هذه المصادر على التوالي. توصيل مصادر الجهد على التوالي بأن يكون الطرف الموجب للمصدر الأول متصل مع الطرف السالب للمصدر الثاني الذي يليه ثم الطرف الموجب للمصدر الثاني يكون متصلاً مع الطرف السالب للمصدر الذي يليه وهكذا. وكمثال على ذلك انظر الشكل التالي.

مثال

في الدائرة التالية: إذا كان E_1, E_2 مصدران للجهد موصلان على التوالي، احسب التيار المار في المقاومة R_T.



الحل

حيث أن توصيل مصادر الجهد E_1, E_2 على التوالي، بالتالي يصبح قيمة المصدر الكلي عبارة عن مجموع المصدرين:

$$E_T = E_1 + E_2$$

$$E_T = 30 + 20 = 50V$$

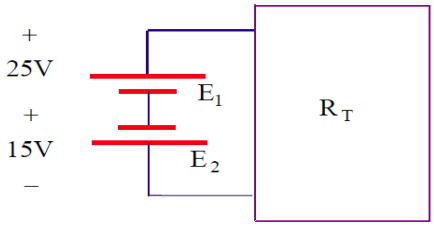
بتطبيق قانون أوم ينتج أن:

$$I = \frac{Et}{Rt} = \frac{50}{200} = 0.25A$$

في بعض الأحيان تكون المصادر متصلة بطريقة عكسية (Series–Opposing)، مثل هذا الترتيب يكون القطب الموجب للمصدر الأول متصلاً مع القطب الموجب للمصدر الثاني أو القطب السالب للأول يكون متصلاً بالقطب السالب للمصدر الثاني وهكذا و يتضح هذا النوع من التوصيل العكسي في المثال الآتي:

مثال

ما هي قيمة مصدر الجهد الكلي في الشكل التالي ؟



الحل

نجد أن المصدرين E_1، E_2 متصلاًن بطريقة عكسية أي أن القطب السالب للمصدر الأول متصل بالقطب السالب للمصدر الثاني، وإذا فرضنا أن اتجاه التيار الناتج من المصدر الأول من + إلى – في اتجاه عقارب الساعة. على العكس نجد أن التيار الناتج من المصدر الثاني يمر بعكس اتجاه حركة التيار الخارج من المصدر الأول. يكون الجهد الناتج عن المصدرين:

$$E = E_1 - E_2$$

$$E = 25 - 15 = 10\ V$$

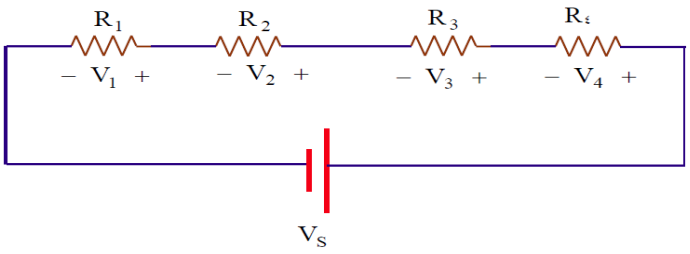
4- قانون كيرشوف للجهد Kircchoff's voltage law (KVL)

يعتبر قانون كيرشوف للجهد من القوانين الرئيسية للدائرة الكهربائية مثل قانون أوم وينص على أن " المجموع الجبري للجهود في أي دائرة (أو مسار مغلق) يساوي صفراً ".

أو بصورة أخرى:

في أي مسار مغلق يكون جهد المصدر يساوي مجموع الانخفاض في الجهد Voltage Drops على مقاومات المسار المتوالية "

يُعرَّف الانخفاض في الجهد Voltage Drops بأنه الجهد المطبق على المقاومات ونتيجة مرور التيار في المقاومات فإنه ينشأ جهد معاكس في القطبية بالنسبة لاتجاه المصدر الرئيسي للدائرة، وبالتالي فإنه يعمل على هبوط جهد المصدر إلى الصفر وهذا ما حققه قانون كيرشوف. والشكل التالي يوضح قطبية كل من المصدر وكذلك الجهد الناشئ على المقاومات.



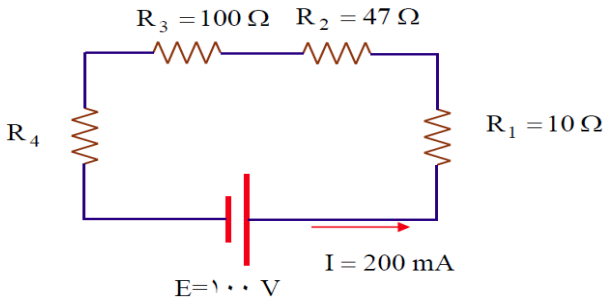
$$v_s = v_1 + v_2 + v_3 + v_4$$

إذن نجد من تطبيق قانون كيرشوف للجهد أن مجموع الجهود Voltage Drops في دائرة مغلقة يساوي قيمة مصدر الجهد.

$$v_s = v_1 + v_2 + v_3 + \ldots\ldots\ldots$$

مثال

في الشكل التالي، قيمة التيار المار في المقاومات الأربع المتصلة على التوالي $I = 200mA$ ، وإذا علمت قيم كل المقاومات R_1 ، R_2 ، R_3 فأوجد قيمة R_4 ؟



الحل

في هذه الدائرة سوف نستخدم كل من قانون أوم Ohm's Law وكذلك قانون كيرشوف للجهد

أولاً قانون أوم لإيجاد قيمة هبوط الجهد على كل مقاومة Voltage Drops

$$V_1 = IR_1 = 200 * 10^{-3} * 10 = 2V$$

$$V_2 = IR_2 = 200 * 10^{-3} * 47 = 9.4V$$

$$V_3 = IR_3 = 200 * 10^{-3} * 100 = 20V$$

لإيجاد قيمة v_4 (الجهد على المقاومة R_4) نطبق قانون كيرشوف للجهد أي أن:

$$v_s - (v_1 + v_2 + v_3 + v_4) = 0$$

$$100 - 2 - 9.4 - 20 - v_4 = 0$$

$$68.6 - v_4 = 0$$

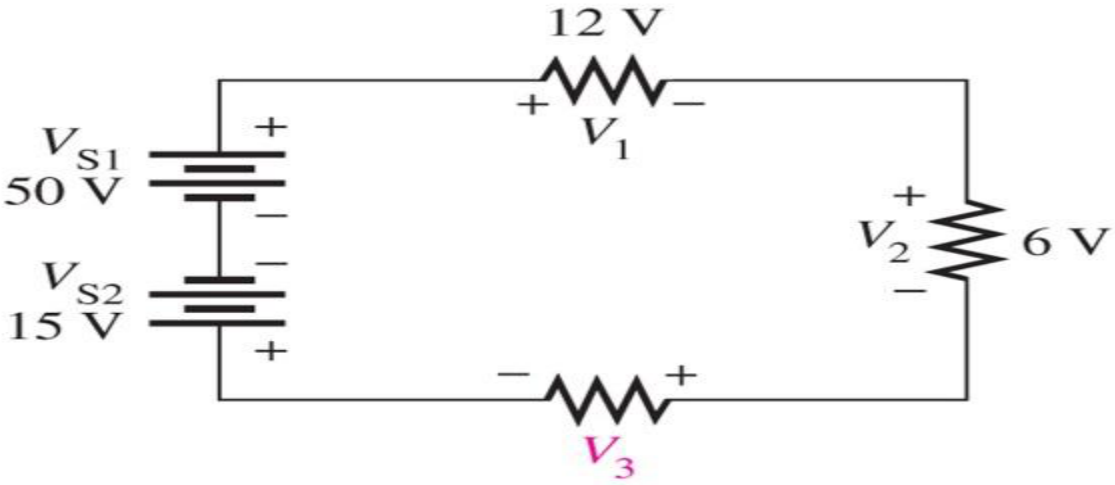
$$\therefore v_4 = 68.6V$$

$$R_4 = V_4 / I = 68.6 / 200 * 10^{-3} = 343\Omega$$

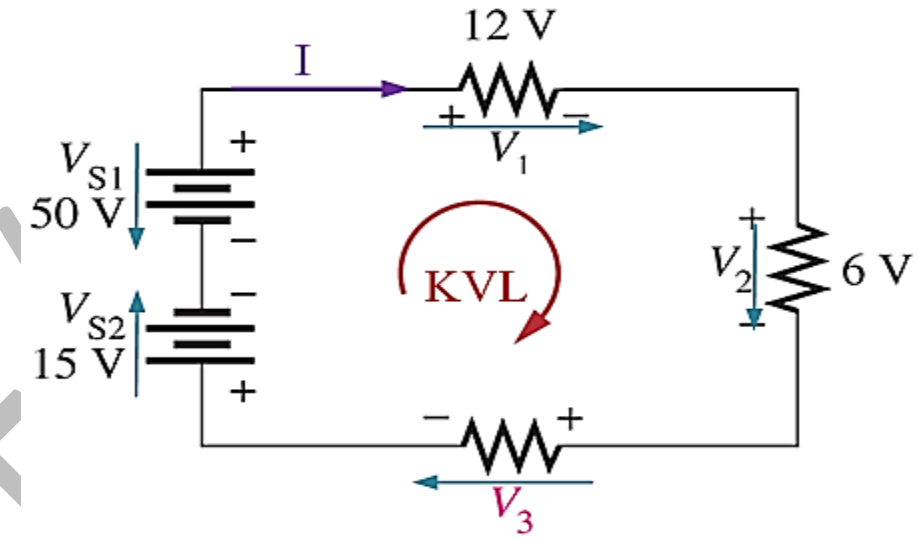
ملاحظة:

تذكر بأن قانون كيرشوف للجهد (KVL) يطبق فقط في حالة دوائر التوالي.

مثال: أوجد فرق الكمون V3 للدارة التالية باستخدام قانون كيرشوف:



نضع اتجاه هبوط الجهد على المقاومات والمنابع:



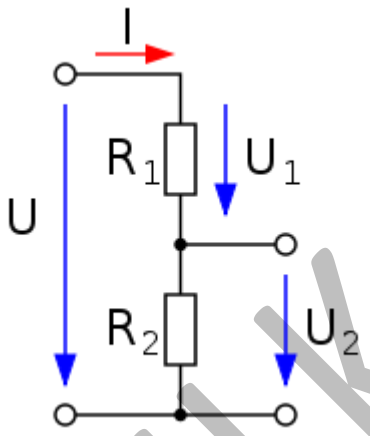
نطبق قانون كيرشوف للجهود على الحلقة المغلقة:

$$VS_2-VS_1+V_1+V_2+V_3=0$$

$$V_3=VS_1-VS_2-V_1-V_2-V_3=50-15-12-6=17\ V$$

5- مجزئ الجهد (Voltage Divider):

هو دائرة كهربية مكوّنة من عدّة مقاومات موصولة على التوالي، ويمكن بواسطتها تجزئة الجهد الكهربي بحيث يكون الجهد الخارج، جزءاً من الجهد الداخل.



بما أن التيّار المار في مقاومات موصلة على التوالي يكون متساوياً فإن هذا يؤدي إلى أن هبوط الجهد على كل مقاومة حسب قانون أوم سيعتمد على قيمة المقاومة. فمن هذا يتّضح لنا أن الجهد المطبّق في الدائرة الموصلة على التوالي سوف يُقسم على المقاومات حسب قيمة كل منها، فالمقاومة ذات القيمة الأكبر يكون هبوط الجهد عليها كبيراً. ولحساب قيمة هبوط الجهد على مقاومة في الدائرة فإننا نطبّق العلاقة التالية:

$$Vx = \frac{Rx}{Rt} \times Vs$$

حيث:

V_X : قيمة هبوط الجهد على المقاومة Rx.

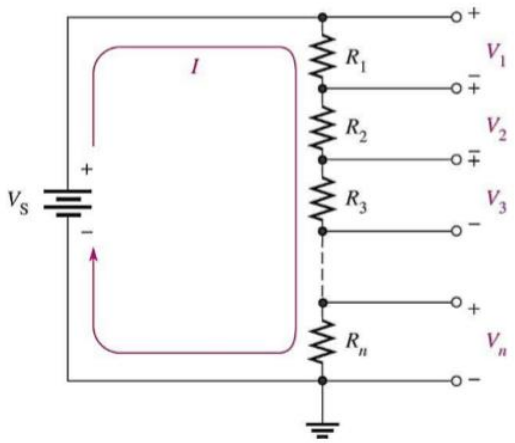
R_X : قيمه المقاومه المحسوب عندها هبوط الجهد.

Vs : قيمة منبع الجهد.

R_t : قيمه المقاومة الكلية للدارة.

E/ABDULKAFI

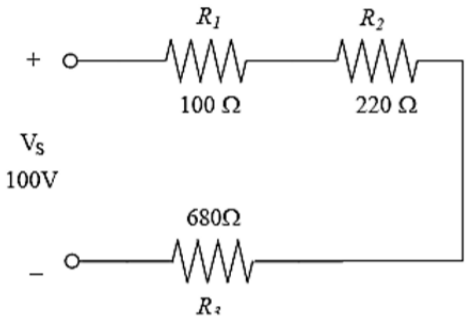
مثال : يبيّن الشكل دارةً لمقسّم جهد مكوّناً من مصدرٍ للجهد ،متّصلٍ بعدّة مقاومات موصولة على التوالي .



$$V(1) = \frac{R1}{\sum(R1 + R2 + R3 + \cdots + Rn)} V(S)$$

ويمكن حساب قيمة فرق الجهد على المقاومة R_1 عبر تطبيق العلاقة التالية :

مثال : في الدائرة التالية ، أوجد قيمة الجهد على المقاومة R_3 .



الحل:

E/ABDULKAFI

$$V_{R3} = Vs\ (\frac{R(X)}{R(T)})$$

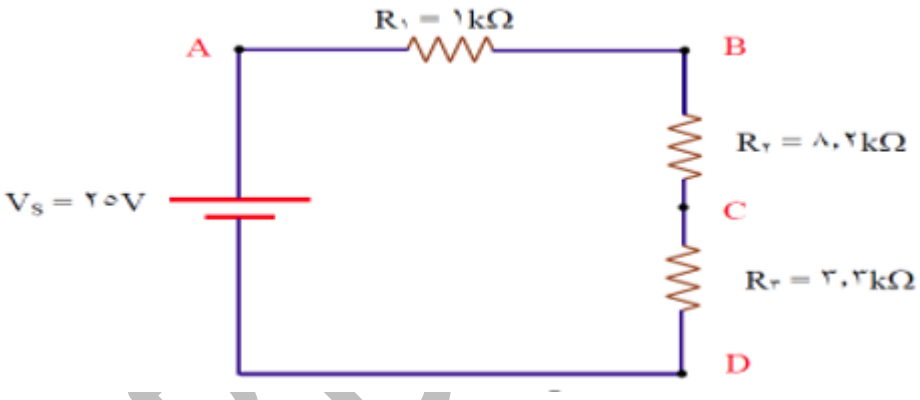
$$R_{(T)} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_{(T)} = 100\ \Omega + 220\ \Omega + 680\ \Omega = 1000\ \Omega = 1\ K\Omega$$

$$V_{R3} = 100\ (\frac{100\ \Omega}{1\ K\Omega})$$

مثال : احسب الجهد بين النقاط التالية والموضّحة في الشكل التالي :

(a) A to B , (b) A to C , (c) B to C , (d) B to D ,(e) C to D



الحل:

نوجد أولاً المقاومة الكليّة R_T ، حيث :

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_T = 1 + 8.2 + 3.3$$

$$R_T = 12.5\ \mathbf{K}\ \Omega$$

ثانياً ، نقوم بتطبيق قانون تقسيم الجهد لحساب $V_{A\ to\ B}$:

$$V_{A\ to\ B} = V_{AB} = V_S\ (\frac{R(1)}{R(T)})$$

$$V_{AB} = 25 * \frac{1\ K}{12.5\ K} = 2\ \mathbf{V}$$

ثالثاً ، نقوم بتطبيق قانون تقسيم الجهد لحساب $V_{A\ to\ C}$:

$$V_{A\ to\ C} = V_{AC} = V_S\left(\frac{R(1)+R(2)}{R(T)}\right)$$

$$V_{AC} = 25*\left(\frac{1K+8.2K}{12.5\ K}\right) = 18.4\ \mathbf{V}$$

رابعاً ،نقوم بتطبيق قانون تقسيم الجهد لحساب $V_{B\ to\ C}$:

$$V_{B\ to\ C} = V_{BC} = V_S\left(\frac{R(2)}{R(T)}\right)$$

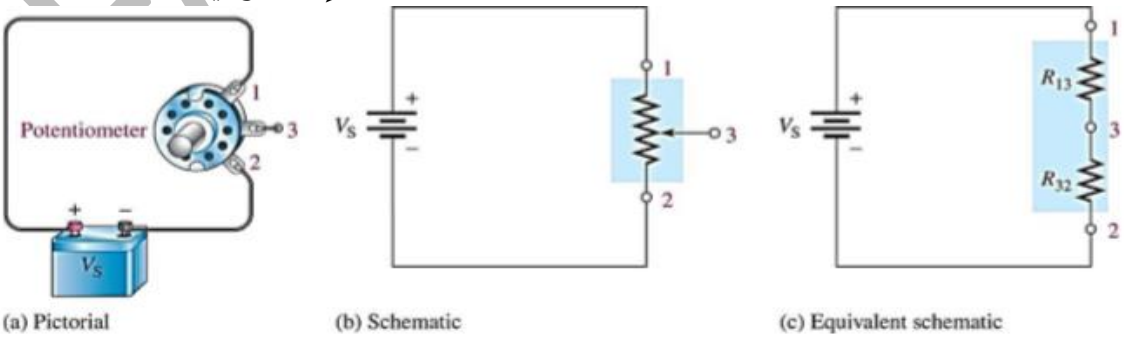
$$V_{BC} = 25 * \left(\frac{8.2\ K}{12.5\ K}\right) = 18.4\ \mathbf{V}$$

خامساً ، نقوم بتطبيق قانون تقسيم الجهد لحساب $V_{C\ to\ D}$:

$$V_{C\ to\ D} = V_{CD} = V_S\left(\frac{R(3)}{R(T)}\right)$$

$$V_{CD} = 25 * \left(\frac{3.3\ K}{12.5\ K}\right) = 6.6\ \mathbf{V}$$

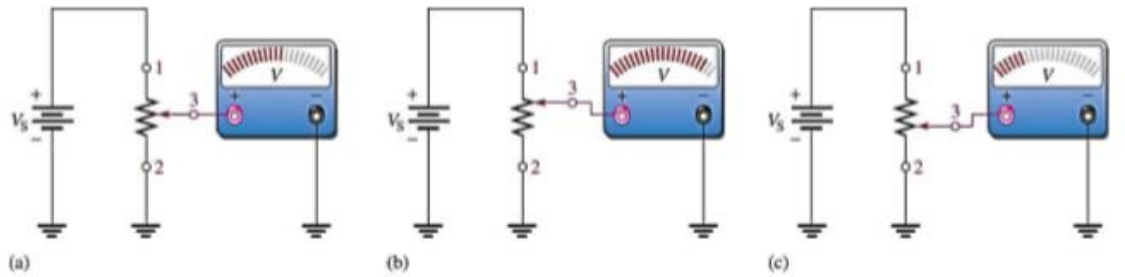
مثال على مقسّم الجهد ،هو المقاومة المتغيّرة المستخدمة بشكلٍ واسع في الدارات المختلفة.



(a) Pictorial (b) Schematic (c) Equivalent schematic

F/ABDULKAFI

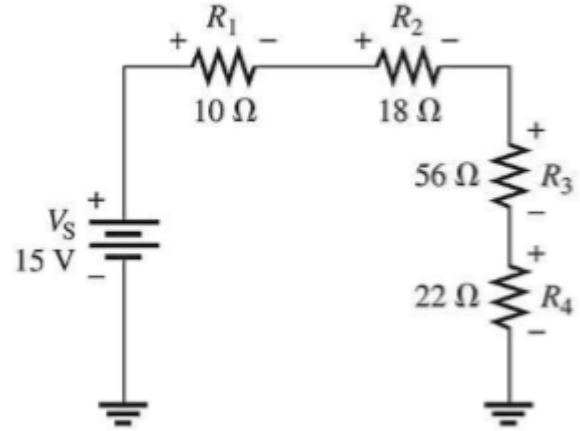
حيث نلاحظ أن الجهد يتغيّر تبعاً لتغيّر قيمة القطب 3 العائم .



6 - القدرة (الاستطاعة) في دارات التسلسل : وجدنا سابقاً أن الاستطاعة المستهلكة في الدارة الكهربائيّة تعطى بالقانون $P=I^2R$ ، وبما أن R في العلاقة السابقة تمثّل قيمة المقاومة في دارات التسلسل فإن الاستطاعة في هذه الدارات هي مجموع قيم الاستطاعة المستهلكة في كل مقاومة ، أي :

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + ... + P_n$$

مسألة : أوجد الاستطاعة الكلية في الدارة التالية :



الحل:

أولاً ، نوجد المقاومة الكلية:

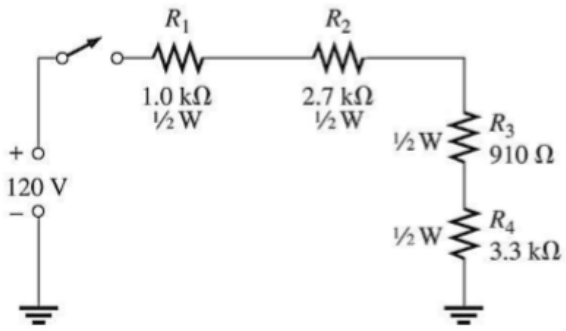
$$R_t = 10 + 18 + 56 + 22 = 106\ \Omega$$

ثانياً ، نوجد الاستطاعة الكلية:

$$P_t = \frac{V^2}{R(t)} = \frac{(15)^2}{106} = 2.12\ \mathbf{W}$$

-

مسألة : إذا كانت القدرة المقنّنة لكل مقاومة من المقاومات المبيّنة بالشكل التالي هي 0.5 W ، حدّد هل هي كافية لتحمّل القدرة الفعليّة المعرّضة لها ؟ .



الحل :

أوّلاً ، نوجد المقاومة الكلية :

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$
$$R_T = 1 + 2.7 + 0.91 + 3.3 = 7.91\ \mathbf{k}\,\Omega$$

ثانياً ، باستخدام قانون أوم نوجد التيّار المار في الدارة :

$$I = V/R_T = 120/7.91 = 15.2\ \mathbf{mA}$$

ثالثاً ، لحساب الاستطاعة في كل مقاومة نقوم بما يلي :

$$P_1 = I^2.R_1 = (15.2\ \text{mA})2\ (1\ \text{K}\Omega) = 231\ \mathbf{Mw}$$
$$P_2 = I^2.R_2 = (15.2\ \text{mA})2(2.7\ \text{K}\Omega) = 624\ \text{Mw} = 0.62\ \mathbf{W}$$
$$P_3 = I^2.R_3 = (15.2\ \text{mA})2\ (910\ \Omega) = 210\ \text{Mw} = 0.21\ \mathbf{W}$$
$$P_4 = I^2.R_4 = (15.2\ \text{mA})\ 2\ (3.3\ \text{k}\Omega) = 762\ \text{Mw} = 0.762\ \mathbf{W}$$

E/ABDO KAFI

نجد من النتائج السابقة أن كلاً من R_2 و R_4 لا تتحمّل الاستطاعة الفعليّة ،مايؤدّي إلى حرقها حيث إن القدرة الفعليّة لها هي 0.5 W وهي أصغر من الاستطاعة المارّة في الدارة .

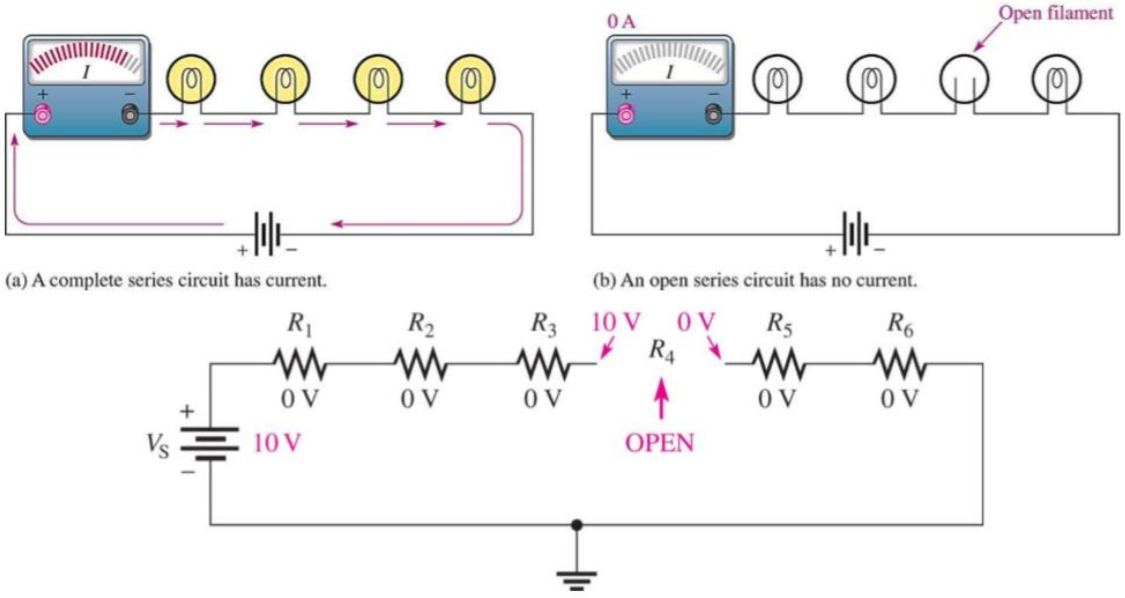
7 – اكتشاف الأعطال:

عندما نتحدّث عن دوائر التتالي ،فإنه من المهم أن نعرف أن أهم المشاكل فيها هي ما يلي :

1. الدائرة المفتوحة أو فتح الدائرة (Open Circuit) .
2. الدارة المقصورة أو قصر الدارة (Short Circuit) .

عندما نتحدّث عن فتح الدائرة فيجب أن نعرف ما هو السبب في فتحها ، فعلى سبيل المثال عندما تحترق مقاومة من مقاومات التوالي فإن ذلك يؤدي إلى خروج هذه المقاومة من الدائرة وتتسبّب في فتح الدائرة Open Circuit ، ومعنى فتح الدائرة أي أنها تصبح مفتوحة ولا يمر فيها تيار نتيجة عدم وجود مسار مغلق ، وعند اختبار الدائرة واكتشاف الأعطال فيها هناك ملاحظتان :

- عند فحص الجهد على المقاومات نجد أن فرق الجهد على كل مقاومة صالحة يساوي صفراً نتيجة عدم مرور تيّار وطبقاً لقانون أوم يكون V=IR=0
- عند فحص المقاومة المحترقة نجد أن الجهد على طرفيها هو جهد المصدر والدائرة التالية توضّح عمليّة اختبار المقاومات في الدائرة .



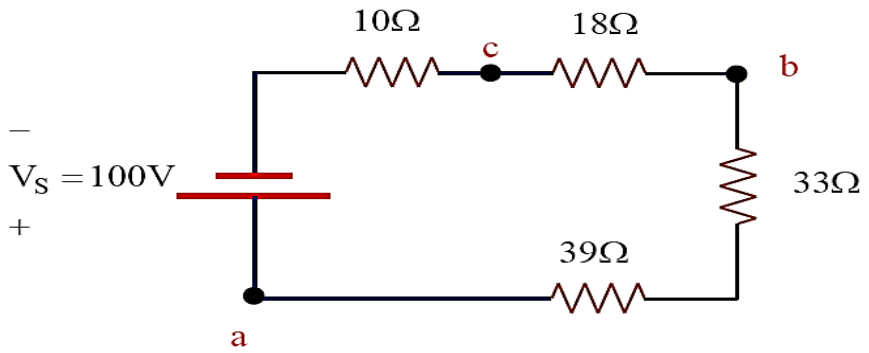
أما قصر الدائرة Short Circuit فيحدث عند تلامس موصلين أو عنصرين مختلفين فينتج عنهما زيادة مفاجأة لقيمة التيار المار في الدائرة وربّما تنتهي بحدوث مشكلة نتيجة ارتفاع قيمة التيار ، علماً أن هذه الظاهرة معروفة وشائعة في الدوائر ذات الكثافة العالية وسوف

نوضّحها من خلال المثال التالي:

دائرة تحتوي أربع مقاومات متّصلة على التوالي وقيم المقاومات مشار إليها في الدائرة ،وهي متّصلة على مصدر جهد قيمته V_S=100 V ، والمطلوب :

أ) احسب قيمة التيار الناتج في الدارة .

ب) إذا حدث قصر Short بين النقطتين A,B في الدائرة ،ماذا سيحدث للتيّار ؟ ولماذا ؟



الحل:

أولاً ، نحسب قيمة المقاومة الكلية R_T لإيجاد قيمة التيار:

$$R_T = 10 + 18 + 33 + 39 = 100\ \Omega$$
$$I = 100/100 = 1\mathbf{A}$$

ثانياً ، عند حدوث قصر أي short بين النقطتين A,B نجد أن التيار يمر من خلال قصر الدائرة الموضعي بين A,B كما هو واضح في الدائرة .

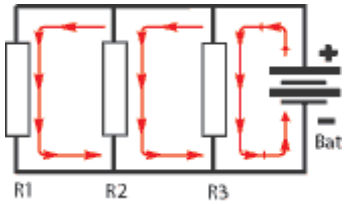
لحساب قيمة المقاومة الكلية في هذه الحالة :

$$R_T = 18 + 10 = 28\ \Omega$$
$$I = V/R = 100/28 = 3.57\mathbf{A}$$

التوصيل على التفرع (التوازي):

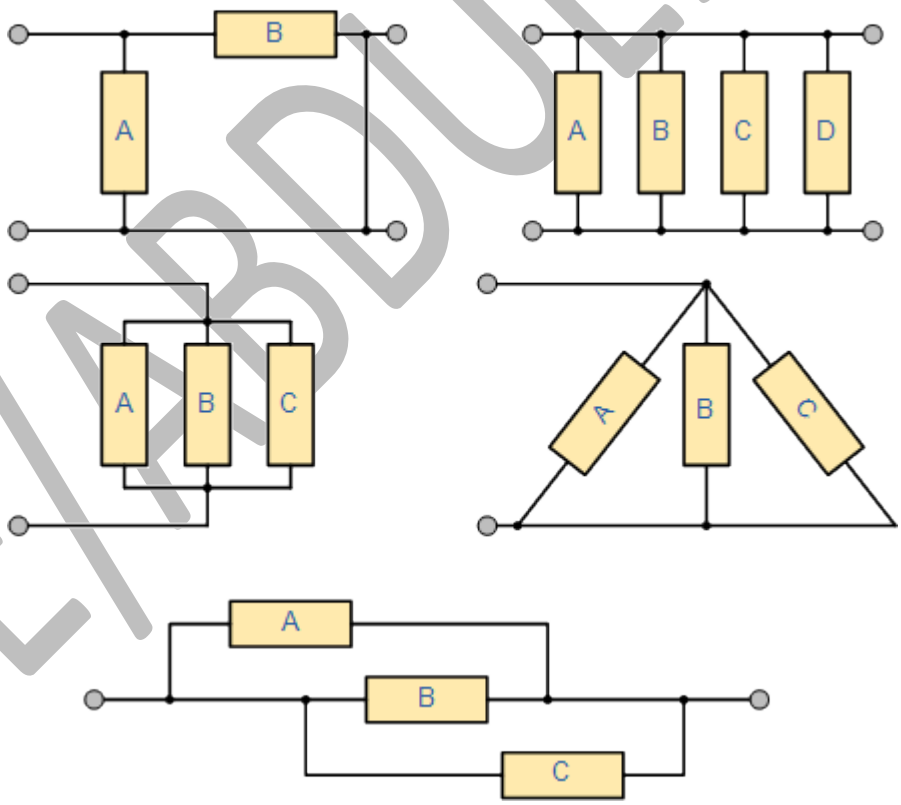
الوصل على التوازي:
أي أن المقاومة توازي المقاومة التالية حتى يوصل طرفيها لمصدر الجهد بمعنى أن التيار يمر في اتجاهين أو أكثر بقدر عدد الممرات في الدائرة .

المقاومة: تكون قيمة المقاومة الكليه هي 1/ Rt=1/R1+1/R2+1/R3
التيار: ينقسم التيار الكهربائي على حسب الممرات الموجودة .
الجهد: يكون فرق الجهد ثابت في كل أطراف الدارة .



دارات التفرع (التوازي):

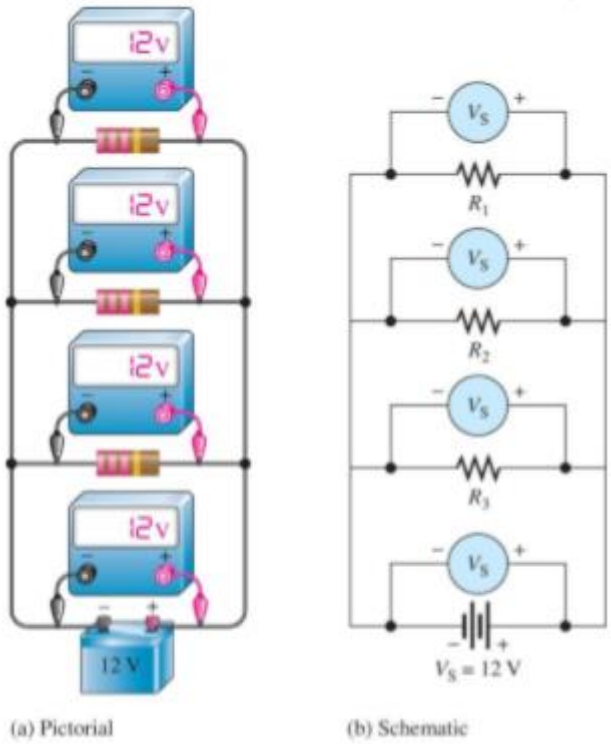
يعرف التوازي بأنّه إذا كان هناك أكثر من فرع (مقاومة) بين نقطتين وكذلك أن الجهد بين النقطتين يكون مطبّقاً على جميع الأفرع (المقاومات) ، وفي هذه الحالة تكون جميع الأفرع (المقاومات) متّصلة على التوازي ، أو بمعنى آخر تكون بدايات جميع المقاومات متّصلة مع بعضها في نقطة واحدة ،وجميع نهايات هذه المقاومات متّصلة في نقطة أخرى ، وتوضّح الدوائر المبيّنة التوصيل على التوازي :



E/ABDULKAFI

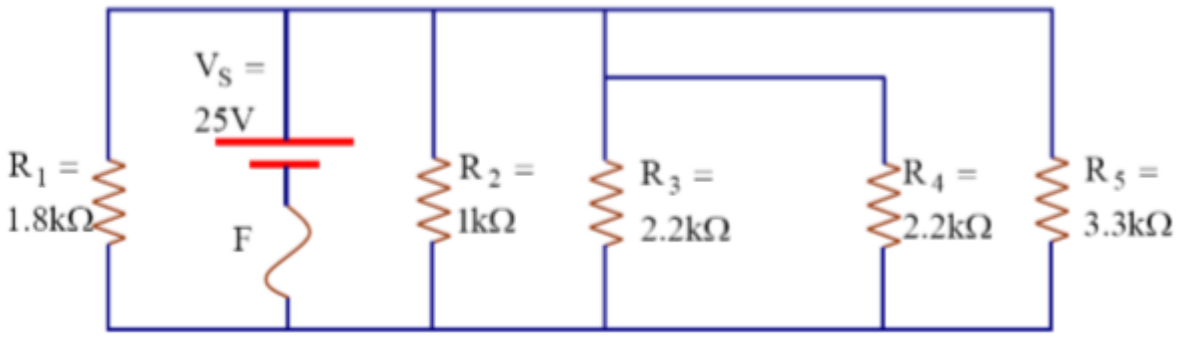
1- حساب انخفاض الجهد في دوائر التوازي (التفرّع) :

لقياس انخفاض الجهد في دوائر التوازي ،نجد من التعريف أن جميع المقاومات المتّصلة على التوازي تكون محصورة بين نقطتين وقياس الجهد بين النقطتين يعني قياس الجهد على أي مقاومة من المقاومات المتّصلة على التوازي ، ومن قياس الجهد نجد أن جميع المقاومات يكون لها نفس الجهد .



(a) Pictorial (b) Schematic

مسألة : أوجد قيمة انخفاض الجهد على كل مقاومة :

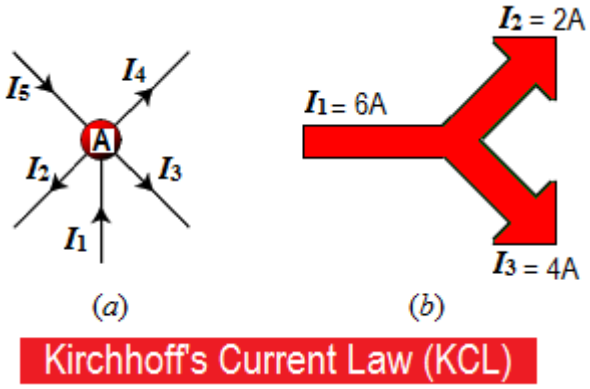


نجد من الشكل أن جميع المقاومات الخمسة محصورة بين نقطتين وأن الجهد بين النقطتين يمثّل الجهد على أي مقاومة من المقاومات الخمسة ،وبالتالي يكون :

$$V_1 = V_2 = V_3 = V4 = V_5 = 25\ V$$

2-قانون كيرشوف للتيّار KCL :

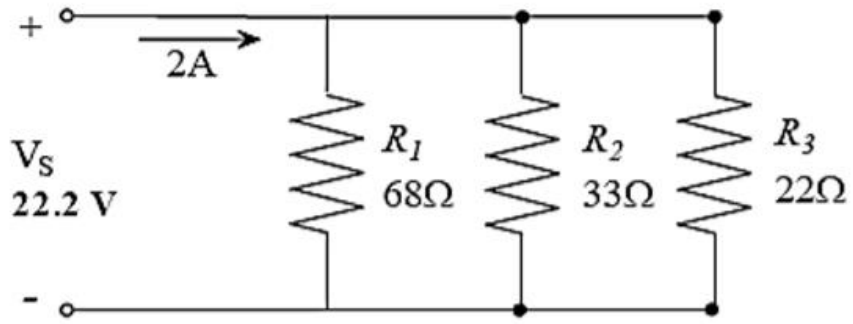
في أية نقطة في الدائرة فإن المجموع الجبري للتيّارات يساوي الصفر ، أي أن مجموع التيّارات الداخلة إلى النقطة والخارجة من النقطة يساوي الصفر ،ويتّضح هذا من الشكل التالي :



Kirchhoff's Current Law (KCL)

ويمكن اعتبار أن إشارة التيّار الداخل إلى النقطة تكون سالبة ،وإشارة التيّار الخارج من النقطة تكون موجبة ،وبالتالي :

$$I_3 - I_2 - I_1 = 0$$



الحل :

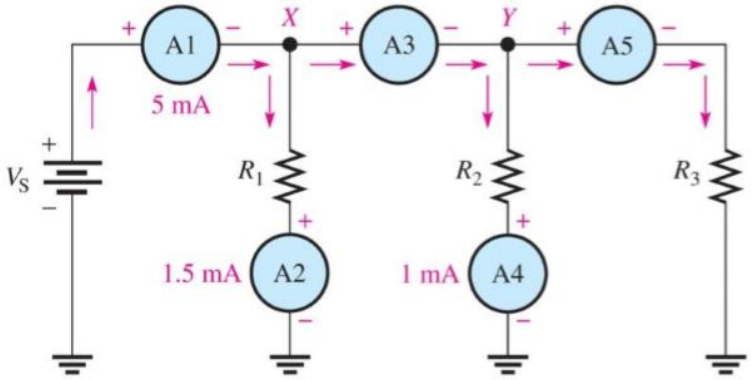
$$I_{R1}=V_S/R_1 = 22.2/68 = 0.326\ A$$

$$I_{R2}=V_S/R_2=22.2/33=0.673\ A$$

$$I_{R3}=V_S/R_3=22.2/22=1.01\ A$$

$$I_T=I_{R1}+I_{R2}+I_{R3}=0.362+0.673+1.01 = 2\ A$$

مسألة : استخدم قانون كيرشوف للتيّار لإيجاد التيّار المار في كل من الأمّيترات A_3وA_5 الموضّحة بالشكل التالي :



الحل :

من الشكل نجد أن التيار الكلي الذي يقيسه A_1 هو 5mA ويتجزّأ عند العقدة x إلى قسمين ،قسم يقيسه A_2 وهو 1.5 mA ،وقسم يقيسه A_3 وتحسب قيمته كما يلي :

$$I_{A3}=5-1.5=3.5\ mA$$

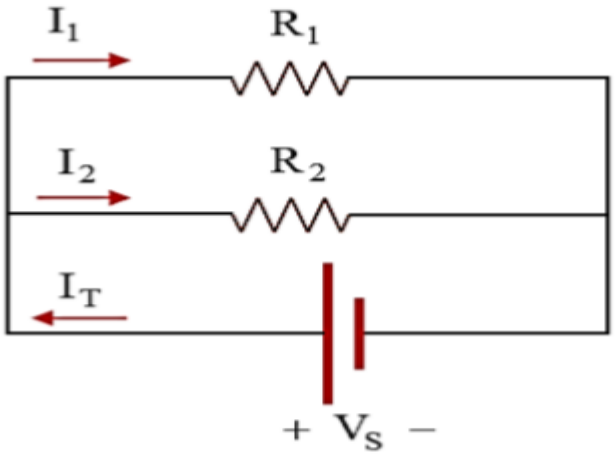
وكذلك فإن العقدة Y تقسم التيّار المار في A_3 إلى قسمين أحدهما يمر في A_4 وقيمته 1mA والثاني يمر في A_5 وتحسب قيمته كما يلي :

$$I_{A5}=3.5-1=2.5\ mA$$

3 – المقاومة الكلّيّة لعدد من المقاومات الموصولة على التوازي :

أوّلاً : المقاومة الكلية R_T لمقاومتين موصولتين على التوازي :

عندما يكون هناك مقاومتان متّصلتان على التوازي فإن المقاومة الكلية المكافئة لها تكون أقل من أصغرهما ،وهذا يعني أن المقاومة المكافئة تقل دائماً كلما تزايد عدد المقاومات المتّصلة على التوازي .



F.ABDULKAFI

في الدائرة السابقة نجد أن المقاومتين R_1 ، R_2 متّصلتان على التوازي ،ولإيجاد المقاومة المكافئة (المقاومة الكلية) R_T ،نتّبع ما يلي :

بتطبيق قانون كيرشوف للتيّار ،نحصل على الآتي :

$$I_T=I_1+I_2$$

ثم بتطبيق قانون أوم للتعويض عن التيّارات بدلالة الجهد والمقاومة ينتج :

$$V_S/R_T = V_S/R_1 = V_s/R_1$$

حيث إن الجهد ثابت على المقاومتين ،وهو نفس قيمة جهد المصدر V_S :

$$1/R_T = 1/R_1 = 1/R_2$$

تسمّى المعادلة العامّة لإيجاد المقاومة المكافئة أو المقاومة الكلية لمقاومتين ،ويمكن استخدامها لأكثر من مقاومتين ،أي عدد من المقاومات متّصلة على التوازي ، حيث نجد من المعادلة السّابقة أن :

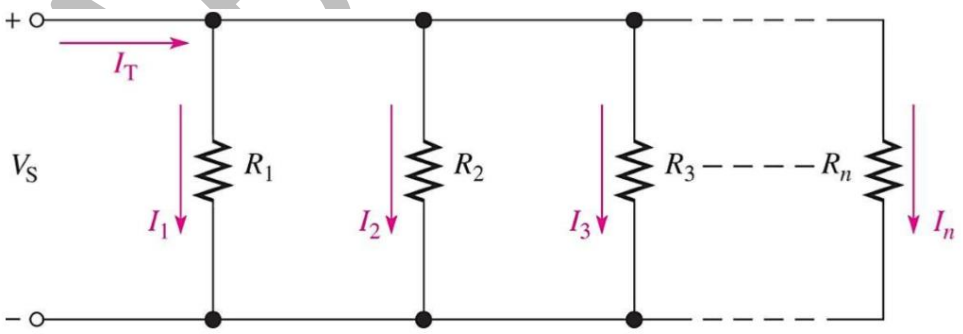
$$1/R_T = (R_1+R_2)/(R_1*R_2)$$

أي أن :

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

فينتج أن R_T لمقاومتين موصولتين على التوازي تساوي حاصل ضرب هاتين المقاومتين وقسمتهما على مجموعهما .

ثانياً : المقاومة الكلية R_T لعدد من المقاومات الموصولة على التوازي (التفرّع) :

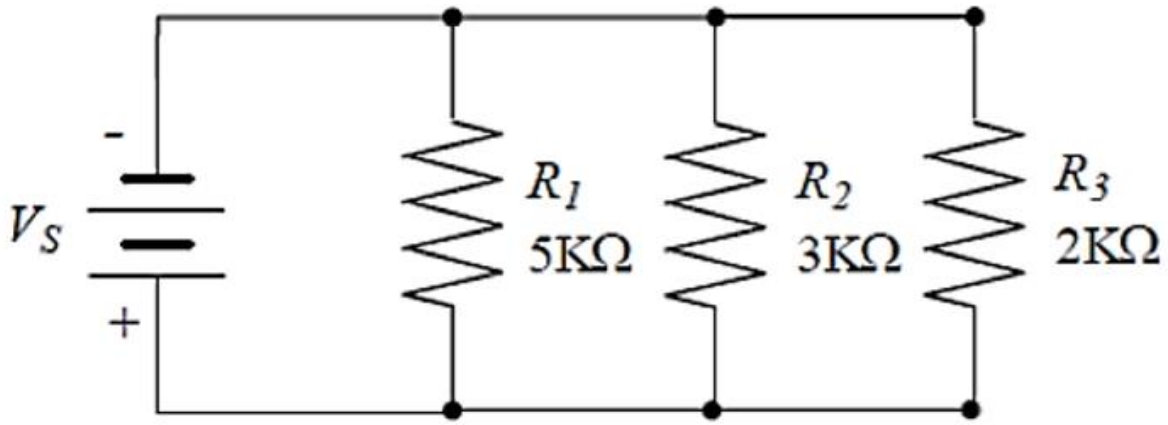


$$1/R_T = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \ldots + 1/R_n$$

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R1}+\frac{1}{R2}+\frac{1}{R3}+\cdots+1/Rn}$$

مسألة :

احسب المقاومة الكلية للدارة المبيّنة في الشكل :



$$1/R_T = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$$

$$1/R_T = 1/5k + 1/3k + 1/2k$$

$$1/R_T = 1.03 * 10^{-3}$$

$$R_T = 971\ \Omega$$

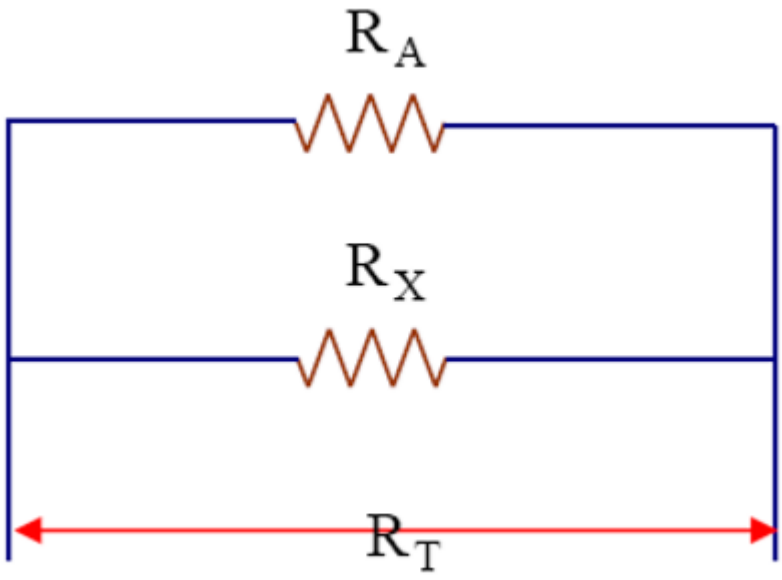
ملاحظة : يتّضح أن توصيل التوازي يؤدّي إلى تصغير قيمة المقاومة ،وهي ميّزة كبيرة في حالة عدم وجود مقاومة قياسية صغيرة بالقيمة المطلوبة ،فيمكن بالتالي تكوينها عن طريق توصيل التوالي .

4 – إيجاد مقاومة مجهولة في دوائر التوازي :

قد يصادف أحياناً وجود مقاومة غير معلومة القيمة في دائرة كهربائية ،وبالتالي يكون من الضروري إيجاد قيمة هذه المقاومة بدلالة المقاومة الكلية للدائرة والمقاومات الأخرى المكوّنة للدائرة ،فإذا كانت الدائرة الكهربائية تحتوي على مقاوماتين موصلتين على التوازي ،وكانت إحدى قيم المقاومتين والمقاومة الكلية للدائرة معلومة فإنه يمكن إيجاد قيمة المقاومة الأخرى المجهولة باستخدام العلاقة الخاصة بالمقاومة الكلية لمقاومتين على التوازي :

$$R_T = R_1{*}R_2/R_1{+}R_2$$

فإذا فرضنا أن إحدى المقاومتين معلومة قيمتها وهي R_A ،والأخرى غير معلومة ولتكن R_X كما في الشكل التالي :



في هذه الحالة يمكن استخدام العلاقة السابقة ،وعن طريقها يمكن إيجاد المقاومة المجهولة R_X كما يلي :

$$R_T = R_A{*}R_X/(R_A+R_B)$$

$$R_T(R_A+R_X)=R_A{*}R_X$$

$$R_T{*}R_A + R_T{*}R_X = R_A{*}R_X$$

$$R_T{*}R_A = (R_A-R_T)$$

$$R_X = (R_T{*}R_A)/R_A - R_T$$

5 – مجزّئ التيار في دوائر التوازي :

أولاً : مجزئ التيار لدارة تحتوي عدداً من الأفرع على التوازي :

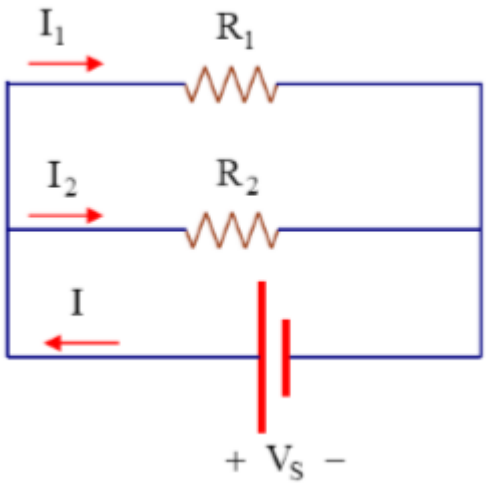
لإيجاد كل من التيارات الفرعية I_1, I_2 بدلالة التيار I وبتطبيق قانون أوم نجد أنّ :

$$V=I{*}R_T$$

$$V=I_1{*}R_1$$

$$V = I_2{*}R_2$$

E/ABDULK



حيث الطرف الأيسر لها ثابت ، نجد أن :

$$I*R_T = I_1*R_1$$

$$I_1=I*R_T/R_1$$

$$I_2=I*R_T/R_2$$

وبتكرار الطريقة السابقة نجد أنه إذا كان هناك عدد من المقاومات متصلة على التوازي فإن التيار الكلي الداخل إلى نقطة تفرّع Node ينقسم إلى عدد من الأفرع الخارجة من العقدة ،وبالتالي نجد أنه يمكن وضع قانون تجزيء التيّار في العلاقة التالية :

$$I_X = I*R_T/R_X$$

حيث :

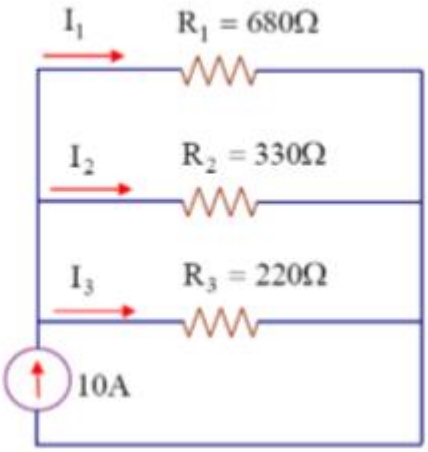
R_T : المقاومة الكلية المكافئة للمقاومات المتصلة على التوازي .

R_X : تمثّل المقاومة المطلوب إيجاد التيار المار فيها .

I_X : قيمة التيار المار في الفرع X وهكذا حيث إن X تمثّل رقم الفرع الذي يمر فيه التيار المطلوب .

مسألة :
أوجد قيمة التيار المار في كل فرع من فروع الدارة التالية :

E/ABDULKAFI



في الدائرة السابقة نجد أن مصدر التيار يساوي 10 A ولإيجاد التيار في كل فرع من أفرع الدارة نوجد أولاً قيمة المقاومة الكلية ،ثم بعد ذلك نطبّق قاعدة تجزئة التيار .

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R1}+\frac{1}{R2}+\frac{1}{R3}} = \frac{1}{\frac{1}{680}+\frac{1}{330}+\frac{1}{220}} = 111\ \Omega$$

أو يمكن حسابها من العلاقة :

$$R_T = \frac{R1*R2*R3}{R1*R2+R1*R3+R2*R3} = \frac{680*330*220}{680*330+680*220+330*220}$$

$$= 111\ \Omega$$

والآن نطبّق قاعدة تجزئة التيّار كما يلي :

$$I_1 = I_T * R_T / R_1 = 10*111/680 = 1.63\ A$$

$$I_2 = I_T * R_T / R_2 = 10*111/330 = 3.36\ A$$

$$I_3 = I_T * R_T / R_3 = 10*111/220 = 5.05\ A$$

كما يمكننا بعد إيجاد كل من I_1 , I_2 استخدام قانون كيرشوف لإيجاد التيار I_3 كما يلي :

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

$$10 = 1.63 + 3.36 + I_3$$

$$I_3 = 10 - (1.63 + 3.36) = 5.05\ A$$

E/ABDULKAFI

بملاحظة التيارات الثلاثة السابقة نجد أن أقل مقاومة يمر فيها أكبر تيار ،وكذلك نجد أن أكبر مقاومة يمر فيها أقل تيار ،حيث إن التيار المار في المقاومة $R_1 = 680\ \Omega$ يساوي $I_1 = 1.63\ A$ ، كما أن المقاومة $R_3 = 220\ \Omega$ يمر فيها تيار قيمته $I_3 = 5.05\ A$ ، حيث إن التيار يتناسب عكساً مع قيمة المقاومة .

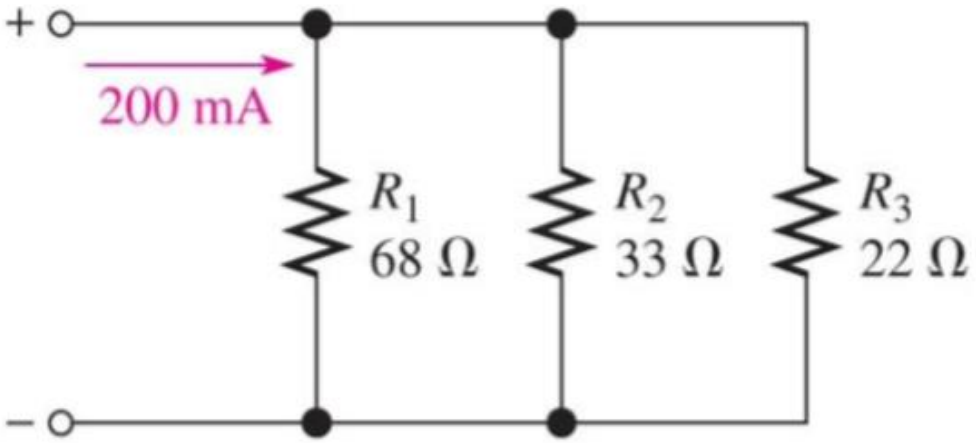
6 – الاستطاعة في دارات التوازي :

يتم حساب الاستطاعة في دارات المقاومات الموصولة على التوازي بجمع الاستطاعات المستهلكة على كل مقاومة في الدارة ،أي أنه يمكن كتابة علاقة الاستطاعة الكلية المستهلك في الدارة وفق ما يلي :

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots + P_n$$

مسألة :

أوجد قيمة الاستطاعة في الدارة الكهربائية التالية :



يمكننا حل المسألة بطريقتين :

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R1}+\frac{1}{R2}+\frac{1}{R3}} = \frac{1}{\frac{1}{68}+\frac{1}{33}+\frac{1}{22}} = 11.1\ \Omega$$

وتكون الاستطاعة الكلية هي :

$$P_T = I^2.R_T = (\ 200*10^{-3}\ )*11.1 = 444\ mA$$

ثانياً : حساب استطاعة كل مقاومة ومن ثم جمع الاستطاعات للحصول على الاستطاعة الكلية من العلاقة :

تعطى استطاعة كل مقاومة بالعلاقات $P=I.V$ ، $P=V^2/R$ ، $P=I^2.V$ ،ولحساب الاستطاعة في كل مقاومة يلزمنا حساب التيار المار في كل فرع من فروع الدارة أو بما أن الدارة تفرعية نحسب الجهد الكلي المساوي للجهد المطبّق على كل مقاومة ومن ثم نحسب الاستطاعة لكل مقاومة وهذا ما سنستخدمه هنا :

$$P_T = I_T.R_T = (200mA)(11.1\ \Omega) = 2.22\ V$$

$$P1 = (2.22)^2 /68 = 72.5\ mW$$

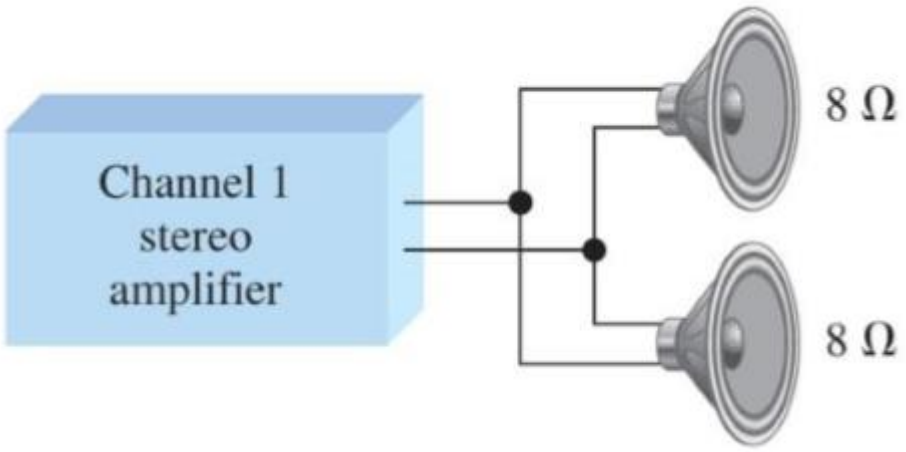
$$P2 = (2.22)^2 /33 = 149\ mW$$

$$P3 = (2.22)^2 /68 = 224\ Mw$$

$$P_T = 72.5\ mW + 149\ mW + 224\ mW = 446\ mW$$

مسألة :

إذا كان لدينا مضخّم صوت من نوع Stereo موصول إلى سماعتين وإذا كان الجهد الأعظمي لكل سماعة هو 15 فولت ، ما هي الاستطاعة العظمى التي يمكن للمضخّم أن يرسلها للسماعتين ؟



من الشكل نلاحظ أن السماعتين موصولتين على التفرع إلى مضخم الصوت لذا فإن الجهد المطبق عليها متساوي لذا فالاستطاعة العظمى في كل سماعة هي

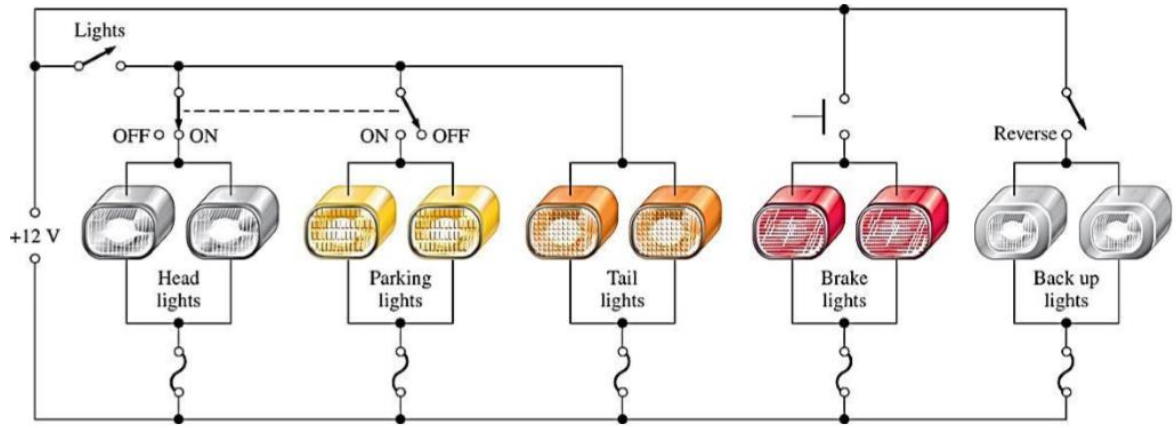
$$P_{MAX} = V^2_{MAX} / R = 15^2 / 8 = 28.1\ W$$

وبما أن السماعتان موصولتان على التفرع لمضخم الصوت فبالتالي ستكون الاستطاعة الكلية مساوية لمجموع الاستطاعتين في كل سماعة أي :

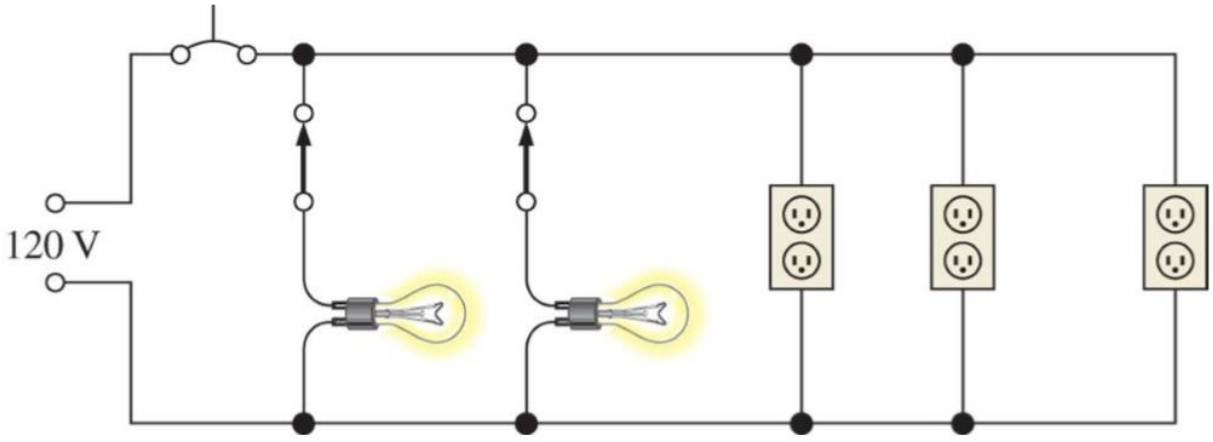
$$P_T = 2P_{MAX} = 2(28.1) = 56.2\ W$$

7 – تطبيقات دارات التوازي :

أولاً : نظام الإنارة الخارجية للسيارة كما في الشكل التالي :

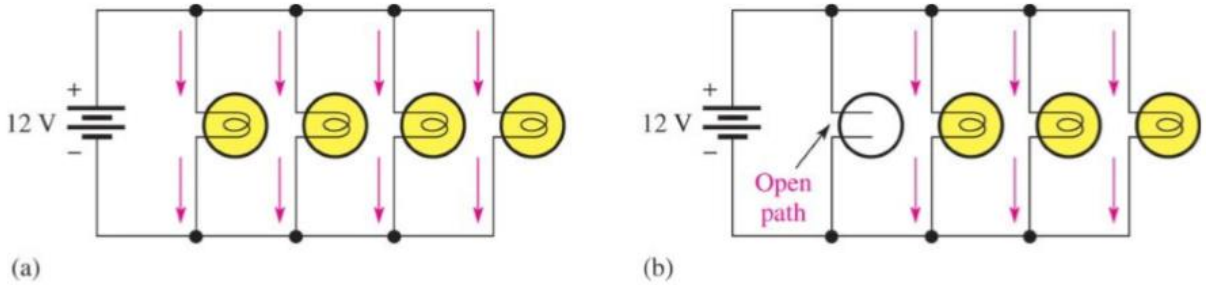


ثانياً : نظام الكهرباء المنزلية :

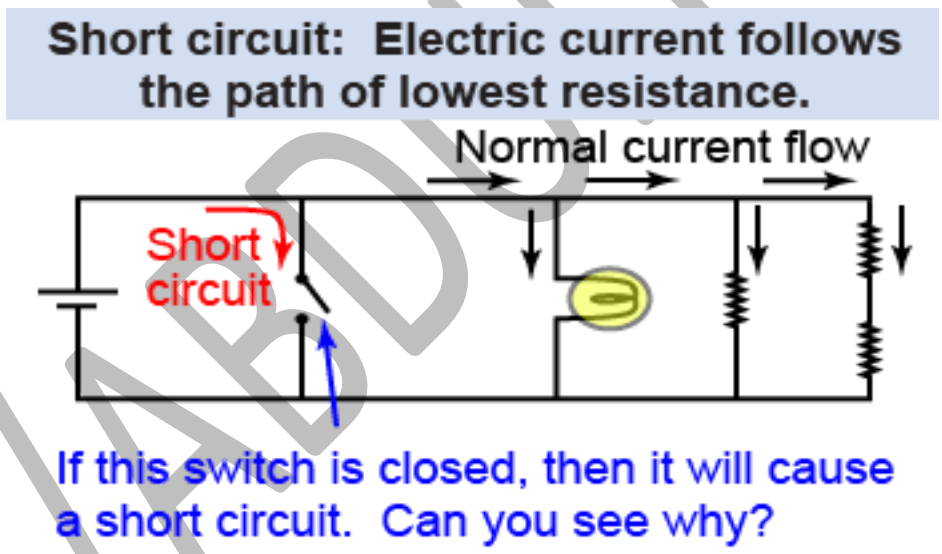


8 – اكتشاف الأعطال :

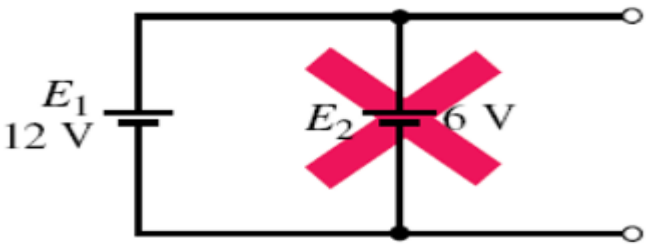
الدارة المفتوحة : يسبّب فتح الدارة في أحد الأفرع عدم مرور التيار في هذا الفرع ،وهذا يسبب نقصاناً في تيار الدارة الكلية مع بقاء الجهد الكلي والتيار المار في كل فرع ثابتاً نتيجة ثبات الجهد المطبّق على كل فرع ،ومن هنا تعتبر الدارات التفرعية أفضل للإنارة مقارنةً مع الدارات التسلسلية حيث أنه في الدارات التسلسلية وبمجرد توقف إحدى المقاومة (مصباح) عن العمل فإنه سينعدم التيار الكلي وتتوقف جميع المصابيح عن العمل .



الدارة المقصورة : يسبب قِصر الدارة مرور تيارٍ أعظمي في الفرع الذي حصل فيه القصر ،وبالتالي يؤدّي إلى فصل القاطع أو الفاصمة المنصهرة (الفيوز) .



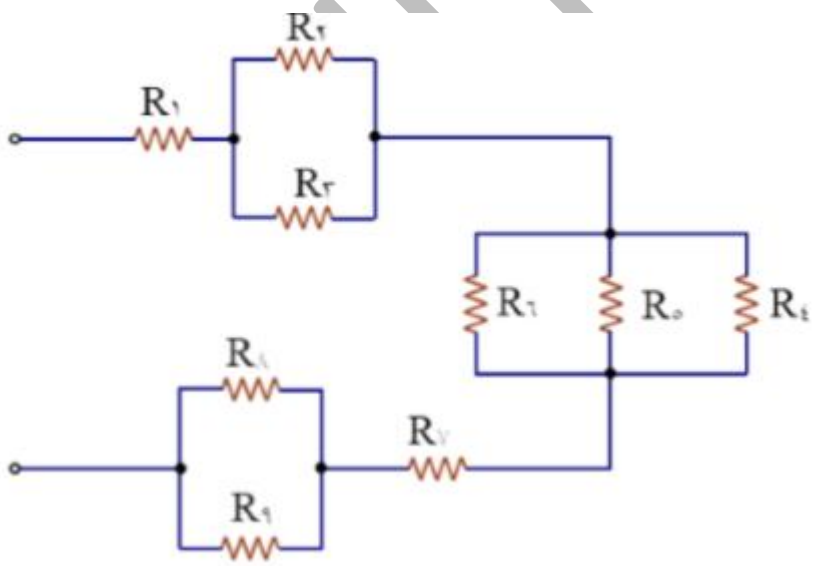
ملاحظة : تجنّب وصل مصدري جهد مختلفين في القيمة على التفرع بدون مقاومة تسلسلية حيث يمكن أن ينتج تيار كبيرضمن الدارة .



غالباً ما تشتمل أيّة دائرة كهربائية على مقاومات متّصلة على التوالي ،وأخرى على التوازي ،وتمثّل هذه الدائرة في معظم الأحيان دائرة عمليّة ،لذلك عند إيجاد المقاومة الكلية لمثل هذه الدوائر نتّبع الطريقة التالية :

1. نحدّد المقاومات المتصلة على التوازي (التفرّع) ،ونحسب المقاومة المكافئة لها، ثم نرسم الدائرة بعد تبسيطها .
2. نحدّد المقاومات المتّصلة على التوالي (التسلسل) ،ونحسب المقاومة المكافئة لها، ثم نرسم الدائرة بعد تبسيطها .
3. في النهاية تصبح الدائرة الأصلية دائرةً بسيطة يمكن إيجاد المقاومة الكلية لها .

مسألة 1 : صِف عناصر التوالي والتوازي في الدائرة المبيّنة أدناه .



الحل : نجد من الدائرة أن المقاومتين R_1 , R_7 متّصلتين على التوالي ،حيث إن التيار المار فيهما يمثّل التيار الكلي للدائرة ،وكذلك توجد ثلاث مجموعات من العناصر تمثّل التوازي ،وعند إيجاد المقاومة الكلية للدائرة نحصل على الآتي :

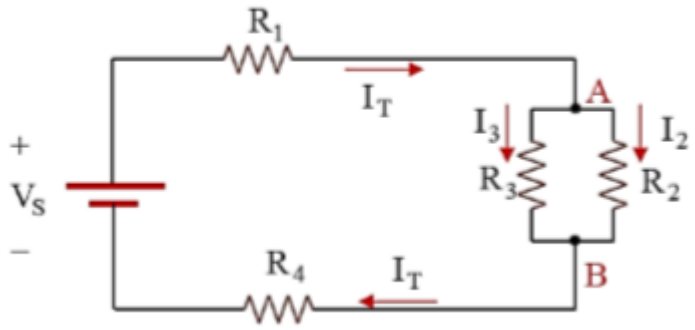
$$R_T = R_1 + R_2 \,//\, R_3 + R_4 \,//\, R_5 \,//\, R_6 + R_7 + R_8 \,//\, R_9$$

أو بصورة أخرى :

$$R_T = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} + \frac{R_4 R_5 R_6}{R_4 R_5 + R_4 R_6 + R_5 R_6} + R_7 + \frac{R_8 R_9}{R_8 + R_9}$$

ملاحظة هامّة : لحساب المقاومة المكافئة في الدارات المختَلطة نبدأ أوّلاً بالمقاومات البعيدة عن منبع الجهد ،ومن ثم نتحرّك باتجاه منبع الجهد ،وهذا يسهّل علينا الحساب خصوصاً في حالات الدارات المعقّدة .

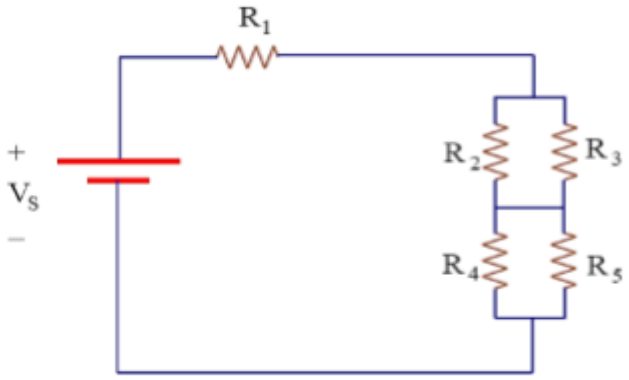
مسألة 2 : في الدائرة المبيّنة بيّن عناصر التوالي والتوازي .



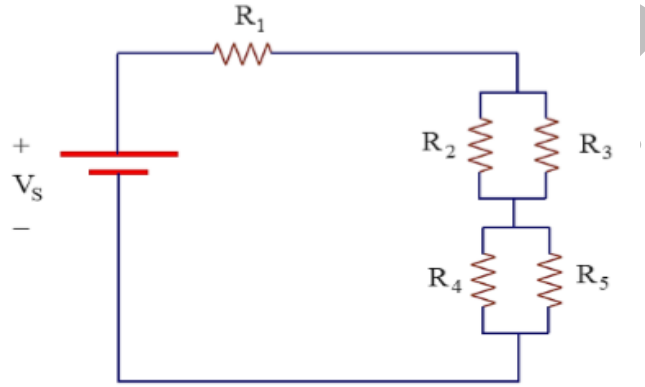
الحل : نجد من الدائرة أن التيّار الكلي الخارج من مصدر التغذية يمر في المقاومة R_1 ثم عندما يمر من النقطة A يتفرّع إلى جزأين ،جزءٌ يمر في R_2 والجزء الآخر يمر في R_3 ،ومن قانون كيرشوف للتيّار نجد أنه عند النقطة B يتجمّع التيار مرة أخرى ويمر في المقاومة R_4 ،إذاً تصبح المقاومتان R_1,R_4 على التوالي ،أما المقاومتان R_2,R_3 فكلتاهما موصولتان على التوازي ،أي أن $R_2 // R_3$ ،وبالتالي تكون المقاومة الكلية كما يلي :

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

مسألة 3 : أوجد العلاقة بين التوالي والتوازي في الشكل .



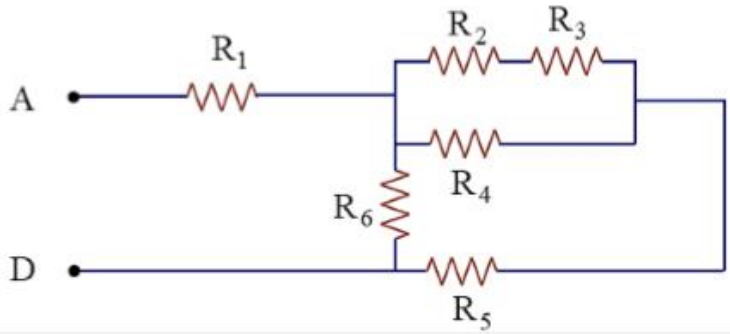
الحل : الدائرة السابقة يمكن إعادة رسمها كما الشكل :



بعد إعادة رسم الدائرة تتّضح علاقة التوالي والتوازي للمقاومات ،وبالتالي يمكن إيجاد المقاومة الكلية للدائرة كما يلي :

$$R_T = R_1 + R_2 // R_3 + R_4 // R_5 \, R_{T1}$$

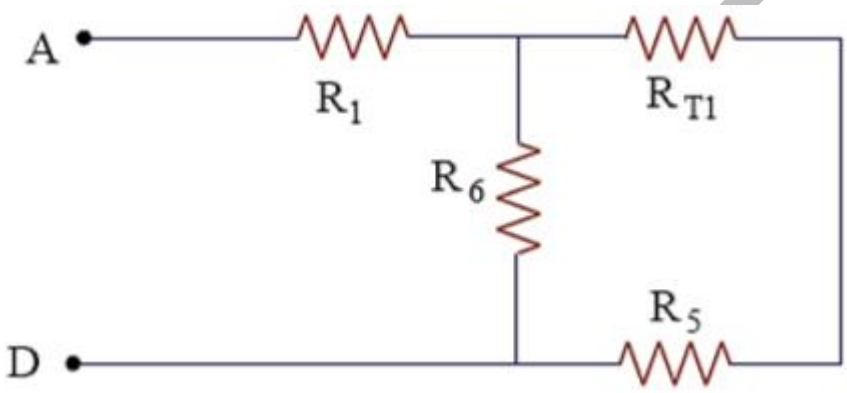
مسألة 4 : صِف مجموعات التوالي والتوازي بين النقطتين A,D في الشكل التالي .



الحل : نوجد أوّلاً المقاومة المكافئة R_{T1} للمجموعة المكوّنة من المقاومتين المتتاليتين R_2 , R_3 والموصلتين على التوازي مع المقاومة R_4 لنحصل على :

$$R_{T1} = \frac{(R_2 + R_3).R_4}{(R_2 + R_3) + R_4}$$

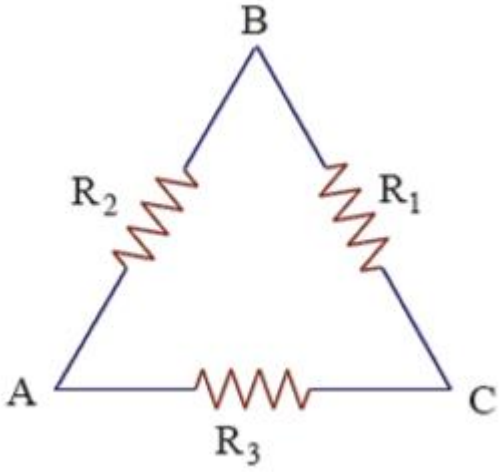
بعد ذلك نجد أن المقاومة المكافئة R_{T1} تصبح على التتالي مع R_5 كما في الشكل :



ويمكن كتابة المقاومة الكلية للدائرة بين النقطتين A,D على النحو التالي :

$$R_T = R_1 + R_6 // (R_{T1} + R_5)$$

مسألة 5 : في الدائرة المبيّنة احسب المقاومة الكلية بين كل زوج من النقاط A,B,C .



الحل : عند إيجاد المقاومة الكلية بين النقطتين A,B نجد أن R_1,R_3 متّصلتان على التوالي ،ومجموعهما يكون على التوازي مع R_2 وبالتالي يمكن كتابة المقاومة الكلية R_T كما يلي :

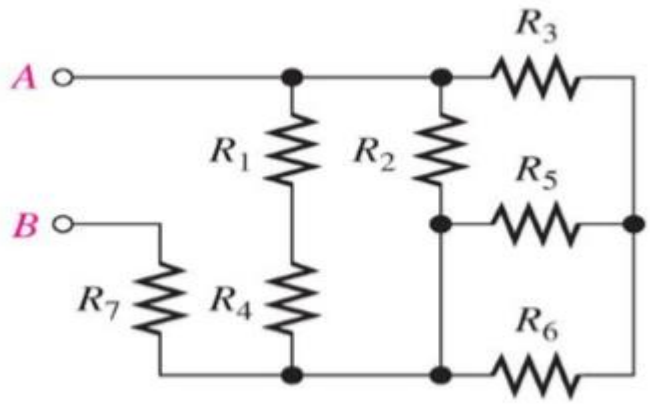
$$R_{T(AB)} = \frac{R_2 * (R_1 + R_3)}{R_2 + (R_1 + R_3)}$$

وبالمثل عند إيجاد المقاومة الكلية بين A,C و B,C كما يلي :

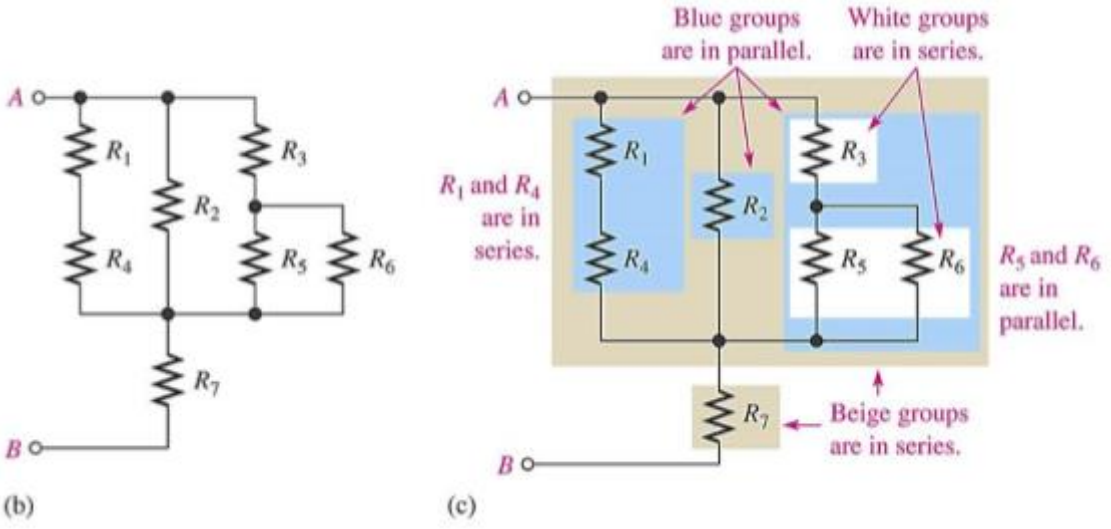
$$R_{T(AC)} = \frac{R_3 * (R_1 + R_2)}{R_3 + (R_1 + R_2)}$$

$$R_{T(BC)} = \frac{R_1 * (R_2 + R_3)}{R_1 + (R_2 + R_3)}$$

مسألة 6 : أوجد المقاومة المكافئة للدارة التالية .

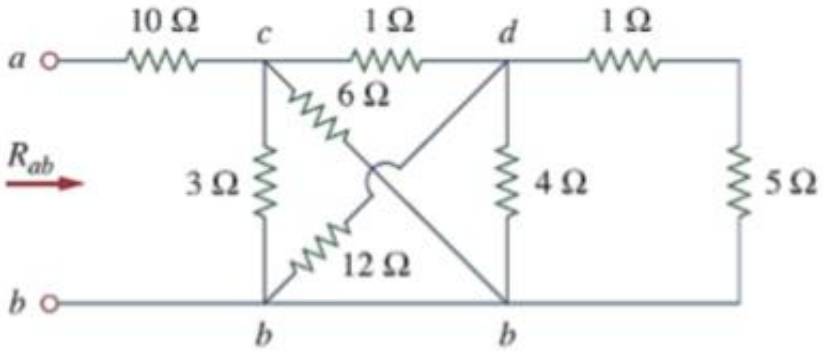


الحل :



$$R_{AB} = (R_5 \,||\, R_6 + R_3) \,||\, R_2 \,||\, (R_1 + R_4) + R_7$$

مسألة 7 : أوجد المقاومة المكافئة للدارة التالية :



الحل :

المقاومتان 3 Ω و 6 Ω على التفرّع لأنهما متّصلتان إلى نفس النقطتين B,C ومقاومتهما المكافئة هي :

$$3\ \Omega \,//\, 6\ \Omega = (3*6)/(3+6) = 2\ \Omega$$

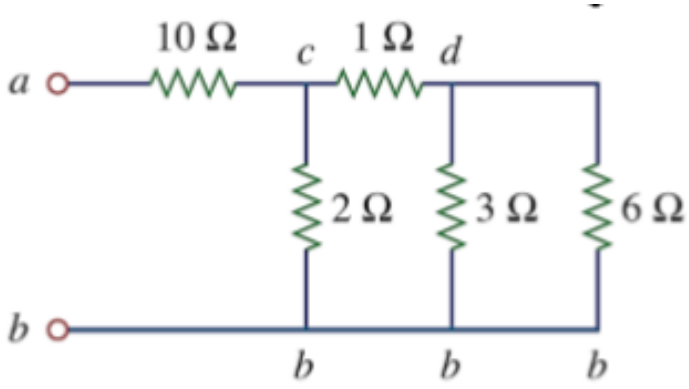
المقاومتان 4 Ω و12 Ωعلى التفرع لأنهما متصلتان إلى نفس النقطتين D,B ومقاومتهما المكافئة هي :

$$12\ \Omega \,//\, 4\ \Omega = (12*4)/(12+4) = 3\ \Omega$$

المقاومتان 5 Ω و 1 Ω على التسلسل ومقاومتهما المكافئة هي :

$$1\ \Omega + 5\ \Omega = 6\ \Omega$$

نرسم الدارة السابقة بالشكل التالي :



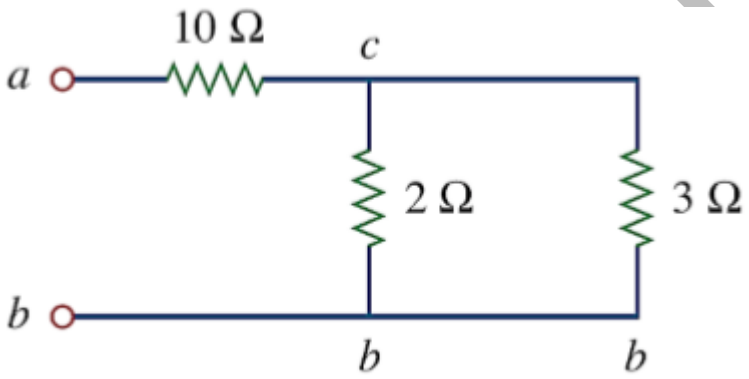
المقاومتان 3 Ω و 6 Ω على التفرع ومقاومتهما المكافئة هي :

$$3\ \Omega\ //\ 6\ \Omega = (3*6)/(3+6) = 2\ \Omega$$

المقاومتان 1 Ω و 2 Ω على التسلسل و مقاومتهما المكافئة هي :

$$1\ \Omega + 2\ \Omega\ = 3\ \Omega$$

نرسم الدارة السابقة بالشكل التالي :



المقاومتان 2 و 3 على التفرع ومقاومتهما المكافئة هي :

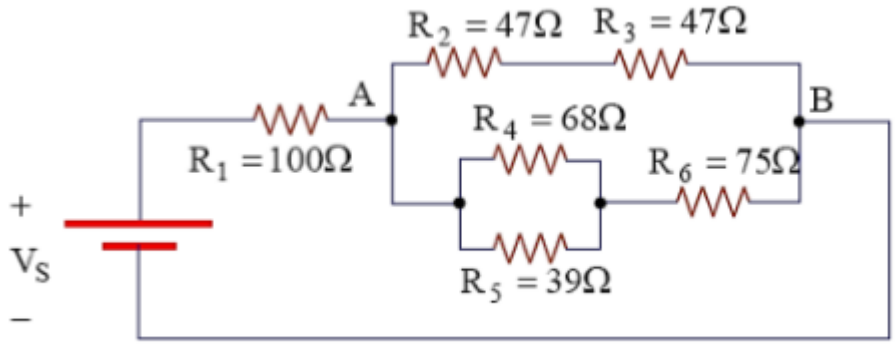
$$2\ \Omega\ //\ 3\ \Omega = (2*3)/(2+3) = 1.2\ \Omega$$

أخيراً ، المقاومتان 10 Ω و 1.2 Ω على التسلسل ومقاومتهما المكافئة هي المقاومة الكلية للدارة و تساوي :

$$\mathrm{R} = 10\ \Omega + 1.2\ \Omega = 11.2\ \Omega$$

E/ABDU

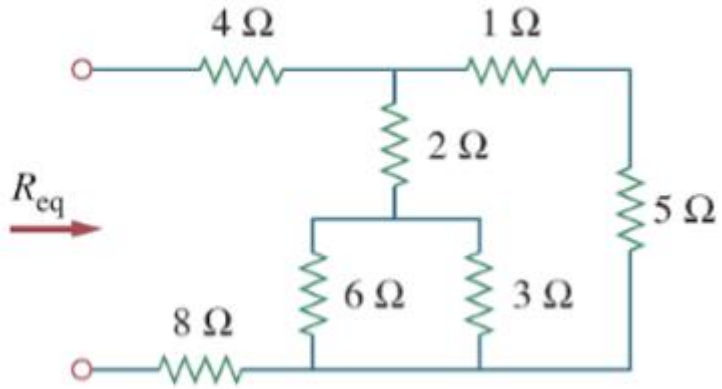
مسألة غير محلولة 1 : أوجد المقاومة الكلية بين القطب الموجب والسالب للبطارية في الدائرة.



الجواب :

$R_T = 148.41\ \Omega$

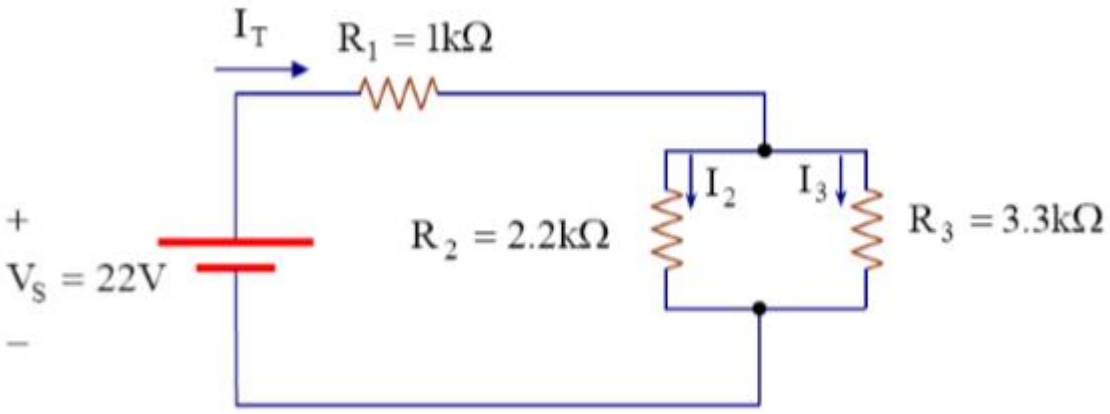
مسألة غير محلولة 2 : أوجد المقاومة المكافئة للدارة التالية .



الجواب :

$R_T = 14.4\ \Omega$

مسألة 8 : أوجد قيمة التيار المار في المقاومة R_2 ،و كذلك قيمة التيار في المقاومة R_3.



الحل : لإيجاد التيّار المار في R_2 وكذلك في R_3 ،نوجد أولاً التيار الكلي الناتج من مصدر التغذية ثم نطبّق قاعدة توزيع التيّار عند النقطة A

ولإيجاد التيار الكلي الخارج من المصدر ،يجب أوّلاً حساب المقاومة الكلية للدائرة R_T .

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

$$R_T = 1K\Omega + \frac{(2.2K\Omega)(3.3K\Omega)}{2.2K\Omega + 3.3K\Omega}$$

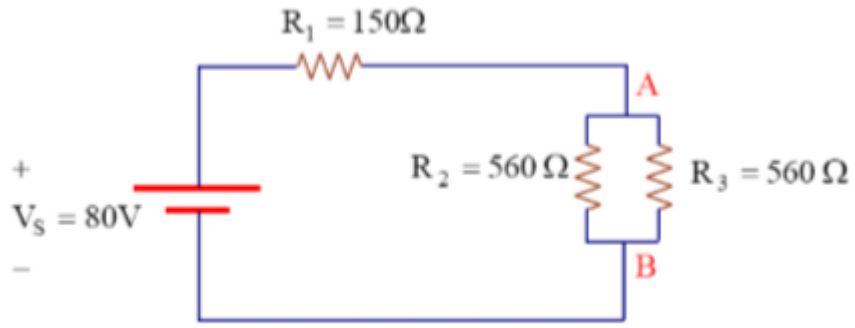
$$R_T = 1K\Omega + 1.32K\Omega = 2.32\ K\Omega$$

ثم باستخدام قاعدة توزيع التيار في فرعين ينتج أن :

$$I_2 = 9.48mA * \frac{1.32K\Omega}{2.2K\Omega} = 5.69\ mA$$

$$I_3 = 9.48mA * \frac{1.32K\Omega}{3.3K\Omega} = 3.79\ mA$$

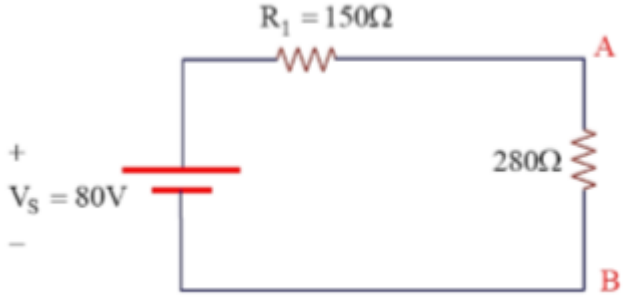
مسألة 9 : احسب هبوط الجهد عند النقطة A في الدائرة المبيّنة ،ثم احسب فرق الجهد على المقاومة R_1 .



الحل : نجد في الدائرة أن كلاً من R_2 , R_3 موصولتان على التوازي ،وحيث أنهما متساويتان ،فإن المقاومة المكافئة لهما تصبح نصف قيمة إحداهما ، أي أن :

$$R_{T(2,3)} = \frac{560 * 560}{560 + 560} = \frac{560}{2} = 280\ \Omega$$

نجد بعد ذلك أن المقاومة $280\ \Omega$ على التوالي مع المقاومة R_1 ،ويمكن رسم الدائرة على الشكل التالي :



نوجد المقاومة الكلية للدائرة كما يلي :

$$R_T = 150 + 280 = 430\ \Omega$$

ثم نقوم باستخدام قانون تجزئة الجهد لإيجاد V_{AB} :

$$V_{AB} = \left(\frac{R_{AB}}{R_T}\right) V_S$$

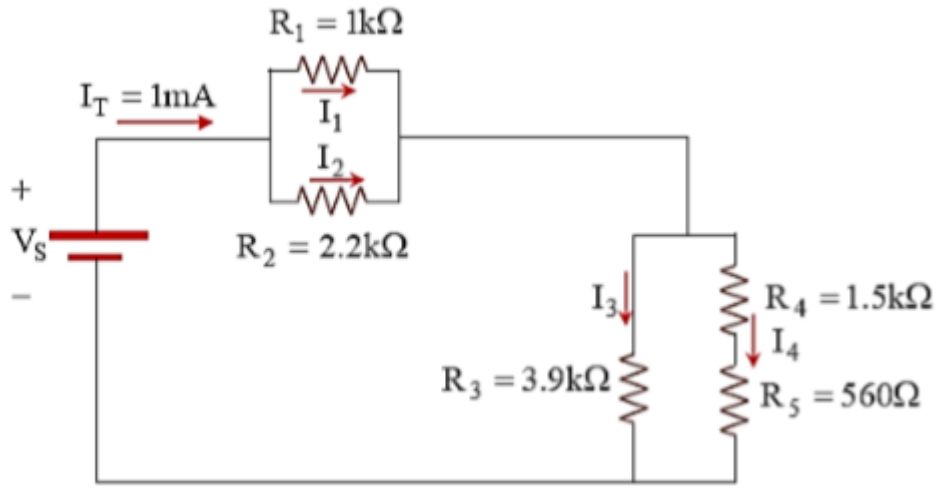
$$V_{AB} = \left(\frac{280}{430}\right) * 80 = 52.1\,V$$

ولإيجاد هبوط الجهد على R_1 نستخدم قانون كيرشوف للجهد :

$$V_S = V_1 + V_{AB}$$

$$V_1 = V_S - V_{AB} = 80 - 52.1 = 27.9\ V$$

مسألة 10 : أوجد هبوط الجهد على كل مقاومة في الدائرة المبيّنة :



الحل : نلاحظ أنه لم تُعطَ قيمة جهد المصدر ،ولكن أعطيت قيمة التيار الكلي وهذا واضح من الدائرة ،ومن الدائرة نجد أن المقاومتين R_1 , R_2 متّصلتان على التوازي ،ويمكن إيجاد التيار المار في R_1 ،وكذلك التيار المار في R_2، وذلك باستخدام قاعدة توزيع التيار كما يلي :

$$I_1 = I_T\left(\frac{R_T}{R_1}\right)$$

$$I_1 = 1mA\left(\frac{\frac{1k\Omega * 2.2k\Omega}{1k\Omega + 2.2k\Omega}}{1k\Omega}\right) = 688\ \ uA$$

قيمة الجهد على أطراف المقاومة R_1 تساوي :

$$V_1 = I_1 R_1 = 688\,uA * 1k\Omega = 688\,mV$$

قيمة التيّار المار في R_2 يمكن إيجاده من خلال قاعدة كيرشوف للتيّار كما يلي :

$$I_T = I_1 + I_2$$

$$I_2 = I_T - I_1$$

$$I_2 = 1mA - 688\,uA = 312\,uA$$

قيمة التيار I_3 المار في R_3 يمكن إيجاده بقاعدة توزيع التيار كما يلي :

$$I_3 = 1mA\left(\frac{\frac{3.9\,k\,\Omega * (560\,\Omega + 1.5\,k\Omega)}{3.9\,k\,\Omega + (560\,\Omega + 1.5\,k\Omega)}}{3.9\,k\,\Omega}\right)$$

$$I_3 = 346\,uA$$

نستخدم قانون أوم لحساب قيمة هبوط الجهد عند المقاومة R_3

$$V_3 = I_3 R_3 = (346uA)(3.9k\Omega) = 1.35\,V$$

لحساب قيمة V_4 نحسب أولاً قيمة التيار المار في R_4 ،كما يلي :

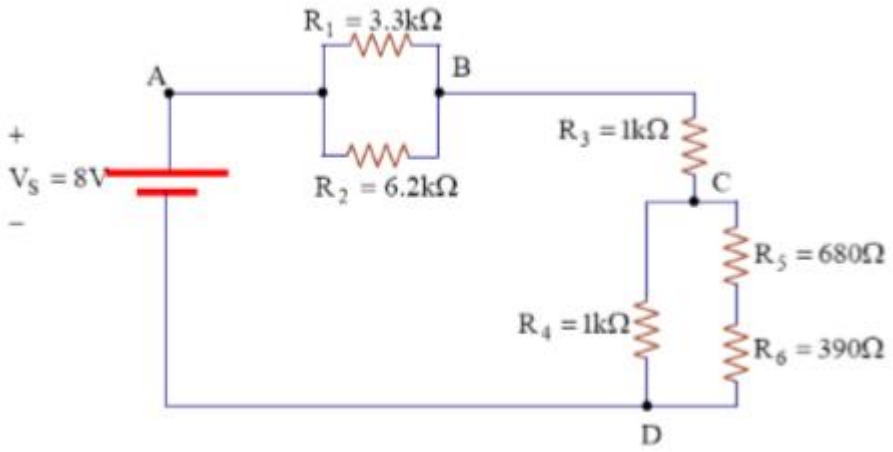
$$I_4 = I_5 = I_T - I_3 = 1mA - 346uA = 0.654\,mA$$

$$V_4 = I_4 R_4 = (0.654\,mA)(1.5k\Omega) = 0.981\,V$$

$$V_5 = I_5 R_5 = 366\,mA$$

مسألة 11 : احسب الهبوط في الجهد على كل مقاومة في الدائرة الكهربائية المبيّنة .

E/ABDULKAFI



الحل : في هذا المثال نجد أن قيمة مصدر الجهد معطاة ،ولذلك سنطبّق علاقة تجزئة الجهد ،فنجد من الشكل أن هناك مجموعتان من المقاومات المتصلة على التوازي ، نحسب المقاومة المكافئة لمجموعة التوازي الأولى R_{AB} المحصورة بين النقطتين A,B كما يلي :

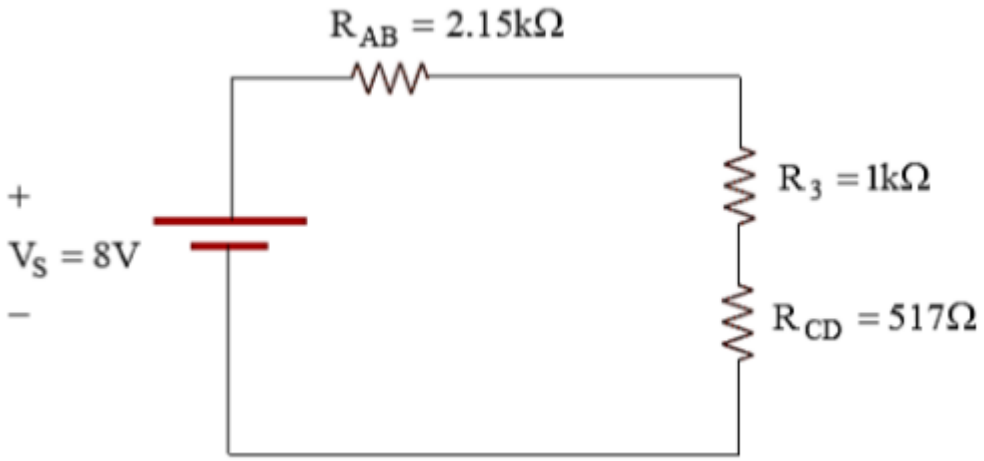
$$R_{AB} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 2.15\ K\Omega$$

وكذلك نحسب المقاومة الكلية لمجموعة التوازي R_{CD} المحصورة بين النقطتين C,D كما يلي :

$$R_{CD} = \frac{R_4 (R_5 + R_6)}{R_4 + R_5 + R_6} = 517\ \Omega$$

يمكن إعادة رسم الشكل السابق بعد إيجاد المقاومات المكافئة لمجموعات التوازي كما هو مبيّن :

E/ABDULKAFI



الآن يمكن تطبيق قاعدة تجزئة الجهد في الدائرة السابقة لتصبح كما يلي :

$$V_{AB} = \left(\frac{R_{AB}}{R_T}\right) V_S = 4.69\,V$$

$$V_{CD} = \left(\frac{R_{CD}}{R_T}\right) V_S = 1.13\,V$$

$$V_3 = \left(\frac{R_3}{R_T}\right) V_S = 2.18\,V$$

بالرجوع إلى الشكل الأول نجد أن :

$$V_2 = V_{AB} = \left(\frac{R_{AB}}{R_T}\right) V_S = 4.69\,V$$

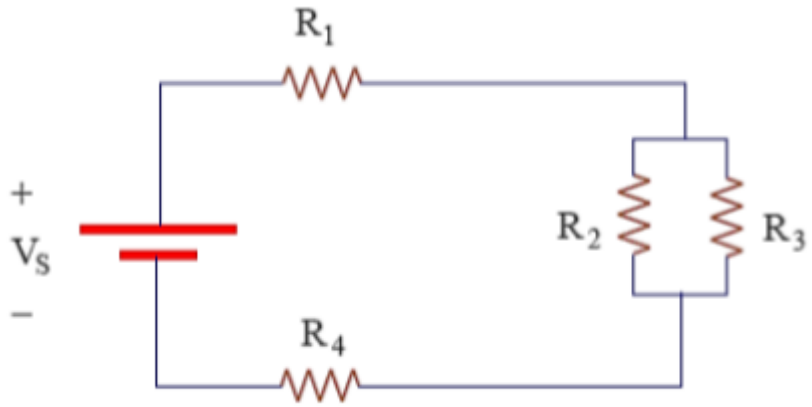
والجهد V_{CD} هو الجهد على كل من R_4 وعلى مجموعة التوالي (R_5+R_6).

$$V_5 = \left(\frac{R_5}{R_5 + R_6}\right) V_{CD} = 718\,mV$$

$$V_6 = \left(\frac{R_6}{R_5 + R_6}\right) V_{CD} = 412\,mV$$

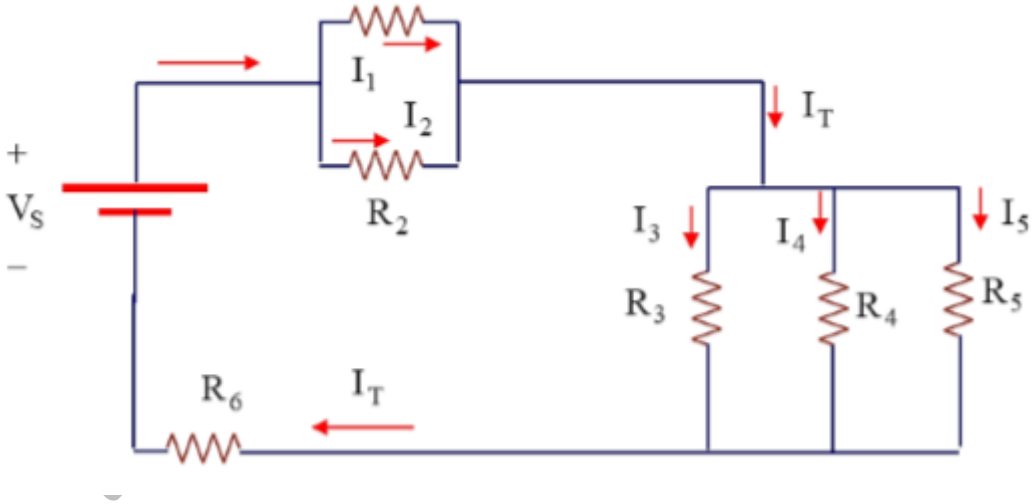
E/ABDULKAFI

مسألة غير محلولة 3 : في الدائرة المبيّنة أوجد قيمة جهد المصدر ،علماً بأن هبوط الجهد على المقاومات هو 12 و 8 و 8 و 5 فولت على الترتيب .



مسألة 12 : في الدائرة التالية ،إذا كانت قيمة $V_4 = 28.2\ V$ أوجد قيمة V_S ،علماً بأن :

$R1 = 2.7\ K\Omega$, $R2 = 2.2\ K\Omega$, $R3 = 5.6\ K\Omega$, $R4 = 10\ K\Omega$, $R5 = 15\ K\Omega$, $R6 = 820\Omega$



بتطبيق قانون كيرشوف للتيّارات ،نجد أن :

$$I_T = I_3 + I_4 + I_5$$

وحيث أن قيمة $V_4 = 28.2\ V$ فيصبح الجهد متساوياً على المقاومات R_3,R_4,R_5، وبالتالي يمكن إيجاد التيارات I_3,I_4,I_5 كالتالي :

$$I_4 = \frac{28.2}{10\ K} = 2.82\ mA$$

$$I_4 = \frac{28.2}{15\ K} = 1.88\ mA$$

$$I_4 = \frac{28.2}{5.6\ k} = 5.04\ mA$$

$$I_T = I_3 + I_4 + I_5 = 5.04\ mA + 1.88mA + 2.82mA = 9.74\ mA$$

حساب قيمة الجهد على مجموعة التوازي ،المكوّنة من $R_1 // R_2$

$$V_1 = V_2 = I_T\left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}\right) = 11.8\ V$$

وكذلك نوجد قيمة الجهد على المقاومة R_6 :

$$V_6 = I_T R_6 = 7.99\ V$$

وقيمة جهد المصدر هي :

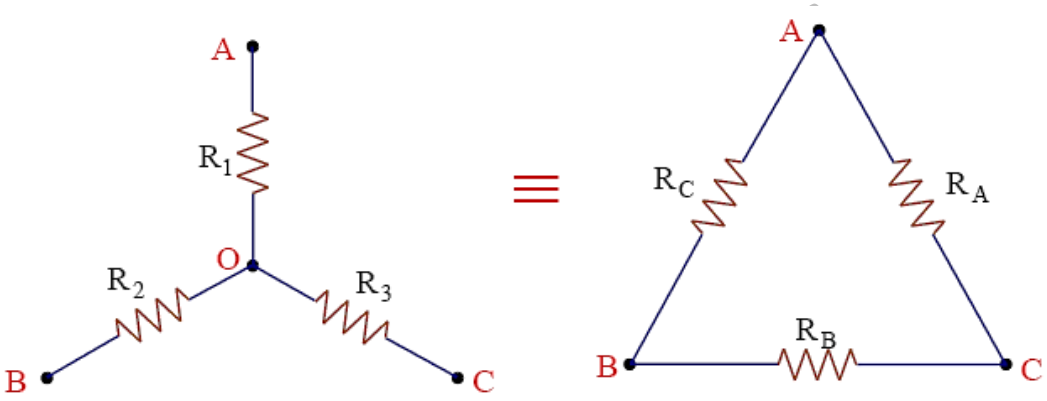
$$V_S = V_1 + V_4 + V_6 = 11.8 + 28.2 + 7.99 = 48\ V$$

مسألة غير محلولة 4 : لدينا مقاومتين عند توصيلهما على التوالي كانت المقاومة الكلية 25 أوم ،وعند توصيلهما على التوازي كانت المقاومة الكلية 6 أوم ، احسب قيمة كل مقاومة على حدىً .

E/ABDULKAFI

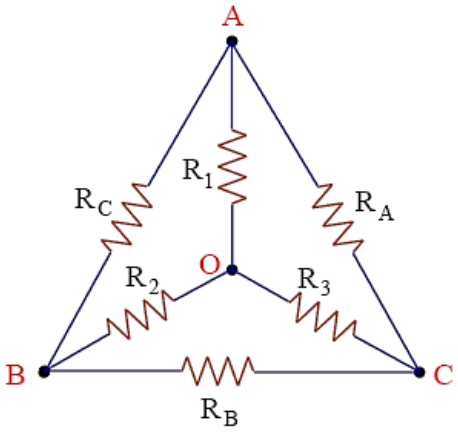
التحويل النجمي المثلثي Y - Δ

في بعض الدوائر الكهربائية ،وحتى نتمكّن من إيجاد المقاومة المكافئة نضطر للتحويل من الشكل النجمي إلى الشكل المثلثي مثل الجسور وأهمها جسر وطسطن ، ومن هنا تبرز أهمية التحويل من الشكل النجمي للمثلثي والعكس .



1- قاعدة التحويل من المثلثي للنجمي :

يفضل هنا إدخال التوصيلة Y داخل التوصيلة Δ كما هو مبين في الشكل التالي حتى تكون المقارنة بينهما سهلة حيث كل منهما تنحصر بين ثلاث نقاط.



ولحساب توصيلة النجمة المكافئة لتوصيلة الدلتا : كل مقاومة في حالة Y = حاصل ضرب المقاومتين المتجاورتين في Δ مقسوما على مجموع المقاومات الثلاثة في Δ ، وبالتالي ينتج أن :

$$R_1 = \frac{R_A R_C}{R_A + R_B + R_C}$$

$$R_2 = \frac{R_B R_C}{R_A + R_B + R_C}$$

$$R_3 = \frac{R_C R_A}{R_A + R_B + R_C}$$

2- قاعدة التحويل من النجمي للمثلثي :

ولحساب توصيلة الدلتا المكافئة لتوصيلة النجمة :

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

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

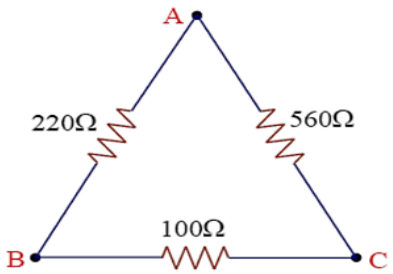
$$R_C = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3}$$

ترجع أهمية التحويل من التوصيلة Δ إلى التوصيلة Y أو العكس إلى أهميتها عند تحليل بعض التطبيقات الخاصة وكمثال على ذلك عند دراسة دوائر القنطرات المختلفة.

ملاحظة : عندما تكون المقاومات كلها متساوية عندها تكون المقاومات المكافئة في توصيلة المثلثي (دلتا) معطاه بالعلاقة :

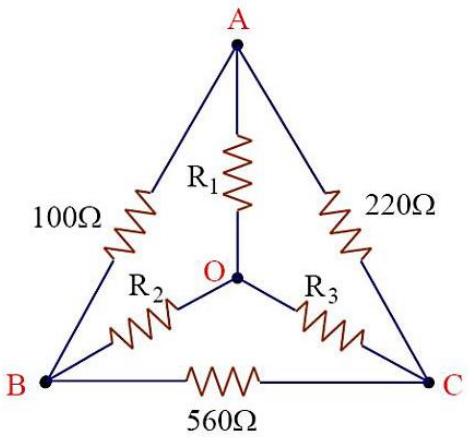
$$= \frac{R_\Delta}{3} \qquad \text{or} \qquad R_\Delta = 3R_Y$$

مسألة 1: حول التوصيلة Δ إلى التوصيلة Y المكافئة.



الحل:

يفضل رسم التوصيلة Y داخل التوصيلة Δ كما هو مبين في الشكل التالي حتى يسهل تطبيق قاعدة التحويل من Δ Y. ←



توصيلة النجمة داخل توصيلة الدلتا

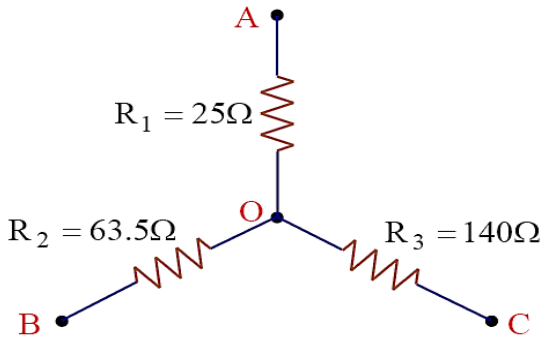
يمكن حساب مقاومات توصيلة النجمة المكافئة لتوصيلة الدلتا كما يلي:

$$R_1 = \frac{100*220}{100+220+560} = 25\ \Omega$$

$$R_2 = \frac{100*560}{100+220+560} = 63.6\ \Omega$$

$$R_3 = \frac{220*560}{100+220+560} = 140\ \Omega$$

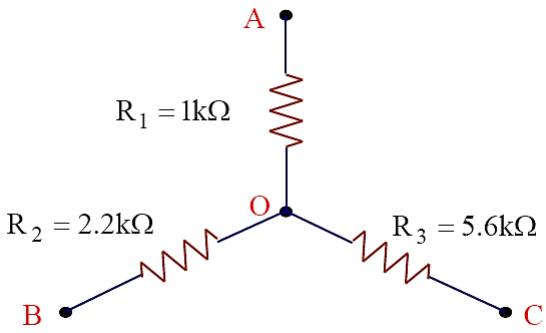
ويمكن رسم توصيلة النجمة المكافئة كما هو مبين في الشكل التالي:



توصيل النجمة المكافئة لتوصيلة الدلتا

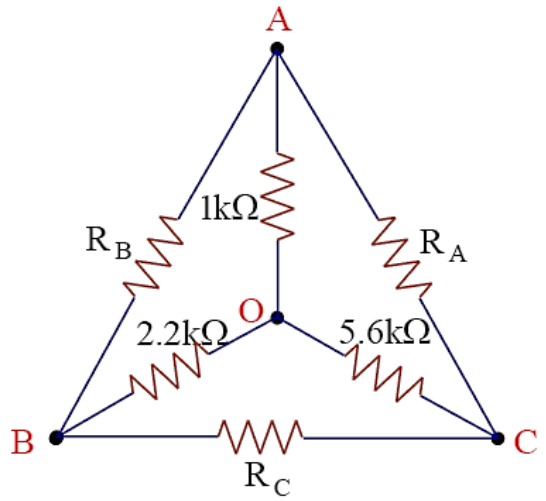
E/ABDULKAFI

مسألة 2 : حوّل من التوصيلة Y ⟵ Δ للدائرة المبينة في الشكل التالي:



الحل:

نرسم التوصيلة Δ مركبة على التوصيلة Y ، كما هو مبين في الشكل التالي حتى يسهل تطبيق قاعدة التحويل من Y ⟵ Δ



توصيلة النجمة داخل توصيلة الدلتا

المقاومة في حالة Δ = مجموع المقاومتين التي تكوّن معها مثلث في التوصيلة Y + حاصل ضرب المقاومتين في Y مقسومة على الثالثة لهما.

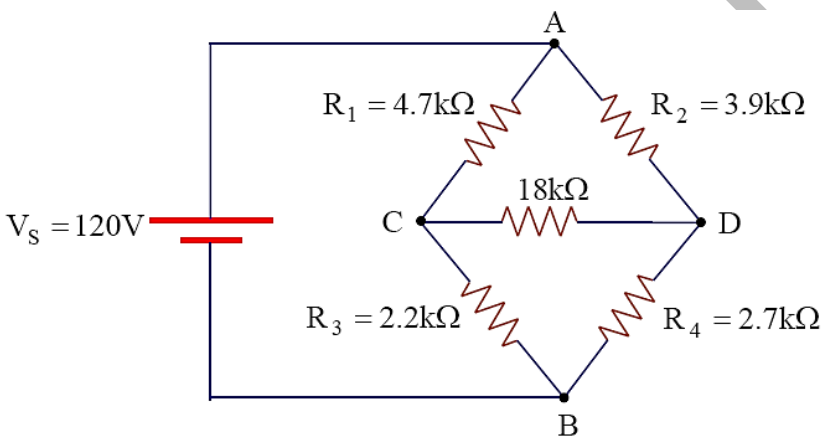
أي أن بتطبيق القوانين السابقة نحصل على:

$$R_A = 1 + 5.6 + \frac{1 * 5.6}{2.2} = 9.15\ K\,\Omega$$

$$R_B = 1 + 2.2 + \frac{1*2.2}{5.6} = 3.59\ K\,\Omega$$

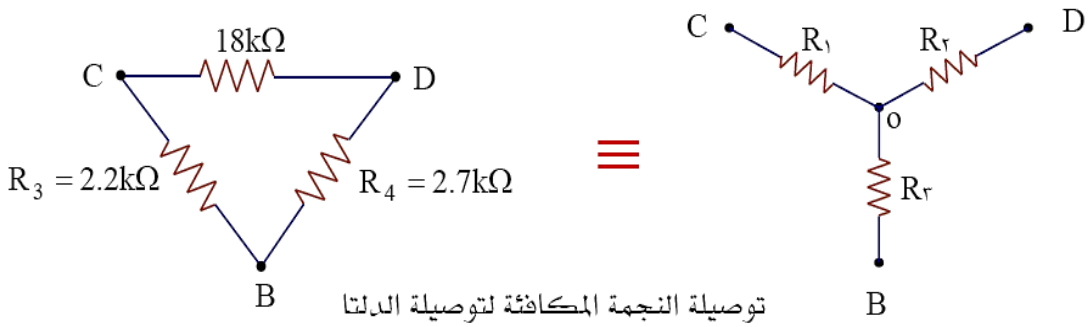
$$R_C = 2.2 + 5.6 + \frac{2.2 * 5.6}{1} = 20.12K\,\Omega$$

مسألة 3 : أوجد الجهد والتيار في المقاومة R_L في دائرة القنطرة ، بطريقة التحويل من Δ ← Y.



الحل:

كما نرى من دائرة القنطرة نجد أن هناك التوصيلة Δ التي تنشأ بين النقط الثلاث A ، C ، D أو التوصيلة Δ التي تنشأ بين النقاط الثلاث B، C ، D ويمكن تحويل إحداهما إلى Y لنرى ماذا يحدث وعلى سبيل المثال سوف نستخدم التوصيلة Δ التي تنشأ بين النقاط الثلاث B ، C ، D من دائرة القنطرة لتحويلها إلى التوصيلة Y كما هو مبين في الأشكال التالية :



توصيلة النجمة المكافئة لتوصيلة الدلتا

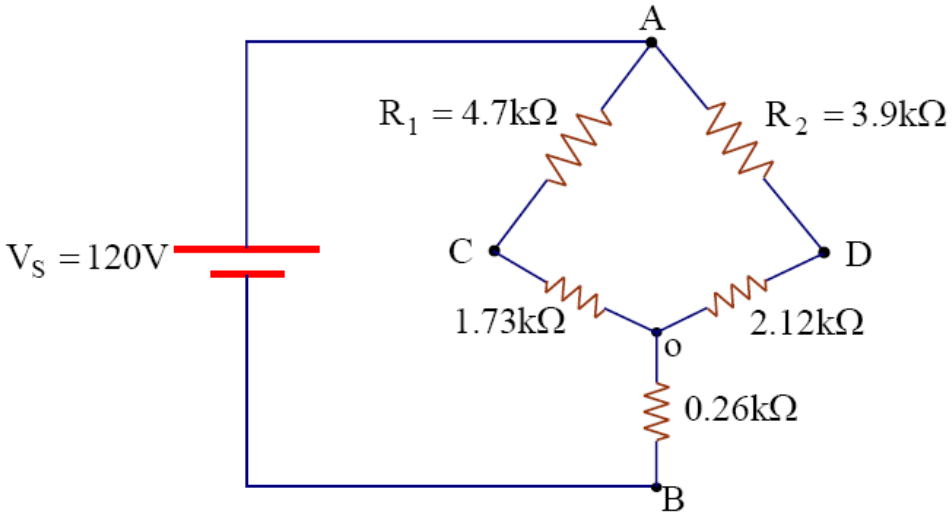
نحسب R_1 ، R_2 ، R_3 كما يلي :

$$R_1 = \frac{18*2.2}{2.2+2.7+18} = 1.73\ K\Omega$$

$$R_2 = \frac{2.7*18}{2.2+2.7+18} = 2.12\ K\Omega$$

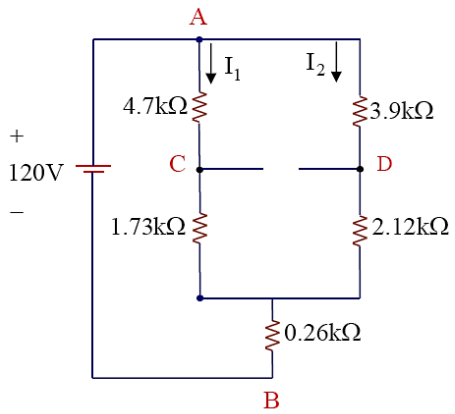
$$R_3 = \frac{2.2*2.7}{2.2+2.7+18} = 0.26\ K\Omega$$

بعد ذلك نرسم دائرة القنطرة بالقيم المحسوبة الجديدة لكل من R_1 ، R_2 ، R_3 لتصبح الأشكال السابقة بالشكل التالي:



دائرة القنطرة بالقيم المحسوبة لتوصيلة النجمة المكافئة لتوصيلة.

والتي تؤدي إلى الدائرة المبينة في الشكل التالي:



بعد استخدام التحويل من الشكل Δ إلى الشكل Y أصبحت الدائرة بعد إعادة رسمها بالطريقة العادية أي باستخدام التوصيل على التوالي وكذلك التوصيل على التوازي وخطوات الحل تصبح كما يلي:

أولاً ، نوجد R_T للدائرة .

ثانياً ، نوجد التيار الكلي I_T .

ثالثاً ، نوجد I_1 ، I_2 باستخدام قاعدة توزيع التيار.

رابعاً ، نوجد الجهد عند النقطة C أي V_C .

خامساً ، نوجد الجهد عند النقطة D أي V_D .

سادساً ، نوجد الفرق في الجهد بين النقطتين C ، D .

$$V_{CD} = V_C - V_D$$

سابعاً ، تحسب التيار في الفرع CD وذلك بقسمة فرق الجهد V_{CD} على R_L .

$$I_{CD} = \frac{V_{CD}}{R_L}$$

وباتباع الخطوات السابقة نجد أن:

$$R_T = \frac{(4.7+1.73)*(3.9+2.12)}{(4.7+1.73)+(3.9+2.12)} + 0.26 \approx 3.37\ K\Omega$$

$$R_T = 3.37\ K\Omega$$

$$I_T \approx \frac{120}{3.37} \approx 35.6\ mA$$

ثم باستخدام قاعدة توزيع التيار نجد أن:

$$I_1 = I_T * \frac{(3.9 + 2.12)}{(3.9 + 2.12) + (4.7 + 1.73)}$$

$$I_1 = 17.2\ mA$$

$$I_2 = 18.38\ mA$$

E/ABDULKAFI

$$V_C \approx 39.18\ V$$

$$V_D = 48.32\ V$$

فرق الجهد بين النقطتين C ، D .

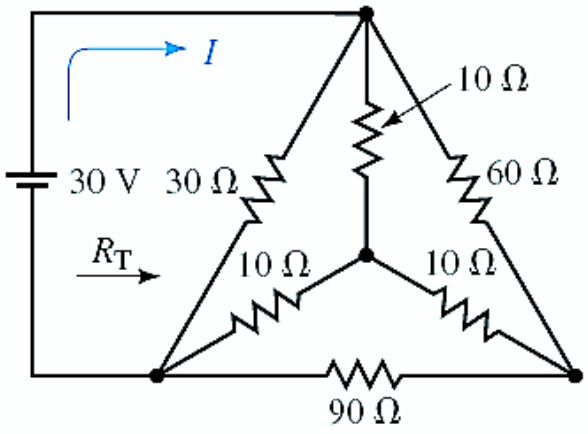
$$V_{CD} = V_C - V_D$$

$$V_{CD} = 39.18 - 48.32 = -9.14V$$

ملاحظة : الإشارة (-) تعني هنا أن الجهد عند النقطة D أعلى من الجهد عند النقطة C أي $V_D > V_C$ وفي النهاية نحسب قيمة التيار I_{CD} .

$$I_{CD} = \frac{9.14V}{18K\Omega} = 0.507mA$$

مسألة 4: أوجد المقاومة المكافئة والتيار الكلي للدارة التالية:

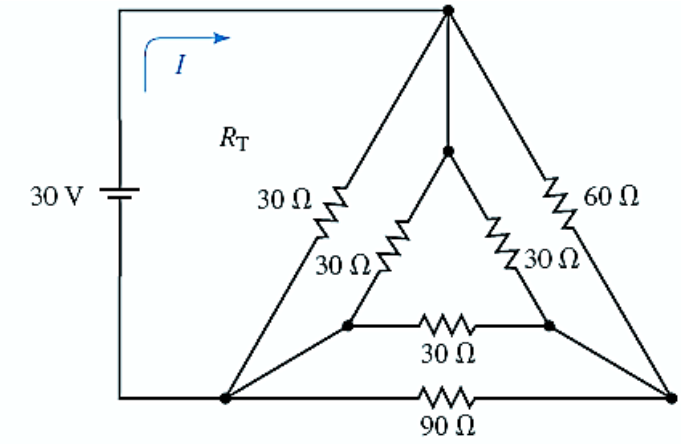


الحل:

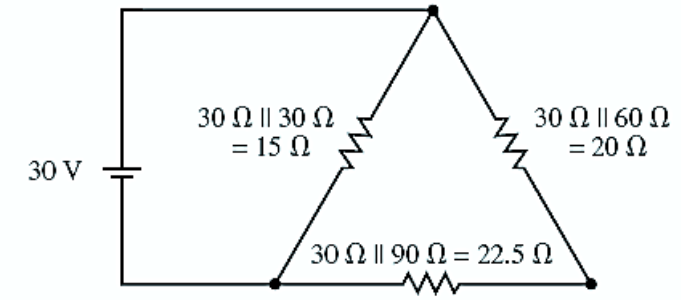
هناك طريقتان إما أن نحول المقاومات المثلثية إلى نجمية ومن ثم تكون المقاومات المكافئة على التفرع (تترك للطالب) أو نحول من نجمي إلى مثلثي وبما أن المقاومات النجمية كلها متساوية سنستخدم هذه الطريقة حيث أن المقاومة المكافئة لها في التحويل تعطى بالعلاقة التالية $R_\Delta = 3R_Y$ (وهو ما سنستخدمه للحل)

$$R_\Delta = 3(10[\Omega]) = 30[\Omega]$$

وتكون الدارة المكافئة :



(a)



(b)

وتكون المقاومة الكلية:

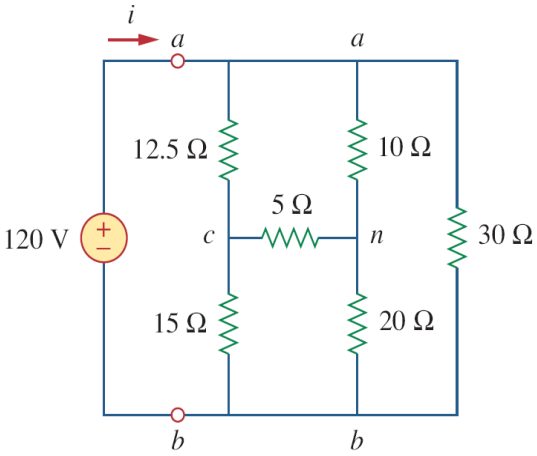
$$R_T = 15\ \Omega \,||\, (20\Omega + 22.5\Omega)$$

$$R_T = 11.09\Omega$$

ويكون التيار الكلي:

$$I = \frac{30V}{11.09\Omega} = 2.706\ A$$

مسألة 5: أوجد المقاومة المكافئة بين النقطتين b ، a والتيار الكلي للدارة التالية :



الحل:

طريقة حل أولى: نقوم بإجراء عملية تحويل النجمي – المثلثي للمقاومات Ω 10 و Ω 5 و Ω20 وستكون المقاومة المقابلة هي:

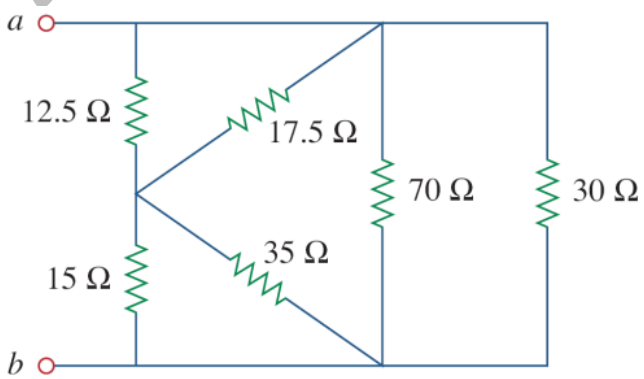
$$R_a = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_1} = \frac{10 * 20 + 20 * 5 + 5 * 10}{10}$$

$$R_a = \frac{350}{10} = 35\ \Omega$$

$$R_b = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_2} = \frac{350}{20} = 17.5\ \Omega$$

$$R_c = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_3} = \frac{350}{5} = 70\ \Omega$$

وستكون الدارة المكافئة بالشكل التالي:



E/ABDULKAFI

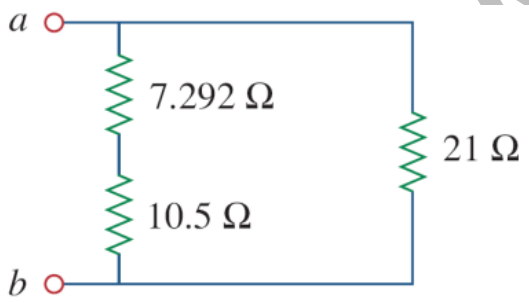
من الشكل السابق نجد أن المقاومتين 70 Ω و 30 Ω على التفرع ، والمقاومتين 17.5 Ω و12.5Ω على التفرع ، والمقاومتين 35 Ω و 15 Ω على التفرع ولذا نحسب مقاومتهم المكافئة :

$$70 \,||\, 30 = \frac{70*30}{70+30} = 21\Omega$$

$$12.5 \,||\, 17.5 = \frac{12.5*17.5}{12.5+17.5} = 7.292\Omega$$

$$15 \,||\, 35 = \frac{15*35}{15+35} = 10.5\ \Omega$$

وستكون الدارة المكافئة بالشكل التالي:



والمقاومة الكلية:

$$R_{ab} = (7.292 + 10.5)||21 = \frac{17.792 * 21}{17.792 + 21} = 9.632\Omega$$

والتيار الكلي هو:

$$i = \frac{v_s}{R_{ab}} = \frac{120}{9.632} = 12.458\ A$$

طريقة حل ثانية: نقوم بإجراء عملية تحويل المثلثي – النجمي وهناك عدد من الإمكانيات إلا أننا سنختار المقاومات التالية المثلثية لتحويلها للشكل النجمي (ولسهولة الحل والتحويل نقوم بترقيم العقد إذا لم تكن مرقمة في السؤال) ونفرض أن النقطة d هي النقطة المتوسطة في التحويل النجمي Y :

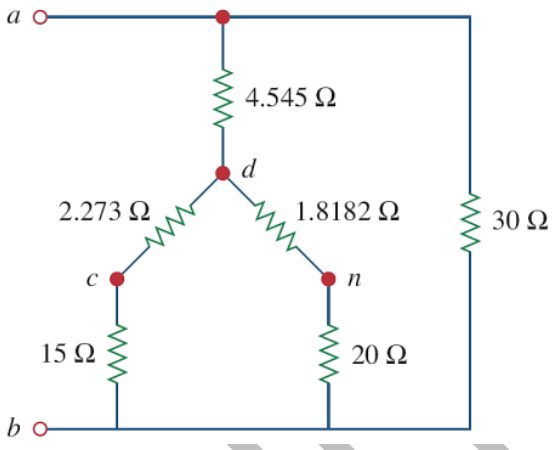
$$R_C = 10\Omega \quad ، \quad R_a = 5\Omega \text{ ، and } \quad R_n = 12.5\Omega$$

$$R_{ad} = \frac{R_c R_n}{R_a + R_c + R_n} = \frac{10 * 12.5}{5 + 10 + 12.5} = 4.545\Omega$$

$$R_{cd} = \frac{R_a R_n}{27.5} = \frac{5 * 12.5}{27.5} = 2.273\Omega$$

$$R_{nd} = \frac{R_a R_c}{27.5} = \frac{5 * 10}{27.5} = 1.8182\Omega$$

وستكون الدارة المكافئة بالشكل التالي:



من الشكل السابق نجد أن المقاومات بين العقدتين d و b موصولة على التفرع وبالتالي مقاومتها الكلية هي:

$$R_{ab} = \frac{(2.273 + 15)(1.8182 + 20)}{2.273 + 15 + 1.8182 + 20} = \frac{376.9}{39.09} = 9.642\ \Omega$$

هذه المقاومة مع المقاومة 4.545 Ω على التسلسل ومقاومتها المكافئة على التفرع مع المقاومة 30Ωوالمقاومة الكلية للدارة هي:

$$R_{ab} = \frac{(9.642 + 4.545)30}{9.642 + 4.545 + 30} = \frac{425.6}{44.19} = 9.631\ \Omega$$

والتيار الكلي هو:

$$i = \frac{v_s}{R_{ab}} = \frac{120}{9.632} = 12.458\ A$$

والنتيجة في كلتا الحالتين متساوية.

مقدّمة :

لتحليل الدارات الإلكترونية وحساب قيمة التيارات في الفروع ،وبالتالي إيجاد الجهود المختلفة وحساب قيمة الاستطاعة ظهرت العديد من الطرق ونذكر منها على سبيل المثال :

- طريقة كيرشوف
- طريقة ثيفنن
- طريقة التنضد

طريقة كيرشوف :

اعتمد كيرشوف في طريقة تحليل الدارة على قانوني كيرشوف للتيار والجهد، وسنعرض الخطوات بالشكل التالي:

1- نختصر العناصر المتشابهة .
2- نطبّق قانون كيرشوف الأول KCL على عُقد الدارة.

وحيث أن عدد معادلات قانون كيرشوف الأول = N-1 حيث N عدد العقد، وتعتبر العقدة غير المحسوبة عقدة مرجعية أو عقدة تأريض.

باعتبار تيّار الفرع الداخل إلى العقدة موجب والتيار الخارج منها سالب.

3- نطبق قانون كيرشوف الثاني KVL على حلقات الدارة.

وحيث أن عدد معادلات قانون كيرشوف الثاني = M-(N-1) وحيث M عدد الأفرع.

- بالنسبة لكتابة إشارة أو اتجاه منبع الجهد، إذا كان مماثلاً لاتجاه الحلقة فيكتب بإشارة موجبة وإلا يكتب بإشارة سالبة.

E/ABDULKAFI

- بالنسبة لكتابة إشارة هبوط الجهد على كل مقاومة في الحلقة، فيكتب بإشارة موجبة إذا كان اتجاه تيار الفرع مع اتجاه الحلقة وإلا فيكتب بإشارة سالبة.

4- يمكن أن نفترض اتجاه التيار في كل فرع إلا إذا كان معطىً في نص المسألة .

5- يتم إعطاء اتجاه مفترض للحلقة ويراعى أن يكون مع عقارب الساعة إلا إن كان معطىً في نص المسألة .

6- بعد كتابة المعادلات تُستنتج منها قيم تيارات الفروع عن طريق الحسابات الرياضية.

7- في حال ظهور إشارة سالبة في ناتج قيمة التيار فيكون الناتج صحيح ولكن نذكر أن الاتجاه الصحيح هو عكس الاتجاه المفترض، ولكن نعوّض قيمته السالبة للحصول على بقية قيم التيارات.

8- عند طلب التحقق من توازن الإستطاعة:

يتم حساب قيمة الإستطاعة المولدة وهي عبارة عن ناتج جمع الإستطاعات الناتجة عن المنابع بالعلاقة $P=V*I$ لكل منبع وحيث أن I قيمة التيار الناتج عن المنبع.

أما الاستطاعة المستهلكة فهي عبارة عن مجموع الإستطاعات المستهلكة في العناصر غير الفعالة (مقاومات) وتحسب من العلاقة $P=I^2*R$ لكل عنصر.

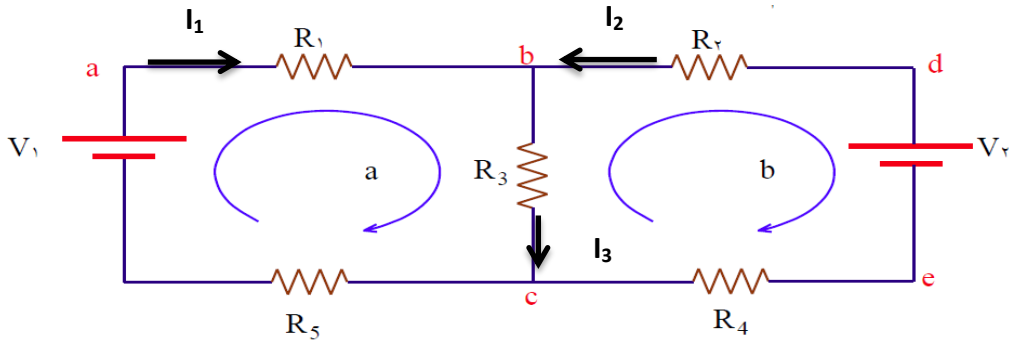
يتحقق قانون توازن الإستطاعة عند تساوي الإستطاعة المولدة مع الإستطاعة المستهلكة.

مثال :

ليكن لدينا دارة كهربائية كما في الشكل والمطلوب أوجد قيم تيارات الفروع؟

مع العلم أن : V1=20v و V2=10v، R1=R2=R3=R4=R5=1Ω

E/ABDULKAFI



الحل: نختصر الدارة إلى أبسط شكل ممكن ،وهنا نلاحظ أن R1 و R5 على التسلسل :

$$R_6 = R_1 + R_5 = 2\Omega$$

وكذلك R2 و R4 على التسلسل :

$$R_7 = R_2 + R_4 = 2\Omega$$

لدينا عقدتين b و c لذا يُطبّق قانون كيرشوف الأوّل على عقدة واحدة فقط لأن N=2 :

$$I_3 = I_1 + I_2 \dots (1)$$

بما أنه لدينا 3 أفرع ،إذاً لدينا معادلتين لكيرشوف الثاني 2=(2-1)-3=m-(n-1) وتمثل معادلة الحلقات.

من الحلقة a:

$$V_1 = I_1 * R_6 + I_3 * R_3$$

$$20 = 2 * I_1 + I_3 \dots (2)$$

من الحلقة b :

$$-V_2 = -I_2 * R_7 - I_3 * R_3$$

$$-10 = -2I_2 - I_3 \dots (3)$$

نعوّض المعادلة 1 في 2 فينتج :

$$20 = 2 * I_1 + I_3 = 2 * I_1 + I_1 + I_2 = 3I_1 + I_2$$

$$20 = 3I_1 + I_2 \dots (4)$$

E/ABDULKAFI

نعوّض المعادلة 1 في 3 فينتج :

$$-10 = -2I_2 - I_3 = -2I_2 - I_1 - I_2$$

$$-10 = -3I_2 - I_1 \dots (5)$$

بإصلاح المعادلة 4 ينتج :

$$I_2 = 20 - 3I_1 \dots (4)$$

وبالتعويض في 5 :

$$-10 = -3I_2 - I_1 = -3(20 - 3I_1) - I_1$$

$$-10 = -60 + 9I_1 - I_1 = -60 + 8I_1$$

$$-10 = -60 + 8I_1$$

وبالتالي :

$$I_1 = \frac{50}{8} = 6.25\ A$$

وبالتعويض في 4:

$$I_2 = 20 - 3 * 6.25 = 1.25\ A$$

وبالتعويض في 1:

$$I_3 = 7.5\ A$$

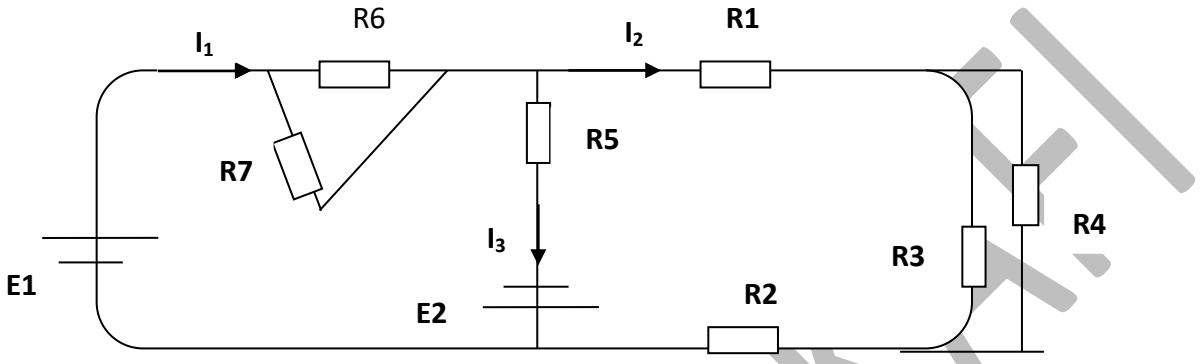
مثال : لدينا الدارة التالية، والمطلوب أوجد التيارات المارة في فروع الدارة حسب طريقة كيرشوف، ثم تحقق من قانون توازن الإستطاعة .

E/ABDULKAFI

مع العلم أن:

$R1=R2=R3=R4=R5=3\Omega$

$E1=10V$ ،$E2=15V$ ،$R6=R7=2\Omega$



الحل : نختصر الدارة الى أبسط شكل ممكن ،وهنا نلاحظ أن R3 و R4على التفرع :

$$R8 = R3 \times R4 / R3 + R4 = 1.5\ \Omega$$

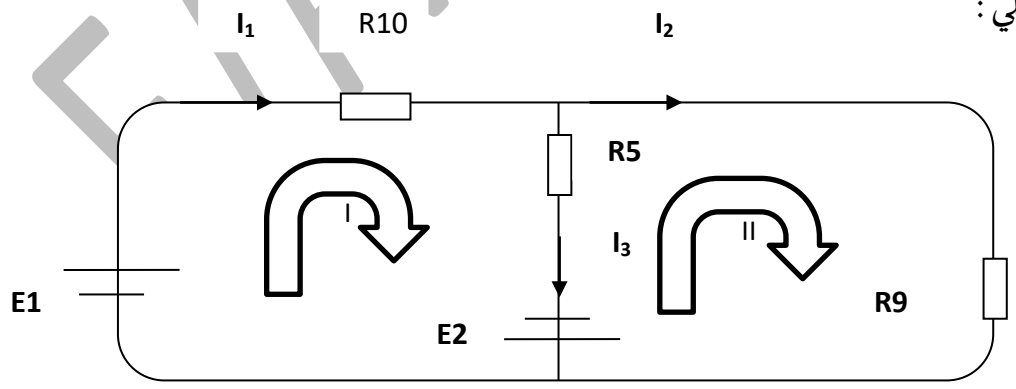
R8 و R1 و R2 على التسلسل :

$$R9 = R1 + R2 + R8 = 7.5\ \Omega$$

R6و R7 على التفرع:

$$R10 = R7 \times R6 / R7 + R6 = 1\ \Omega$$

وتصبح الدارة كما يلي :



لدينا عقدتين b و c لذا يطبّق قانون كيرشوف الأول على عقدة واحدة فقط لأن N=2 :

$$I_3 + I_2 = I_1 .. (1)$$

بما أنه لدينا 3 أفرع إذاً لدينا معادلتين لكيرشوف الثاني 2=(2-1)-3=(n-1)-m وتمثل معادلة الحلقات.

من الحلقة I:

$$+E1 + E2 = +I1 * R10 + I3 * R5$$

$$25 = 1 * I1 + 3 * I3 \; .. (2)$$

من الحلقة II:

$$-E2 = I2 * R9 - I3 * R5$$

$$-15 = 7.5 * I2 - 3 * I3 \; .. (3)$$

نعوض المعادلة 1 في 2 فينتج :

$$I3 = (25/4) - (1/4)I2 \; .. (4)$$

نعوض المعادلة 4 في 3 فينتج :

$$-15 = 7.5I2 - \left(\frac{75}{4}\right) + \left(\frac{3}{4}\right)I2$$

I_2=0.45 AMP

وبالتعويض في 4 :

I_3=6.138 AMP

وبالتعويض في 1 :

I_1=6.58 AMP

للتحقق من قانون توازن الإستطاعة:

1- الاستطاعة المولدة:

E/ABDU KAFI

للمنبع E1: $E_1 \times I_1 = 10 \times 6.58 = 65.8W$

للمنبع E2: $E_2 \times I_3 = 15 \times 6.138 = 92.07W$

وبالتالي الاستطاعة المولدة =PE1+PE2=157.87W

2- الاستطاعة المستهلكة:

للمقاومة R10: $R10 \times I_1^2 = 43.3 \times 1 = 43.3W$

للمقاومة R5: $R5 \times I_3^2 = 37.6 \times 3 = 113W$

للمقاومة R9: $R9 \times I_2^2 = 0.2 \times 7.5 = 1.51W$

وبالتالي الاستطاعة المستهلكة =PR9+PR5+PR10= 157.8

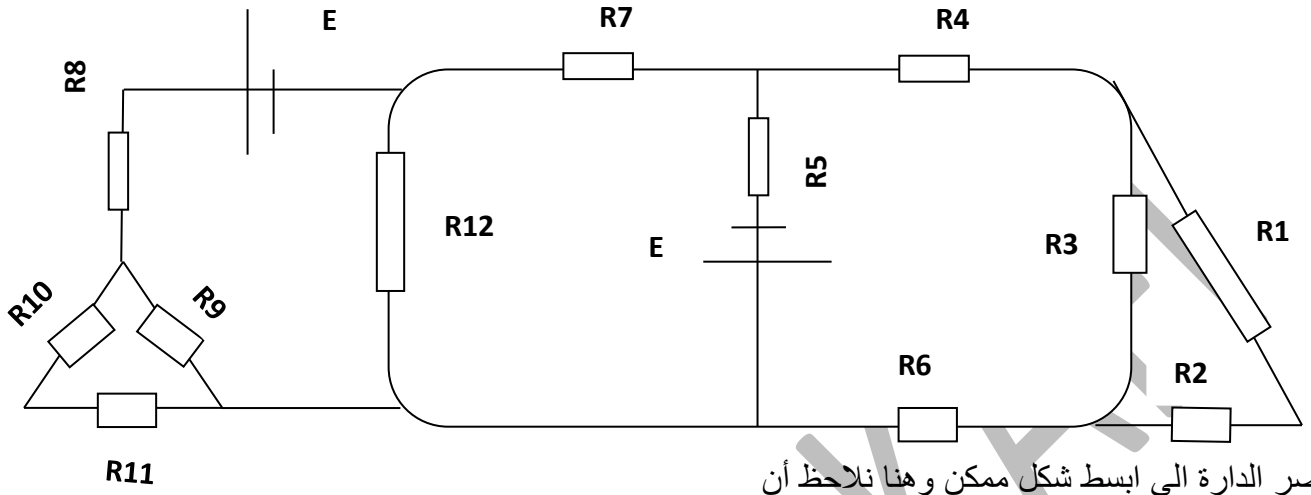
بما أن الاستطاعة المولدة تساوي الاستطاعة المستهلكة وبالتالي تحقق قانون توازن الاستطاعة .

E/ABDULKAFI

مثال:

- لدينا الدارة التالية، والمطلوب اختزل الدارة الى ابسط شكل ممكن ثم أوجد التيار المار.

مع العلم أن: $R1=R2=R3=R4=R5=R6=R7=R8=R9=R10=R11=R12=3\Omega$ ،$E=100V$



نختصر الدارة الى ابسط شكل ممكن وهنا نلاحظ أن

R1و R2على التسلسل $R_{13}= R_1+R_2=6\ \Omega$

R13 و R3 على التفرع $R_{14}=R_{13}\times R_3/ R_{13}+R_3=2\ \Omega$

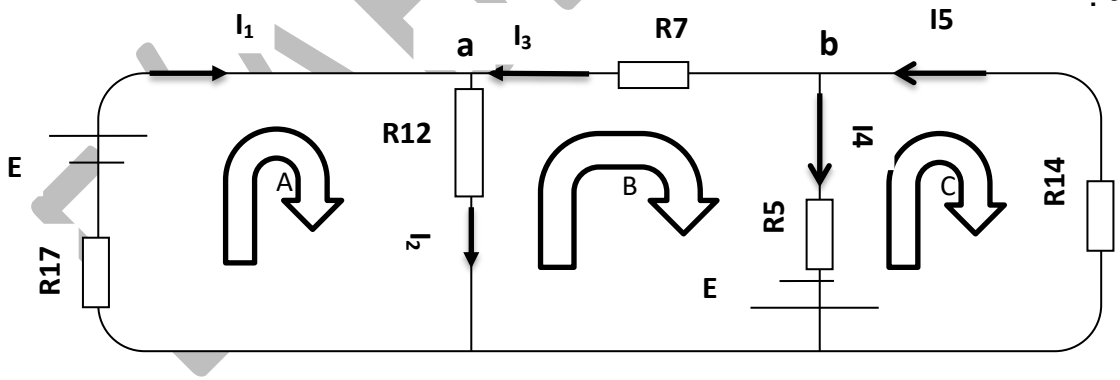
R14و R4 و R6على التسلسل $R_{15}= R_{14}+R_4+R_6=8\ \Omega$

R10و R11على التسلسل $R_{16}= R_{10}+R_{11}=6\ \Omega$

R9 و R16 على التفرع $R_{17}=R_{16}\times R_9/ R_{16}+R_9=2\ \Omega$

R8و R17على التسلسل $R_{18}= R_{17}+R_8=5\ \Omega$

وتصبح الدارة :



C

لدينا 3عقدa و b و c لذى يطبق قانون كيرشوف الأول على عقدتين فقط لأن N=3

$I_3+I_1=I_2$ ..... (1)

$I_3+I_4=I_5$ ..... (2)

بما أنه لدينا 6 أفرع اذا لدينا 3 معادلات لكيرشوف الثاني 3=(1-4)-6=(1-n)-m وتمثل معادلة الحلقات.

من الحلقة A:

$-E=+I_1*R_{17}+I_2*R_{13}$

$-100=5I_1+3I_2$ ..... (3)

من الحلقة B:

$E=I_2*R_{12}-I_3*R_7+I_4*R_5$

$100=-3I_2-3I_3+3I_4$ ..... (4)

من الحلقة C:

$-E= -I_5*R_{14}-I_4*R_5$

$100=3I_4+8I_5$..... (5)

نعوض المعادلة 2 في 5 فينتج

$100=3I_4+8I_3+8I_4$

$I_4=\frac{100}{11}-\frac{8}{11}i_3$

نعوض المعادلة 1 في 3 فينتج :

$i_1=\frac{-100}{8}-\frac{3}{8}i_3$

وبإصلاح المعادلات:

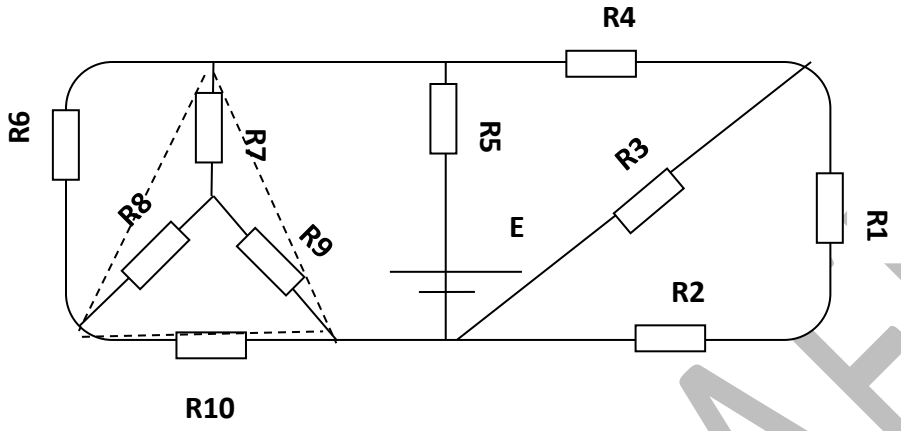
I_1=- 10.625 A
I_3=- 5 A
I_2=- 15.62 A
I_4=12.7 A
I_5=7.7 A

ABDULKAFI

مثال:

- لدينا الدارة التالية، والمطلوب اختزل الدارة الى ابسط شكل ممكن ثم أوجد التيار المار .

مع العلم أن: $R1=R2=R3=R4=R5=R6=R7=R8=R9=R10=2\Omega$ ، $E=106V$



نحول الشكل R8.R9.R10 النجمي الى الشكلRa.Rb.Rc المثلثي.

$Ra=Rb=Rc=2+2+(4/2)=6$

نجد أن Rc على التفرع مع R_{10} ⟵ $R_{14}=Rc\times R_{10}/\ R_{10}+Rc=1.5\ \Omega$

نجد أن Rb على التفرع مع R_6 ⟵ $R_{15}=Rb\times R6/\ Rb+R_6=1.5\ \Omega$

R_{14}و R_{15}على التسلسل ⟵ $R_{16}=R_{14}+R_{15}=3\ \Omega$

نجد أن Ra على التفرع مع R_{16} ⟵ $R_{17}=Ra\times R_{16}/\ Ra+R_{16}=2\ \Omega$

R_1و R_2على التسلسل ⟵ $R_{11}=R_1+R_2=4\ \Omega$

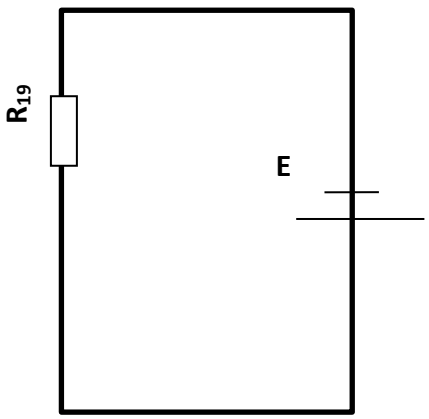
نجد أن R_{11} على التفرع مع R_3 ⟵ $R_{12}=R_3\times R_{11}/\ R_3+R_{11}=1.33\ \Omega$

R_{12}و R_4على التسلسل ⟵ $R_{13}=R_{12}+R_4=3.33\ \Omega$

نجد أن R_{17} على التفرع مع R_{13} ⟵ $R_{18}=R_{17}\times R_{13}/\ R_{17}+R_{13}=1.25\ \Omega$

R_{18}و R_5على التسلسل ⟵ $R_{19}=R_{18}+R_5=3.25\ \Omega$

وبالتالي تصبح الدارة بالشكل:



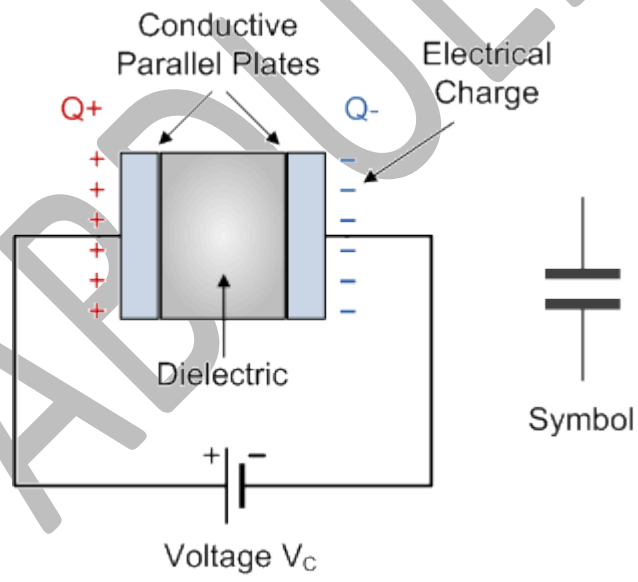
$$I=\frac{E}{R19}=\ 32.6\ A$$

E/ABDULKAFI

المكثف (Capacitor) :

تعريف المكثف :هو عنصر كهربائي يقوم بتخزين الطاقة الكهربائية أثناء عملية الشحن على شكل مجال كهربائي وإطلاقها أثناء عملية التفريغ .

تركيب المكثف : يتكون المكثف الكهربائي من لوحين من مادة موصلة بينهما مادة عازلة كما هو مبين في الشكل التالي، ويتحدّد نوع المكثف على حسب المادة العازلة المستخدمة في صناعته، فإذا كانت المادة العازلة الموجودة بين لوحي المكثف هي الهواء فيطلق على المكثف في هذه الحالة اسم المكثف الهوائي، وإذا كانت مصنوعة من مادة البلاستيك سمّي مكثفاً بلاستيكيّاً، وإذا كانت المادة العازلة من الميكا أطلق على المكثف اسم مكثف ميكا وإذا كانت المادة العازلة من السيراميك أطلق على المكثف اسم المكثف السيراميك، أما إذا استخدم محلول كيماوي كمادة عازلة بين لوحي المكثف أطلق على المكثف اسم المكثف الكيماوي أو الالكترولتي.



سعة المكثف : تتحدّد سعة المكثف بقدرته على تخزين الشحنة الكهربائية، ووحدة قياسها الفاراد FARAD ، ويرمزللسعة بالرمزC.

والفاراد : وحدة كبيرة جداً في المكثف ، ولقياس قيمة المكثف قسمت هذه الوحدة إلى وحدات أصغر.

E/ABDULKAFI

$$\text{سعة المكثف (C) بالفاراد} = \frac{\text{الشحنة المخزونة في المكثف Q بالكولوم}}{\text{فرق الجهد بين اللوحين للمكثف V بالڤولت}}$$

نستنتج من هذا القانون أن اختيار قيمة المكثف في الدائرة الإلكترونية يتحدد بعاملين أساسيين هما سعة المكثف، وقيمة فرق الجهد المطبق على طرفيه، ووحدة قياس سعة الفاراد يمكن تقسيمها إلى وحدات أصغركما ذكرنا سابقاً غالباً ما تكون :

$$\text{الميكروفاراد}(\mu F) = \frac{1}{\text{مليون}} \text{ فاراد (F)}$$

$$\text{البيكوفاراد (pF)} = \frac{1}{\text{مليون}} \text{ ميكروفاراد (}\mu F\text{)}$$

- **العوامل المؤثرة في سعة المكثف:**

1- تتناسب سعه المكثف تناسبا طرديا مع المساحة السطحية للألواح a.

2- تتناسب سعه المكثف تناسبا عكسيا مع المسافة بين الألواح d.

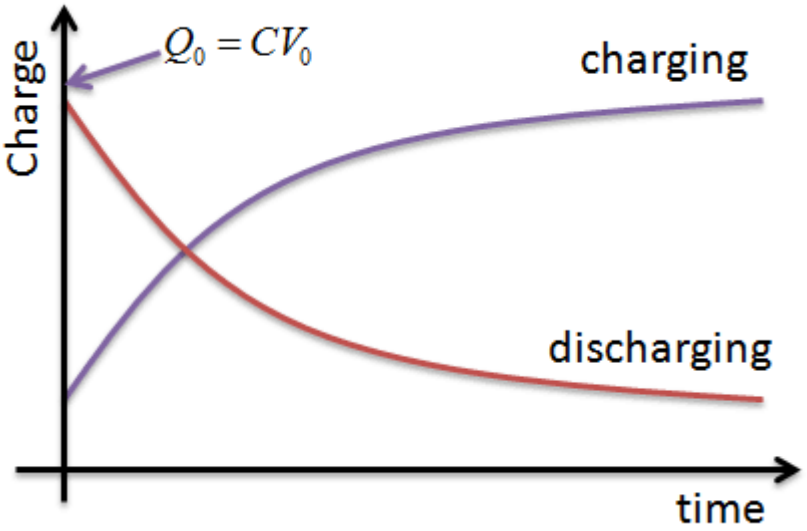
3- لكل مادة عازلة (فراغ) ثابت عزل ε تؤثرفي سعة المكثف.

مما سبق نجد أن سعة المكثف بدلالة المساحة السطحية للألواح (a) والمساحة بين الألواح d وثابت العزل للمادة العازلة ε تكون :

$$C = \epsilon \frac{a}{d}$$

حيث ε هو ثابت سماحية الوسط العازل وهو يساوي في حالة الهواء $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{F}{m}$

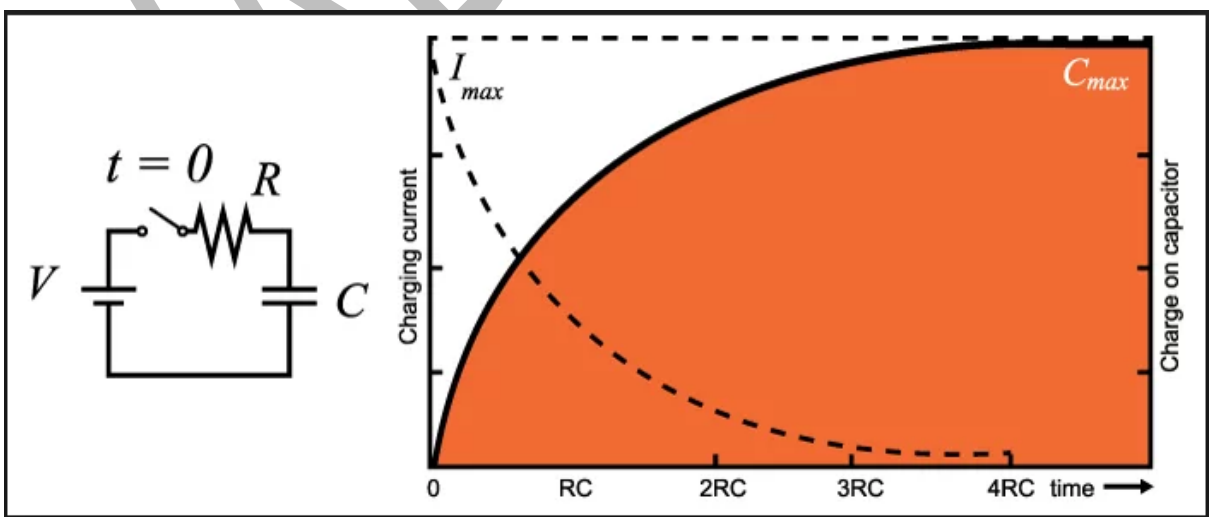
شحن وتفريغ المكثّف :



يستخدم المكثفات في شحن الشحنات الكهربائية وهي مشابهة لعمل البطارية ولكن الفرق أنها تكون خطرة إذا شحنت أعلى من جهدها ،ويتم تفريغها بواسطة مقاومة لتحديد عملية التفريغ ،وتتم عملية التفريغ والشحن بطريقتين:

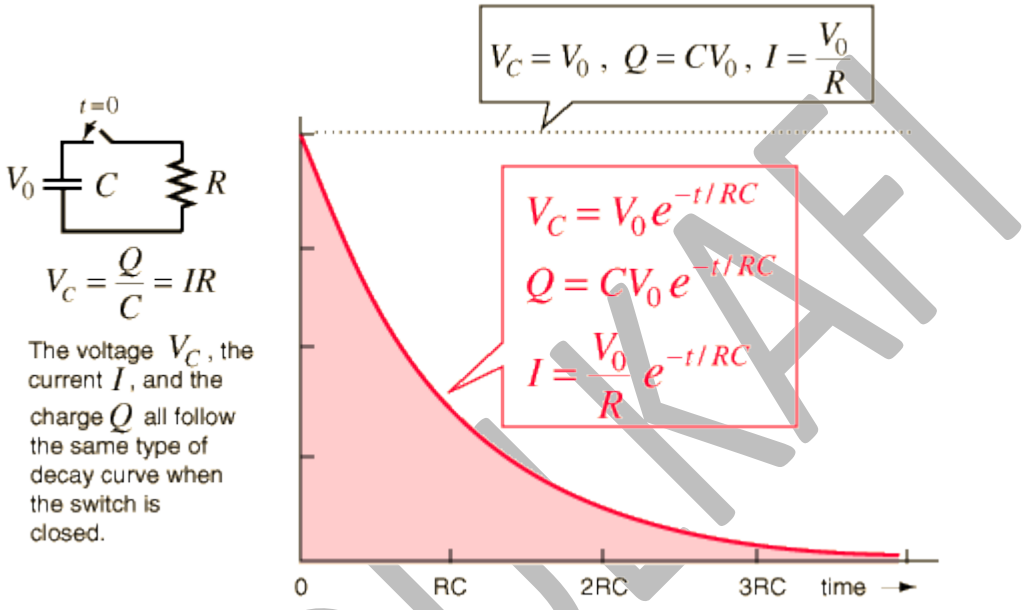
1 – شحن المكثف (على التسلسل) :

يتم الشحن تدريجيّاً ،وتعمل المقاومة على إبطاء عمليّة الشحن .



2 – تفريغ المكثف (على التفرّع) :

يوصل المكثف والمقاومة على التوازي ،ويتم التسريب أو التفريغ تدريجياً ،وتعمل المقاومة على إبطاء عملية التفريغ للمكثف كما هو موضح في الشكل :



المفاعلة السعوية (مقاومة المكثف الأومية) :

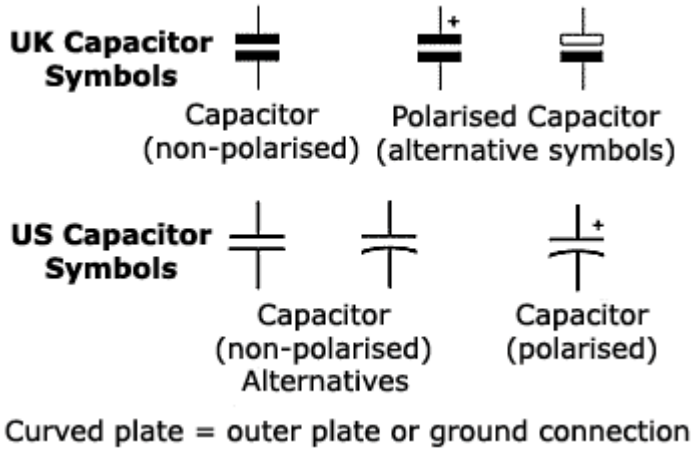
المكثف الكهربي له مقاومة أوميةXc (لأنها تقاس بوحدة الأوم) تتغير مع التردد(F) وتتناسب عكسيا مع كل من السعةC والترددF ، ويمكن حسابها من القانون التالي:

$$Xc = \frac{1}{6.28 * C * F}$$

في حالة التيار المستمر تكون قيمة التردد F تساوي (صفر)، وتكون بالتالي قيمة مقاومة المكثف الأومية Xc كبيرة جدا (ما لا نهاية) وبذلك فإن المكثف يمنع مرور التيار المستمر في الدائرة، بينما يمرر التيار المتغير وهذه الخاصية تعد أهم وظائف استعمالات المكثف في الدائرة الإلكترونية.

F/ABDUKAFI

رمز المكثّف :



أنواع المكثّفات :

1- مكثفات ثابتة ولها أشكال مختلفة .

المكثفات الورقية المعدنية – المكثفات الخزفية (السيراميكية) – مكثفات الميكا – المكثفات الإليكتروليتية "المستقطبة" (وتتميزبوجود قطب موجب وسالب).

2- مكثفات متغيرة: والتي يمكن التحكم بقيمة السعة وتستخدم في ضبط الترددات كما الموجودة في الراديو.

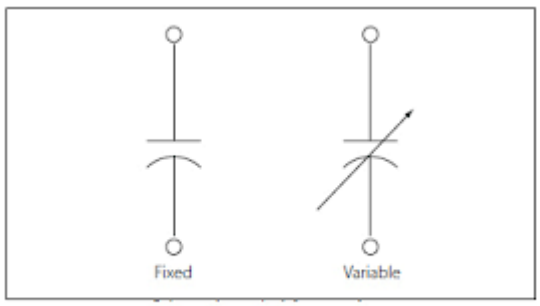
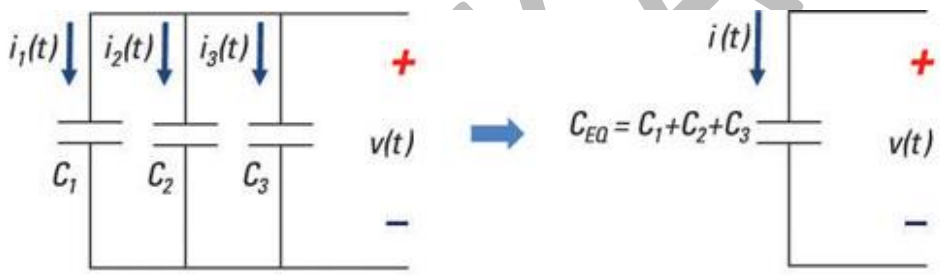


Figure 10-111. Schematic symbols for a fixed and variable capacitor.

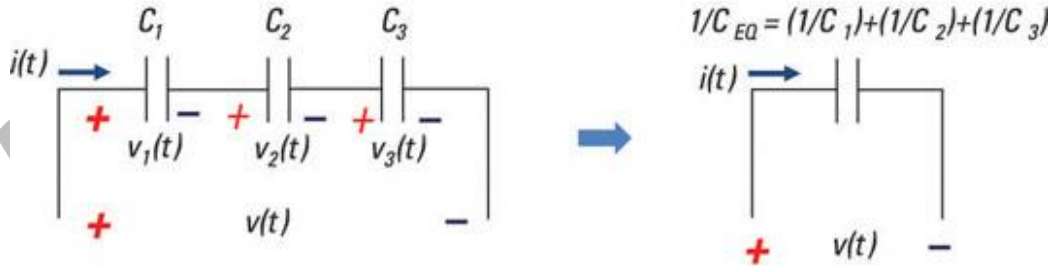
بعض الأشكال العمليّة للمكثّفات :

E/ABDULKAFI

توصيل المكثّفات :



Parallel Capacitors

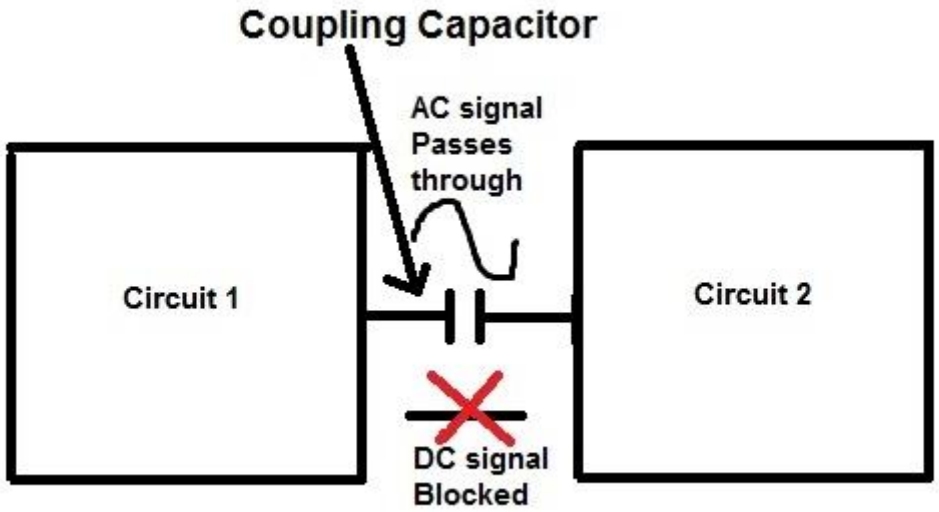


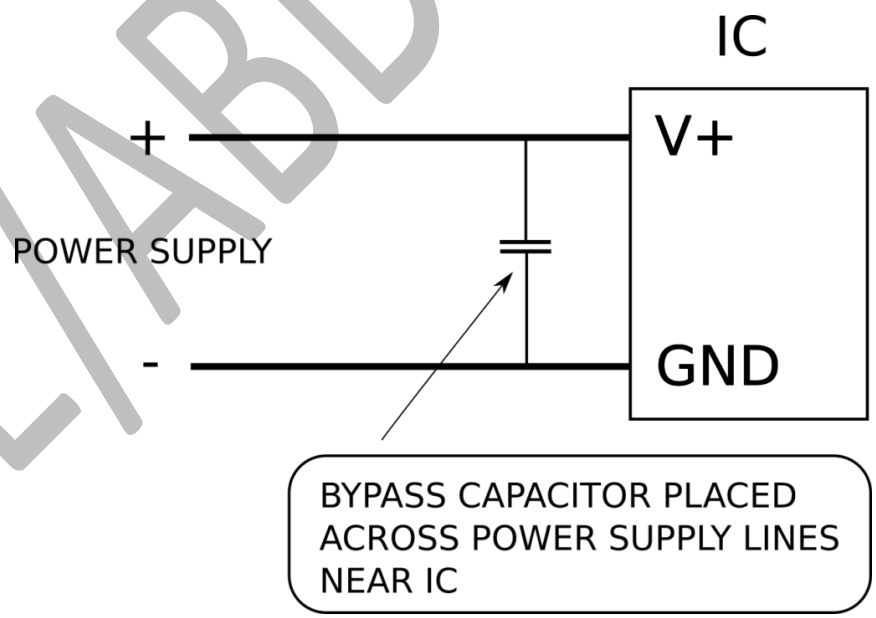
Series Capacitors

نستنتج مما سبق أنه عند حساب القيمة الكلية لسعة مكثفات موصلة على التوالي يكون طريقة الحساب على عكس المتبع في المقاومات.

استعمالات المكثّف في الدوائر الإلكترونية :

1 – يستعمل المكثف لإمرار التيار المتغير ومنع مرور التيار المستمر أو العكس في الدائرة الإلكترونية، حيث يعمل (كمكثف ربط) Coupling أو (مكثف تسريب) Bypass كما هو مبين في الأشكال :





2- يستعمل المكثف الكيماوي للشحن والتفريغ في دوائر التنعيم التي تحول التيار المتغير إلى تيار مستمر.

3- يستعمل المكثف الكيماوي كبير السعة في دوائر فلاش كاميرا التصوير حيث يخزن شحنات كهربية عالية، وعندما يفرغ فجأة يعطي الضوء الأبيض الباهر اللازم لعملية التصوير.

4- يستعمل المكثف المتغير على التوازي مع ملف لاختيار المحطات (الترددات) في جهاز الراديو أو جهاز التلفزيون.

5- يوصل المكثف مع المقاومة في الدائرة الإلكترونية للحصول على أشكال موجات متنوعة ويطلق على الدائرة في هذه الحالة دائرة تفاضل أو دائرة تكامل.

قراءة قيمة المكثّف :

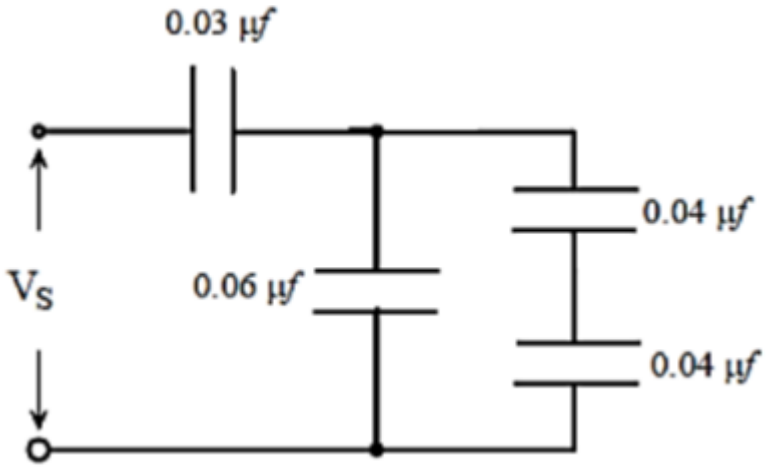
تكتب القيمة العليا لفرق الجهد على المكثف والتي ممكن أن يعمل بها.

وفي بعض المكثفات كالإليكترونية تكون مقطبة ، وهذا يعني أنها يجب أن توضع بالشكل الصحيح ، وتكتب عليها عادة هذه الأقطاب إذا كانت موجبة أو سالبة .

بعض المكثفات لها أطواق من الألوان لمعرفة قيمتها كالموجودة في المقاومات .

تمرين :

أوجد السعة الكلية المكافئة لمكثّفات موصولة كما يلي :



للاطّلاع :

- أنواع مختلفة للمكثّفات مع مسمّياتها -

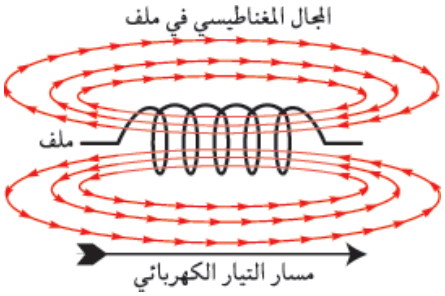
الملفات(coils):

مقدمة:

مرور تيار في سلك:

عندما يمر تيار في سلك ينشأ حول هذا السلك مجال مغناطيسي ، يتزايد هذا المجال بتزايد التيار المار في السلك .

مرور تيار في ملف:



يلف السلك بطريقة معينة ليعطي مجالاً مغناطيسياً في اتجاه معين محدد مسبقا من قبل المصمم .

وتخضع اتجاهات التيار واللف والمجال المغناطيسي لقاعدة اليد اليمنى .

الملف : عباره عن سلك معزول ملفوف على إطار من مادة عازلة former ويمكن أن تكون على عدة أشكال

أنواع الملفات Types Coils :

أولاً: من حيث القلب ..

تصنف الملفات وفقاً للمادة التي تشغل الحيز داخل الإطار الداخلي للملف إلى :

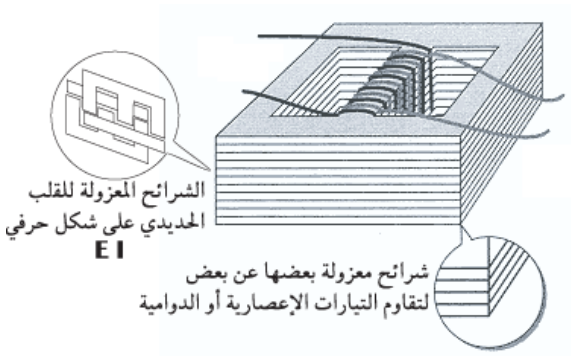
1- ملفات ذات قلب هوائي :

وهى تلك الملفات التي يشغل الهواء ما بداخل إطارها الداخلي (ما بداخل قلبها) والحث الذاتي لمثل هذه الملفات صغير .

E/ABDULKAFI

2- ملفات ذات قلب حديدي :

إذا وضع داخل الملف قلب حديدي ، فان المجال المغناطيسي يتركز داخل وحول الملف ولا يشرد كثيراً خارجه ، وبالتالي يزيد من حث الملف .



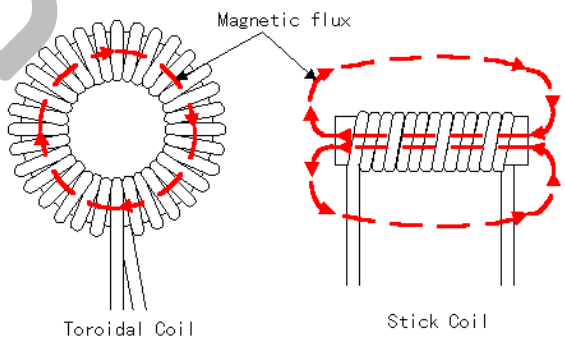
ولكن يعيب على مثل هذا النوع من الملفات ، أن تيارات متولدة بالحث الذاتي داخل القلب الحديدي تسمى بالتيارات الإعصارية أو التيارات الدوامية ، تتحرك في اتجاهات عشوائية داخل هذا القلب مما يسبب ارتفاع درجة حرارة القلب المغناطيسي وفقد في الطاقة .ولذلك يقسم القلب الحديدي إلى شرائح معزولة عن بعضها البعض لتقاوم التيارات الإعصارية أو الدوامية .

وتستخدم الملفات ذات القلب الحديدي في التنعيم في دوائر تقويم التيار المتناوب كما تستخدم في دوائر المصابيح الفلورسنتية .

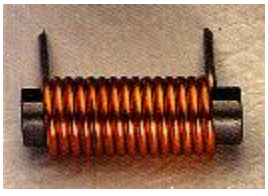
3- ملفات ذات قلب من مسحوق الحديد :

وهي الملفات التي يوضع بداخل قلبها مسحوق من الحديد ، حيث يخلط مسحوق الحديد بمادة عازلة ويضغط ليعطي قلب مغناطيسي ذو مقاومة كهربية عالية ، وبالتالي تقليل التيارات الدوامية أو الإعصارية إلى حد كبير .

لذلك هذا النوع من الملفات يملك كفاءة عالية وله تأثير صغير على المكوّنات الأخرى .



4- ملفات ذات قلب من مادة الفيرريت :



وهى تلك الملفات التي يوضع بداخل قلبها مادة الفيرريت ، ومادة الفيرريت مادة مغناطيسية مقاومتها الكهربية عالية جداً ،وبذلك نضمن عدم سريان التيارات الإعصارية داخلها .

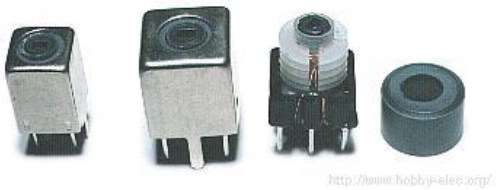
E/ABDULKAFI

ثانيا: من حيث التردد ..

1- ملفات التردد المنخفض : low Frequency Coils

وهي الملفات التي تستخدم في الترددات الصوتية ، ومن المعروف أن الترددات الصوتية تتراوح من 20 هرتز إلى 20 كيلو هرتز . وملفات التردد المنخفض من الملفات ذات القلب الحديدي .

2- ملفات التردد المتوسط :



وهي الملفات التي تستخدم في الترددات المتوسطة ، والتردد المتوسط في أجهزة الراديو ذات التعديل السعوي AM يساوي 465 كيلو هرتز .

وملفات التردد المتوسط من الملفات ذات القلب المصنوع من مسحوق الحديد أو مادة الفيرريت .

3- ملفات التردد العالي : High Frequency Coils

وهي الملفات التي تستخدم في الترددات العالية التي تزيد عن 2 ميجا هرتز ، مثل دوائر التنعيم في أجهزة الراديو .

وملفات التردد العالي من الملفات ذات القلب الهوائي.

الحث الذاتي :

إذا كانت قيمة التيار المار في الملف تتغير زيادةً أو نقصاً كما هو الحال مع التيار المتناوب ، فان قيمة المجال المغناطيسي الناشئ عن التيار تتغير أيضاً زيادةً أو نقصاً ، وفي هذه الحالة يتولد على طرفي الملف جهد يعارض الزيادة والنقص في التيار المار في الملف ، وكلما زاد معدل تغير التيار كلما زادت قيمة هذا الجهد المعارض لحدوث التغيير ، وخاصية المعارضة هذه تسمى " الحث الذاتي " .

ويسمى الجهد العارض لحدوث التغير : جهد مستحث أو جهد مستنتج أو جهد مولد بالحث الذاتي .

وتعرف نسبة الفيض المغناطيسي إلى التيار باسم التحريضية L وتتعلق بعدد اللفات.

$$L = \frac{N * \emptyset}{I}$$

N: عدد اللفات- Φ الفيض المغناطيسي – I التيار الكهربائي.

واحدة قياس الحث الذاتي :

يقاس الحث الذاتي لملف بوحدة (الهنري)

$$1H = 1000mH = 10^6\ \mu H$$

ممانعة الملفات :

وتقاس بالأوم وتتعلق بالحث والتردد. $$X_L = 2\pi f L,$$

العوامل المؤثرة على الحث الذاتي لملف:

1- مساحة مقطع الملف وطوله (طرديا)

2- عدد لفاته (طرديا)

3- كان للملف قلب من مادة مغناطيسية كالحديد أو مسحوق الحديد أو من مادة الفيريت .

العوامل المؤثرة على ممانعة الملف:

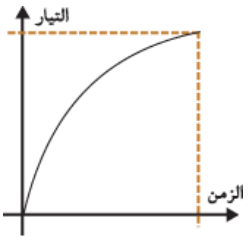
1- تردد الإشارة المارة بالملف .

2- حث الملف .

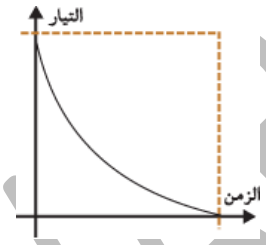
الملف في دوائر التيار المستمر :

إذا سلط جهد مستمر على ملف ، فان التيار الذي سيمر بالملف لا يصل إلى قيمته العظمى منذ اللحظة الأولى وذلك بسبب تولد جهد مستنتج بالحث الذاتي يعارض مرور التيار في الملف .

التيار يتزايد تدريجياً في الملف عند توصيلة بالتيار المستمر ، وإذا فصل الجهد المستمر عن الملف ، فان الجهد المستنتج بالحث الذاتي يعارض تناقص التيار في الملف ، لذا فان تيار الهبوط لا يصل إلى الصفر بمجرد فصل الجهد المستمر عن الملف . بل يستمر إلى حين .



يتزايد التيار تدريجيا من الملف عند وصله مع التيار المستمر



يتناقص التيار تدريجيا من الملف عند فصله من التيار المستمر

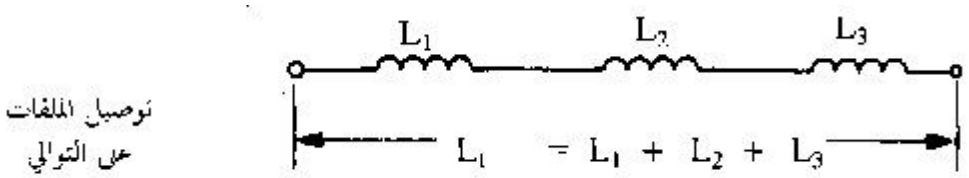
الملفات في دوائر التيار المتناوب :

بما أن التيار المتناوب يتغير باستمرار في قيمته واتجاهه ، لذلك فان الملفات يتولد فيها جهد مستنتج بالحث الذاتي يعارض الزيادة أو النقص أو تغيير الاتجاه عندما توصل تلك الملفات في دوائر التيار المتناوب.

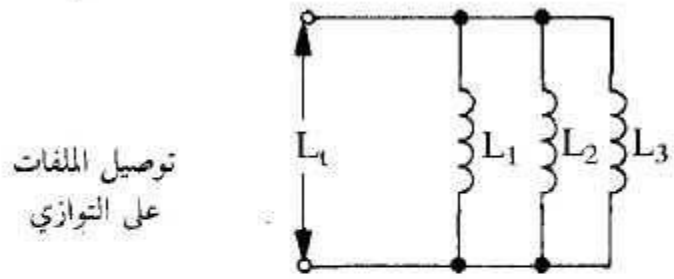
يعني ذلك أن الملف يتصرف بشكل معاكس للمكثف فهو يقاوم التغير في التيار المتناوب بينما يمرر التيار المستمر.

توصيل الملفات على التوالي:

عند توصيل الملفات على التوازي كما هو مبين في الشكل التالي فإن الحث الكلي يحسب من العلاقة: **L=L1+L2.....+Ln**



عند توصيل الملفات على التوازي كما هو مبين في الشكل التالي فإن الحث الكلي يحسب من العلاقة:



$$\frac{1}{L_t} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

رموز الملفات:

المحولات (Transformer):

الملف (inductor) هو أداة تقوم بمقاومة التغير في التيار بغض النظر عن اتجاه هذا التيار.

الحث الذاتي للملف بأنه قدرة الملف على إيجاد جهد فيه ليقاوم أي تغيير في التيار الساري فيه.

عندما يمر تيار متردد (AC) في الملف فإنه سينتج مجال مغناطيسي حول هذا الملف. فإذا ارتفع التيار ازدادت مسافة المجال المغناطيسي حول الملف وإذا قل التيار قلت المسافة حول الملف.

عندما نضع ملفاً آخر داخل هذا المجال المغناطيسي الذي يزداد وينقص فإن هذا المجال المغناطيسي سوف يولد تيارا في الملف الثاني وهذه الخاصية تسمى **بالحث التبادلي**.

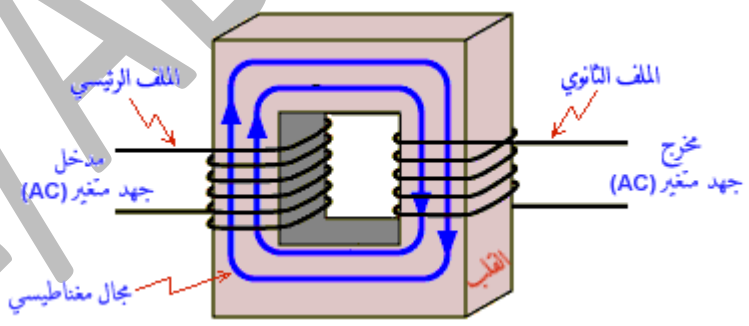
الحث التبادلي : الخاصية الكهربائية التي تمكن التيار الساري في سلك أو ملف من ايجاد تيار في سلك أو ملف آخر قريب منه.

تعريف المحول: جهاز رباعي الأقطاب وظيفته تحويل جهد كهربائي متناوب الى جهد أعلى أو أقل.

تركيب المحولات :

يتركب المحول من اطار من مادة عازلة على شكل اسطوانة أو مكعب أو متوازى مستطيلات أو دائري . ويعتمد على خاصية الحث التبادلي حيث يستخدم لرفع أو خفض الجهد .

يلف على هذا الاطار سلك معزول من النحاس يتصل بالمنبع يسمى "بالملف الأبتدائى " ويلف فوقه أو تحته أو الى جواره ملف آخر نحصل منه على الجهد المطلوب يسمى " الملف الثانوي " .
وقد يصنع قلب المحول من شرائح حديدية معزولة وقد يصنع من مسحوق الحديد ، وقد يكون قلب المحول هوائيا .
توضع المحولات ذات القدرة العالية في زيت لتبريدها ، أما محولات القدرة المستخدمة في الإلكترونيات فان قدرتها محدودة ولذلك لا تحتاج الى مثل هذا النوع من التبريد .



نظرية عمل المحول :

1- مرور التيار المتردد في الملفات الابتدائية ينشئ مجالا مغناطيسيا متغيراً.
2- يقطع الفيض المغناطيسي المتغير لفات الملف الثانوى فيتولد فيها – بالحث – جهدا كهربيا يعارض التغير في شدة واتجاه المجال المغنطيسى .
3- الجهد المستحث المتولد في الملفات الثانوية يسبب تدفق التيار من هذه الملفات عندما توصل بحمل ما .

E/ABDULKAFI

أنواع المحولات :

- **من حيث التردد :**

هناك محولات تردد منخفض وهناك محولات تردد متوسط ومحولات تردد عالى .

- **من حيث نوع القلب :**
- هناك محولات ذات قلوب حديدية وأخرى ذات قلوب هوائية وثالثة ذات قلوب من مسحوق الحديد أو من مادة الفيرريت .

نسبة التحويل :

حيث أن الفيض المغناطيسي Ø للمحول يتناسب مع حاصل ضرب تيار الملف الابتدائي Ip × عدد لفاته Np .

ونفس الفيض المغناطيسي Ø يتناسب مع حاصل ضرب تيار الملف الثانوى Is × عدد لفاته Ns .

Ip.Np=Is.Ns تيار الملف الابتدائي × عدد لفات الملف الابتدائي= تيار الملف الثانوي × عدد لفات الملف الثانوي

وتسمى النسبة K= Np/Ns بنسبة التحويل .

وحيث أن قدرة الملف الابتدائي Pp = قدرة الملف الثانوي Ps (بفرض أن المحول لا يفقد شيئا من طاقته المغناطيسية)

Pp=Ps=P قدرة الملف الابتدائي= قدرة الملف الثانوي = القدرة

P=Vp.Ip القدرة = جهد الملف الابتدائي × تيار الملف الابتدائي

P=Vs.Is القدرة = جهد الملف الثانوي × تيار الملف الثانوي

وبالتعويض في المعادلة :

Vp/Vs=Np/Ns=Is/Ip

يقال أن المحول من النوع **الرافع للجهد K < 1** اذا كانت النسبة Np/Ns اقل من الواحد الصحيح وفي هذه الحالة يكون جهد الملف الثانوى Vs أكبر من جهد الملف الابتدائى Vp، وتيار الملف الثانوى Is أصغر من تيار الملف الابتدائى Ip .

كما يقال أن المحول من النوع **الخافض للجهد K>1** اذا كانت النسبة Np/Ns أكبر من الواحد الصحيح وفي هذه الحالة يكون جهد الملف الثانوى Vs أصغر من جهد الملف الابتدائي Vp ، وتيار الملف الثانوى Is أكبر من تيار الملف الابتدائى Ip .

مثال:

محول 220-12 فولت عدد لفات ملفه الرئيسي هي 310 لفة فما هي عدد لفات ملفه الثانوي ؟

الإجابة:

عندما نقول أن المحول 220 – 12 فولت فذلك يعني أن:

الجهد الرئيسي = 220 فولت

E/ABDULKAFI

الجهد الثانوي = 12 فولت

عندما نطبق القانون التالي :

$$\frac{\text{الجهد الرئيسي}}{\text{الجهد الثانوي}} = \frac{\text{لفات الملف الرئيسي}}{\text{لفات الملف الثانوي}}$$

$$\frac{٢٢٠}{١٢} = \frac{٣١٠}{\text{لفات الملف الثانوي}}$$

$$\text{لفات الملف الثانوي} = \frac{١٢ \times ٣١٠}{٢٢٠}$$

$$= ١٧ \text{ لفه}$$

تعامل المحولات مع الجهود المستمرة:

إن المحول يعمل فقط مع الجهود و التيارات المتناوبة (AC) بينما معظم الدوائر الإليكترونية تعمل مع الجهود الثابتة (DC). المحول إذا لا يصلح للاستعمال المباشر لتغذية الدوائر الإليكترونية حيث يجب تحويل الجهد الثانوي الصادر من المحول إلى جهد ثابت (DC).

محول ذو جهد متغير	**محول قابس**	**محول قدرة**

يكتب على المحول جهده وتياره و لكن في حال عدم الكتابة يمكن معرفة ذلك من ألوان الأسلاك كالتالي :

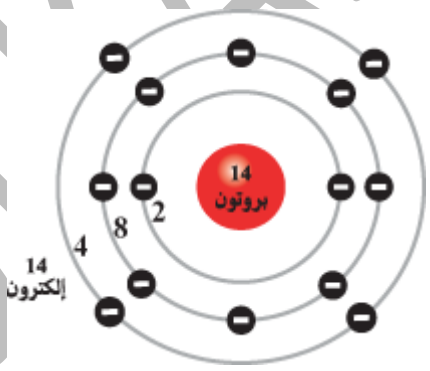
أسود = 0 فولت , **أصفر** = 3 فولت , أبيض= 4.5 فولت , **أزرق** = 6 فولت , **أخضر**= 7.5 فولت ,**أحمر**= 9 فولت , **برتقالي**= 12 فولت ..

E/ABDULKAFI

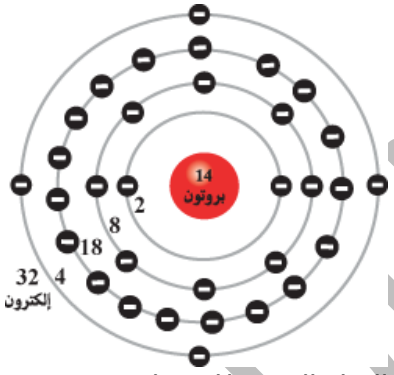
أشباه الموصلات (semiconductor)

تكوين الذرة:
تحتوي النواة على نوعين من الأجسام، أحدها موجب الشحنة ويطلق عليها (بروتونات)، والثاني متعادل الشحنة يطلق عليها (نيوترونات) ويدور حول النواة (إلكترونات) سالبة الشحنة في مدارات ثابتة.

تنتمي مادتي السليكون والجرمانيوم إلى عائلة أشباه الموصلات، تحتوي كل من ذرتي السليكون والجرمانيوم على أربعة الكترونات تكافؤ،(الكترونات التكافؤ هي الكترونات المدار الخارجي للذرة وتساهم في التفاعلات الكيميائية) والاختلاف بينهما هو أن ذرة السليكون تحتوي على 14 الكترون في النواة بينما ذرة الجرمانيوم تحتوي على 32 الكترون، ويوضح الشكل التركيب الذري لمادة السليكون و التركيب الذري لمادة الجرمانيوم .



البناء الذري للسليكون



البناء الذري للجرمانيوم

أنصاف النواقل:

هي مواد تتألف من عناصر تنتمي لعناصر المجموعة الرابعة من عناصر الجدول الدوري والتي تمتلك خصائص كهربائية تتوضع بين المواد الناقلة والعازلة.

يعتمد عدد حاملات الشحنة المتحررة على كمية الحرارة المطبقة على البنية الشبكية لنصف الناقل، وتضاف الشوائب من أجل التحكم بتركيز حاملات الشحنة وبالتالي زيادة فعالية ناقلية المادة.

ميزات العناصر الإلكترونية نصف الناقلة:

1- صغر الحجم بالمقارنة مع الصمامات.
2- ضياعات حرارية أقل.
3- بساطة البنية.
4- موثوقية عالية.
5- استهلاك منخفض للطاقة.

الثنائي (Diode)

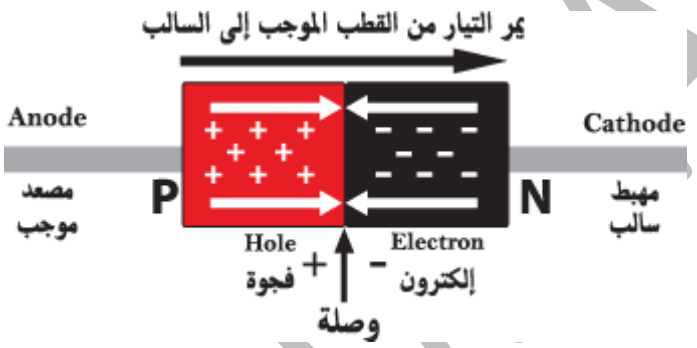
F/ABU 'AFI

تركيب الثنائي :

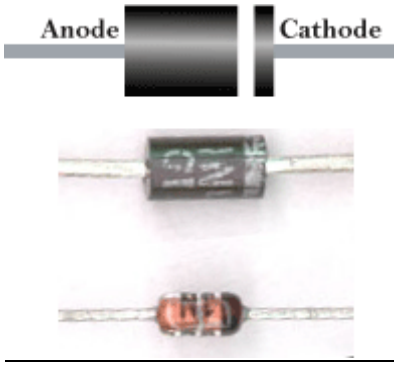
الثنائي عنصر إليكتروني يحتوي على طرفين (المصعد والمهبط)، يسمح الثنائي بمرور التيار الكهربي في اتجاه واحد وذلك عندما يكون جهد المصعد موجب بالنسبة للمهبط (توصيل أمامي)، ولا يمر إلا تيار ضئيل جداً عندما يكون جهد المصعد سالباً بالنسبة للمهبط (توصيل عكسي)، وهكذا يمكن اعتبار الديود كمفتاح جهد يوصل في أحد الاتجاهات ولا يوصل في الاتجاه الآخر .

يتكون الثنائي من شريحتين من مواد نصف ناقلة، إحداهما سالبة والأخرى موجبة.

يفصل الشريحة الموجبة (P) والتي تحتوي على الفجوات الموجبة كحاملات للشحنة، عن الشريحة السالبة (N) والتي تحتوي على الالكترونات السالبة كحاملات للشحنة، بمنطقة فاصلة تدعى المنطقة المجردة، وتشير الأسهم الموضحة إلى اتجاه حركة كل من تيار الفجوات وتيار الإلكترونات.



الشكل الخارجي للثنائي:



رمز الثنائي في الدارات:

يمر التيار من القطب الموجب إلى السالب

يوجد دائماً خط دائري حول الثنائي وهي علامة توضيحية تدل على مسار التيار من المصعد إلى المهبط

خواص الثنائي :

يمرر الثنائي تياراً عندما يكون موصلاً في الاتجاه الأمامي، ولا يمرر تياراً عندما يكون موصلاً في الاتجاه العكسي.

ويوضح الشكل منحنى خواص الثنائي او مايسمى ميزة الفولت أمبير(I-V) في الحالتين والذي يمكن إيجازه

في النقاط التالية :

يمرر التيار الكهربائي:

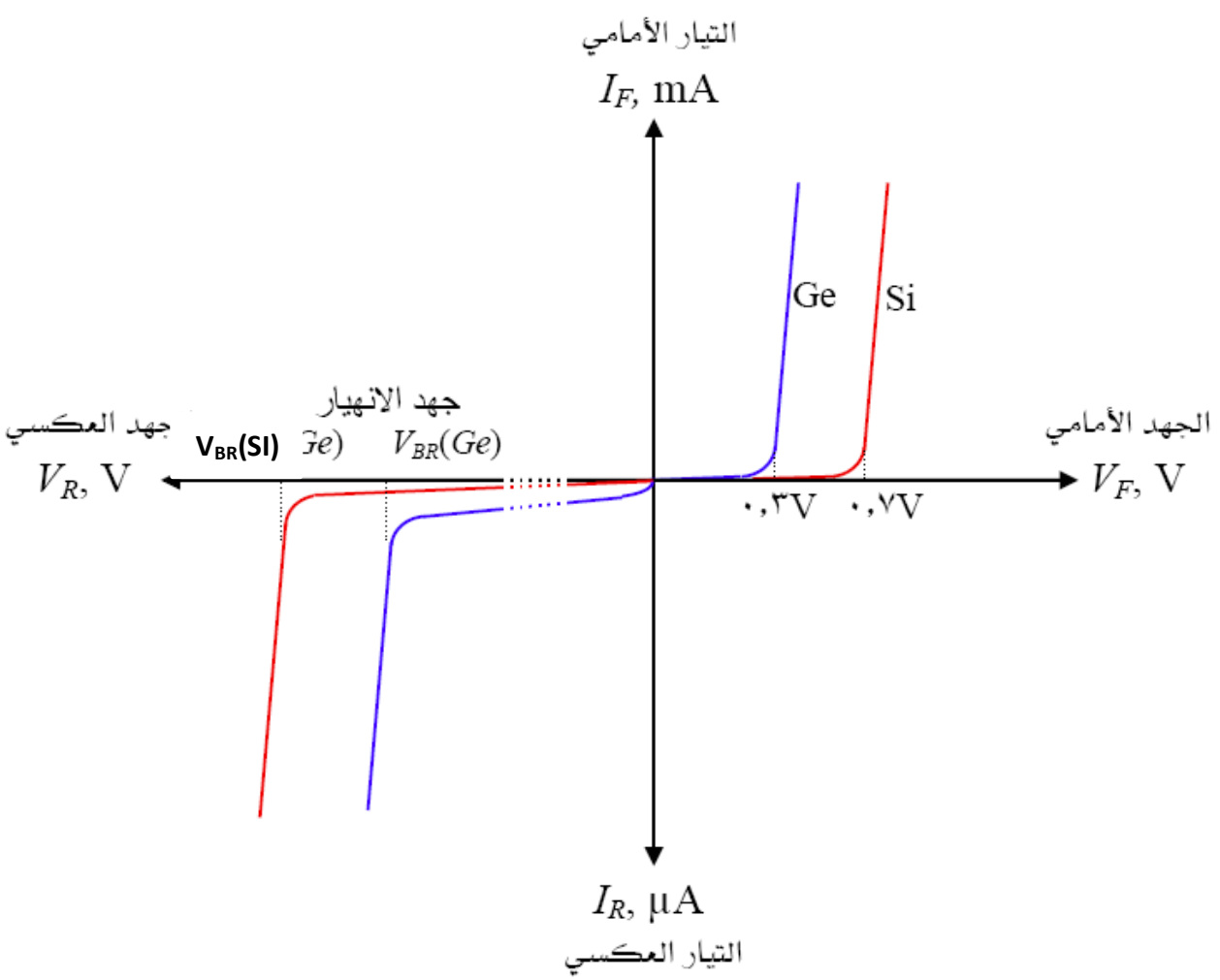
- يسمح الثنائي للتيار بالمرور في الاتجاه الأمامي عندما يتعدى الجهد الأمامي ما يسمى بالجهد الحاجز والذي يبدأ بعده الثنائي في التوصيل، وتكون قيمتا الجهد الحاجز VD 0.7 فولت في ثنائيات السليكون و 0.3 فولت في ثنائيات الجرمانيوم .

لا يمرر التيار الكهربائي :

- الجزء السفلي من المنحنى يمثل حالة التوصيل العكسي حيث يبقى التيار تقريبا مساويا للصفر إلى أن يصل الجهد إلى جهد الانهيار حيث يمر تيار عكسي شديد إذا لم يحد يمكنه أن يتلف الثنائي.

V_f-I_f: التيار والجهد في الحالة الأمامية.

V_r-I_r: التيار والجهد في الحالة العكسية.



أنواع الثنائيات (الديود) Diode Types :

ثنائي الجرمانيوم Ge Diode:

هو الثنائي المصنوع من الجرمانيوم ومحقون بشوائب تكون ذات بلورة موجبة مع شوائب أخرى تكون ذات بلورة سالبة، بحيث تكون البلورتان الموجبة والسالبة متجاورتين.

ثنائي السليكون Si Diode:

هو الثنائي المصنوع من السليكون ومحقون بشوائب تكون ذات بلورة موجبة مع شوائب أخرى تكون ذات بلورة سالبة، بحيث تكون البلورتان الموجبة والسالبة متجاورتين .

الثنائيات الخاصة:

1- **ثنائي زينر:** تصنع من مادة نصف ناقلة بسويات إشابة مختلفة وبالتالي فإن منطقة النضوب المشكلة عندما تكون الوصلة منحازة عكسيا تكون ضيقة جداً وبالتالي بجهد صغير فإن المنطقة تتعرض لحقل كهربائي عالي والإنهيار يحدث عندما يتجاوز الجهد العكسي قيمة محددة فتتكسر الروابط الذرية بين الإلكترونات والذرات لتقدم عدد كبير من حاملات الشحنة.

منحنى خصائص ثنائي الزينر :

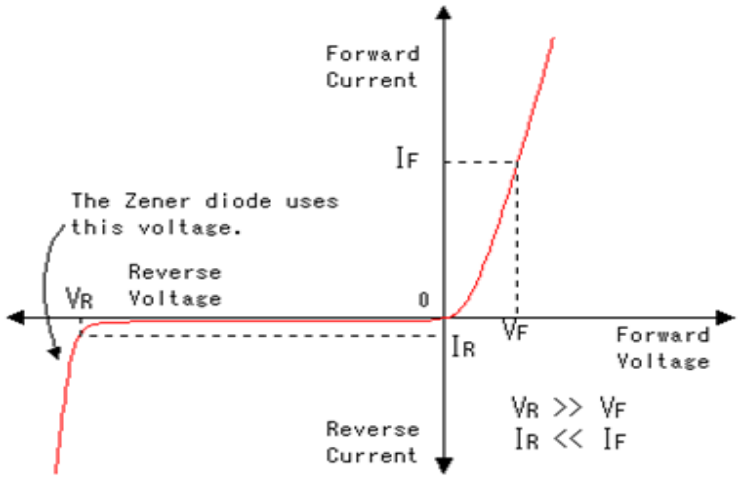
يعمل الزينر كثنائي عادي إذا تم توصيله أمامياً أما إذا وصل توصيلاً عكسياً فانه عند قيمة معينة في الجهد العكسي سوف يزداد التيار العكسي بصورة مفاجئة وشديدة، ويسمى الجهد العكسي الذي يتسبب في حدوث تيار عكسي "جهد الانهيار" أو "جهد الزينر" ، ويعتمد جهد الانهيار أو جهد الزينر أساساً على كمية الشوائب التي طعمت بها المادة التي صنع منها ثنائي الزينر .

معنى ذلك أنه يمرر التيار في إتجاهين.

والنقاط التالية جديرة بالذكر:

- يُستغل جهد الانهيار العكسي لثنائي الزينر كجهد مرجعي في دوائر تثبيت الجهد .
- يوصل ثنائي الزينر دائما عكسياً أما إذا وصل توصيلاً أمامياً فان خواصه تكون مثل الثنائي العادي.
- عند دخول ثنائي الزينر منطقة الانهيار فإنه لن يتلف أو يحترق حيث أن الدارة الخارجية الموصلة به تحد التيار ليكون أقل من القيمة التي تسبب تلفه .

E/ABDULKAFI

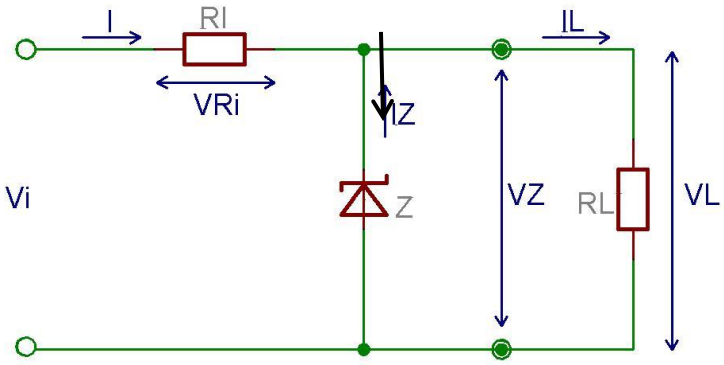


ورمزه في الدارات:

مثال على دارة تنظيم جهد تستخدم ثنائي زينر:

يستخدم ثنائي زينر في التوصيل العكسي لتثبيت الكمون ، وفي حال توصيله بشكل أمامي فيعمل كديود عادي.

فعندما يكون فرق الكمون بين طرفيه أقل من الكمون زينر (كمون الانهيار) يكون فرق الكمون بين طرفي مقاومة الحمل معطى بالعلاقة:



$$VL = Vz = Vi - Vri = Vi - I \cdot Ri$$

$$I = IL + IZ$$

حيث :

IL : تيار الحمل .

IZ : التيار المار في ثنائي الزينر ويساوي في هذه الحالة الصفر .

$$VL = Vi - (IL + Iz) Ri$$

$$VL = Vi - IL \cdot Ri$$

ومع ازدياد الكمون الداخل يزداد فرق الكمون بين طرفي ثنائي الزينر حتى يصبح مساوياً إلى كمون زينر (كمون الانهيار VZ) فعندها يمر تيار عكسي (IZ) في الزينر ، ويزداد التيار العكسي بازدياد فرق الكمون المطبق على ثنائي زينر ، لذلك يبقى فرق الكمون بين طرفي ثنائي الزينر مساوياً للكمون المطبق زينر ، ويساوي هذا الكمون فرق الكمون بين طرفي مقاومة الحمل ويعطى بالعلاقة :

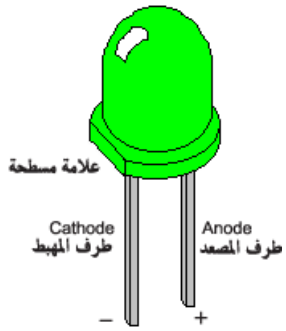
$$VL = Vi - (IL + IZ) Ri$$

تستخدم المقاومة (Ri) لحماية ثنائي الزينر من التلف وذلك بالحد من التيار الأعظمي الذي يمر فيه وذلك عند تغير كمون الداخل بين أقل وأعلى قيمة له .

وبالتالي يعتبر زنر من وسائل الحماية ويوصل على التفرع فعندما يكون الجهد المطبق أقل من جهد زنر فيعتبر زنر كأنه غير موجود أما بزيادة الجهد فوق جهد زنر عندها يبدأ زنر بالعمل وإمرار التيار فيه حت لايمر هذا التيار في الحمل (العنصر المراد حمايته)، ولكن لا يجب أن يتجاوز قيمة أعظمية تسمى Izmax.

من أهم مساوئ دارة تنظيم الكمون بواسطة ثنائي الزينر هو عدم إمكانية تنظيم الكمونات التي تقل عن كمون زينر ..

2-ثنائي الانبعاث الضوئي Light Emitting Diode (LED) :

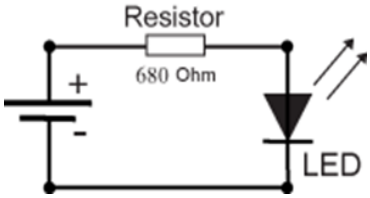


يشع الضوء عندما يثار بإشارة كهربائية.

ويوصل ثنائي الانبعاث الضوئي كما في الشكل في الاتجاه الأمامي وتعتمد نظرية عمل هذا الثنائي على أن الطاقة الكهربائية المعطاة له بالتوصيل الأمامي تعمل على تحريك حاملات الشحنة مما يؤدي إلى توليد فوتونات حرة تنبعث في كل الاتجاهات مسببة إشعاع الضوء .

وتوصل دائما **مقاومة** قيمتها مابين 680 أوم إلى 1 كيلو أوم لتحمي الثنائي.

رمز ثنائي الانبعاث في الدارات

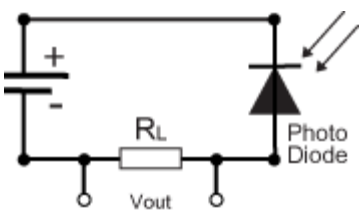


يوصل الثنائي الضوئي توصيلاً عكسياً كما في الشكل :

2- الثنائي الضوئي Photo Diode:

يتكون الثنائي الضوئي من شبه موصل موجب P وآخر سالب N ونافذة شفافة منفذة للضوء كما يتضح من الشكل.

ورمزه في الدارات:



عندما يسقط الضوء على الثنائي الضوئي، يقوم الضوء بكسر الروابط البلورية

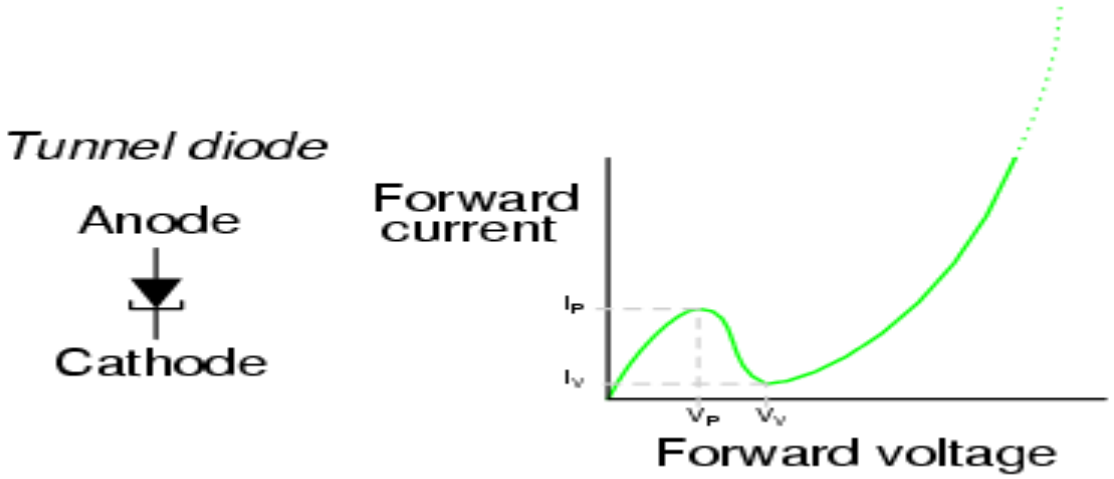
ويتحرر عدد من الشحنات التي تسمى بشحنات الأقلية، ويزداد هذا العدد بزيادة الضوء الساقط مكوناً تياراً يسمى بتيار التسريب ويستخدم في الدارات الالكترونية .

3- الثنائي النفقي Tunnel diodes :

يصنع الثنائي النفقي بشكل عام من الجرمانيوم وتكون مساحة الوصلة في منطقة الكمون الحاجز صغيرة .

ضمن مجال محدد يتناقص التيار الأمامي مع ازدياد الكمون الأمامي المطبق أي أن الثنائي النفقي يبدي مقاومة سالبة ضمن هذا المجال المحدد .

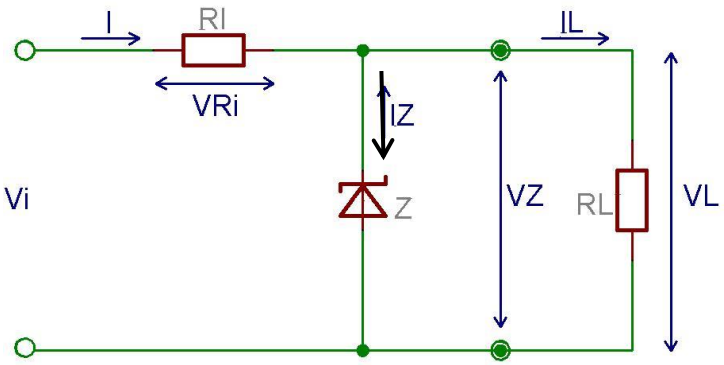
يستخدم الثنائي النفقي كثيراً في دارات المذبذبات ذات الترددات العالية جداً ويكون دائماً في التوصيل الأمامي ، وتراعى كثيراً قيمة الكمون العكسي المطبق للحصول على مقاومة سالبة .



مسألة:

لتكن لدينا الدارة التالي: فإذا علمت أن ثنائي زنر يثبت الجهد عند Vz=220V ولينا منبع Vi=300V

ومجال تثبيت التيار Izmin=5mA, Izmax=65mA



حدد مجال المقاومة Ri لكي يعمل ثنائي زنر كمثبت جهد اذا كان تيار الحمل مثبتا على القيمة IL=15mA

لدينا Ii=IL+Iz

بتعويض تيار زنر الأعظمي ينتج تيار دخل أعظمي

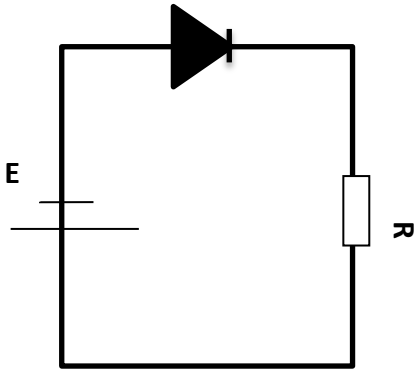
$I_{imax}=I_{zmax}+I_L=65+15=80$ mA

$R_{min}=\frac{Vi-Vz}{Iimax}$ =1 KΩ

$I_{imin}=I_{zmin}+I_L=5+15=20$ mA

$R_{max}=\frac{Vi-Vz}{Iimin}$=4 KΩ

مسألة: احسب قيمة التيار في الدارة الكهربائية التالية علما ان الثنائي سليكون:



في التوصيل الأمامي والعكسي :

الديود في الإنحياز الأمامي:

$I_D=\frac{E-0.7}{R}$ = (10-0.7)/2000=4.7 mA

الديود في الإنحياز العكسي:

$I_D=I_R=0$

$V_D=E=0$ volt

$V_R=I_R\times R=0$ volt

E/ABDULKAFI

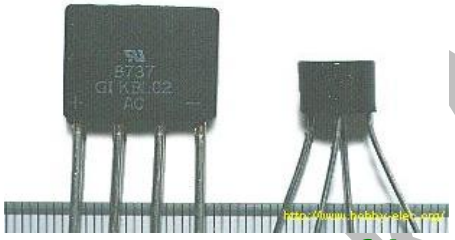
الموحد (المقوم) rectifier

يعرف التقويم بأنة عملية تحويل الإشارات المتغيرة مع الزمن إلى إشارات مستمرة القيمة وغير متعلقة بالزمن.

أنواع دوائر التوحيد :

1- موحدات نصف الموجة .
2- موحدات الموجة الكاملة باستخدام اربعة ثنائيات .

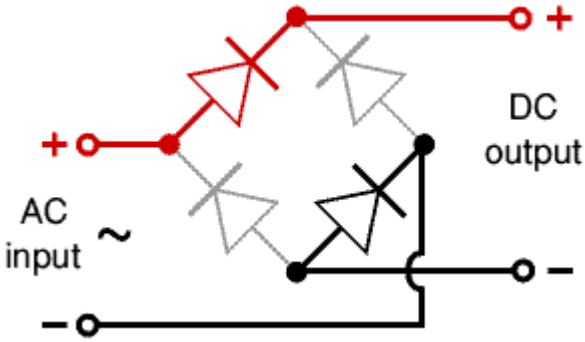
يمكن استخدام الثنائي كموحد أو مقوم للتيار الكهربائي اعتمادا على خواصة اذ أنة يسمح بمرور التيار في الاتجاه الأمامي ولا يسمح بمروره في الاتجاهه العكسي.



6 Amp

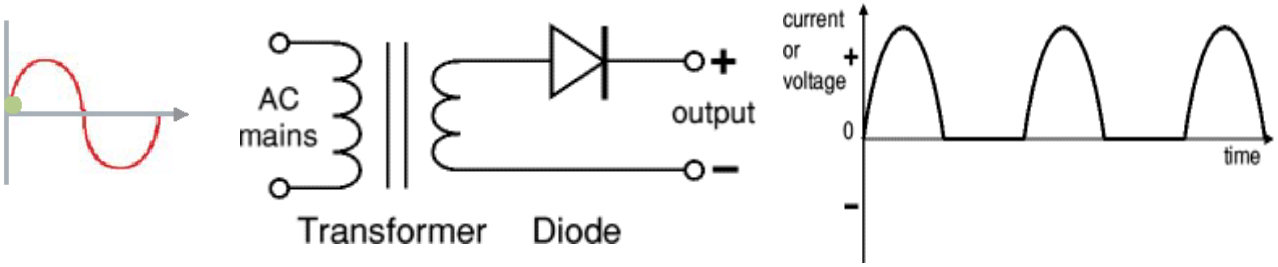
1 Amp

يتكون الثنائي الجسري (جسر التقويم) من أربعة ثنائيات عادية موصلة مع بعضها بشكل جسري .. يحتوي الثنائي الجسري على أربعة نقاط يكون مشاراً عليها بالرموز التالية (~ , - , +) .. إشارة (~) الموجودة على القطبين هي مدخل المقوم الجسري (تيار متناوب) .. إشارتي (- , +) هي مخارج المقوم ..



موحدات نصف الموجة: الثنائي يمكن أن يعمل كموحد لنصف الموجة. فالتيار المتردد تتغير قطبيتة بسرعة معينة أو تردد معين ، وهذا يعني أن الجهد يتغير في الدورة الواحدة بحيث يبدأ من الصفر في بداية الدورة ثم يصل الى القيمة العظمى الموجبة ويعود ثانية الى الصفر ليكمل دورة كاملة.

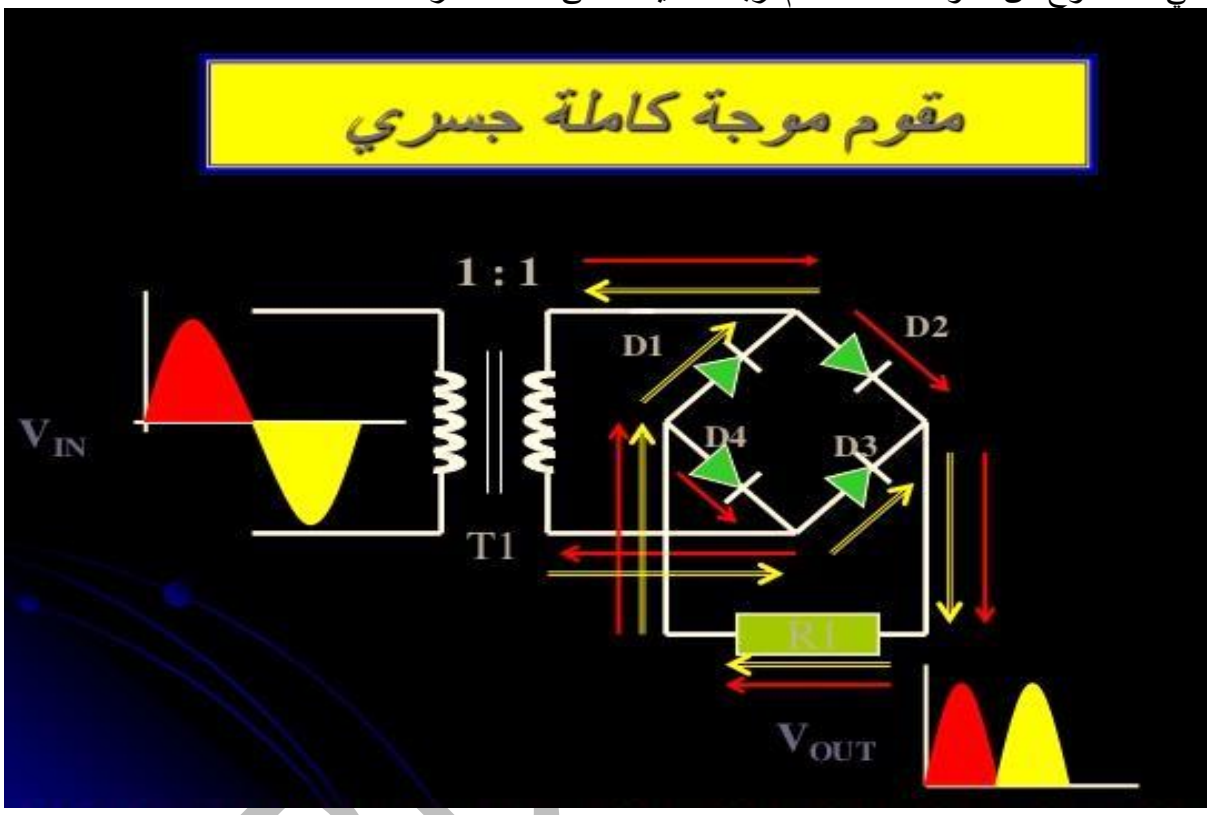
فاذا وصل الثنائي على التوالي مع حمل كما في الشكل فإنة يكون بمثابة مفتاح مغلق ومن ثم سيمرر التيار وذلك في نصف الموجة الموجبة للجهد فقط أي عندما يكون الجهد المسلط على الثنائي في الاتجاه الأمامي، أما في نصف الموجة السالب فان الثنائي لن يمرر التيار لأن الجهد المسلط علية يكون في اتجاه الانحياز العكسي والشكل يوضح دائرة موحد نصف موجة وكذلك شكل اشارتي الدخل والخرج.



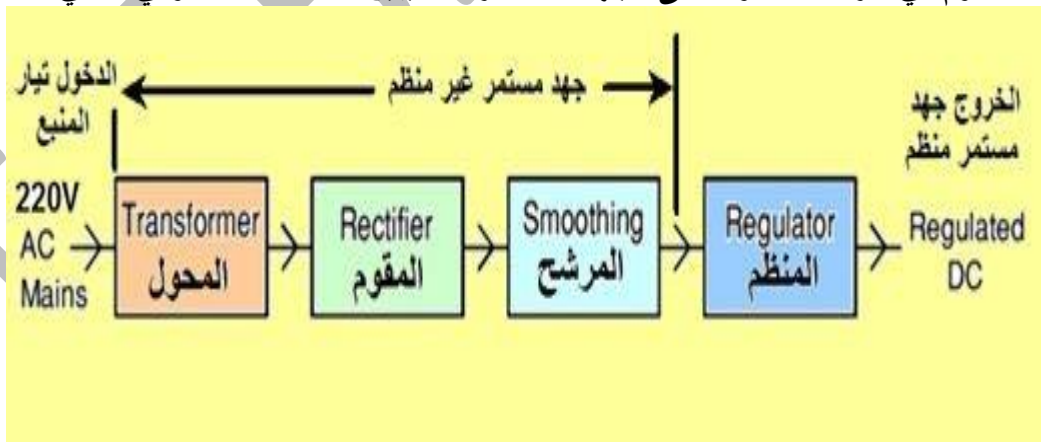
الخرج:نصف موجه مستمره معدله | دارة مقوم نصف موجه | اشارة الدخل الجيبية

2- موحدات الموجة الكاملة باستخدام اربعة ثنائيات .

في هذا النوع من الموحدات تستخدم أربعة ثنائيات على شكل قنطرة .

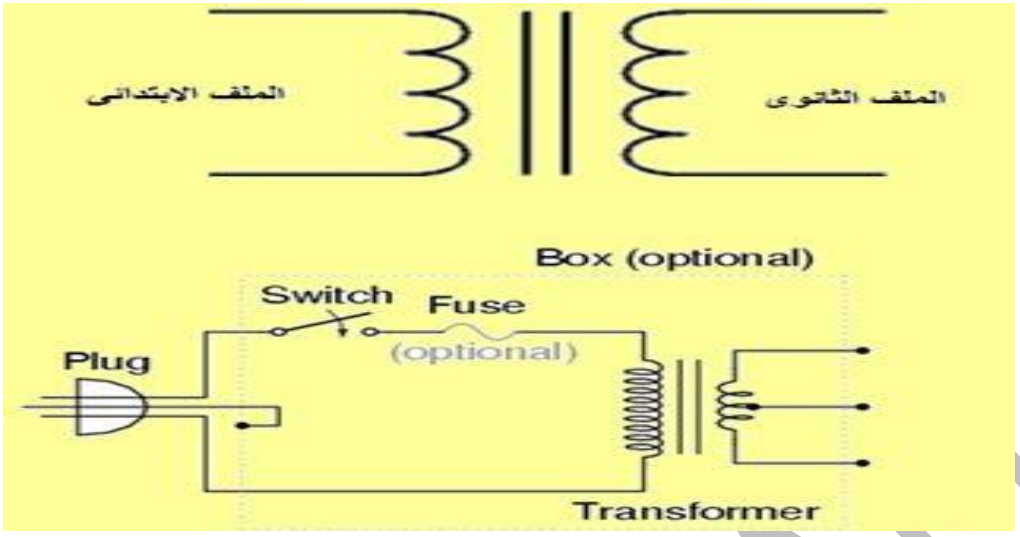


يستخدم هذا المقوم في دارت الحصول على الجهد المستمر كما يبين المخطط الصندوقي التالي:



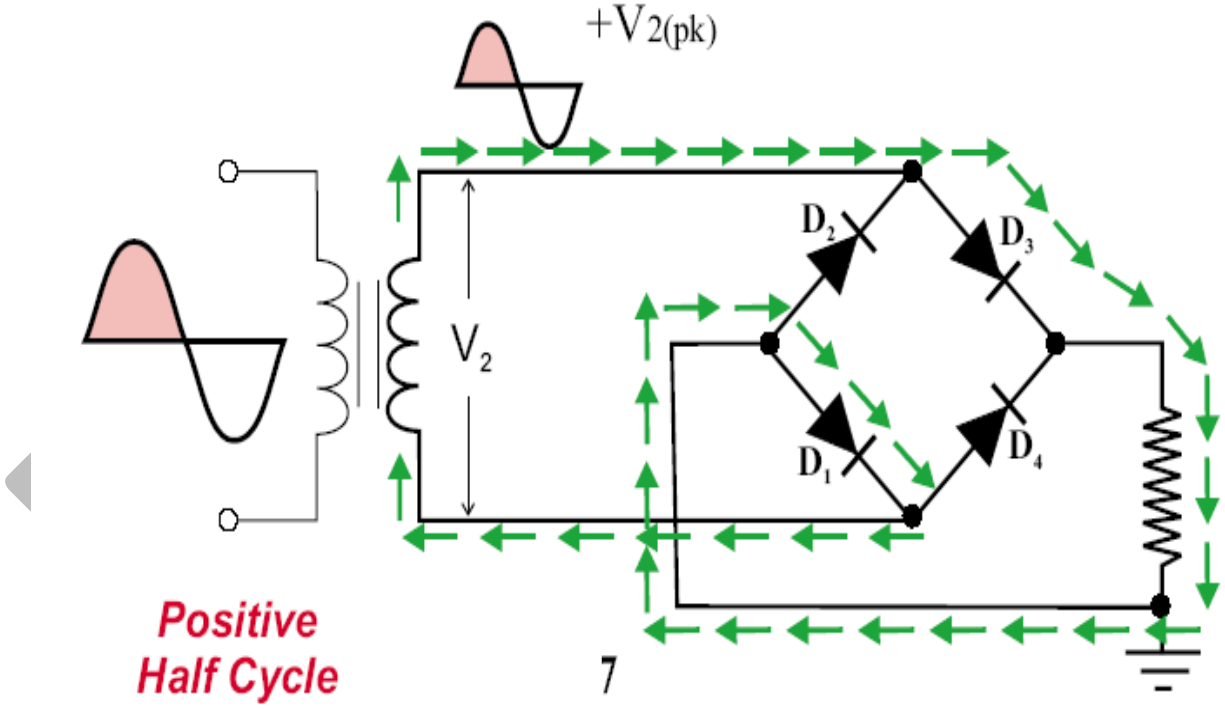
مراحل دارة تقويم موجة كاملة :

1- المحول Transformer:

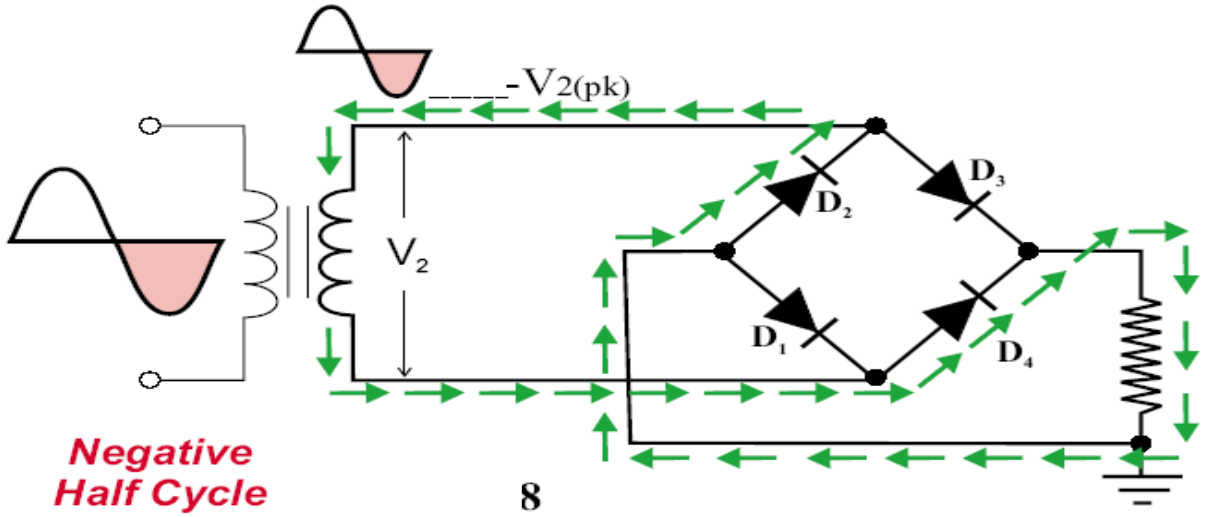


يقوم المحول بتحويل كهرباء التيار المتردد (المتناوب) من جهد إلى آخر مع قليل من الفقد فى القدرة.
عمل المحول فقط بالتيار المتردد ولهذا يوصل بالمنبع لانه. AC
معظم وحدات الإمداد بالطاقة تستخدم المحول الخافض لخفض جهد المنبع المرتفع والخطير 220V إلى جهد منخفض آمن .
الخطان فى وسط رمز المحول يمثلان القلب الحديدى.

2- مقوم الموجة الكاملة Rectifier:



أثناء النصف الموجب من الموجه: يكون الثنائيان D1،D3 منحازين أماميا والثنائيان D4،D2 منحازين عكسيا، لذى يمر التيار من المحول إلى D3 إلى مقاومة الحمل ثم عن طريق D1 الى المنبع مرة أخرى.

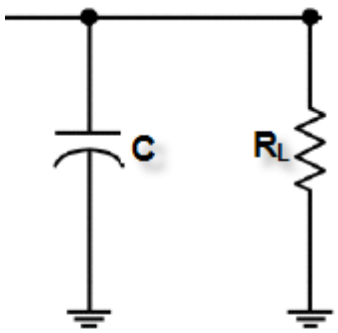


أثناء النصف السالب من الموجة: يكون الثنائيان D4،D2 منحازين أماميا والثنائيان D3،D1 منحازين عكسيا، لذى يمر التيار من المحول إلى D4 إلى مقاومة الحمل ثم عن طريق D2 الى المنبع مرة أخرى.

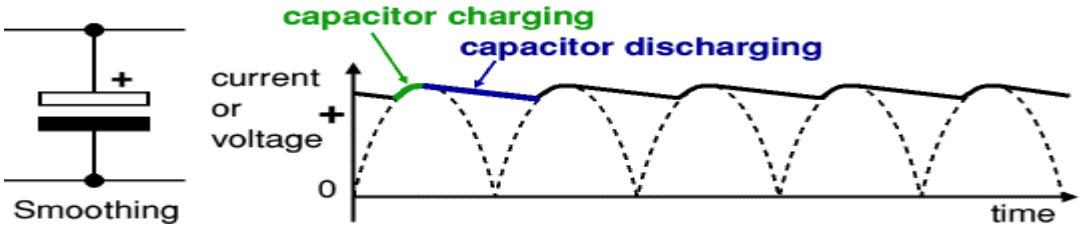
ويكون خرج المقوم بالشكل التالي والذي يمثل شكل إشارة الخرج للمرحلة الثانية من التقويم.

3- دارة التنعيم (التصفية) Smoothing:

وتتكون عادة من مكثف كيميائي يسمى مكثف التصفية أو الترشيح(Filter) والهدف منها إزالة التعرجات في موجة الخرج ويوصل على التفرع مع مقاومة الحمل، وكلما كانت قيمة المكثفة كبيرة كلما كان التنعيم أفضل، يبين الشكل التالي شكل إشارة الخرج للمرحلة الثالثة (الفلترة أو التنعيم). ويمكن إختيار سعة المكثف المناسبة حسب القانون $RC >> \frac{1}{2F}$ حيث F تردد موجة الدخل.



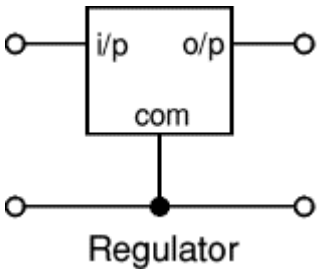
E/ABDULKAFI

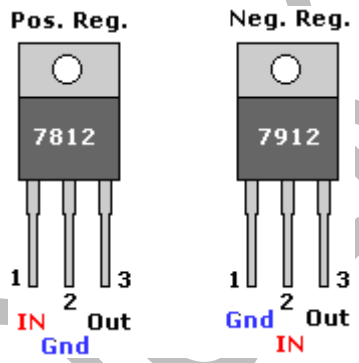


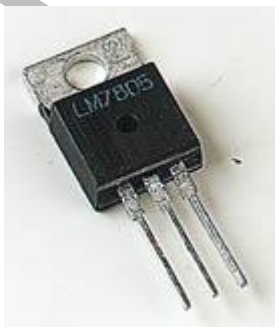
4- دارة التنظيم Regulator:

وهي عبارة عن دارة متكاملة تسخدم في الدارات الإلكترونية عندما نحتاج جهود خرج ثابتة ودقيقة .
إن أشهر أنواع هذه المنظمات هي العائلة (78XX , 79XX) ، حيث تستخدم العائلة (78XX) من أجل تنظيم الجهود الموجبة ، وتستخدم العائلة (79XX) من أجل تنظيم الجهود السالبة ..
إن لمنظم الجهد ثلاث نقاط (مدخل ، ومخرج ، وأرضي) ..

ملاحظة هامة : دائماً نضع على مدخل ومخرج المنظم مكثفات من رتبة النانوفاراد من أجل حماية المنظم من ارتفاع الجهد المفاجئ ومن الحالات العابرة للتيار ..[-5]



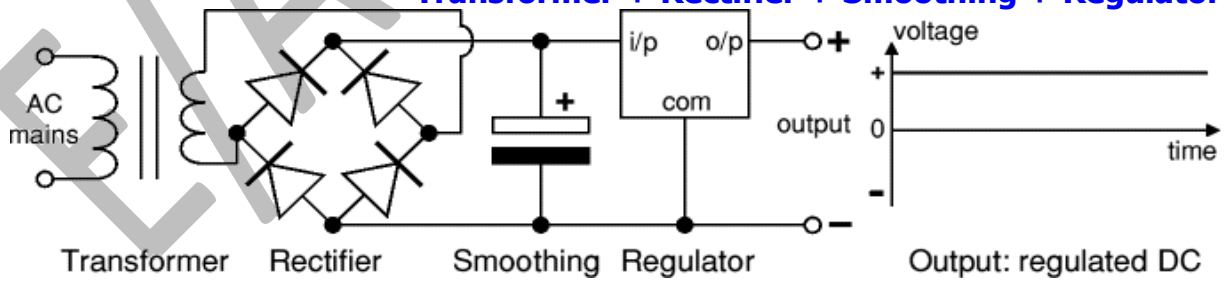




ويكون شكل الدارة النهائية للمقوم كالتالي والتي تمثل المرحلة الرابعة:

ويمكن مشاهدة خرج الدارة كيف تحول الجهد إلى جهد مستمر DC.

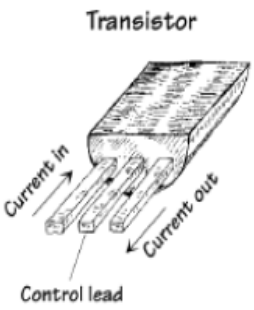
Transformer + Rectifier + Smoothing + Regulator

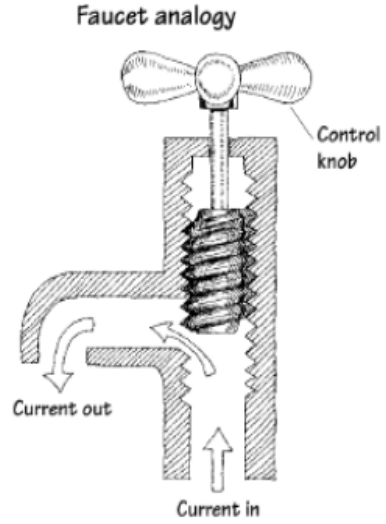


LABO-NAFI

الترانزستورات

الترانزستور هو عنصر إلكتروني مصنوع من أنصاف النواقل و له ثلاث نهايات. يستطيع تيار أو جهد كهربائي صغير جداً عبر أحد النهايات التحكم بتدفق تيار كبير عبر النهايتين الآخرين. هذا يعني أن الترانزستور يمكن استخدامه كمضخم أو كمفتاح قطع – وصل.





يوجد نوعين أساسيين من الترانزستورات :

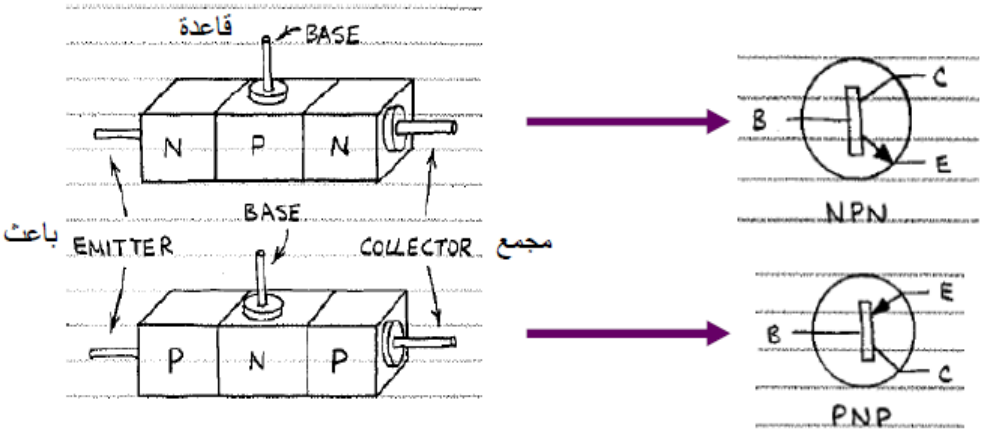
1 - الترانزستورات ثنائية القطبية BJT (Bipolar Junction Transistors)

2 - الترانزستورات ذات التأثير الحقلي FET (Field Effect Transistors)

الترانزستور BJT : عبارة عن قطعة من بلورة نصف ناقل مشابه بحيث تنتج منطقتان من نوع واحد يتوسطهما منطقة ضيقة جداً من نوع معاكس.

- بالنتيجة نميز نوعين من الترانزستورات BJT :
  - ترانزستورات N-P-N
  - ترانزستورات P-N-P

- يطلق على المناطق الثلاث الناتجة عن الإشابة : الباعث (Emitter) , المجمع (Collector) ويكونان من نفس النوع P أو N والقاعدة (Base) وتكون إشابة القاعدة B بعكس إشابة كل من الباعث E والمجمع C .



3
3

1- الباعث (Emitter E) : هي البلورة الطرفية التي تنبعث (تتحرك) منها الإلكترونات الحرة أو الفجوات الموجبة باتجاه القاعدة.

2- المجمع (Collector C) :هي البلورة الطرفية التي تجذب (تجمع إليها الإلكترونات الحرة أو الفجوات الموجبة.

3- القاعدة (Base B) :هي البلورة الوسطى والتي تنظم مرور الإلكترونات أو الفجوات بين المجمع والباعث.

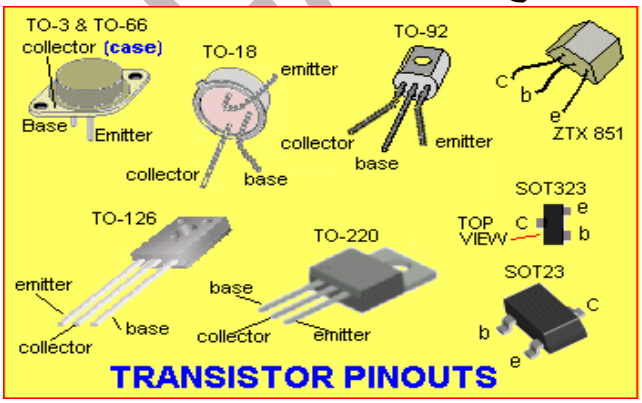
أنواع الترانزستور : هنالك نوعان من الترانزستور هما :
1- النوع (N-P- N) وفيه تكون البلورتين الطرفيتين من النوع السالب والوسطى من النوع الموجب
2- النوع (P- N- p) وفيه تكون البلورتين الطرفيتين من النوع الموجب والوسطى من النوع السالب

سؤال للتفكير:

-اذكر وجهين من أوجه الاختلاف بين الوصلة الثنائية ، والترانزستور . 1- الوصلة الثنائية تتركب من بلورتين من أشباه الموصلات بينما الترانزستور من ثلاث بلورات
2- وظيفة الوصلة الثنائية تقويم التيار المتناوب بينما وظيفة الترانزستور التقويم والتكبير و. ...

مقارنة بين الباعث (E) والقاعدة (B) والمجمع(C)

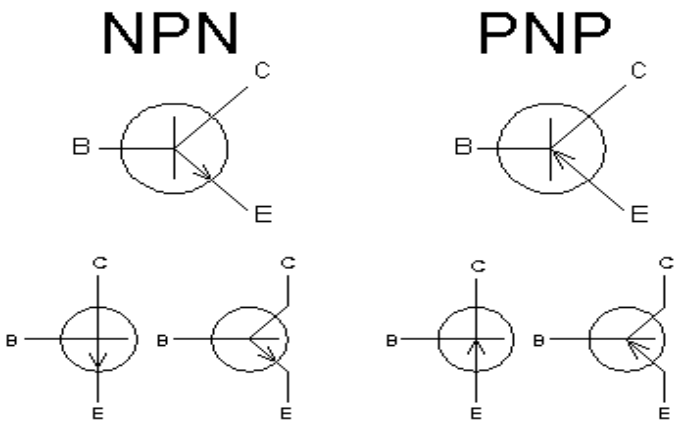
التمييز بين أقطاب الترانزستور : يمكن التمييز بين أقطاب الترانزستور بعدة طرق منها :
1- تكون القاعدة أقرب إلى الباعث منها إلى المجمع
2- توضع دائرة ملونة عند طرف المجمع



الرموز الاصطلاحية للترانزستور:

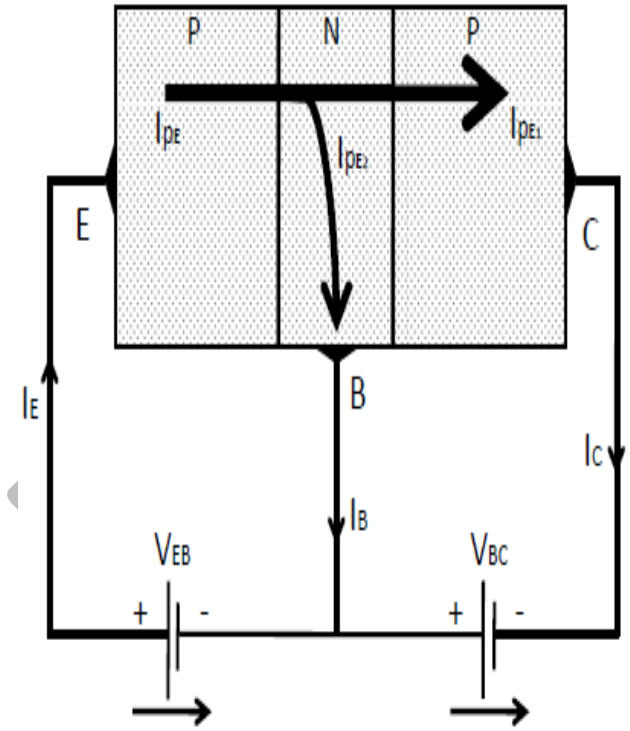
لكل نوع من أنواع الترانزستور رمز خاص به والأشكال المقابلة توضح ذلك :

ملاحظة : يوضع سهم على الباعث للتمييز بين الرمزين حيث يبين السهم الاتجاه الاصطلاحي للتيار الكهربائي وهو يمثل اتجاه الفجوات الموجبة ويشير دائماً نحو البلورة السالبة.



❑ مبدأ عمل الترانزستور BJT :

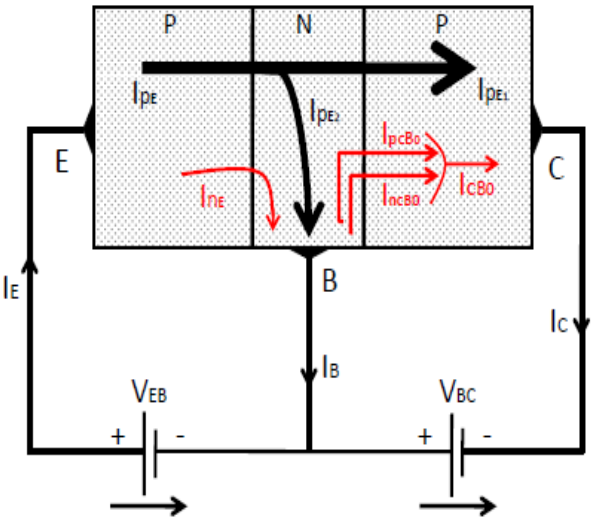
- **مبدأ العمل عند وصل مصدري جهد V_{EB} و V_{CB} :**
  - ❖ **وصلة القاعدة – باعث منحازة أمامياً**
  - ❖ **وصلة القاعدة – مجمع منحازة عكسياً**



- **I_{PE} :** التيار الناتج عن حقن حوامل الأكثرية (الثقوب هنا) من الباعث باتجاه القاعدة والمجمع

$$I_{PE} = I_{PE1} + I_{PE2}$$

- **I_{PE1} :** التيار الناتج الثقوب الباقية المتجهة نحو المجمع
- **I_{PE2} :** التيار الناتج عن عملية إعادة الاتحاد (Recombination) بين بعض الثقوب المحقونة من الباعث والالكترونات الحرة في منطقة القاعدة



- تيار الباعث I_E : $I_E = I_{pE} + I_{nE} \cong I_{pE}$
- I_{nE} : التيار الناتج عن الالكترونات المحقونة من القاعدة إلى الباعث
- ملاحظة : عرض قاعدة صغير مع إشابة أقل بكثير من الباعث ⬅ $I_{nE} \cong 0$ وبالتالي :

$$I_{PE1} = \alpha I_{PE} \qquad \alpha \in [0.95, 0.995]$$

- تيار المجمع I_C :

$$I_C = I_{pE1} + I_{pcBo} + I_{ncBo}$$
$$I_{CBo} = I_{pcBo} + I_{ncBo} \Longrightarrow$$
$$I_C \cong \alpha I_E + I_{CBo}$$

- I_{pcBo} : التيار الناتج عن الثقوب المحقونة من القاعدة إلى المجمع
- I_{ncBo} : التيار الناتج عن الإلكترونات المحقونة من المجمع إلى القاعدة

$$I_E = I_C + I_B$$

99

- يمكن للترانزستور العمل في ثلاثة مناطق :

❑ المنطقة الفعالة (Active region) : تكون فيها وصلة القاعدة – باعث منحازة أمامياً ووصلة المجمع – قاعدة منحازة عكسياً

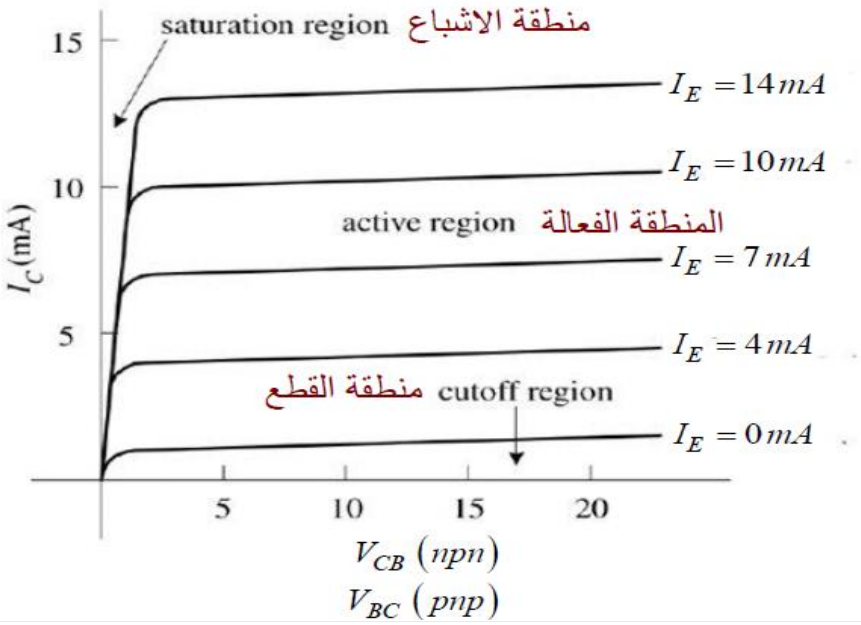
- في أسفل منطقة القطع عندما $I_E = 0$ فإن تيار المجمع يكون ناتج عن تيار الإشباع العكسي I_{CBO}
- بزيادة تيار الباعث فإن تيار المجمع يزداد إلى مستوى تيار الباعث تقريباً $I_C \cong I_E$

❑ منطقة القطع (Cutoff region) : تكون كل من وصلتي القاعدة – باعث و القاعدة - مجمع منحازتين عكسياً, وبالتالي $I_E = I_C \cong 0$

❑ منطقة الإشباع (Saturation region) : تكون كل من وصلتي القاعدة – باعث و القاعدة - مجمع منحازتين أمامياً

- تقع على يسار $V_{CB} = 0$
- يتزايد تيار المجمع بشكل أسي كلما ازداد V_{CB} ابتداءاً من الصفر

• مناطق عمل الترانزستور :



17

❑ **نقطة العمل (Quiescent point, Q-point):** هي النقطة التي تحدد الجهد والتيار المستمرين والثابتين الذين سيعمل عندهما الترانزستور (كمضخم للإشارة المتناوبة أو كمفتاح الكتروني ...)

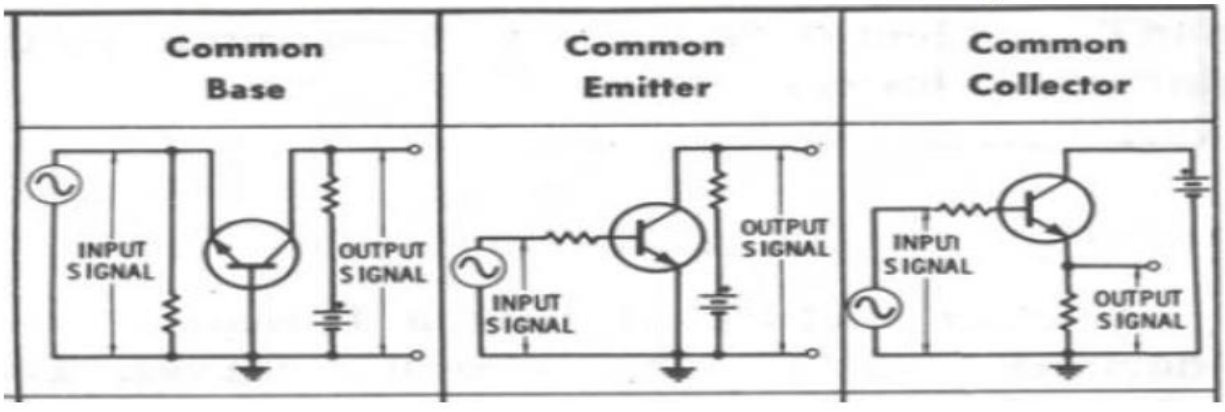
- الترانزستور كمضخم عند وقوع نقطة العمل في المنطقة الفعالة
- الترانزستور كمفتاح مغلق عند وقوع نقطة العمل في منطقة الاشباع
- الترانزستور كمفتاح مفصول عند وقوع نقطة العمل في منطقة القطع

❖ **ملاحظة :** لاستخدام الترانزستور كمفتاح فصل – وصل يجب ضمان وقوع نقطة العمل بالتناوب بين منطقتي الاشباع والقطع على الترتيب.

➢ يتم التحكم بتحديد نقطة العمل المستمرة (الساكنة) باستخدام دارات الانحياز المستمر المستخدمة في الدارة (مصادر التغذية المستمرة والمقاومات)

• الوصلات الثلاث الأساسية لترانزستور BJT

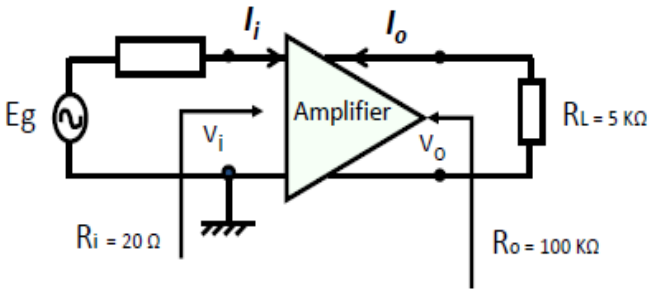
القاعدة المشتركة | الباعث المشترك | المجمع المشترك



❑ الية تضخيم الترانزستور في وصلة القاعدة المشتركة :

- يجب ضمان وقوع نقطة العمل في المنطقة الفعالة وذلك عن طريق دارة الانحياز المستمر
- مقاومة دخل مضخم القاعدة المشتركة صغيرة (10-100 Ω)
- مقاومة خرج مضخم القاعدة المشتركة كبيرة (50 KΩ – 1 MΩ)

- **مثال :** $\alpha_{AC}=1$ $V_i = 200$ mv



$$I_i = \frac{V_i}{R_i} = \frac{200\,mV}{20\Omega} = 10mA$$

$$\alpha_{AC}=1 \Rightarrow I_E \cong I_C$$

$$I_L = I_C \cong I_E = 10mA$$

$$V_L = I_L R_L = 10mA \times 5K\Omega = 50V$$

تضخيم الجهد $A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_L}{V_i} = \frac{50V}{200\times10^{-3}} = 250$

تضخيم التيار $A_i = \frac{I_O}{I_i} = \frac{I_C}{I_E} \cong 1$

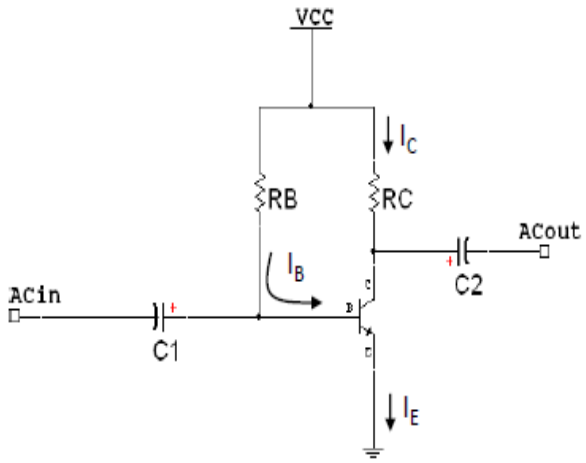
- **الانحياز المستمر للترانزستورات BJT :** تأمين الانحياز الملائم للترانزستورات ضروري من أجل تأمين نقطة عمل مناسبة تمنع التشوهات في إشارة الخرج عند تطبيق إشارة دخل متناوب.

- في حالة الترانزستورات المثالية (البارامترات β و V_{BE} وتيارات تسريب تكون ثابتة) تكون دارات الانحياز ذات أداء ثابت لطيف واسع من درجات الحرارة.

- دارة الانحياز الثابت :

- المقاومة R_B تؤمن تيار قاعدة مناسب للترانزستور

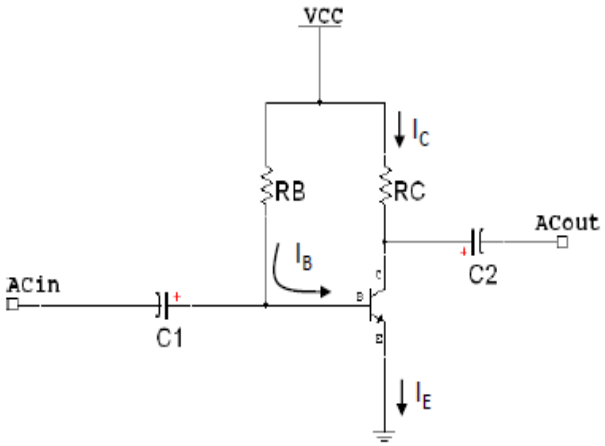
- المكثفات C_1 و C_2 لا تدخلان في عملية تحليل الدارات المستمرة

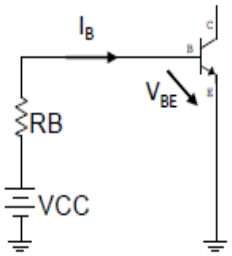


- وظيفة كل من المكثفين C_1 و C_2 تنحصر بالترتيب في حجب المركبات المستمرة الداخلة والصادره عن الداره وبالتالي الحفاظ على استقرار نقطة العمل للداره المعتبرة والدارات المربوطة على خرج الدارة المدروسة

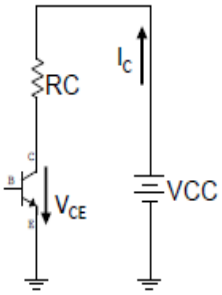
• دارة الانحياز الثابت (Constant Bias circuit) :

• تحليل دارات الانحياز المستمرة يقوم على تحليل كل من دارتي الدخل والخرج في دارة الترانزستور المدروسة.



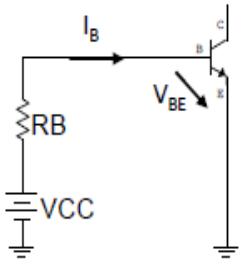


دارة الدخل



دارة الخرج

• دارة الانحياز الثابت (Constant Bias circuit) :

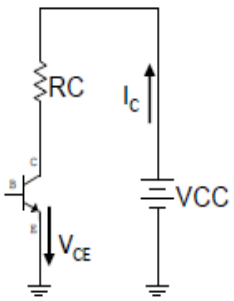


تحليل دارة الدخل

$$V_{CC} = R_B I_B + V_{BE} \Rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

وبالنتيجة : $I_C = \beta I_B$

تحليل دارة الخرج



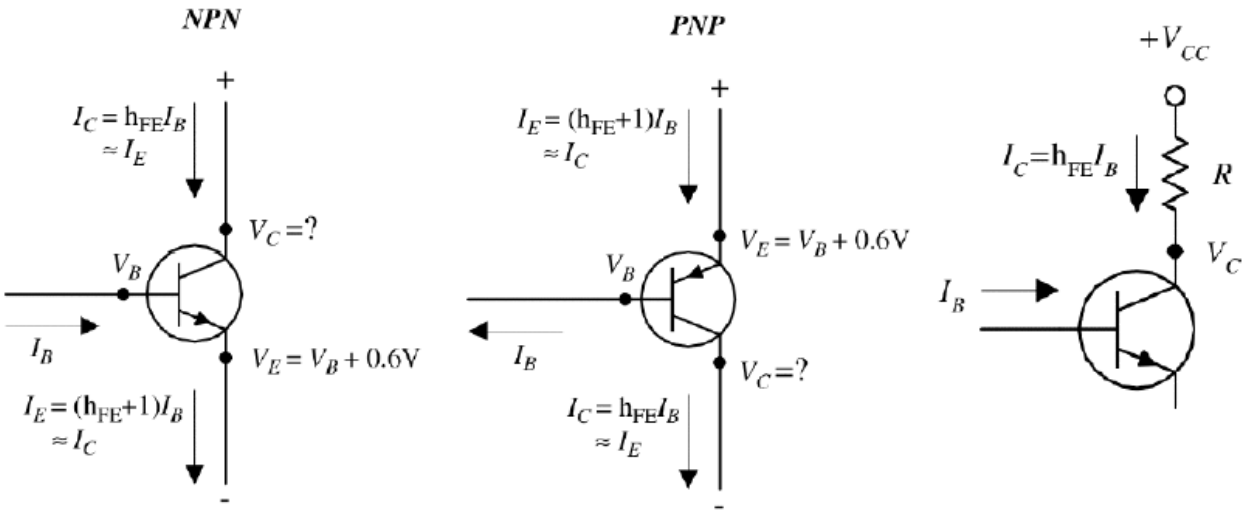
$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C$$

• عندما يكون الباعث مؤرض $V_E=0$:

$$V_{CE} = V_C - V_E = V_C$$

❖ دارة غير مستقرة حرارياً : I_B غير قادر على موزانة الزيادة في I_C نتيجة ازدياد درجات الحرارة

• علاقات تستخدم عند دراسة الترانزستورات BJT :



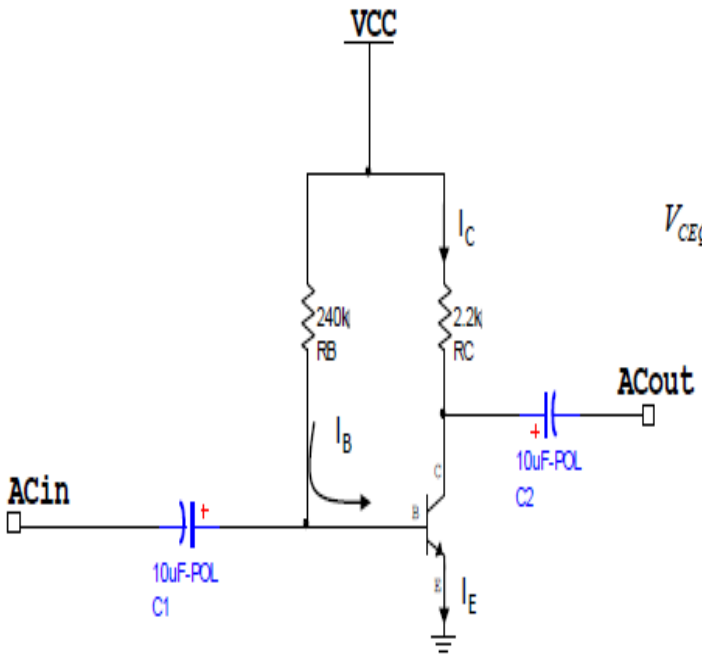
$$V_{BE} = V_B - V_E = +0.6\ \text{V}\ (npn)$$
$$V_{BE} = V_B - V_E = -0.6\ \text{V}\ (pnp)$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R$$
$$V_C = V_{CC} - (h_{FE} I_B) R$$

• دارة الانحياز الثابت :

مثال : يبين الشكل مضخماً ترانزستورياً بانحياز ثابت, أوجد القيم التالية : $I_{BQ}, I_{CQ}, V_{CEQ}, V_B, V_C, V_{BC}$

علماً أن β=50



$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12 - 0.7}{240 \times 10^{-3}} = 47.08 \mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 50 \times 47.08 \times 10^{-6} = 2.35 mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_C R_C = 12 - 2.35 \times 10^{-3} \times 2.2 \times 10^{+3} \Rightarrow$$

$$V_{CEQ} = 6.83V$$

$$V_B = V_{BE} = 0.7V$$

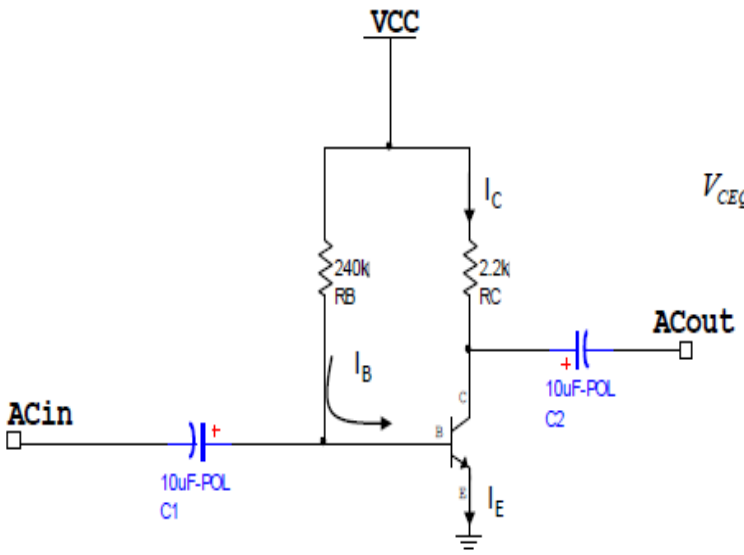
$$V_C = V_{CE} = 6.83V$$

$$V_{BC} = V_B - V_C = 0.7 - 6.83 = -6.13V$$

• **دارة الانحياز الثابت :**

مثال : يبين الشكل مضخماً ترانزستورياً بانحياز ثابت, أوجد القيم التالية : $I_{BQ}, I_{CQ}, V_{CEQ}, V_B, V_C, V_{BC}$

علماً أن β=50



$$I_{BQ}=\frac{V_{CC}-V_{BE}}{R_B}=\frac{12-0.7}{240\times10^{-3}}=47.08\mu A$$

$$I_{CQ}=\beta I_{BQ}=50\times47.08\times10^{-6}=2.35mA$$

$$V_{CEQ}=V_{CC}-I_CR_C=12-2.35\times10^{-3}\times2.2\times10^{+3}\Rightarrow$$

$$V_{CEQ}=6.83V$$

$$V_B=V_{BE}=0.7V$$

$$V_C=V_{CE}=6.83V$$

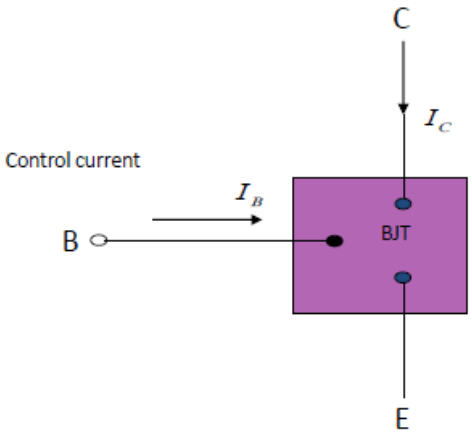
$$V_{BC}=V_B-V_C=0.7-6.83=-6.13V$$

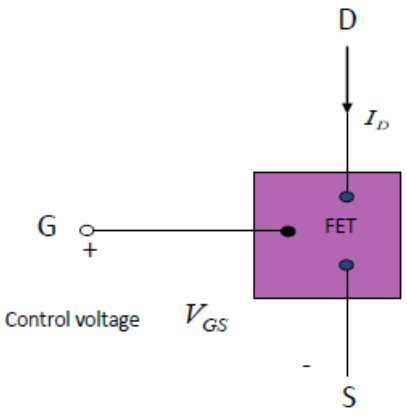
4 – ترانزستورات الأثر الحقلي FET

❑ مقدمة :

تم اختراع ترانزستور الأثر الحقلي من قبل شوكلي (Shockly) عام 1952 ، و تم تصنيعه لأول مرة عام 1962.

❑ الترانزستور الحقلي: هو عبارة عن عنصر الكتروني ثلاثي النهايات يتم التحكم به عن طريق الجهد (Voltage Controlled) بينما كان يتم التحكم في الترانزستور BJT عن طريق التيار.





❑ الترانزستور BJT عنصر الكتروني يتم فيه النقل بواسطة الالكترونات و الثقوب (لذلك سمي Bipolar – Junction Transistor).

❑ الترانزستور FET عنصر الكتروني يتم فيه النقل بواسطة إما الالكترونات أو الثقوب (لذلك نطلق عليه اسم احادي التوصيل Unipolar – Junction device).

يوجد نوعان من الترانزستورات الحقلية :

- ذي القناة n: الالكترونات هي التي تقوم بعملية التوصيل
- ذي القناة p: الثقوب هي التي تقوم بعملية التوصيل

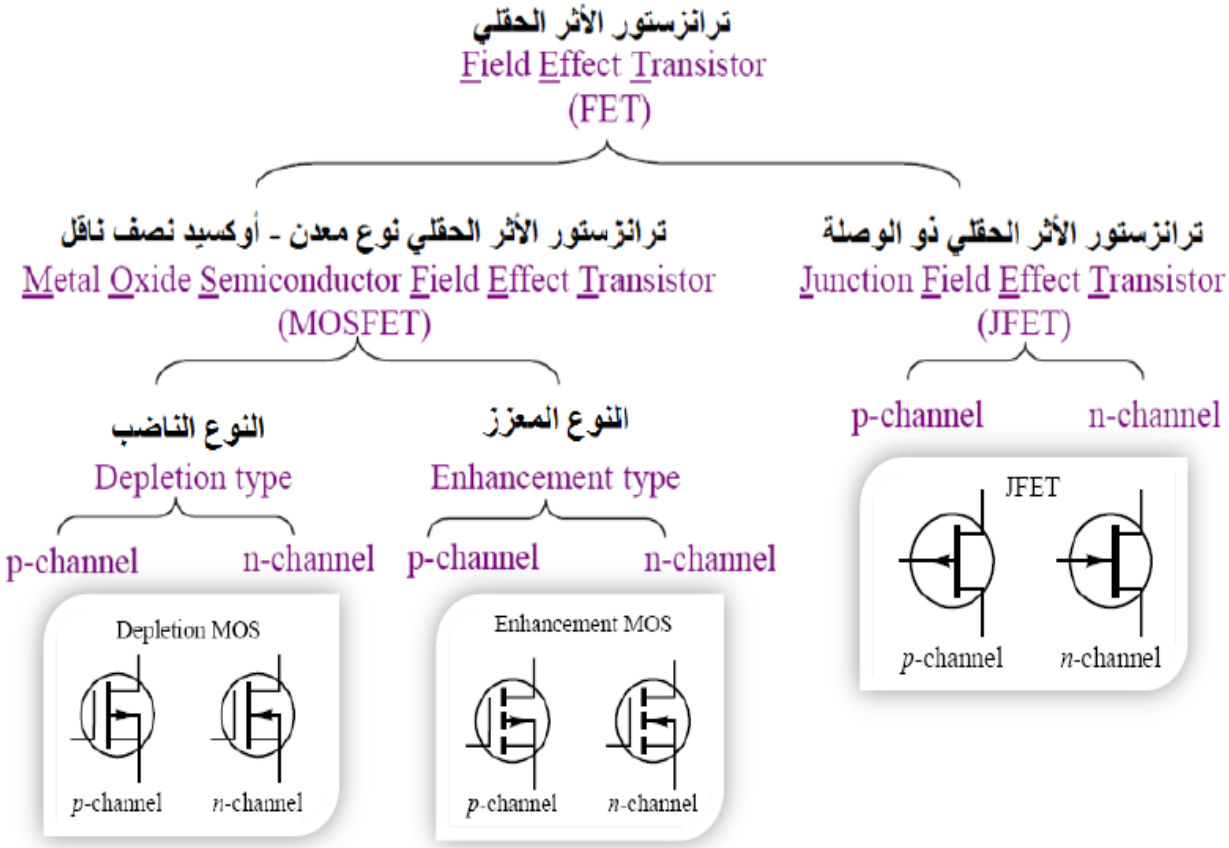
❑ يسمى هذا النوع من الترانزستورات بالترانزستورات الحقلية لأنه يوجد حقل كهربائي ناتج عن الشحنات التي تتحكم بممر التوصيل لدارة الخرج.

❑ تملك الترانزستورات الحقلية الميزات التالية:

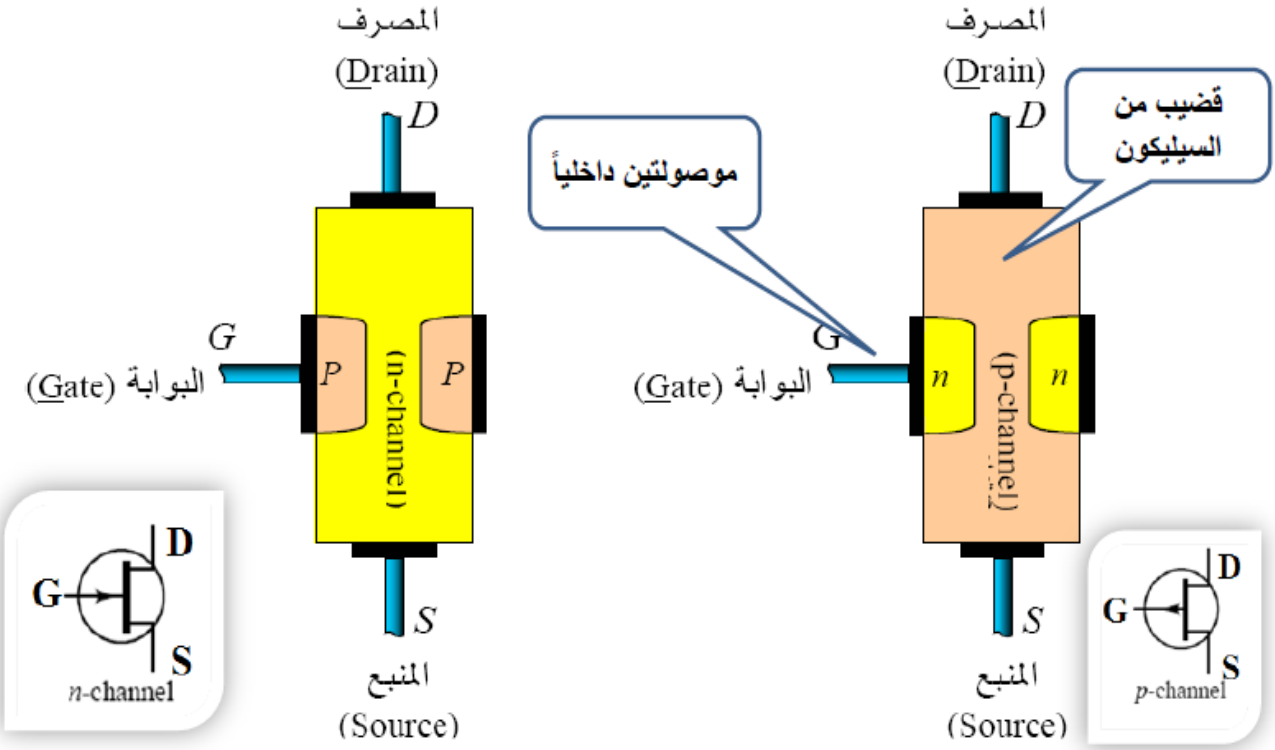
- ممانعة دخل عالية (تتراوح بين 1 ميغا أوم و عدة مئات من الميغا أوم)؛
- يمكن استخدامه كمقاومة اومية متحكم فيها بواسطة جهد المدخل.
- حساسية منخفضة لتغيرات درجة الحرارة (ذات استقرار عالي)؛
- بنيتها أصغر من ترانزستورات الـ BJT حيث تكسبها هذه الميزة القدرة على أن تكون من العناصر الاساسية في بنية الدارات المتكاملة؛
- الضجيج فيها أقل من ترانزستورات الـ BJT؛
- تغيرات تيارات الخرج في الـ FET أقل منها في الـ BJT بالنسبة إلى نفس التغير في جهد الدخل.

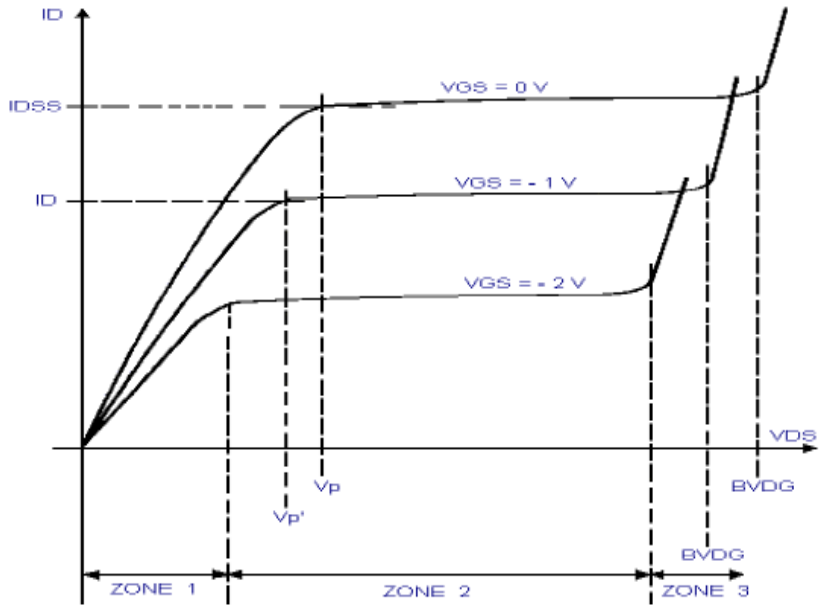
❑ بعض مساوئ الترانزستورات الحقلية :

- الاستطاعة المنخفضة؛
- السعات الطفيلية المتشكلة بين المساري كبيرة نسبياً.



4.1 بنية وخواص الـ JFET

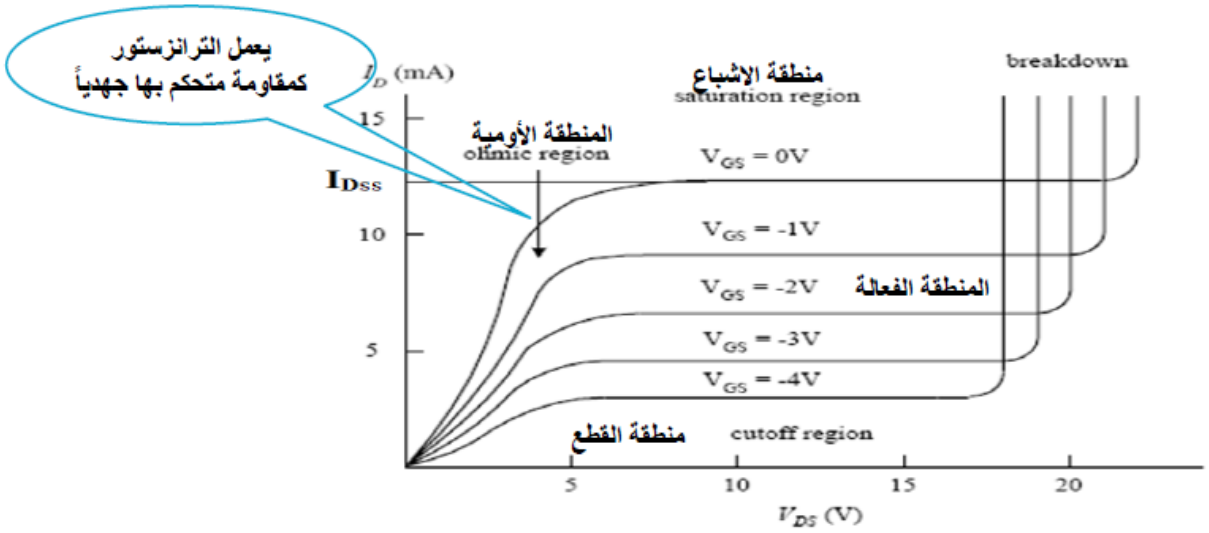




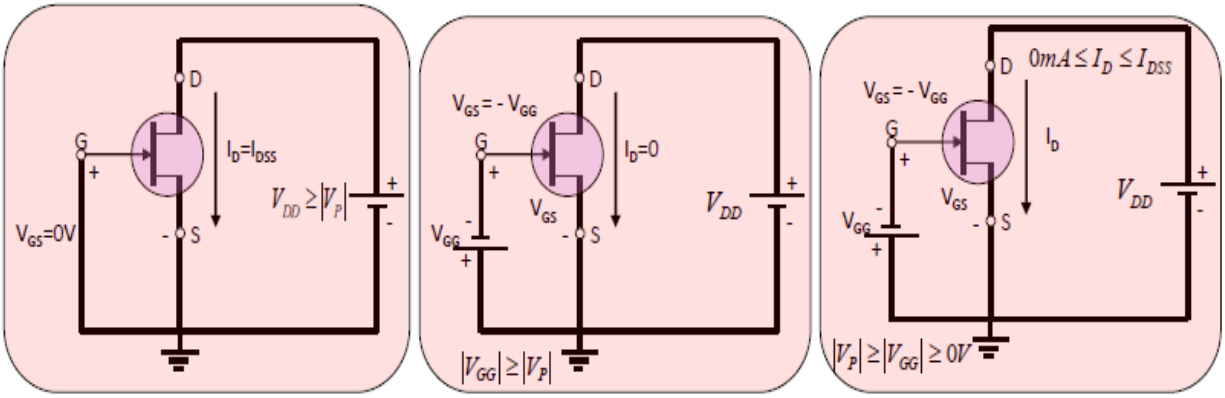
- يسمى V_{GS} جهد التحكم في ترانزستورات الـ FET
- يأخذ V_{GS} قيماً سالبة بالمقارنة مع جهد المنبع.
- يؤدي الجهد السالب إلى انخفاض I_D كلما زاد الجهد V_{GS} في سلبيته زاد انخفاض I_D
- عندما يصبح V_{GS} سلبياً بما فيه الكفاية $(V_{GS} = V_p)$ فإننا نحصل على تيار اشباع مساوٍ للصفر

ملاحظات هامة:

- إن قيمة V_{GS} التي تعطي تيار مصرف مساوي للصفر $I_D = 0$ تكون مساوية لـ V_p أي $V_{GS} = V_p$ و تكون Vp سالبة من أجل القناة السالبة n و V_p موجبة من أجل القناة الموجبة p
- يرمز في أغلب الحالات لجهد الاختناق بالرمز $V_{GS(off)}$ أكثر مما يرمز له بالرمز V_p.
- يتم تقسيم المحل الهندسي للمنحنيات العلاقة بين V_{DS} و I_D إلى أربع مناطق كما هو مبين في الشكل:



❑ الخلاصة :



1. يحدد التيار الأعظمي I_{DSS} عندما يكون $V_{GS} = 0V$ و $V_{DS} \geq |V_P|$
2. عندما يكون الجهد بين البوابة G و المنبع S أقل من قيمة جهد الاختناق (أكثر سلبية من جهد الاختناق) فإن تيار المصرف $I_D = 0A$.
3. من أجل جميع قيم الـ V_{GS} الواقعة بين الصفر و جهد الاختناق V_P (أي $V_{GS} = 0V, V_{GS} = V_P$) فإن تيار المصرف I_D سيأخذ قيماً تتراوح بين تيار الاشباع I_{DSS} و الصفر 0A.

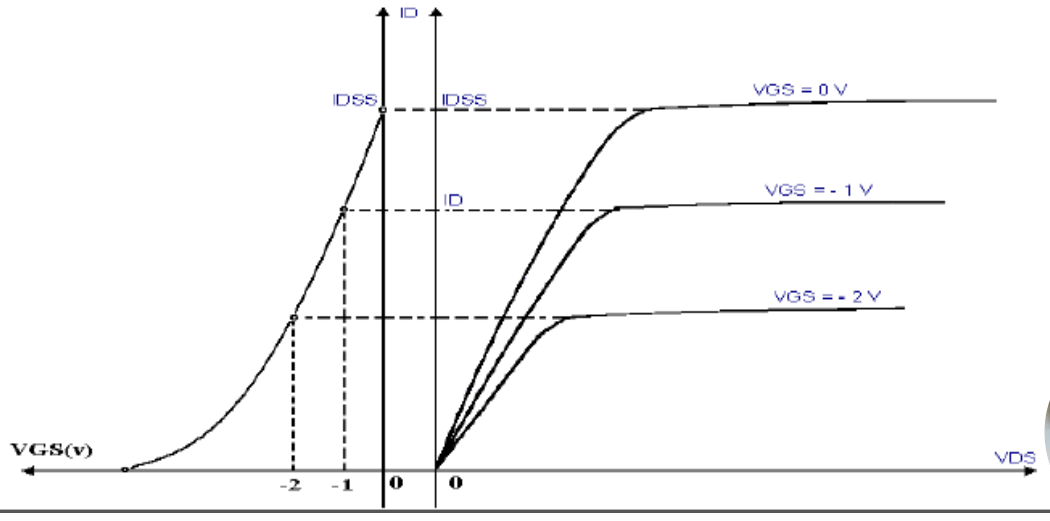
4.2.1 خواص النقل Transfer Characteristics

❑ رأينا إن خواص النقل أو العلاقة بين تيار الخرج و تيار الدخل ترانزستور BJT تكون خطية وتعطى بالعلاقة:

$$I_C = \beta . I_B$$

❑ أما العلاقة بين الخرج والدخل في الـ JFET ليست خطية و إنما تخضع لمعادلة شوكلي التي تعطى بالشكل:

$$I_D = I_{DSS=constant}\left(1 - \frac{V_{GS=control\ Variable}}{V_{P=Constant}}\right)^2 \quad (A)$$



2. للحصول على النقطة الثانية من المنحني نضع $V_{GS} = V_P$ في معادلة شوكلي فنجد:

$$I_D = I_{DSS}\left(1-\frac{V_P}{V_P}\right)^2 \Rightarrow I_D = 0A\Big|_{V_{GS}=V_P}$$

3. للحصول على نقط أخرى من أجل رسم المنحني فإنه تعطى عادة في النشرة المرفقة للعنصر الالكتروني قيمتي I_{DSS} و V_P مثال:

- إذا أخذنا $I_{DSS} = 8mA$, $V_P = -4V$, من منحنيات خواص الخرج نحسب قيمة I_D من أجل $V_{GS} = -1V$.

$$I_D = I_{DSS}\left(1-\frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 = 8\times10^{-3}\left(1-\frac{-1}{-4}\right)^2 \Rightarrow I_D = 4.5mA$$

4. بتكرار هذه العملية من أجل قيم مختلفة لـ V_{GS} من المنحني نحصل على منحني النقل أو منحني شوكلي.

ملاحظة: يمكن بطريقة معاكسة معرفة أي قيمة لـ V_{GS} إذا كانت قيمة I_D معطاة و ذلك باستخدام نفس المعادلة:

$$V_{GS} = V_P * \left(1-\sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}}\right) \quad (B)$$

18

$$V_{GS} = V_P * \left(1-\sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}}\right) = V_P * \left(1-\sqrt{\frac{I_{DSS}/2}{I_{DSS}}}\right) \Rightarrow$$

$$V_{GS} \cong 0.3V_P\Big|_{I_D=\frac{1}{2}I_{DSS}}$$

و بذلك نكون قد حددنا نقطتين من المنحني الخاص بالنقل بالإضافة إلى نقطتي البداية والنهاية لهذا المنحني و اللتان تعطيان من قبل الشركة الصانعة للعنصر الالكتروني وهما:

$$I_D = 0A\Big|_{V_{GS}=V_P} \quad , \quad I_D = I_{DSS}\Big|_{V_{GS}=0}$$

V_{GS}	I_D
0	I_{DSS}
$0.3V_P$	$0.5I_{DSS}$
$0.5V_P$	$0.25I_{DSS}$
V_P	0mA

الجدول التالي يبن القيم الكافية للرسم بدقة مقبولة :

مثال : ارسم المنحني المحدد بالقيم

$$I_{DSS} = 12mA \quad , V_P = -6volts$$

ملاحظة: القيم الأعظمية هي قيم الجهود بين أقطاب الترانزستور و قيم التيارات و الاستطاعة الأعظمية التي تعطى من قبل الجهة المصنعة و التي يجب أن لا نتجاوزها (بل يجب ترك هامش) في تصميم الدارات الالكترونية. ويرمز بـ V_{GSR} أو BV_{DSS} للقيمة الأعظمية للجهد بين النبع و البوابة قبل حدوث الانهيار.

❑ **مقارنة بسيطة:**

JFET	BJT
$I_D = I_{DSS} * \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$	$I_C = \beta * I_B$
$I_D = I_S$	$I_C \cong I_E$
$I_G \cong 0mA$	$V_{BE} \cong 0.7volt$

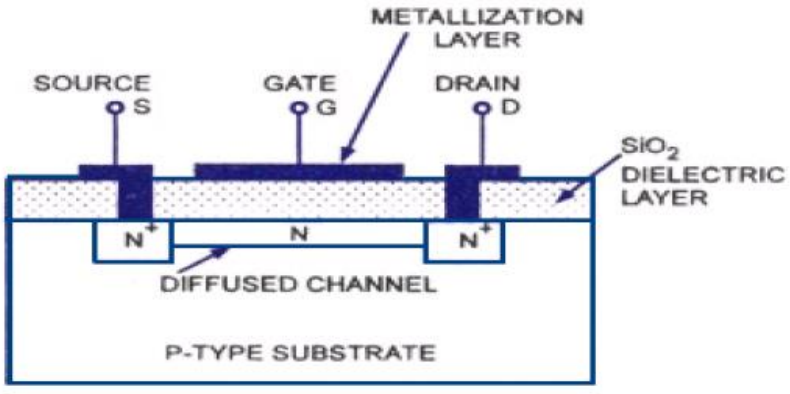
4.3 الـ MOSFET

MOSFET: Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor

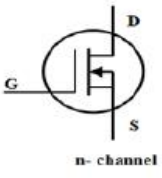
❑ كما ذكرنا سابقاً يقسم الـ MOSFET إلى نوعان:

- الـ MOSFET المنضب (الإفقاري)
- الـ MOSFET المعزز أو المحسن (الأغنائي)

4.3.1 البنية الأساسية للـ MOSFET المنضب (الإفقاري) النوع n



N-Channel DE-MOSFET Structure



❑ تعاريف هامة لترانزستور الـ MOSFET ذو النوع الناضب:

☜ المنطقة الأومية: في هذه المنطقة يعمل الترانزستور MOSFET كمقاومة متحكم بها جهدياً.

☜ المنطقة الفعالة: في هذه المنطقة يتعلق تيار المصرف بجهد البوابة أما تأثير الجهد (V_{DS}) على التيار (عند قيمة محدّدة لـ V_{GS}) فيكون طفيفاً جداً..

☜ جهد القطع ($V_{GS,off}$) Cutoff Voltage: يُرمز لهذا الجهد أيضاً بالرمز (V_p) ويسمى جهد الانقباض (Pinch – off Voltage) وهو الجهد الذي إذا طبق بين البوابة والمنبع فإنه يؤدي إلى نقل الترانزستور إلى القطع.

☜ جهد الانهيار (BV_{DS}) Breakdown Voltage: هو جهد إذا طبق بين المنبع والمصرف فإن تيار المصرف يزداد كثيراً إلى درجة تؤدي إلى تخريب الترانزستور.

☜ تيار المصرف الموافق لجهد استقطاب معيَّن ($I_{D,on}$): وهو جهد بين المصرف والمنبع، إذا تم تجاوزه فإن التيار بين المصرف والمنبع يزداد بشكل انهياري كبير جداً، يؤدي إلى تخريب الترانزستور.

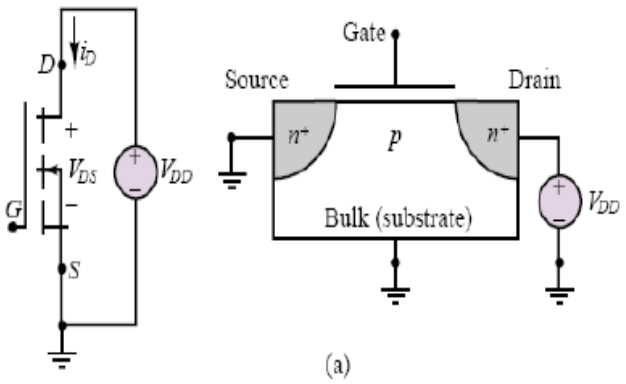
☜ الناقلية التبادلية (g_m) : هي نسبة تغيرات تيار المصرف إلى تغيّرات(VGS) عند قيمة ثابتةلـ V_{DS} .

4.4.1 مبدأ العمل و الميزات (Basic Operation and Characteristics)

A. عندما نطبق $V_{GS} = 0$

❑ عندما نطبق جهد بين المنبع و المصرف V_{DS} فإن التيار I_D يكون مساوياً للصفر.

❑ عندما يكون الجهد V_{DS} موجب صغير سنحصل على متصلين p-n منحازين عكسياً بين المنطقتين المطعمتين n والشريحة p مما يمنع أي تدفق هام للشحن بين المنبع و المصرف.



(a)

An *n*-channel MOSFET is normally off in the absence of an external electric field

B. عندما نطبق $V_{GS} > 0$

❑ عند تطبيق الجهد الموجب بين المنبع و المصرف فإن جهد البوابة الموجب سيدفع الثقوب الموجودة على طرف المنطقة p الملاصقة لمنطقة SiO_2 بعيداً مشكلاً بذلك منطقة خالية من الثقوب.

❑ ينتج عن ذلك تجمع الالكترونات (التي تمثل الحوامل الأقلية في p) في المنطقة المجاورة للطبقة العازلة SiO2.

❑ تمنع الطبقة العازلة البوابة من امتصاص الالكترونات المتجمعة.

❑ تعاريف هامة لترانزستور الـ MOSFET ذو النوع المعزز :

- المنطقة الأومية: وهي منطقة يعمل فيها الترانزستور كمقاومة.
- المنطقة الفعالة: وهي منطقة يتعلق فيها التيار I_D بالجهد V_{GS} وعند قيمة ثابتة لـ V_{GS} يكون تأثير V_{DS} على التيار I_D طفيفاً جداً.
- جهد العتبة ($V_{GS,th}$) Threshold Voltage: وهو الجهد بين البوابة والمنبع الذي يبدأ عنده الترانزستور بنقل التيار.
- جهد الانهيار (BV_{DS}) Breakdown Voltage: هو جهد إذا طبق بين المنبع والمصرف فإن تيار المصرف يزداد كثيراً إلى درجة تؤدي إلى تخريب الترانزستور.
- تيار المصرف الموافق لجهد استقطاب معيّن ($I_{D,on}$): هو التيار الذي يمر بين المصرف والمنبع عند قيمة معينة للجهد V_{GS} تعطى في نشرات المعطيات قيمة V_{GS} وقيمة I_D الموافقة لها.
- الناقلية التبادلية (g_m) : هي نسبة تغيرات تيار المصرف إلى تغيّرات (V_{GS}) عند قيمة ثابتة لـ V_{DS} .

ملاحظة عند دراسة بنية وانحياز وعلاقة الدخل بالخرج للترانزستور الـ MOSFET الإغنائي ذي القناة p تعاكس تماماً بنية الترانزستور الـ MOSFET الإغنائي ذي القناة n

E/A

نهاية المقرر