

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دليل المهندس المبتدئ إلى قسم الهندسة الكهربية

إعداد وتقديم :

م. أحمد علاء رخوان
هندسة اتصالات

WWW.ABO-ANAS.BLOGSPOT.COM

الكمات الكهربائية الأساسية

وحدات القياس الأساسية:-

Quantity الكمية	Unit وحدة القياس	Symbol الرمز
Length الطول	Meter متر	m
Mass الكتلة	Kilogram كيلوجرام	kg
Current التيار	Ampere أمبير	A
Time الزمن	Second ثانية	s
Temperature الحرارة	Kelvin كالفن	K
Luminous Intensity شدة الإضاءة	Candle شمعة	cd

تعتبر هذه هي الوحدات الأساسية ويوجد بعض الوحدات الفرعية من الوحدات الأساسية كالقوة ووحدة قياسها هي النيوتن وهي تتكون من كيلوجرام لكل ثانية تربيع

أما القدرة الكهربائية فتقاس بالوات ويتكون من نيوتن . متر لكل ثانية.

محددات وحدات القياس:-

المضروب	الرمز	محدد وحدة القياس
Power of ten	Symbol	Prefixes to the Units
$1 * 10^{-18}$	a	Atto آتو
$1 * 10^{-15}$	f	Femto فيمتو
$1 * 10^{-12}$	p	Pico بيكو
$1 * 10^{-9}$	n	Nano نانو
$1 * 10^{-6}$	μ	Micro ميكرو
$1 * 10^{-3}$	m	Milli مللي
$1 * 10^{-2}$	c	Centi سنتي
$1 * 10^{-1}$	d	Deci ديسي
$1 * 10^1$	da	Deka ديكا
$1 * 10^2$	h	Hecto هيكتو
$1 * 10^3$	k	Kilo كيلو
$1 * 10^6$	M	Mega ميغا
$1 * 10^9$	G	Giga جيجا
$1 * 10^{12}$	T	Tera تيرا

الكميات الكهربائية الأساسية:-

الكميات الكهربائية الأساسية هي الشحنة والتيار والفولت وأخيراً المقاومة الكهربائية وسنبدأ تباعاً في سرد كل منهم :

1 - الشحنة :-

ويرمز لها بالرمز Q وهي نوعان شحنة سالبة تمثل الكترون وأخرى موجبة تمثل البروتون

وحدة قياس الشحنة كولوم ويرمز له بالرمز C

2 - التيار:-

يعتبر التيار الكهربائي من أهم الوحدات الأساسية ويرمز له بالرمز I وهو معدل مرور الشحنة الموجبة باتجاه ما بالنسبة للزمن تحت تأثير قوة ما (فرق الجهد)

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

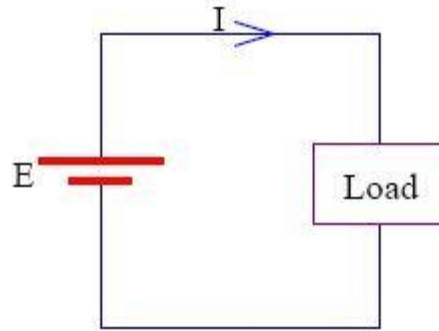
حيث:

I : هو التيار ويقاس بالأمبير A

Q : هو الشحنة ويقاس بالكولوم

t : هو الزمن ويقاس بالثانية

ولكي يمر تيار في دائرة كهربائية فيتطلب ذلك وجود مصدر خارجي يحرك الإلكترونات خلال الموصل بين نقطتين وينشأ ما يسمى بفرق الجهد بين هاتين النقطتين.



ويمكن التعبير عن مسار التيار الكهربائي بأنه يسري من القطب الموجب إلى القطب السالب لمصدر الجهد خارجياً لذلك فإن حركة التيار تكون من النقطة الأعلى جهداً إلى نقطة أخرى تكون أقل جهداً.

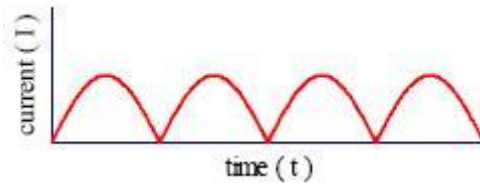
ويمكن القول بأن للتيار الكهربائي أنواع مختلفة باختلاف شكل المصدر كما يلي :

Current DC التيار المستمر



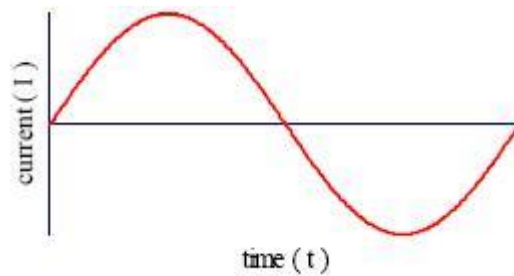
التيار المستمر ثابت القيمة ولا يغير اتجاهه بالنسبة للزمن كما هو مبين بالشكل أعلاه.

Pulsating Current تيار موضعي



وهو تيار مستمر تتغير قيمته دورياً ولا يتغير اتجاهه كما هو مبين بالشكل أعلاه.

AC Current تيار متردد



وهو تيار متغير القيمة والاتجاه دورياً مثل موجة **sin wave**

3-الجهد:-

يعرف الجهد بأنه الشغل اللازم لنقل وحدة الشحنات من نقطة لأخرى ويقاس بالفولت volt

$$V=J/C=dW/dt$$

حيث أنه:-

v:الجهد

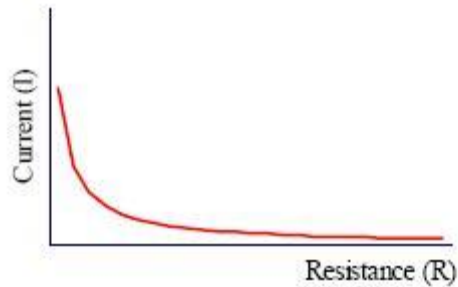
W:الشغل ويقاس بالجول

Q:الشحنه وتقاس بالكولوم

4-المقاومة:-

تعتبر المقاومة من العناصر الرئيسية المكونة للدوائر الكهربائية حيث تعتمد عليها قيمة بقية العناصر الأخرى مثل التيار والقدرة.

والمقاومة هي النسبة بين الجهد والتيار وهذا التناسب أثبتته العالم أوم وتتناسب عكسياً مع التيار أي أنه كلما زاد التيار قلت قيمة المقاومة والعكس صحيح.



-مقاومة السلك الموصل:-

تعتمد مقاومة الموصلات على التالي :

- 1-طول الموصل ويرمز له بالرمز L
 - 2-مساحة المقطع ويرمز لها A
 - 3-نوع الماده(المقاومة النوعية) ويرمز لها بـ ρ
 - 4-درجة الحرارة ويرمز لها بالرمز T
- من هذه العوامل يمكن تحديد قيمة مقاومة الموصل:-

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

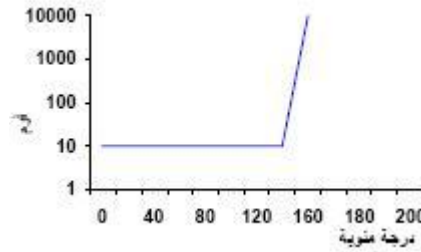
أنواع المقاومات:-

1- المقاومة الضوئية:-

في هذا النوع نجد أنه قيمتها تقل عند تسليط الضوء عليها وتزيد عند حجب الضوء عنها وتصل قيمتها الى قيمة كبيرة جداً عندما يحجب الضوء عنها كلياً.

2- المقاومة الحرارية:-

تعتمد قيمة هذه المقاومة على الحرارة حيث أن قيمتها تقل عند زيادة درجة الحرارة



3 - المقاومات التي تعتمد قيمتها على الجهد:-

يرمز لهذه المقاومات بالرمز VDR وهي التي تقل قيمتها بزيادة الجهد المطبق عليها.

4-المقاومة الخطية:-

يوجد منها ثلاث انواع :

أ-مقاومات السلك الملفوف:

حيث يوجد منها قيم مختلفة

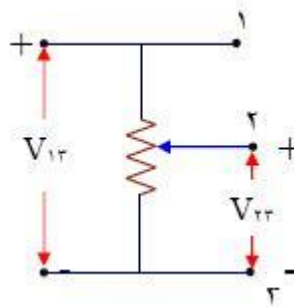
ب- المقاومات المتغيرة:

يمكن من خلال هذه المقاومات الحصول على قيم مختلفة من المقاومات على حسب وضع الطرف المنزلق لهذه المقاومات ويوجد نوعان منها :

الأول:

مقاومات مجزئ الجهد:

من الممكن ان تستخدم كمجزيء للجهد ولها ثلاثة أطراف

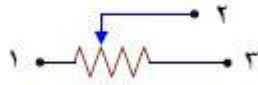


وأخيراً.. أن مدى التحكم في مثل هذه المقاومات قد يصل الي عدة ميجا أوم

الثاني:

ريوستات:

لها عدة خواص مثل : أن مدى التحكم أقل مما هو عليه في النوع السابق ويصل الى عدة كيلو أوم وتستخدم غالباً كأداة تحكم دقيقة في نظم التحكم الصناعية وكذلك للتحكم في قيمة التيار في التطبيقات الصغيرة.



الثالث:

المقاومة الكربونية:

يعتبر هذا النوع هو الأكثر انتشاراً واستخداماً ويرجع ذلك للمادة المستخدمة وهي الكربون ويمكن معرفة قيم المقاومات عن طريق شفرة الألوان أو قياسها بجهاز الاوميتزر

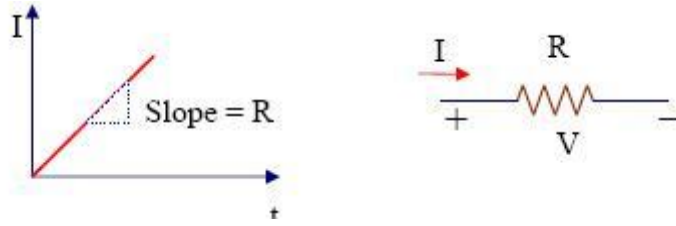
الموصلة:

ويرمز لها بالرمز G وتقاس بالسيمنز والذي يكافئ أمبير لكل فولت وهو مقلوب المقاومة

$$G=1/R$$

قانون أوم

أثبت جورج سيمون أوم من خلال دراسته أن التيار الكهربائي يتناسب طردياً مع الجهد المطبق على الدائرة وأن العلاقة بين التيار والجهد في دائرة كهربائية هي علاقة خطية كذلك فإن التيار يتناسب عكسياً مع قيمة المقاومة الكلية للدائرة كما بالشكل التالي :



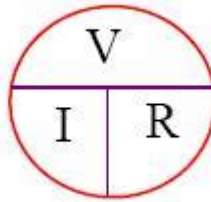
قانون أوم

ينص قانون أوم على أن التيار المار في مقاومة يتناسب مباشرة مع الجهد المطبق على المقاومه ويتناسب عكسياً مع قيمة المقاومة.
الصيغه الرياضية :

$$I=V/R$$

$$V=IR$$

$$R=V/I$$



الخلاصة :

١. يمكن تطبيق قانون أوم في جزء من الدائرة أو الدائرة ككل.
٢. إن التيار Current يتناسب عكسيا مع المقاومة ، طرديا مع الجهد ، والعلاقة بينهما خطية ،
حيث أن: $I = \frac{V}{R}$
٣. هبوط الجهد يساوي حاصل ضرب قيمة التيار و المقاومة ، كما يلي:
$$V = I * R$$
٤. عند تطبيق قانون أوم على الدائرة ككل يجب حساب قيمة التيار الكلي I_T المار في الدائرة وأيضاً المقاومة الكلية للدائرة R_T ، وكذلك يكون تعاملنا مع قيمة جهد المصدر للدائرة.
٥. عند تطبيق قانون أوم في جزء من الدائرة يجب أن يكون تعاملنا فقط مع التيار وكذلك المقاومة ذات الصلة.

القدرة والطاقة

أوجد قانون أوم العلاقة بين العناصر الثلاثة في الدائرة الكهربائية من هنا نجد أن وجود هذه العناصر أوجد كمية رابعة أخرى تسم القدرة **Power** وسوف ندرس في هذا الفصل العلاقة بين القدرة وكل من الجهد والتيار والمقاومة.

القدرة

Power

هي الشغل المبذول بالنسبة للزمن ووحدتها الوات **Watt** ويرمز لها بالرمز **P** ويمكن تعريفها بصورة أخرى بأنها معدل الطاقة المستخدمة بالنسبة للزمن

$$\text{Power} = \text{Energy} / \text{time}$$

$$P=E/t$$

حيث:-

P: هي القدرة بالوات

E: هي الطاقة بالجول

t: الزمن بالثانية

ملاحظه: يعرف الوات بأنه كمية الشغل المبذول مقداره واحد جول لفترة

زمنه ثانية واحد

$$\text{Watt}=\text{Joule/Second}$$

ملاحظة Note:

للتعبير عن وحدات القياس للكميات الكهربائية:

- إذا كانت الكمية الكهربائية صغيرة فيفضل التعبير عنها بالوحدات الصغيرة.
- إذا كانت الكمية الكهربائية كبيرة فيفضل التعبير عنها بالوحدات المناسبة لها.
- للتحويل من الوحدات الصغيرة إلى الوحدات الكبيرة، نقسم على الوحدة المراد التحويل إليها.
- للتحويل من الوحدات الكبيرة إلى الوحدات الصغيرة، نضرب في الوحدة المراد التحويل إليها.

القدرة في الدائرة الكهربائية :-

هناك صور مختلفة للقدرة في الدائرة الكهربائية وذلك بسبب الصور
المختلفة لقانون أوم ويمكن تمثيل الصورة الأساسية للقدرة في العلاقة
التالية :

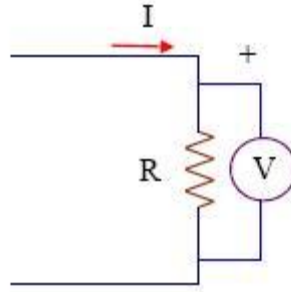
$$P=VI$$

حيث :

P: القدرة بالوات

V: الجهد بالفولت

I: التيار بالامبير



إحدى صور القدرة المختلفة يمكن الحصول عليها بتعويض قانون أوم للجهد

$$V=IR$$

$$P = VI = IRI = I^2 \cdot R$$

وهناك صورة أخرى للقدرة :

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

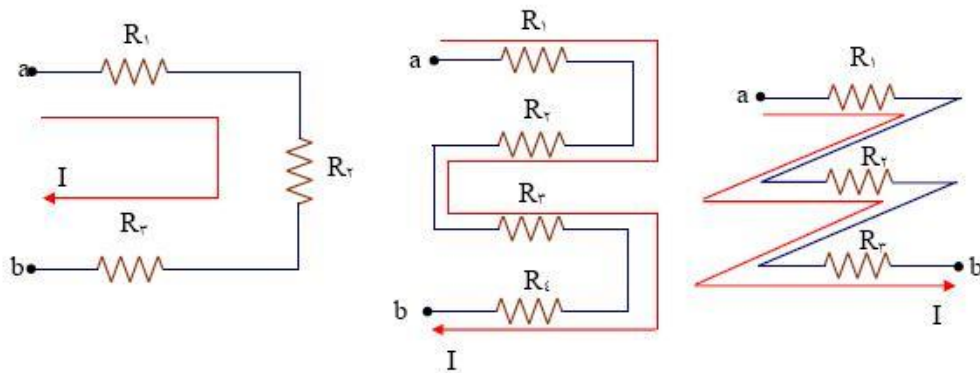
الخلاصة :

- الواط وحدة القدرة ويساوي وحدة الجول لكل ثانية، أي أن: $\text{Watt} = \frac{\text{Joule}}{\text{second}}$
- أقصى قدرة يمكن أن تتحملها المقاومة تمثل أقصى قدرة.
- المقاومة التي لها حجم أكبر يمكن أن تستهلك قدرة أكبر وتظهر في صورة حرارة عن المقاومة التي لها حجم صغير.
- يجب أن تكون القدرة التي تتحملها المقاومة أكبر من القيمة المتوقعة في الدائرة وحتى لا تحترق.
- إن القيمة العظمى للقدرة لا تتوقف على قيمة المقاومة.
- عند احتراق المقاومة في الدائرة فإنها تمثل دائرة مفتوحة open circuit.
- إن البطارية تمثل نوع من أنواع مصادر القدرة وتعمل على تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية.
- تقاس سعة البطارية بالأمبير x ساعة Ampere. Hour.
- إن الوحدة أمبير x ساعة تمثل 1 أمبير لمدة 1 ساعة.

التوصيل على التوالي في الدوائر الكهربائية

عندما يكون هناك عدد من المقاومات متصلة بحيث تكون مساراً واحداً بمرور التيار وأن التيار ثابت في جميع المقاومات في هذه الحالة فقط 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 المقاومات بين النقطتين موصله على التوالي.



المقاومة الكلية Total Resistance

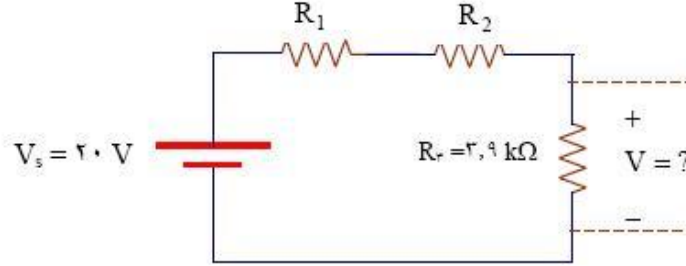
المقاومة الكلية لعدد من المقاومات متصلة على التوالي هي عبارة عن مجموع المقاومات أي أن:

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

تطبيق قانون أوم في دوائر التوالي

سوف نوضح كيفية تطبيق قانون أوم سواء في أي جزء في الدائرة أو التعامل مع الدائرة وذلك من خلال تطبيق بعض الامثلة:

المقاومة الكلية لثلاث مقاومات متصلة على التوالي في دائرة كهربائية تساوي $12.6 \text{ k}\Omega$ ، ما هي قيمة هبوط الجهد Voltage Drop على المقاومة $3.9 \text{ k}\Omega$ 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:

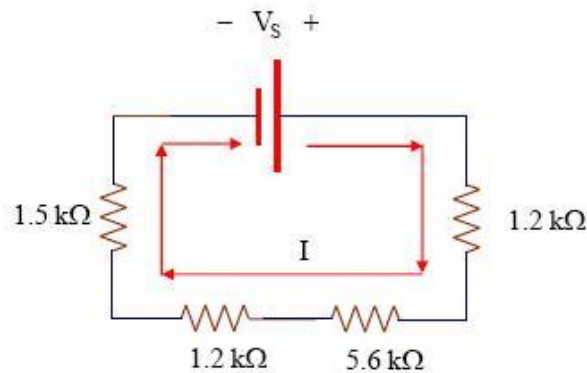
$$I = \frac{V_s}{R_T} = \frac{20}{12.6 * 10^3} = 1.59 \text{ mA}$$

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

∴ قيمة هبوط الجهد على المقاومة R_3 يساوي 6.19 V

ومثال آخر:

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



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

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

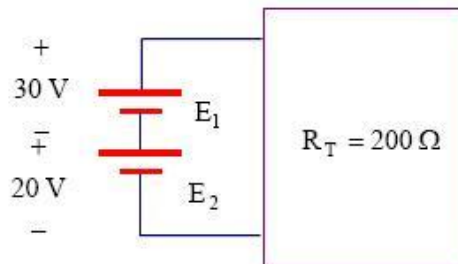
$$\therefore V_S = 9.5V$$

مصادر الجهد على التوالي

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 الذي يليه وهكذا وكمثال انظر الشكل التالي :

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



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

$$E_T = E_1 + E_2$$

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

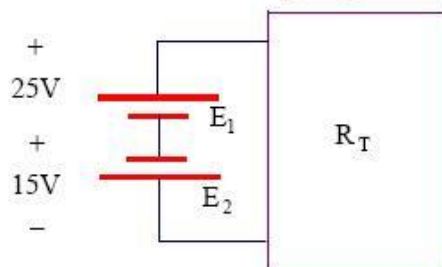
بتطبيق قانون أوم ينتج أن:

$$\therefore I = \frac{E_T}{R_T} = \frac{50}{200} = 0.25A$$

$$\therefore I = 0.25A$$

في بعض الاحيان تكون المصادر متصلة بطريقة عكسية مثل هذا الترتيب يكون القطب الموجب للمصدر الاول متصلا مع القطب الموجب للمصدر الثاني او القطب السالب للاول يكون متصلا بالقطب السالب للمصدر الثاني وهكذا ويتضح هذا في المثال التالي:

ما هي قيمة مصدر الجهد الكلي في الشكل التالي ؟



الحل

نجد أن المصدرين E_1, E_2 متصلاً 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:

$$E = E_1 - E_2$$

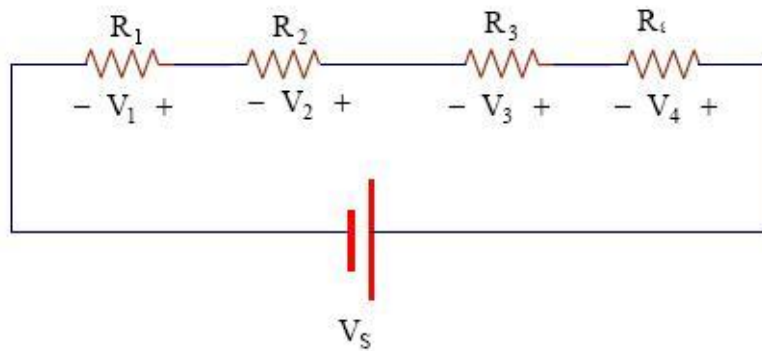
$$E = 25 - 15 = 10V$$

قانون كيرشوف :-

يعتبر قانون كيرشوف من القوانين الرئيسية للدائرة الكهربائية وهو ينص على أن المجموع الجبري للجهود في أي دائرة أو مسار مغلق يساوي صفرًا.

في أي مسار مغلق يكون جهد المصدر يساوي **Voltage Drop** على مقاومات المسار المتوالية

يعرف **Voltage drop** بأنه الجهد المطبق على المقاومات ونتيجة مرور التيار في المقاومات فإنه ينشأ جهد معاكس في القطبيه بالنسبه لاتجاه المصدر الرئيسي للدائرة وبالتالي فإنه يعمل علي هبوط جهد المصدر إلى الصفر وهذا ما حققه كيرشوف والشكل التالي يوضح قطبية كل من المصدر والجهد الناشيء على المقاومات



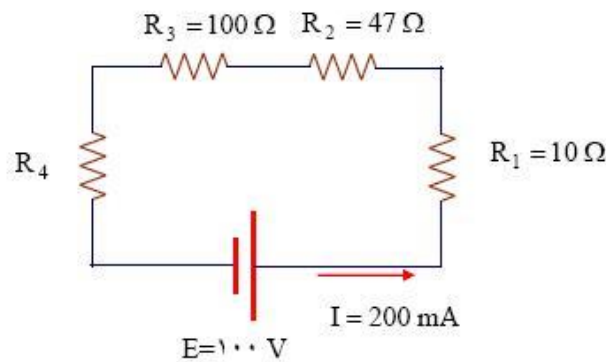
$$V_s = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

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

$$V_s = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

مثال :

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



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

Kirchhoff's Voltage Law

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

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

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

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

لإيجاد قيمة V_4 (الجهد على المقاومة R_4) نطبق قانون كيرشوف للجهد أي أن:

$$V_s - (V_1 + V_2 + V_3 + V_4) = 0$$

$$100 - 2 - 9.4 - 20 - V_4 = 0$$

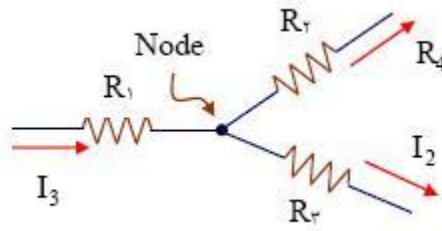
$$68.6 - V_4 = 0$$

$$\therefore V_4 = 68.6\text{V}$$

قانون كيرشوف للتيار

ينص قانون كيرشوف للتيار على الآتي:
عند أي عقدة Node في الدائرة الكهربائية فإن مجموع التيارات الكهربائية الداخلة الى العقدة تساوي مجموع التيارات الكهربائية الخارجة منها.

Node : هي نقطة تجميع لأكثر من فرعين والشكل التالي يوضح ذلك:



بتطبيق قانون كيرشوف للتيار KCL نجد أن:

$$I_1 = I_2 + I_3$$

بتطبيق قانون كيرشوف للتيار نجد أن:

$$I_1 = I_2 + I_3$$

ويمكن التعبير عن قانون كيرشوف للتيار KCL بالنص الآتي:

"المجموع الجبري للتيارات الكهربائية عند أي Node في الدائرة الكهربائية يساوي صفراً"

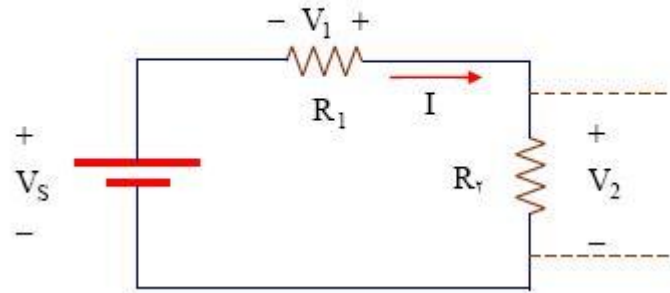
وإذا طبقنا هذه الصورة في الشكل السابق نجد أن:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

قانون كيرشوف للتيار KCL يطبق دائماً في دوائر التوازي أي الدوائر التي تشتمل على مقاومات متصلة على التوازي، وكنتيجه لتوازي المقاومات فينشأ نقاط التفرع Nods وتوزيع التيار لذلك يمكن استخدام قانون كيرشوف KCL لإيجاد التيارات في الفروع المختلفة في دوائر التوازي. وسوف نتناول ذلك في الوحدة القادمة.

محزئ الحهد Voltage Divider

في دوائر التوالي نجد ان جهد المصدر يتجزأ بين جميع المقاومات المتصلة على التوالي وبالتالي يمكن القول بأن عمل دوائر التوالي يشبه عمل مجزئات الجهد الداخل للدائرة والمثال التالي سيوضح بإذن الله:-



في الدائرة توجد مقاومتان لذلك يوجد علي كل مقاومة قيمة من الجهد نتيجة مرور التيار في المقاومتين وبالتالي يصبح:

$$V_1 = IR_1$$

$$V_2 = IR_2$$

وحيث أن التيار ثابت في المقاومتين لذلك نجد ان كلا من V_1, V_2 يتناسب مع قيمة R_1, R_2 لكي نتحقق من هذا اذا كانت قيمة

$$V_S = 10V$$

$$R_1 = 50$$

$$R_2 = 100$$

$$R_T = 50 + 100 = 150\Omega$$

$$I = \frac{10\text{ V}}{150\Omega} = \frac{1}{15}\text{ A}$$

$$V_1 = IR_1 = \frac{1}{15} * 50 = \frac{1}{3} * 10\text{ V}$$

$$\therefore V_1 = \frac{1}{3}(10)\text{ V}$$

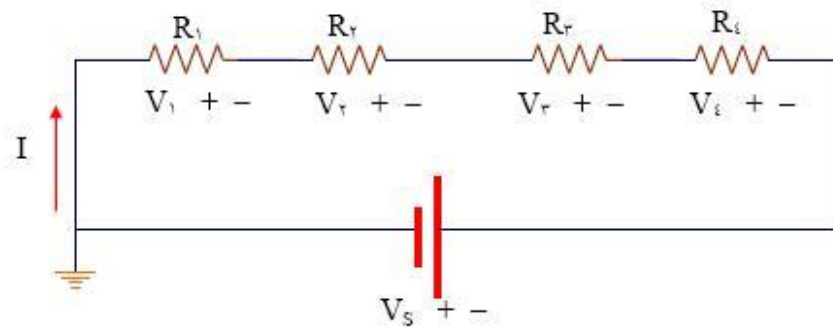
$$V_2 = IR_2 = \frac{1}{15} * 100 = \frac{1}{3}(20)\text{ V}$$

$$\therefore V_2 = \frac{2}{3}(10)\text{ V}$$

لذلك نجد أن الجهد V_1 يمثل ثلث قيمة المصدر وكذلك V_2 يمثل الثلثين
نستنتج أن الجهد على مقاومات التوالي يتناسب مع قيمة المقاومات

الصيغة العامة لتوزيع الجهد :

يمكننا استخدام المثال التالي :



بفرض أن الجهد المطبق على أي مقاومة هو V_X حيث X تمثل رقم المقاومة ، بتطبيق قانون أوم

$$V_X = IR_X$$

حيث أن: x تأخذ الأرقام ١، ٢، ٣، ٤

ويمكن إيجاد قيمة التيار في الدائرة كما يلي:

$$I = \frac{V_S}{R_T}$$

بالتعويض عن التيار I في المعادلة V_X نحصل على

$$V_X = \left(\frac{V_S}{R_T} \right) R_X$$

وبإعادة ترتيب المعادلة V_X نجد أن:

$$V_X = \left(\frac{R_X}{R_T} \right) V_S$$

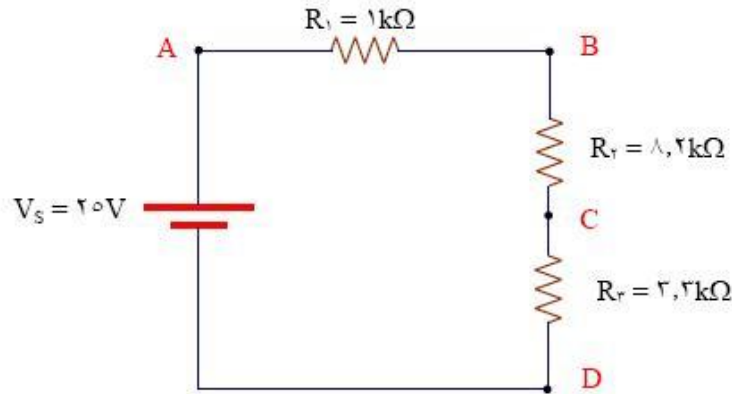
للايضاح هناك مثال بسيط

احسب الجهد بين النقاط التالية والموضحة في الشكل التالي:

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

أو يمكن كتابة الجهد كالتالي:

V_{AB} (a) V_{AC} (b) V_{BC} (c) V_{BD} (d) V_{CD} (e)



الحل

إيجاد أولاً المقاومة الكلية R_T

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_T = 1 + 8.2 + 3.3$$

$$R_T = 12.5K\Omega$$

ولتطبيق قانون التجزئ باستخدام مجزئ الجهد:

$$V_{AB} = \left(\frac{R_1}{R_T} \right) V_S$$

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

$$\therefore V_{AB} = 2V$$

$$V_{AC} = \left(\frac{9.2}{12.5} \right) * 25 = 18.4V$$

$$\therefore V_{AC} = 18.4V$$

لإيجاد قيمة الجهد بين النقطتين C, B

$$V_{BC} = \left(\frac{R_2}{R_T} \right) V_S$$

$$V_{BC} = \left(\frac{8.2}{12.5} \right) * 25 = 16.4V$$

$$\therefore V_{BC} = 16.4V$$

$$V_{BD} = \left(\frac{8.2 + 3.3}{12.5} \right) * 25$$

$$V_{BD} = \left(\frac{11.5}{12.5} \right) * 25 = 23V$$

$$\therefore V_{BD} = 23V$$

وأخيراً نوجد V_{CD}

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

القدرة في دوائر التوالي

القدرة المستهلكة في دوائر التوالي هي عبارة عن مجموع القدرات التي

تستهلك في كل مقاومة وبالتالي تصبح:

$$P_T = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

$$P_T = V_S I$$

$$P_T = I^2 R_T$$

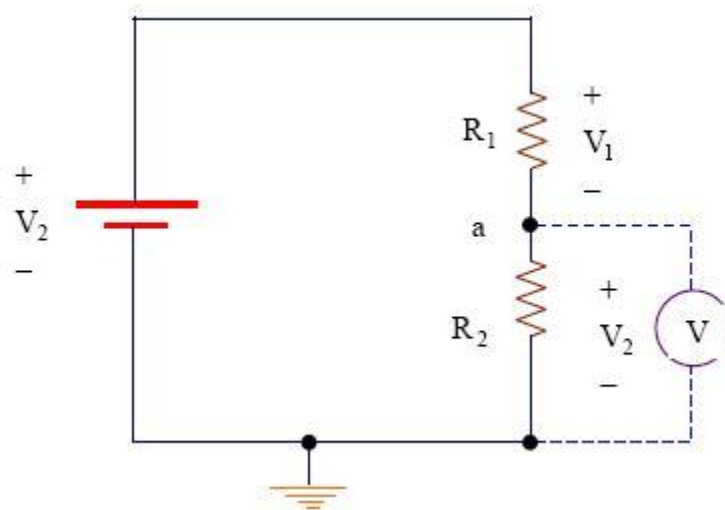
$$P_T = \frac{V_S^2}{R_T}$$

قياس الجهد بالنسبة للأرض

دائماً عند قياس أو قراءة الجهد يكون منسوب الى نقطة اخرى (نقطة مرجعية
(Reference Point).

وإذا تم توصيل هذه النقطة بالأرض فإنها تأخذ جهد الأرض وتساوي صفراً.

وتأريض الدائرة يعني أن تكون هناك نقطة مشتركة لتوصيل الدائرة أو
عناصر الدائرة تكون مشتركة في نقطة واحدة وهي ما تسمى بالأرضي
Ground إذا تم توصيلها بالأرض كما هو مبين بالشكل



قياس الجهد يكون موجب عند النقطة a بالنسبة للأرض

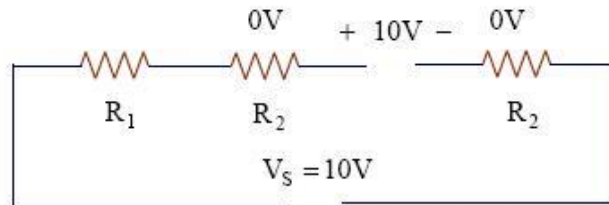
اكتشاف الأعطال

عندما نتحدث عن دوائر التوالي فإنه من المهم أن نعرف أهم المشاكل فيما يلي:

1 - فتح الدائرة Open Circuit 2 - قصر الدائرة Short Circuit

وعندما نتكلم عن فتح الدائرة فيجب أن نعرف ماهو السبب ؟ فعلى سبيل المثال عندما تحترق مقاومة من مقاومات التوالي فإن ذلك يؤدي إلى خروج هذه المقاومة من الدائرة وتتسبب في فتح الدائرة ومعنى ذلك أن التيار لا يمر في الدائرة نتيجة عدم وجود مسار مغلق وعند اختبار الدائرة واكتشاف العطل هناك ملاحظتان

- 1 - فرق الجهد علي كل مقاومة صالحة يساوي صفراً.
- 2 - عند فحص المقاومة المحترقة نجد أن الجهد على الجزء الذي أحدث عملية الفتح يساوي جهد المصدر.



أما قصر الدائرة فيحدث عند تلامس موصلين أو عنصرين مختلفين فينتج عنهما زيادة مفاجئة لقيمة التيار المار في الدائرة وتنتهي بحدوث مشكلة نتيجة لارتفاع التيار.

هذه الظاهرة معروفة وشائعة في الدوائر ذات الكثافة العالية.

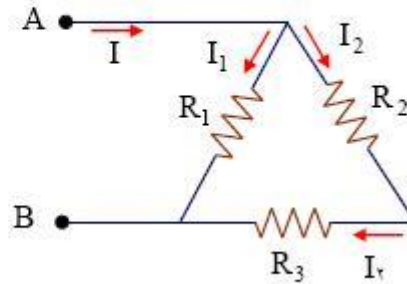
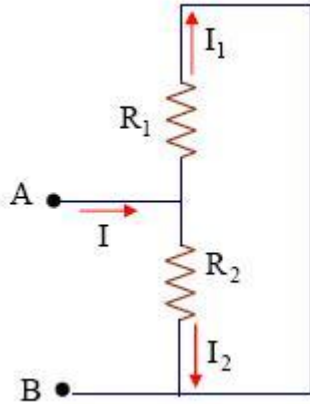
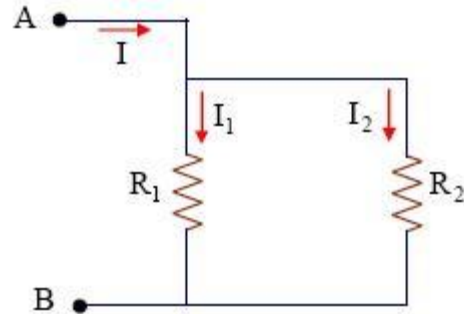
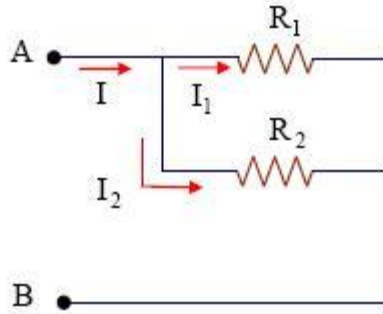
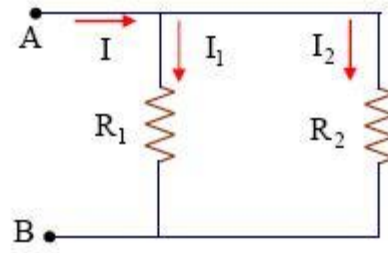
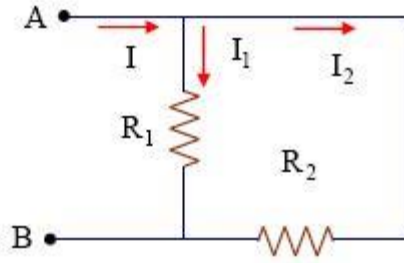
الخلاصة Summary

- التيار قيمته ثابتة في جميع أجزاء دائرة التوالي.
- أن المقاومات في حالة التوالي تضاف مع بعضها وأن المقاومة الكلية في دائرة التوالي تساوي مجموع المقاومات المتصلة على التوالي.
- قيمة مصدر الجهد يساوي مجموع انخفاض الجهد على جميع مقاومات التوالي KVL.
- أن مصادر التغذية يمكن أن تكون على التوالي وفي هذه الحالة يكون الجهد الكلي عبارة عن مجموع مصادر الجهد المتصلة على التوالي.
- مصادر التغذية يمكن أن تكون متصلة على التوالي ولكنها متعاكسة Series-Opposition ويكون الفرق بينهما هو الجهد الكلي للدائرة.
- أن قيمة هبوط الجهد Voltage Drops يكون إشارته في القطبية المصدر عكس قطبية المصدر.
- أن التيار يخرج من القطب الموجب للمصدر خلال التوصيل الخارجي إلى القطب السالب ويتحرك داخلياً أي داخل المصدر من خلال السالب إلى القطب الموجب.
- أن مجزئ الجهد هو عبارة عن نظام متثال من المقاومات.
- أن الطاقة الكلية في دوائر التوالي هو عبارة عن مجموع الطاقات الجزئية لكل مقاومة.
- كل الجهود في الدائرة منسوب إلى الأرضي ما لم يذكر غير ذلك.
- أن الأرضي Ground يكون جهده يساوي صفر بالنسبة لجميع النقاط المنسوبة إليه في الدائرة.
- الأرضي السالب Negative Ground ينسب إلى جهد المصدر حينما يكون سالبه متصلاً بالأرضي.
- الأرضي الموجب Positive Ground ينسب هذا المقطع عندما يكون القطب الموجب لمصدر الجهد متصلاً بالأرضي.
- الجهد عبر الدائرة المفتوحة Open circuit أو الجهد عبر الجزء المفتوح في الدائرة يكون مساوياً لجهد المصدر.

التوصيل على التوازي في الدوائر الكهربائية

يعرف التوازي بأنه إذا كان هناك أكثر من فرع (مقاومة) بين نقطتين وكذلك أن الجهد بين النقطتين يكون مطبق على جميع الأفرع في هذه الحالة يكون جميع الأفرع متصلة على التوازي أو بمعنى آخر تكون بدايات جميع المقاومات متصلة مع بعضها في نقطة واحدة وجميع نهايات هذه المقاومات

تتصل في نقطة أخرى وتوضح الدوائر أشكال مختلفة لهذا التوصيل



حساب الـ Voltage Drop في دوائر التوازي

لقياس انخفاض الجهد في دوائر التوازي نجد أن جميع المقاومات متصلة على التوازي تكون محصورة بين نقطتين وقياس الجهد بين النقطتين يعني قياس الجهد على أي مقاومة من المقاومات المتصلة على التوازي ومن

قياس الجهد نجد أن جميع المقاومات يكون لها نفس الجهد

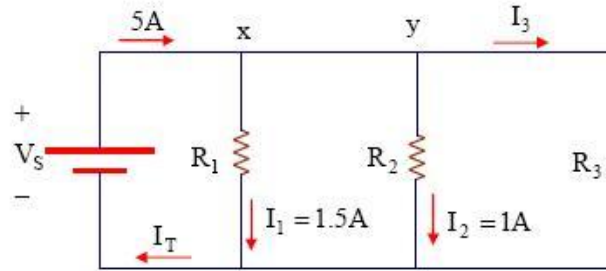
قانون كيرشوف للتيار

لقد سبق تقديم قانون كيرشوف للتيار في الفصل السابق وهو يطبق في دوائر التوازي وينص على أنه عند أي عقدة **Node** يكون مجموع التيارات الداخلة للعقدة يساوي مجموع التيارات الخارجة منها

مثال

استخدم قانون كيرشوف للتيار لإيجاد التيار في كل من الأميترات A_1, A_2 الموضح بالرسم

التالي:



التيار الكلي الداخل عند النقطة x يساوي 5A وبتطبيق قانون كيرشوف نجد أن:

$$5A = 1.5A + I_{A1}$$

حيث أن: I_{A1} تعني قيمة التيار الذي يقيسه الأميتر A_1 .

$$\therefore I_{A1} = 5 - 1.5 = 3.5A$$

من الرسم نجد أنه عند العقدة y فإن التيار الداخل فيها هو 3.5A.

$$\therefore 3.5A = 1A + I_{A2}$$

$$\therefore I_{A2} = 3.5 - 1 = 2.5A$$

\therefore قراءة الأميترات كالآتي:

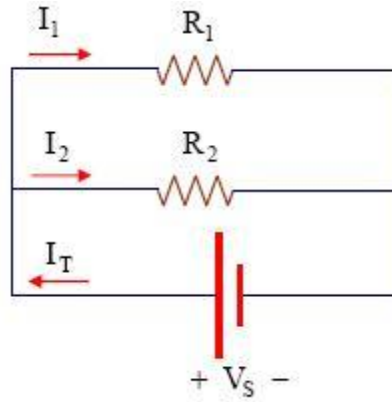
$$I_{A1} = 3.5A$$

$$I_{A2} = 2.5A$$

المقاومة الكلية لعدد من المقاومات متصلة على التوازي

المقاومة الكلية لمقاومتين متصلتين على التوازي تكون أقل من أصغرهما

وهذا يعني أن المقاومة المكافئة تقل دائماً كلما تزايد عدد المقاومات المتصلة على التوازي.



في هذا المثال إذا طبقنا قانون كيرشوف نجد أن:

$$I_T = I_1 + I_2$$

ثم بتطبيق قانون أوم للتعويض عن التيارات بدلالة الجهد

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

حيث أن الجهد ثابت وهو نفس قيمة جهد المصدر

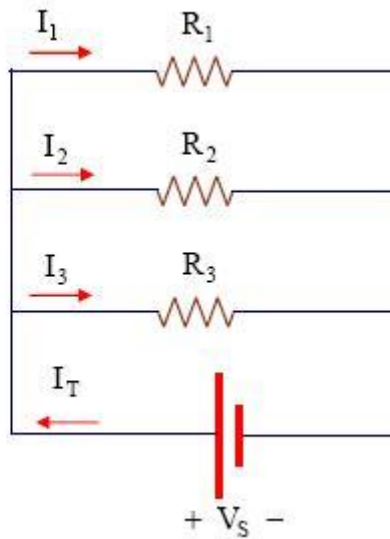
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

وهذه تسمى المعادلة العامة لإيجاد المقاومة المكافئة لمقاومتين وأكثر من مقاومتين

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

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

ايجاد المقاومة المكافئة لثلاث مقاومات



بنفس خطوات الطريقة السابقة نستنتج أن :

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

أي أن المقاومة المكافئة هي عبارة عن حاصل ضربهم مقسوما على حاصل ضربهم مثلي مثلي

وبالتالي يمكننا أن نضع الصورة العامة للمقاومة الكلية لأي عدد من

المقاومات :

$$R_T = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1}\right) + \left(\frac{1}{R_2}\right) + \left(\frac{1}{R_3}\right) + \dots + \left(\frac{1}{R_n}\right)}$$

حالة تساوي المقاومات المتصلة على التوازي :

عندما تكون المقاومات المتوازية متساوية القيمة فالقيمة الكلية في هذه الحالة ستساوي :

$$R_T = \frac{R}{n}$$

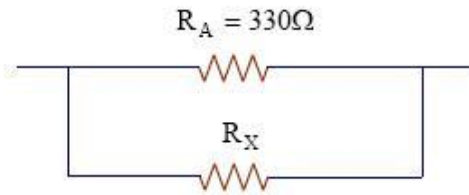
إيجاد مقاومة مجهولة في دوائر التوازي

قد يصادف أحيانا وجود مقاومة غير معلومة القيمة في أي دائرة كهربائية وبالتالي فمن الضروري إيجاد هذه القيمة المجهولة بدلالة المقاومة الكلية والمقاومات الأخرى المكونة للدائرة.

فإذا كانت الدائرة الكهربائية تحتوي على مقاومتين متصلتين على التوازي وكانت إحدى قيم المقاومتين والمقاومة الكلية معلومة فإنه يمكن إيجاد القيمة المجهولة.

مثال بسيط

إذا أردت الحصول على مقاومة تساوي 150Ω وذلك باستخدام مقاومتين متصلتين على التوازي إحداهما تساوي 330Ω . ما هي القيمة الأخرى التي تحتاجها؟



يمكن حساب قيمة المقاومة الأخرى المتصلة على التوازي مع المقاومة 330Ω عن طريق التطبيق في الصورة العامة للمقاومة الكلية لمقاومتين على التوازي أي:

$$R_T = \frac{R_A R_X}{R_A + R_X}$$

$$150 = \frac{330 R_X}{330 + R_X}$$

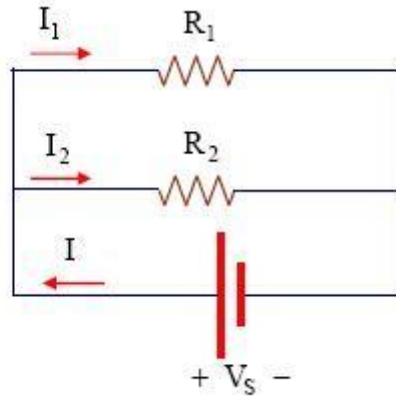
$$150(330 + R_X) = 330 R_X$$

$$150 * 330 = 330 R_X - 150 R_X$$

$$\therefore R_X = \frac{150 * 330}{180} = 275\Omega$$

تجزئ التيار في دوائر التوازي

في الجزء السابق أوجدنا المقاومة الكلية لأي عدد من المقاومات المتصلة على التوازي ونريد أن نشير إلى أنه في دوائر التوازي يتجزأ التيار إلى عدد من المقاومات أو الأفرع وفي هذا الجزء سوف نستنتج قانون تقسيم التيار.



لإيجاد قيم التيارات الفرعية I_1, I_2 بدلاله التيار الكلي I وبتطبيق قانون أوم نجد أن :

$$V = IR_t$$

$$V = I_1 R_1$$

$$V = I_2 R_2$$

أي أن

$$IR_t = I_1 R_1$$

$$I_1 = IR_t / R_1$$

وكذلك

$$I_2 = IR_t / R_2$$

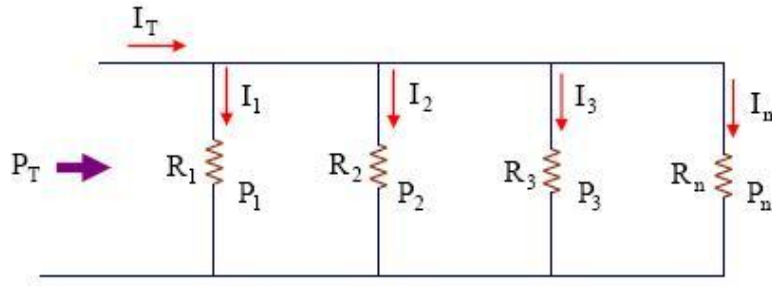
ويمكن وضع هذه الصيغة لقانون تجزئ التيار

$$I_x = IR_t / R_x$$

القدرة في دوائر التوازي :

في دوائر التوازي تمثل القدرة الكلية P_t مجموع القدرات الجزئية المنفردة

بمعنى أن :
 $P_t = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$



$$P_T = V I = I_T^2 R_T = \frac{V^2}{R_T}$$

أو بهذه الطريقة

$$P_1 = I_1^2 R_1$$

$$P_2 = I_2^2 R_2$$

$$P_3 = I_3^2 R_3$$

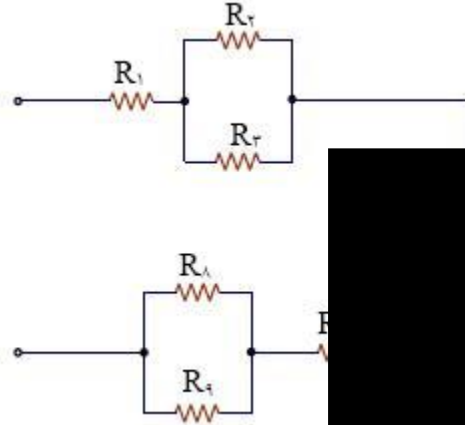
$$P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

الدوائر المركبة

في الفصول السابقة درسنا دوائر التوالي والتوازي كل على حده ويأتي الدور الآن على الدوائر المركبة والتي تشمل الاثنين معاً

تعريف التوالي التوازي :

أوصف عناصر التوالي والتوازي في الدائرة المبينة



صلة على التوالي حيث أن التيار المار فيهما يقل التيار
من العناصر تمثل التوازي وعند إيجاد المقاومة الكلية
حصل على الآتي :

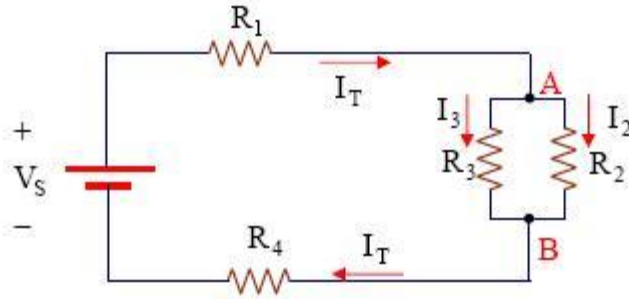
$$R_T = R_1 + R_2 // R_3 + R_4 // R_5 //$$

بصورة أخرى

$$R_T = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} + \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5}$$

يوضح الأمر :
!

في الدائرة المبينة بشكل رقم (٦-٢)، بين عناصر التوالي والتوازي.



!Error

الحل

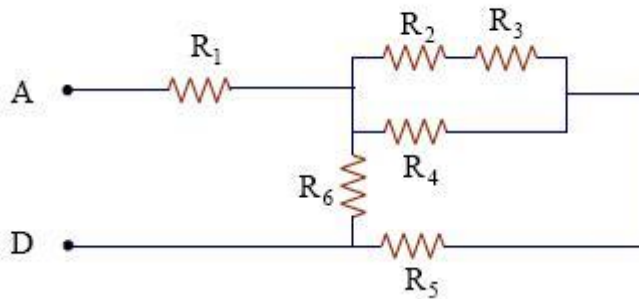
نجد من الدائرة أن التيار الكلي الخارج من مصدر التغذية يمر في المقاومة R_1 ثم عندما يمر من النقطة A يتفرع إلى جزأين، جزء يمر في R_2 ، والجزء الآخر يمر في R_3 . ومن قانون كيرشوف للتيار نجد أنه عند النقطة B يتجمع التيار مرة أخرى ويمر في المقاومة R_4 . إذا تصبح المقاومات R_1, R_4 على التوالي. أما المقاومات R_2, R_3 فهي موصلة على التوازي، أي أن $R_2 // R_3$ ، وبالتالي تكون المقاومة الكلية R_T كما يلي:

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

ومثال آخر

!Error

أوصف مجموعات التوالي والتوازي بين النقطتين A, D في الشكل رقم (٦-٥).

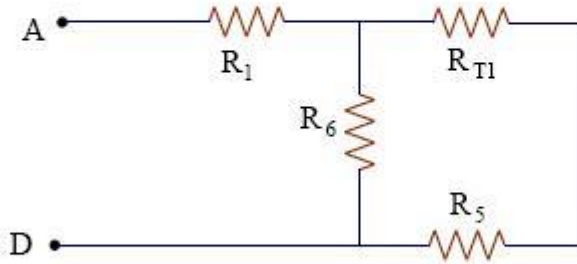


!Error

نوجد أولاً المقاومة المكافئة R_{T1} للمجموعة المكونة من المقاومتين المتواليتين R_2, R_3 والموصلتين على التوازي مع المقاومة R_4 لنحصل على:

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

بعد ذلك نجد أن المقاومة المكافئة R_{T1} تصبح على التوالي مع R_5 كما في شكل رقم (٦- ٦).



شكل رقم (٦- ٦) تبسيط الدائرة الكهربائية لمثال رقم (٦- ٤).

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

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

تحليل دوائر التوالي التوازي

غالباً ما تشمل أي دائرة كهربائية على مقاومات متصلة على التوالي وأخرى على التوازي وتمثل هذه الدائرة في معظم الأحيان دائرة عملية.

لذلك عند إيجاد المقاومة الكلية للدائرة يتبع الطريقة التالية :

نحدد المقاومات المتصلة على التوازي ونحسب المقاومة المكافئة لها ثم نرسم الدائرة بعد تبسيطها

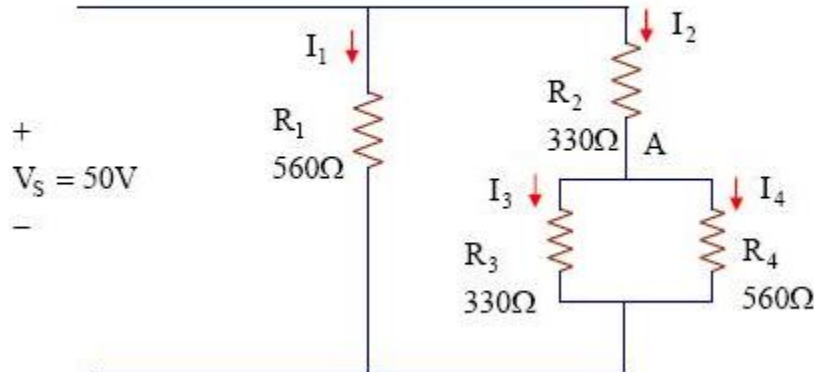
نحدد المقاومات المتصلة على التوالي ونحسب المقاومة المكافئة لها ثم نرسم الدائرة بعد تبسيطها

في النهاية تصبح الدائرة الأصلية دائرة بسيطة يمكن إيجاد المقاومة الكلية لها

مثال

!Error

أوجد قيمة التيار المار في المقاومة R_4 في الدائرة إذا كان قيمة مصدر الجهد $V_S = 50V$



!Error

نجد من الدائرة السابقة أن فرعين أساسيين منطبق عليهما نفس الجهد $50V$ ، الفرع الأول ويمثله المقاومة R_1 والفرع الثاني عبارة عن المقاومة R_2 على التوالي مع مجموعة التوازي لكل من R_3, R_4 . ولإيجاد قيمة التيار I_4 المار في المقاومة R_4 نستخدم الطريقة التالية:

أولاً: نحسب قيمة المقاومة الكلية لكل من المقاومات R_2, R_3, R_4 .

ثانياً: نحسب قيمة I_2 وهو عبارة عن خارج قسمة الجهد على المقاومة الكلية للمقاومات R_2, R_3, R_4 .

ثالثاً: بعد حساب I_2 نطبق قاعدة توزيع التيار عند نقطة A لإيجاد قيمة التيار I_4 وهو المطلوب.

$$\begin{aligned}
 R_{T_{2,3,4}} &= R_2 + R_3 // R_4 \\
 &= R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} \\
 &= 330 + \frac{330 * 560}{330 + 560} = 538\Omega \\
 \therefore R_{T_{2,3,4}} &= 538\Omega \\
 I_2 &= \frac{50}{538} = 93mA
 \end{aligned}$$

!Error

ثم باستخدام قاعدة توزيع التيار ينتج أن:

$$I_4 = I_2 \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) = 34.5 \text{mA}$$

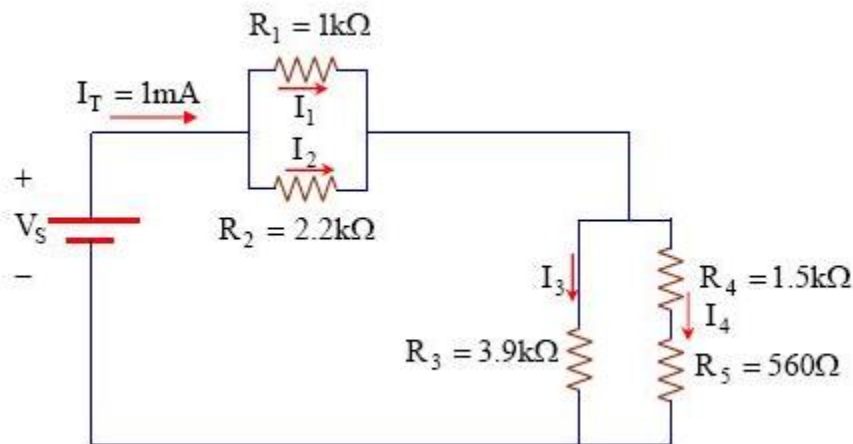
$$\therefore I_4 = 34.5 \text{mA}$$

إيجاد الهبوط في الدوائر المركبة

من المفيد حساب الهبوط في الجهد على أي جزء من أجزاء الدائرة ويمكن إيجاد الهبوط في الجهد وذلك باستخدام قانون تجزئ الجهد والذي سبق شرحه ويمكن أيضاً استخدام قانون كيرشوف للجهد وقانون أوم وسوف نتناول الامثلة لحساب الهبوط في الجهد

!Error

أوجد الهبوط في الجهد على كل مقاومة في الدائرة المبينة بشكل رقم (٦- ١٤).



!Error

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

$$I_1 = I_T \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

$$= 1\text{mA} \left(\frac{2.2\text{k}\Omega}{1\text{k}\Omega + 2.2\text{k}\Omega} \right) = 688\mu\text{A}$$

$$\therefore I_1 = 688\mu\text{A}$$

قيمة الجهد على أطراف المقاومة R_1 تساوي

$$V_1 = I_1 \cdot R_1 = 688\mu\text{A} \cdot 1\text{k}\Omega$$

$$V_1 = 688\text{mV} \therefore$$

!Error

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

$$I_3 = I_T \left(\frac{R_4 + R_5}{R_3 + (R_4 + R_5)} \right)$$

ثم بالتعويض عن قيم كل من I_T والمقاومات ينتج أن:

$$I_3 = 346\mu\text{A}$$

الهبوط في الجهد في المقاومات R_3, R_4, R_5 كما يلي:

$$V_3 = I_3 \cdot R_3 = (346\mu\text{A})(3.9\text{k}\Omega)$$

$$\therefore V_3 = 1.35\text{V}$$

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

!Error

$$I_4 = I_5 = I_T - I_3$$

$$= 1\text{mA} - 346\mu\text{A}$$

$$= 1\text{mA} - 0.346\text{mA}$$

$$\therefore I_4 = 0.654\text{mA}$$

$$V_4 = (0.654\text{mA})(1.5\text{k}\Omega) = 0.981\text{V}$$

$$\therefore V_4 = 981\text{mV}$$

$$V_5 = I_5 * R_5 = 366\text{mV}$$

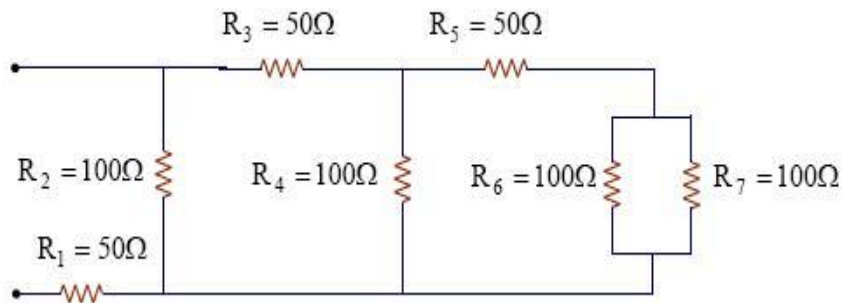
الجهد والتيار في الدوائر المركبة

عرفنا من الوحدات السابقة أن مجموع الهبوط في الجهد في دوائر التوالي تساوي جهد مصدر التغذية.

هذا أيضاً صحيح في دوائر التوالي-التوازي. حيث أن الجهد على مجموعة التوازي يمكن التعامل معه على أنه عنصر واحد بمعنى أن الجهد متساو على مقاومات التوازي وبالتالي فإن الهبوط في الجهد على مجموعة التوازي يساوي الهبوط في الجهد على أي مقاومة من مقاومات التوازي.

مثال:

أوجد المقاومة الكلية للدائرة المبينة بشكل رقم (٦ - ٢٠٠).



!Error

$$\therefore R_6 // R_7$$

$$\therefore R_{6,7} = \frac{100 * 100}{100 + 100} = 50\Omega$$

R_5 على التوالي مع $R_{6,7}$ والمكافئة لهما كالتالي:

$$R_5 + R_{6,7} = 50 + 50 = 100\Omega$$

$$R_4 // (R_5 + R_6 // R_7) = 100 // 100 = 50\Omega$$

والمقاومة الناتجة تكون على التوالي مع R_3 وتصبح المقاومة الكلية لهما.

$$R_3 + R_4 // (R_5 + R_6 // R_7) = 50 + 50 = 100\Omega$$

نجد أيضا أن المقاومة السابقة تصبح على التوازي مع المقاومة R_2 ، وبالتالي فإن:

$$R_2 // [R_3 + R_4 // (R_5 + R_6 // R_7)] = \frac{100 * 100}{100 + 100} = 50\Omega$$

وفي النهاية تصبح المقاومة الناتجة على التوالي مع R_1 والتي تعطي R_T

$$R_T = 50 + 50 = 100\Omega$$

الخلاصة

- (١) الدوائر المركبة (توال - تواز) يمكن تحليلها كما لو كانت دائرة توال وذلك باستبدال مجموعة التوازي فيها بمقاومة مكافئة .
- (٢) الهبوط في الجهد عبر مجموعة التوازي يمكن الحصول عليه وذلك بإيجاد المقاومة المكافئة لمجموعة التوازي ثم بالضرب في قيمة التيار الكلي للدائرة
- (٣) جميع المسائل من النوع المركب يمكن حلها بقواعد التوالي والتوازي (أي باستخدام قانون كيرشوف للجهد في دوائر التوالي وقانون كيرشوف للتيار في دوائر التوازي)
- (٤) يمكن إيجاد قيمة الجهد في أي جزء من دائرة التوالي وذلك باستخدام العلاقة التالية:

$$V_X = V_S \left(\frac{R_X}{R_T} \right)$$

حيث:

R_X : تمثل مقاومة الجزء المطلوب إيجاد الجهد عليه

V_X : تمثل الجهد على الجزء المطلوب

V_S : مصدر الجهد

R_T : المقاومة الكلية للدائرة.

(0) الأرضي (في بعض الأحيان تسمى الأرض) هو مصطلح يطلق على أخذ نقطة مشتركة للدائرة
Common Reference Point وعادة يكون أحد طرفي المصدر متصلاً بالأرضي.

تحليل الدوائر الكهربائية

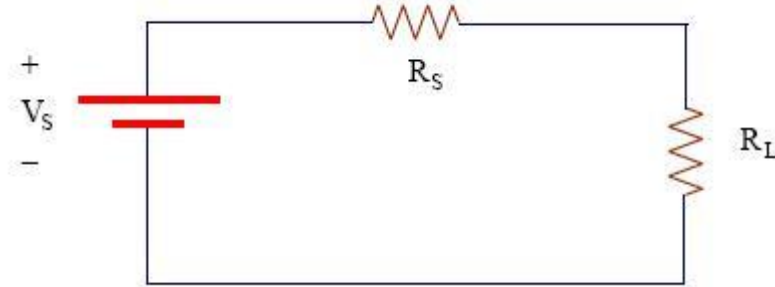
درسنا في الفصول السابقة تحليل بعض أنواع الدوائر باستخدام كل من قانون أوم وكذلك قانون كيرشوف ولكن هناك نماذج أخرى من الدوائر نجد من الصعوبة استخدام هذه القوانين مما يتطلب إيجاد طرق إضافية لتحليل مثل هذه الدوائر بغرض تبسيط الدائرة. والنظريات التي سوف نتعرض لها بالشرح وكذلك التحويلات نجد أنها سوف تعمل على تسهيل هذه الأنواع من الدوائر. علماً بأن دراسة هذه النظريات وكذلك التحويلات لا تعني إلغاء القوانين السابقة ولكن دراستها سوف تكون مدعمة ومساندة لها.

أنواع مصادر تشغيل الدوائر الكهربائية

جميع الدوائر الكهربائية يمكن تشغيلها عن طريق مصدر جهد Voltage Source أو مصدر تيار Current Source لذلك لابد أن نعرف هذه المصادر وأهمية استخدامها.

مصدر الجهد الثابت

هو مصدر تغذية للحمل بجهد ثابت في الدائرة الكهربائية ويكون متصلاً معه على التوالي مقاومته الداخلية R_S وهي صغيرة جداً ويكون شكل الدائرة كالتالي :



ولكي يكون المصدر مثالياً **Ideal Voltage Source** يجب أن تكون R_S أصغر مما يمكن

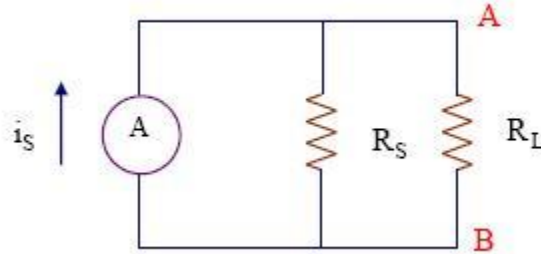
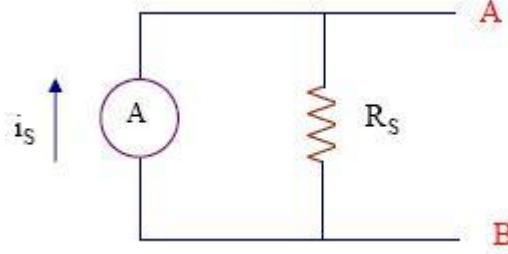
أي يتحقق الشرط التالي :

$$R_L \gg R_S$$

مصدر تيار ثابت :

هو مصدر تغذية لتيار ثابت للحمل في الدائرة ويكون متصلاً معه على التوازي مقاومته الداخلية R_S وتظل قيمة التيار ثابتة مهما تغيرت مقاومة الحمل ويكون شكل الدائرة الكهربائية في حالتها عدم وجود حمل كهربائي أو

في وجود حمل كهربائي كالتالي وبالترتيب

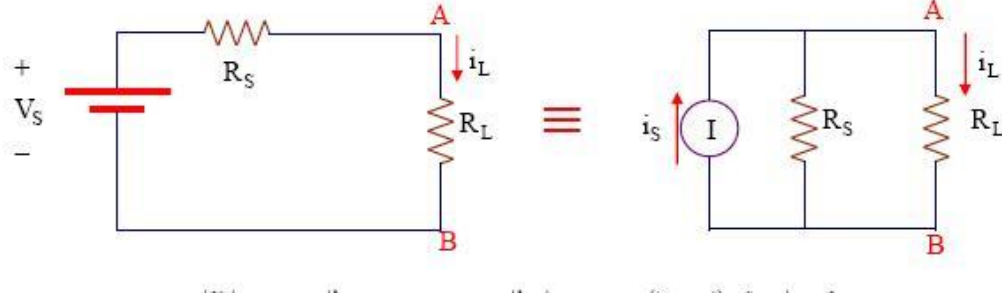


حتى يصبح مصدر التيار مثالياً يجب أن تكون $R_s \gg R_L$

نلاحظ أن المقاومة الداخلية لمصدر التيار عالية القيمة على الأقل تساوي عشر مرات من مقاومة الحمل المتصل.

Source Conversions تحويلات المصدر

يفضل في بعض الأحيان وعلى حسب نوعية الدائرة تحويل مصدر الجهد إلى مصدر تيار أو العكس وذلك بغرض تسهيل عملية التحليل.



من دائرة مصدر الجهد نجد أن تيار الحمل I_L يساوي:

$$I_L = V_s / (R_s + R_L)$$

ومن دائرة مصدر التيار وبتطبيق علاقة توزيع التيار نجد أن التيار المار في الحمل I_L يساوي:

$$I_L = R_s * I_s / (R_s + R_L)$$

وبمساواة العلاقة نجد أن:

$$V_s = R_s * I_s$$

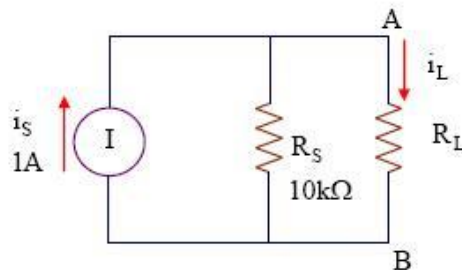
مثال لتلايضاح

أوجد قيمة تيار الحمل في الدائرة التالية عندما تكون:

(a) $R_L = 100\Omega$

(b) $R_L = 560\Omega$

(c) $R_L = 1K\Omega$



والحل

أولاً عندما يكون قيمة $R_L = 100\Omega$
 ويتطابق علاقة رقم (٧-٢) ، يصبح I_L

$$I_L = \left(\frac{R_S}{R_S + R_L} \right) i_s \quad \square$$

$$I_L = \left(\frac{10k\Omega}{10.1k\Omega} \right) * 1 = 990mA = 0.99A \quad \square$$

عندما تكون $R_L = 560\Omega$ ، إذن:

$$I_L = \left(\frac{10k\Omega}{10.56k\Omega} \right) * 1 = 0.947A \quad \square$$

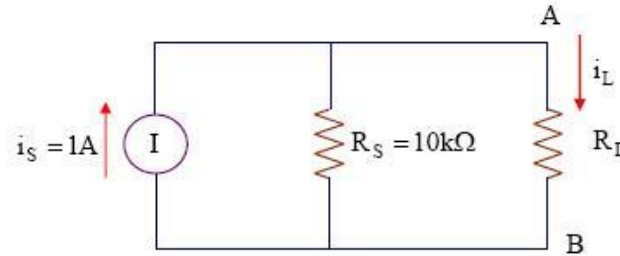
عندما يكون $R_L = 1K\Omega$ يصبح قيمة I_L

$$I_L = \left(\frac{10k\Omega}{11k\Omega} \right) * 1 = 0.909A \quad \square$$

نجد أن من القراءات السابقة أن تيار الحمل I_L يتغير بقيمة ١٠٪ من قيمة i_s حيث إن قيمة R_L أقل بعشر مرات من قيمة R_S وهو الشرط الخاص بمصدر التيار المثالي.

ومثال آخر

في الدائرة التالية، ما هي قيمة R_L عندما يكون قيمة تيار الحمل $I_L = 750mA$.



والحل

$$I_L = \left(\frac{R_S}{R_S + R_L} \right) i_s \quad \square$$

بالتعويض عن قيمة تيار الحمل وكذلك R_S ، i_s ينتج الآتي:

$$0.75(10 + R_L) = 10 \quad \square$$

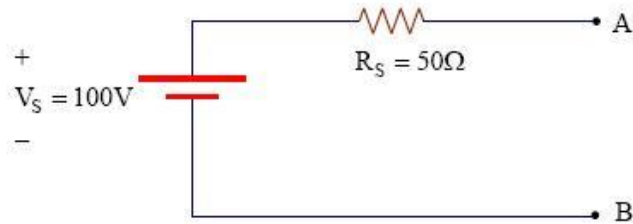
$$7.5 + 0.75R_L = 10 \quad \square$$

$$0.75R_L = 2.5 \quad \square$$

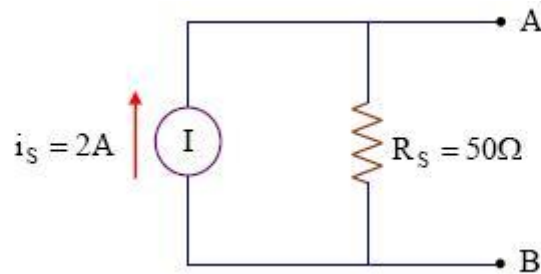
$$R_L = \frac{2.5}{0.75} = 3.33 \text{ k}\Omega$$

مثال آخر:

حول دائرة مصدر الجهد المبينة بشكل رقم (٧-٦) إلى دائرة مصدر تيار ثابت.



والحل



نظرية التراكب Superposition

هي نظرية المصادر المتعددة المغذية للدائرة وتستخدم هذه النظرية عندما يوجد أكثر من مصدر تغذية سواء مصدر جهد أو مصدر تيار أو كليهما معا.

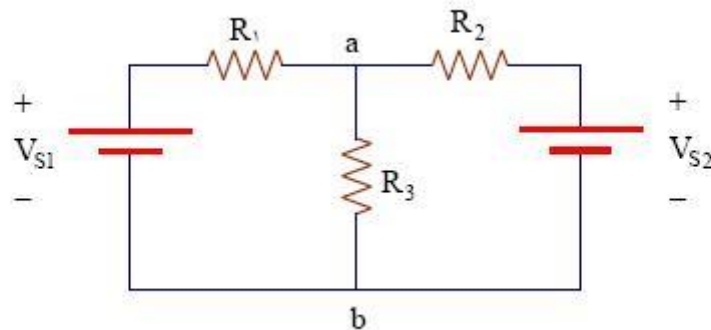
وتتلخص طريقة نظرية التراكب واستخدامها ضمن تحليل الدائرة الكهربائية كما يلي:

أنه إذا اردنا إيجاد قيمة التيار الكهربائي المار في عنصر ما في الدائرة فإن هذا التيار يمكن ايجاده عن طريق حاصل جمع التيارات الكهربائية الناتجة من تغذية الدائرة لكل مصدر على حده ووضع جميع المصادر خارج الخدمة.

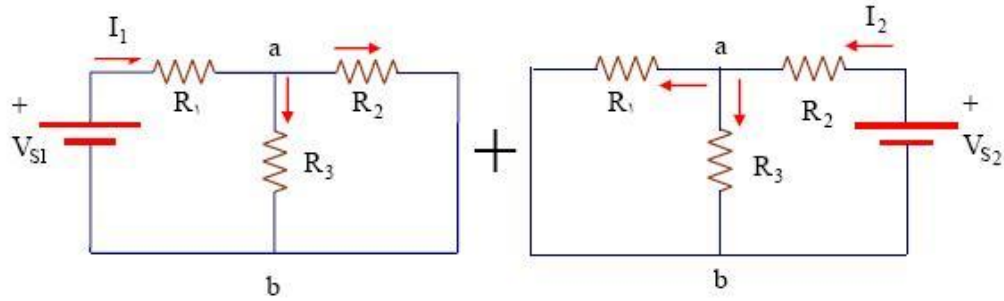
• لجعل مصدر الجهد خارج الخدمة يستبدل بمقاومته الداخلية R_s وحيث أن مقاومته الداخلية أصغر ما يمكن لذلك نعمل عملية قصر دائرة على مصدر الجهد أي **Short Circuit**

• لجعل مصدر التيار خارج الخدمة يستبدل بمقاومته الداخلية حيث أن مقاومته الداخلية أكبر ما يمكن لذلك نعمل عملية فتح دائرة على مصدر التيار **Open Circuit**.

وسوف يتضح هذا على الدائرة المبينة :-

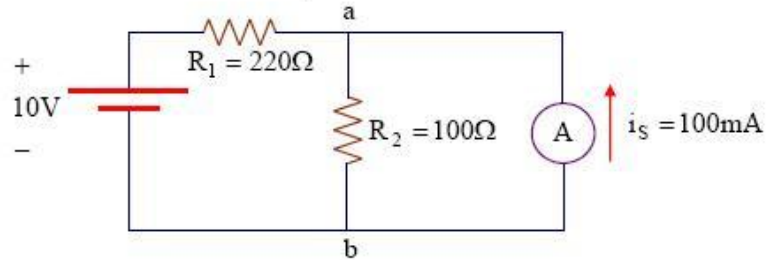


من الواضح أنه يوجد مصدران جهد لتغذية الدائرة فإذا أردنا إيجاد التيار المار في المقاومة R_3 تصبح الدائرة السابقة عبارة عن دائرتين تحتوي كلا منهما على مصدر جهد واحد ثم بحساب كل من التيارات I_1, I_2 في الدائرتين واستخدام علاقة التيار الفرعية لإيجاد قيمة التيار المار في المقاومة R_3 ثم بالجمع أو الطرح حسب اتجاه التيار لكل منهما يمكن إيجاد التيار الكلي الناتج عن المصدرين.



مثال

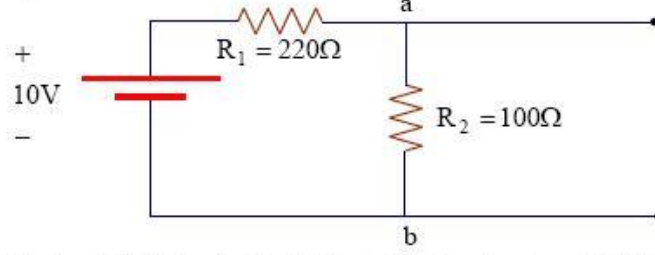
أوجد قيمة التيار المار في المقاومة R_2 باستخدام نظرية التركيب في الشكل رقم (٧-١٢).



والحل

أولاً نقسم الشكل السابق إلى دائرتين.

الدائرة الأولى: وتحتوي على مصدر الجهد ذو الجهد 10 V فقط كما هو مبين بشكل رقم (٧- ١٤).



شكل رقم (٧- ١٤) تأثير مصدر الجهد فقط على الدائرة الكهربائية للمثال رقم (٧- ٥).

حيث تم نزع مصدر التيار وفتح الدائرة الكهربائية.

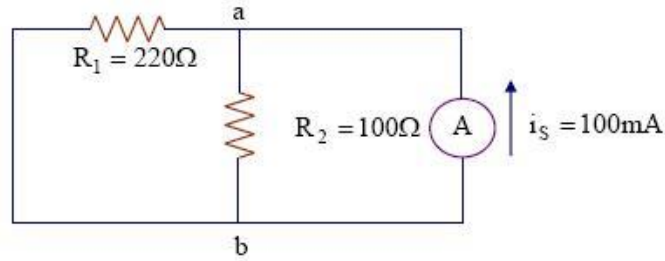
ثم نحسب قيمة التيار وذلك بإيجاد أولاً المقاومة الكلية للدائرة R_T كالآتي:

$$R_T = 220 + 100 = 320\Omega$$

$$i_T = i_{\downarrow R_2} = \frac{10}{320} = 31.2\text{mA}$$

∴ قيمة التيار المار في المقاومة R_2 نتيجة مصدر التغذية 10V يساوي 31.2mA .

الدائرة الثانية: وتحتوي على مصدر التيار ذي التيار 100 mA فقط كما هو مبين بشكل رقم (٧- ١٥).



شكل رقم (٧- ١٥) تأثير مصدر التيار فقط على الدائرة الكهربائية للمثال رقم (٧- ٥).

نوجد التيار في الفرع ab باستخدام قاعدة توزيع التيار كالآتي:

$$i_{\downarrow R_2} = i_s \left(\frac{220}{220 + 100} \right) \square$$

حيث i_{R_2} تعني التيار المار في المقاومة R_2 اتجاهه لأسفل، ثم بالتعويض عن قيمة i_3 في العلاقة السابقة، نحصل على الآتي:

$$i_{R_2} = 100 \left(\frac{220}{320} \right) = 68.8 \text{mA}$$

$$\therefore i_{R_2} = 68.8 \text{mA} \quad \square$$

إذاً قيمة التيار المار في R_2 نتيجة مصدر التيار الموجود في الدائرة السابقة يساوي 68.8mA.

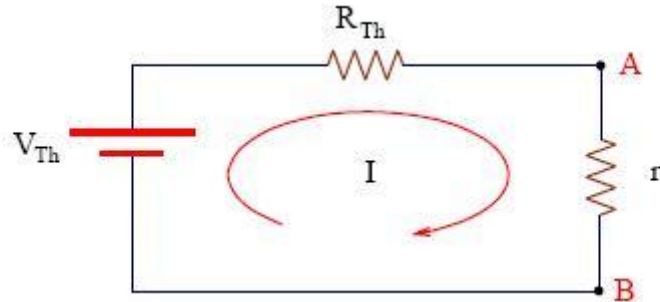
ثم نوجد التيار الكلي المار في R_2 نتيجة وجود مصدر الجهد ومصدر التيار معاً كالتالي:

$$i = 31.2 + 68.8 = 100 \text{mA}$$

نظرية ثفنن

Thevenin's Theorem

هذه نظرية هامة لأنها تبسط أي دائرة كهربائية مهما كانت معقدة إلى دائرة مبسطة وتسمى بمكافئ ثفنن Thevenin's Theorem
هذه الدائرة تتكون من مصدر جهد V_{th} متصل على التوالي مع مقاومة مكافئه R_{th} كما هو موضح بالشكل :



ويكون العنصر المراد إيجاد التيار فيه متصل على التوالي مع R_{th} لتصبح الدائرة بسيطة ويمكن إيجاد التيار I المار في العنصر r وذلك باستخدام

العلاقة التالية :

$$I = V_{th} / (R_{th} + r)$$

ويتلخص عمل هذه النظرية فيما يلي :

إذا أردنا إيجاد التيار والجهد لعنصر ما بين عقدتين في الدائرة نتبع الخطوات التالية:

- عمل إزالة للفرع المطلوب إيجاد التيار فيه وهو ما يسمى بفتح الدائرة وذلك بغرض حساب فرق الجهد بين النقطتين ويرمز له بالرمز V_{th}
- عمل قصر على مصادر التغذية الموجودة في الدائرة (أي جعل قيمتها = 0) وذلك بغرض حساب المقاومة الكلية للدائرة و يرمز لها بالرمز R_{th} (يذكر هنا عند إيجاد R_{th} ينظر للدائرة بين النقطتين المحصور بينهما العنصر المطلوب حساب التيار فيه).
- رسم مكافئ ثفنن ويتكون من V_{th} كمصدر تغذية متصل علي التوالي مع R_{th} ثم العنصر المطلوب حساب التيار فيه ويصبح قيمة التيار المار في العنصر المحصور بين النقطتين كما يلي:
$$I = V_{th} / (R_{th} + r)$$

⚙ ملحوظة مهمة : باختصار نجد أن نظرية ثفنن تتعامل مع جزء من الدائرة المركبة Complex Circuit. هذا الجزء أو العنصر سوف نتعامل معه على أساس أنه يمثل خرج الدائرة Output أي مع الحمل لأنه عادة يكون الحمل ممثل خرج الدائرة وبالتالي، نجد من خطوات نظرية ثفنن أن:

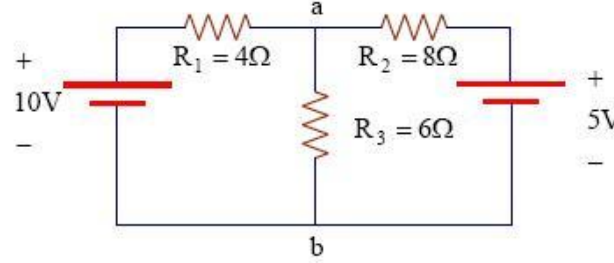
(١) عند عمل Open للدائرة معنى ذلك أننا رفعنا (إزالة) الحمل من الدائرة بفرض إيجاد فرق الجهد على الحمل وهو ما يطلق عليه هنا V_{Th} .

(٢) الخطوة الثانية هو إيجاد المقاومة الكلية للدائرة عبر (أي بين نقطتي اتصال الحمل) أطراف الحمل وهو ما يطلق عليه هنا R_{Th} بعد عمل قصر على مصادر الجهد أو فتح مصادر التيار أن وجدت.

(٣) مكافئ ثفنن (دائرة مكافئة) عبارة عن دائرة بسيطة توالي Series Circuit مكونة من مصادر تغذية هو V_{Th} ، R_{Th} ثم R_L وهي نفس دائرة ثفنن.

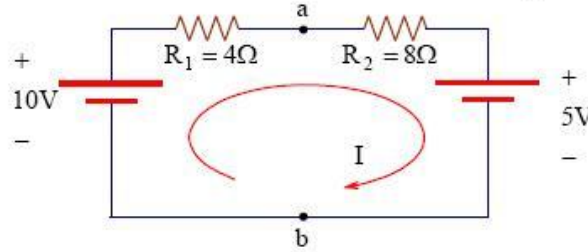
مثال للإيضاح

في الدائرة التالية أوجد قيمة التيار في الفرع a, b باستخدام نظرية ثفنن.



والحل

الخطوة الأولى: عملية إزالة الفرع ab من الدائرة أي عمل فتح دائرة Open وذلك لإيجاد فرق الجهد بين النقطتين a, b وهو نفسه V_{Th} .



شكل رقم (٧- ١٨) الدائرة الكهريائية للمثال رقم (٧- ٦) بعد نزع الفرع ab.

ثم نحسب التيار المار في الدائرة من قانون أوم وحيث أن مصدرتي التغذية في وضع معاكس، إذن:

$$10 - 5 = I(4 + 8)$$

$$\therefore I = \frac{10 - 5}{12} = \frac{5}{12} \text{ A}$$

إيجاد V_a من جهة المصدر الأكبر كما يلي:

$$\therefore V_a = 10 - I * 4$$

$$V_a = 10 - \frac{5}{12} * 4 = 8.33V$$

$$\therefore V_{Th} = 8.33V \square$$

ولو أردنا حساب الجهد عند النقطة a من جهة المصدر الأصغر فيجب أن نتذكر هنا أن الجهد عند النقطة a أعلى من قيمة المصدر الأصغر وهو 5V لأن التيار دائماً يبدأ حركته من الجهد الأكبر إلى الجهد الأقل وبالتالي يصبح V_a كما يلي:

$$V_a = 5 + I * 8$$

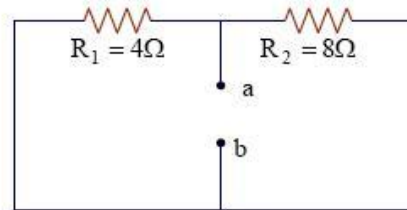
$$V_a = 5 + \frac{8}{12} * 8$$

$$V_a = 5 + 3.33 \approx 8.33V \square$$

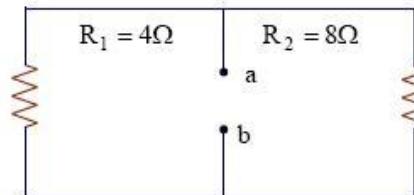
الخطوة الثانية: حساب R_{Th} بعد عمل قصر Short على المصادر.

$$R_{Th} = R_{ab} \square$$

هنا نجد بعد عمل دائرة قصر على المصادر تصبح الدائرة على الصورة المبينة بشكل رقم (٧- ١٩).



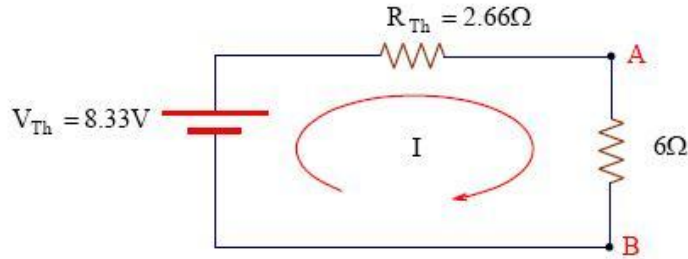
شكل رقم (٧- ١٩) الدائرة الكهربائية للمثال رقم (٧- ٦) بعد عمل دائرة قصر على المصادر. والتي تكافئ الدائرة المبينة بشكل رقم (٧- ٢٠).



وعلى ذلك يمكن حساب المقاومة R_{Th} كالآتي:

$$\therefore R_{Th} = R_{ab} = \frac{4 * 8}{4 + 8} = 2.66\Omega$$

الخطوة الثالثة: حساب مكافئ ثفنن من الدائرة الكهربائية المبينة بشكل رقم (٧- ٢١).



شكل رقم (٧- ٢١) مكافئ ثفنن للمثال رقم (٧- ٦).

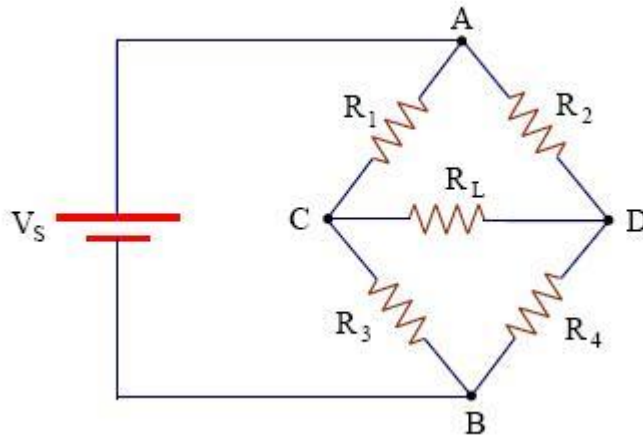
ويمكن حساب التيار في الفرع ab كالآتي:

$$I_{ab} = \frac{V_{Th}}{R_{Th} + 6\Omega} = \frac{8.33}{2.66 + 6} = 0.96A \quad \square$$

تطبيقات نظرية ثفنن في دائرة القنطرة :

معظم الدوائر الالكترونية دوائر مركبة و معقدة مثل دائرة القنطرة Bridge Circuit ونجد من الصعوبة حل هذه الدوائر بالطريقة العادية أو المباشرة ومن هنا تبرز أهمية هذه النظرية.

لذلك سنستعرض دائرة القنطرة ، طرفي الدخل وهما A,B وطرفي الخرج C,D ويكون الحمل RL بينهما.



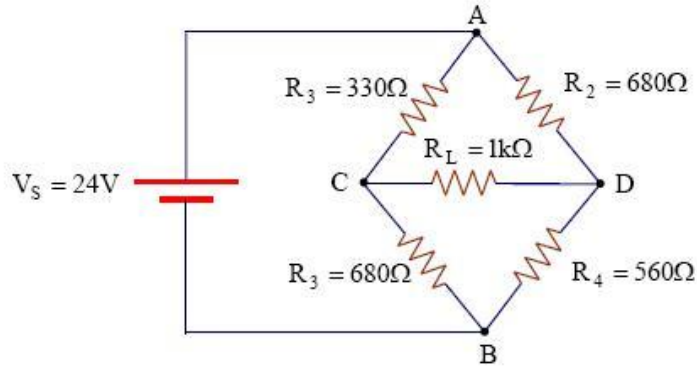
لذلك عند تعاملنا مع دوائر القنطرة سوف نفرض أن النقطتين C,D هما طرفا الحمل المتصل بينهما وأما النقطتان الاخرتان A,B فهما طرفي الدخل.

مثال طويل جداً

لدائرة القنطرة المبينة في شكل رقم (٧-٢٨)، احسب:

(أ) فرق الجهد على الحمل R_L بين النقطتين C ، D.

(ب) التيار المار في الحمل R_L .



والحل

نطبق خطوات ثفنن وهي كالتالي:

الخطوة الأولى: عمل إزالة للفرع R_L بين النقطتين C, D أي فتح الدائرة بين نقطتي خرج دائرة القنطرة
 C, D وذلك لحساب V_{Th} حيث:

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

$$V_{Th} = \left(\frac{R_3}{R_1 + R_3} \right) V_S - \left(\frac{R_4}{R_2 + R_4} \right) V_S \quad (٧- ٧)$$

ويمكن توضيح المعادلة السابقة من خلال إعادة رسم الدائرة بعد إزالة R_L من خرج الدائرة، كما هو مبين بشكل رقم (٧- ٢٩).

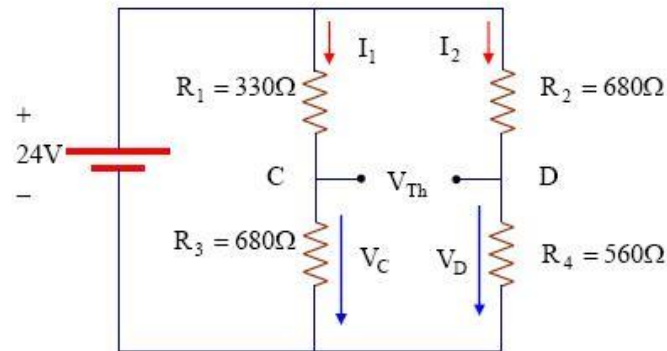
حيث أن:

$$V_C = I_1 R_3$$

$$I_1 = \frac{V_S}{R_1 + R_3}$$

$$V_D = I_2 R_4$$

$$I_2 = \frac{V_S}{R_2 + R_4}$$



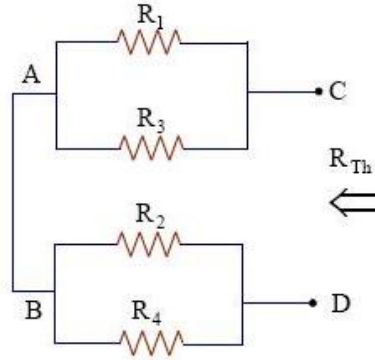
شكل رقم (٧- ٢٩) دائرة القنطرة للمثال رقم (٧- ٩) بعد إزالة R_L .

ويمكن بالتالي حساب V_{Th} كالتالي:

$$\therefore V_{Th} = \left(\frac{680}{330 + 680} \right) * 24 - \left(\frac{560}{680 + 560} \right) * 24$$

$$V_{Th} = 16.158 - 10.838 = 5.32V$$

الخطوة الثانية: عمل دائرة قصر وجعل قيمة مصدر الجهد يساوي صفراً وذلك لإيجاد قيمة R_{Th} عند النظر بين النقطتين C ، D وتصبح الدائرة على الصورة المبينة بشكل رقم (٧ - ٢٠).



شكل رقم (٧ - ٢٠) دائرة حساب R_{Th} للمثال رقم (٧ - ٩).

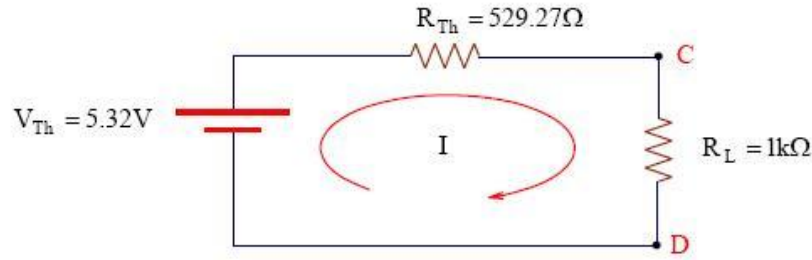
ويمكن حساب R_{Th} كما يلي:

$$\therefore R_{Th} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} \quad (٧ - ٨)$$

$$R_{Th} = \frac{330 * 680}{330 + 680} + \frac{680 * 560}{680 + 560}$$

$$R_{Th} = 222.178 + 307.096 = 529.27\Omega$$

الخطوة الاخيرة



شكل رقم (٧- ٢١) مكافئ ثفنن للمثال رقم (٧- ٩).

ويمكن بالتالي حساب التيار في الفرع CD من دائرة مكافئ ثفنن بتطبيق قانون أوم، كما يلي:

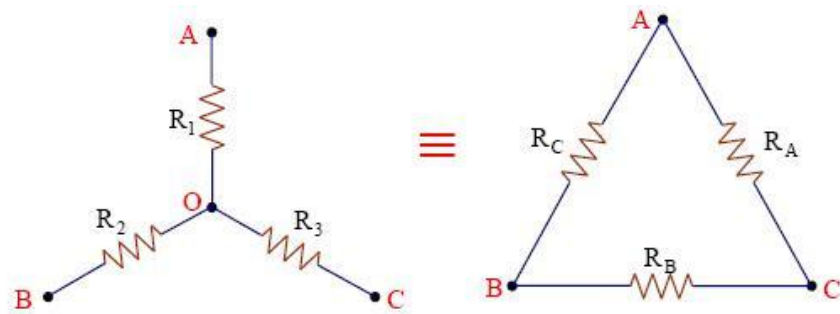
$$\therefore I_{CD} = \frac{V_{Th}}{R_{Th} + R_L}$$

$$I_{CD} = \frac{5.32}{529.27 + 1000} = 3.5\text{mA}$$

∴ التيار المار في الفرع CD يساوي ٣.٥ mA

تحويلات الدلتا - ستار و ستار - دلتا

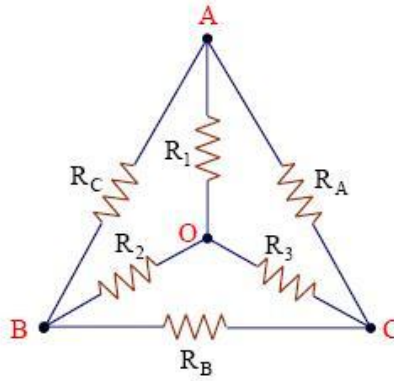
في بعض الدوائر نجد من الصعوبة حلها بالطرق السابقة ومن هنا تبرز أهمية التحويل من $\Delta \leftarrow Y$ والمبينه بالشكل :



غالباً التوصيلة Δ ترمز لها بالرمز A,B,C أو a,b,c وكذلك التوصيله Y ترمز لها بالرمز 1و2و3.

قاعدة التحويل من الدلتا الى ستار :

يفضل هنا إدخال التوصيلة Y داخل التوصيلة Δ كما هو مبين بالشكل. حتي تكون المقارنه بينهما سهله 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 . و بالتالي ينتج أن:

$$R_1 = \frac{R_A R_C}{R_A + R_B + R_C} \quad (٩- \gamma)$$

$$R_2 = \frac{R_B R_C}{R_A + R_B + R_C} \quad (١٠- \gamma)$$

$$R_3 = \frac{R_A R_B}{R_A + R_B + R_C} \quad (١١- \gamma)$$

قاعدة التحويل من ستار إلى دلتا :

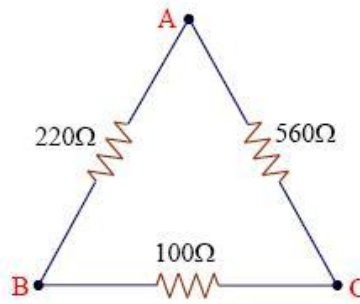
$$R_A = R_1 + R_3 + \frac{R_1 R_3}{R_2}$$

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

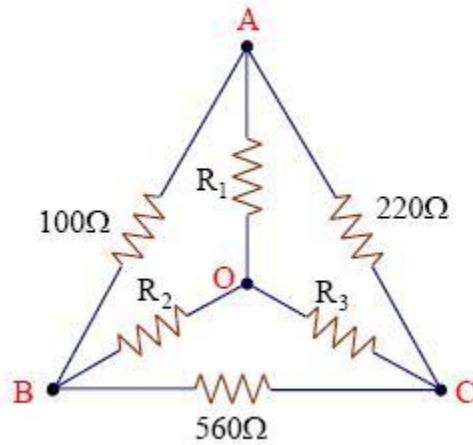
$$R_C = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3}$$

مثال

حوّل التوصيلة Δ الميئة بشكل رقم (٧-٢٤) إلى التوصيلة Y المكافئة.



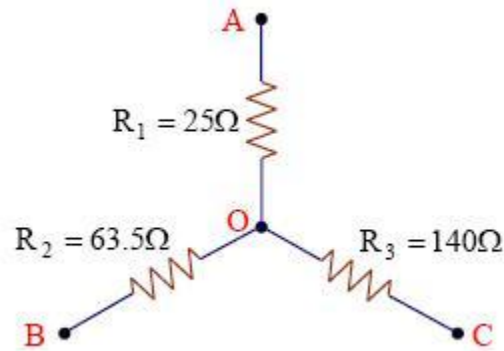
والحل



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

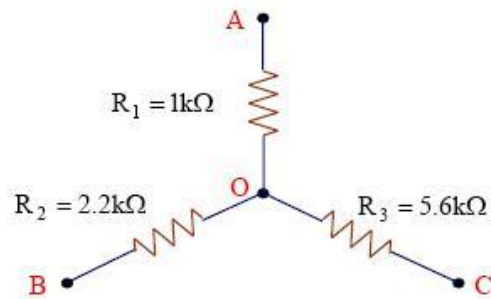
$$R_2 = \frac{100 * 560}{100 + 220 + 560} = 63.6\Omega$$

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



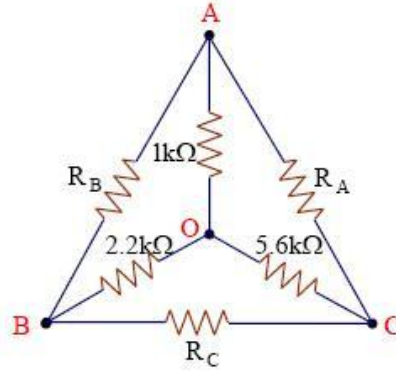
ومثال آخر

حوّل من التوصيلة $\Delta \leftarrow Y$ للدائرة المبينة بشكل رقم (٧ - ٢٧).



والحل

نرسم التوصيلة Δ مركبة على التوصيلة Y ، كما في شكل رقم (٧- ٢٨) ، حتى يسهل تطبيق قاعدة التحويل من $Y \leftarrow \Delta$.



شكل رقم (٧- ٢٨) توصيلة النجمة داخل توصيلة الدلتا للمثال رقم (٧- ١٢).

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

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

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

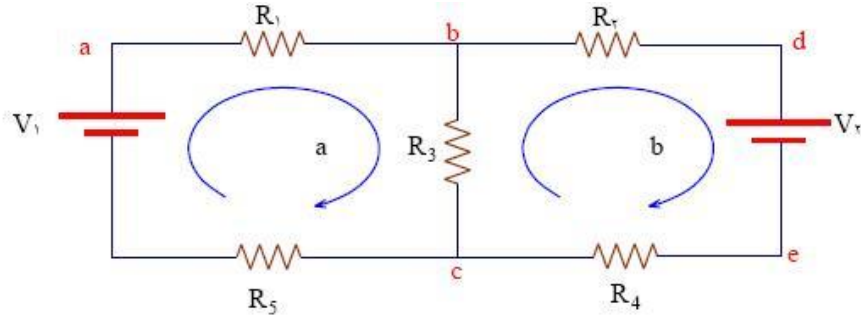
$$R_C = 2.2 + 5.6 + \frac{2.2 * 5.6}{1} = 20.12K\Omega$$

تحليل الدوائر عن طريق تكوين معادلات التيار في المسارات المغلقة (الحلقة المغلقة)

عند دراستنا للنظريات السابقة وجدنا أنها قابلة للتطبيق لمعرفة كل من التيار والجهد عند جزء من الدائرة أو لعنصر واقع بين نقطتين مثلاً.

لذلك فإن هذه النظريات صالحة فقط لهذا الغرض .وإذا أردنا إيجاد جميع التيارات الكهربائية في جميع العناصر وهذا يتطلب تكرار تطبيق تلك النظريات عند كل عنصر في الدائرة مما يأخذ وقتا كبيرا لهذا هناك طرق أخرى يمكن عن طريقها تحليل الدائرة الكهربائية تحليلًا كافيًا لمعرفة التيار وفرق الجهد على كل عنصر من عناصر الدائرة من هذه الطرق طريقة تكوين معادلات التيار لكل مسار مغلق من المسارات التي تشملها الدائرة وسنوضح ذلك في الجزء التالي بإذن الله.

وتعرف كلمة مسار مغلق **Mesh** تعني المسار الذي لا يحتوي على مسار آخر داخله وكمثال على ذلك الدائرة المبينة ويطلق على كل من المسارات **a, b** مسارات مغلقة



خطوات طريقة التحليل باستخدام المسارات المغلقة :

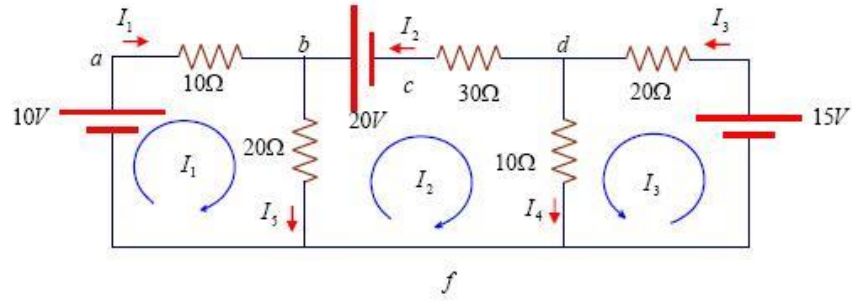
- رسم الدائرة وتقسيمها إلى عدة مسارات مغلقة وهو ما يطلق عليها **Mesh**
- تحديد المسارات وتطبيق قوانين كيرشوف للتيار وكتابة معادلات التيار.
- تطبيق قوانين كيرشوف للجهد وكتابة المعادلات التي تحقق قانون الجهد.
- تكوين عدد من المعادلات الرياضية الناتجة من عدد المسارات المغلقة.

• عدد المعادلات الرياضية = عدد المسارات المغلقة.

• يتم حل هذه المعادلات آلياً أو بواسطة المحددات أو المصفوفات.

مثال

استخدم طريقة تكوين معادلات التيارات في المسارات المغلقة لإيجاد جميع التيارات في عناصر الدائرة في الشكل رقم (٧ - ٤٤).



والحل

الحل: بداية يتم تقسيم الدائرة إلى ثلاث مسارات مغلقة وعند فرض اتجاه التيار يراعى أن يكون اتجاهه في اتجاه عقارب الساعة، ثم يطبق قانون كيرشوف للجهد.

في الدائرة أيضا بعد فرض التيارات نجد أن هناك ثلاثة مسارات مما يعني أن هناك ثلاثة تيارات مجهولة هي I_1 ، I_2 ، I_3 في حين أن في الدائرة خمس تيارات هي I_1 ، I_2 ، I_3 ، I_4 ، I_5 .
لذلك سوف نعوض كل من I_4 ، I_5 بدلالة بقية التيارات فتجد عند العقدة (b)

$$I_5 = I_1 - I_2 \quad (a)$$

$$I_4 = I_2 - I_3 \quad (b)$$

وبذلك نجد أن المجاهيل الأصلية هي I_1 ، I_2 ، I_3 والتي سوف يتحدد عليها كتابة معادلات المسارات الثلاثة.

وفي الدائرة كما هو موضح أن اتجاه كل تيار يتوقف على اتجاه التيار الخارج من مصدر التغذية وعند كتابة معادلات التيار لكل مسار نحقق قانون كيرشوف للجهد.

الخطوة الأولى: نطبق قانون كيرشوف على المسار الأول (Mesh ١)

$$10 = 10I_1 + 20I_5 \quad (c)$$

وحيث أن I_5 من معادلة (a) يساوي $I_1 + I_2$

∴ يمكن بالتعويض عن I_5 بدلالة I_1 ، I_2

$$\therefore 10 = 10I_1 + 20I_1 - 20I_2$$

$$10 = 30I_1 - 20I_2 \quad (d)$$

معادلة (d) تمثل أول معادلة رئيسية.

الخطوة الثانية: نطبق كيرشوف للجهد على المسار الثاني (Mesh ٢)

$$20 = 30I_2 + 20I_5 - 10I_4 \quad (e)$$

بعد التعويض عن كل من I_4 ، I_5 نجد أنه يمكن إعادة كتابة معادلة (e) كما يلي:

$$20 = -30I_2 + 20(I_1 - I_2) - 10(I_2 - I_3)$$

$$20 = -30I_2 + 20I_1 - 20I_2 - 10I_2 + 10I_3$$

$$20 = 20I_1 - 60I_2 + 10I_3 \quad (f)$$

خطوة الثالثة: نطبق كيرشوف للجهد في المسار الثالث (Mesh ٣)

$$15 = -20I_3 + 10I_4 \quad (g)$$

ثم بالتعويض عن I_4 من معادلة (b) ينتج:

$$15 = -20I_3 + 10(I_2 - I_3)$$

$$15 = -20I_3 + 10I_2 - 10I_3$$

$$15 = -30I_3 + 10I_2 \quad (h)$$

أصبح لدينا الآن ثلاث معادلات رئيسية هي (d)، (f)، (h) لثلاثة مجاهيل هي I_1 ، I_2 ، I_3 والمعادلات الثلاث يمكن كتابتها بالترتيب على الشكل التالي:

$$10 = 30I_1 - 20I_2 - (0)I_3 \quad (I)$$

$$-20 = -20I_1 + 60I_2 - 10I_3 \quad (II)$$

$$-15 = (0)I_1 - 10I_2 + 30I_3 \quad (III)$$

يمكن وضع المعادلات الثلاث (III, II, I) على شكل مصفوفة كما يلي:

$$\begin{bmatrix} 10 \\ -20 \\ -15 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} +30 & -20 & -0 \\ -20 & +60 & -10 \\ -0 & -10 & 30 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} \quad (IV)$$

وشكل المصفوفة المعطى في معادلة (IV) يكون على شكل قانون أوم وهو:

$$[V] = [R] \cdot [I] \quad (٧- ١٥)$$

- المصفوفة $[I]$ ، وهي مصفوفة التيارات ونلاحظ أنها كلها موجبة وهي التيارات المفروضة.

- المصفوفة $[V]$: هي مصفوفة مصادر الجهد لكل المسارات (١) Mesh، (٢) Mesh، (٣) Mesh ونلاحظ أن إشاراتها بالسلب والإيجاب طبقاً لاتجاهات التيارات المفروضة، أي تكون موجبة إذا كانت في اتجاه التيار وتكون سالبة إذا كانت في عكس اتجاه التيار المفروض.

- المصفوفة $[R]$: هي مصفوفة المقاومات الكلية للدايرة ويمكن وضع عناصر هذه المصفوفة كما يلي:

$$[R] = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix} \quad (٨- ١٦)$$

حيث عناصر القطر الرئيسي وهي R_{11} ، R_{22} ، R_{33} وهذه العناصر فقط هي العناصر الموجبة في المصفوفة، حيث:

R_{11} تعني مجموع المقاومات الموجودة في Mesh (1).

R_{22} تعني مجموع المقاومات الموجودة في Mesh (2).

R_{33} تعني مجموع المقاومات الموجودة في Mesh (3).

أما العناصر الأخرى في المصفوفة وهي عناصر مشتركة بين كل مسارين فمثلاً العنصر R_{12} تعني المقاومة المشتركة بين Mesh (1) ، Mesh (2). والعنصر R_{23} يعني المقاومة المشتركة بين المسار (2) Mesh ، المسار (3) Mesh وهكذا، ويلاحظ أن جميع العناصر الخارجة عن القطر تكون سالبة. وبما أن ليس هناك مقاومة مشتركة بين المسار (1) Mesh والمسار (3) Mesh فلهذا وضعنا القيمة صفراً للعنصر R_{13} لأنه بالفعل ليس هنالك مقاومة مشتركة بين المسارين.

والآن يوجد ثلاث معادلات يمكن حلهم آلياً أو بالمصفوفات أو بالمحددات.

الخلاصة "Summary"

- (1) قانون كيرشوف للتيار KCL يؤكد أن المجموع الجبري للتيارات عند أي عقدة يساوي صفراً.
- (2) قانون كيرشوف للجهد KVL ينص على أن المجموع الجبري للجهود حول أي مسار مغلق يساوي صفراً.
- (3) عند كل عقدة يطبق قانون كيرشوف للتيار ولكل حلقة مغلقة يطبق قانون كيرشوف للجهد.
- (4) المصفوفات طريقة مفيدة لحل المعادلات الخطية لعدد من المجاميل.
- (5) نظرية التركيب تسمح بتحليل الدائرة المعقدة ذلك بتقسيمها إلى عدد من الدوائر البسيطة.
- (6) في حالة جعل مصدر الجهد يساوي صفراً في هذه الحالة نستبدله بمقاومته الداخلية وحيث أن مقاومته الداخلية تساوي صفراً لذلك يستبدل بدائرة قصر على مصدر الجهد، وكذلك في حالة جعل مصدر التيار يساوي صفر في هذه الحالة نستبدله بمقاومته الداخلية وحيث أن مقاومته الداخلية كبيرة يستعاض عنه بفتح الدائرة الكهربائية.
- (7) التيار الحقيقي في أي فرع من الدائرة هو عبارة عن المجموع الجبري للتيارات الناتجة عن كل مصدر على حدة عند استخدام نظرية التركيب.
- (8) دائرة ثفنن هي دائرة مكافئة تهدف إلى إيجاد التيار في أحد أفرع الدائرة الأصلية وهي عبارة عن مصدر جهد V_{Th} على التوالي مع مقاومة R_{Th} وتعامل مع هذا الفرع كأنه خرج الدائرة.

مبادئ وأسس التيار المتردد

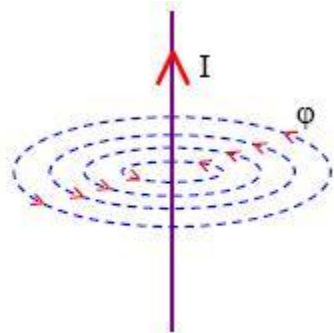
سوف نستعرض في هذا الباب دراسة مبادئ وأسس التيار المتردد علي شكل الموجه الجيبية وخواصها وكيفية تحليلها رياضيا وتمثيلها بالرسم عن طريق المتجهات.

ولذلك لابد في البدايه من دراسته سريعه للتأثيرات المغناطيسيه المصاحبه للتيار الكهربائي والتي هي السبب الرئيسي لتوليد التيار المتردد.

التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي :

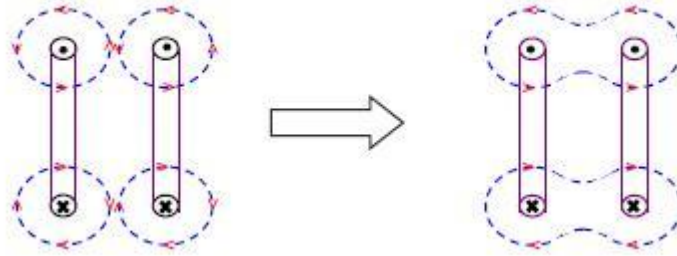
• توليد وتركيز المجال المغناطيسي:-

من المعروف أنه إذا مر تيار كهربائي في موصل ما فإن مرور التيار الكهربائي يسبب نشوء مجال مغناطيسي **Magnetic Field** حول هذا الموصل علي هيئة دوائر تسمى خطوط القوي المغناطيسية (أو الفيض المغناطيسي) ويرمزله بالرمز Φ ويكون الموصل في مركز هذه الدوائر كما مبين بالشكل:



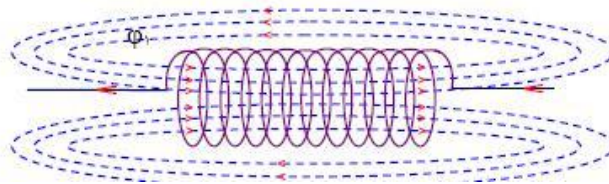
وخطوط القوي المغناطيسية يكون لها باتجاه سريان التيار الكهربائي وتربطهما قاعدة البريمة لليد اليمنى حيث يتم فتح اليد اليمنى بحيث يكون

اتجاه اصبع الابهام عموديا علي اتجاه باقي الاصابع واذا اعتبر التيار في اتجاه اصبع الابهام يكون اتجاه خطوط القوي المغناطيسيه في اتجاه دوران باقي الاصابع. ولتركيز المجال المغناطيسي يتم لف هذا الموصل علي هيئة ملف ولدراسة هذا المجال تخيل أخذ مقطع رأسي في هذا الملف فيظهر بالصورة المبينة :



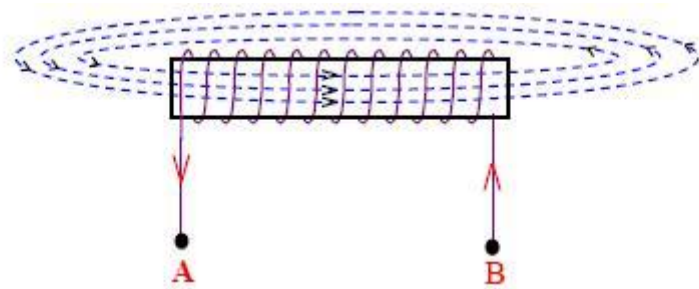
وبلاحظ الاتي:

- (١) عند المقاطع يكون التيار إما داخلاً أو خارجاً من المقطع ويرمز لدخول التيار إلى سطح الورقة بعلامة (X) ويرمز لخروج التيار بالرمز (•) ، وبتطبيق قاعدة البريمة لليمنى عند المقاطع (حيث خطوط القوى المغناطيسية على هيئة دوائر) ، يكون اتجاه خطوط القوى المغناطيسية كما هو مبين بالشكل رقم (٢-٢).
- (٢) في المنتصف ما بين اللفة والأخرى التالية لها ، تكون خطوط القوى في اتجاهات متعاكسة ، وبالتالي تلغي بعضها تأثير بعض ، وكلما ابتعدنا عن منتصف المسافة بين اللفتين ، كلما اختلفت قيمة المجال الناشئ من كل لفة ، وكلما تواجدت قيمة محصلة للمجال.
- (٣) في مركز الملف يكون اتجاه خطوط القوى المغناطيسية في اتجاه واحد وبالتالي تجمع خطوط القوى المغناطيسية ، وبهذا يتم تركيزها.
- (٤) يلاحظ أن خطوط القوى المغناطيسية خارج الملف تكون متواصلة كما هو مبين بشكل رقم (٢-٢) - (٢).



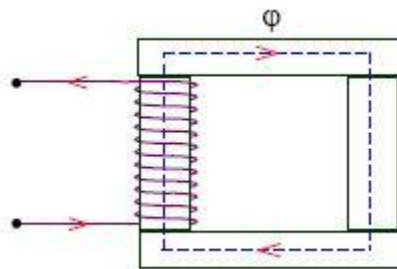
ولأن خطوط القوى المغناطيسية Φ تكون على هيئة مسارات مغلقة فإن هذه

الخطوط أو هذه المسارات تسير في وسط ما ، وفي الحالة التي أمامنا فإن خطوط القوي المغناطيسية تسير في الهواء، وإذا تخيلنا الآن أن هذا الملف ملفوف حول قطعه من الحديد (قلب حديدي) فإن خطوط القوي المغناطيسية ستأخذ مساراً لها في داخل قطعة الحديد وتكمل بعد ذلك مسارها في الهواء خارج الحديد.



ولأن المواد الحديدية لها خواص مغناطيسية فإن مقاومتها لمرور خطوط القوي المغناطيسية تلاقى في مسارها في هذه الحالة مقاومة كلية أقل من الحالة الأولى حيث أن المسار في الحالة الأولى يكون كله في الهواء ذي المقاومة المرتفعة نسبياً لمرور المجال المغناطيسي في حين الحالة الثانية تحتل مقاومة الحديد جزءاً من المسار الذي كان يشغله الهواء في الحالة السابقة وبالتالي نتوقع أن قيمة Φ في الحالة الثانية أكبر منها في الحالة الأولى بالرغم من عدم تغير قيمة التيار الكهربائي.

وللاستفادة من هذه الخاصية الهامة في الحديد يمكن أيضاً زيادة حجم الحديد في مسار خطوط القوي المغناطيسية حتى يكتمل المسار كما في الشكل:



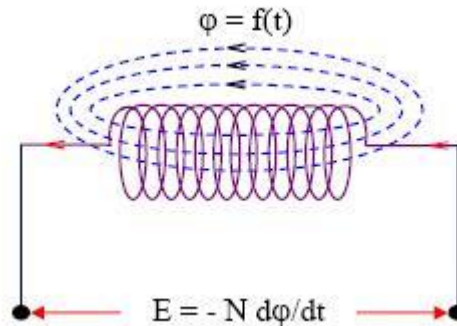
ولذلك فإن : $\Phi_3 > \Phi_1 > \Phi_2$

وبهذا المبدأ يمكن تركيز المجال المغناطيسي داخل القلب الحديدي وهذا هو بداية الطريق لشرح نظرية عمل المولد الكهربائي لشرح كيفية توليد التيار المتردد ولنبدأ بقانون فاراداي.

قانون فاراداي

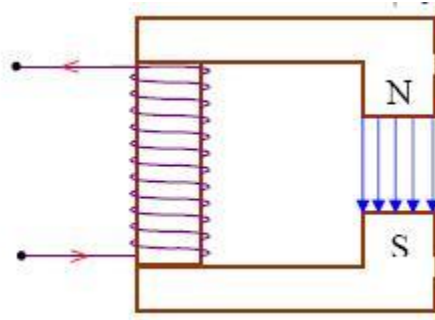
ينص قانون فاراداي علي أنه إذا تعرض ملف ما ذو عدد لفات N لمجال مغناطيسي أو خطوط قوي مغناطيسيه متغيرة مع الزمن تتولد قوة دافعه كهربائية (E جهد كهربائي) بين طرفي هذا الملف. تتناسب مع معدل تغير المجال المغناطيسي مع الزمن وتساوي عدد اللفات N مضروباً في معدل تغير خطوط القوي المغناطيسيه بالنسبه للزمن وذلك بإشارة سالبة:

$$E = -N \frac{d\Phi}{dt}$$



نظرية عمل المولد الكهربائي :

إذا تخيلنا قلب حديد غير مغلق تماماً وأنه توجد ثغرة هوائية في مسار خطوط القوى المغناطيسية. فإن خطوط القوى المغناطيسية تمر الآن في القلب الحديدي وتكمل مسارها في الهواء ويكون المجال المغناطيسي مركزاً في هذه الثغرة الهوائية وهو ما يعرف بالمغناطيس. حيث له قطب شمالي تخرج منه الخطوط المغناطيسية وقطب جنوبي تدخل إليه الخطوط كما هو مبين :



في هذه الثغرة يمكن استغلال هذا المجال المغناطيسي بطريقة أخرى وهي: إذا تحرك أي موصل في هذه الثغرة الهوائية قاطعاً خطوط القوى المغناطيسية تتولد بين أطرافه ق.د.ك تبعاً لقانون فاراداي:

$$E = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

إذا فرضنا أن كثافة خطوط القوى المغناطيسية قيمة ثابتة: B

$$\Phi/A = B$$

إذن

$$\Phi = BA$$

$$d\Phi = B dA$$

فإذا تحرك موصل طوله ℓ في المجال المغناطيسي قاطعاً خطوط القوى المغناطيسي Φ تتولد بين أطرافه ق.د.ك E يمكن حسابها كالاتي:
إذا تحرك موصل حركة صغيرة لمسافه صغيرة dX فإن خطوط القوى المغناطيسية التي يقطعها الموصل في حركته $d\Phi$ =حيث:

$$d\Phi=BdA$$

$$dA=\ell dX$$

وتبعاً لقانون فاراداي وبما أن $N=1$

إذن:

$$|E|=B\ell dX/dt=B\ell v$$

حيث أن :

B : كثافة خطوط القوى المغناطيسية

ℓ : طول الموصل

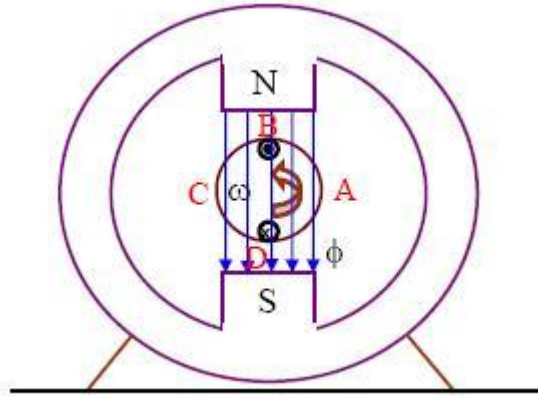
v : السرعة الخطية لحركة الموصل العمودية على اتجاه المجال المغناطيسي

وحيث أن القوة الدافعة الكهربائية E لها اتجاه فإن هذا الاتجاه له علاقة باتجاه كل من v, Φ : وتحدد العلاقة بين هذه الاتجاهات الثلاثة عن طريق قاعدة فلمنج لليد اليسري حيث تقول:

إذا وضع الثلاثة أصابع لليد اليسري الابهام والسبابة والوسطى في ثلاث اتجاهات متعامدة على بعضها فإن اتجاه المجال يكون في اتجاه الاصبع الوسطى واتجاه الحركة في اتجاه اصبع الابهام واتجاه التيار في اتجاه السبابة.

توليد الموجة الحسة

لو تخيلنا الآن أن الموصل يتحرك حركة دوارة في المجال المغناطيسي أي أنه يتبادل موقعه ما بين القطبين الشمالي والجنوبي باستمرار كما هو مبين بالشكل وبتطبيق قاعدة فلمنج نجد أن القوة الدافعة الكهربائية وكذلك التيار بهذا التبادل الحركي للموصل تحت الاقطاب المختلفة تتغير أيضاً اتجاهاتها (اشارتها) وهذا هو ما يسمى بالتيار المتردد.



فإذا تخيلنا هذا الموصل بأنه بدأ يتحرك حركة دواره ليأخذ الاوضاع A ثم B ثم C ثم D ثم A وسوف نلاحظ الآتي:

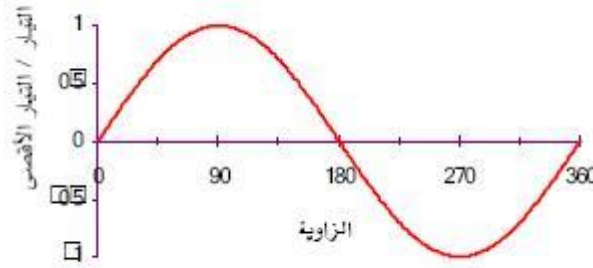
1 - عند النقطة A يتحرك الموصل حركة موازية للمجال المغناطيسي فلا يقطعه ولا ينتج عن ذلك توليد أي ق.د.ك.

2 - عند النقطة B يتحرك الموصل حركة عمودية تماماً على المجال المغناطيسي فيتولد بين اطرافه ق.د.ك بقيمة عظمى ويكون اتجاهها (وبالتالي التيار الكهربائي) في الاتجاه الخارج من الموصل.

3 - عند النقطة C يتحرك الموصل ثانياً موازياً للمجال المغناطيسي فلا تتولد أي ق.د.ك.

4 - عند النقطة D يتحرك الموصل حركة عمودية تماماً على المجال المغناطيسي فيتولد بين أطرافه ق.د.ك بقيمة عظمى ويكون اتجاهها في الاتجاه الداخل إلى الموصل.

وإذا رسمنا العلاقة بين الزاوية التي قطعها الموصل من الوضع الابتدائي حتى اكمل دورته الكامله وبين قيمة التيار المتولد فيه لوجدنا هذه العلاقة على شكل منحنى الموجة الجيبية كما في الشكل:



التحليل الرياضي للموجة الجيبية :

لأجراء التحليل الرياضي للموجة سوف نتناول بعض التعريفات والعلاقات الهامة المتعلقة بالحركة الدوارة للموصل في المجال المغناطيسي

السرعة الخطية (V): هي المسافة الطولية التي يقطعها الموصل في الثانية الواحدة.

السرعة الزاوية (ω): هي الزوايا النصف قطرية التي يقطعها الموصل في الثانية الواحدة، وتقاس الزاوية

نصف القطرية بوحدة تسمى راديان radians

التردد (f): هو عدد الدورات الكاملة التي يقطعها الموصل في الثانية الواحدة.

عند قطع الموصل لدورة كاملة فإن المسافة d التي يقطعها تكون عبارة عن طول محيط الدائرة التي قطرها D أي:

$$D=2\pi D/2$$

وتكون الزوايا نصف القطرية المقطوعة θ هي:

$$=(2\pi D/2)/(D/2)=2\pi\theta$$

وبالتالي إذا قطع الموصل في الثانية الواحدة عدد f من الدورات يكون قطع مسافة طولية مقدارها V حيث:

$$V=(2\pi D/2)*f$$

ويكون قطع عدد زوايا نصف قطرية مقدارها ω حيث:

$$\omega=2\pi f$$

وبالتالي تكون العلاقة بين V, ω كالتالي:

$$V=\omega(D/2)$$

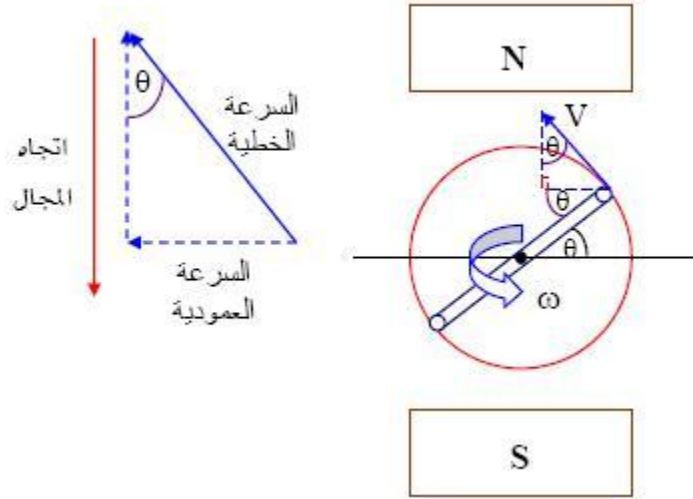
وفي خلال زمن t يكون الموصل قد قطع مسافة طولية قدرها

$$D=V*t$$

ويكون قد قطع زاوية نصف قطرية قدرها

$$\Theta=\omega.t$$

لنتخيل الآن أن الموصل تحرك من نقطة الصفر ووصل إلى وضع عام حيث قطع زاويه مقدارها θ حيث يفترض أنه يتحرك بسرعة خطية ثابتة V كما هو مبين بالشكل:



$$V \sin \theta = v$$

حيث v هي السرعة العمودية على خطوط القوى المغناطيسية Φ وبالتالي فإن:

$$E = Blv = BlV \sin \theta = BlV \sin(\omega t)$$