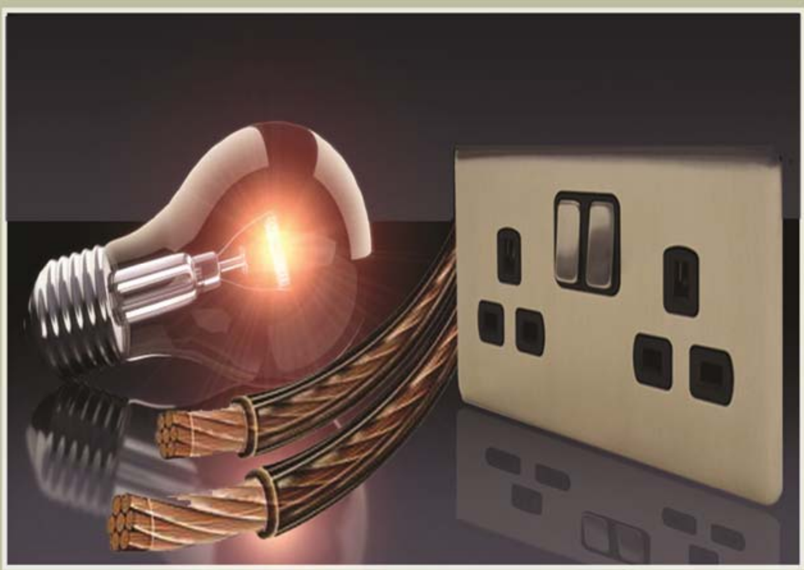
المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

الكليات التقنية

الحقيبة التدريبية:

دوائر كهربائية - ١

في تخصصات
الآلات والمعدات الكهربائية
والقوى الكهربائية ومشغل لوحة التحكم



مقدمة

الحمد لله وحده،والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد بن عبدالله وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على الله ثم على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " دوائر كهربية - ١ " لمتدربي تخصصات " **الآلات والمعدات الكهربائية و القوى الكهربائية و مشغل لوحة التحكم** " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجلّ أن تسهم بالشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، مدعم بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه؛ إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

الفهـــرس

تمهيد

تتناول هذه الحقيبة أهم الموضوعات المتعلقة بأساسيات الهندسة الكهربائية. وتحتوى على ست وحدات أساسية ، فالوحدة الأولى تختص بدراسة المكثفات الكهربائية ، والوحدة الثانية تختص بدراسة البطاريات وأنواعها وطرق توصيلها ، والوحدة الثالثة تختص بدراسة دوائر التيار المستمر، والوحدة الرابعة نستعرض فيها شرحاً عن طرق تحليل الدوائر الكهربائية البسيطة، والوحدة الخامسة تتطرق إلى الإلمام بأساسيات المغناطيسية الطبيعية وأساسيات الكهرومغناطيسية مثل الآثار المغناطيسية للتيار والحثية ، أما الوحدة السادسة فتختص بدراسة الدوائر المغناطيسية.

تتناول الوحدة الأولى دراسة المكثفات وطرق حساب سعتها ، بالإضافة إلى طرق توصيلها وكذلك طرق حساب الطاقة المختزنة فيها مع إيضاح ذلك بأمثلة متنوعة. وفي الوحدة الثانية التي تشمل البطاريات والتى هي عبارة عن مجموعة من الخلايا الكهربائية ، فسنشرح النوعين الأساسيين لهذه الخلايا وهما الخلايا الابتدائية والخلايا الثانوية ، كما سنشرح الطرق المختلفة لتجميع البطاريات مع توضيح ذلك بأمثلة محلولة.

وتهتم الوحدة الثالثة بالتعريفات الأساسية للكميات الكهربائية مثل شدة التيار وفرق الجهد والمقاومة وكذلك تتناول دراسة العلاقات الهامة المستخدمة في دوائر التيار المستمر مثل قانون أوم وطرق حساب القدرة والطاقة الكهربائية ، و تختص أيضا بدراسة العلاقات والقوانين المهمة المستخدمة في مختلف دوائر التيار المستمر (دوائر التوالي و التوازي و المركبة) مثل قانوني كيرشوف للجهد والتيار مع توضيح ذلك بأمثلة متنوعة. و تشمتمل الوحدة الثالثة أيضا على أمثلة متنوعة لطرق حساب الكميات الكهربائية المختلفة. و تناقش الوحدة الرابعة مجموعة من القوانين و النظريات و الطرق لتحليل الدوائر الكهربائية البسيطة، و تتطرق الوحدة الخامسة إلى المغناطيسية الطبيعية وظواهرها، إلى القوة المشاهدة بين الأقطاب المغناطيسية، وإلى مفهوم خطوط القوى التي تساعد في فهم الفيض المغناطيسي وكثافته، كما نقوم بتصنيف المواد إلى مغناطيسية وغير مغناطيسية حسب قابليتها لتمرير خطوط القوى كما نتعرف على مجموعة من المفاهيم و القوانين المستخدمة في مجال المغناطيسية.

أما الوحدة السادسة فتتطرق إلى القواعد الأساسية للدوائر المغناطيسية كما يعرف المتدرب كيفية التعامل مع العناصر المغناطيسية والكميات المغناطيسية والقوانين التي تحكم الدائرة المغناطيسية وأساليب تحليل هذه الدائرة ، كما يشتمل على أمثلة توضيحية مختلفة.

الوحدة الأولى

المكثفات الكهربائية

الهدف العام للوحدة: معرفة وفهم المكثفات الكهربائية وطرق توصيلها وحساب سعتها الكلية.

الأهداف التفصيلية:

١- أن يتمكن المتدرب من تركيب المكثف الكهربائي وحساب سعته.

٢- أن يتمكن المتدرب من ايجاد العلاقة بين الشحنة والجهد والسعة.

٣- أن يتمكن المتدرب من توصيل المكثفات على التوازي والتوالي.

٤- أن يتمكن المتدرب من حساب السعة الإجمالية لمجموعة من المكثفات.

٥- أن يتمكن المتدرب من حساب الطاقة المخزونة في المكثفات.

المكثفات الكهربائية

تعريف المكثف:

المكثف هو عنصر يستعمل لتخزين الطاقة الكهربائية بفعل الإجهاد الكهروستاتيكي فى المادة العازلة (Electrostatic Stress) . ويتكون المكثف الكهربي من لوحين من مادة موصلة بينهما مادة عازلة يطلق عليها اسم العازل الكهربائي الشكل(١- ١). يتحدد نوع المكثف على حسب المادة العازلة المستخدمة في صناعته، فإذا كانت المادة العازلة هي الهواء فيطلق على المكثف في هذه الحالة اسم المكثف الهوائي، وإذا كانت مصنوعة من مادة البلاستيك سمي مكثف بلاستيك، وإذا كانت المادة العازلة من الميكا أطلق على المكثف اسم مكثف ميكا وإذا كانت من السيراميك أطلق على المكثف اسم المكثف السيراميك، أما إذا استخدم محلول كيماوي كمادة عازلة أطلق على المكثف اسم المكثف الكيماوي أو الالكترولتي.

سعة المكثف الكهربائي:

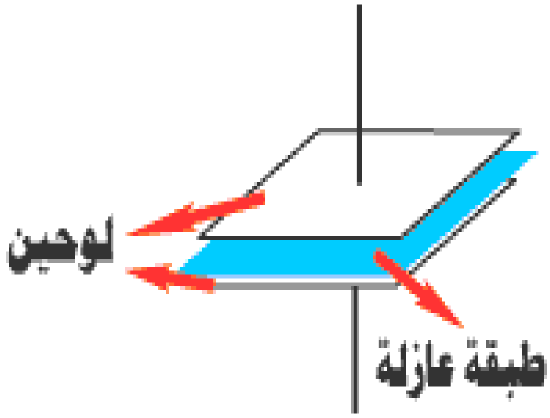
تعرف سعة المكثف (Capacitance) بقدرته على تخزين الطاقة الكهربائية عند فرق جهد معين بين سطحيه. وهى تعرف أيضاً بقدرة المكثف على تخزين الشحنة الكهربائية عند فرق جهد معين. تقاس سعة المكثف بوحدة تسمى الفاراد (F) ، فإذا اكتسب أحد اللوحين فى مكثف شحنة مقدارها Q كولوم (C) ، مما يؤدى إلى جعل فرق الجهد بين طرفيه V فولت فإنه على حسب التعريف السابق تصبح قيمة السعة C بالفاراد عبارة عن :

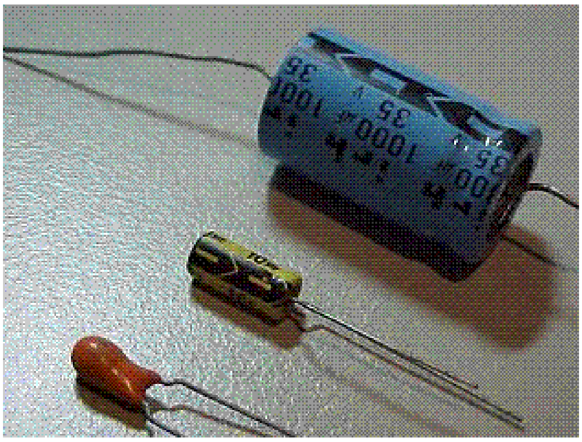
$$C = Q / V \quad F\ (Coulomb / Volt) \qquad (1-1)$$

$$C = \epsilon A / d$$ حيث إن

$$\varepsilon = \varepsilon_o \times \varepsilon_r$$

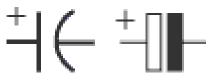
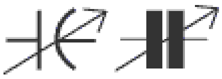
حيث A هي مساحة سطح اللوح بالمتر المربع ، d هي المسافة بين اللوحين بالمتر ، ϵ_r هو معامل السماحية النسبية للعازل ، ϵ_0 معامل سماحية الفراغ (الهواء , $\varepsilon_o = 4\pi \times 10^{-7}$).





الشكل (١- ١) مكثف مكون من لوحين متوازيين

رمز المكثف C:

		
مكثف عادي	مكثف مستقطب	مكثف متغير

الشكل (١- ٢) رموز أنواع المكثفات.

ويكون تعريف الفاراد فى هذه الحالة أنه سعة المكثف الذى يصبح فرق الجهد بين لوحيه فولتاً واحداً عندما يكتسب شحنة تساوى كولوم واحد . والفاراد يعتبر وحدة كبيرة جداً من الناحية العملية ولذلك يستعمل عادة الميكروفاراد ($1\mu F = 10^{-6}$ F) فى تحديد قيمة السعة.

وبما أن قيمة الفاراد الواحد عالية جداً لسعة مكثف فإنه من المناسب استخدام أجزاء من الفاراد للتعبير عن سعة المكثف مثل المايكروفاراد μF أو النانوفاراد nF أو البيكوفاراد pF

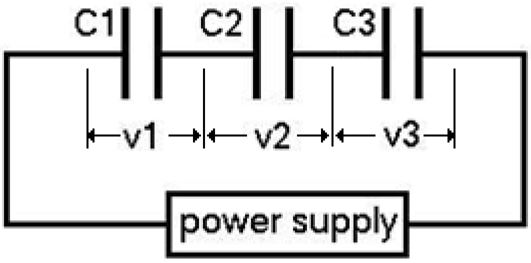
الاختصار	Prefix	المسمى	القيمة بالفراد	أو
p	pico	بيكو	0.000000000001	10^{-12}
n	nano	نانو	0.000000001	10^{-9}
μ	micro	مايكرو	0.000001	10^{-6}
m	milli	ملي	0.001	10^{-3}

توصيل المكثفات:

توصل المكثفات إما على التوالي أو التوازي للحصول على قيمة معينة من السعة كما يلي:

توصيل المكثفات على التوالي: Series-connected capacitors

توصل المكثفات على التوالي للحصول على سعة كلية صغيرة أقل من أصغر سعة مكثف موجودة في الدائرة. وتوصيل المكثفات على التوالي الشكل (١- ٣) يعاكس توصيل المقاومات على التوالي حيث تكون المقاومة الكلية أعلى من أكبر مقاومة بالدائرة ، أما بالنسبة للجهد فإنه يتجزأ أيضا.



الشكل (١- ٣) توصيل المكثفات على التوالي

فى هذه الحالة الجهد يتجزأ وبالتالى:

$$V = V1 + V2 + V3 \qquad (1\text{-}2)$$

$$C = \frac{Q}{V} \qquad (1\text{-}3)$$

$$V = \frac{Q}{C}$$

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q2}{C2} + \frac{Q3}{C3}$$

وبما أن في حالة توصيل التوالي الشحنة لا تتجزأ ، إذاً الشحنة المخزنة فى كل مكثف متساوية

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C2}+\frac{1}{C3} \qquad (1\text{-}4)$$

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 \qquad (1\text{-}5)$$

حالة خاصة

فى حالة وجود مكثفين موصلين معاً على التوالي تكون السعة الكلية:

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}=\frac{C_1+C_2}{C_1\times C_2}$$

أي أن:

$$C=\frac{C_1\times C_2}{C_1+C_2} \qquad (1\text{-}6)$$

وبصفة عامة لعدد n من المكثفات الموصلة على التوالي :

$$\frac{1}{C}=\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{C_i} \qquad (1\text{-}7)$$

مثال (١- ١):

ثلاثة مكثفات كهربائية (C_1=20μF و C_2=4μF و C_3=5μF) ، وصلت على التوالي إلى مصدر جهد قيمته 600 V ، أحسب:

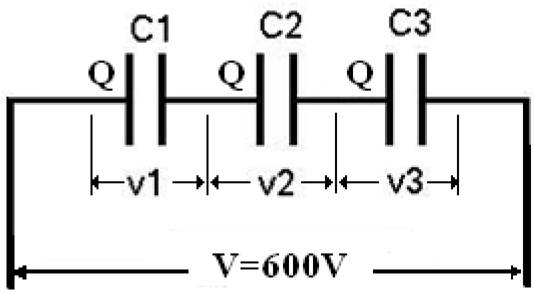
(أ) السعة المكافئة بالفاراد (ب) الشحنة في كل مكثف

(جـ) فرق الجهد على كل مكثف

الحل:

(أ) حيث أن المكثفات الثلاثة موصلة على التوالي كما هو في الشكل (١- ٤) ، فإن السعة الكلية أو السعة المكافئة تساوي:

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C2}+\frac{1}{C3}$$



الشكل (١- ٤) توصيل ثلاثة مكثفات على التوالي

$$\frac{1}{\mathbf{C}} = \frac{1}{20} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} = 0.05 + 0.25 + 0.2$$

$$\frac{1}{\mathbf{C}} = 0.5 \quad \rightarrow \quad \text{السعة الكلية} = C = \frac{1}{0.5} = 2\mu F = 2\times10^{-6}\,F$$

(ب) في حالة توصيل التوالي تكون الشحنة في المكثفات الثلاثة ثابتة :

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = C\times V$$

$$Q = 2\times10^{-6} \times 600 = 1200 \times10^{-6}\ C$$

(ج) في حالة توصيل التوالي يكون فرق الجهد على المكثفات الثلاثة مختلفا :

$$V_1 = \frac{\mathbf{Q}}{\mathbf{C}_1} = \frac{1200\times10^{-6}}{20\times10^{-6}} = 60\ \mathbf{V}$$

$$V_2 = \frac{\mathbf{Q}}{\mathbf{C}_2} = \frac{1200\times10^{-6}}{4\times10^{-6}} = 300\ \mathbf{V}$$

$$V_3 = \frac{\mathbf{Q}}{\mathbf{C}_3} = \frac{1200\times10^{-6}}{5\times10^{-6}} = 240\ \mathbf{V}$$

للتأكد من الحل ،يجب أن يكون مجموع الجهود الثلاثة على المكثفات يساوي جهد المصدر ٦٠٠ فولت.

$$V = V1 + V2 + V3 = 60 + 300 + 240 = 600V$$

نلاحظ أن السعة الكلية هي دائماً أقل من سعة أي من المكثفات المتصلة على التوالي.

مثال (١- ٢):

مكثفان سعتهما $4\mu F$ و $12\mu F$ وصلا على التوالى، فإذا كان فرق الجهد الكلي على المكثفين $100\ V$ ، أحسب:

(أ) السعة المكافئة للمكثفان بالفاراد (ب) الشحنة فى كل مكثف

(ج) فرق الجهد على كل مكثف

الحل:

(أ) في حالة توصيل المكثفين على التوالي كما هو موضح بالشكل (١- ٥) فإن السعة المكافئة تساوي:

$$C = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} = \frac{4 \times 12}{4 + 12} = \frac{48}{16} = 3\ \mu F \ , \qquad C = 3 \times 10^{-6}\ F$$

(ب) في حالة توصيل التوالي تكون الشحنة في المكثفات ثابتة :

$$Q = Q_1 = Q_2 = C \times V$$

$$Q = 3 \times 10^{-6} \times 100 = 3 \times 10^{-4}\ C$$

(ج) في حالة توصيل التوالي يكون فرق الجهد على المكثفات الثلاثة مختلفا :

$$V_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{3 \times 10^{-4}}{4 \times 10^{-6}} = 75\ V$$

$$V_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{3 \times 10^{-4}}{12 \times 10^{-6}} = 25\ V$$

للتأكد من الحل ،يجب أن يكون مجموع الجهود على المكثفين يساوي جهد المصدر 100V

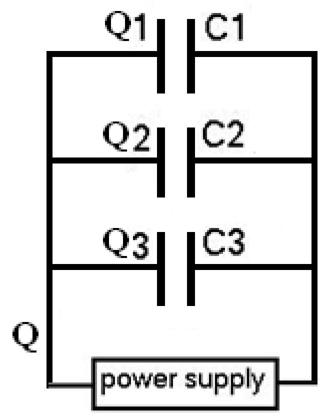
$$V_1 + V_2 = 75 + 25 = 100V$$

توصيل المكثفات على التوازي: Parallel -connected capacitors

إن الهدف من توصيل المكثفات على التوازي هو الحصول على سعة كلية (مكافئة) كبيرة تساوي مجموع سعة المكثفات المتصلة على التوازي في الدائرة، . و لو تم عمل مقارنة بين توصيل الكثفات على التوازي شكل(١- ٥) وتوصيل المقاومات على التوازي نجد أن:

١. عند توصيل المكثفات على التوازي نحصل على قيمة السعة الكلية تساوي المجموع الجبري لجميع قيم المكثفات الموصلة توازي (السعة الكلية تزيد) وبالعكس في حالة توصيل المقاومات على التوازي فإن المقاومة الكلية تكون أقل من أقل أي قيم للمقاومات.

٢. فى حالة توصيل المكثفات على التوازي تتجزأ الشحنة الكهربائية المارة من المصدر ، ولكن في حالة توصيل المقاومات على التوازي فإن التيار الكلي المسحوب من المصدر يتجزأ.



الشكل (١- ٥) توصيل المكثفات على التوازي.

من الشكل (١- ٥) ، نلاحظ أن الشحنة الكلية Q تتجزأ إلى Q_1، Q_2، Q_3 وبالتالي فإن:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \qquad (1\text{-}8)$$

$$Q = V \times C$$

$$V\times C = V\times C_1 + V\times C_2 + V\times C_3 \qquad (1\text{-}9)$$

وحيث أن الجهد في حالة التوازي لا يتجزأ ، أي أن الجهد ثابت على جميع المكثفات الموصلة على التوازي (الجهد متساوي على أطراف المكثفات)

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = \ldots\ldots \qquad (1\text{-}10)$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \qquad (1\text{-}11)$$

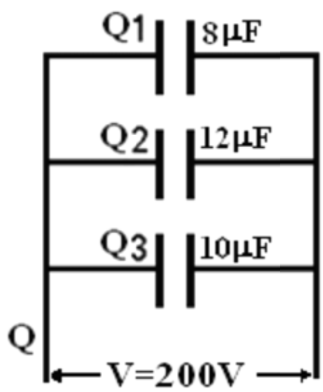
$$C = \sum_{i=1}^{n} C_i \qquad (1\text{-}12)$$

مثال (١- ٣):

ثلاثة مكثفات موصلة على التوازي وسعة كل منهم $8\mu F$ و $12\mu F$ و $10\mu F$ فإذا كان فرق الجهد المسلط على المجموعة يساوي $200\ V$ ، أحسب:

(أ) السعة المكافئة للمكثفات بالفاراد (ب) فرق الجهد على كل مكثف

(جـ) الشحنة فى كل مكثف (د) الشحنة الكلية



الشكل (١- ٦) توصيل المكثفات الثلاثة على التوازي.

الحل:

(أ) في حالة توصيل المكثفات على التوازي كما هو موضح بالشكل (١- ٦) فإن السعة المكافئة تساوي:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 8 + 12 + 10 = 30\ \mu F$$

$C = 8 + 12 + 10 = 30\mu F$

$C = 30\times10^{-6}\ F$

(ب) في حالة توصيل التوازي يكون فرق الجهد على أطراف المكثفات ثابت ويساوي جهد المصدر

$V = V1 = V2 = V3 = 200V$

(جـ) في حالة توصيل التوازي تكون الشحنة في المكثفات مختلفة إذا كانت السعة للمكثفات مختلفة

$Q_1 = V\times C_1 = 200\times8\times10^{-6} = 1.6\times10^{-3}\ C$

$Q_2 = V\times C_2 = 200\times12\times10^{-6} = 2.4\times10^{-3}\ C$

$Q_3 = V\times C_3 = 200\times10\times10^{-6} = 2.0\times10^{-3}\ C$

(د) في حالة توصيل التوازي الشحنة المارة من المصدر تتجزأ على المكثفات

$Q = 1.6\times10^{-3} + 2.4\times10^{-3} + 2.0\times10^{-3}$

$Q = 6.0\times10^{-3}\ C$

حل آخر (الشحنة الكلية تساوي السعة الكلية مضروبة في قيمة فرق الجهد على المكثفات)

$Q = V\times C = 200\times30\times10^{-6} = 6\times10^{-3}\ C$

مثال (١- ٤):

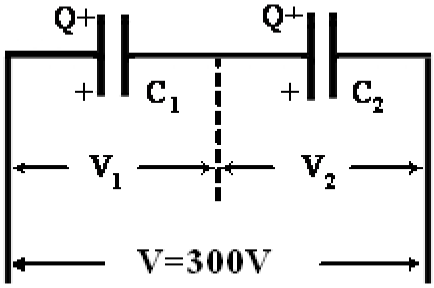
مكثفان سعتهما $2\mu F$ و $8\mu F$ وصلا على التوالي، فإذا كان فرق الجهد المسلط عليهما يساوي 300V ، أحسب:

(أ) السعة المكافئة وكذلك الشحنة وفرق الجهد على كل مكثف.

(ب) إذا وصل المكثفين على التوازي ، احسب السعة المكافئة وكذلك الشحنة في كل مكثف وفرق الجهد على كل مكثف.

الحل:

(أ) عند توصيل المكثفين على التوالي كما موضح فى الشكل (١- ٧)، تكون السعة المكافئة



الشكل (١-٧)

$$C = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} = \frac{2 \times 8}{2 + 8} = 1.6\ \mu F$$

$$Q = C \times V = 1.6 \text{ x } 10\text{-}6 \times 300 = 4.8 \times 10\text{-}4 \text{ C}$$

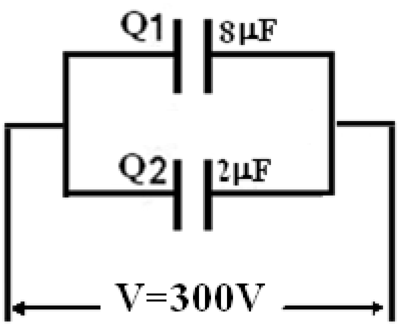
وحيث إن المكثفين موصلان على التوالى فتكون الشحنة متساوية ولكن فرق الجهد مختلف ، وبالتالي

$$Q_1 = Q_2 = Q = 4.8 \text{ x } 10\text{-}4 \text{ C}$$

$$V_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{4.8 \times 10^{-4}}{2 \times 10^{-6}} = 240 \text{ V}$$

$$V_2 = \frac{Q}{C2} = \frac{4.8 \times 10^{-4}}{8 \times 10^{-6}} = 60 \text{ V}$$

(ب) عند توصيل المكثفين على التوازى كما موضح فى الشكل (١- ٨) تكون السعة المكافئة:



الشكل (١-٨)

$$C = C_1 + C_2 = 2 + 8 = 10\ \mu F$$

فى هذه الحالة يكون فرق الجهد متساوياً ، بينما تكون الشحنة مختلفة ، أي إن

$$V_1 = V_2 = V = 300\ V$$

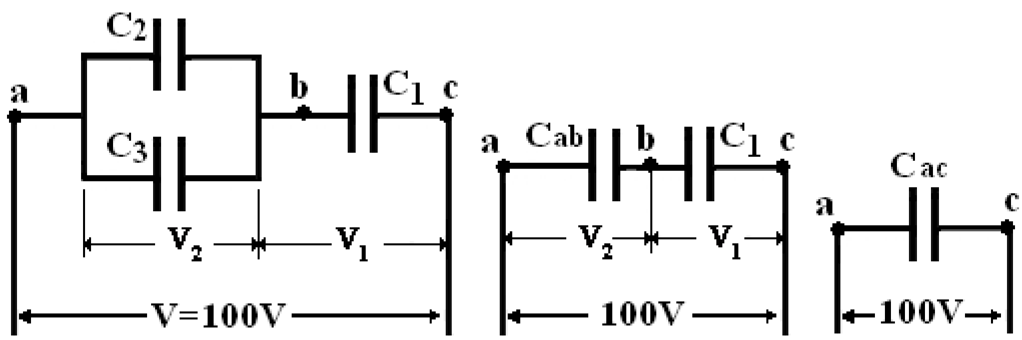
$$Q_1 = C_1 V = 2 \times 10^{-6} \times 300 = 6 \times 10^{-4}\ C$$

$$Q_2 = C_2 V = 8 \times 10^{-6} \times 300 = 2.4 \times 10^{-3}\ C$$

<u>مثال (١- ٥):</u>

من الدائرة الموضحة بالشكل (١- ٩) ، إذا كانت $C_1 = 8\mu F,\ C_2 = 5\mu F,\ C_3 = 3\mu F$، والجهد المسلط على الدائرة ،100V أحسب:

(أ) السعة المكافئة (ب) فرق الجهد على كل مكثف (ج) الشحنة في كل مكثف



الشكل (١-٩)

<u>الحل:</u>

(أ) لحساب السعة الكلية (المكافئة) للدائرة الموضحة في الشكل (١ - ٩أ) ، المكثف C_2 والمكثف C_3 موصلان على التوازي بين النقطتين **a, b** ، ولذلك فإن السعة بين هاتين النقطتين تساوي

$$C_{ab} = C_2 + C_3 = 5 + 3 = 8\ \mu F$$

والمكثف C_{ab} والمكثف C_1 موصلان على التوالي بين النقطتين **a, c** ، ولذلك فإن السعة بين هاتين النقطتين تساوي

$$C_{ac} = \frac{C_1 Cab}{C_1 + Cab} = \frac{8 \times 8}{8 + 8} = 4\,\mu F \;, \qquad C_{ac} = 4 \times 10^{-6}\ F$$

(ب) في حالة توصيل التوالي تكون الشحنة ثابتة في المكثفين C_1 , C_{ab} وتساوي الشحنة الكلية المارة من المصدر وتساوي Q

$$Q = C_{ac} V = 4 \times 10^{-6} \times 100 = 4 \times 10^{-4}\ C$$

$$V_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{4 \times 10^{-4}}{8 \times 10^{-6}} = 50\ V$$

$$V_2 = \frac{Q}{Cab} = \frac{4 \times 10^{-4}}{8 \times 10^{-6}} = 50\ V$$

(جـ) الشحنة في كل مكثف تساوي:

$$Q_1 = Q_1 = 4 \times 10^{-4}\ C$$

$$Q_2 = C_2 V_2 = 5 \times 10^{-6} \times 50 = 2.5 \times 10^{-4}\ C$$

$$Q_3 = C_3 V_3 = 3 \times 10^{-6} \times 50 = 1.5 \times 10^{-4}\ C$$

للتأكد من الحل

$$Q_2 + Q_3 = 2.5 \times 10^{-4} + 1.5 \times 10^{-4} = 4 \times 10^{-4}\ C$$

الطاقة المختزنة فى المكثف:

يستلزم شحن المكثف إعطائه طاقة كهربائية من المنبع الكهربائي الذى يقوم بشحنه ، وهذه الطاقة تختزن فى المجال الكهربائي الذى يتكون فى العازل. وعند تفريغ المكثف يضمحل هذا المجال الكهربائي فتنطلق الطاقة الكهربائية منه.

فإذا فرضنا أنه فى خلال شحن المكثف يكون فرق الجهد على طرفيه V عندما تكون الشحنة على اللوح Q نجد أن زيادة الشحنة بمقدار dQ يستلزم وضع طاقة مقدارها فى المكثف $dW = V\,dQ$، أي أن:

$$dW = V \times dQ$$

وعند الشحنة Q يحدد الجهد بالعلاقة :

$$Q = C \times V$$

أي أن:

$$dQ = C \times dV$$

وبالتالي

$$dW = C\times V\times dV$$

ولذلك فإن الطاقة المختزنة في المكثف عندما يزداد الجهد من الصفر إلى V تكون :

$$W= \int_0^V C\,v\,dv = C\left[\frac{v^2}{2}\right]_0^V = \frac{1}{2}C\,V^2 \text{ Joules} \qquad (1\text{- }13)$$

وحيث أن:

$$Q = C\,V \quad , \qquad V = \frac{Q}{C}$$

ولذلك نحصل على صور أخرى للطاقة المختزنة كالآتي :

$$W = \frac{1}{2}C V^2 = \frac{1}{2}Q\,V = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} \quad \text{Joules} \qquad (1\text{- }14)$$

إذا كانت مساحة اللوح فى المكثف $A\ (m^2)$ والمسافة بين اللوحين (سمك العازل الكهربائي بين اللوحين) d متر ، ومعامل عزله الكهربائي ϵ ، نجد أن الطاقة المختزنة فى وحدة الحجم من العازل الكهربائي هي :

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2}\frac{C V^2}{A d} = \frac{1}{2}\frac{\varepsilon A}{d}\frac{V^2}{A d} \\ &= \frac{1}{2}\varepsilon\left(\frac{V}{d}\right)^2 \qquad (1\text{- }15) \\ &= \frac{1}{2}\varepsilon E^2 = \frac{1}{2}D\,E = \frac{1}{2}\frac{D^2}{\varepsilon} \qquad \text{Joules /}m^3 \end{aligned}$$

<u>مثال (١- ٦):</u>

مكثفان سعة الأول $20\mu F$ وفرق الجهد بين طرفيه $1000V$ و سعة الثاني $10\mu F$ وفرق الجهد بين طرفيه $100V$. ثم وصل المكثفات على التوازي . احسب الطاقة الكلية قبل التوصيل. ومقدار فقدان الطاقة بعد التوصيل . احسب كذلك فرق الجهد الكلي بين طرفي المكثفات بعد التوصيل .

الحل:

يمكن حساب الشحنة لكل مكثف كما يلي :

$$Q_1 = C_1 \ V_1 = 20 \ x \ 10^{-6} \ x \ 1000 = 0.02 \quad C$$

$$Q_2 = C_2 \ V_2 = 10 \ x \ 10^{-6} \ x \ 100 = 0.001 \quad C$$

أما السعة الكلية فهي

$$C = C_1 + C_2 = (20 + 10) \ x \ 10^{-6} = 30 \ x \ 10^{-6} \quad F$$

وتكون الطاقة الكلية قبل التوصيل على التوازي :

$$W_1 = \frac{1}{2} \mathbf{C}_1 \ \mathbf{V}_1^2 + \frac{1}{2} \mathbf{C}_2 \ \mathbf{V}_2^2$$

$$W_1 = \frac{1}{2} \times 20 \times 10^{-6} \times (1000)^2 + \frac{1}{2} \times 10 \times 10^{-6} \times (100)^2 = 10.05 \quad \text{Joules}$$

أما الطاقة الكلية بعد التوصيل فهي :

$$W_2 = \frac{1}{2} \frac{\mathbf{Q}^2}{\mathbf{C}}$$

حيث إن Q هى الشحنة الكلية وهى :

$$Q = Q_1 + Q_2 = 0.02 + 0.001 = 0.021C$$

وبالتالي فإن الطاقة الكلية بعد التوصيل تكون :

$$W_2 = \frac{1}{2} \frac{\mathbf{Q}^2}{\mathbf{C}} = \frac{1}{2} \times \frac{(0.021)^2}{30 \times 10^{-6}} = 7.35 \quad \text{Joules}$$

وبالتالي فإن الفقد فى الطاقة الكلية هو :

$$W = W_1 - W_2 = 10.05 - 7.35 = 2.7 \text{ Joules}$$

أما فرق الجهد الكلي فهو:

$$V = \frac{\mathbf{Q}}{\mathbf{C}} = \frac{0.021}{30 \times 10^{-6}} = 700 \, V$$

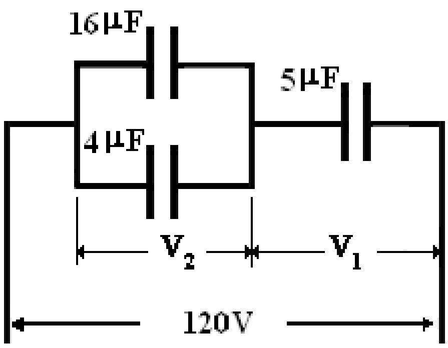
تمارين على الوحدة الأولى:

١. ثلاثة مكثفات كهربائية وصلت على التوالي فإذا كانت السعة لكل منها $2\mu F$ و $4\mu F$ و $20\mu F$ على الترتيب ، فإذا كان فرق الجهد المسلط على المجموعة يساوي $200V$ ، أحسب: (أ) السعة المكافئة بالفاراد (ب) الشحنة في كل مكثف
(جـ) فرق الجهد على كل مكثف

٢. مكثفان سعتهما $6\mu F$ و $12\mu F$ وصلا على التوالى، فإذا كان فرق الجهد الكلي يساوي $300V$ المكثفين ، أحسب:
(أ) السعة المكافئة للمكثفان بالفاراد (ب) الشحنة فى كل مكثف
(ج) فرق الجهد على كل مكثف

٣. ثلاثة مكثفات موصلة على التوازي، فإذا كانت $C_1 = 15\mu F$, $C_2 = 6\mu F$, $C_3 = 4\mu F$ ، والجهد المسلط على الدائرة ، $250V$ أحسب:
(أ) السعة المكافئة (ب) فرق الجهد على كل مكثف
(جـ) الشحنة في كل مكثف

٤. من الدائرة الموضحة بالشكل (١- ١٠)، إذا كانت $C_1 = 5\mu F$, $C_2 = 16\mu F$, $C_3 = 4\mu F$ ، والجهد المسلط على الدائرة ، $120V$ أحسب:
(أ) السعة المكافئة (ب) فرق الجهد على كل مكثف
(جـ) الشحنة في كل مكثف



الشكل (١- ١٠)

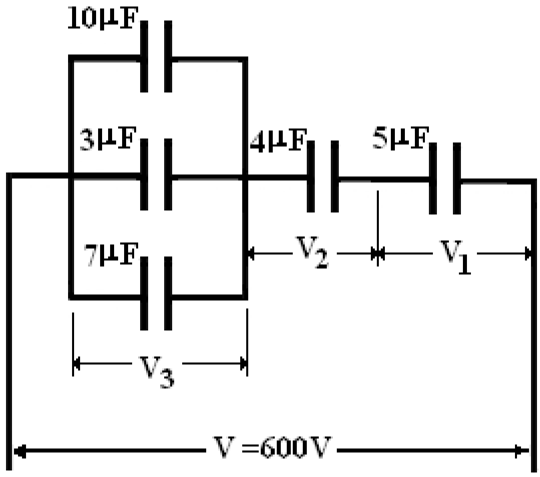
٥. من الدائرة الموضحة بالشكل (١- ١١) ، إذا كانت:

$C_1 = 5\mu F$, $C_2 = 4\mu F$, $C_3 = 10\mu F$, $C_4 = 3\mu F$, $C_5 = 7\mu F$

والجهد المسلط على الدائرة ، 600V أحسب:

(أ) السعة المكافئة (ب) فرق الجهد على كل مكثف V_1 , V_2 , V_3

(جـ) الشحنة في كل مكثف



الشكل (١- ١١)

٦. مكثفان سعة الأول 25μF وفرق الجهد بين طرفيه 1100V و سعة الثاني 15μF وفرق الجهد بين طرفيه 150V . تم وصل المكثفات على التوازي. احسب الطاقة الكلية قبل التوصيل ومقدار فقدان الطاقة بعد التوصيل . احسب كذلك فرق الجهد الكلي بين طرفي المكثفات بعد التوصيل.

الوحدة الثانية

البطاريات

الهدف العام للوحدة: معرفة العناصر الرئيسية المكونة للبطارية و فهم النوعين الأساسيين للخلايا : الابتدائية والثانوية ، و كذلك معرفة وفهم الطرق المختلفة لتجميع البطاريات.

الأهداف:

(١) أن يعرف المتدرب الأنواع الرئيسية من البطاريات الأولية الجافة.

(٢) أن يعرف المتدرب الأنواع البطاريات الثانوية الأكثر شيوعاً مثل البطاريات الحامضية و البطاريات القلوية.

(٣) أن يحدد المتدرب النقاط التي يجب مراعتها للمحافظة على البطارية و بقائها في حالة جيدة.

(٤) أن يعرف المتدرب سعة البطارية و تيار الشحن، و كيفية تجميع الخلايا فى البطاريات.

(٥) أن يتمكن المتدرب من حساب القدرة القصوى التي تعطيها بطارية للحمل.

(٦) أن يحدد المتدرب جودة البطاريات (كفاءة الأمبير/ساعة و كفاءة الواط/ساعة).

(٥) أن يتمكن المتدرب من توصيل الخلايا الكهربائية على التوالي – والتوازي ومشاكل التوصيل.

البطاريات

مقدمة :

البطارية في أبسط صورها هي علبة مملوءة بالمواد الكيميائية التي تنتج إلكترونات وتسمى التفاعلات التي تنتج عنها تلك الإلكترونات تفاعلات كيميائية كهربائية. ولابد أن تحتوي كل بطارية على قطبين أحدهما موجب والآخر سالب حيث تتجمع الإلكترونات وتنتقل منه إلى القطب الموجب في حالة التوصيل بينهما خارجيا بموصل "سلك" كهربائي ولكن من الخطورة الشديدة الاقتصار على ذلك الموصل دون إضافة أحمال كهربائية عليه لأن من شأن ذلك إحداث انفجار أو حريق أو على أقل تقدير تفريغ البطارية من شحنتها بالشكل شبه فوري.

ويشير مصطلح البطارية في الواقع إلى مجموعة من الخلايا (الأعمدة) المتّصلة ببعضها ، إلاّ أنّ المصطلح غالبًا ما يستخدم للدلالة على خلية واحدة كتلك المستعملة في الكشّافات الضوئية اليدوية ولعب الأطفال الكهربائية.

تُستَخدَم البطاريات بمثابة مصادر مريحة للطاقة الكهربائية. فهي تمد الأجهزة خفيفة الحمل مثل المذياع، والمسجلات الصوتية والتلفاز، بالطاقة الكهربائية. وتمدّ بطارية السيارة بالطاقة الكهربائية اللازمة لإدارة المحرّك، كما تمدّ البطاريات أيضاً سفن الفضاء والغوّاصات بالكهرباء. وخلال فترات انقطاع التيار، تمدّ البطاريات أجهزة الهاتف، وأجهزة إنذار الحرائق والمستشفيات وغيرها من المباني الأساسية بالكهرباء في حالات الطوارئ.

أنواع البطاريات:

تنتج المصانع أنواعًا عديدة ومختلفة من البطاريات التي يمكن أن تُصنف حسب تصميماتها الأساسية. ويحدِّد تصميم البطارية كمية الكهرباء المولِّدة. وتتوقف بعض البطاريات التي تُسمى البطاريات الأولية عن العمل، وينتهي مفعولها، ويجب التخلص منها بعد استهلاك إحدى المواد الكيميائية المكونة لها. ويمكن إعادة استعمال أنواع أخرى من البطاريات بعد نفاد طاقتها وذلك بإعادة شحنها. ويسمى مثل هذا النوع البطاريات الثانوية، أو بطاريات التخزين.

يمكن أيضاً تصنيف البطاريات حسب محتوياتها الإلكتروليتية وهي المادة الموصلة للتيار الكهربائي داخل الخلية. وتحتوي العديد من أنواع البطاريات الأولية على الإلكتروليت على هيئة مواد جيلاتينية، أو على هيئة مواد تشبه المعجون. وتُعرَف مثل هذه البطاريات التي تحتوي على مكوّنات غير قابلة للانسياب بالخلايا الجافة. وتسمى أنواع قليلة من البطاريات الأولية بالخلايا السائلة لاحتوائها على مواد كيميائية سائلة. وتحتوي أغلب أنواع البطاريات الثانوية على إلكتروليت سائل.
وتختلف البطاريات أيضاً في الجهد المتولد. فالخلية الأولية كتلك المستعملة في كاشفات الضوء اليدوية جهدها ١,٥ فولت. أما أغلب البطاريات الثانوية، والمستعملة في السيارات، فهي بطاريات جهدها ١٢ فولت، وهي تتكوّن من ست خلايا كل منها ينتج ٢ فولت متصلة ببعضها على التوالي.

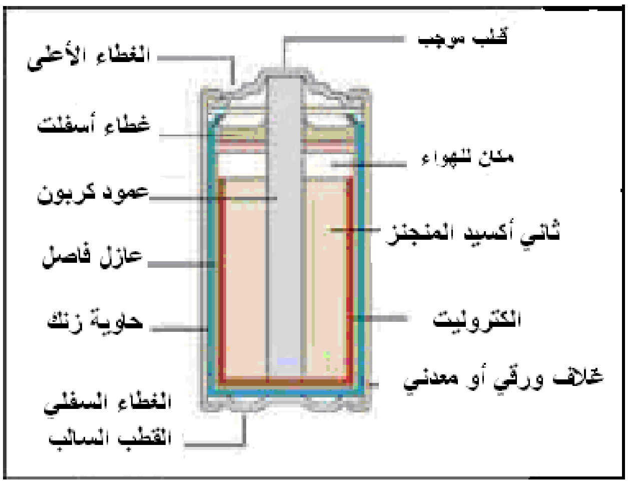
إذن ملخص لما سبق، البطارية عبارة عن مجموعة من الخلايا الكهربائية موصلة على التوالى أو على التوازي أوعلى التوالي و التوازي معاً لتعطي جهداً معيناً وتياراً معيناً. وتنقسم الخلايا الكهربائية إلى نوعين هما الخلايا الابتدائية والخلايا الثانوية .

البطاريات الجافة الأولية:

البطاريات الجافة الأولية الشكل (٢- ١) هي أكثر أنواع الخلايا الجافة الأولية شيوعًا. وتختلف هذه الأنواع من البطاريات في العديد من النواحي، ولكنّها تشترك جميعًا في مكوِّنات أساسية معيّنة. ويوجد في كلّ بطارية جافة أولية مكونان يسميان القطبين، ويتكون كل قطب من نوع مختلف من المواد الكيميائية الفعالة.

وتنتج الطاقة الكهربية هنا نتيجة لتفاعلات كيميائية تتغير معها المواد المستعملة مما يستدعى تغييرها لإعادة استخدام الخلية. وتتكون الخلية هنا من قطبين مغمورين فى محلول إلكتروليتي ومثال ذلك خلية لاكلانشيه (Laclanche Cell) والتى تسمى أيضاً الخلية المنجنية (Manganic Cell) حيث تستخدم ثاني أوكسيد المنجنيز الشكل (٢- ١)، فالقطب الموجب مصنوع من ثانى أوكسيد المنجنيز ($Mn\ O2$)، والقطب السالب مصنوع من الزنك (Zn) ، والمحلول الإلكتروليتى عبارة عن محلول ملح من أملاح النوشادر مثل محلول كلوريد النوشادر بنسبة٢٠٪ ($NH4\ CI$). وتعطي الخلية جهداً قدره ١,٥ فولت و مقاومتها الداخلية بين ٠,٢ و ٠,٥

أوم. ومصدر الطاقة هنا هو في تحويل الزنك إلى أكسيد الزنك، و تتوقف قيمة الطاقة التي تعطيها الخلية بالأمبير ساعة على وزن المواد المستخدمة (الأقطاب).
والبطارية الجافة عبارة عن حالة من هذا النوع من الخلايا حيث يستبدل السائل الإلكتروليتي بعجينة من محلول كلوريد النوشادر المخلوط بنشارة الخشب والدقيق والخميرة....إلخ.



الشكل (٢- ١) بطارية جافة .

يتسبب الإلكتروليت الموجود بين الأقطاب في شحن أحدها وهو القطب السالب (المهبط) بشحنة سالبة، والآخر ويسمى القطب الموجب (المصعد) بشحنة موجبة. ويساعد الإلكتروليت في استمرار تعزيز التفاعلات الكيميائية التي تحدث عند القطبين.

وهناك ثلاثة أنواع رئيسة من البطاريات الأولية الجافة، هي:
١. خلايا الكربون ـ الخارصين.
٢. الخلايا القاعدية.
٣. خلايا الزئبق.

خلايا الكربون ـ الخارصين: متعددة الاستعمالات، حيث تستعمل في كشّافات الضوء اليدوية، ووحدات توليد الومضات الكهربائية لأجهزة وآلات التصوير، وفي لعب الأطفال. وتسمى هذه الخلايا أيضاً عمود لكلانشيه الجاف، وهي مُصممة داخل عبوة من الخارصين. وتستخدم العلبة كإناء لمحتويات الخلية، وفي الوقت نفسه تقوم بعمل القطب السالب. يعمل عمود الكربون الموجود في مركز الخلية، كمجمع تيار للقطب الموجب ، إلا أن المادة الفعلية

المكوّنة للقطب الموجب هي خليط من ثاني أكسيد المنجنيز ومسحوق الكربون، وهذا الخليط مضغوط حول العمود ، ويوجد الإلكتروليت في هذه الخلايا في صورة معجون يتكوّن من كلوريد الأمونيوم وكلوريد الخارصين والماء.

يفصل القطبان السالب والموجب بشريحة من مادة مساميّة مثل الورق أو الكربون التي سبق غمسها في الإلكتروليت. وتُسمى هذه الطبقة الرّقيقة العازل، وهي تمنع المواد المكونة للأقطاب من الاختلاط معاً أو التفاعل في حالة عدم استعمال البطارية، مثل هذا الاختلاط من شأنه أن يؤدي إلى تآكل القطب السّالب الخارصيني قبل الأوان، والتقليل من العمر الافتراضي للبطارية.

الخلايا القاعدية: تشبه خلايا الكربون - الخارصين، ففي كليهما نجد نفس المواد المكوّنة للقطب السالب والقطب الموجب، وتقوم هذه المواد بتفاعلات كيميائية متشابهة؛ إلا أن هذين النوعين من الخلايا الأولية الجافة يختلفان في عديد من النواحي.

تحتوي الخلية القاعدية على قطب سالب من الخارصين يغلب عليه التكوين المسامي الذي يتأكسد بدرجة أسرع من ذلك الموجود في خلية الكربون - الخارصين ، والإلكتروليت في الخلية القاعدية عبارة عن محلول قلوي قوي يحتوي على مركب هيدروكسيد البوتاسيوم ويوصل هذا المركب الكهرباء داخل الخلية بدرجة أكثر فاعلية من محلول كلوريدالأمونيوم، وكلوريد الخارصين في خلية الكربون - الخارصين، وتمكن هذه المواصفات الخلية القاعدية من توليد تيّار عالٍ يستمر بكفاءة أعلى من خليّة الكربون - الخارصين.

تستخدم الخلايا القاعدية مصدرًا ممتازًا للإضاءة في مصابيح الدراجات، وآلات الحلاقة، وأجهزة التلفاز خفيفة الحمل، وأجهزة التخاطب الإلكترونية. هذه الخلايا أكفأ اقتصاديًا في حالة استعمالها في لعب الأطفال الكهربائية التي تتطلب كمية عالية من الكهرباء، عن خلايا الكربون - الخارصين، وذلك لأن عمرها الافتراضي أطول بما يتراوح بين ٥ و ٨ مرات.

خلايا الزئبق :هي خلايا ذات قطب سالب من الخارصين، وقطب موجب من أكسيد الزئبقيك، تحتوي على إلكتروليت هيدروكسيد البوتاسيوم. ويتحول الخارصين إلى أكسيد

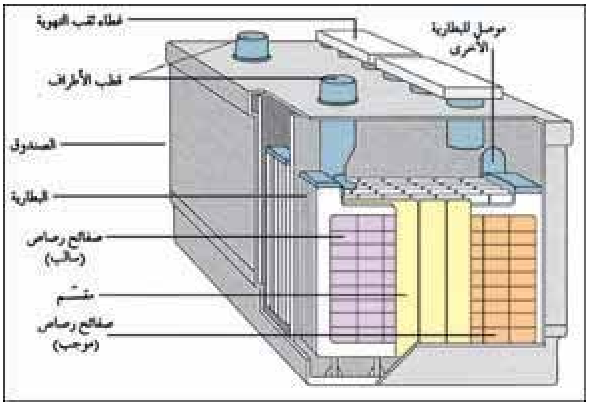
الخارصين ، ويتحوّل أكسيد الزئبقيك إلى زئبق خلال عملية الاستهلاك، كما يتبقّى مركّب هيدروكسيد البوتاسيوم دون تغير.

البطاريات الثانوية:

صممت البطارية الثانوية بطريقة يمكن بها عكس التفاعلات الكيميائية إلى الاتجاه المضاد. وتُمكِّن هذه الميزة من إعادة شحن البطارية بكفاءة بعد نفاد الطاقة الكهربائية التي يمكن توليدها. وأكثر أنواع البطاريات الثانوية شيوعًا هي:

١- بطاريات التخزين رصاص ـ حمض (البطاريات الحامضية) الشكل (٢- ٢).

٢- بطاريات التخزين نيكل ـ كادميوم (البطاريات القلوية).



الشكل (٢- ٢) أجزاء بطارية تخزين الحمض والرصاص.

(ا) الخلايا الحامضية:

تحتوي غالبية بطاريات التخزين رصاص ـ حامض على ست خلايا الشكل (٢- ٢) وتحتوي كل خلية على مجموعتين من أقطاب الرصاص تسمى الصفائح. وتفصل الصفائح عن بعضها برقائق من البلاستيك أو المطاط. ويحيط محلول من حام الكبريتيك و المسمى الإلكتروليت، بهذه الصفائح. يتصل كل قطب والمنتهي على سطح البطارية بمجموعة من هذه الصفائح. فتحات التهوية بجدار البطارية تسمح بإضافة الماء إلى الإلكتروليت، كما تسمح بتسريب الغازات الناتجة إلى الخارج. ويصنع قطبي البطارية من الرصاص (Pb) للقطب السالب و أكسيد الرصاص ($Pb\ O_2$) للقطب الموجب ، والسائل الإلكترواتى هو حامض الكبريتيك ($H_2\ SO_4$).

عند التفريغ يتحول الرصاص إلى كبريتلت الرصاص و يقل تركيز حامض الكبريتيك، بينما أثناء الشحن تتحول كبريتات الرصاص إلى أكسيد الرصاص و الرصاص نفسه مع إرتفاع في تركيز حامض الكبريتيك، و هكذا تعود الخلية إلى حالتها الأولى.

و يتأثر عمر الخلية بكمية كبريتات الرصاص المتراكمة على ألواح الرصاص و الارتفاع الزائد لتركيز الحامض مما يدعو إلى الاهتمام بقياس درجة تركيز الحامض باستمرار بواسطة هيدرومتر (جهاز قياس الكثافة) و تكون الكثافة في حالة الشحن 1.21 و يجب ألا تقل عن 1.18 عند التفريغ و يبلغ جهد الخلية المشحونة 2.2 فولت و يصل مع التفريغ إلى 1.8 فولت حيث يجب أن تشحن الخلية عندئذ ، و إلا فإن التفاعل يصير غير تبادلي، هذا و يرتفع الجهد عند الشحن حتى 2.6 فولت الشكل (٢- ٢)

كبرتة الأقطاب بالبطاريات الحامضية (Sulfation):

عند ترك البطارية مفرغة لمدة طويلة فإنها لا تشحن بانتظام و إن كبريتات الرصاص (Pb SO4) المكونة على الألواح أثناء التفريغ لا تختزل بالكامل إلى أكسيد الرصاص أو الرصاص و ينتج عن ذلك ارتفاع في المقاومة الداخلية للخلية و نقص في جودتها. و تنتج نفس الظاهرة أحيانا من الشحن الزائد أيضا. و يمكن إزالة هذه الكبرتة بالشحن المتوالي للبطارية عدة مرات بدون تفريغ حتى تزول الكبرتة.

وللمحافظة على البطارية فى حالة جيدة يجب مراعاة الآتي :

١. عدم ترك البطارية بدون شحن خاصة عندما يبلغ جهدها أقل قيمة للجهد.
٢. عدم ترك البطارية فارغة لمدة طويلة.
٣. يجب بقاء مستوى السائل الإلكتروليتي مغطياً الألواح تماماً وعدم تعريض الألواح للهواء مع إضافة الماء المقطر (فقط) عند اللزوم عند نقص السائل .

(ب) الخلايا القلوية:

يوجد نوعان شائعا الاستعمال من هذه الخلايا وهى خلية النيكل- كادميوم وخلايا النيكل- حديد.

١. خلايا النيكل- كادميوم (Nickel – Cadmium):

القطب الموجب هنا مصنوع من إيدروكسيد النيكل ، بينما القطب السالب من الكادميوم الإسفنجي . والسائل الإلكتروليتي عبارة عن محلول البوتاس بنسبة 20% . وتصنع الأقطاب من ألواح من الحديد المطلية بالنيكل وبها ثقوب تحمل المادة الفعالة ، والإناء الحاوي يصنع أيضاً من الحديد المطلي بالنيكل . و يلاحظ أن تركيز إيدروكسيد البوتاسيوم لا يتغير أثناء التفاعل و لذا فإنه يمكن استعمال كمية قليلة من السائل الإلكتروليتي مما يجعل البطارية أقل حجماً.

فمثلا البطارية الحامضية 100 أمبير ساعة تحوي 6.8 لتراً من السائل بينما البطارية القلوية 100 أمبير ساعة تحوي 1.2 لتراً من السائل.

٢. خلايا النيكل- حديد :

ويتكون القطب الموجب من إيدروكسيد النيكل بينما القطب السالب من الكادميوم الإسفنجي ، والسائل الإلكتروليتي هو محلول البوتاس . ويلاحظ هنا أيضاً عدم تغير تركيز السائل الإلكتروليتي مما يجعل وزن وحجم البطارية صغيراً .

ومن مزايا البطاريات القلوية ثبات المواد الفعالة على الألواح مما يجعلها أكثر تحملاً للصدمات وهي كذلك أخف وزناً وأقل حجماً لنفس السعة.

و تقدر جودة البطاريات القلوية بالآتي:

جودة الأمبير ساعة 66.6% جودة الوات ساعة 50% للكادميوم ، 48% للحديد.

سعة البطارية و تيار الشحن:

سعة البطارية (AH) = التيار المسحوب بالأمبير (A) × زمن السحب في الساعة (H)، فإذا كانت سعة البطارية 300 أمبير ساعة (300AH)، معنى ذلك أنه إذاً كان: تيار السحب = نصف أمبير، فإن زمن السحب 600 ساعة. و من ذلك نستنتج أنه كلما زاد التيار المسحوب يقل زمن الاستعمال، و العكس صحيح.

تجميع الخلايا فى بطاريات:

إن التيار الكهربائى هو نتيجة تحرك شحنات الكهربائية ، وهذه الشحنات المتحركة تلقى معارضة للحركة نتيجة لتصادمها مع ذرات وأيونات الوسط الذى تتحرك فيه . ويطلق على هذه المعارضة المقاومة ويسمى الوسط الذى تحدث فيه هذه المقاومة بالوسط المقاوم . ويرمز لها بالرمز R .

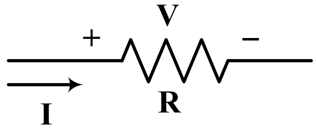
وتعرف المقاومة بأنها خارج قسمة فرق الجهد المسلط بين طرفي المقاومة على شدة التيار المار فيه . أي أن:

$$R = V / I$$

وبالتالي يمكن كتابة قانون أوم كالآتي:

$$V = I \times R$$

حيث R هي المقاومة (Resistance)، V هو فرق الجهد المسلط ، I هوالتيار المار ، ووحدة المقاومة R هي Volt/Ampere ويطلق عليها أوم (Ohm) نسبة إلى العالم الألماني جورج سيمون أوم الذى يعتبر أول من لاحظ هذه العلاقة عام ١٨٢٧ م. ويرمز للأوم بالحرف اللاتيني (Omega Ω). وتعرف العلاقة السابقة بقانون أوم (Ohm's law). والشكل (٢- ٣) يوضح اتجاه التيار I وكذلك فرق الجهد V عبر المقاومة R. وعموما سوف يتم شرح هذا القانون بالتفصيل في الوحدة الثالثة.



الشكل (٢- ٣)

وتجمع الخلايا فى مجموعات موصلة على التوالي والتوازي لتكوين بطارية أو مراكم ، ونلاحظ فى هذه الحالة ما يالي :

(أ) تجميع التوالي :

يوصل القطب الموجب لكل بطارية بالقطب السالب للبطارية التي تليها ثم توصل مقاومة الحمل بين القطب السالب لأول بطارية و القطب الموجب لآخر بطارية.

إذا فرضنا أن عدد الخلايا الموصلة مع بعضها البعض على التوالي n ، وجهد كل خلية E ، ومقاومتها الداخلية r ، فيكون :

الجهد الكلي للبطارية = $n\,E$ فولت

المقاومة الداخلية الكلية = $n\,r$ أوم

المقاومة الكلية بالدائرة = $R + n\,r$ أوم

ويكون التيار المار فى الدائرة (طبقاً لقانون أوم) هو:

$$I = \frac{\mathbf{n \times E}}{\mathbf{R + n \times r}}$$

فإذا كانت $R \ll n\,r$ فيكون :

$$I = \frac{\mathbf{n \times E}}{\mathbf{n \times r}} = \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{r}}$$

أي أن التيار I فى هذه الحالة هو تيار الخلية الواحدة ، وهو لايزيد بتوصيل الخلايا على التوالي . أما إذاً كانت $n\,r \ll R$ فإن التيار يصبح :

$$I = \frac{\mathbf{n \times E}}{\mathbf{R}} = n\,\frac{\mathbf{E}}{\mathbf{R}}$$

أي أن التيار يزيد هنا بعدد n مرة من التيار الناتج عن خلية واحدة . ولذلك فإن البطارية تعطي أقصى تيار للحمل إذاً كانت مقاومة الخلايا صغيرة جداً بالنسبة لمقاومة الحمل R . وعلى هذا الأساس فإن تجميع التوالي يستعمل فى حالة كون مقاومة الحمل كبيرة بالنسبة للمقاومة الداخلية للبطارية .

(ب) تجميع التوازي :

وتوصل جميع الأقطاب الموجبة مع بعضها والأقطاب السالبة مع بعضها البعض، وبذلك يكون جهد البطارية E مساوياً لجهد الخلية الواحدة. والمقاومة الداخلية لمجموعة خلايا قدره خلية، ومقاومة كل منها

$(1/n)\,r$ أوم ، وتكون

المقاومة الكلية بالدائرة :

$$R + (r/n)$$

وتيار الحمل يصبح :

$$I = \frac{E}{R + (r/n)}$$

فإذا كانت $R >> r/n$ فإن

$$I = E/R$$

أي يصبح التيار مساوياً للتيار الناتج عن خلية واحدة . أي لا فائدة تعود من هذه التوصيلة بهذا الوضع .

أما إذاً كانت $R << r/n$ فإن $I = n(E/r)$ وهو يساوى (n) مرة التيار الذى يمكن أن نحصل عليه من خلية واحدة . ولذا نستعمل مجموعات التوازي إذاً كانت مقاومة الحمل صغيرة جداً بالنسبة لمقاومة البطارية .

(ج) التجميع المركب:

إذا كان عدد الخلايا الموصلة على التوالي فى كل خط n خلية ، وكان عدد الخطوط الموصلة على التوازي m خطاً ،فتكون

المقاومة الداخلية لخلايا الخط الواحد = $n \times r$ أوم ،

وتكون :

المقاومة الكلية لعدد m خطاً = $n \times r/m$ أوم .

المقاومة الكلية بالدائرة = $R + (nr/m)$.

جهد البطارية = جهد الخط الواحد = $E\,n$ فولت .

تيار البطارية :

$$I = \frac{n \times E}{R + (n \times r/m)} = \frac{m \times n E}{m \times R + nr} = \frac{N \times E}{m \times R + n \times r}$$

حيث العدد الكلي للخلايا N هو:

$$N = m \times n$$

والقيمة القصوى للتيار تكون عندما يصير المقام ($m\times R + n\times r$) أقل ما يمكن ، وبفرض أن :

$$y = m\times R + n\times r$$
$$= (\sqrt{m\times R})^2 + (\sqrt{n\times r})^2$$
$$= (\sqrt{m\times R} - \sqrt{n\times r})^2 + 2\sqrt{m\times R}\sqrt{nr}$$

ويكون هذا المقدار أقل ما يمكن عندما يكون المقدار الذى بين القوسين أقل ما يمكن ، أي أن :

$$m\times R = n\times r$$

أي أن المقاومة الخارجية = المقاومة الداخلية للبطارية.

و تكون الجودة (الكفاءة) فى هذه الحالة ٥٠٪ ، ويعنى هذا أن نصف القدرة المعطاة من البطارية يستنفذ فى الحمل الخارجي والنصف الآخر يستنفذ فى المقاومة الداخلية للبطارية .

ويلاحظ أنه يمكن حساب التكوين الذى يعطي أعلى تيار من المعادلتين :

$$m\times n = N \quad , \quad m\times R = n\times r$$

جودة المجموعة المركبة η يمكن حسابها كالآتي :

$$\eta = \frac{\textbf{output}}{\textbf{input}} = \frac{\textbf{useful power}}{\textbf{total power produced}}$$

$$\eta = \frac{I^2 R}{I^2 R + I^2 r} = \frac{R}{R + r}$$

حيث r هي المقاومة الداخلية الكلية للبطارية و R هى مقاومة الحمل .

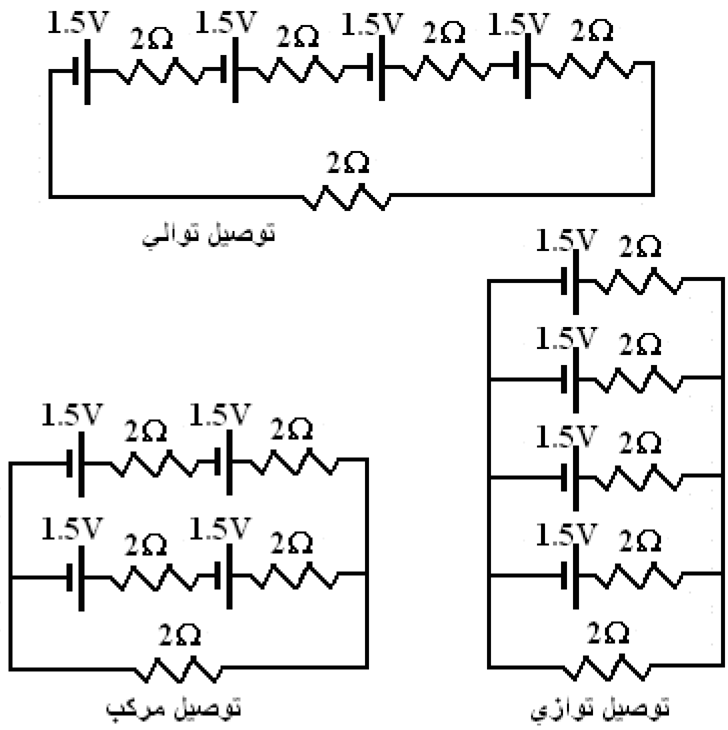
مثال (٣- ١):

أربعة أعمدة، القوة الدافعة للعمود الواحد 1.5V والمقاومة الداخلية 2Ω للعمود الواحد، تغذي مقاومة خارجية قدرها 2Ω الشكل (٢- ٤). احسب التيار المار إذا كانت الخلايا موصلة.

أ- على التوالي

ب- على التوازي

ج- على هيئة صفين (فرعين) متوازيين، بكل صف خليتان متوازيتان.



الشكل(٢ - ٤)

<u>الحل:</u>

أ- القوة الدافعة الكهربائية:

$$E = 1.5 \times 4 = 6\ V$$

المقاومة الداخلية للبطارية:

$$r_{int.} = 2 \times 4 = 8\ \Omega$$

التيار المسحوب إذاً كانت الخلايا موصلة على التوالي:

$$I = \frac{E}{r_{int} + r_{ext}} = \frac{6}{8+2} = 0.6A$$

ب- القوة الدافعة الكهربائية للعمود الواحد:

$$E = 1.5\ V$$

المقاومة الداخلية للبطارية:

$$r_{int.} = 2/4 = 0.5\ \Omega$$

التيار المسحوب إذاً كانت الخلايا موصلة على التوازي:

$$I = \frac{E}{r_{int} + r_{ext}} = \frac{1.5}{0.5+2} = 0.6A$$

ج- القوة الدافعة الكهربائية للصف الواحد:

$$E = 1.5 \times 2 = 3V$$

المقاومة للفرع الواحد (المقاومة الداخلية لبطاريتين على التوالي)= $4\ \Omega$

المقاومة الكلية للفرعين توازي

$$\frac{1}{4}+\frac{1}{4} = 2\Omega$$

التيار المسحوب إذاً كانت الخلايا موصلة على هيئة صفين متوازيين، بكل صف خليتان متوازيتان:

$$I = \frac{E}{r_{int} + r_{ext}} = \frac{3}{2+2} = 0.75A$$

القدرة القصوى التي تعطيها بطارية للحمل:

نفرض أن جهد البطارية	= E فولت
مقاومة البطارية الداخلية	= r_i أوم
مقاومة الحمل	= R أوم
الجهد الخارجي	= V فولت

$$V = E - I\times r_i = I\times R$$

$$E= I (R + r_i)$$

$$P= V\times I= E\times I - I^2 \times r_i$$

$$\frac{dP}{dI} = E - 2\times I\times r$$

القدرة القصوى يعني: $\frac{dP}{dI}$ = صفر

$$E = 2\times I\times r_i$$

$$I (R + r_i) = E = 2\times I \times r_i$$

أي أن:

$$R = r_i$$

أي أن البطارية تعطي أكبر قدرة للحمل عندما تكون مقاومة الحمل مساوية للمقاومة الداخلية للبطارية. و في حالة المجموعة المختلطة تكون القدرة القصوى التي تعطيها المجموعة للحمل عندما يكون:

$$m \times R = n \times ri$$

و في حالات مجموعة البطاريات على التوالي فإن أقصى تيار Imax تعطيه المجموعة عندما يكون

$$r.i << R$$

و في حالة مجموعة البطاريات على التوازي فإن أقصى تيار Imax تعطيه المجموعة عندما يكون

$$R << r \times i$$

<u>مثال (٣- ١):</u>

مجموعة بطاريات تتكون من 15 خلية كل منها 1.4 V ولها مقاومة داخلية 0.8Ω ومحملة بمقاومة قدرها 30Ω . أوجد : (أ) تيار التغذية ، (ب) الجهد على طرفي البطارية .

<u>الحل:</u>

جهد البطارية:

$$E = 15 \text{ x } 1.4 = 21V$$

المقاومة الداخلية الكلية للمجموعة:

$$= 0.8 \text{ x } 15 = 12\ \Omega$$

المقاومة الكلية للدائرة :

$$= 12 + 30 = 42\ \Omega$$

(أ) تيار التغذية:

$$I = 21 / 42 = 0.5\ A$$

(ب) الجهد على طرفي البطارية :

$$V = I \times R = 0.5 \times 30 = 15V$$

أو الجهد على طرفي البطارية:

$$V = E - I \times r = 21 - 0.5 \times 12 = 15\ V$$

مثال (٣- ٢):

يوجد ٢٤ خلية والمطلوب تشكيل هذه الخلايا فى بطارية مجمعة لتعطي أكبر تيار فى مقاومة حمل قدرها $5\ \Omega$ ، فإذا كان جهد اللاحمل لكل خلية $2.1\ V$ ومقاومتها الداخلية $2\ \Omega$ ، أوجد أحسن تشكيل وقيمة التيار فى الحمل .

الحل:

شرط الحصول على أعلى تيار هو :

$$m\times n = N \quad , \quad m\times R = n\times r$$

حيث أن r هى مقاومة الخلية الواحدة ، R هى مقاومة الحمل ،وn هو عدد الخلايا الموصلة على التوالى فى كل خط ، m هو عدد الخطوط الموصلة على التوازى ، N هو العدد الكلى للخلايا .

$$m\times R = n\times r \quad \text{or} \quad 5\ m = 2n \quad \text{or} \quad n = (5/2)\ m \qquad (4.1)$$

وكذلك

$$m\times n = N\ = 24 \qquad (4.2)$$

وبالتعويض من (4-1) في (4-2) نحصل على

$$m\ (5/2)\ m = (\ 5/2\ )\ \ m^2 = 24 \qquad \text{or}\ \ m^2 = (24\ )\times(2\ )/5 = 9.6$$

وبالتالي يمكن أن نحسب $m = 3$ خطاً ، فيكون $n = 8$ خلية فى كل خط . وتكون قيمة التيار المار فى الحمل فى هذه الحالة :

$$I = \frac{n\times E}{R+(n\times r/m)} = \frac{8\times 2.1}{5+(8\times 2)/3)} = 1.63\ A$$

تمارين على الوحدة الثانية:

١. ثمانية خلايا ، القوة الدافعة للخلية الواحدة $1.5V$ و المقاومة الداخلية لها 1.0Ω، تغذي مقاومة خارجية قدرها 4Ω ، احسب التيار المسحوب إذا كانت الخلايا موصلة:

أ- على التوالي ب- على التوازي

ج- على هيئة فرعين متوازيين، بكل فرع خليتان متوازيتان.

٢. عشرون خلية ، القوة الدافعة الكهربائية للخلية $2V$ والمقاومة الداخلية لها 1.5Ω ، وصلت على أربعة أفرع على التوازي ، بحيث يكون كل فرع يشتمل على خمسة خلايا على التولي والمطلوب:

أ- الجهد على طرفي كل فرع

ب- الجهد الكلي على طرفي الدائرة

ج- المقاومة لكل فرع

د- المقاومة الكلية على طرفي الدائرة

و- إذا وصلت على طرفي الدائرة حمل مقاومته 10Ω أوم فأحسب التيار المار في الحمل

٣. بطارية تعطي تياراً قدره $0.6A$ عندما تكون المقاومة الخارجية 2.0Ω وتعطي تياراً قدره $0.2A$ عندما تكون المقاومة الخارجية 12Ω أوجد:

أ- المقاومة الداخلية.

ب- جهد البطارية في حالة اللاحمل.

الوحدة الثالثة

مبادئ ودوائر التيار المستمر

الهدف العام للوحدة: معرفة القواعد الأساسية للدوائر الكهربائية ذات التيار المستمر وكيفية التعامل مع العناصر الكهربائية والكميات الكهربائية ووحداتها والقوانين التي تحكم الدائرة الكهربائية.

الأهداف التفصيلية:

(١) أن يعرف المتدرب التعريفات الأساسية لعناصر الدائرة الكهربائية للتيار المستمر ووحداتها مثل شدة التيار ، وفرق الجهد ، والمقاومة وكذلك العلاقات المختلفة مثل قانون أوم وطرق حساب القدرة والطاقة الكهربائية.

(٢) أن يتقن المتدرب حل الدوائر الكهربائية الموصلة على التوالي وتطبيق قانون كيرشوف للجهد وقاعدة توزيع الجهد.

(٣) أن يتقن المتدرب حل الدوائر الكهربائية الموصلة على التوازي وتطبيق قانون كيرشوف للتيار وكذلك قاعدة توزيع التيار.

(٤) أن يتقن المتدرب حساب الكميات الكهربائية المختلفة للدوائر الموصلة على التوالي والتوازي معاً.

(٥) أن يتقن المتدرب حل الدوائر الكهربائية الموصلة على الشكل نجمة أو على الشكل دلتا و إجراء التحويل في الربط من نجمة إلى دلتا أو العكس.

مبادئ التيار المستمر

تقوم المنظومات الكهربائية بوظيفتين ، فإما أن تكون وسيطاً فى استغلال الطاقة المتوفرة فى الطبيعة بأنواعها المختلفة ، وذلك بتحويلها إلى طاقة كهربائية يسهل نقلها وتوزيعها إلى حيث الحاجة ، فيعاد تحويلها إلى الشكل الذى يستفاد منه كطاقة حرارية أو ميكانيكة أو غير ذلك . وإما أن تقوم المنظومة الكهربائية بدور الوسيط لنقل المعلومات ، وعندئذ تكون الطاقة الكهربائية واسطة نقل معلومات ، ويلزم لذلك الحد الأدنى من الطاقة التى تكفي لتحويل المعلومات إلى إشارات الكهربائية والتى يمكن أن تنقل إلى أماكن بعيدة ، ومن ثم يعاد تحويلها إلى الصيغ التى يستفاد منها لكي تكون إشارات صوتية أو إشارات توجيه أو سيطرة .

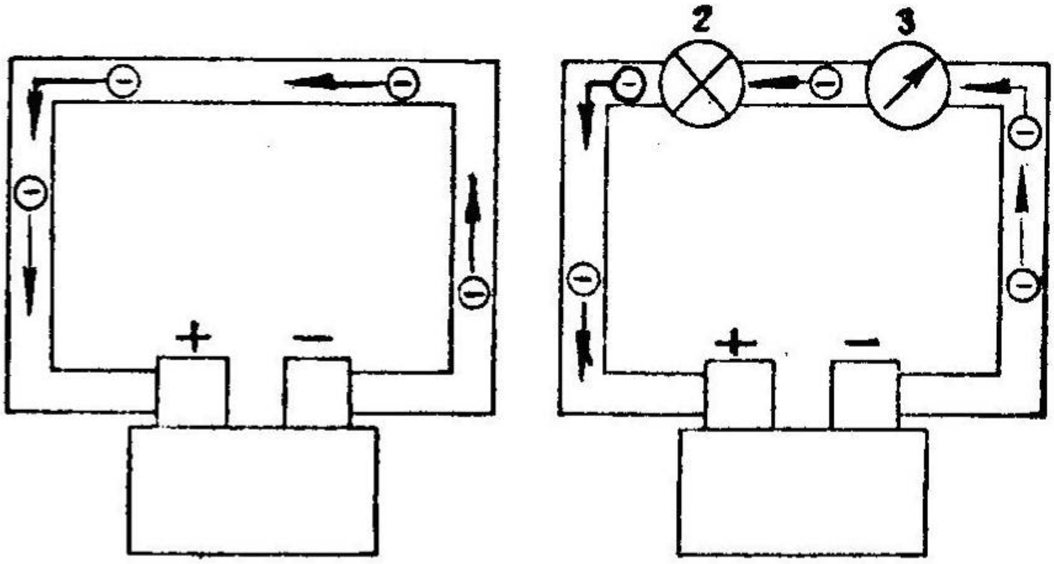
وفى هذا الفصل سيتم شرح التعريفات الأساسية للكميات الكهربائية المستخدمة فى دوائر التيار المستمر مثل شدة التيار وفرق الجهد والمقاومة والقدرة والطاقة الكهربائية بالإضافة إلى دراسة العلاقات والقوانين الهامة مثل قانون أوم وطرق حساب القدرة والطاقة الكهربائية والكفاءة.

شدة التيار الكهربائى : (Electric Current)

يقصد بالتيار الكهربائي تحرك أو سريان شحنة الكهربائية فى اتجاه ما تحت تأثير قوة المجال الكهربائي . وحيث أن الذرة للمادة تتكون من نواة تحتوي على نيترونات متعادلة الشحنة وبروتونات موجبة الشحنة ويدور في المدار الخارجي للذرة إلكترونات سالبة الشحنة ، ولذلك فإنه يوجد نوعان من الشحنة الكهربائية ، شحنة موجبة (شحنة البروتون) وشحنة سالبة (شحنة الإلكترون) ، وسريان شحنة موجبة فى اتجاه ما يكافئ سريان شحنة سالبة متساوية فى المقدار ومتضادة فى الاتجاه . وذلك لأن انتقال شحنة سالبة من مكان ما يترك وراءه نقصاً فى الشحنة السالبة أي زيادة مساوية فى الشحنة الموجبة. ولقد اصطلح على اعتبار اتجاه التيار الكهربائي بأنه هو اتجاه سريان الشحنة الموجبة ، أي إن اتجاه التيار فى هذه الحالة هو عكس اتجاه سريان الإلكترونات الحرة.

إن التيار الكهربائي المزود من البطاريات (خلايا جافة) هو عبارة عن تيار ثابت، و إذا نظرنا

إلى البطارية الجافة المبينة بالشكل (٣- ١) نجد أن طرفي البطارية (القطبين) ، أحدهما يعرف بالقطب السالب، و الآخر بالقطب الموجب. فإذا وصلنا ناقلاً سلكياً بين القطبين أي إذا وصلنا أحد نهايات الناقل بالقطب الموجب و النهاية الأخرى بالقطب السالب كما هو مبين بالشكل (٣- ١) فنجد أن الشحنات السالبة سوف تتحرك من القطب السالب إلى القطب الموجب باستمرار و هي عكس اتجاه التيار الكهربائي. فإذا وضعنا مصباحاً كهربائياً بين طرفي الناقل كما هو مبين بالشكل (٣- ١ب)، نجد أن المصباح يضيء، و هذا دليل على مرور التيار الكهربائي. و إذاً وضعنا مقياس الأمبير بين طرفي الناقل، فإن المؤشر سوف يتحرك إلى الطرف الآخر، مما يدل على مرور التيار الكهربائي عبر الناقل.



ب أ

1-خلية جافة. 2- مصباح. 3 – مقياس الأمبير.

الشكل (٣- ١) التيار الكهربائي

وتعرف شدة التيار الكهربائي المار فى موصل عبر مقطع ما بأنها كمية الشحنة الموجبة (أو ما يكافئها من الشحنة السالبة) التى تعبر هذا المقطع فى الثانية الواحدة .ويرمز لشدة التيار بالرمز I والشحنة بالرمز Q والزمن بالرمز t ، وعليه فإن شدة التيار تعطى بالمعادلة :

$$\mathbf{I} = \frac{\mathbf{dQ}}{\mathbf{dt}} \quad (C/s) \quad \text{Coulomb /second} \qquad (3\text{-}1)$$

ووحدة التيار هى ألأمبير (Ampere) ويرمز له بالرمز A ، فى النظام العالمى ، أي أن

1 Ampere = Coulomb /second

وحيث إن التيار المستمر هو تيار ثابت فى المقدار والاتجاه (لا يعتمد على الزمن) فإنه يأخذ الصورة :

$$I = \frac{Q}{t} \qquad \text{Ampere} \quad (A) \tag{3-2}$$

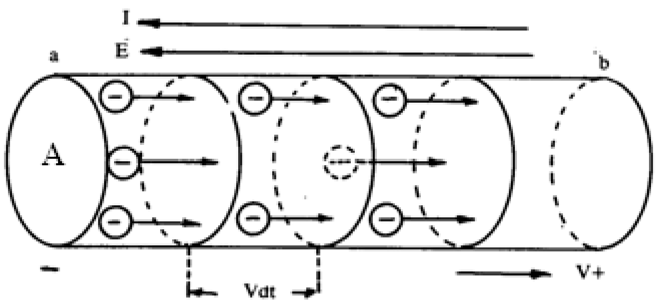
التعبير عن التيارات الصغيرة بالملي أمبير (mA) و يساوي $0.001\ A$ و بالميكرو أمبير (μA) ويساوي $(0.000001A)$ واتجاه التيار المصطلح هو عكس اتجاه تحرك الشحنات السالبة في الموصلات. وإذا أخذنا اتجاه التيار وعلاقته باتجاه هذه الشحنة فإن المعادلة (3-2) يمكن كتابتها بالصورة التالية:

$$I = \frac{dQ}{dt} \tag{3-2-a}$$

إذا تعرضت قطعة من سلك موصل منتظم الشكل (٣- ٢) لمجال كهربائي شدته E و متجه إلى اليسار فإن الإلكترونات ستتحرك إلى اليمين. فإذا فرضنا أن كل إلكترون يسير بسرعة ثابتة مقدارها v فإنه سيقطع مسافة قدرها vdt في زمن قدره dt .وإذا كانت مساحة مقطع السلك A و كانت n عدد الإلكترونات الحرة في وحدة الحجم، فإن عدد الإلكترونات التي تمر من مقطع السلك في الزمن dt تساوي $n \times A \times v \times dt$. فإذا كانت **e** تمثل شحنة الإلكترون فإن الشحنة الكلية التي تمر في هذه المسافة في الزمن dt هي :

$$dq = e \times n \times v \times A \times dt \tag{3-3}$$

$$I = \frac{dQ}{dt} = n \times e \times v \times A \tag{3-4}$$



الشكل (٣- ٢)

كثافة التيار:

تعرف كثافة التيار (**J**) لموصل ما بأنها خارج قسمة التيار على مساحة مقطع الموصل أي أن:

$$J = I / A = n \times e \times v \qquad (3\text{-}5)$$

و تحدد المعادلة (٣- ٥) متوسط كثافة التيار في المساحة **A**. فإذا لم يكن التيار موزعاً بانتظام فإنه يمكن اعتبار مرور التيار خلال مساحة متناهية في الصغر مقدارها **dA** و بذلك يمكن كتابة كثافة التيار بالصيغة التالية:

$$J = dI / dA \qquad (3\text{-}6)$$

أي إن كثافة التيار عبارة عن التيار خلال وحدة المساحة العمودية على اتجاه سريان الشحنة.

كمية الكهرباء: (Quantity of Charge)

تعرف كمية الكهرباء على أنها عدد الإلكترونات التى تمر خلال مساحة مقطع مستعرض لموصل فى الثانية الواحدة.

ويرمز لكمية الكهرباء بالرمز Q ووحدتها الكولوم (وحدة الشحنة الكهربائية) وبالتالي يمكن الحصول على كمية الكهرباء من التعريف السابق لشدة التيار ، أى أن

$$Q = I \times t \qquad \text{Ampere – second (Coulomb)} \qquad (3\text{-}7)$$

حيث I هى شدة التيار الكهربى ، t هو الزمن .

أي إنه يمكن الحصول على كمية كهرباء قدرها ١ كولوم عند مرور تيار كهربائي مقداره واحد أمبير لفترة مقدارها ثانية واحدة.

□

الجهد الكهربائي : (Electric Potential)

يصحب أي انفصال فى الشحنة الكهربائية استهلاك فى الطاقة ، أو شغل . وتكتسب الإلكترونات جزءاً من الطاقة المستهلكة عند فصل الشحنات. ويمكن هذا الشغل من مرور

الإلكترونات عبر دائرة كهربائية مقفلة إلى القطب الموجب لمصدر الجهد ، مسببة توازنا فى الشحنات . ويسمى الشغل هذا بالجهد الكهربائي . أو بمعنى أصح يعرف فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين بأنه الشغل المبذول لتحريك وحدة الشحنات الموجبة بين النقطتين فى اتجاه عكس المجال الكهربائي الموجود بينهما.

القوة الدافعة الكهربائية : (Electromotive Force)

ومن المنابع التى لها فرق جهد ما يلى:

(١) البطاريات:

لقد سبق شرحها فى الوحدة الثانية وفيها تتحول الطاقة الكيميائية أثناء عملية التفريغ إلى طاقة كهربائية . وهى تتيح لنا فروق جهد صغيرة نسبياً بين طرفيها. ويسري التيار الكهربائي خارج البطارية من القطب الموجب عبر الأحمال المختلفة إلى القطب السالب . والتيار لابد أن يسري فى مسار مقفل ، أي إنه لابد أن يسري داخل البطارية من القطب السالب إلى القطب الموجب . والشغل المبذول لتحريك وحدة الشحن من القطب السالب إلى القطب الموجب داخل البطارية يسمى القوة الدافعة الكهربائية للبطارية ، والتى يرمز لها بالرمز E ووحدتها هي وحدة فرق الجهد أي الفولط (Volt) ويرمزلها بالرمز V.

(٢) المولدات الكهربائية:

في مولدات التيار المستمر وفيها تتحول الطاقة الحركية إلى طاقة الكهربائية ، وهذه الطاقة تتيح فرق جهد عالياً نسبياً . ومثل البطاريات فإن هناك قوة دافعة كهربائية تدفع التيار إلى المرور من القطب السالب للمولد إلى القطب الموجب للمولد داخل أسلاك المولد نفسه. ويرمز لها أيضاً بالرمز E .

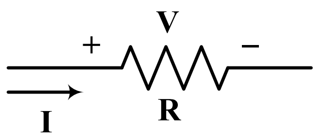
المقاومة وقانون أوم : (Resistance and Ohm's law)

يمر التيار الكهربائي نتيجة تحرك الشحنات الكهربائية ، وهذه الشحنات المتحركة تلقى معارضة للحركة نتيجة لتصادمها مع ذرات وأيونات الوسط الذى تتحرك فيه . ويطلق على هذه المعارضة " المقاومة " ويسمى الوسط الذى تحدث فيه هذه المقاومة بالوسط المقاوم . ويرمز لها بالرمز R.

وتعرف المقاومة بأنها خارج قسمة فرق الجهد المسلط بين طرفي المقاومة على شدة التيار المار فيه . أي أن :

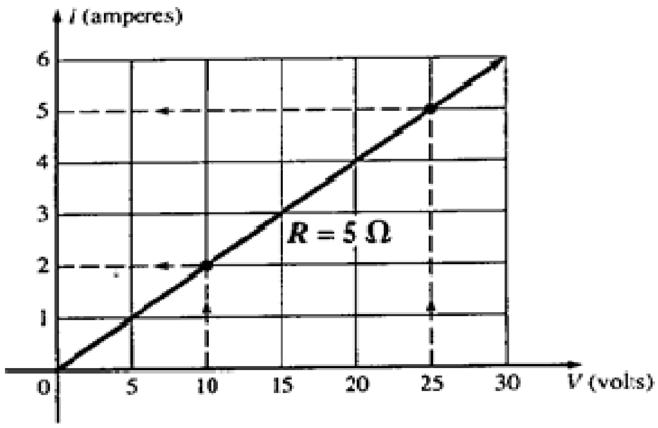
$$R = V / I \qquad (3\text{-}8)$$

حيث R هى المقاومة (Resistance)، V هو فرق الجهد المسلط ، I هوالتيار المار . و وحدة R هى Volt / Ampere ويطلق عليها أوم (Ohm) نسبة إلى العالم الألمانى جورج سيمون أوم الذى يعتبر أول من لاحظ هذه العلاقة عام ١٨٢٧ م. ويرمز للأوم بالحرف اللاتينى Ω (Omega) . وتعرف العلاقة (3-8) بقانون أوم (Ohm's law) . الشكل (٣- ٣) يوضح اتجاه التيار I وكذلك فرق الجهد V عبر المقاومة R .



الشكل (٣- ٣)

ولقد لاحظ أوم أن مقاومة الموصلات المعدنية ثابتة عند درجة حرارة معينة ولا تتوقف على أي من فرق الجهد أو التيار . أي أن العلاقة بين فرق الجهد V المسلط عبر طرفيه وبين التيار الناتج I هي علاقة خطية عند درجة حرارة معينة ، أي أن هذه العلاقة تمثل بخط مستقيم كما فى الشكل (٣- ٤). وميل هذا الخط المستقيم بالنسبة لمحور التيار هو المقاومة R ومن أمثلة المقاومات الخطية الموصلات المعدنية.



الشكل (٣- ٤) العلاقة بين فرق الجهد والتيار المار في الموصل.

العوامل التى تتوقف عليها مقاومة موصل:

(١) طول الموصل (L) ، المقاومة تتناسب تناسبا طرديا مع طول الموصل.

(٢) مساحة المقطع (A) ، مقاومة الموصل تتناسب تناسبا عكسيا مع مساحة مقطع الموصل.

(٣) المقاومة النوعية للموصل (ρ) ، مقاومة الموصل تتوقف على نوع مادة الموصل.

(٤) درجة الحرارة (T)

تتناسب مقاومة الموصل تناسباً طردياً مع طول الموصل وتتناسب عكسياً مع مساحة مقطعه وذلك عند ثبوت درجة الحرارة ، ولذلك أمكن الحصول على العلاقة :

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (\Omega) \qquad (3\text{-}9)$$

حيث ρ ثابت يتوقف على نوع المادة وتسمى المقاومة النوعية (Resistivity) ، ووحدتها هـى أوم_متر (Ohm_meter) . و L هـي طول الموصل وتقاس بالمتر (m) ، و A هـي مساحة مقطع الموصل وتقاس بالمتر المربع (m^2) . وجدير بالذكر أن نعرف هنا ما يسمى الموصلية النوعية (Conductivity) σ وهي مقلوب المقاومة النوعية ρ ، أي أن

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{L}{RA} \quad (\text{mho}) \qquad (3\text{-}10)$$

ووحدة σ هي $(\text{Ohm- meter})^{-1}$ أو S/m حيث $1 \text{ siemens (S)} = 1 (\text{ohm})^{-1}$

ويجدر بنا أيضاً أن نعرف هنا ما يعرف بالموصلية (G (Conductance وهي مقلوب المقاومة ، أي أن: $G = 1 / R\ (mho)$ ، أى أن وحدة G هى mho ، أو $(ohm)^{-1}$ ، أو S (Siemens) ،

تأثير درجة الحرارة على مقاومة الموصل :

تتغير المقاومة النوعية للمواد المختلفة مع تغير درجة الحرارة ، وتأخذ الصورة :

$$\rho_T = \rho_0 (1 + \alpha_0 T) \qquad (3\text{-}11)$$

حيث T هى درجة الحرارة مقاسة بالتقدير المئوي ، α_0 يسمى المعامل الحراري للمقاومة النوعية منسوباً للصفر المئوي. ويمكن الحصول على العلاقة التى تمثل تغير المقاومة مع درجة الحرارة كالآتي :

$$R_T = \frac{\rho_T L}{A} \quad (\Omega) \quad , \qquad R_0 = \frac{\rho_0 L}{A} \quad (\Omega)$$

وبالتالي يمكن الحصول على الصورة :

$$R_T = \frac{\rho_T L}{A} = \frac{\rho_0 L}{A}(1 + \alpha_0 T)$$

أي أن

$$R_T = R_0 (1 + \alpha_0 T) \qquad (3\text{-}12)$$

ويمكن الآن إيجاد المقاومة عندما ترتفع درجة الحرارة من T_1 إلى T_2 كالآتي :

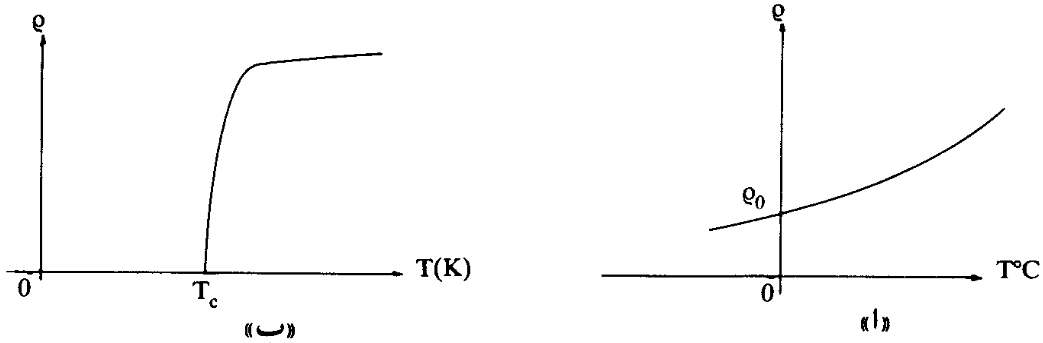
$$R_{T1} = R_0 (1 + \alpha_0 T_1), \qquad R_{T2} = R_1 (1 + \alpha_1 T_2) \qquad (3\text{-}13)$$

وبالتالي يمكن الحصول على الصورة :

$$R_{T2} = R_{T1} [1 + \alpha_{T1} (T_2 - T_1)] \qquad (3\text{-}14)$$

المعامل الحراري الموجب و المعامل الحراري السالب:

العلاقات المستنتجة أعلاه تصلح فقط للمعادن أما في حالة السوائل الموصلة فإن المقاومة تنخفض بارتفاع درجة الحرارة نتيجة انخفاض لزوجة المحلول بارتفاع الحرارة مما يؤدي إلى زيادة سرعة الأيونات، و لهذا فإن المعامل الحراري للمقاومة يكون سالباً. و في حالة أشباه الموصلات تقل المقاومة بارتفاع درجة الحرارة بسبب زيادة عدد الإلكترونات الحرة. و يلاحظ أن هناك طائفة من المعادن تسمى بالموصلات فائقة (مفرطة) التوصيل الشكل (٣-٥) و التي تختفي فيها المقاومة تماماً عند درجات حرارة أقل من 10 درجات مطلقة ولذلك سميت بالمواد فائقة التوصيل مرتفعة الحرارة و تصنع من مواد خزفية.



الشكل (٣- ٥)

أ- العلاقة بين المقاومة النوعية ρ و درجة الحرارة T للموصلات.

ب- العلاقة بين المقاومة ρ النوعية و درجة الحرارة T للمواد فائقة التوصيل.

حيث أن

$$\alpha_{T1} = \alpha_0 / (1 + \alpha_0 T_1) \qquad (3\text{-}15)$$

α_{T1} هو المعامل الحراري للمقاومة النوعية منسوباً لدرجة الحرارة T_1 . وهذا المعامل يكون موجباً للموصلات المعدنية ، أي أن المقاومة R تزداد بازدياد درجة الحرارة T.

مثال (٣- ١):

موصل نحاسي طوله 5 m وقطر مقطعه الدائري المستعرض 5 mm ، احسب مقاومته عند درجة حرارة $20^{o}C$ إذاً كانت المقاومة النوعية للنحاس عند $20^{o}C$ تساوي $1.72 \times 10^{-8}\ \Omega.m$

الحل:

يمكن الحصول على مقاومة الموصل من العلاقة التالية :

$$R = \rho L / A$$

حيث L طول الموصل ، ρ هى المقاومة النوعية ، A هى مساحة مقطعه وهى تساوي

$$A = \pi D^2 /4$$

حيث D هو قطر الموصل ، لذلك يمكن الحصول على المساحة كالآتي :

$$A = \pi D^2 /4 = \pi (5 \times 10-3)^2 /4 = 6.25 \pi \times 10-6 m^2$$

ولذلك يمكن الحصول على المقاومة R كالآتي :

$$R = \rho L / A = (1.72 \times 10-8) (5) / (6.25 \pi \times 10-6) = 4.38 m \Omega$$

مثال (٣- ٢):

إذا كانت مقاومة موصل معدني 7Ω عند $0^o C$ ، وتصبح 7.8 Ω عند $200^o C$ ، احسب معامل درجة حرارة المعدن عند $200^o C$.

الحل:

يمكن حساب معامل درجة حرارة المعدن باستخدام العلاقة الآتية:

$$R_{T2} = R_{T1} [1+ \alpha_{T1} (T_2 – T_1)]$$

أى أن

$$R_0 = R_{T1} [1+ \alpha_{T1} (T_0 – T)]$$

وبالتعويض عن القيم المعطاه فى الصورة السابقة ، أي

$$7 = 7.8 [1+ \alpha_{T1} (0 – T)]$$

$$\alpha_{T1} = -.8/(7.8\times200) = -5.128\times10^{-4}$$

ومن ذلك نحصل على α_{T1} (معامل درجة الحرارة عند $200^o C$) { $5.128\times10^{-4} C^{-1}$

مثال (٣- ٣)

موصل مقاومته $25\ \Omega$ تزداد مقاومته بمقدار 10% عندما تزداد درجة حرارته من 15^{o} إلى $50^{o}\ C$ ، أحسب متوسط ارتفاع درجة حرارة الموصل عند درجة حرارة محيطة تبلغ $20^{o}\ C$ عندما تكون مقاومته 30Ω ويكون معامل درجة الحرارة ثابتاً .

الحل:

يمكن حل هذا المثال باستخدام العلاقة الآتية:

$$R_T = R_0 (1+ \alpha_0 T)$$

وبالتالي يكون

$$R_{15} = 25 = R_0 (1+ 15\alpha_0) \quad ,$$
$$R_{50} = 25+2.5 = 27.5 = R_0 (1+ 50\alpha_0)$$

بحل المعادلتين السابقتين معاً نحصل على:

$$\alpha_0 = 0.0029850\ C^{-1} \quad , \quad R_0 = 23.9286\ \Omega$$

ويمكن حساب درجة حرارة الموصل عندما تكون مقاومته $30\ \Omega$ كالآتي :

$$R_T = 30 = R_0 (1+ \alpha_0 T) = 23.9286 (1+ 0.002985 T)$$

وبالتالي نحصل على درجة الحرارة $T = 85^{0}\ C$

وبالتالي يكون الارتفاع فى درجة الحرارة ΔT

$$\Delta T = 85 - 20 = 65°\ C$$

القدرة والطاقة الكهربائية: Electric Power and Energy

عند مرور تيار كهربائي قدره I فى موصل مقاومته R فإن طاقة كهربائية تتحول إلى طاقة حرارية تعمل على رفع درجة حرارة المقاومة . فإذا كان الجهد بين طرفي هذا الموصل هو V فإن شحنة قدرها dQ تمر فى زمن قدره dt تعطى بالعلاقة التالية:

$$dQ = I\,dt$$

وتكون بالتالي الطاقة التى تكتسبها هذه الشحنة فى الصورة :

$$dW = V\,dQ = V\,I\,dt$$

والقدرة الكهربائية التى تعرف على أنها معدل تغير الطاقة بالنسبة للزمن تكون :

$$P = dW / dt = V\,I\,dt / dt = V\,I \qquad (3\text{-}16)$$

أي أن القدرة الكهربائية P تعطى قيمتها من شدة التيار وفرق الجهد ، ووحدتها هى joule/s أو (Watt) ومن قانون أوم نجد أن

$$V = I \times R \quad , I = V / R$$

لذلك يمكن أن تأخذ القدرة P الصور التالية:

$$P = V \times I = I^2 R = V^2 / R \quad \text{Watt} \qquad (3\text{-}17)$$

فى حالة المنبع الكهربائي فإن الشحنة تتحرك داخله من النقطة الأقل جهداً إلى النقطة الأعلى جهداً ، أي أنها تكتسب طاقة كهربائية أثناء مرورها داخل المنبع ، وهذا لابد أن يأتي من صورة مختلفة من صور الطاقة ، فإذا كان المنبع مثلاً بطارية فإن الطاقة الكيميائية تتحول إلى طاقة كهربائية ، وتكون القدرة فى هذه الحالة :

$$P = E \times I \quad \text{Watt} \qquad (3\text{-}18)$$

حيث E هي القوة الدافعة الكهربائية للبطارية .

ويمكننا الحصول على الطاقة الكهربائية المفقودة أو المكتسبة W كالآتي:

$$W = P \times t \quad (\text{Watt-sec} \quad \text{or} \quad \text{Joules}) \qquad (3\text{-}19)$$

الكفاءة: (Efficiency)

تنتقل الطاقة الكهربية من المصدر الكهربائي إلى الأحمال عبر الموصلات الكهربائية و يمكننا أن نعرف عندئذ الكفاءة η للنظام كالآتي :

$$\eta = P_o / P_i \tag{3-20}$$

حيث P_o هي القدرة الخارجة بالوات (قدرة الحمل) و P_i هي القدرة الداخلة بالوات (قدرة المنبع) و التي يمكن حسابها كالآتي :

$$P_i = E \times I \quad \text{Watt} \tag{3-21}$$

حيث E هو جهد المنبع ، I هو التيار الداخل . ويمكن كذلك حساب P_i كما يلي :

$$P_i = P_o + P_{loss} \tag{3-22}$$

حيث P_{loss} هي القدرة المفقودة فى الموصل ، والتى يمكن حسابها كالآتي :

$$P_{loss} = I^2 R$$

حيث I هو شدة التيار و R هى المقاومة .

ويمكننا كذلك أن نعرف الكفاءة η بدلالة الطاقة كالآتي :

$$\eta = W_o / W_i$$

حيث W_o هي الطاقة الخارجة و W_i هي الطاقة الداخلة .

مثال (٣- ٤):

احسب التيار المار في المقاومة $2\ K\ \Omega$ إذاً كان فرق الجهد بين طرفيها $16\ V$.

الحل:

يمكن حساب التيار الكهربائي I طبقا لقانون أوم كالآتي :

$$I = V / R = (16 / 2000) = 8\ m\,A$$

حيث V هو فرق الجهد بين طرفي المقاومة ، R هي المقاومة .

مثال (٣- ٥):

احسب القدرة المفقودة في المقاومة 5Ω إذاً كان التيار المار بها $4\ A$.

الحل:

القدرة المفقودة فى المقاومة هي :

$$P = I^2 R = (4)^2 (5) = 80\ W$$

مثال (٣- ٦):

احسب الطاقة الكهربائية اللازمة لإضاءة مصباح كهربائي قدرته $60\ W$ لمدة سنة .

الحل:

يمكن حساب الطاقة الكهربائية W كالآتي:

$$W = P\times t = 60\ (24)\ (\ 365\ )\ /\ 1000 = 525.6\ KWh$$

حيث P هي القدرة الكهربائية و t هو الزمن .

مثال (٣- ٧):

احسب قدرة المحرك الكهربائي إذاً كانت الكفاءة 80% وكان التيار المغذي للمحرك $8\ A$ عند جهد $120\ V$

الحل:

حيث إن الكفاءة η تعطى بالعلاقة :

$$\eta\ \% = (\ P_o\ /\ P_i\ )\ (100\ \%)$$

$$P_i = V\ I = (120)\ (8) = 960\ W$$

ولذلك نحصل على قدرة المحرك P_o كما يلي :

$$0.80\ = (\ P_o\ /\ 960)$$

$$P_o = (0.8)\times(960) = 768\ W$$

ويمكن الحصول على قدرة المحرك بالحصان ((hourse_ Power (hp كالآتى :

$$P_o = 768\ W\ (1\ hp / 746\ W) = 1.029\ hp$$

مثال (٣- ٨):

تبلغ القدرة التي يأخذها ملف مقاوم مصنوع من سلك نحاسي 220 W عند 110 V و 20^0 C . احسب القدرة التى يستهلكها الملف عند 110 V و 120^0 C، إذاً كان معامل درجة الحرارة عند 20^0 C هو $0.00393\ C^{-1}$.

الحل:

يمكننا الحصول على القدرة المطلوبة P_{120} كما يلي :

$$P_{20} = V^2 / R_{20}$$

$$R_{20} = V^2 / P_{20} = (110)^2 / 220 = 55$$

$$R_{120} = R_{20}\,[\,1 + \alpha_{20}\,(120 - 20)\,] = 55\,[\,1 + 0.00393\,(100)\,]$$

$$= 76.615\ \Omega$$

$$P_{120} = V^2 / R_{120} = (110)^2 / 76.615 = 157.93\ W$$

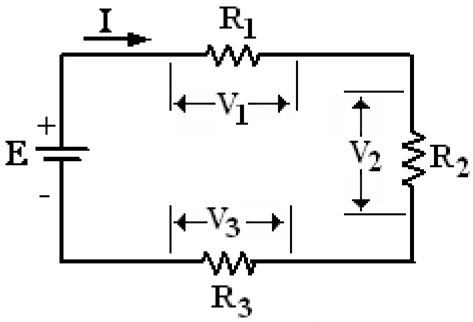
توصيل المقاومات و البطاريات على التوالي

مقدمة :

في هذه الوحدة سيتم شرح كيفية توصيل المقاومات والبطاريات على التوالي فى الدوائر الكهربائية ، بالإضافة إلى شرح قانون كيرشوف للجهد وقاعدة توزيع الجهد ، مع توضيح ذلك بأمثلة متنوعة .

توصيل المقاومات على التوالى :

إذا ما تم توصيل عدد من المقاومات بشكل ما بحيث يسري نفس التيار في كل منها ، فإن هذا التوصيل يسمى بالتوصيل على التوالي كما هو موضح في الشكل (٣- ٦) . من هذا الشكل يمكننا إيجاد المقاومة الكلية R_T كالآتي :



الشكل (٣- ٦) توصيل المقاومات على التوالي.

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 \quad \Omega$$

ويمكننا إيجاد المقاومة الكلية فى الصورة العامة لعدد N من المقاومات الموصلة على التوالي كما يلى:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \text{---------------} + R_N \quad \Omega \qquad (3\text{-}23)$$

يمكن الحصول كذلك من الشكل (٣- ٦) على التيار I طبقاً لقانون أوم ، أي أن :

$$I = E/R_T \quad A \qquad (3\text{-}24)$$

حيث E هى القوة الدافعة الكهربائية للبطارية . ويمكن كذلك إيجاد فرق الجهد عبر كل مقاومة فى الصورة العامة طبقاً لقانون أوم كما يلي :

$$V_1 = I \times R_1 \;,\; V_2 = I \times R_2 \;,\; V_3 = I \times R_3 \;,\; \text{--------},\; V_N = I \times R_N \quad V \qquad (3\text{-}25)$$

والقدرة المفقودة فى كل مقاومة يمكن حسابها باستخدام أي من المعادلات التالية الموضحة (فى حالة المقاومة R_1) :

$$P_1 = V_1 I_1 = I_1^2 R_1 = V_1^2 / R_1 \ \ W \qquad (3\text{-}26)$$

وقدرة المنبع تكون فى هذه الحالة :

$$P_{del} = E \times I \quad W$$

ولأي عدد N من المقاومات موصلة على التوالي تكون القدرة المفقودة فى هذه المقاومات :

$$P_{del} = P_1 + P_2 + P_3 + \text{-------------} + P_N \qquad (3\text{-}27)$$

ونلاحظ هنا أن قدرة المنبع($P_{delivered}$) تساوي القدرة المفقودة في المقاومات المتصلة على التوالي بهذا المنبع.

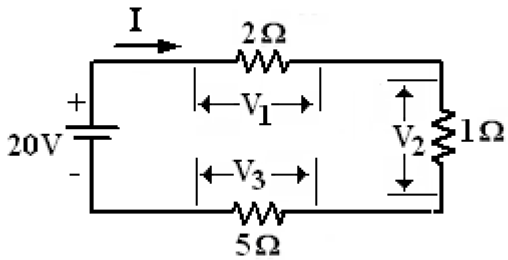
مثال (٣- ٩):

للدائرة الموضحة في الشكل (٣- ٧) ، احسب :

(أ) المقاومة الكلية والتيار الكهربائي.

(ب) فرق الجهد الكهربائي V_1 و V_2 و V_3 عبر المقاومات R_1 و R_2 و R_3 .

(ج) القدرة المفقودة في المقاومات R_1 و R_2 و R_3 ، وكذلك قدرة المنبع .



الشكل (٣- ٧)

الحل:

(أ) المقاومة الكلية R_T نحصل عليها من المعادلة (3-23) وهي :

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

وطبقا لقانون أوم نحصل على التيار I المار في الدائرة ، أي أن

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

(ب) وفروق الجهد الكهربائي V_1 و V_2 و V_3 عبر المقاومات R_1 و R_2 و R_3 هي :

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

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

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

$V_1 + V_2 + V_3 = 5 + 2.5 + 12.5 = 20V$

(ج) القدرة المفقودة فى المقاومات R_1 و R_2 و R_3 هي على الترتيب :

$P_1 = I_1^2\,R_1 = (2.5)^2\,(2) = 12.5\ W\,,\ \ P_1 = V_1\,I_1 = (5)\,(2.5) = 12.5\ W$

$P_2 = I_2^2\,R_2 = (2.5)^2\,(1) = 6.25\ W\,,\ P_2 = V_2\,I_2 = (2.5)\,(2.5) = 6.25\ W$

$P_3 = I_3^2\,R_3 = (2.5)^2\,(5) = 31.25\ W,$ أو , $P_3 = V_3\,I_3 = (12.5)\,(2.5) = 31.25\ W$

وقدرة المنبع هي :

$P_{del} = E\,I = (20)\,(2.5) = 50\ W$

ونلاحظ هنا أن

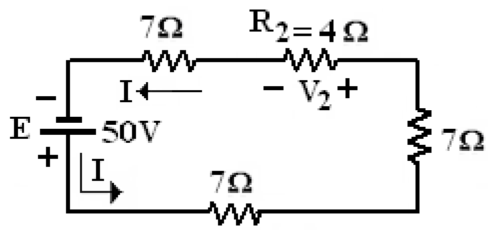
$P_1 + P_2 + P_3 = 12.5 + 6.25 + 31.25 = 50\ W = P_{del}$

فى حالة توصيل عدد N من مقاومات متساوية R على التوالي تكون المقاومة الكلية هي :

$R_T = N \times R$ (5-6)

مثال (٣- ١٠):

أحسب المقاومة الكلية R_T والتيار I وفرق الجهد V_2 للدائرة فى الشكل (٣- ٨).



الشكل (٣- ٨)

الحل:

لأن المقاومات $R_1 = R_3 = R_4$ ، فإن المقاومة الكلية تكون :

$R_T = N \times R_1 + R_2 = (3) \times (7) + 4 = 25\ \Omega$

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

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

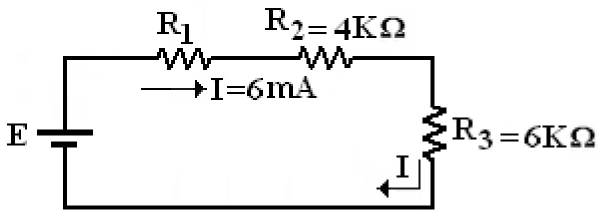
<u>مثال (٣- ١١) :</u>

فى الدائرة الموضحة بالشكل (٣- ٩) ، إذا كانت المقاومة الكلية للدائرة $R_T = 12K\Omega$
والتيار المار في الدائرة $I = 6mA$ ، أحسب :

(أ) المقاومة R_1 (ب) جهد البطارية E

(جـ) الجهد على طرفي كل مقاومة.

<u>الحل:</u>



الشكل (٣- ٩)

(أ) حساب المقاومة R_1

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$
$$1_2 = R_1 + 4 + 6$$
$$R_1 = 1_2 - 10 = 2k\Omega$$

(ب) حساب جهد البطارية E بتطبيق قانون أوم

$$E = I\,R_T = (6\times10^{-3})\times(12\times10^{3}) = 72\ V$$

(جـ) بتطبيق قانون أوم يمكن حساب الجهد على طرفي كل مقاومة كالتالي:

$$V_1 = I\,R_1 = (6\times10^{-3})\times(2\times10^{3}) = 12\ V$$
$$V_2 = I\,R_2 = (6\times10^{-3})\times(4\times10^{3}) = 24\ V$$
$$V_3 = I\,R_3 = (6\times10^{-3})\ (5)\times(6\times10^{3}) = 36\ V$$

للتأكد من أن حلك صحيح اجمع الجهود على طرفي المقاومات الثلاثة وتأكد أن مجموع الجهود الثلاثة يساوي جهد المصدر:

$$V_1 + V_2 + V_3 = 12 + 24 + 36 = 72V = E$$

توصيل المنابع الكهربائية على التوالي :

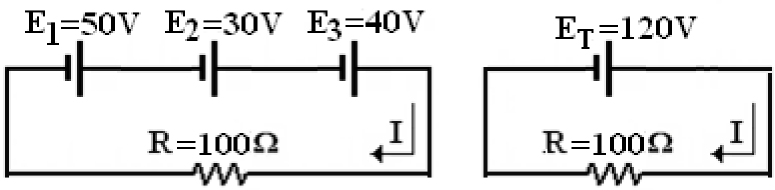
عندما يكون في الدائرة الكهربائية أكثر من مصدر جهد يكون الجهد الكلي الناتج عبارة عن مجموع مصادر الجهد إذا كانت جميعها موصلة معا على التوالي وأن يكون الطرف الموجب للمصدر الأول متصلا مع الطرف السالب للمصدر الثاني الذي يليه ثم الطرف الموجب للمصدر الثاني يكون متصلا مع الطرف السالب الذي يليه وهكذا وكمثال انظر إلى الشكل (٣- ١٠).

<u>مثال (٣- ١٢) :</u>

في الدائرة الموضحة بالشكل (٣- ١٠) ، إذا كانت ثلاثة مصادر جهد موصلة على التوالي وتغذي مقاومة $R = 100\Omega$ ، أحسب :

(أ) قيمة الجهد الكلي (ب) التيار المار في المقاومة

<u>الحل:</u>



الشكل (٣- ١٠)

(أ) لحساب الجهد الكلي نلاحظ في الشكل (٣- ١٠) أن القطب الموجب للمصدر الأول موصل على التوالي مع القطب السالب للمصدر الثاني والقطب الموجب للمصدر الثاني موصل على التوالي مع القطب السالب للمصدر الثالث وبالتلي يكون الجهد الكلي يساوي مجموع المصادر الثلاثة:

$$E_T = E_1 + E_2 + E_3$$

$$E_T = 50 + 30 + 40 = 120 \text{ V}$$

(ب) حساب قيمة التيار المار بتطبيق قانون أوم:

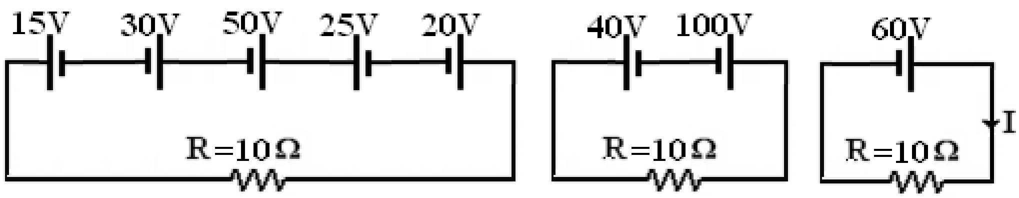
$$I = E_T/R = 120/100 = 1.2 \text{ A}$$

وفي بعض الأحيان تكون مصادر الجهد متصلة بطريقة عكسية (يكون القطب الموجب للمصدر الأول متصلا على التوالي مع القطب الموجب للمصدر الثاني أو القطب السالب للمصدر الأول متصلا بالقطب السالب للمصدر الثاني وهكذا.

مثال (٣- ١٣) :

فى الدائرة الموضحة بالشكل (٣- ١١) ، إذا كانت خمسة مصادر جهد موصلة على التوالي وتغذي مقاومة $R = 10\Omega$ ، أحسب :

(أ) قيمة الجهد الكلي (ب) التيار المار في المقاومة



الشكل (٣- ١١)

الحل:

(أ) لحساب الجهد الكلي في الشكل (٣- ١١) ، نلاحظ أن مجموع المصادر الموصلة على التوالي وقطبها الموجب على اليمين ١٠٠ فولت ومجموع المصادر الموصلة بطريقة عكسية وقطبها الموجب على اليسار ٤٠ فولت ولذلك يكون الجهد الكلي يساوي

$$E_T = 20 - 25 + 50 + 30 - 15 = 100V$$

(ب) حساب قيمة التيار المار بتطبيق قانون أوم:

$$I = E_T/R = 60/10 = 6A$$

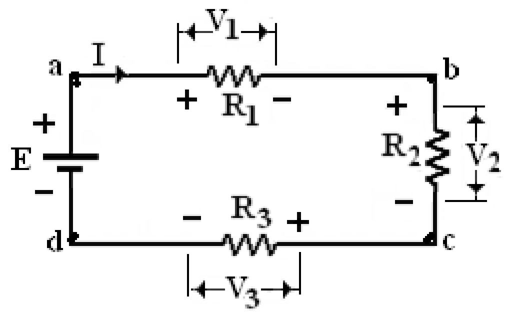
قانون كيرشوف للجهد : (Kirchhoff's Voltage Law)

بالرغم من أن قانون أوم يعتبر من أهم القوانين في علوم الكهرباء إلا أنه لا يمكن استخدامه لتحليل الدوائر المعقدة. لذلك قام العالم كيرشوف بوضع قوانينه التي تمكننا من استخدام قانون أوم لحل الدوائر المعقدة.

فما هي إذاً قوانين كيرشوف ؟ .. القانون الأول (قانون كيرشوف للجهد) ، والقانون الثاني (كيرشوف للتيار). ويعرف القانون الأول على أنه : " في أي دائرة مقفلة (مغلقة) ، المجموع الجبري لكل مصادر الجهد (للمنابع) والهبوط فى الجهد على طرفي المقاومات فى الدائرة يساوي الصفر" .

أو " في أي دائرة مغلقة (مسار مغلق) ، مجموع الجهود لمصادر الجهد = مجموع الجهود على طرفي المقاومات)

ويلاحظ هنا أن اتجاه الهبوط فى الجهد على أية مقاومة يضاد اتجاه التيار المار في هذه المقاومة. ولتوضيح تطبيق هذا القانون بدون الوقوع في بعض الأخطاء الشائعة نفرض أن الشكل (٣- ١٢) يمثل إحدى الدوائر المقفلة التي تتكون منها دائرة كهربائية والتي يراد تطبيق القانون عليها . نبدأ بتطبيق القانون من نقطة معينة ما.



الشكل (٣- ١٢)

طبقاً لقانون كيرشوف يجب أن يكون مجموع القوى الدافعة الكهربائية ومجموع مقادير الهبوط في الجهد في مقاومات الدائرة المختلفة مساوياً للصفر ابتداء من النقطة **a** حتى تعود إليها في أي الاتجاهين ، أي أن فى الاتجاه الأول a, b, c, d, a يكون :

$$-I_1 R_1 - I_2 R_2 - I_3 R_3 + E = 0 \quad , \quad \text{or}$$

$$E = I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3$$

أو في الاتجاه الآخر a, d, c, b, a يكون

$$- E + I_3 R_3 + I_2 R_2 + I_1 R_1 = 0 \quad , \quad or,$$

$$E = I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3$$

يلاحظ من المعادلتين السابقتين أن القوة الدافعة الكهربائية للبطارية تدخل في المعادلة بإشارة موجبة عندما يكون المرور عليها أثناء تطبيق القانون من القطب السالب إلى القطب الموجب ، كما أن مقدار الهبوط في الجهد على المقاومة يدخل فى المعادلة بإشارة سالبة عندما يكون المرور على المقاومة أثناء تطبيق القانون فى اتجاه التيار.

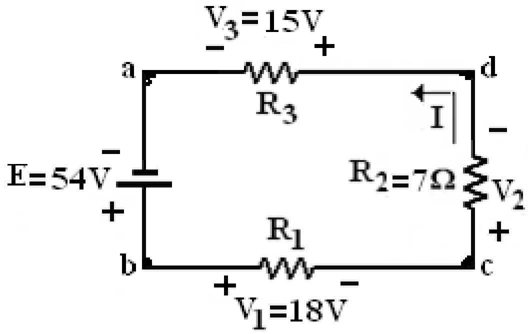
ولكي نتجنب الخطأ في تطبيق قانون كيرشوف للجهد في حالة البدء من نقطة معينة في مسار مغلق في اتجاه ما حتى نعود إلى نفس نقطة البداية يجب إتباع الخطوات التالية:

- في حالة التحرك في المسار ، وعند المرور على بطارية في الأتجاه من قطبها السالب إلى قطبها الموجب ، نتعتبر أن هناك ارتفاعا في الجهد ، ولذلك توضع إشارة البطارية بالموجب.
- في حالة التحرك في المسار ، وعند المرور على بطارية في الأتجاه من قطبها الموجب إلى قطبها السالب ، تعتبر أن هناك انخفاضا في الجهد ، ولذلك توضع إشارة البطارية بالسالب.
- في حالة كان المسار في نفس إتجاه التيار وعند المرور على المقاومة يعتبر الجهد على طرفي المقاومة إنخفاضا في الجهد ،و توضع إشارة جهد المقاومة بالسالب.
- في حالة كان إتجاه المسار عكس إتجاه التيار وعند المرور على المقاومة يعتبر الجهد على طرفي المقاومة إرتفاعا في الجهد ، و توضع إشارة جهد المقاومة بالموجب.

مثال (٣- ١٤) :

للدائرة الموضحة في الشكل (٣- ١٣) ، أوجد فرق الجهد V_2 و التيار I وأوجد كذلك قيمة المقاومتين R_1 و R_3 .

الحل:



الشكل (٣- ١٣)

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد (بأخذ المسار في اتجاه عقارب الساعة) نحصل على

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

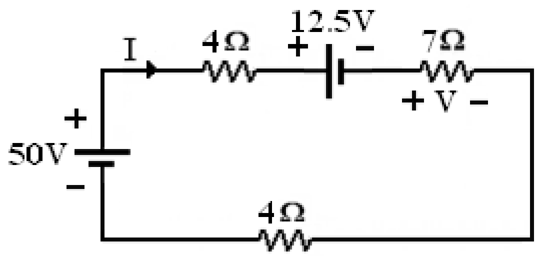
ومنها

$$V_2 = E - V_1 - V_3 = 54 - 18 - 15 = 21\ V$$
$$I = V_2 / R_2 = 21 / 7 = 3\ A$$
$$R_1 = V_1 / I = 18 / 3 = 6\ \Omega$$
$$R_3 = V_3 / I = 15 / 3 = 5\ \Omega$$

مثال (٣- ١٥):

احسب التيار المار في الدائرة المبينة في الشكل (٣- ١٤) و أحسب فرق الجهد عل طرفي المقاومة 7Ω وكذلك القدرة المفقودة في المقاومة 7Ω .

الحل:



الشكل (٣- ١٤)

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد (بأخذ المسار في اتجاه عقارب الساعة) نحصل على

$$50 - 12.5 - I(4 + 4 + 7) = 0$$

$$37.5 = 15 \times I$$

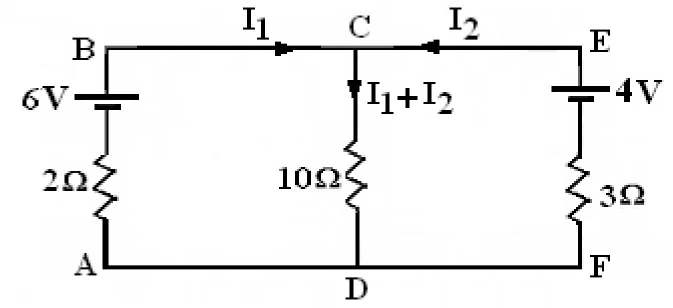
$I = E / R_T = (37.5) / 15 = 37.5 / 15 = 2.5A$

$V_{7\Omega} = I \times R = (2.5) \times (7) = 17.5\ V$

$P_{7\Omega} = I^2 R = (2.5)^2 \times (7) = 43.75\ W$

مثال (٣- ١٦):

باستخدام قانون كيرشوف للجهد أحسب قيمة التيارات المارة في الأفرع ، I_3، I_2، I_1 في الدائرة الموضحة بالشكل (٣- ١٥).



الشكل (٣- ١٥)

الحل:

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على المسار ABCDA في الدائرة بالشكل (٣- ١٥) نحصل على:

$6 - 10(I_1 + I_2) - 2I_1 = 0$

$6 = 2\ I_1 + 10(I_1 + I_2)\ ,$

$6 = 12\ I_1 + I_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (a)$

بالمثل بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على المسار DCEFD نحصل على:

$-4 + 3I_2 + 10(I_1 + I_2) = 0$

$4 = 10\ I_1 + 13I_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (b)$

بضرب طرفي المعادلة (a) في الرقم 5 والمعادلة رقم (b) في الرقم 6 وجمع المعادلتين ينتج أن:

$I_2 = -\ 0.2143\ A\ ,$

$I_1 = 0.6786\ A$

$(I_1 + I_2) = 0.6786 - 0.2143 = 0.4643\ A$

قاعدة توزيع الجهد : (Voltage Divider Rule)

في حالة توصيل مقاومات على التوالي مع منبع جهد كهربائي ، فإن التيار المار في هذه المقاومات ثابت وأن فرق الجهد على طرفي أية مقاومة في هذه الدائرة يساوي حاصل ضرب هذه المقاومة في التيار المار فيها (حيث أن قيمة هذا التيار تساوي قيمة جهد المنبع مقسوماً على المقاومة الكلية للدائرة) . ويمكن استنتاج هذه القاعدة من الدائرة الموضحة فى الشكل (٣- ١٦) كالآتي :

$$R_T = R_1 + R_2$$

حيث R_T هي المقاومة الكلية ، وبتطبيق قانون أوم نحصل على :

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

$$V_1 = I\,R_1 = \frac{E}{R_T}R_1 = \frac{R_1 \times E}{R_T}$$

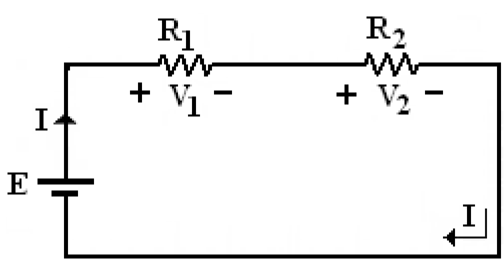
$$V_2 = I\,R_2 = \frac{E}{R_T}R_2 = \frac{R_2 \times E}{R_T} \quad I = E / R_T$$

ويمكن كتابة هذه القاعدة في الصورة العامة ، أي أن :

$$V_x = \frac{R_x \times E}{R_T} \qquad (3\text{-}28)$$

حيث x تمثل رقم المقاومة $(R_1, R_2, R_3\ldots)$ و رقم الجهد بين طرفيها $(V_1, V_2, V_3\ldots)$

فإذا كانت الدائرة تحتوي على ستة مقاومات مربوطة على التوالي فإن الجهد بين طرفي المقاومة R_6 قيمته V_6 و بالتالي وباستعمال الصورة العامة فإن $V_6 = \frac{R_6 \times E}{R_T}$

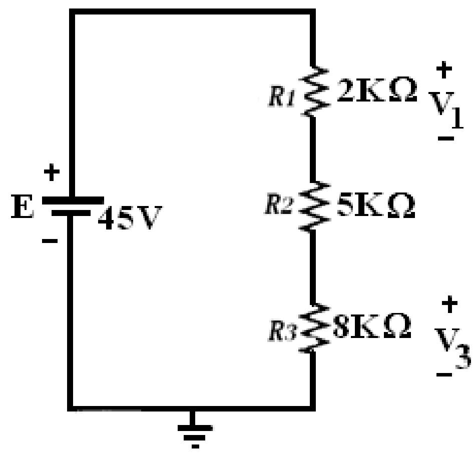


الشكل (٣- ١٦)

مثال (٣- ١٧) :

باستخدام قاعدة توزيع الجهد، احسب فرقي الجهد V_1 و V_3 للدائرة المبينة في الشكل(٣- ١٧) .

الحل:



الشكل (٣- ١٧)

يمكن حساب فرقي الجهد V_1 و V_3 بتطبيق قاعدة توزيع الجهد كما يلى :

$$V_1 = \frac{R_1 \times E}{R_T} = \frac{2\times10^3 \times 45}{(2+5+8)\times10^3}$$

$$V_1 = \frac{90}{15} = 6\,V$$

$$V_3 = \frac{R_3 \times E}{R_T} = \frac{8\times10^3 \times 45}{(2+5+8)\times10^3}$$

$$V_1 = \frac{360}{15} = 24\,V$$

توصيل المقاومات على التوازي

سيتم شرح كيفية توصيل المقاومات على التوازي وكذلك قانون كيرشوف للتيار بالإضافة إلى قاعدة توزيع التيار ، وكذلك الدوائر المفتوحة ودوائر القصر. وسيتم توضيح ذلك بأمثلة متنوعة.

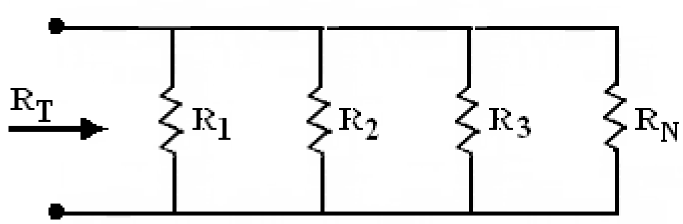
إذا تم توصيل عدد من المقاومات بشكل يكون فيه فرق الجهد عبر أي مقاومة منها متساو ، فإن هذا التوصيل يسمى بالتوصيل على التوازي.
لأي عدد من الموصلية G موصلة على التوازي ، يمكننا أن نحصل على الموصلية الكلية G_T كالآتي :

$$G_T = G_1 + G_2 + G_3 + \text{---------}\ G_N \qquad (3\text{-}29)$$

حيث إن G هي مقلوب المقاومة R ، $(R = 1 / G)$، وبالتالى فإن :

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots\ldots\ldots\ldots + \frac{1}{R_N} \qquad (3\text{-}30)$$

حيث R_T هي المقاومة الكلية كما هو موضح فى الشكل (٣- ١٨) .

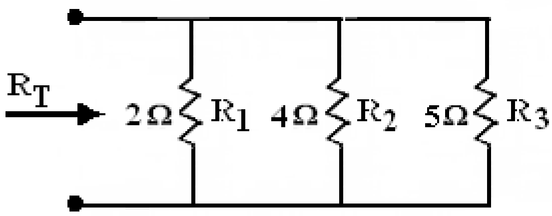


الشكل (٣- ١٨) توصيل المقاومات على التوازي.

<u>مثال (٣- ١٨)</u> :

للدائرة الموضحة فى الشكل (٣- ١٩) ، احسب المقاومة الكلية R_T وكذلك الموصلية الكلية G_T.

الحل:



الشكل ((٣- ١٩)

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

$= 1/2 + 1/4 + 1/5 = 0.95\ S$

$R_T = 1/0.95 = 1.053\ \Omega$

$G_T = 0.95\ S$

المقاومة الكلية لمجموعة مقاومات متساوية موصلة على التوازى :

يمكن إيجاد المقاومة الكلية لعدد N من المقاومات المتساوية قيمة فإذا كل منها R والموصلة على التوازي كالآتي :

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

أي أن المقاومة الكلية R_T تكون كالآتي:

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

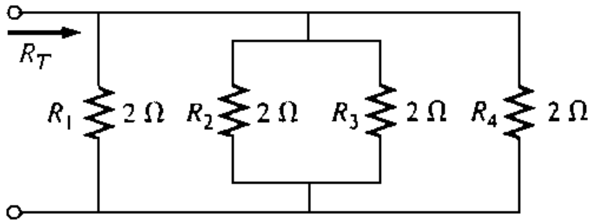
وتكون الموصلية الكلية G_T لعدد N متساو من الموصلية G في هذه الحالة :

$G_T = N \times G$

مثال (٣- ١٩):

للدائرة الموضحة فى الشكل (٣- ٢٠) ، احسب المقاومة الكلية R_T .

الحل:



الشكل (٣- ٢٠)

كما هو موضح فى الشكل (٣- ٢٠) حيث المقاومات متساوية ،تحسب R_T كالآتي :

$$R_T = R / N = 2 / 4 = 0.5 \ \Omega$$

قاعدة هامة :

١. إذا وصلت مقاومتين فقط على التوازي R_1 و R_2 فتحسب المقاومة الكلية R_T كما يلي

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

أي أن

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \qquad (3\text{-}31)$$

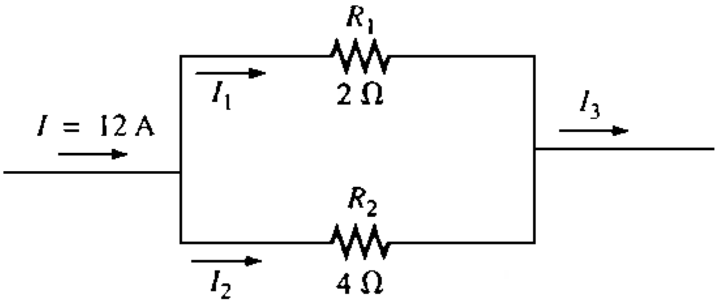
٢. إذا وصلت ثلاث مقاومات R_1 و R_2 و R_3 على التوازيفتحسب المقاومة الكلية R_T كذلك كما يلي:

$$R_T = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} \qquad (3\text{-}32)$$

مثال (٣- ٢٠):

احسب المقاومة الكلية R_T، وكذلك قيمة التيارين I_1 و I_2 للدائرة المبينة في الشكل(٣- ٢١) باستخدام المعادلة (3-31).

الحل:



الشكل (٣- ٢١)

باستخدام المعادلة (3-31) يمكننا حساب R_T كما يلي :

$$R_T = R_1 R_2/(R_1 + R_2) = (2)\times(4)/(2 + 4) = 1.3333\ \Omega$$

الجهد على طرفي المقاومتين التوازي $= I\times R_T = 12\times1.3333 = 15.9996V$

$$I_1 = 15.9996/2 = 7.9998A$$

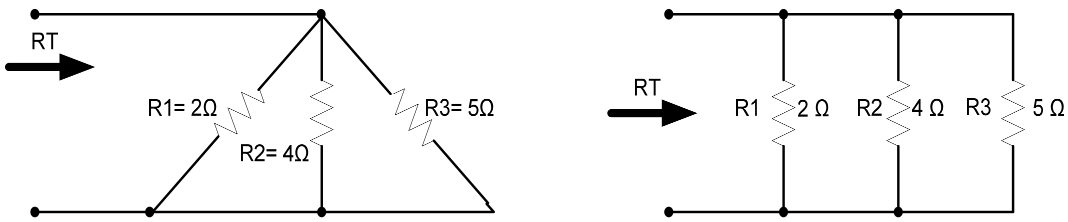
$$I_2 = 15.9996/4 = 3.9999A$$

مثال (٣- ٢١) :

أعد حل مثال (٣- ١٨) باستخدام المعادلة (3-32) .

الحل:

باستخدام المعادلة (3-32) يمكننا حساب R_T كما هو موضح في الشكل (٣- ٢٢) كالآتي :



الشكل (٣- ٢٢)

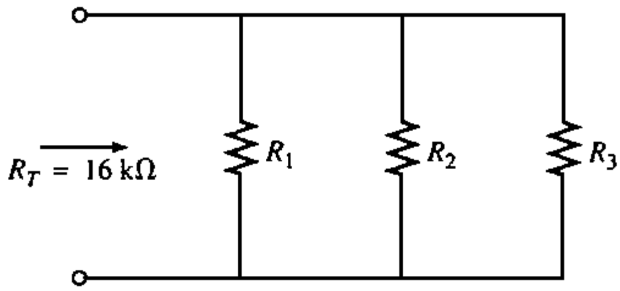
$$R_T = R_1 \times R_2 \times R_3 / (R_1 \times R_2 + R_1 \times R_3 + R_2 \times R_3)$$

$$= (2)\times(4)\times(5)/[(2)\times(4)+(2)\times(5)+(4)\times(5)] = 40/38 = 1.053\ \Omega$$

مثال (٣- ٢٢):

احسب المقاومات R_1 و R_2 و R_3 للدائرة المبينة فى الشكل (٣- ٢٣) وذلك إذا كان $R_2 = 2R_1$ و $R_3 = 2R_2$ وكانت المقاومة الكلية $R_T = 16k\Omega$.

الحل:



الشكل (٣- ٢٣)

كما هو موضح فى الشكل (٣- ٢٣) يمكننا أن نحصل على :

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

وحيث إن $R_2 = 2R_1$ و $R_3 = 2R_2 = 2(2R_1) = 4R_1$ وبالتعويض فى الصورة السابقة عن R_2 و R_3 وكذلك عن قيمة R_T نحصل على :

$$1/16 = (1/R_1) + (1/2R_1) + (1/4R_1) = 1.75(1/R_1)$$

ومنها نحصل على المقاومة R_1 ، أي أن

$R_1 = 1.75 \times 16 = 28\ \Omega$

وبالتالى نحصل على المقاومات R_2 و R_3 كما يلي :

$R_2 = 2R_1 = 2\times 28 = 56\ \Omega \quad , \quad R_3 = 4R_1 = 4\times 28 = 112\ \Omega$

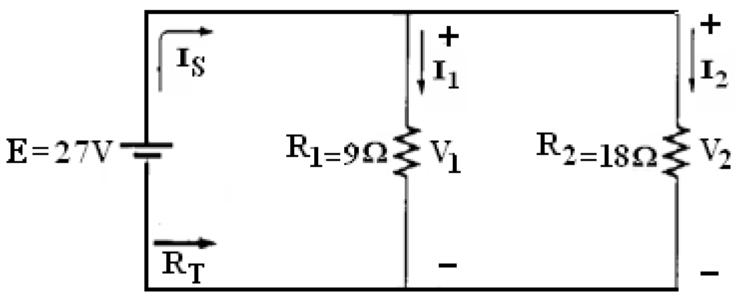
مثال (٣- ٢٣) :

من دائرة التوازى الموضحة فى الشكل (٣- ٢٤) احسب :

(أ) المقاومة الكلية R_T والتيار الكلي I_S وكذلك التيارات I_1 و I_2 .

(ب) القدرة المفقودة في كل مقاومة ، وكذلك قدرة المنبع (البطارية) .

الحل:



الشكل (٣- ٢٤)

(أ) المقاومة الكلية R_T والتيارات I_S و I_1 و I_2 يمكن حسابها كما يلي :

$R_T = R_1\times R_2/(R_1 + R_2) = (9\times 18)/(9 + 18) = 162/27 = 6\ \Omega$

$I_S = E/R_T = 27/6 = 4.5\ A$

$I_1 = V_1/R_1 = E/R_1 = 27/9 = 3A$

$I_2 = V_2/R_2 = E/R_2 = 27/18 = 1.5A$

للتأكد من صحة الحل ، $I_S = I_1 + I_2 = 3 + 1.5 = 4.5A$

(ب) نوجد القدرة المفقودة في كل مقاومة ، وقدرة المنبع (البطارية) كالآتي :

$P_1 = V_1\times I_1 = E\times I_1 = (27)\times(3) = 81W$

$P_2 = V_2\times I_2 = E\times I_2 = (27)\times(1.5) = 40.5\ W$

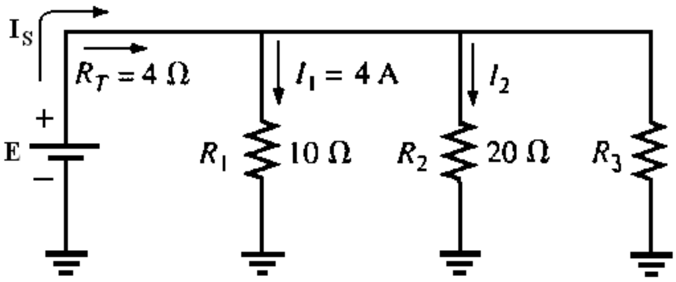
$P_S = E\times I_S = (27)\times(4.5) = 121.5\ W$

نلاحظ هنا أن القدرة $P_S = P_1 + P_2$ ، أى أن $81 + 40.5 = 121.5$ W

مثال (٣- ٢٤) :

للدائرة الموضحة فى الشكل (٣- ٢٥) إذا كانت المقاومة الكلية للدائرة تساوي 4Ω ،
احسب : (أ) المقاومة R_3 وجهد البطارية E وكذلك تيار المنبع I_S .
(ب) التيار I_2 والقدرة المفقودة في المقاومة R_2 أى P_2 .

الحل:



الشكل (٣- ٢٥)

(أ) يمكن حساب المقاومة R_3 وجهد البطارية E وكذلك تيار المنبع I_S كما يلي:

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

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

$$0.25 = 0.1 + 0.05 + \frac{1}{R_3} = 0.15 + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_3} = 0.1\ ,\quad R_3 = 10\,\Omega$$

$$E = V_1 = I_1\ R_1 = (4\times10) = 40\ V$$

$$I_T = E/R_T = 40/4 = 10A$$

(ت) يمكننا حساب التيار I_2 والقدرة المفقودة فى المقاومة R_2 أى P_2 كما يلي :

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{E}{R_T} = \frac{40}{20} = 2A$$

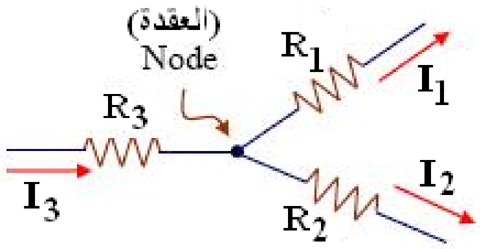
$$P_2 = I_2^2\times R_2 = (2\ )^2\times(20) = 80W$$

قانون كيرشوف للتيار : (Kirchhoff's Current Law)

ينص هذا القانون على أن المجموع الجبرى للتيارات الكهربائية الداخلة إلى عقدة معينة يساوي مجموع التيارات الخارجة منها . ويقصد بالعقدة في الدائرة الكهربائية النقطة التي تجمع أكثر من فرعين. وكما هو موضح في الشكل (٣- ٢٦) فإنه طبقاً لقانون كيرشوف للتيار يكون :

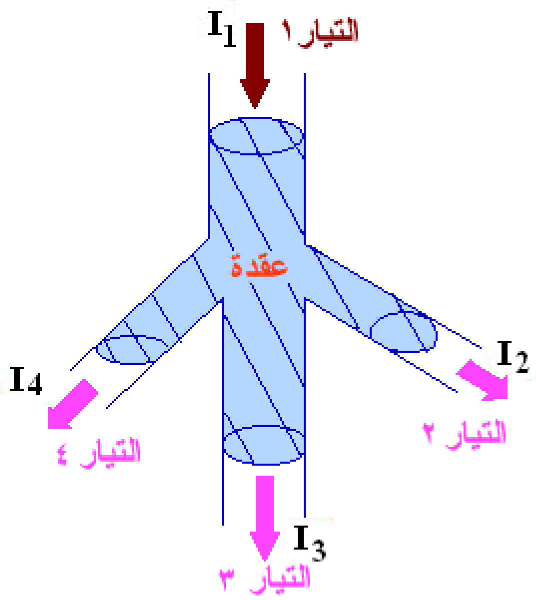
$$I_3 = I_1 + I_2$$

حيث التيار I_3 هو التيار الداخل إلى العقدة و التيارت I_1 و I_2 هي التيارت الخارجة منها.



الشكل (٣- ٢٦)

وكذلك في الشكل (٣- ٢٧) حيث التيار I_1 هو التيار الداخل إلى العقدة و التيارت I_2 و I_3 و I_4 هي التيارت الخارجة منها . $I_1 = I_2 + I_3 + I_4$

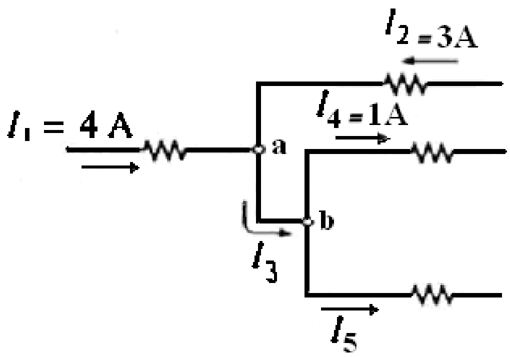


الشكل (٣- ٢٧)

مثال (٣- ٢٥) :

احسب التيارات I_3 وI_5 في الشكل (٣- ٢٨) وذلك بتطبيق قانون كيرشوف للتيار. .

الحل:



الشكل (٣- ٢٨)

طبقا لقانون كيرشوف للتيار فإن التيار I_3 عند العقدة **a** يكون :

$$I_3 = I_1 + I_2 = 4 + 3 = 7\ A$$

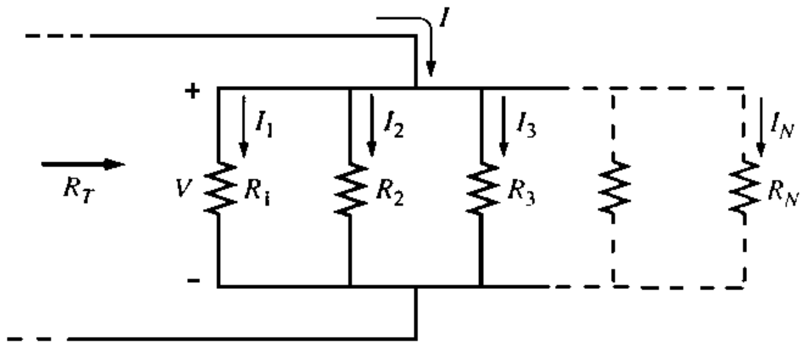
وكذلك التيار I_5 ، عند العقدة **b** نحصل عليه طبقاً لنفس القانون ، أي أن

$$I_3 = I_4 + I_5$$

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

قاعدة توزيع التيار :

نطبق هذه القاعدة عندما نرغب في حساب التيار في أي فرع من فروع دائرة كهربائية موصلة على التوازي كما هو موضح في الشكل (٣- ٢٩) . فإذا أردنا مثلاً إيجاد قيمة التيار I_x المار في المقاومة R_x ، فإننا نحسب أولاً التيار I حيث $I = V/R_T$ ويكون فرق الجهد V عبر المقاومة R_x هو $V = I_x R_x$ ، أي أن :



الشكل (٣- ٢٩)

$$I = V/R_T = I_x R_x /R_T$$

حيث R_T هي المقاومة الكلية للدائرة ، وبالتالي يكون

$$I_x = (R_T/R_x)\, I \qquad (3\text{-}33)$$

المعادلة السابقة تمثل الصورة العامة لقاعدة توزيع التيار . فمثلا لإيجاد أي تيار وليكن I_1 فطبقاً لهذه القاعدة يكون :

$$I_1 = (R_T/R_1)\, I$$

وهكذا يمكن إيجاد أي تيار في الدائرة الموضحة في الشكل (٣- ٢٩) طبقاً لهذه القاعدة . وبالتالي يكون التيار I_2

$$I_2 = (R_T/R_2)\, I$$

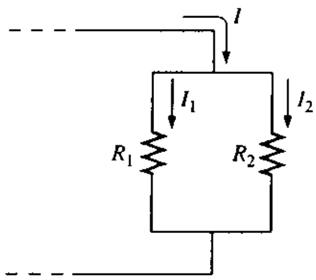
وفي حالة خاصة إذا ما كانت الدائرة الكهربائية عبارة عن مقاومتين على التوازي كما هو مبين في الشكل(٣- ٣٠) ، فتكون المقاومة الكلية R_T في هذه الحالة :

$$R_T = R_1 \times R_2 / (R_1 + R_2)$$

$$I_1 = (R_T/R_1)\backslash I = [(R_1 R_2/(R_1 + R_2))/R_1]\, I$$

أى أن التيار I_1 يكون

$$I_1 = I_\times R_2/(R_1+ R_2) \qquad (3\text{-}34)$$



الشكل (٣- ٣٠)

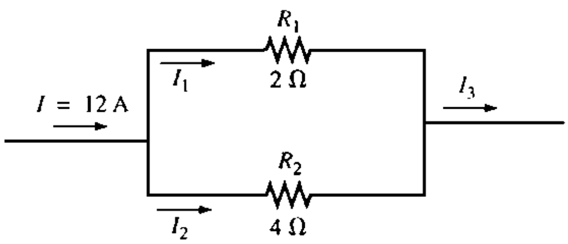
وبالمثل يمكن الحصول على التيار I_2 ، أي أن

$$I_2 = I_\times R_1/(R_1+ R_2) \qquad (3\text{-}35)$$

<u>مثال (٣- ٢٦) :</u>

أوجد قيمة التيارات I_1 و I_2 و I_3 للدائرة المبينة في الشكل (٣- ٣١).

<u>الحل:</u>



الشكل (٣- ٣١)

باستخدام قاعدة توزيع التيار يكون التيار I_1

$$I_1 = [R_2/(R_1+ R_2)]\ I = [(4)/(2 + 4)]\times(12) = 8 \quad A$$

وبالمثل يمكن الحصول على التيار I_2 طبقاً لنفس القاعدة ، أي أن

$$I_2 = [R_1/(R_1+ R_2)]\times I = [(2)/(2 + 4)]\times(12) = 4 \quad A$$

ويمكن كذلك الحصول على التيار I_2 بتطبيق قانون كيرشوف للتيار ، أي أن

$$I_2 = I - I_1 = 12 - 8 = 4 \quad A$$

وبتطبيق قانون كيرشوف للتيار أيضاً يمكن حساب التيار I_3 ، أي أن

$$I_3 = I_1 + I_2 = 8 + 4 = 12 \quad A$$

مع ملاحظة أنه يمكن حساب التيار I_3 مباشرة وذلك باعتبار أن التيار الكلي الداخل للمقاومتين R_1 و R_2 يجب أن يكون مساوياً للتيار الخارج منهما وذلك طبقاً لقانون كيرشوف للتيار ، أي أن

$$I_3 = I = 12 \text{ A}$$

<u>مثال (٣- ٢٧)</u> :

أوجد قيمة المقاومة R_1 للدائرة المبينة فى الشكل (٣- ٣٢) .

<u>الحل:</u>

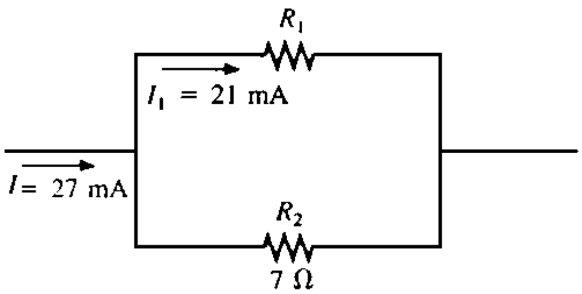
بتطبيق قاعدة توزيع التيار للدائرة المبينة في الشكل (٣- ٣٢) للتيار I_1 ، أي أن

$$I_1 = [R_2 / (R_1 + R_2)] I$$

أي أن

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

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



الشكل (٣- ٣٢)

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

$$R_1 = [R_2 ( ]/I_1$$

وبالتعويض عن قيم I و I_1 و R_2 في العلاقة السابقة نحصل على المقاومة R_1 ، أي

$$R_1 =[R_2 (I – I_1)] / I_1 =[(7) (27 – 21)] / (21) = (7) (6) / (21) = 2 \ \Omega$$

<u>حل آخر :</u>

بتطبيق قانون كيرشوف للتيار يمكن الحصول على التيار I_2 ، أي أن

$$I_2 = I – I_1 = 27 – 21 = 6 \text{ mA}$$

وبالتالي يمكن حساب فرقي الجهد V_2 و V_1 وكذلك المقاومة R_1 كما يلي :

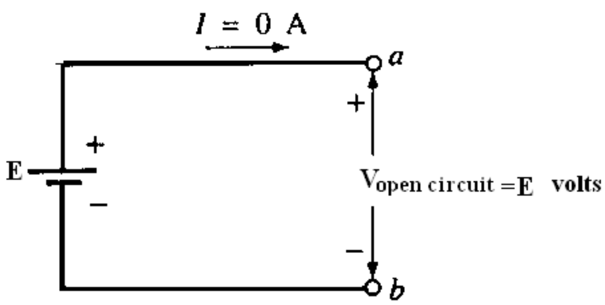
$$V_2 = I_2 R_2 = (6)(7) = 42 \text{ mV}$$

$$V_1 = I_1 R_1 = V_2 = 42 \text{ mV}$$

$$R_1 = V_1 / I_1 = (42 \text{ mV}) / (21 \text{ mA}) = 2\ \Omega$$

الدوائر المفتوحة ودوائر القصر: (Open and Short Circuits)

الدائرة الكهربائية المفتوحة يكون لها فرق جهد بين طرفيها المفتوحين ، بينما يكون التيار المار فيها دائماً مساوياً للصفر. ويبين الشكل (٣- ٣٣) دائرة كهربائية مفتوحة عند الطرفين a و b بينما يكون فرق الجهد بين طرفي الدائرة: $V_{ab} = E$ والتيار $I = 0$.



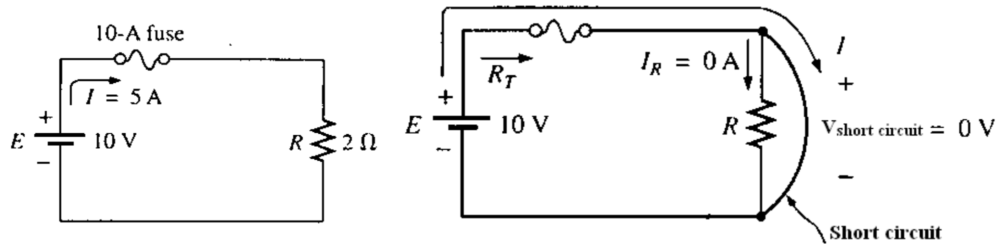
الشكل (٣- ٣٣)

أما بالنسبة لدائرة القصر فيكون فرق الجهد بين الطرفين المقصورين دائماً مساوياً للصفر بينما يمر بين هذين الطرفين تيار كهربائي. والدائرة الموضحة فى الشكل(٣- ٣٤) تبين أن القصر حدث بين طرفي المقاومة R ، وبالتالي يكون فرق الجهد بين طرفي المقاومة بعد حدوث القصر هو

$$V = I \times R = (I) \times (0) = 0\text{V}$$

ويكون التيار بعد حدوث القصر الشكل(٣- ٣٤) بين طرفي المقاومة R هو

$$I = E/R = E / 0 \rightarrow \infty \quad A$$

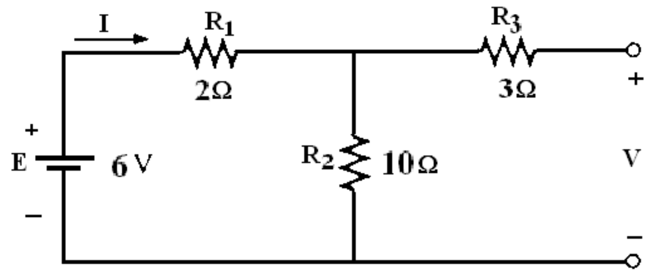


الشكل (٣- ٣٤)

<u>مثال (٣- ٢٨)</u> :

احسب قيمة التيار I وفرق الجهد V للدائرة المبينة فى الشكل (٣- ٣٥) ، ثم أعد حساب التيار I وفرق الجهد V بعد حدوث قصر بين طرفي المقاومة R_2 .

<u>الحل:</u>

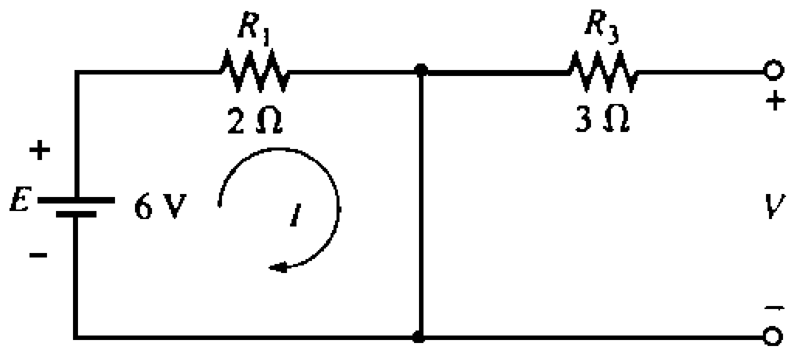


الشكل (٣- ٣٥)

حيث إن الدائرة مفتوحة عند الطرفين فيكون التيار الكلي I هو التيار المار في المقاومتين R_1 و R_2 فقط حيث إن التيار المار في المقاومة R_3 يكون مساوياً للصفر . أ أن

$$R_T = R_1 + R_2 = 2 + 10 = 12 \quad \Omega$$
$$I = E/R_T = 6/12 = 0.5 \quad A$$
$$V = I \times R_2 = (0.5)\times(10) = 5 \quad V$$

أما بعد حدوث القصر بين طرفي المقاومة R_2 فتكون المقاومة $R_T = R_1$ كما هو موضح في الشكل(٣- ٣٦) وبالتالي يكون التيار I هو



الشكل (٣- ٣٦)

$I = E/R_T = E/R_1 = 6 / 2 = 3A$

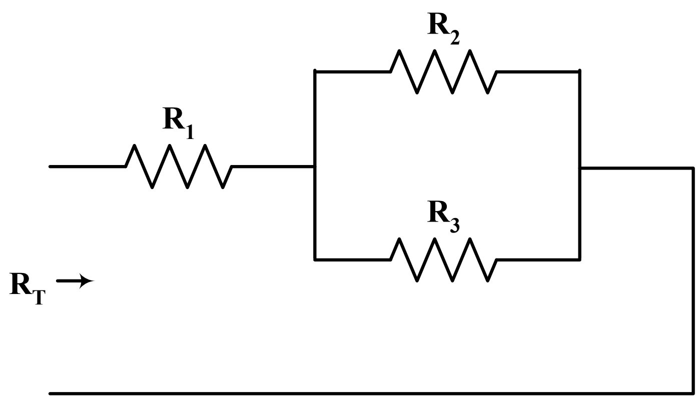
أما فرق الجهد V فيكون مساوياً للصفر ، أي أن

$V = I \times R_2 = (I) \times (0) = 0\ V$

التوصيل المركب
و التوصيل على الشكل نجمة أو دلتا

التوصيل المركب:

يسمى هذا النوع من التوصيل بهذا الأسم حيث أنه يتكون من دوائر التوالي والتوازي معاً كما هو موضح في الشكل (٣- ٣٧) وبالتالي يمكن إيجاد المقاومة الكلية R_T لهذه الدائرة كما يلي:



الشكل (٣- ٣٧)

$$R_T = R_S + R_P$$

حيث المقاومة R_S هي مجموع المقاومات الموصلة على التوالي ، والمقاومة R_P هي المقاومة المكافئة للمقاومات الموصلة على التوازي. وبالتالي يكون حساب هذه المقاومات في الشكل(٣- ٣٧) كالتالي:

$$R_S = R_1 \quad , \quad R_P = (R_2 \times R_3)/(R_2 + R_3)$$

لذلك تكون المقاومة الكلية لهذه الدائرة هي :

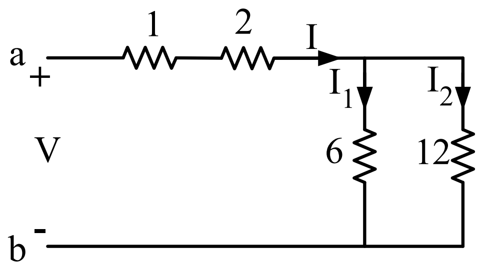
$$R_T = R_S + R_P = R_1 + (R_2 \times R_3)/(R_2 + R_3)$$

وسوف نقوم بحل أمثلة توضيحية لهذا النوع من الدوائر الكهربائية.

مثال (٣- ٢٩):

احسب فرق الجهد عبر الطرفين ab بحيث يكون فرق الجهد عبر المقاومة $2\ \Omega$ هو 10V كما موضح فى الشكل (٣- ٣٨).

الحل:



الشكل (٣- ٣٨).

التيار الداخل إلى الدائرة الموضحة فى الشكل (٣- ٣٨) يكون

$$\mathbf{I} = \frac{10}{2} = 5\mathbf{A}$$

$$\mathbf{Rp} = \frac{6\times 12}{6+12} = 4\Omega$$

$$\mathbf{R_T} = 1+2+4 = 7\Omega$$

$$\mathbf{V_{ab}} = \mathbf{I}\times\mathbf{R_T} = 7\times 5 = 35\ \mathbf{V}$$

مثال(٣- ٣٠):

في مثال (٣- ٢٩) ، احسب فرق الجهد عبر المقاومة $6\ \Omega$ ومن ثم احسب التيارين I_1 و I_2 .

الحل:

$$\mathbf{V_{2\Omega}} = 10\mathbf{V}\ ,\qquad \mathbf{V_{1\Omega}} = \mathbf{I}\times\mathbf{1} = \mathbf{5}\times\mathbf{1} = \mathbf{5V}$$

$$\mathbf{V_{6\Omega}} = \mathbf{V_{ab}} - \mathbf{V_{2\Omega}} - \mathbf{V_{1\Omega}} = 35-10-5 = 20\mathbf{V}$$

$$\mathbf{I_1} = \frac{20}{6} = 3.333\ \mathbf{A}$$

$$\mathbf{I_2} = \frac{20}{12} = \frac{10}{6}\mathbf{A}$$

مثال (٣- ٣١) :

نريد تشغيل أربعة مصابيح 60W و 110V من منبع 230V ، أحسب قيمة المقاومة المتصلة على التوالي مع الخط حتى لا يزيد الجهد الداخلي عبر المصابيح عن 110V .

الحل:

القدرة الإجمالية المسحوبة من المنبع في الدائرة المبينة في الشكل (٣- ٣٩) تكون

$$P = 4 \times 60 = 240 \text{ W}$$

ويكون تيار الدخل

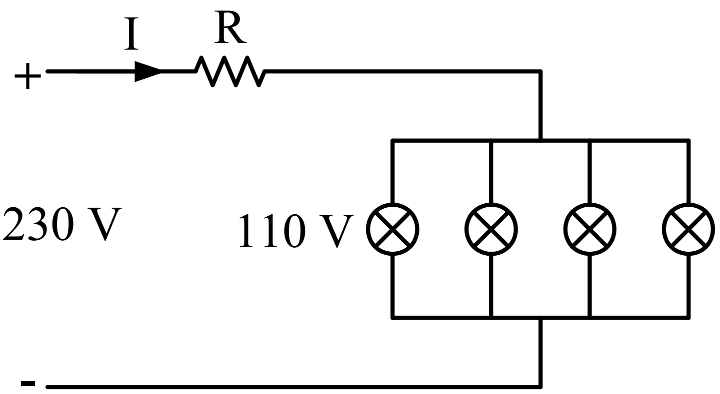
$$I = P/V = 240/110 = 2.1818 \text{ A}$$

وفرق الجهد عبر المقاومة R المتصلة على التوالي يكون

$$V_R = 230 - 110 = 120 \text{ V}$$

وبالتالي تصبح المقاومة R هي

$$R = V_R/I = 120 / 2.1818 = 55\ \Omega$$

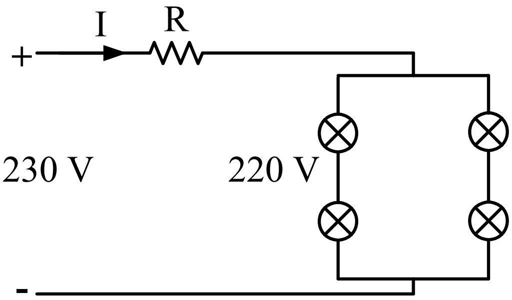


الشكل (٣- ٣٩)

مثال (٣- ٣٢) :

ثمة طريقة بديلة لتشغيل مصابيح المثال (٣- ٣١) بتوصيلها كما في الشكل (٣- ٤٠) مع مقاومة على التوالي احسب قيمة المقاومة التى على التوالي وحدد أي الطريقتين أفضل مع تعليل ذلك .

الحل:



الشكل(٣- ٤٠)

في هذه الحالة

$$\mathbf{I}=\frac{\mathbf{P}}{\mathbf{V_L}}=\frac{240}{220}=1.0909\mathbf{A}$$

$$\mathbf{V_R}=230-220=10\mathbf{V}=\mathbf{R}\times\mathbf{I}$$

وهكذا نحصل على R

$$\mathbf{R}=\frac{10}{1.0909}=9.167\Omega$$

القدرة المفقودة (I^2R) في طريقة المثال (٣- ٣١) هي ($\mathbf{P_{loss}}=120^2/55=261.82\ \mathbf{W}$)

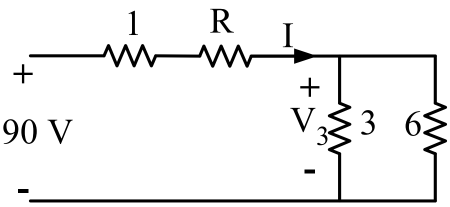
والقدرة المفقودة في الطريقة التي يعتمدها المثال الحالى هي($P_{loss}=10^2/9.167\ =10.9W$)

وهكذا تكون الطريقة الثانية أكثر فاعلية ولكن إن احترق مصباح فلن يعمل إلا مصباحان فقط.

مثال (٣- ٣٣) :

احسب المقاومة R فى الدائرة المبينة في الشكل (٣- ٤١) بحيث تكون القدرة المفقودة في المقاومة $3\ \Omega$ هي 300 W .

الحل:



الشكل (٣- ٤١)

$$P_{3\Omega} = \frac{V_3{}^2}{3} = 300\text{W}$$

أي أن

$$\mathbf{V}_3 = 30\mathbf{V}$$

$$\mathbf{I}_{3\Omega} = \frac{\mathbf{V}_3}{3} = \frac{30}{3} = 10\mathbf{A}$$

أو

$$\mathbf{I}_{6\Omega} = \frac{\mathbf{V}_3}{6} = \frac{30}{6} = 5\mathbf{A}$$

$$\mathbf{I} = 10+5 = 15\mathbf{A} = \frac{\mathbf{V}}{1+\mathbf{R}+(6\times3)/(6+3)} = \frac{\mathbf{V}}{3+\mathbf{R}}$$

وحيث إن

$$\mathbf{V} = 45 + 15\mathbf{R} = 90\ \ \mathbf{V}$$

لذلك فإن

$$\mathbf{R} = \frac{90-45}{15} = 3\Omega$$

<u>مثال (٣- ٣٤)</u> :

احسب القدرة التي تمتصها كل مقاومة في المثال (٣- ٣٣) و أثبت أن القدرة الإجمالية التي يتم الحصول عليها تكون مماثلة لتلك التي يزودها المنبع.

<u>الحل:</u>

القدرة الإجمالية الممتصة في المقاومات هي

$$\mathbf{P}_{\mathbf{loss}} = (30^2/6) + (30^2/3) + 3\times15^2 + 1\times15^2 = 1350\ \mathbf{W}$$

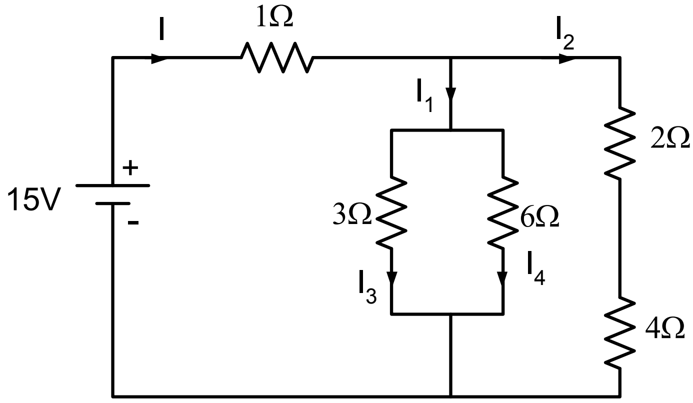
القدرة التي يزودها المنبع

P = 15 x 90 = 1350 W

وواضح أن القدرة التى يزودها المنبع تكون مماثلة للقدرة الممتصة في المقاومات .

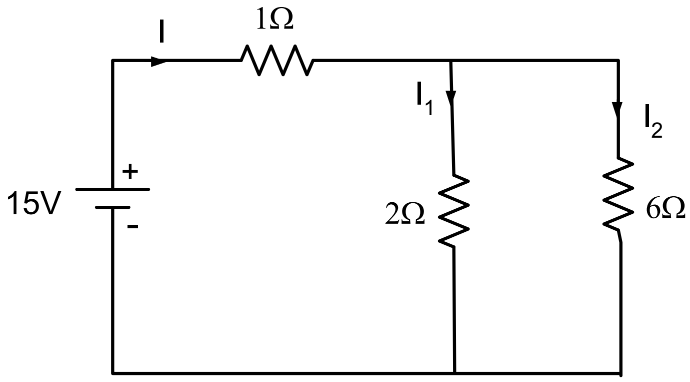
مثال(٣- ٣٥) :

احسب التيار المسحوب من البطارية 15V في الدائرة المبينة في الشكل (٣- ٤٢أ)



الشكل (٣- ٤٢أ)

سنقوم أولاً باختزال الدائرة إلى مقاومة مكافئة واحدة وذلك كما هو موضح في الشكل (٣- ٤٢ب)، ومن الشكل (٣- ٤٢أ) نحصل على المقاومة الكلية R_T والتيار I كما يلي



الشكل (٣- ٤٢ب)

$$R_T = 1 + \frac{(2\times 6)}{2+6} = 1 + (3/2) = 2.5\ \Omega$$

ويكون التيار I هو

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{15}{2.5} = 6A$$

الحل:

من المثال (٣- ٣٥) لدينا التيار ($I= 6A$) وعند تطبيق قاعدة تقسيم التيار على هذه الدائرة المبينة في الشكل (٣- ٤٢ب) نحصل على

$$\mathbf{I}_2 = [2/(2+6)]6 = 1.5\mathbf{A}$$

وبالتالي تكون القدرة المفقودة في المقاومة $2\ \Omega$ هي :

$$\mathbf{P}_{2\Omega} = \mathbf{I}_2^2(2) = (1.5)^2 2 = 4.5\mathbf{W}$$

مثال (٣- ٣٧):

احسب قيمة القدرات التي تمتصها المقاومات الموضحة في الشكل (٣- ٤٢أ) في مثال (٣- ٣٥) ثم أثبت أن مجموع هذه القدرات يساوي القدرة المسحوبة من البطارية.

الحل:

من الشكل (٣- ٤٢ب) في المثال (٣- ٣٥) لدينا التيار

$$I_1 = 6\,[\,6/(\,2+6\,)\,] = 4.5A$$

ومن الشكل (٣- ٤٢أ) في المثال (٣- ٣٥) نحصل على

$$\mathbf{I}_3 = \frac{6}{3+6}(4.5) = 3\mathbf{A}$$

$$\mathbf{I}_4 = \frac{3}{3+6}(4.5) = 1.5\mathbf{A}$$

ومن المثال (٣- ٣٦) لدينا التيار ($I_2 = 1.5A$) وحيث إن القدرة المفقودة فى المقاومة هي

$$P = I^2 R$$

ولذلك فإن

$$\mathbf{P}_{1\Omega} = (6)^2 1 = 36\mathbf{W} \qquad \mathbf{P}_{2\Omega} = (1.5)^2 2 = 4.5\mathbf{W} \qquad \mathbf{P}_{3\Omega} = (3)^2 3 = 27\mathbf{W}$$

$$\mathbf{P}_{4\Omega} = (1.5)^2 4 = 9\mathbf{W} \qquad \mathbf{P}_{6\Omega} = (1.5)^2 6 = 13.5\mathbf{W}$$

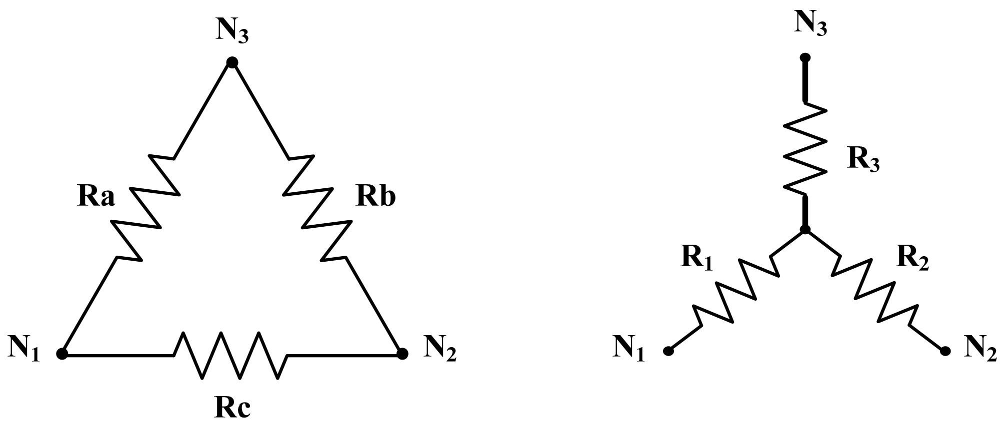
وبالتالي تكون القدرة الكلية P_T هي :

$$P_T = 36 + 4.5 + 27 + 9 + 13.5 = 90W$$

ربط النجمة و ربط الدلتا ($\Delta - Y$):

يحدث كثيراً أن ترتبط ثلاث مقاومات ، لا على التوازي و لا على التوالي بل على الشكل نجمي Y و يشار إليه أيضاً بالربط T أو أن ترتبط على الشكل دلتا ويشار إليه أيضاً بالربط π. و إذاً أريد تحليل دائرة تحتوي على ربط من أحد النوعين بدون استخدام التحليل العقدي أو الحلقي فقد يكون من المفضل إجراء تحويل في الربط من نوع إلى مكافئه من النوع الآخر كأن يتم تحويل ربط Y إلى ربط Δ أو العكس. و يمكن إيجاد المكافئ لأي من الرابطين بدلالة الآخر عن طريق الموازنة بين قيم المقاومة بين أي طرفين من الأطراف الثلاثة و مرادفتها في الربط الآخر و تحت نفس الشروط.

وعند الموازنة بين الربط Y و Δ في الشكل(٣- ٤٣) فإن تكافؤ الربطين يتطلب أن تكون المقاومة بين أي طرفين من الربط Δ مساوية للمقاومة بين نفس الطرفين للربط Y فالمقاومة الكلية بين N3 وN1 في الربط Δ هي:



الشكل (٣- ٤٣)

تحويل ربط Y إلى ربط Δ

$$R_a = \frac{R_3R_2 + R_2R_1 + R_3R_1}{R_2}$$

$$R_b = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_3} \qquad (3\text{-}36)$$

$$R_C = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_1}$$

تحويل ربط Δ إلى ربط Y

$$R_1 = \frac{R_aR_b}{R_a + R_b + R_C}$$

$$R_2 = \frac{R_bR_C}{R_a + R_b + R_C} \qquad (3\text{-}37)$$

$$R_1 = \frac{R_aR_C}{R_a + R_b + R_C}$$

<u>مثال (٣- ٣٨):</u>

لتكن المقاومات R_1 ، R_2 ، R_3 الموضحة في الشكل (٣- ٤٣) قيمتها 12Ω ، $1\Omega, 34\Omega$ على التوالي (الحالة الأولى الجدول (٣- ١)) .تم تحويل ربط Y إلى ربط Δ .

احسب قيمة المقاومات R_a , R_c , R_b للحالات الست.

<u>الحل:</u>

بتطبيق القوانين (3-36) نحصل على قيم المقاومات للحالات الست الجدول (٣- ١).

Rc[Ω]?	Rc[Ω]?	Rb [Ω]?	R2 [Ω]	R1 [Ω]	R3 [Ω]	
454	37.833	13.353	34	12	1	1
103.283	42.124	113.87	16.78	45.36	18.5	2
4221	2275	8121	657	2345	1264	3
82.829	24.113	1.593	18.402	1.216	0.354	4
683.886	453.333	272	220	132	87.5	5
140463	147864	29078	66453	12868	13546	6

الجدول (٣- ١)

مثال (٣- ٣٩)

لتكن المقاومات R_A ، R_C ، R_B الموضحة في الشكل (٣- ٤٣) قيمتها 27Ω , 76Ω , 16Ω ، على التوالي (الحالة الأولى الجدول (٣- ١). تم تحويل ربط Δ إلى ربط Y.

احسب قيمة المقاومات R_3 , R_1 , R_2 للحالات الخمس.

بتطبيق القوانين (3-37) نحصل على قيم المقاومات للحالات الخمس الجدول (٣- ٢).

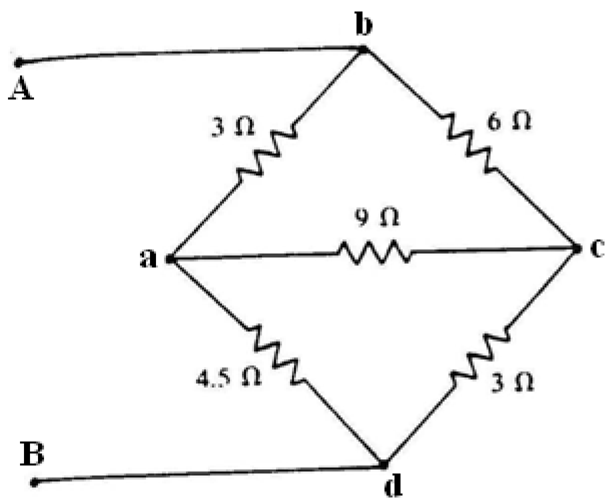
الحل:

	R_A [Ω]	R_C [Ω]	R_B [Ω]	R_3 [Ω]?	R_1 [Ω]?	R_2 [Ω]?
1	16	27	76	3.63	10.218	17.244
2	158	545	227	92.591	38.566	133.027
3	1320	725	38	459.434	24.081	13.226
4	0.76	1.45	3.12	0.206754	0.444878	0.84878
5	12000	45625	27210	6454	3849	14634

الجدول (٣- ٢)

مثال (٣- ٤٠):

في شبكة المقاومات المبينة بالشكل (٣- ٤٤ أ). احسب قيمة المقاومة المكافئة عند الطرفين AB .



الشكل (٣- ٤٤أ).

الحل:

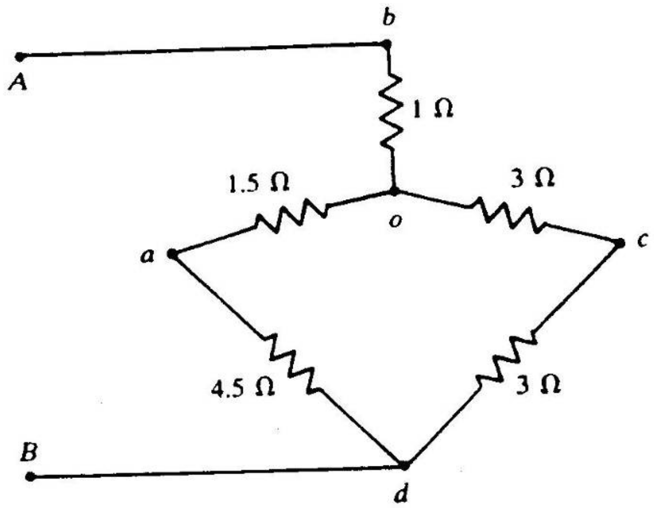
نحول شبكة الدلتا الشكل (٣- ٤٤ب) إلى شبكة نجمية باستخدام المعادلة (٧- ٢):

$R_{ao} = (9\times3) /(3+6+9) = 1.5\Omega$

$R_{bo} = (6\times3)/(3+6+9) = 1\Omega$

$R_{co} = (6\times9) /(3+6+9) = 3\Omega$

و منها نحصل على الدائرة المكافئة الشكل (٣- ٤٤ ب) التي تحتوي على مجموعات مقاومات موصلة توالي/ توازي ، و منها نجد أن:



الشكل (٣- ٤٤ب)

$$R_{ad} = (1.5 + 4.5)\ (3 + 3)/(1.5 + 4.5 + 3 +3) = 3\Omega$$

و لذلك :

$$R_{ab} = R_{bo} + R_{od} = 1+ 3 = 4\Omega$$

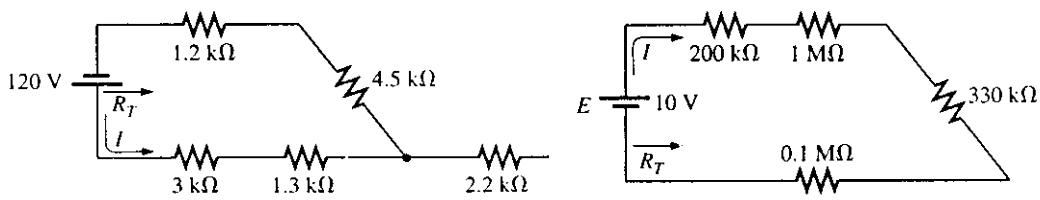
تمارين على الوحدة الثالثة :

١. موصل مقاومته $28\ \Omega$ تزداد مقاومته بمقدار $12\ \%$ عندما تزداد درجة حرارته من 18 إلى $20°C$، احسب متوسط ارتفاع درجة حرارة الموصل عند درجة حرارة محيطه تبلغ $20°C$ عندما تكون مقاومته 35Ω ويكون معامل درجة الحرارة ثابتاً.

٢. احسب التيار المار في المقاومة $4\ \Omega$ إذاً كان فرق الجهد بين طرفيها $20\ V$.

٣. احسب كفاءة المحرك الكهربائي إذا كانت القدرة الخارجة منه $850\ W$ وكان التيار المغذي له $A8$ عند $120\ V$.

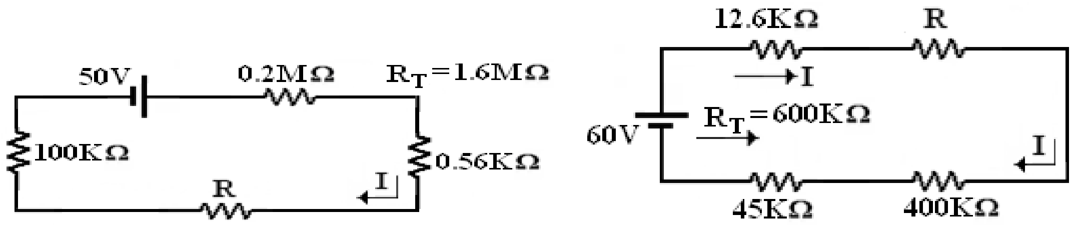
٤. احسب المقاومة الكلية والتيار الكلي من الدوائر الكهربائية التالية والموضحة في الشكل (١) .



(ب) (أ)

الشكل (١)

٥. إذا علمت المقاومة الكلية للدوائر الموضحة في الشكل (٢) ، احسب المقاومات المجهولة وكذلك التيار I لكل من هذه الد وائر .



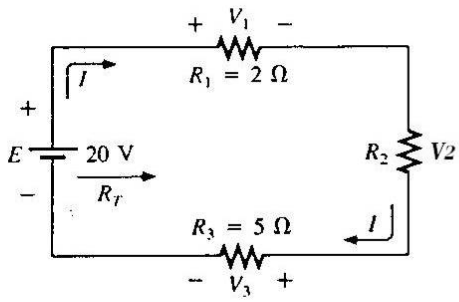
(أ)

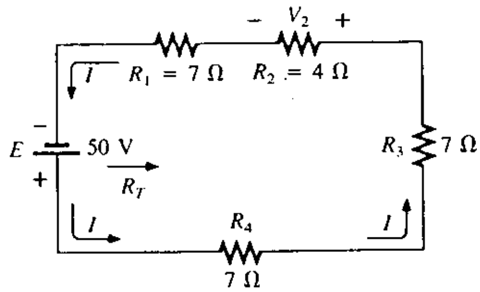
الشكل (٢)

٦. للدوائر الكهربائية الموضحة في الشكل (٣) احسب :

(أ) المقاومة الكلية والتيار وفرق الجهد عبر كل مقاومة.

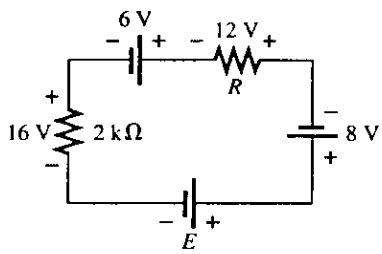
(ب) القدرة المفقودة في كل مقاومة وكذلك قدرة البطارية وأثبت أن القدرة المفقودة في المقاومات تساوي قدرة المنبع (البطارية) .





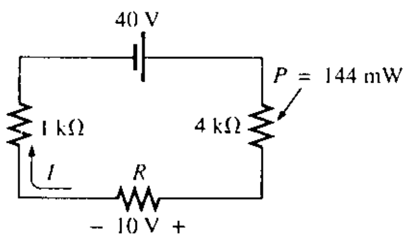
الشكل (٣)

٧. احسب المقاومة R وجهد البطارية E للدائرة الموضحة في الشكل (٤) .



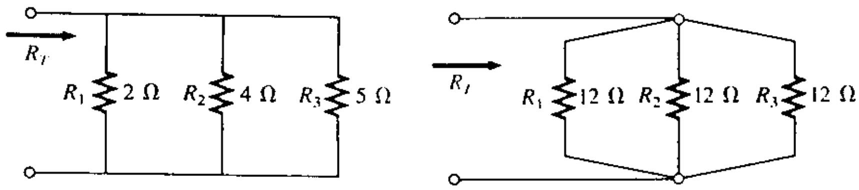
الشكل (٤)

٨. احسب للدائرة الموضحة في الشكل (٥) المقاومة R و فرق الجهد عبر كل مقاومة .



الشكل (٥)

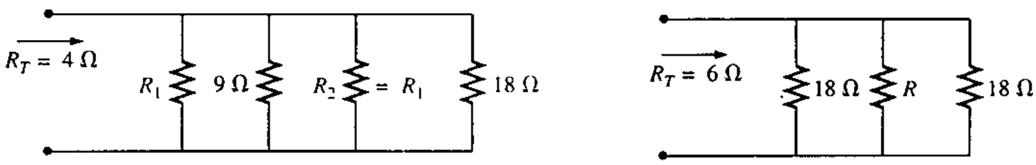
٩. احسب المقاومة الكلية للدوائر الموضحة في شكل(٦)



(B) (A)

الشكل (٦)

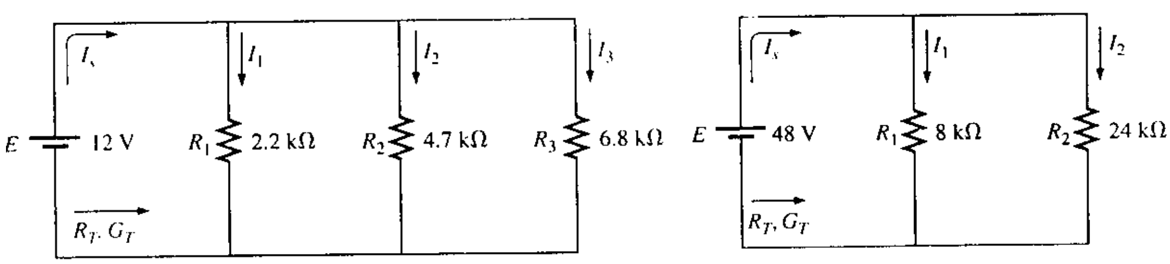
١٠. احسب المقاومات المجهولة للدوائر الموضحة في الشكل (٧) .



(B) (A)

الشكل(٧)

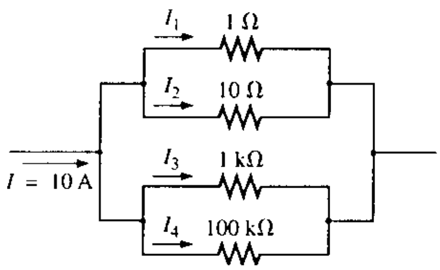
١١. احسب المقاومة الكلية والتيار I_S وكذلك التيارات في كل فرع بالإضافة إلى القدرة المفقودة في كل مقاومة وذلك للدوائر الموضحة في الشكل (٨) .



(B) (A)

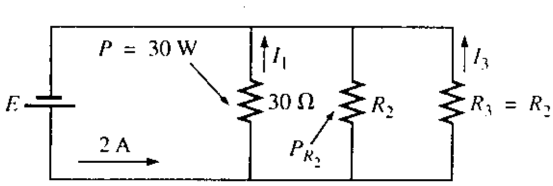
الشكل(٨)

١٢. احسب المقاومة الكلية للدائرة المبينة في الشكل (٩) واحسب كذلك التيارات المارة في كل مقاومة.



الشكل (٩)

١٣. احسب الكميات المجهولة في الدائرة الموضحة في الشكل (١٠) .



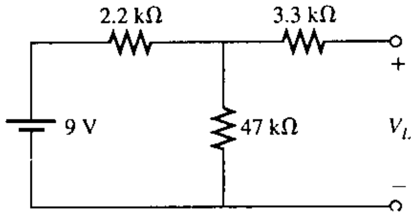
الشكل (١٠)

١٤. للدائرة الموضحة في الشكل (١١) احسب :

أ- فرق الجهد V_L بين طرفي الدائرة المفتوحة .

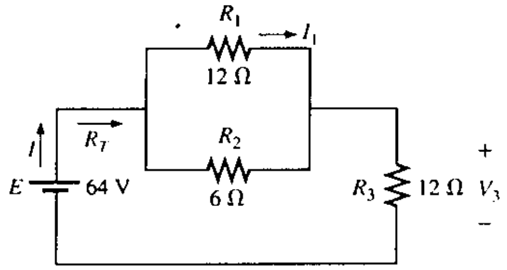
ب- إذاً تم عمل قصر بين طرفي المقاومة 2.2 K Ω احسب قيمة V_L .

ج- إذاً تم عمل قصر بين طرفي V_L احسب تيار القصر في هذه الحالة .



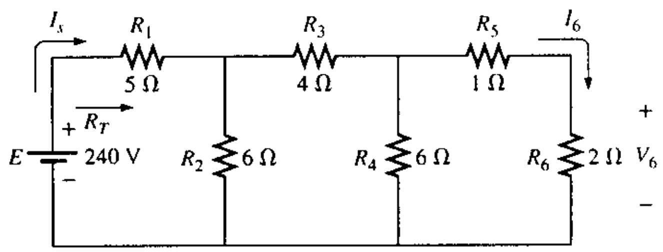
الشكل(١١)

١٦. احسب الكميات المجهولة في الدائرة الموضحة في الشكل (١٢) .



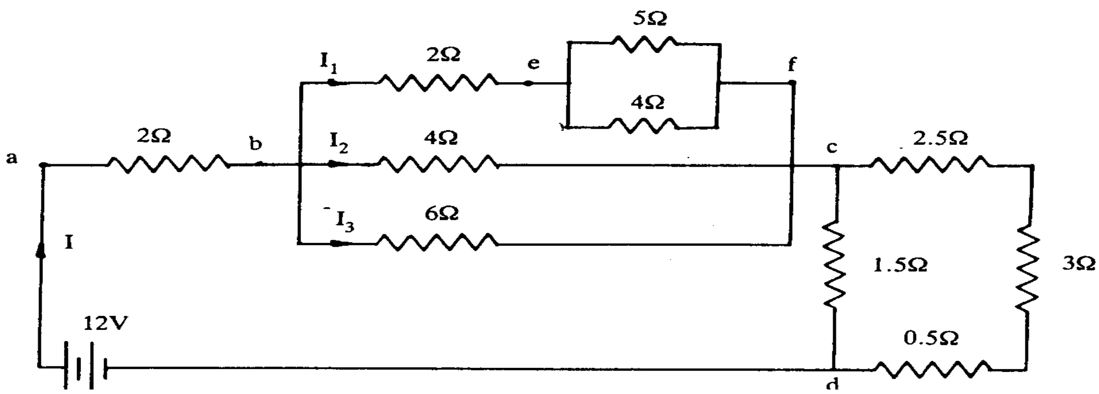
الشكل (١٢)

١٦. احسب الكميات المجهولة في الدائرة الموضحة في الشكل (١٣) .



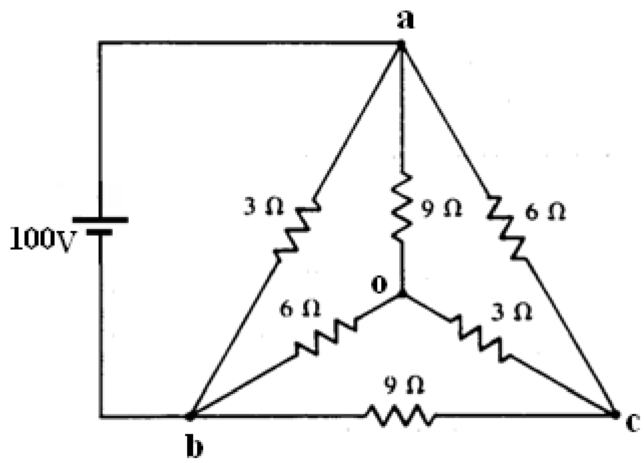
الشكل (١٣)

١٧- من الدائرة الممثلة في الشكل (١٤) احسب التيار الكلي I وكذلك التيارات I_1 . I_2, I_3



الشكل (١٤)

٢٠- احسب القدرة المغذاة إلى الشبكة الشكل (١٥).

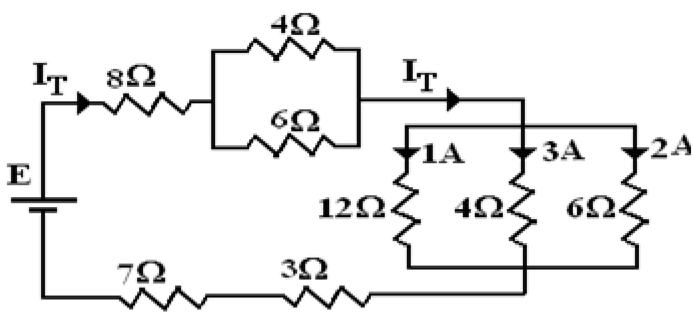


الشكل (١٥)

٢١. من الدائرة الموضحة في شكل رقم (١٦) أوجد :

(أ) قيمة التيار الكلي المار في الدائرة I_T (ب) المقاومة الكلية وأرسم الدائرة المكافئة.

(ج) قيمة جهد المصدر E (د) القدرة المستهلكة في الدائرة

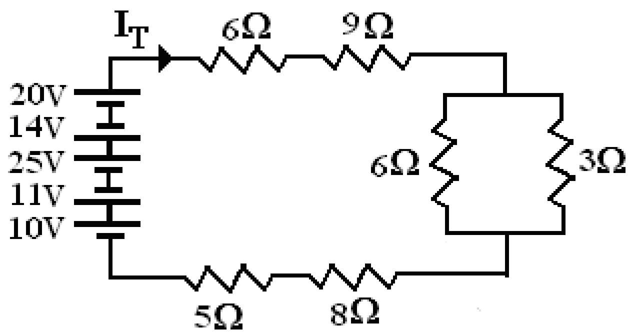


الشكل (١٦)

٢٢. من الدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل رقم (١٧) أوجد:

(أ) قيمة جهد المصدر المكافئ (ب) قيمة المقاومة الكلية وأرسم الدائرة المكافئة

(ج) التيار الكلى المار في الدائرة I_T (د) القدرة المستهلكة في الدائرة.

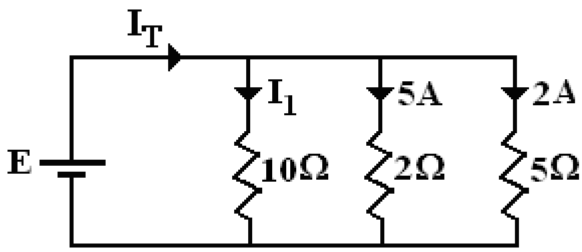


الشكل (١٧)

٢٣. من الدائرة الكهربية الموضحة فى الشكل رقم (١٨)، أوجد :

(أ) التيار المار في المقاومة 10Ω (ب) المقاومة الكلية وأرسم الدائرة المكافئة

(ج) قيمة جهد المصدر E (د) القدرة المستهلكة في الدائرة



الشكل (١٨)

الوحدة الرابعة

تحليل الدوائر الكهربائية

الهدف العام للوحدة: معرفة وفهم مجموعة من القوانين و النظريات والطرق من حيث تطبيقها في تحليل الدوائر الكهربائية.

الأهداف التفصيلية:

(١). أن يتمكن المتدرب من تحديد تيارات الفروع التي تتكون منها الدائرة.

(٢). أن يتمكن المتدرب من حساب الجهود عبر عناصر كل فرع.

(٣). أن يتمكن المتدرب من استخدام قانوني كيرشوف عند كل عقدة من عقد الدائرة و لكل حلقة من الحلقات التي تتكون منها الدائرة.

(٤).أن يتمكن المتدرب من تحليل الدوائر الكهربائية و و مسارات التيار داخلها.

(٥). أن يعرف المتدرب بعض الطرق المبسطة لتحليل دوائر التيار المستمر.

تحليل الدوائر الكهربائية

مقدمة :

من المعتاد أن تحتوي الدائرة الكهربائية على عدد كبير من العناصر الكهربائية من مقاومات و مكثفات و ملفات و مصادر للجهد ومصادر للتيار و عناصر كهربائية أخرى يمكن تمثيلها بالعناصر الأساسية ، ويمكن تحليل هذه الدائرة بالاعتماد على قانون أوم وقانوني كيرشوف (للجهد ، والتيار). إلا أن الاقتصار على هذه القوانين وحدها قد يؤدي إلى خطوات حل مطولة ، وهناك نظريات و أساليب مستمدة من القوانين الأساسية يمكن استخدامها لتسهيل التحليل واختصاره. و سنعرض عدداً من هذه النظريات و الأساليب الرئيسة بإيجاز ، و نعتمد على عدد من الأمثلة البسيطة لتوضيحها.

إن الأسلوب المعتمد في تحليل الدائرة الكهربائية يعتمد على تحديد تيارات الفروع التي تتكون منها الدائرة ، و حساب الجهود عبر عناصر كل فرع ، ومن ثم استخدام قانون كيرشوف للتيار عند كل عقدة من عقد الدائرة و قانون كيرشوف للجهد لكل حلقة (مسار مغلق) من الحلقات التي تتكون منها الدائرة فتتكون عدد من المعادلات الجبرية بعدد العقد و عدد الحلقات التي يمكن من خلال حلها لإيجاد المجاهيل.

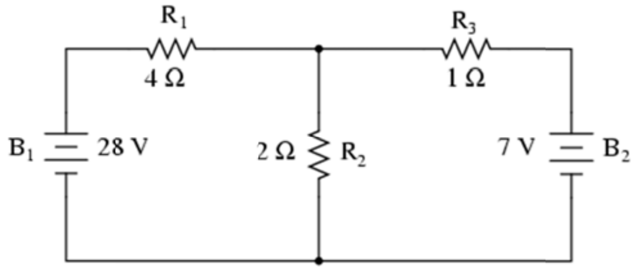
طريقة تيار المسار المغلق (التحليل الحلقي): Mesh Current Method (Loop Method)

تعتمد طريقة تيار المسار المغلق (التحليل الحلقي) على قانون كيرشوف للجهد فبدلاً من افتراض وجود تيارات فرعية فإننا نحدد عدد المسارات المغلقة ثم نفترض وجود تيارات حلقية في كل مسار مغلق ، ثم بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على كل مسار مغلق يتم الحصول على عدد من المعادلات تساوي عدد المسارات وتساوي في نفس الوقت عدد التيارات المفترضة في المسارات المغلقة ، وبحل هذه المعادلات يمكن الحصول على قيم التيارات المفترضة التي تعني قيم التيارات في الأفرع.

ويمكن توضيح ذلك بالأمثلة التالية:

مثال (٤- ١):

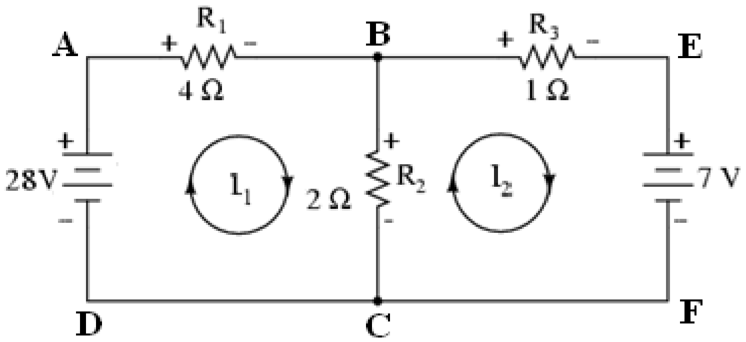
احسب التيارات الحلقية I_1 و I_2 و التيارات الفرعية عبر المقاومات R_1 و R_2 و R_3 للدائرة الموضحة في الشكل (٤- ١).



الشكل (٤- ١)

الحل :

نفترض وجود تيارات حلقية في كل حلقة للدائرة في الشكل(٤- ١)، فنأخذ التيارات I_1 و I_2 في الحلقتين و نعدها باتجاه عشوائي الشكل (٤- ٢).



الشكل (٤- ٢)

فيما يخص الحلقة الأولى A,B,C,D,A و حسب قانون كيرشوف للجهد يكون مجموع الجهود في مسار التيار I_1 صفراً أي أننا إذا سرنا في اتجاه التيار الشكل (٤- ٢) نحصل على المعادلة التالية:

$$-28 + 2(I_1 + I_2) + 4I_1 = 0$$

$$-28 + 2I_1 + 2I_2 + 4I_1 = 0$$

$$-28 + 6I_1 + 2I_2 = 0$$

بقسمة طرفي المعادلة على الرقم 2 ينتج أن :

$$-14 + 3I_1 + I_2 = 0$$

$$14 = 3I_1 - I_2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(a)}$$

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد في الحلقة الثانية B,E,F,C,B مسار التيار I_2 ، الشكل (٤- ٢) نحصل على المعادلة التالية:

$$-7 - 2(I_2 - I_1) - 1\times I_2 = 0$$

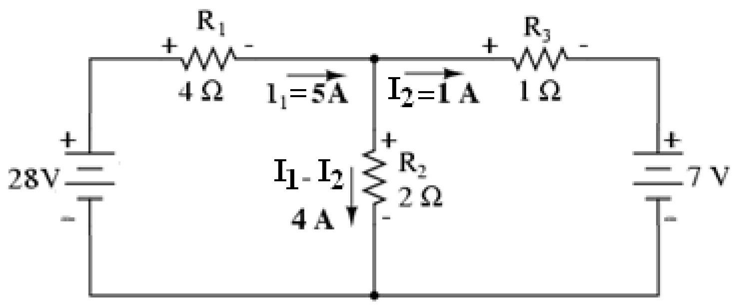
$$-7 - 2I_2 + 2I_1 - I_2 = 0$$

$$-7 = -2I_1 + 3I_2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(b)}$$

ومن المعادلتين المبينتين أعلاه ,(a) و (b) يمكن إيجاد تيارات الحلقتين في الشكل (٤- ٢) ، بضرب طرفي المعادلة (a) في الرقم 3 ، والمعادلة (b) في الرقم 2 ، وبالجمع ينتج أن:

$$I_1 = 5A , \qquad I_2 = 1A$$

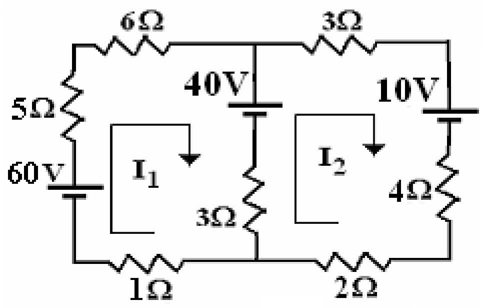
الشكل (٤- ٣) يوضح اتجاه التيارات في الأفرع للدائرة المختلفة.



الشكل (٤- ٣)

<u>مثال (٤- ٢):</u>

من الدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل (٤- ٤) وباستخدام طريقة المسارات المغلقة (التحليل الحلقي) أوجد قيمة التيارات I_1 و I_2.



الشكل (٤- ٤)

<u>الحل :</u>

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على مساري التيارين I_2 , I_1 للدائرة في شكل(٤- ٤) كالآتي:

<u>مسار التيار I_1</u>

$60 - 40 - 5 I_1 - 6 I_1 - 3(I_1 - I_2) - 1\times I_1 = 0$

$20 - 5 I_1 - 6 I_1 - 3I_1 + 3I_2 - 1\times I_1 = 0$

$20 = 15 I_1 - 3I_2$ .... (a)

<u>مسار التيار I_2</u>

$40 - 10 - 3(I_2 - I_1) - 3I_2 - 4I_2 - 2I_2 = 0$

$30 - 3I_2 + 3I_1 - 3I_2 - 4I_2 - 2I_2 = 0$

$30 = - 3I_1 + 12I_2$ .... (b)

وبحل المعادلتين المبينيتين أعلاه (a), (b) يمكن إيجاد تيارات الحلقتين بالشكل (٤- ٤) ، بضرب طرفي المعادلة المعادلة (b) في الرقم 5 ، وبالجمع للمعادلتين ينتج أن:

$20 = 15 I_1 - 3I_2$ .... (a)

$150 = - 15I_1 + 60I_2$ .... (b)

$170 = 57I_2$, $I_2 = 170/57 = 2.98A$

وبالتعويض عن قيمة التيار I_2 في أي معادلة (a) أو (b) ينتج أن :

$I_1 = 5A$, $I_2 = 1A$

الشكل (٤- ٣) يوضح اتجاه التيارات في الأفرع للدائرة المختلفة.

$20 = 15 I_1 - 3(2.98)$

$I_1 = \{20 + 3(2.98)\}/15 = 28.94/15 = 1.929A$

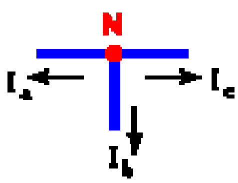
التحليل العقدي: Node Voltage Method

تعرف العقدة في الدوائر الكهربائية بأنها نقطة تجميع أو تلاقي أكثر من فرعين. بإستخدام طريقة التحليل العقدي في تحليل الدوائر الكهربائية يعني إنشاء معادلات للدائرة الكهربائية وكذلك حل هذه المعادلات التي تحتوي على جهود للعقد الأساسية والغير معروفة لها قيمة الفولتية. عند معرفة قيمة الجهد لكل العقد في أي دائرة كهربائية يسهل حساب قيمة التيار في كل فرع.

والخطوات الأساسية لتحليل الدائرة الكهربائية لإستخدام طريقة التحليل العقدي هي كالآتي:

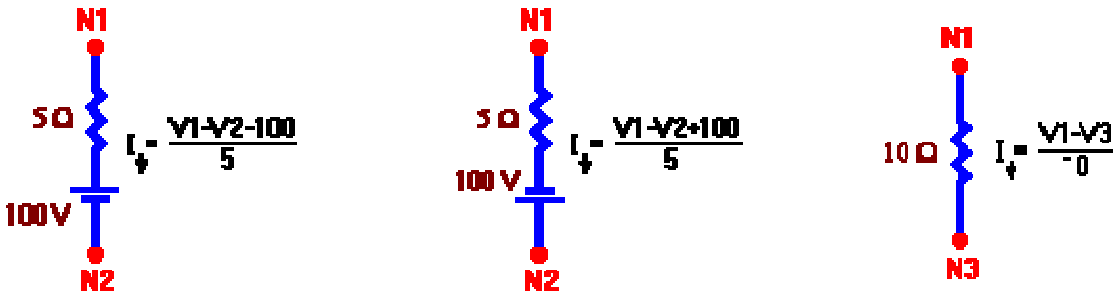
- قم بتحديد العقد في الدائرة الكهربائية بوضع علامة عليها ومعرفة عددها ولنفرض أن عدد العقد n ، ثم قم بترقيم العقد على سبيل المثال $N_1, N_2, N_3, \ldots\ldots N_n$ ، ويسمى الجهد عند هذه العقد بجهود العقد $V_1 , V_2, V_3, \ldots\ldots V_n$
- إختر عقدة واحدة من هذه العقد وإعتبرها عقدة إسناد ويفضل إختيار العقدة التي يلتقي فيها أكثر عدد من الأفرع ويكون جهد هذه العقدة صفرا .
- طبق قانون كيرشوف للتيار عند كل عقدة ماعدا عقدة الإسناد ، فعند تطبيق قانون كيرشوف للتيار عند عقدة ما ، طبعا ماعدا عقدة الإسناد ، نعتبر أن هذه العقدة هي الأعلى جهدا بالنسبة للعقد الأخرى وبالتالي فإن التيار الخارج منها يأخذ إشارة موجبة والتيار الداخل لها يأخذ إشارة سالبة.
- على سبيل المثال ، بتطبيق قانون كيرشوف للتيار (KCL) عند العقدة N ، في الشكل (٤- ٥) تكون تالمعادلة:

$$I_a + I_b + I_c =0$$



شكل (٤- ٥)

- ولحساب التيار المار في كل فرع متصل بالعقدة التي يطبق عليها الجهد العقدي وبإستخدام قانون أوم ، التيار المار في الفرع يساوي فرق الجهد على هذا الفرع مقسوما على مقاومة الفرع (I=V/R) ، والشكل (٤- ٦) يوضح أوضاع مختلف لتوصيل المقاومات مع العقدة.



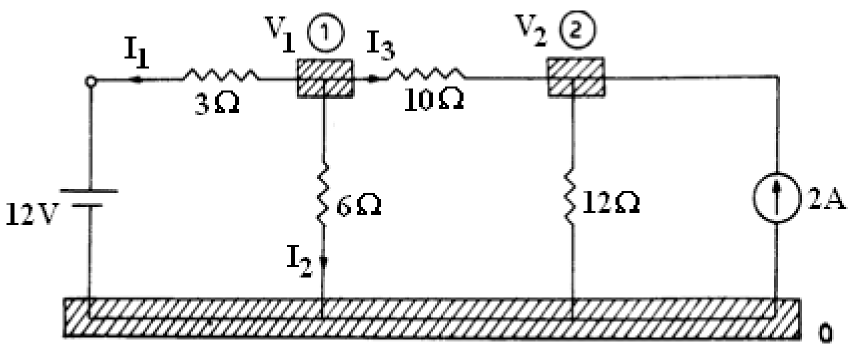
أ.مقاومة متصلة بين عقدتين

ب. مقاومة متصلة بين عقدتين على التوالي مع بطارية

الشكل (٤- ٦)

__مثال (٤- ٣)__

يعتمد التحليل العقدي على قانون كيرشوف للتيار فإذا نظرنا إلى الدائرة المبينة بالشكل (٤- ٧) وجدنا فيها ثلاث عقد هي العقدة 1 والعقدة 2 ونشير إلى العقدة الثالثة التي يلتقي عندها أكبر عدد من الفروع بالعقدة 0 فإذا افترضنا أن جهد العقدة 1 هو V1 بالنسبة للعقدة 0 و جهد العقدة 2 هو V_2 بالنسبة للعقدة 0 وأن V_1 و V_2 أعلى جهدا من العقدة 0 فإنه و بالاستناد إلى الشكل تكون التيارات المتفرعة من العقد بحسب قانون كيرشوف كالآتي:



الشكل (٤- ٧)

بتطبيق قانون كيرشوف للتيار على العقدة (1) ، تلاحظ أن هذه العقدة تجمع ثلاثة أفرع ، الفرع الأول والثاني بين العقدة (1) ، وعقدة الإسناد (0) ، والفرع الثالث بين العقدة (1) والعقدة (2) ولذلك تكون المعادلة كالتالي:

$$[(V_1 - 12)/3] + [(V_1 - 0)/6] + [(V_1 - V_2)/10] = 0 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (a)$$

وبتطبيق قانون كيرشوف للتيار على العقدة (2) ، تلاحظ أن هذه العقدة تجمع أيضا بين ثلاثة أفرع ، الفرع الثاني والثالث بين العقدة (2) ، والعقدة (0) ، والفرع الأول بين العقدة (2) والعقدة (1) ولذلك تكون المعادلة كالتالي:

$$[(V_2 - V_1)/ 10 + [(V_2 - 0)/12] - 2 = 0 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (b)$$

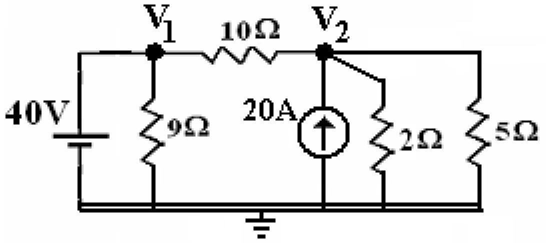
و بحل هاتين المعادلتين (a) ، (b) يمكن إيجاد V_1 و V_2 و من ثم يمكن إيجاد قيمة التيار المار في المقاومة 6 أوم حيث يساوي:

$$I_2 = (V_1 - 0)/6$$

لقد حاولنا من خلال حل أمثلة بسيطة لتوضيح أسلوب التحليل الحلقي و التحليل العقدي إلا أن المزايا الفعلية للطريقتين لاتظهر إلا عند التعامل مع دوائر معقدة بعض الشيء.

مثال (٤- ٤) :

من الدائرة الكهربية الموضحة في الشكل رقم (٤- ٨) وباستخدام طريقة التحليل العقدي أوجد قيمة جهود العقد V_1 و V_2 ,



الشكل (٤- ٨)

الحل :

العقدة (1) موصلة بعقدة الإسناد عن طريق البطارية 40V ولذلك يكون جهد العقدة (1) هو جهد البطارية حيث موصل قطبها الموجب بالعقدة (1) وطرفها السالب موصل بعقدة الإسناد:

$V_1 = 40V$ …………….. (a)

العقدة (2) تجمع أربعة أفرع ولذلك يمكن كتابة معادلة الجهد العقدي كالتالي::

$(V_2 - V_1)/10 + (V_2 - 0)/2 + (V_2 - 0)/5 – 20 =0$

$V_2 - V_1 + 5V_2 + 2V_2 – 200 = 0$

$8V_2 - V_1 – 200 = 0$ …………….. (b)

بالتعويض عن قيمة V_1 في المعادلة (b) ينتج أن:

$8V_2 = 200 + 40,$ $8V_2 = 240$

$V_2 = 240/40 = 30V$

نظرية التركيب: (Superposition Theorem)

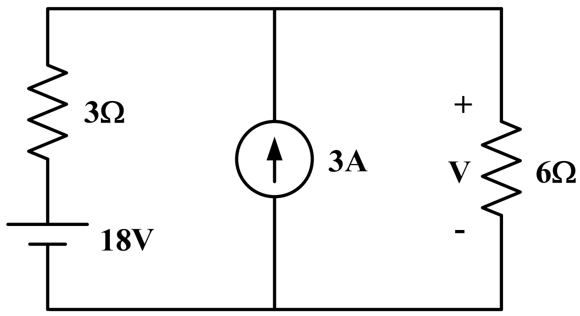
هي نظرية المصادر المتعددة المغذية للدائرة وتستخدم هذة النظرية عندما يوجد أكثر من مصدر تغذية سواء كان مصدر جهد أو مصدر تيار أو كليهما معا.

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

- إنه إذا أردنا إيجاد قيمة التيار الكهربائي المار في عنصر ما في الدائرة فإن هذا التيار يمكن إيجاد قيمته 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 وحيث أن مقاومته الداخلية أصغر ما يمكن لذلك نعمل عليه قصر دائرة على مصدر الجهد (Short Circuit)
- لجعل مصدر التيار خارج الخدمة يستبدل بمقاومته الداخلية حيث أنها تكون أكبر ما يمكن لذلك نعمل عليه فتح دائرة على مصدر التيار (Open Circuit)

مثال (٤- ٥) :

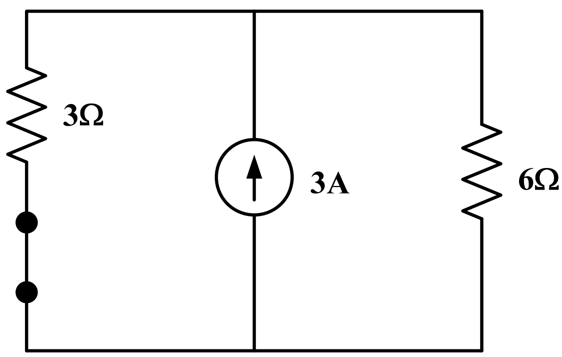
احسب التيار المار والجهد عبر المقاومة 6Ω في الدائرة الموضحة في الشكل (٤- ٩) باستخدام نظرية التركيب.



الشكل (٤- ٩)

الحل :

نأخذ كل مصدر على حده وعندئذ نستبدل المصادر غير المستخدمة بمقاومتها الداخلية و في الحالات المثالية، عندما لا يكون هنالك ذكر للمقاومات الداخلية تعد مصادر الجهد دائرة قصيرة و مصادر التيار دائرة مفتوحة. لنأخذ مصدر التيار أولاً و نهمل مصدر الجهد. فتصبح الدائرة كما في الشكل (٤- ٩ أ).



شكل(٤- ٩أ)

يتوزع تيار المصدر $3A$ بين المقاومتين 6Ω و 3Ω . وحيث أن المقاومتين متصلين معا على التوازي فإن المقاومة الكلية تساوي:

$$R = (3\times6)/(3+6) = 2\Omega$$

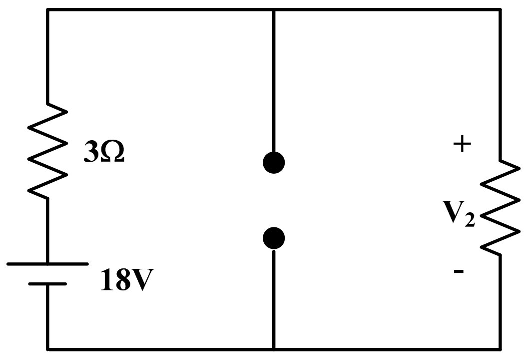
و يكون الجهد على طرفي الدائرة :

$$V = I \times R = 3 \times 2 = 6V$$

و على هذا فإن تيار المقاومة 6Ω هو:

$$I_1 = V/R = 6/6 = 1\ A$$

و عند إهمال مصدر التيار وأخذ مصدر الجهد فقط في الدائرة تصبح الدائرة كما هي في الشكل (٤- ٩ ب) عندئذ يمكن حساب التيار I_2 في المقاومة 6Ω.



الشكل (٤- ٩ب)

$$I_2 = 18/(3 + 6) = 2\ A$$

و أن الجهد على طرفي المقاومة هو :

$$V_2 = 2 \times 6 = 12\ V$$

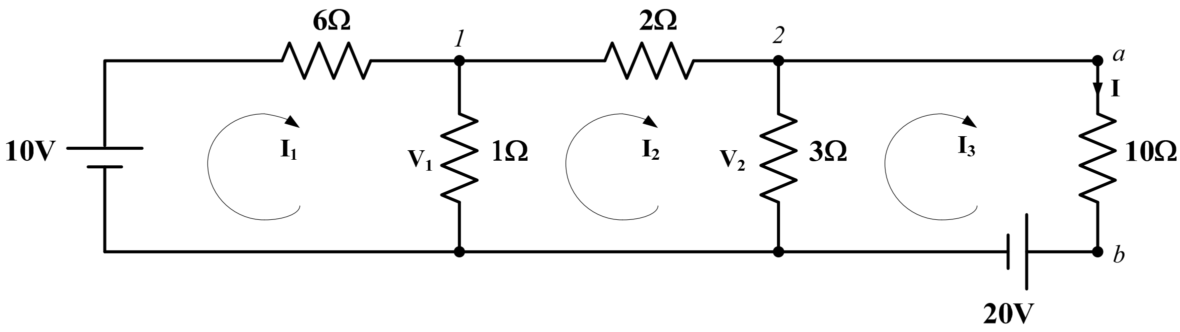
وهكذا فإن تأثير المصدرين في التيار والجهد للمقاومة 6Ω يكون :

$$I = I_1 + I_2 = 1 + 2 = 3A$$

$$V = 6 + 12 = 18\ V$$

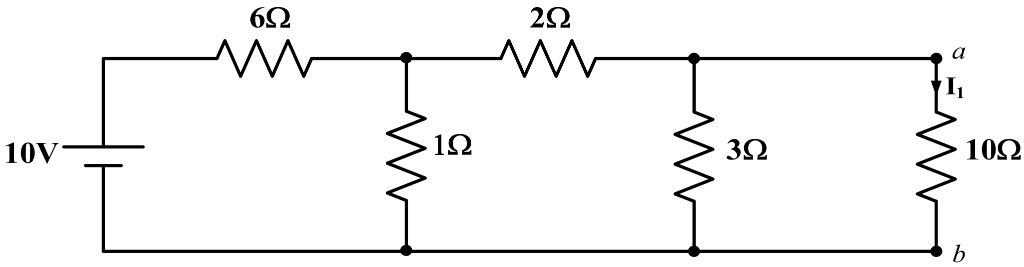
مثال (٤- ٦):

حل الدائرة (٤- ١٠) للحصول على التيار I باستخدام نظرية التركيب.



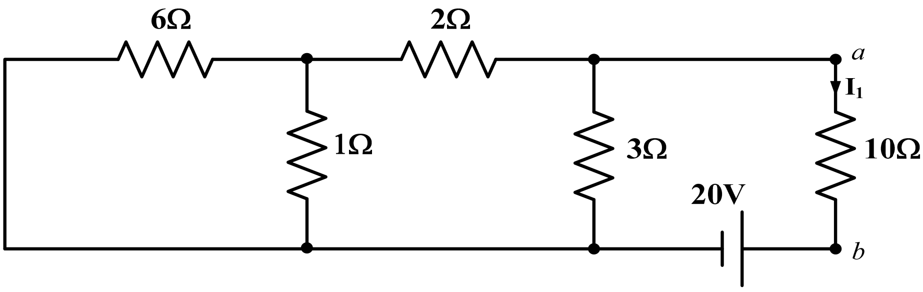
الشكل (٤- ١٠)

وبالرجوع لنظرية التركيب فإننا نوجد التيار الناشئ عن كل منبع على حده (و ذلك مع عدم وجود المنابع الأخرى أي تقصر كل المنابع الأخرى) ، و يكون التيار المطلوب مجموع هذه التيارات. و لحساب التيار الناشئ عن المصدر 10V نحذف المصدر 20V وذلك باستبداله بدائرة قصر. و في هذه الحالة فإن الدائرة تأخذ الشكل (٤- ١٠أ). و بتجميع المقاومات، نجد أن التيار I_1 قيمته 0.0636A



الشكل (٤- ١٠أ)

و بعد ذلك نحذف المنبع 10V ، الدائرة الشكل (٤- ١٠ب). و منها على التيار I_2 ،



الشكل (٤- ١٠ب)

$I_1 = 0.0636\ \ A$

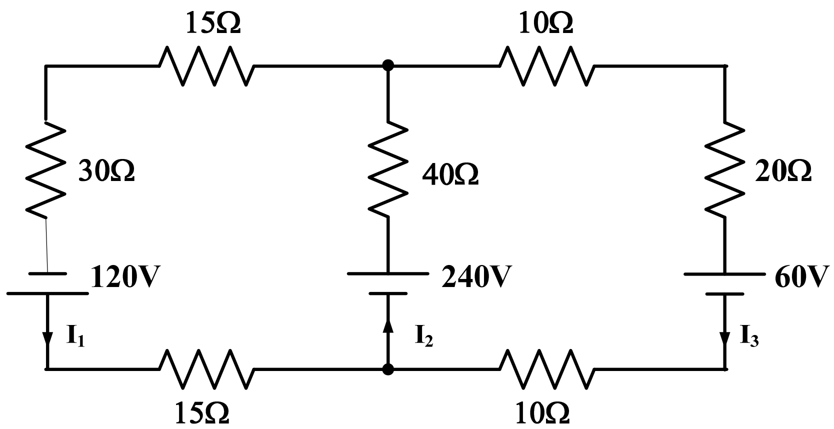
$I_2 = 1.744\ \ A$

و لذلك

$I = I_1 + I_2 = 0.0636 - 1.744 = -1.68\ A$

مثال (٤- ٧):

أوجد التيار الذي يمر في كل بطارية من البطاريات الموجودة في الشكل (٤- ١١) باستعمال طريقة التركيب.

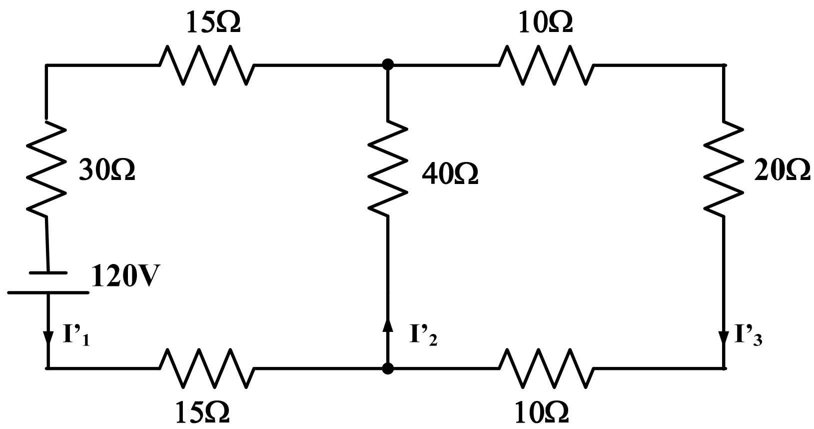


الشكل (٤- ١١)

الحل:

لحل هذه المسألة بطريقة التركيب نفرض وجود مصدر كهربائي واحد ونحذف المصدرين الآخرين و نحسب التيارات في الفروع المختلفة. و بعد تكرار هذه العملية لكل مصدر نقوم بجمع التيارات الناتجة في كل فرع للحصول على التيارات المطلوبة:

أ- المصدر الكهربائي (120V) كما في الشكل (٤- ١١أ).



الشكل (٤- ١١أ)

لحساب I'_1 نحسب المقاومة الكلية للدائرة

R' = 10 + 20 + 10 = 40 Ω

و هذه المقاومة متصلة مع المقاومة الأخرى (مقاومتين على التوازي ومتساويتين)

Rab = 40/2 = 20 Ω

و تكون المقاومة الكلية هي:

R = 20 + 15 + 15 +30 = 80 Ω

$I_1' = 120/80 = 1.5$ A

و لحساب I_2' ، نحسب فرق الجهد بين الطرفين a، b .

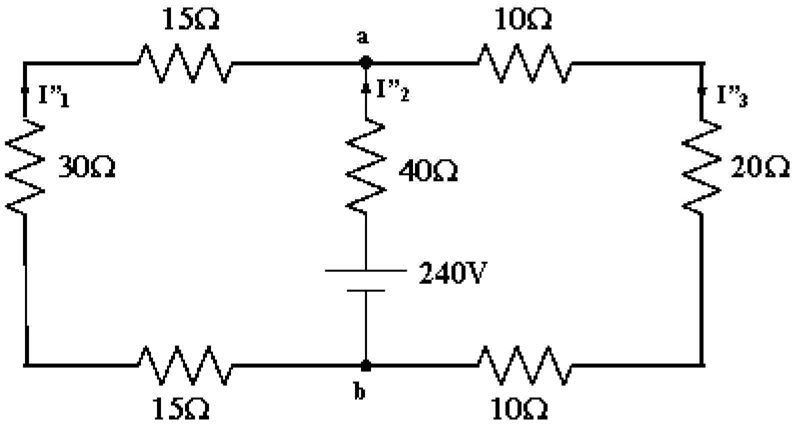
$V_{ab} = I_1' \times R_{ab} = 1.5\times20 = 30V$

$I_2' = 30/40 = 0.75$ A

$I_3' = 30/40 = 0.75$ A

ب- المصدر الكهربائي (240V) في الشكل (٤- ١١ب) باتباع الطريقة السابقة نفسها نحصل على:

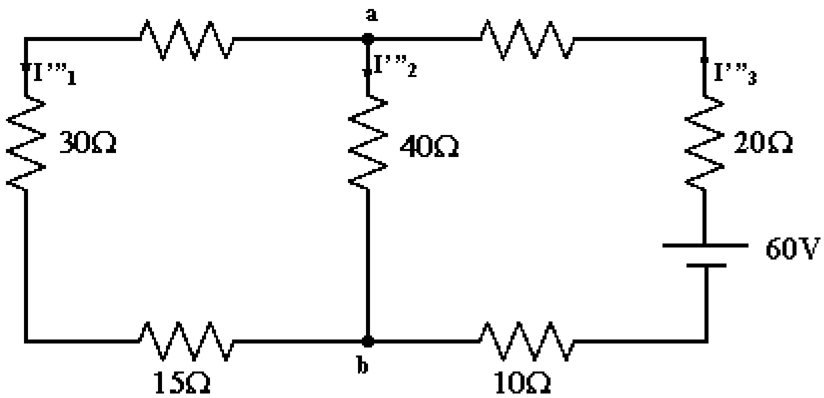
$I_1'' = 1.5$ A, $I_2'' = 3.75$ A, $I_3'' = 2.25$ A



الشكل (٤- ١١ب)

ج- المصدر الكهربائي (60 V) كما في الشكل (٤- ١١ج) باتباع الطريقة نفسها نحصل على:

$I_1''' = 0.375$ A, $I_2''' = 0.562$ A, $I_3''' = 0.937$A



الشكل (٤- ١١ج)

وللحصول على التيارات في الفروع الثلاثة يجب جمع التيارات الجزئية الثلاثة في كل فرع جمعاً جبرياً.

$I_1 = I_1' + I_1'' + I_1''' = 1.5 + 1.5 + 0.375 = 3.375$ A

$I_2 = I_2' + I_2'' + I_2''' = 0.75 + 3.75 – 0.562 = 3.938$ A

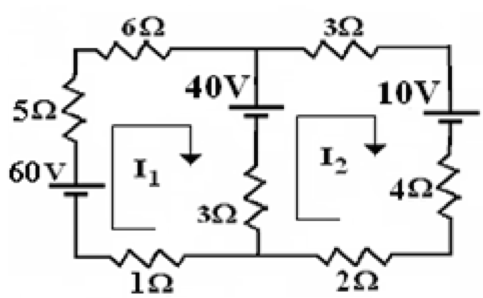
يلاحظ أن I_2''' اعتبر سالباً لأنه في عكس اتجاه التيارين I_2' و I_2'' اللذين اعتبرا موجبين، كما أن التيار الكلي I_2 في اتجاه التيارين I_2' و I_2''

$$I_3 = I_3' + I_3'' + I_3''' = 0.75 - 2.25 + 0.937 = -0.563 \text{ A}$$

و لما كانت القيمة التي حصل عليها للتيار I_3 سالبة ، كان معنى هذا أنه فى اتجاه الجزء الذي اعتبر سالباً و هو I_3'' .

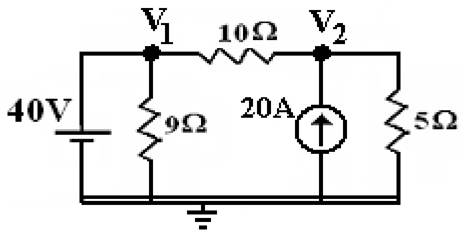
تمارين على الوحدة الرابعة:

١. من الدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل رقم (١) وباستخدام طريقة المسارات المغلقة (التحليل الحلقي) أوجد قيمة التيارات I_1 و I_2



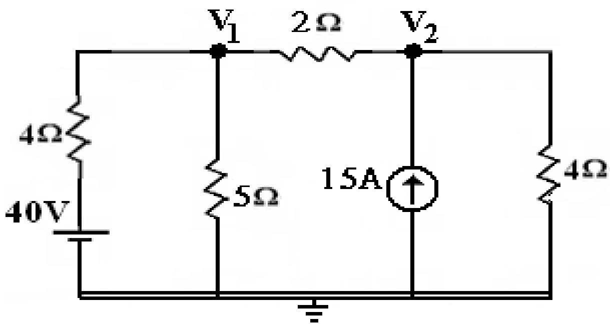
الشكل (١)

٢. من الدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل رقم (٢) وباستخدام طريقة التحليل العقدي أوجد قيمة جهود العقد V_1 و V_2



الشكل (٢)

٣. من الدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل رقم (٣) وباستخدام طريقة التحليل العقدي أوجد قيمة جهود العقد V_1 و V_2



الشكل (٣)

الوحدة الخامسة

المغناطيسية الكهربائية

الهدف العام للوحدة: معرفة أساسيات الكهرومغناطيسية اللازمة لفهم دوائر وقياسات التيار المتردد.

الأهداف التفصيلية:

(١) أن يعرف المتدرب أساسيات المغناطيسية الطبيعية وطريقة تصنيف المواد من وجهة النظر المغناطيسي

(٢) أن يعرف المتدرب الكميات المغناطيسية ووحداتها.

(٣) أن يعرف المتدرب العلاقة بين الكميات المغناطيسية.

(٤) أن يتمكن المتدرب منحساب شدة المجال المغناطيسي و الفيض المغناطيسي.

(٥) أن يعرف المتدرب القوى الكهرومغناطيسية والآثار المغناطيسية للتيار الكهربائي.

(٦) أن يعرف المتدرب الحثية الذاتية والتبادلية.

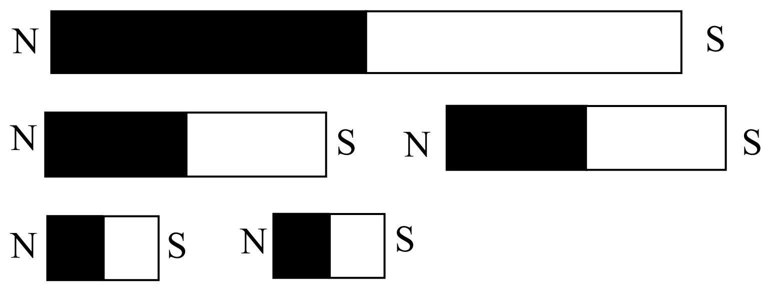
المغناطيسية الكهربائية

مقدمة :

الكهرومغناطيسية (المغناطيسية الكهربائية) وهي العلاقة بين المغناطيس والكهرباء أو بتعبير آخر الكهرومغناطيسية هي فيزياء الحقل (المجال) الكهرومغناطيسي أي إنها فرع الفيزياء الذي يدرس الحقل الكهرومغناطيسي الذي يتألف بدوره من حقل كهربائي و حقل مغناطيسي. ينشأ الحقل الكهربائي عن الشحنات الكهربائية الساكنة التي تسبب القوى الكهربائية المسؤولة عن الكهرباء الساكنة و المحددة بقانون كولوم. تقود هذه الحقول الكهربائية أيضاً إلى سريان التيار الكهربائي في الموصلات الكهربائية. أما الحقل المغناطيسي فهو ينتج عن المغانط المختلفة إضافة للشحن الكهربائية المتحركة ، فعندما تسير شحنة كهربائية ضمن تيار كهربائي ينشأ عنها حقل مغناطيسي محيط بها . لذلك يصعب فصل هذين الحقلين عن بعضهما البعض في الكثير من الحالات .

المغناطيس الطبيعي :

إذا كسرنا قضيباً مغناطيسياً نتج لدينا مغناطيسان لكل منهما قطب شمالي و قطب جنوبي، و يمكن عن طريق التكسير المتتالي تقسيم المغناطيس إلى أي عدد كبير من المغناطيسيات الشكل (٥- ١). و يمكن أن نتصور استمرار هذه العملية حتى أصغر جسيم، و هو الذرة، لنصل إلى افتراض أن الذرة أيضاً مغناطيس له قطب شمالي و قطب جنوبي. و على ذلك فإن المغناطيس يتكون من عدد كبير من المغناطيسيات المفردة الصغيرة، و هي ما تسمى بالمغناطيسات الذرية أو المغناطيسات الجزيئية.

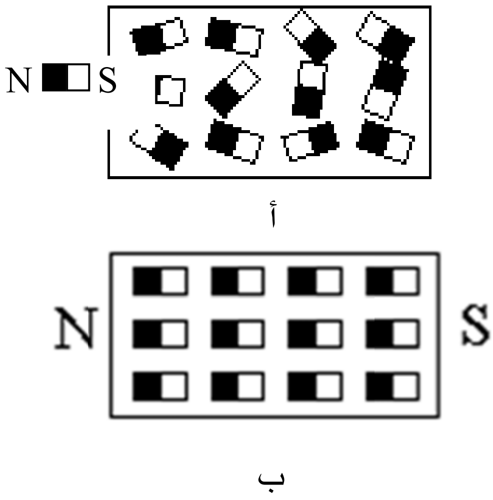


الشكل (٥-١) تقسيم المغناطيسات

تتألف جميع المواد من ذرات بها نواة موجبة الشحنة تدور حولها إلكترونات سالبة الشحنة فحركة هذه الشحنات السالبة تكون تيارات كهربائية صغيرة مما يتسبب في إحداث مجال مغناطيسي ذري له عزم مغناطيسي ذري.

وفي حالة عدم وجود أي مجال مغناطيسي خارجي تكون التيارات الصغيرة في اتجاهات مختلفة عشوائية كما في الشكل (٥- ٢أ) مما يسبب في إحداث مجالات مغناطيسية ذرية محددة في حجم الذرة و محصلة التيارات و العزوم المغناطيسية في المادة تلغي بعضها بعضاً و بذلك لا يظهر أي أثر للمجال المغناطيسي. و يشذ عن هذه الحالة المغناطيس الدائم.

أما إذا وضعت المادة في مجال مغناطيسي خارجي، حثه B ، فإن القوة المغناطيسية المؤثرة على الشحنات المتحركة تغير من اتجاه مدار الإلكترونات في الذرات و مسار التيار للإلكترونات الحرة في المعادن ، ولذلك يتولد مجال مغناطيسي يكون اتجاهه مع اتجاه المجال الخارجي كما في حال المواد البارامغناطيسية كما في الشكل (٥- ٢ب) أو عكس اتجاه المجال الخارجي كما في حالة المواد الدايامغناطيسية.



الشكل (٥- ٢)

أ- العزوم المغناطيسية في اتجاهات مختلفة عشوائية وذلك قبل وضعها فى المجال المغناطيسي الخارجي.

ب- العزوم بعد وضعها في المجال الخارجي.

المغناطيس الكهربائي:

المغناطيس الكهربائي عبارة عن مغناطيس تتولد فيه المغناطيسية فقط بسبب تدفق تيار كهربائي خلال سلك ما. وعادة ما تُصنع المغناطيسات الكهربائية من ملف من السلك بعدد لفات كبيرة لزيادة التأثير المغناطيسي. ويُمكن زيادة المجال المغناطيسي الذي ينتجه الملف بوضع مادة مغناطيسية، كقضيب حديدي، داخل الملف. ويتسبب التيار المار خلال الملف في تحول الحديد إلى مغناطيس مؤقت.

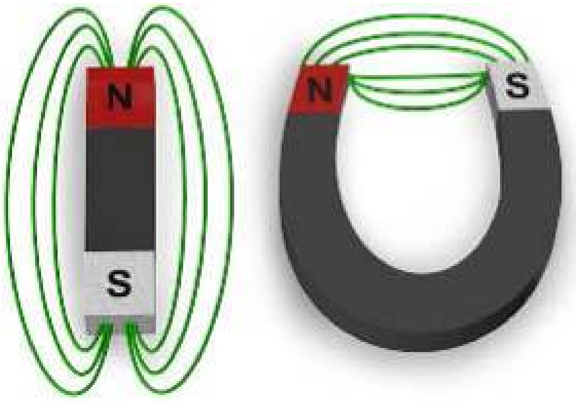
توليد مجال كهرومغناطيسي:

عندما يمر تيار كهربائي خلال جزء من السلك فإنه يتولد مجال مغناطيسي حوله. وعند لف السلك حول قطعة من المعدن، مع ترك القطبين الشمالي والجنوبي مكشوفين يتمغنط المعدن، بحيث يصبح مغناطيسًا كهربائيًا. وعادة ما يستخدم تجار الحديد الخردة مغناطيسات كهربائية ضخمة لالتقاط السيارات القديمة، وعند فصل التيار الكهربائي عن المغناطيس فإنه يفقد قوته ويمكن إسقاط السيارة في مكان آخر.

المجال المغناطيسي:

المجال (الحقل) المغناطيسي هي قوة مغناطيسية تنشأ في الحيز المحيط بالجسم المغناطيسي أو الموصل الذي يمر به تيار كهربائي؛ أو بتعبير أبسط يمكن وصفها بأنها المنطقة المحيطة بالمغناطيس ويظهر فيها أثره (على مواد معينة). فإذا وضعت إبرة بوصلة في المجال المغناطيسي ذو قوة ما فإنها توجه نفسها في اتجاه معين في كل جزء من المجال، والخطوط المرسومة في اتجاه الإبرة عند النقط المختلفة تحدد الوضع العام للخطوط التي هي عليها القوة المغناطيسية في المجال.

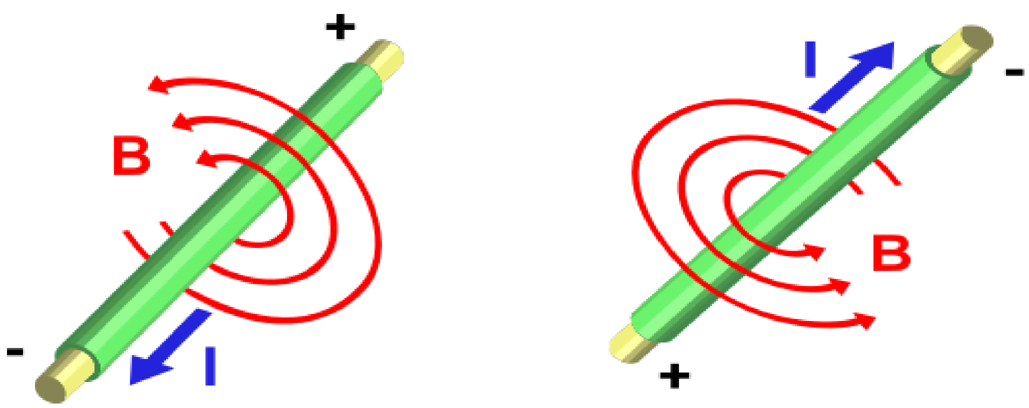
ويمكن تمثيل المجال المغناطيسي بخطوط القوى المغناطيسية الشكل (٥- ٣) بحيث تكون كثافة الخطوط لكل وحدة مساحات من عنصر مساحة عمودية على اتجاه خطوط القوى وهي مقدار المجال المغناطيسي. ويكون اتجاه المماس لخط القوى عند أية نقطة عليه معطياً اتجاه المجال المغناطيسي B عند تلك النقطة.



الشكل (٥- ٣)

المجال المغناطيسي الناتج عن موصل مستقيم يحمل تياراُ مستمراً (قاعدة اليد اليمنى):

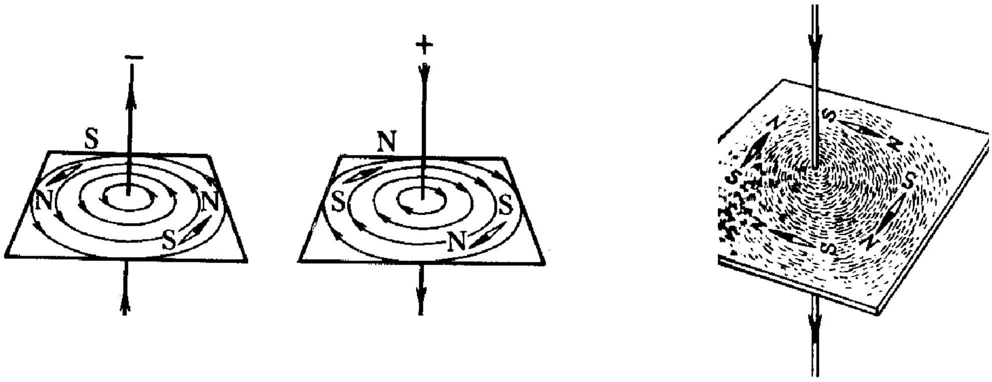
عند وضع قطعة مغناطيس صغيرة بالقرب من سلك يحمل تيارا نرى أن المغناطيس يصبح تحت تأثير قوة شبيهة بالقوة التي تظهر بين قطبين مغناطيسيين. و بهذا فإن السلك الحامل للتيار يسلك سلوك قطب مغناطيسي و يؤثر في قطعة المغناطيس المجاورة له. فنقول عن قطعة المغناطيس بأنها واقعة في المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور التيار في السلك و نمثل المجال المغناطيسي الذي يولده التيار بخطوط دائرية مركزها السلك و يكون الاتجاه المحدد على الخطوط هو اتجاه القوة المؤثرة في قطب شمالي مجاور للسلك وكما هو موضح في الشكل (٥- ٤أ) و ينعكس اتجاه خطوط المجال عند عكس اتجاه التيارالشكل (٥- ٤ب).



(ب) (أ)

الشكل (٥- ٤)

ويمكن مشاهدة توزيع المجال المغناطيسي بنثر برادة حديد على ورقة موضوعة على قضيب مغناطيسي الشكل (٥- ٥أ) أو ورقة يمر خلالها سلك يمر به تيار كهربائي الشكل(٥- ٥ب).



(ب) (أ)

الشكل (٥- ٥)

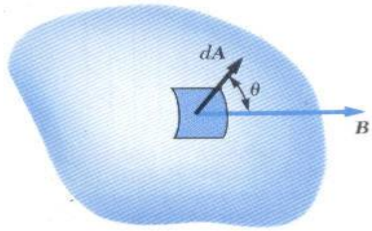
تتمثل القوة أو شدة المجال المغناطيسي بكثافة الخطوط التي تقطع مساحة متر مربع متعامدة معها. فكلما اقتربنا من السلك ازدادت القوة أو شدة المجال و بذلك ازدادت كثافة الخطوط و أصبحت الدوائر متقاربة. في حين أن المسافة تزداد بين الدوائر و تقل كثافة الخطوط عند الابتعاد عن السلك.

الفيض (التدفق) المغناطيسي:

الفيض المغناطيسي وكما عرف بالفيض الكهربائي سابقاً يمكن تعريفه على أنه عدد الخطوط المغناطيسية التي تعبر وحدة المساحات العمودية. افترض أن dA عبارة عن جزء مساحة صغير من سطح غير منتظم كما في الشكل(٥- ٦)، فالفيض المغناطيسي يعبر عنه بشدة المجال المغناطيسي B مضروب في المساحة العمودية dA. ويرمز للفيض المغناطيسي بالرمز Φ_m.

$$\Phi_m = \int B\, dA \qquad (5\text{-}1)$$

$$\Phi_m = B \times A \cos\theta$$



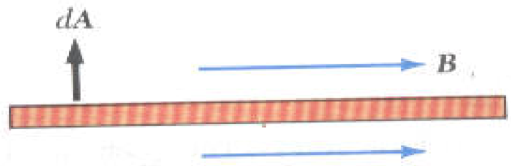
الشكل (٥- ٦)

إذ يمثل A المساحة التي يقطعها الفيض Φ . و تقاس Φ بوحدة الويبر Wb(Weber). أما B فإنها تقاس بالتسلا ويرمز لها بالرمز T

$$\frac{\text{Newton}}{\text{Coulomb}\times\dfrac{\text{meyer}}{\text{second}}}=\frac{\text{Newton}}{\text{Ampere.meter}}=\text{Tesla}=\text{Weber/m}^2$$

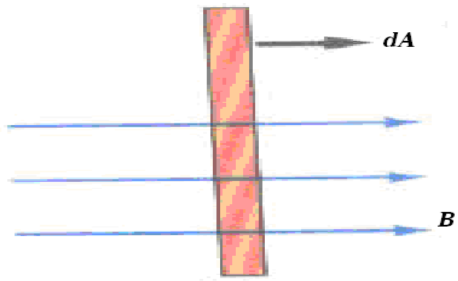
ووحدة Tesla هي وحدة كبيرة ويمكن استخدام وحدة الجاوس في نظام جاوس للوحدات حيث إن $\text{Tesla} = 10^4\ \text{Gauss}$

حيث إن dA هو متجه المساحة وقيمته تعطي مقدار المساحة واتجاهه يكون دائماً عمودياً على المساحة.



الشكل (٥- ٧)

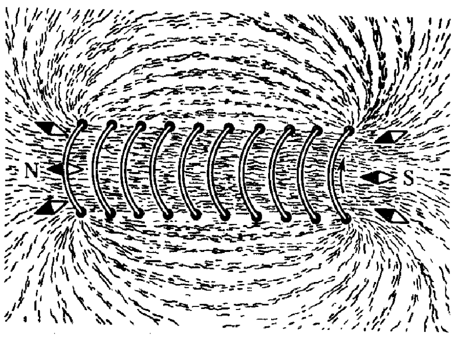
في الشكل (٥- ٧) الفيض المغناطيسي يساوي صفراً لأن المتجه dA عمودي على متجه المجال B . أي أن الفيض المغناطيسي يساوي صفرا عندما يكون المجال المغناطيس B موازيا لسطح المساحة ولا يقطعها وليس عموديا عليها.



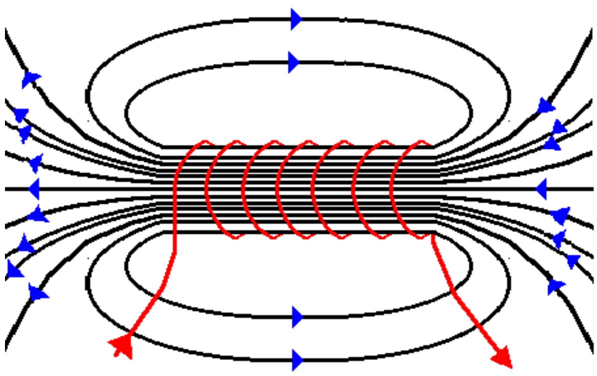
الشكل (٥- ٨)

في حالة الشكل (٥- ٨) الفيض المغناطيسي يساوي $B \times A$ لأن المتجه dA في نفس اتجاه متجه المجال B والزاوية المحصورة تساوي صفراً.

المجال المغناطيسي الناتج عن ملف حلزوني يحمل تياراً مستمراً:



أ



ب

الشكل (٥- ٩)

شكل المجال الشكل (٥- ٩أ) :

داخل الملف : خطوط مستقيمة متوازية (مجال منتظم)

خارج الملف يشبه المجال المغناطيسي لساق ممغنط و يكون المجال ضعيفاً جداً

اتجاه المجال: في الداخل من الجنوبي إلى الشمالي و في الخارج من الشمالي إلى الجنوبي

القاعدة المستخدمة : البريمة اليمنى لماكسويل (اللولب يميني اللف) إذا أدرنا رأس البريمة داخل الملف على محوره في نفس اتجاه التيار في الملف يكون اتجاه تقدم البريمة هو نفس اتجاه خطوط المجال داخل الملف.

تحديد قطبي الملف الشكل (٥- ٩ب):

طرف الملف الذي يكون فيه اتجاه التيار مع حركة عقارب الساعة يكون قطباً جنوبياً والطرف الآخر مع عكس حركة عقارب الساعة يكون شمالياً، طرف الملف الذي يدخل إليه التيار تدخل إليه خطوط المجال ويكون جنوبياً والعكس للطرف الآخر.

المجال المغناطيسي الناتج عن ملف حلقي يحمل تياراً مستمراً:

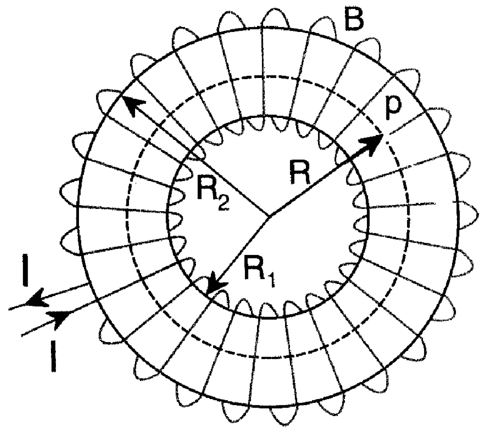
يمكن حساب كثافة التدفق المغناطيسي في أية نقطة داخل ملف لولبي الشكل (٥- ١٠) على بعد R من المركز بالعلاقة التالية:

$$B=\frac{\mu_\circ NI}{2\pi R} \qquad (5\text{-}2)$$

حيث : N عدد اللفات لملف حلقي، R_1 نصف القطر الداخلي، R_2 نصف القطر الخارجي، I شدة التيار المار في الملف.

بما أن جميع النقاط الواقعة على هذا المسار متناظرة بالنسبة للحلقة ، إذاً كثافة المجال متساوية عند جميع هذه النقاط.

وإذا كان الفرق بين R_2 , R_1 صغيراً تكون B متساوية عند جميع النقاط داخل الملف وتساوي $B=\frac{\mu_\circ NI}{2\pi R}$



الشكل (٥- ١٠)

النفاذية:

تعتمد كثافة الفيض على الخواص المغناطيسية للمادة المحيطة بالسلك أو الموضوعة في المجال المغناطيسي وتسمى بالنفاذية ويرمز لها بالرمز μ وحدتها الهنري لكل متر (Henry/m) ورمزها (H/m). ونستعمل نفاذية الفراغ كمرجع ويرمز لها بالرمز μ_0 وقيمتها.

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \ \ \mathrm{H/m} \tag{5-3}$$

وقيمة نفاذية الهواء قريبة جداً من μ_0 . ونسمي النسبة بين نفاذية مادة ما والنفاذية μ_0 النفاذية النسبية لهذه المادة ويرمز لها بالرمز μ_r، أي

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \tag{5-4}$$

وتعبر النفاذية على مدى سماحية المادة لمرور خطوط القوى المغناطيسية.

تصنيف المواد من حيث خواصها المغناطيسية:

جميع المواد على اختلاف أنواعها سواء الغازات أو السوائل أو المواد الصلبة لها خواص مغناطيسية، نتيجة لتأثرها بالمجال المغناطيسي، و لكن بدرجات متفاوتة فبعض المواد لها خواص مغناطيسية ضعيفة و بعضها متوسطة وبعضها قوية. كما أن لدرجة الحرارة أثراً كبيراً على هذه الخواص كذلك توجد مواد أخرى لها خواص مغناطيسية عكسية أي إن اتجاه المجال فيها يعاكس المجال المسبب. و المواد من حيث خواصها المغناطيسية تنقسم إلى قسمين رئيسين هما:

١- مواد متسامتة التمغنط (بارامغناطيسية) Paramagnetic

هذه المواد تميل للحركة من المناطق الضعيفة في المجال المغناطيسي إلى المناطق القوية و بمعنى آخر فإنها تنجذب نحو المغناطيس، و إذا كانت حرة الدوران اتجهت أطوالها اتجاها يوازي المجال. و من هذه المواد الألمنيوم و التيتانيوم و الأوكسجين و أما الحديد و النيكل و الكوبالت و سبائكها و مركباتها فإنها مواد بارامغناطيسية قوية جداً لهذا يطلق عليها المواد الحديدومغناطيسية (Ferromagnetic) التي تتميز بكبر معامل النفادية ، و التأثيرية المغناطيسية لها موجبة.

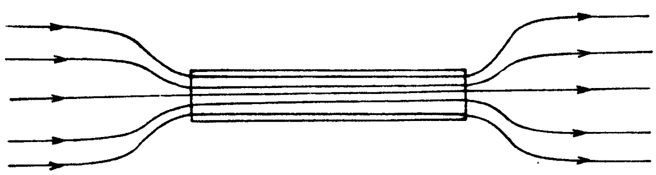
٢- مواد دايامغناطيسية (Diamagnetic)

و هذه تميل إلى الابتعاد عن المجال المغناطيسي مهما كان اتجاهه، و إذا أتيحت لها حرية الدوران فإنها تجعل أطوال محاورها متعامدة على خطوط القوى. ومن هذه المواد البزموت و النحاس و تتميز بأن معامل نفاذيتها أقل من الواحد و القابلية المغناطيسية لها سالبة.

واذا كانت كثافة الفيض المغناطيسي في الفراغ المطلق المحيط بالسلك هي B_0 فإن استبدال الفراغ أو الهواء بوسط آخر يؤدي إلى رفع كثافة الفيض إلى B و أن معامل الزيادة في الفيض يمثل خاصية المادة في قابلية تركيزها للفيض:

$$\mu_r = B / B_0 \quad (5\text{-}5)$$

و كما نرى في الشكل (٥- ١١) فإن المادة الفيرومغناطيسية تؤدي إلى تركيز الفيض و تسلك إلى حد كبير سلوك الأنبوب الذي يحدد مسار السائل دون أن يدعه يتسرب.



الشكل (٥- ١١) : تأثير المادة المغناطيسية في خطوط الفيض

إذا استبدل الهواء بمادة مغناطيسية نجد أن هناك ثلاثة احتمالات هي:

١- تزداد قيمة B زيادة كبيرة في حالة المواد الحديدية و المغناطيسية.

٢- تزداد قيمة B زيادة طفيفة جداً في حالة المواد البارامغناطيسية.

٣- تقل قيمة B في حالة المواد الدايامغناطيسية.

تعيين اتجاه خطوط المجال حول الموصل :

١. قاعدة قبضة اليد اليمنى: عندما تقبض اليد اليمنى على الموصل بحيث يشير الإبهام إلى اتجاه التيار الكهربائي فإن اتجاه الأصابع الملتفة حول السلك يحدد اتجاه خطوط الفيض المغناطيسي.
٢. قاعدة البريمة اليمنى لماكسويل : إذا أدرت بريمة بحيث يشير اتجاه اندفاعها إلى اتجاه التيار فإن اتجاه دوراتها يحدد اتجاه خطوط المجال المغناطيسي (تسمى أيضاً هذه القاعدة – قاعدة اللولب اليميني اللف)
٣. باستخدام بوصلة مغناطيسية صغيرة : إذا وضعت بوصلة على لوح الورق المقوى الذي يخترقه الموصل فإن الاتجاه الذي يتخذه قطبها الشمالي يدل على اتجاه خطوط الفيض المغناطيسي.

العوامل التي تتوقف عليها شدة المجال المغناطيسي هي :

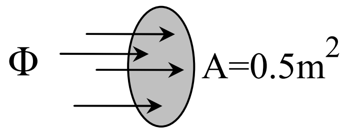
١. شدة التيار الكهربائي (I) يتناسب التيار تناسبا طرديا مع شدة المجال $(B \alpha I)$

٢.بعد النقطة عن السلك (d) تتناسب تناسبا عكسيا مع شدة المجال $(B \alpha 1/d)$

٣. عدد لفات الملف (N) التي يمر فيها التيار وهي تتناسب تناسبا طرديا $(B \alpha N)$

__مثال (٥- ١):__

إذا كان الفيض المغناطيسي في المساحة A المبينة في الشكل (٥- ١٢) 2×10^{-5}Wb احسب كثافة الفيض حول هذه المساحة.



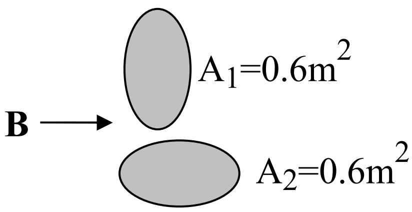
الشكل (٥-١٢)

الحل:

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{2\times10^{-5}}{0.5} = 4\times10^{-5}\ T$$

مثال (٥- ٢):

احسب الفيض المغناطيسي في المساحتين المتعامدتين A_1 ، A_2 الشكل (٥- ١٣) إذاً كانت كثافة الفيض في المنطقة المحيطة بالمساحتين $B=10^{-5}T$ ، وكان اتجاهها عمودياً على المساحة A_1.



الشكل (٥- ١٣)

الحل:

الفيض في المساحة A_1: $\Phi = B\times A_1 = 0.6\times10^{-5}$ Wb

الفيض في المساحة A_2 يساوي الصفر لأن خطوط المجال لاتمر داخل هذه المساحة و هي موازية للسطح.

شدة المجال المغناطيسي:

شدة المجال المغناطيسي H في نقطة ما هي النسبة بين كثافة الفيض المغناطيسي والنفاذية المطلقة للمادة الموجودة في تلك النقطة ، أي أن

$$H = \frac{B}{\mu} \quad (5\text{-}6)$$

وحدة شدة المجال المغناطيسي هي أمبير لفة لكل متر (AT/m)، وسنرى سبب اختيار هذه الوحدة عندما ندرس العلاقة بين التيار الكهربائي والمجال المغناطيسي. وعلى العكس من كثافة الفيض، فإن شدة المجال المغناطيسي لا تعتمد على نوع المادة المتواجدة في المجال، وإنما تعتمد على مصدر المجال (المغناطيس) فقط. وشدة المجال المغناطيسي هي قيمة متجهه لها مقدار ولها نفس اتجاه كثافة الفيض.

مثال(٥- ٣):

ينتج مغناطيس مجالاً شدته 20AT/m في نقطة معينة من الفضاء المجاور له. احسب كثافة الفيض في هذه النقطة إذا كانت نفاذية الفضاء المحيط بها تساوي :

أ- μ_0 (الفراغ أو الهواء)

ب- $1.000022\times\mu_0$ (الألمنيوم : مادة بارامغناطيسية)

ج- $0.99\times\mu_0$ (مادة ديامغناطيسية)

د- $5000\times\mu_0$ (نوع من الحديد : مادة مغناطيسية).

الحل:

من المعادلة (5-6) نستنتج أن $\mathbf{B=\mu H}$:

أ- $B = \mu_0 H = 4\pi \times 10^{-7} \times 20 = 2.51\times 10^{-5}$ T

ب- $B = 1.000022\times \mu_0\times H = 1.000022 \times 4\pi \times10^{-7}\times20$
$=2.513\times 10^{-5}$ T

ج- $B = 0.99\ \mu_0\times H = 0.99 \times4\pi\times10^{-7}\times20 = 2.48\times10^{-5}$ T

د- $B = 5000\ \mu_0\times H = 5000\times4\pi \times10^{-7}\times10^{-5}$ T

وكما نرى فإن كثافة الفيض لا تتغير بصورة ملحوظة في مكان ما إلا إذا وضعنا فيه مادة مغناطيسية.

شدة المجال الناتج عن موصل مستقيم يحمل تياراً مستمراً :

ترتبط خطوط القوى المغناطيسية باتجاه التيار الذي ولدها حسب قاعدة اليد اليمنى الموضحة في الشكل (٥- ١٤) نصت هذه القاعدة على أنه عند القبض على السلك الحامل للتيار باليد اليمنى، بحيث يشير الإبهام إلى اتجاه التيار، فإن أطراف باقي الأصابع تشير إلى اتجاه المجال.

ويعطى الحث المغناطيسي الناتج عن التيار I المار في سلك مستقيم طويل بالمعادلة

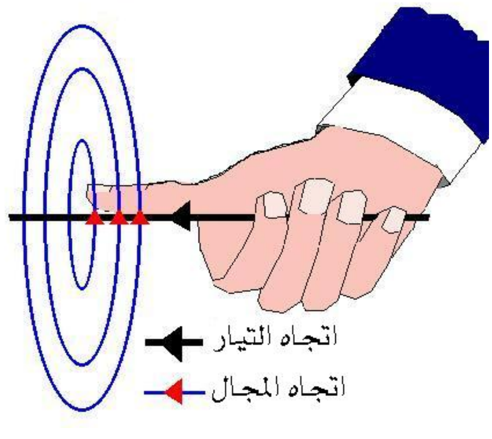
$$B = \frac{\mu I}{2\pi a} \qquad (5\text{-}7)$$

حيث a هي المسافة بين النقطة التي نحسب عندها الحث والمسقط العمودي لهذه النقطة على محور السلك، كما هو موضح في الشكل (٥- ١٥).

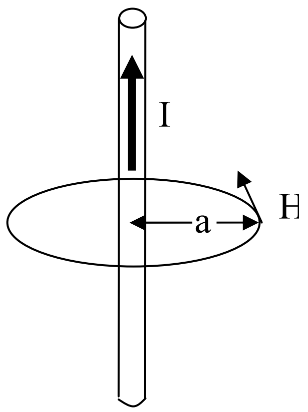
و باستعمال القانون (5-6) نجد أن شدة المجال الناشئ عن هذا التيار هي

$$H = \frac{I}{2\pi a} \qquad (5\text{-}8)$$

من هذه العلاقة نفهم اختيار وحدة AT/m لشدة المجال، ونلاحظ أن شدة المجال لاتعتمد على نفاذية الوسط كما أشرنا إلى ذلك في نهاية الفصل السابق.



الشكل (٥- ١٤) قاعدة اليد اليمنى



الشكل (٥- ١٥) المغناطيس الناتج عن مرور تيار في سلك مستقيم طويل

مثال (٥- ٤):

يمر تيار كهربائي شدته 15A في سلك مستقيم طويل موضوع في الفراغ. **احسب** قيمة الحث المغناطيسي وشدة المجال الناتجين على بعد 4cm من السلك.

الحل:

نطبق المعادلتين (5-5) و(5-6) علماً أن في الفراغ $\mu=\mu_0=4\pi\times10^{-7}\ H/m$

$$B=\frac{\mu I}{2\pi a}=\frac{4\pi\times10^{-7}\times15}{2\pi\times4\times10^{-2}}=7.5\times10^{-5}\ T$$

$$H=\frac{I}{2\pi a}=\frac{15}{2\pi\times4\times10^{-2}}=59.7\ A/m$$

القوة الميكانيكية المؤثرة على موصل يحمل تياراً مستمراً في مجال مغناطيسي:

يحدد اتجاه القوة F التي تظهر على سلك حامل لتيار كهربائي I عند وضعه في مجال مغناطيسي كثافة فيضه B باستخدام قاعدة فليمنج لليد اليسرى الموضحة في الشكل (٥- ١٦) التي تنص على ما يلي: إذا أشارت السبابة إلى اتجاه المجال، وأشارت الوسطى إلى اتجاه التيار فإن الإبهام سيشير إلى اتجاه القوة.

أما قيمة هذه القوة فهي:

$$F=B\times\ell\times I\times\sin\theta \qquad (5\text{-}9)$$

حيث ℓ هو طول السلك ، θ هي الزاوية بين اتجاه التيار وخطوط المجال. ونستنتج أن القوة تصل إلى قيمتها القصوى $B\ell I$ عندما يكون السلك عمودياً على المجال أي عندما $\theta=90^\circ$.

أما إذاً كان السلك موازياً للمجال أي $\theta=0^\circ$ فإن القوة تنعدم.

الشكل(٥-١٦) قاعدة فليمنج لليد اليسرى

مثال (٥- ٥):

وضع سلك طوله 10cm عمودياً على مجال مغناطيسي. إذاً كانت شدة التيار المار في السلك 2A، وكانت القوة الناتجه على السلك 0.04N ، احسب كثافة الفيض المغناطيسي ، ثم احسبه من جديد عندمت تكون الزاوية بين السلك والمجال تساوي 30^o.

الحل:

من المعادلة (5-9) نستنتج

$$B=\frac{F}{I\ell\sin\theta}$$

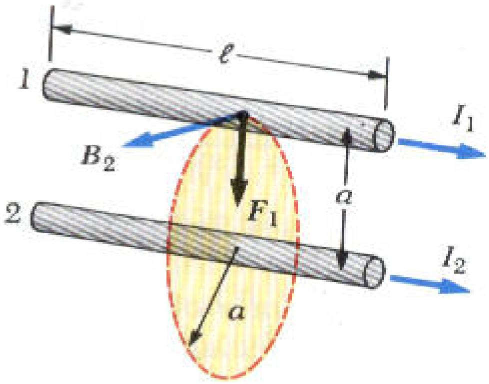
$$=\frac{\mathbf{0.04}}{\mathbf{2\times10\times10^{-2}}\times\sin\mathbf{90}^o}=\mathbf{0.2}\,\mathrm{T}$$

عندما تكون الزاوية $\theta = 30^o$ تصبح كثافة الفيض

$$B=\frac{\mathbf{0.04}}{\mathbf{2\times10\times10^{-2}}\times\sin\mathbf{30}^o}=\mathbf{0.4}\,\mathrm{T}$$

القوة المغناطيسية المتبادلة بين موصلين يمر بهما تيار كهربائي:

حيث أن كل موصل يمر فيه تيار ينشأ حوله مجال مغناطيسي وأن لكل مجال مغناطيسي قوة مغناطيسية تؤثر على الموصل الذي يمر به التيار ولهذا إذا وجد موصلين كما في الشكل (٥- ١٧) ويمر بكل منهما تيار كهربائي I_1 ، I_2 فإن المجال المغناطيسي B_2 الناشئ عن التيار الثاني يؤثر بقوة مقدارها F_1 ,يمكن التعبير عن القوة التي يؤثر بها موصل على آخر كما في الخطوات التالية:



الشكل (٥- ١٧)

لنعتبر المجال المغناطيسي الناشئ عن الموصل 2 والتي تعطى قيمته بالمعادلة التالية:

$$B_2 = \frac{\mu_o I_2}{2\pi \times a} \qquad (5\text{-}10)$$

يقع الموصل الثاني في المجال المغناطيسي للموصل الأول والذي يبعد عنه مسافة a كما في الشكل (٥- ١٧) ، وبالتالي فإن القوة المغناطيسية F_1 تعطى بالمعادلة التالية:

$$F_1 = B_2 \times I_1 \times \ell = I_1 \times \ell \left(\frac{\mu_o I_2}{2\pi \times a}\right) = \frac{\ell\, \mu_o I_1 I_2}{2\pi \times a} \qquad (5\text{-}11)$$

والقوة لكل وحدة أطوال تعطى بالعلاقة التالية :

$$\frac{F_1}{\ell} = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi \times a} \qquad (5\text{-}12)$$

و بالمثل نحصل على القوة المؤثرة على كل وحدة طول من الموصل 2 ، F_2 ، وهي تساوي القوة F_1 في القيمة وتعاكسها في الاتجاه. أما اتجاه القوتين فإنه يعتمد على اتجاه التيارين، فإذا كان التياران في نفس الاتجاه يتجاذب الموصلان، ويتنافران إذا كان التياران في عكس الاتجاه.

مثال (٥- ٦):

عند قياس قوة التجاذب بين موصلين طويلين متوازيين يمر فيهما تياران موضوعان في الفراغ ، إذا كانت المسافة بينهم 30cm ، وجد أنها تساوي 20×10^{-7} N/m . احسب شدة التيار المار في الموصل الثاني إذا كانت شدة التيار المار في الموصل الأول هي 2A.

الحل :

من المعادلة (12- 5) نستنتج

$$I_2 = \frac{2\pi d F_{21}}{\mu_0 I_1}$$

$$= \frac{2\pi \times 30 \times 10^{-2} \times 20 \times 10^{-7}}{4\pi \times 10^{-7} \times 2} = 1.5\,A$$

مثال(٥- ٧):

موصلان طول كل منهما متر واحد و يحمل كل واحد منهما تياراً مقداره أمبيراً واحداً. فإذا كانت المسافة بين الموصلين واحد متر ، أحسب قوة التجاذب بين الموصلين.

الحل:

$$F = \frac{\ell \mu_0 I_1 I_2}{2\pi \times a} = \frac{1 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 1}{2\pi \times 1} = 2 \times 10^{-7}\ N$$

مثال (٥- ٨):

قضيبا توزيع يبعدان عن بعضهما مسافة 30 سم يمر في كل منهما تيار مقداره 600A في اتجاهين متضادين. احسب مقدار القوة بينهما لكل متر طولي. و إذاً حدث قصر في الدائرة بحيث زاد التيار فيهما إلى 72000A فاحسب مقدار القوة اكهرومغناطيسية في تلك الحال.

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi \times a} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 600 \times 600}{2\pi \times 0.3} = 0.24\ N$$

و هي قوة تنافر بين قضيبي التوزيع. و عند حدوث القصر:

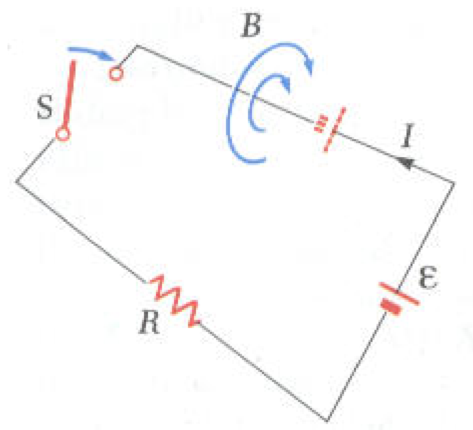
$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi \times a} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 72000 \times 72000}{2\pi \times 0.3} = 2456\ N$$

يتضح من النتائج أن قصر الدائرة قد يؤدي إلى تحطيم قضبان التوزيع نتيجة للزيادة الهائلة في القوى الكهرومغناطيسية.

الحث الذاتي والحث المتبادل:

تعلمنا فيما سبق أن التيار ينشأ في الدائرة الكهربائية عندما يتغير الفيض المغناطيسي خلال الدائرة مع الزمن. وفيما يلي سندرس الحث الذاتي Self Inductance الذي ينشأ في الدائرة نفسها عند مرور تيار كهربائي فيها أو بمعنى أدق عند غلق أو فتح الدائرة الكهربائية. وهذا التأثير (الحث الذاتي) يلعب دوراً أساسياً في دوائر التيار المتردد حيث أن التيار يتغير باستمرار مع الزمن.

الحث الذاتي :Self Inductance



الشكل (٥- ١٨)

اعتبر دائرة كهربائية مكونة من بطارية ومقاومة ومفتاح كهربائي كما في الشكل (٥- ١٨)، عند غلقها فإن التيار المار في الدائرة لن يصل إلى قيمته العظمى فور غلق المفتاح إنما سوف يستغرق بعضاً من الوقت نتيجة لقانون فارادي .كيف ذلك؟

عند غلق المفتاح في الدائرة الكهربائية يحدث ما يلي:

١. يزداد التيار المار في الدائرة مع الزمن.
٢. يزداد الفيض المغناطيسي خلال الدائرة نتيجة لازدياد التيار.
٣. الفيض المتزايد يؤدي إلى توليد قوة دافعة كهربائية في الدائرة ليعاكس الزيادة في الفيض المغناطيسي Lenz's Law .

هذه القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الدائرة تعمل في اتجاه معاكس للتيار الأصلي وهذا نتج عن الزيادة في الفيض المغناطبيسي نتيجة لزيادة التيار عند غلق المفتاح... هذا التأثير في الدائرة يعرف باسم التأثير الحثي الذاتي. Self Induction

من قانون فارادي يمكننا إيجاد صيغة رياضية للتعبير عن الحث الذاتي .حيث أن الفيض المغناطيسي يتناسب مع المجال المغناطيسي والأخير يتناسب مع التيار في الدائرة لذا فإن القوة الدافعة الكهربائية للحث الذاتي تتناسب مع التغير في التيار الكهربائي.

$$E = -N\frac{d\phi_m}{dt} = -L\frac{dI}{dt} \qquad (5\text{-}13)$$

حيث أن الحث الذاتي L في المغناطيسية يناظر السعة الكهربية C ويمكن التعبير عن الحث الذاتي L بالأبعاد الهندسية للدائرة. فإذا افترضنا ملفاً عدد لفاته N فإن L تعطى بالعلاقة التالية:

$$L = \frac{N\phi_m}{I} \qquad (5\text{-}14)$$

كما يمكن التعبير عن الحث الذاتي بالمعادلة التالية:

$$L = -\frac{E}{(dI/dt)} \qquad (5\text{-}15)$$

وهذه المعادلة تعطي قيمة الحث الذاتي للدائرة بغض النظر عن أبعادها الهندسية وإنما تعتمد على قياس الكميات الفيزيائية مثل القوة الدافعة الكهربائية والتغيير في التيار . و وحدة قياس الحث الذاتي هي الهنري Henry .

إيجاد الحث الذاتي من خلال قياس الأبعاد الهندسية:

اعتبر ملفاً عدد لفاته N لفة وطوله L أكبر بكثير من نصف قطر الملف . ينشأ عنه مجال مغناطيسي يعطى بالعلاقة التالية:

$$B = \mu_o \frac{N}{\ell} \times I \qquad (5\text{-}17)$$

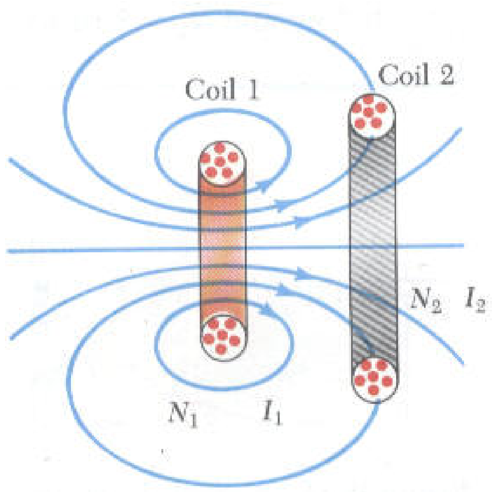
أما الفيض الكهربائي فيعطى بالعلاقة التالية:

$$\phi_m = B \times A = \mu_o \frac{N \times A}{\ell} \times I \qquad (5\text{-}18)$$

$$L = \frac{N\phi_m}{I} = \frac{\mu_o N^2 A}{\ell} \qquad (5\text{-}19)$$

ومن هذا يتضح أن الحث الذاتي للملف يعتمد على خواصه الهندسية (الطول والمساحة وعدد اللفات)

الحث المتبادل Mutual Inductance



الشكل (٥- ١٩)

يؤدي التغير في التيار الكهربائي في دائرة إلى تغيير في الفيض المغناطيسي في دائرة كهربائية مجاورة. وهذا بالتأكيد يولد قوة دافعة كهربائية في تلك الدائرة ويسمى هذا التأثير بالتأثير الحثي المتبادل Mutual Inductance لأنه نتج من تأثير دائرة كهربائية على أخرى.

في الشكل(٥- ١٩) توضيح للتأثير الحثي المتبادل حيث يوجد ملفان متجاوران يمر في الملف الأول وعدد لفاته N_1 تيار كهربائي قيمته I_1 ينشئ مجالا مغناطيسياً يؤثر على الملف الثاني وعدد لفاته N_2 بفيض مغناطيسي Φ_{21} يؤدي إلى تيار حثي في الملف الثاني وقيمته I_2

.

يعرف التأثير الحثي المتبادل M_{21} في الملف الثاني من خلال المعادلة التالية:

$$M_{21} = \frac{N_2\phi_{21}}{I_1} \qquad (5\text{-}21)$$

$$\phi_{21} = \frac{M_{21}}{N_2} I_1 \qquad (5\text{-}22)$$

إذا كان التيار I_1 في الملف الأول متغيراً مع الزمن فإنه من قانون فارادي تكون القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الملف الثاني نتيجة للملف الأول:

$$E_2 = -N_2 \frac{d\phi_{21}}{dt} = -M_{21}\frac{dI_1}{dt} \qquad (5\text{-}23)$$

وبنفس الفكرة إذا كان التيار I_2 في الملف الثاني متغيراً مع الزمن فإن من قانون فارادي تكون القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الملف الأول نتيجة للملف الثاني :

$$E_1 = -M_{12}\frac{dI_2}{dt} \qquad (5\text{-}24)$$

أي أن القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في ملف تتناسب طردياً مع معدل التغير في التيار الكهربائي في الملف الآخر.

حالة خاصة:

في حالة ما يكون معدل التغير في التيار $(dI_1/dt) = (dI_2/dt)$ فإن القوة الدافعة الكهربائية

$$E_1 = E_2 \qquad (5\text{-}25)$$

وهذا يعني أن

$$M_{21} = M_{12} = M \qquad (5\text{-}26)$$

وتكون قيمة القوة الدافعة الكهربائية في الملفين تعطى بـ

$$E_1 = -M\frac{dI_2}{dt} \quad , \quad E_2 = -M\frac{dI_1}{dt} \qquad (5\text{-}27)$$

وتكون وحدة الحث المتبادل هي الهنري Henry

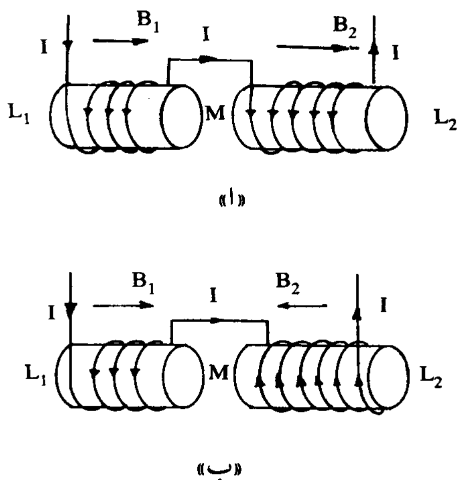
توصيل ملفات الحث:

توصيل الملفات على التوالي:

توصل ملفات الحث، كما توصل غيرها من عناصر الدوائر الكهربائية، إما على التوالي أو التوازي أو في شبكات أكثر تعقيداً. و لكي نستطيع مناقشة توصيل الملفات نبدأ بتعريف الحث الذاتي المكافئ كما يلي:

الحث الذاتي المكافئ للشبكة هو نسبة القوة الدافعة الكهربائية الكلية (ذاتية و تبادلية) المستحثة بين طرفي الشبكة إلى معدل تغيير التيار المسبب لتوليد هذه القوة الدافعة الكهربائية.

إذا فرضنا كما في الشكل (٥- ٢٠) وجود ملفين أحدهما حثه الذاتي L_1 و الثاني حثه الذاتي L_2 و معامل الحث المتبادل M واتصل هذان الملفان على التوالي و مر بهما التيار I بحيث تكون كثافة الفيض المغناطيسي لهما B_1 ، B_2 في اتجاه واحد كما في الشكل(٥- ٢٠أ).



الشكل (٥- ٢٠) توصيل الملفات على التوالي:

أ- ينتج عن توصيلهما من مرور التيار فيهما مجالان مغناطيسيان لهما نفس الاتجاه.

ب- متعاكسان في الاتجاه.

إذا تغيرت شدة التيار المار فيهما فإن القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية الذاتية و المتبادلة في كل من الملفين تكون في اتجاه واحد أيضاً.

و تكون القوة الدافعة التأثرية المتولدة في الملف (1) تساوي:

$$E_1 = L_1 \frac{dI}{dt} + M \frac{dI}{dt} \tag{5-28}$$

أما القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الملف (2) فتساوي:

$$E_2 = L_2 \frac{dI}{dt} + M \frac{dI}{dt} \tag{5-29}$$

و بذلك تكون القوة الدافعة التأثيرية الكلية:

$$E = E_1 + E_2 = (L_1 + L_2 + 2M) \frac{dI}{dt} \tag{5-30}$$

$$E = L' \frac{dI}{dt} \tag{5-31}$$

و هكذا فإن الحث الذاتي المكافئ L' يساوي:

$$L' = L_1 + L_2 + 2M \tag{5-32}$$

و إذا مر التيار I بحيث يؤدي إلى أن تكون B_1 ، B_2 في اتجاه مضاد كما هو موضح بالشكل (٥- ٢٠ب)

فإن محصلة القوة الدافعة التأثيرية الذاتية و المتبادلة المتولدة (نتيجة تغيير شدة التيار) في الملفين هي:

$$L'' = L_1 + L_2 - 2M \tag{5-33}$$

ملحوظات مهمة:

١- إذا كان الفيض الناشئ في أحد الملفين لا يقطع الملف الآخر نظراً لابتعادهما عن بعضهما البعض فإن $M = 0$ و يكون الحث الذاتي المكافئ طبقاً للمعادلتين (5-32) ، (5-33)

$$L = L_1 + L_2 \tag{9-34}$$

٢- بطرح المعادلة (٣٣- ٥) من المعادلة (٣٢- ٥) ينتج أن الحث المتبادل بين الملفين هو:

$$M = 1/4\,(L' - L'') \tag{5-35}$$

$$M^2 = K^2\, L_1 \times L_2$$

$$M = K\sqrt{L_1 \times L_2} \tag{5-36}$$

أي أن الحث المتبادل بين ملفين يساوي الجذر التربيعي لحاصل ضرب حثهما الذاتي و ذلك عند تلاصق الملفين.

توصيل الملفات على التوازي:

إذا فرضنا أن الملفين متصلان على التوازي ففي هذه الحالة يتفرع التيار I بين الملفين و يكون التيار الكلي كما يلي:

$$I = I_1 + I_2 + \dots\dots\dots \tag{5-37}$$

حيث إن التيار I_1 المار في الملف الذي حثه الذاتي L_1 وكذلك التيار I_2 المار في الملف الذي حثه الذاتي L_2 .

و يكون معدل تغير التيار الكلي بالنسبة للزمن مساوياً لمجموع معدل التغير لكل من I_1 و I_2 ويتم ذلك بتفاضل المعادلة (5-37) بالنسبة للزمن:

$$\frac{dI}{dt} = \frac{dI_1}{dt} + \frac{dI_2}{dt} \tag{5-38}$$

و بما أن :

$$\frac{dI}{dt} = -\frac{E}{L} \tag{5-39}$$

$$\frac{dI_1}{dt} = -\frac{E_1}{L_1} \tag{5-40}$$

$$\frac{dI_2}{dt} = -\frac{E_2}{L_2} \tag{5-41}$$

و بالتعويض في المعادلة (9-38)، و إذاً كان هناك عدد من الملفات يزيد على اثنين نجد أن :

$$\frac{1}{L}=\frac{1}{L_1}+\frac{1}{L_2}+\frac{1}{L_3}+.........+\frac{1}{L_n} \quad (5\text{-}42)$$

و يتم هذا على شرط أن نقوم باتخاذ احتياطات معينة تمنع تأثير المجالات المغناطيسية لهذه الملفات على بعضها البعض حتى لا يحدث ارتباط مغناطيسي بينهما نتيجة للتأثير المتبادل.

مثال (٥- ٩):

تعطى كثافة الفيض المغناطيسي في محور ملف مكون من N لفة، ذي قلب (حديدي أو غير حديدي) نفاذيته μ وطوله ℓ، بالمعادلة $B=\mu NI/\ell$ ، حيث I هو التيار المار في هذا الملف. وهذه المعادلة لا تصلح إلا إذا كان طول القلب أكبر بكثير من قطره d. احسب الحثية الذاتية للملف عندما تكون $N=100T$، $\ell=10cm$، $\mu_r=1000$ (قلب حديدي) و $d=5mm$. كم تصبح هذه الحثية لو نزعنا القلب الحديدي ؟

الحل:

باستعمال المعادلة (5-2) فإن الفيض المغناطيسي Φ يكون

$$\Phi = BA = \frac{\mu NI}{\ell}A$$

حيث إن مساحة مقطع القلب $A=\pi d^2/4$. وبالتعويض في المعادلة (5 – 9) ستنتج الحثية

$$L=\frac{\mu N^2 A}{\ell}=\frac{\mu_0 \mu_r N^2 \pi d^2}{4\ell}$$

$$=\frac{4\pi\times10^{-7}\times1000\times(100)^2\,\pi(5\times10^{-3})^2}{4\times10\times10^{-2}}=2.5\times10^{-3}\ H=2.5mH$$

لو نزعنا القلب الحديدي فإن الحثية تنخفض بنسبة μ_r، أي تصبح

$$L=2.5\times10^{-3}/\mu_r=2.5\times10^{-3}/1000=2.5\times10^{-6}\ H=2.5\ \mu H$$

ونلاحظ أن الحثية في الملفات الطويلة تتناسب مع نفاذية ومساحة مقطع القلب ومع مربع عدد اللفات كما تتناسب عكسياً مع طول الملف.

مثال (٥- ١٠):

حلقة دائرية من الحديد مساحة مقطعها $1cm^2$ و متوسط طولها 40cm و ملفوف عليها ملف به 4000 لفة. إذاً مر تيار مقداره 0.5A في الملف فإن كثافة الفيض في الحلقة تكون $0.4Wb/m^2$ (ويبر لكل متر مربع). أوجد النفاذية النسبية لمادة الحلقة و الحث الذاتي للملف.

الحل:

$$H = N \times I / \ell = 4000 \times 0.5 / 0.40 = 5000\ AT/m$$

$$\mu = B / H = 0.4 / 5000 = 8 \times 10^{-5}$$

$$\mu = \mu_o \times \mu_r$$

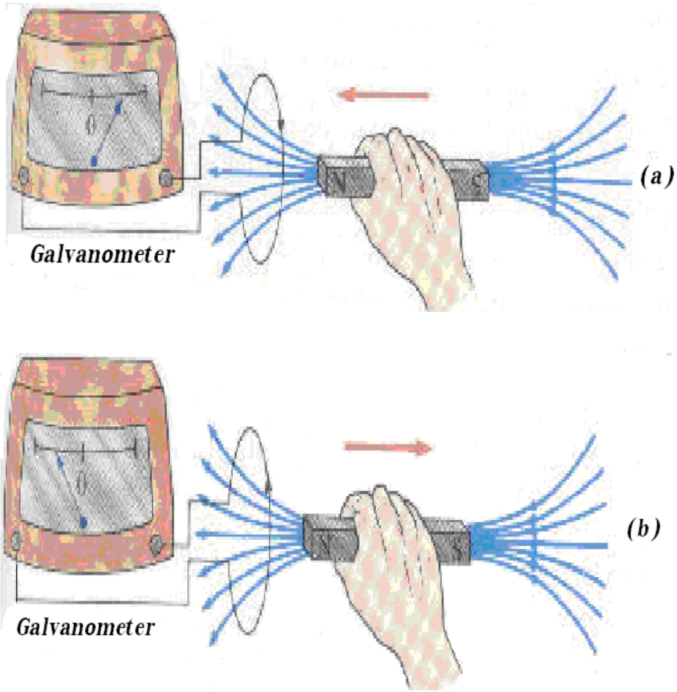
$$\mu_r = 8 \times 10^{-5} / 4\pi \times 10^{-7} = 63.69$$

$$L = N \times \Phi / I = N \times B \times A / I = 4000 \times 0.4 \times 0.01 / 0.5 = 32\ H$$

قانون فارادي و قانون لينز:

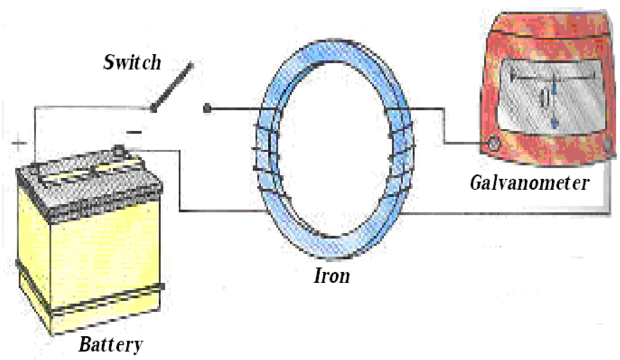
درسنا فيما سبق كيفية الحصول على مجال مغناطيسي من تيار يمر في أشكال مختلفة من السلك، وتجدر الإشارة هنا إلى التساؤل هل يمكن الحصول على تيار كهربائي من المجال المغناطيسي. وهذا ما أجاب عنه كل من العالمين مايكل فاراداي البريطاني وجوزيف هنري الأمريكي حيث اكتشف قانون فارادي عام ١٨٣١ بعد أن قام كل منهما بعدة تجارب أدت إلى نتائج متشابهة وهي ما تعرف بقانون فارادي للحث Faraday's law of induction. والتي من خلالها يمكن الحصول على تيار كهربائي من المجال المغناطيسي.

لوحظ أنه عند اقتراب مغناطيس من الدائرة المبينة كما في الشكل(٥- ٢١أ) يتحرك مؤشر الجلفانومتر وعند ثبوت المغناطيس يعود مؤشر الجلفانومتر إلى الصفر أما عند سحب المغناطيس في الاتجاه المعاكس الشكل (٥- ٢١ب) ينحرف مؤشر الجلفانومتر في الاتجاه الآخر مما يشير إلى مرور تيار كهربائي في الدائرة عند حركة المغناطيس ، وهذا التيار يعرف بالتيار الحثي Induced Current وهو ناشئ من قوة دافعة كهربائية متولدة Induced Electromotive Force.



الشكل (٥-٢١)

في تجربة أخرى مبينة في الشكل(٥- ٢٢) نلاحظ عند لحظة إغلاق مفتاح الدائرة الكهربائية ولحظة فتح الدائرة الكهربائية مرور تيار في الدائرة الثانوية، وهذا يعود إلى أنه في حالة فتح الدائرة الكهربائية أو إغلاقها فإن التيار يتغير بين القيمة صفر وأقصى قيمة مما يؤدي إلى تغيير في المجال المغناطيسي المتولد في الملف على الجانب الأيسر للدائرة، وهذا يؤدي إلى تيار كهربائي يمر في الدائرة الثانوية.



الشكل (٥- ٢٢)

والسؤال الآن ما هو السبب في التيار الحثي الذي ينشأ بواسطة التغيير في المجال المغناطيسي؟

من الملاحظات العملية على التجارب سابقة الذكر نستنتج أن القوة الدافعة الكهربائية في الدائرة تتناسب طردياً مع المعدل الزمني للتغير في الفيض المغناطيسي خلال الدائرة.أي أن:

$$E=-\frac{d\phi_m}{dt} \qquad (5\text{-}43)$$

حيث إن عدد لفات الملف تساوي الوحدة $(N = 1.0\ T)$ ، Φ_m هي الفيض المغناطيسي المار خلال الدائرة المغناطيسية. والتي تحسب من القانون التالي:

$$\phi_m = \int B \times dA \qquad (5\text{-}44)$$

في حالة مرور التيار في ملف يتكون من عدد لفاته N فإن قانون فاراداي للحث يصبح في الصورة التالية:

$$E=-N\frac{d\phi_m}{dt} \qquad (5\text{-}45)$$

ولتغيير الفيض المغناطيسي يمكن استخدام عدة طرق وهي:

- تغيير المجال المغناطيسي.
- تغيير مساحة الدائرة الكهربائية.
- تغيير الزاوية بين متجه المساحة العمودي على المساحة ومتجه المجال المغناطيسي.

المعنى الفيزيائي للإشارة السالبة:

تدل الإشارة السالبة في قانون فاراداي على اتجاه التيار الحثي الذي يتولد في الدائرة الكهربائية نتيجة للتغير في الفيض المغناطيسي بالنسبة للزمن. وباستخدام قانون لينز يمكن تحديد اتجاه التيار الحثي، وينص قانون لينز على ما يلي:

يكون اتجاه التيار الحثي في الدائرة الكهربائية بحيث يعاكس الفيض المغناطيسي الناشئ عنه الفيض المغناطيسي الذي أنشأه.

مثال (٥- ١١):

احسب معامل الحث الذاتي لملف حلزوني بداخله هواء طوله $1.0m$ ومساحة مقطعه $6\times10^{-4}\ m^2$ وعدد لفاته 1000 لفة. ثم أوجد معامل حثه الذاتي إذاً وضع بداخله قضيب من الحديد معامل نفاديته النسبية 500، ثم احسب القوة الدافعة الكهربائية الذاتية المتولدة فيه إذا تغير التيار الأصلي المار فيه بمعدل 15 أمبير/ ثانية.

الحل:

$$L=\frac{\mu_0 N^2 A}{\ell} \quad =\frac{4\pi\times10^{-7}\times(1000)^2\times\ 6x10^{-4}}{1}=7.54x10^{-4}\ H$$

و في حالة لف الملف الحلزوني على قضيب من الحديد:

$$L=\frac{\mu N^2 A}{\ell}=\frac{\mu_0\,\mu_r\,N^2 A}{\ell}$$

$$=500\ \times\ \frac{4\pi\times10^{-7}\times10^{6}\times\ 6\times10^{-4}}{1}=0.377H$$

$$E=-L\,\frac{di}{dt}=0.377\ x\ 15=5.655\ V$$

مثال(٥- ١٢):

ملف حلزوني طوله $1.0\ m$ و مساحة مقطعه $6\times10^{-4}\ m^2$ و عدد لفاته $N_1=1000T$ ، التف حول منتصفه ملف آخر صغير عدد لفاته $N_2=20T$. احسب:

١- الحث المتبادل بين الملفين.

٢ - ما قيمة القوة الدافعة الحثية في الدائرة الثانية نتيجة تغيير التيار في الدائرة (1) بمقدار 10 أمبير/ الثانية.

الحل:

١- في الملف (1) تكون كثافة الفيض المغناطيسي في اتجاه محور الملف الحلزوني نتيجة مرور تيار قيمته I

$$B=\frac{\mu_0 N_1 I}{\ell}$$

عندئذ يساوي التدفق المار بالمقطع المركزي المقدار:

$$\phi = B \times A = \frac{\mu_0 N_1 I A}{\ell}$$

و لما كان هذا التدفق يتصل بالملف (2) فإن معامل الحث المتبادل :

$$M = (N_2 \times \Phi)/ I = \mu_0 (N_2 N_1 A/l)$$

$$L = \frac{\mu N^2 A}{\ell} = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 A}{\ell}$$

$$= 500 \times \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10^6 \times 6 \times 10^{-4}}{1} = 0.377H$$

$$L = \frac{\mu N^2 A}{\ell} = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 A}{\ell}$$

$$= 500 \times \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10^6 \times 6 \times 10^{-4}}{1} = 0.377H$$

$$M = \frac{N_2 \phi}{I} = \frac{\mu_0 N_2 N_1 A}{\ell}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 20 \times 1000 \times 6 \times 10^{-4}}{1} = 1.507 \times 10^{-5} H$$

القوة الدافعة الحثية في الدائرة (2) تعطى بالمعادلة :

$$E_2 = -M.\frac{dI_1}{dt}$$

$$E_2 = -25.1 \times 10^{-6} \times 10 = -251 \mu V$$

تمارين على الوحدة الخامسة:

1 : يمر تيار شدته 2A في سلك طويل مستقيم موضوع في الهواء. احسب كثافة الفيض المغناطيسي الناتج وشدة المجال عند نقطة تبعد 8cm عن السلك.

2 : يمر تيار شدته 4A في سلك مستقيم طوله 10cm. احسب القوة الميكانيكية التي تظهر على السلك إذاً وضع عمودياً على خطوط مجال مغناطيسي كثافة فيضه 0.06T. كم تصبح هذه القوة إذاً كانت الزاوية بين السلك والمجال 40^{o} ؟

3 : وضع سلك طوله 0.5m وحامل لتيار شدته 8A في مجال مغناطيسي كثافة فيضه 0.40T . ما القوة التي سيخضع لها السلك إذاً كانت الزاوية بين السلك والمجال 15^{o} ؟

4 : سلكين طويلين متوازيين يبعدان 8cm عن بعضهما يمر فيهما تيارين في اتجاه واحد قيمة كل منهم 2A و 4A . احسب القوة بين السلكين. هل هذه القوة تجاذبية أو تنافرية

5 : احسب الحثية الذاتية لملف عدد لفاته 200، طوله 8cm، ذي قلب حديدي نفاذيته النسبية 5000 وقطره 3.0mm

6 : احسب القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في ملف عدد لفاته 100 إذا وضعناه في مجال مغناطيسي يتغير فيضه

الوحدة السادسة

الدوائر المغناطيسية

الهدف العام للوحدة: معرفة أساسيات الكهرومغناطيسية اللازمة لفهم دوائر وقياسات التيار المتردد.

الأهداف التفصيلية:

(١) أن يعرف المتدرب التعريفات الخاصة بالدوائر المغناطيسية(التدفق المغناطيسي ، والقوة الدافعة المغناطيسية ، والممانعة المغناطيسية).

(٢) أن يعرف المتدرب الممانعة المغناطيسية (المقاومة المغناطيسية) والعوامل التي تؤثر عليها وكيفية حسابها.

(٣) أن يقارن المتدرب بين الدوائر المغناطيسية والدوائر الكهربائية.

(٤) أن يتمكن المتدرب من تطبيق قانون أوم للدوائر المغناطيسية.

(٥) أن يتمكن المتدرب من تطبيق قانوني كيرشوف للدوائر المغناطيسية.

(٦) أن يرسم المتدرب منحنى التمغنط لبعض المواد المغناطيسية.

(٧) أن يتمكن المتدرب من تركيب بعض التطبيقات على دوائر مغناطيسية بسيطة.

الدوائر المغناطيسية

أساسيات:

تعتبر الدائرة المغناطيسية غالبا مكافئة للدائرة الكهربية وهي عبارة عن مسار مغلق يجري فيه فيض مغناطيسي ويحتوي مصدر قوة محركة مغناطيسية وممانعة تعاكس حركة الفيض. فوجود قوة محركة مغناطيسية ينتج تدفق مغناطيسي كما أن القوة المحركة الكهربائية تنتج تيارا كهربائيا وممانعة الدائرة المغناطيسية مكافئة لمقاومة الدائرة الكهربائية بينما تكافئ النفاذية الموصلية، وتتكون الدائرة عادة من قلب مغناطيسي بطول متوسطه L ومساحة مقطع عرضي A.

يجدر بالذكر أنه كما ثبت في قوانين ماكسويل فإنه لا وجود للشحنة المغناطيسية وأن الذي يقطع الدائرة المغناطيسية هي الفيض المغناطيسي والتي تمثل خطوط المجال المغناطيسي التي تقطع مساحة ما، وكذلك يجب التأكيد أن القوة المحركة المغناطيسية وعلى عكس ما يوحي الاسم فهي ليست قوة ميكانيكية. و تستخدم الدوائر المغناطيسية في المحولات و الآلات الكهربائية، و العديد من النبائط الكهروميكانيكية.

تتكون الدائرة المغناطيسية من مسار مقفل للفيض المغناطيسي الذي يتولد عادة نتيجة لمرور تيار في سلك ملفوف و محيط بمسار الفيض

وكما عرفنا الحث المغناطيسي، أو كثافة المجال المغناطيسي B في الفصل السابق بمعادلة القوة:

$$F = BI\ell \quad N \qquad (6\text{-}1)$$

حيث F هي القوة الدافعة المغناطيسية وتقاس بالنيوتن (N) التي تظهر على موصل مستقيم طوله ℓ بالمتر (m) ، عندما يمر به تيار، قيمة I يقاس بالأمبير (A) ، وموجود في وضع متعامد مع مجال مغناطيسي كثافة B تقاس باتسلا (T) .

كما عرفنا سابقاً أن العلاقة بين الفيض المغناطيسي ، كثافته و المساحة التي يمر فيها تتبع القانون التالي:

$$\Phi = B\,A \quad \text{أو} \quad B = \Phi / A \qquad (6\text{-}2)$$

علماً بأن وحدة الفيض المغناطيسي تقاس بالويبر (Wb)، و تبين معادلة (6-2) أن :

$$1.0\ \text{Wb/m}^2 = 1.0\ \text{T}$$

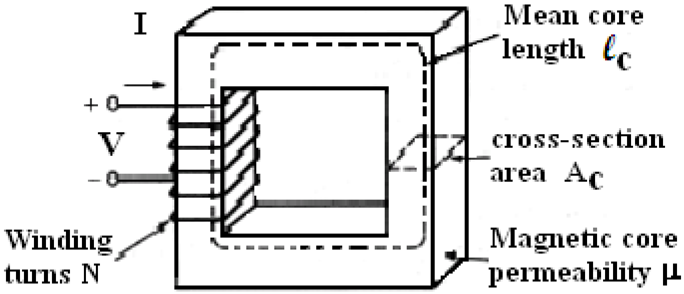
ومصادر المجال المغناطيسي إما: مغناطيس دائم، أو تيار كهربائي يمر في ملف. ولقياس فاعلية التيار الكهربائي في إنتاج الفيض المغناطيسي، (أو المجال) فيجب تعريف ما يسمى القوة الدافعة المغناطيسية (mmf).

$$\mathfrak{J} = N \times I \quad \textbf{(Ampere-turns AT)} \qquad (6\text{-}3)$$

$$\mathfrak{J} = \mathfrak{R} \times \phi \quad \textbf{(AT)} \qquad (6\text{-}4)$$

$$\mathfrak{R} = \frac{\ell}{\mu A} \quad \textbf{(AT/Wb)} \qquad (6\text{-}5)$$

حيث I هو التيار المار في ملف كهربائي عدد لفاته N ، و تقدر وحدة القوة الدافعة المغناطيسية $\mathfrak{J}$ بالأمبير لفة (AT) ، و يبين الشكل(٦- ١) رسماً تخطيطياً لدائرة مغناطيسية ، تحتوي على القوة الدافعة المغناطيسية mmf ، و فيض مغناطيسي Φ .



الشكل (٦- ١)

و يمكن استنتاج العلاقة المتبادلة بين التيار الكهربائي I و شدة المجال المغناطيسي H المصاحب من أمبير الدائري .

$$\oint \mathbf{H}\, d\ell = N \times I \qquad (6\text{-}6)$$

$$H_C \times I_C = N \times I \qquad (6\text{-}7)$$

و يحدد قانون أمبير الدائري وحدة شدة المجال بالقيمة ١ أمبير/متر و يكون قلب الدائرة المغناطيسية عادة من الحديد المغناطيسي، كما أن العلاقة بين شدة المجال و كثافة الفيض لهذه المواد تعطى بالقانون التالي:

$$B_C = \mu H_C \qquad (6\text{-}8)$$

$$B_C = \mu_r \mu_o H_c$$

$$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7} \ \text{Wb/AT.m}$$

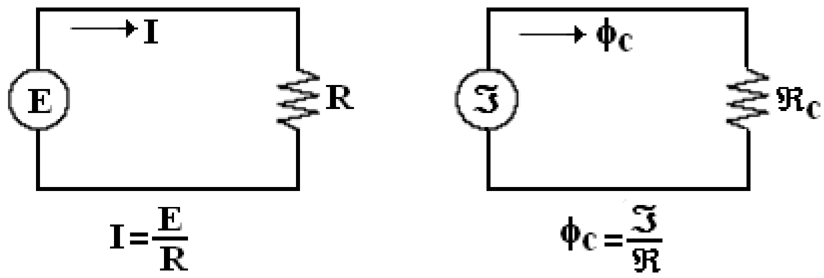
قانون أوم للدوائر المغناطيسية

$$\Im_m = \phi \times \Re_m = N\,I$$

$$\Re_m = \frac{\ell}{\mu\,A}$$

$$\phi = \frac{\Im_m}{\Re_m} = \frac{\mu\,N\,I\,A}{\ell}$$

$$= N \times I\ \frac{\mu_r \mu_o\ A}{\ell} = \Im_m\ \frac{\mu_r \mu_o\ A}{\ell} \qquad (6\text{-}9)$$



الشكل (٦- ٢) الدائرة المكافئة المغناطيسية بالتناظر مع الدائرة الكهربائية

تتبع الدوائر المغناطيسية قانوناً يطابق قانون أوم ، بعد تنظير الكميات الكهربائية والكميات المغناطيسية الشكل (٦- ٢). و يبين الجدول (٦- ١) التناظر بين الدوائر الكهربائية و الدوائر المغناطيسية.

و الفرق بين دائرة الكهربائية و دائرة مغناطيسية هي:

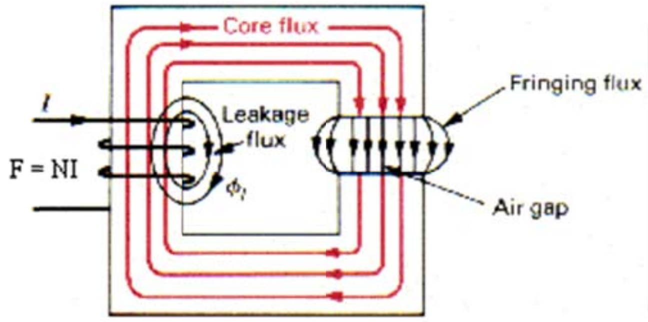
١- في الدائرة الكهربائية يوجد فقد في القدرة يقاس بالوات قيمته RI^2 في المقاومة المادية ، بينما لا يوجد فقد يسمى $R\Phi^2$ في المعاوقة المغناطيسية.

٢- يمكن أن يتخذ الفيض المغناطيسي مسارات تسريبية الشكل (٦- ٣)، بينما لايوجد ذلك بالنسبة للتيارات الكهربائية (المارة خلال المقاومات).

يتسرب جزء من الفيض المغناطيسي الناشئ في دائرة مغناطيسية و يأخد مسارات عشوائية. ويسمى هذا الجزء بالفيض المتسرب Leaking flux . و يعتبر الفيض المتسرب غير مفيد في الدائرة. يبين الشكل(٦- ٣) الفيض المتسرب في دائرة مغناطيسية ، ويحسب معامل التسرب من العلاقة :

معامل التسرب = الفيض الكلي / الفيض المفيد

و يتراوح هذا المعامل في الآلات الكهربائية الحديثة بين ١,١ — ١,٢٥

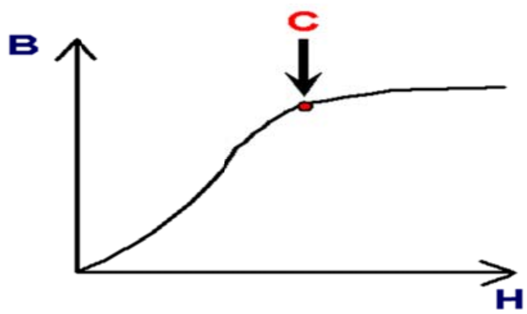


الشكل (٦- ٣) دائرة مغناطيسية محتوية على ثغرة هوائية

٣- في الدوائر المغناطيسية المحتوية على ثغرات هوائية، فإننا نأخذ في الاعتبار مقدار التقوس Fringing flux في خطوط الفيض الشكل (٦- ٣) بينما لايوجد تقوس للتيارات في الدوائر الكهربائية، و يزداد التقوس كلما زاد طول الثغرة الهوائية، و يزيد من المساحة الفعالة لمقطع الثغرة.

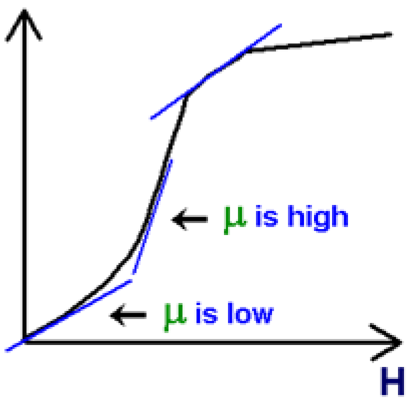
منحنى المغنطة (التشبع)

إن النفاذية النسبية μ_r للمواد المغناطيسية لا تكون عادة ثابتة على طول المدى. و إنما تبدأ في النقصان بعد قيمة معينة لكثافة الفيض B ، و تسمى هذه الحالة بالتشبع Saturation الشكل (٦- ٤) . و المنحنى الذي يبين تغير كثافة الفيض B مع شدة المجال H يسمى بمنحنى المغنطة الشكل (٦- ٥أ) . يبين الشكل (٦- ٥ب) منحنيات المغنطة لبعض المواد المغناطيسية.

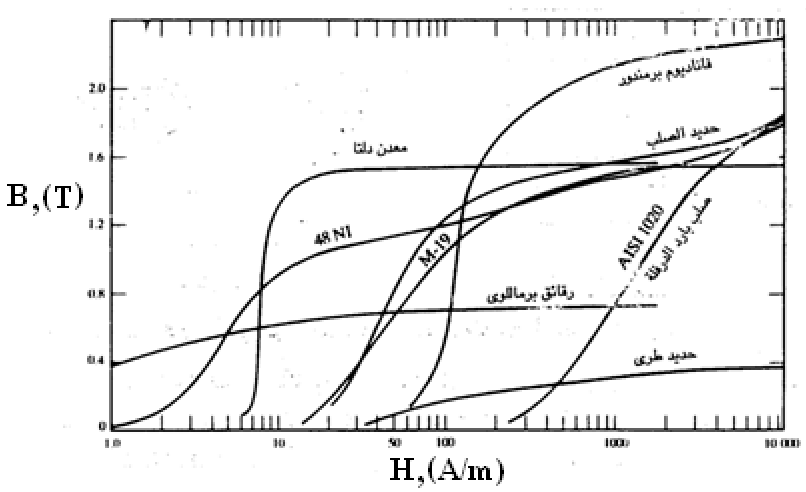


الشكل (٦- ٤)

نلاحظ من الشكل (٦- ٥) أن ميل المنحني يكون كبيرا في الجزء الأول بمعنى أن μ_r تكون مرتفعة عندما تكون B منخفضة و تقل μ_r مع ازدياد B. و كلما زادت قيمة μ_r كلما كانت المادة المغناطيسية أجود.



الشكل (٦- أ٥)



الشكل (٦- ب٥)

مقارنة بين الدوائر المغناطيسية و الدوائر الكهربائية:

	الدائرة الكهربائية	الدائرة المغناطيسية
١	مصدر الجهد الكهربائي- المولد أو بطارية.	مصدر الجهد المغناطيسي- ملف حامل للتيار ذو قلب حديدي
٢	الجهد الكهربائي" V " بالفولت هو المسبب للتيار الكهربائي " I " بالأمبير.	وصلية التدفق " Φ " أو الفيض المغناطيسي (القوة الدافعة المغناطيسية ℑ) بالأمبير-لفة هو المسبب للتدفق المغناطيسي " Φ"
٣	تتدفق الإلكترونات في الدائرة الكهربائية.	لا يسري أو يتدفق شيء في الدائرة المغناطيسية فالمجال المغناطيسي ساكن.
٤	تقاس شدة التيارالكهربائي " I" بالأمبير.	تقاس قيمة التدفق المغناطيسي"Φ" بالويبر أو بالفولت ثانية.
٥	كثافة التيار" j" هي قيمة التيار لكل ميلي مترمربع من مقطع الموصل"A " $J = I / A$	كثافة التدفق المغناطيسي "B" هي قيمة التدفق المغناطيسي لكل متر مربع من المقطع الفولاذي بالتسلا أو فولت ثانية/متر مربع
٧	قانون أوم: $V = RI$ volt	قانون أوم: $= \Re_m \Phi \Im$ AT
٨	المقاومة الكهربائية: Resistance $R=(\rho\times L)/A$ L: طول الموصل ، ρ: المقاومة النوعية A: مساحة مقطع الموصل. تزداد المقاومة R لموصل ما كلما زاد طول الموصل L ، و نقصت مساحة مقطع الموصل A.	المقاومة المغناطيسية Reluctance: $\Re_m=(L/\mu A)$ L: طول الدائرة المغناطيسية μ: معامل النفادية المغناطيسية للمادة A: مساحة مقطع الفولاذ أو الهواء. تزداد مقاومة الدائرة المغناطيسية $\Re_m$ كلما زاد طولها و نقصت النفاذية المغناطيسية للمادة و نقصت مساحة مقطع الفولاذ أو الهواء.
٩	الهبوط في الجهد الكهربائي بين نقطتين في الدائرة الكهربائية a , b $V_{ab} = I\times R_{ab}$	الهبوط في القوة الدافعة المغناطيسية في المسار بين نقطتين a , b $_{ab} = \phi\times \Re_{ab} \Im$

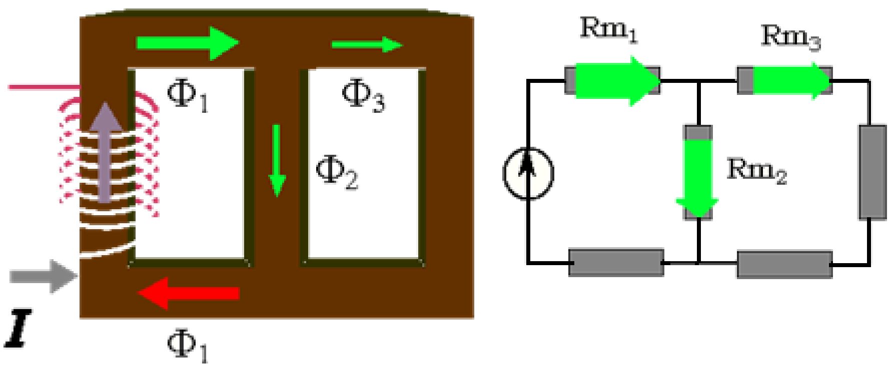
جدول (٦- ١) مقارنة بين الدائرة الكهربائية والدائرة المغناطيسية

قانوني كيرشوف للدوائر المغناطيسية:

قانونين كيرشوف للدائرة التي تم عرضها في الوحدة الثالثة سوف يطبقان على الدوائر المغناطيسية الشكل (٦- ٦) ، القانون الأول " مجموع التدفق المغناطيسي الداخل إلى نقطة تجميع يساوي مجموع التدفق المغناطيسي الخارج منها". من الملاحظ أن التدفق ϕ_1 تجزأ إلى جزئين هما ϕ_2 ، ϕ_3 ولذلك يمكن كتابة المعادلة التالية:

$$\phi_1 = \phi_2 + \phi_3$$

$$\sum_{k=1} \phi_K = 0 \qquad (6\text{-}10)$$



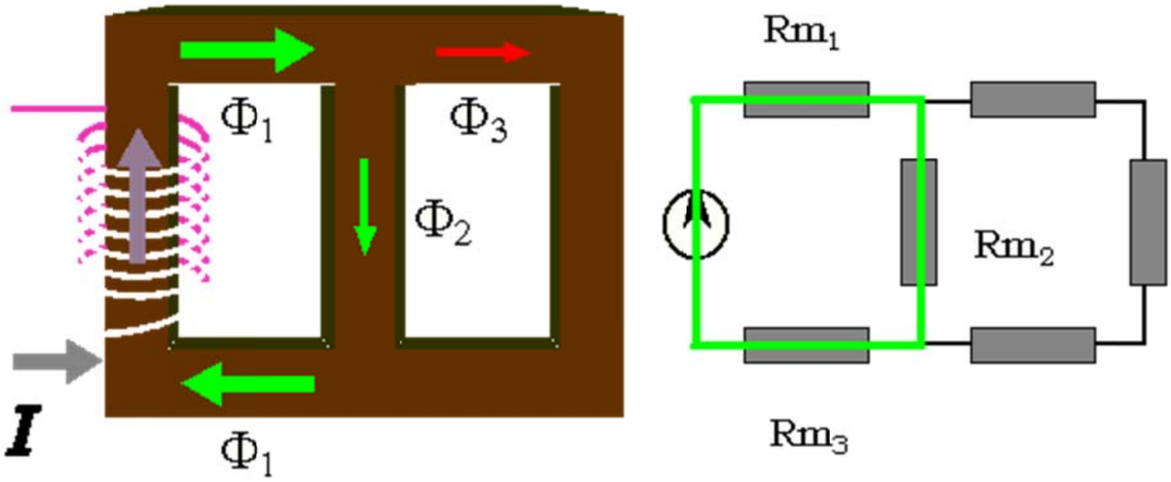
الشكل (٦- ٦)

قانون كيرشوف للجهد:

في أي دائرة مغناطيسية مغلقة ، القوة المغناطيسية تساوي) مجموع حاصل ضرب شدة المجال المغناطيسي H في طول الجزء المار فيه ℓ) ، حيث شدة المجال المغناطيسي H (AT/m) بالأمبير.لفة/متر .

$$\sum m.m.f = \sum H\,\ell = \sum N\,I = \sum \phi\,\Re \qquad (6\text{-}11)$$

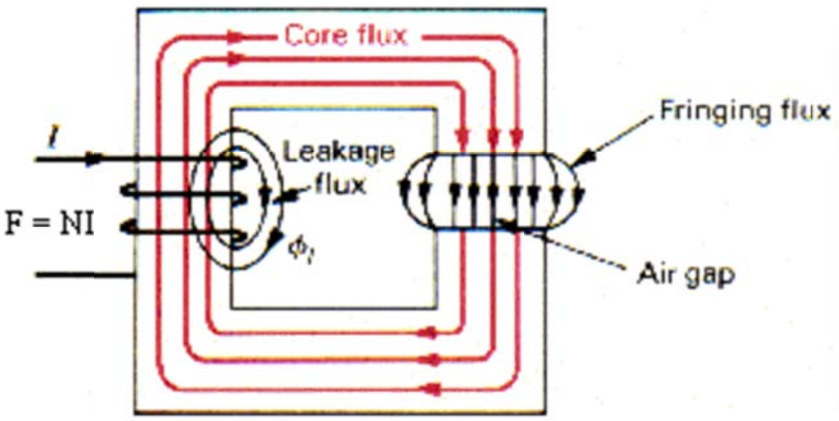
$$N \times I = \Re_{m1}\,\phi_1 + \Re_{m2}\,\phi_2 + \Re_{m3}\,\phi_3$$



الشكل (٦- ٧)

مثال (٦- ١):

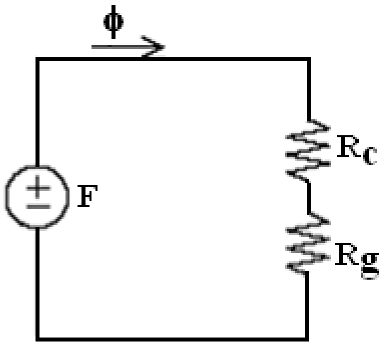
لتكن الدائرة المبينة في الشكل (٦- ٨)، أرسم الدائرة المغناطيسية المكافئة و أكتب قانون كيرشوف للجهد (KVL) ، وقانون كيرشوف للتيار (KCL) لهذه الدائرة:



الشكل (٦- ٨)

الحل :

الدائرة المكافئة هي كالتالي:



و بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على الدائرة نحصل على المعادلات التالية:

$$\Im = N\,I = H_C\,\ell_C + H_g\,\ell_g$$

$$H_C\,\ell_C = \frac{B_C}{\mu_C}\,\ell_C = \frac{\phi_C}{\mu_C\,A_C}\,\ell_C = \phi_C\,\Re_C$$

$$H_g\,\ell_g = \frac{B_g}{\mu_g}\,\ell_g = \frac{\phi g}{\mu_g\,A_g}\,\ell_g = \phi_g\,\Re_g$$

حيث أن الدائرة توالي فإن التدفق المغناطيسي ثابت

$$\phi_C = \phi_g = \phi$$

$$\Im = (\Re_C + \Re_g)\,\phi$$

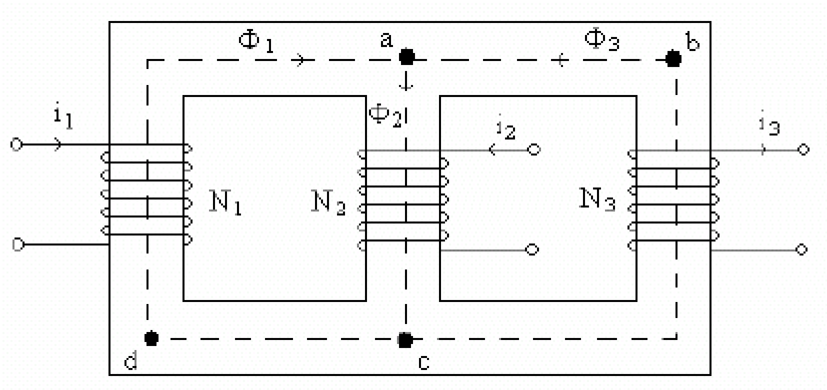
تمرين (٦- ٢):

لتكن الدائرة الشكل (٦- ٩):

١- ارسم الدائرة المكافئة

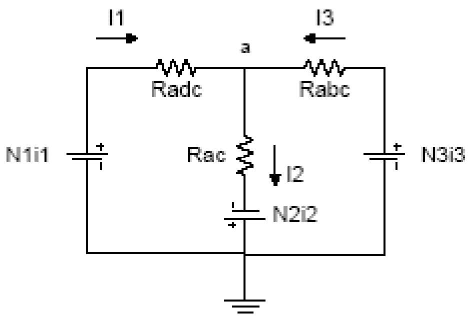
٢- استنتج المقاومة المغناطيسية لكل من الساق الأيمن والأوسط وكذلك الساق الأيسر.

٣- استنتج قانون كيرشوف في العقدة a .



الشكل (٦- ٩)

الحل:



$$\Re_{ac} = \frac{\ell_{ac}}{\mu A} \quad , \quad \Re_{adc} = \frac{\ell_{adc}}{\mu A} \quad , \quad \Re_{abc} = \frac{\ell_{abc}}{\mu A}$$

بتطبيق كيرشوف عند العقدة **a**

$$\phi_1 - \phi_2 + \phi_3 = 0$$

$$\phi_1 = \frac{N_1 \ell_1 - \Im_a}{\Re_{adc}} \quad , \quad \phi_2 = \frac{\Im_a + N_2 \ell_2}{\Re_{ac}} \quad , \quad \phi_3 = \frac{N_3 \ell_3 - \Im_a}{\Re_{abc}}$$

$$\frac{N_1 \ell_1}{\Re_{adc}} - \frac{N_2 \ell_2}{\Re_{ac}} + \frac{N_3 \ell_3}{\Re_{abc}} - \Im_a \left[\frac{1}{\aleph_{adc}} + \frac{1}{\Re_{ac}} + \frac{1}{\Re_{abc}} \right] = 0$$

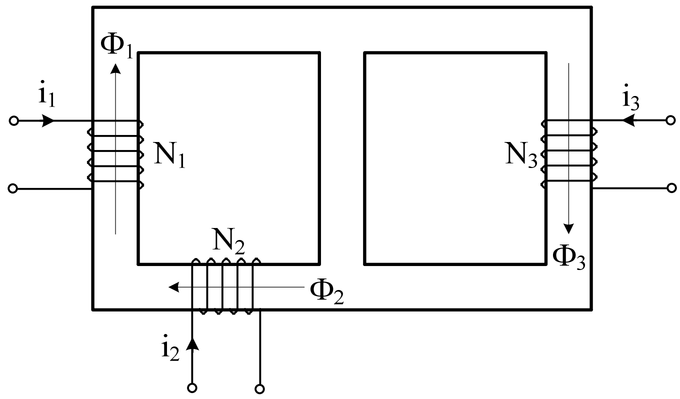
$$\Im_a = \frac{\dfrac{N_1 \ell_1}{\Re_{adc}} - \dfrac{N_2 \ell_2}{\Re_{ac}} + \dfrac{N_3 \ell_3}{\Re_{abc}}}{\left[\dfrac{1}{\Re_{adc}} + \dfrac{1}{\Re_{ac}} + \dfrac{1}{\Re_{abc}} \right]}$$

تمرين (٦- ٣):

لتكن الدائرة المغناطيسية (الشكل (٦- ١٠):

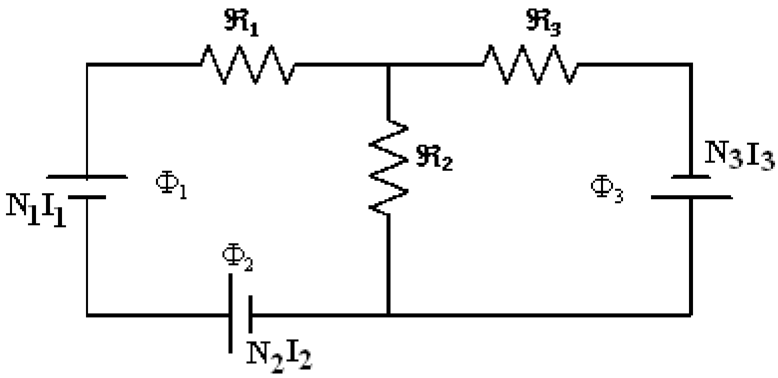
١- ارسم الدائرة المكافئة

٢- استنتج قوانين كيرشوف في كل من الحلقتين .



الشكل (٦- ١٠)

الحل:



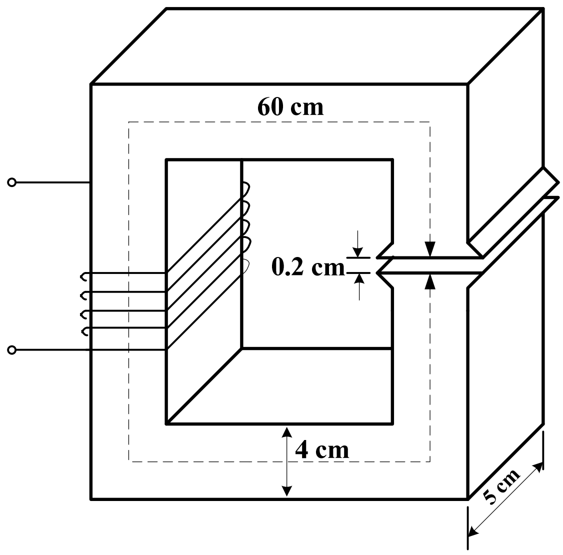
$$\phi_1 = \phi_2$$

$$N_1I_1 + N_2I_2 = \Re_1\phi_1 + \Re_2(\phi_1 - \phi_2)$$

$$N_3I_3 = \Re_3\phi_3 + \Re_2(\phi_3 - \phi_1)$$

تمرين (٦- ٤):

قلب حلقي من الصلب المعتدل مساحة مقطعه 5cm2 طول محيط الحلقة 40cm ملفوف عليها ملف 200 لفة ، أحسب قيمة التيار المار في الملف لتوليد مجال مغناطيسي في الحلقة 800µWb ، وكانت شدة المجال المغناطيسي في الحلقة 3500AT/m من شكل(٦- ١١):



الشكل (٦- ١١)

كثافة الفيض المغناطيسي في الحلقة B تساوي:

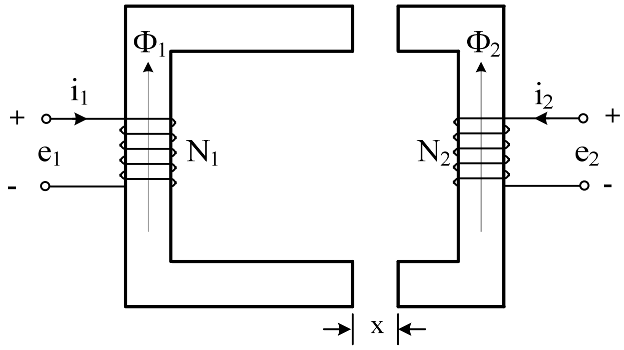
$$B = \phi/A = (800\times10^{-6}) / (5\times10^{-4}) = 1.6\ Wb/m^2$$
$$m.m.f = H\ \ell = 3500\times 0.4 = 1400\ AT$$
$$I = m.m.f/N = 1400/200$$
$$I = 7A$$

تمرين (٦- ٥):

لتكن دائرة مغناطيسية شكل(٦- ١٢):

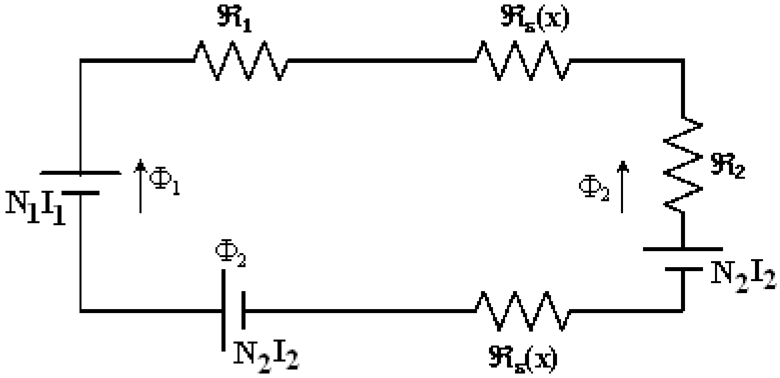
١- ارسم الدائرة المكافئة.

٢- استنتج قانون كيرشوف.



الشكل (٦- ١٢)

الحل:



$$\phi_1 = \phi_2$$

$$N_1 I_1 - N_2 I_2 = [\Re_1 + \Re_2 + 2\Re_g(x)]\phi_1$$

$$N_1 I_1 - N_2 I_2 = \Re(x)\phi_1$$

مثال (٦- ٦):

حلقة حديدية طول محيطها المتوسط $3m$ ومساحة مقطعها $25cm^2$ و بها قطع يمثل ثغرة هوائية طولها 1مم. حيط بالحلقة ملف به 350 لفة.فإذا كان معامل النفاذ النسبي لمادة الحلقة 800 وكان معامل التسرب المغناطيسي 1.2 . فأوجد التيار الكهربائي اللازم إمراره في الملف للحصول على فيض قدره $0.3mWb$ في الثغرة الهوائية.

الحل:

في الثغرة الهوائية:

$$B_g = \Phi / A$$

$$B_g = 0.3 \times 10^{-3} \;/\; 5\times10^{-4} = 0.6\ Wb/m^2$$

$$H_g = B_g/\mu_0 = 0.6/\,4\pi\times10^{-7} = 47.7\times10^{4}\ AT/m$$

$$AT_g = H_g \times l_g = 47.7\times10^4 \times 1\times10^{-3} = 477\ AT$$

في الحلقة الحديدية:

$$B_i = \lambda\times\Phi_g / A = 1.2\ [0.3\times10^{-3} / 5\times10^{-4}] = 0.72\ Wb/m^2$$

$$H_i = B_i/\mu_0\times\mu_r = 0.72 / 4\pi\times10^{-7} \times 800 = 715\ AT/m$$

$$AT_i = H_i\, l_i = 715 \times 3 = 2145\ AT$$

الأمبير لفة الكلي:

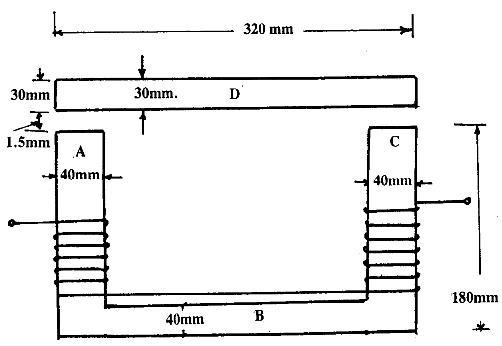
$$\text{Ampere-Turn} = 477 + 2145 = 2622\ AT$$

و التيار المطلوب:

$$I = AT/N = 2622 / 350 = 7.5\ A$$

مثال (٦- ٧):

دائرة مغناطيسية أبعادها كما هو مبين بالشكل(٦- ١٣) . مقطع الأجزاء A ،B ، C مربع بينما الجزء D مستطيل (40 × 30mm). يمر بالدائرة مجال مغناطيسي ناتج من ملفين على الجزأين A ، C وموصلين على التوالي و يحوي كل منهما على 1500 لفة . إذاً كانت معاملات النفاذ النسبي لأجزاء القلب الحديدي هي 900 لأجزاء A ، B ، C و 750 للجزء D فأوجد تيار المغنطة اللازم لإمرار مجال مغناطيسي 1.6mWb في الثغرة الهوائية.



الشكل (٦ - ١٣)

الحل:

في الثغرات الهوائية:

$B_g = [1.6 \text{ x } (1/1000) / 40 \times 40 \times (1/1000000)] = 1 Wb / m^2$

$H_g = B_g/\mu_0 = 1/ 4\pi \times 10^{-7} = 79.54 \times 10^4 \text{ AT/m}$

$L_g = 2 \times 1.5 = 3mm$

$AT_g = 79.54 \text{x } 10^4 \times 3 \times 10^{-3} = 2386 \text{ AT}$

الأجزاء .C,B,A

$B = 1 \text{ Wb} / m^2$

$H = / 4\pi \times 10^{-7} \text{ x } 900 = 884 \text{ AT/m}$

$L_{mean} = 160 + 280 + 160 = 600 \text{ mm}$

$AT = 884 \text{ x } 600 \text{ x } 10^{-3} = 530 \text{ AT}$

$B = \Phi / A = (1.6 \text{ x } 10^{-3}) / (30 \text{ x } 40 \text{ x } 10^{-6}) = 4/3 \text{ Wb/m}^2$

$H = (4/3) \text{x } 4\pi \times 10^{-7} \text{ x } 750 = 1415 \text{ AT/m}$

$L_{mean} = 320 - (2 \text{ x } 20) = 280 \text{ mm}$

$AT = 1415 \text{ x } 280 \text{ x } 10^{-3} = 396 \text{ AT}$

$\text{Total AT} = 2386 + 530 + 396 = 3312 \text{ AT}$

$I = 3312 / 3000 = 1.014 \text{ A}$

مثال (٦- ٨):

حلقة مصنوعة من الحديد المسبوك بالشكل و الأبعاد المبينة بالشكل (٦- ١٤) و مقطعها مربع طول ضلعه 3 سم و مثبت بداخلها قضيب حديدي طوله 18cm و مقطعه 0.4cm × 3 بدون ثغرات هوائية بينه و بين الحلقة.

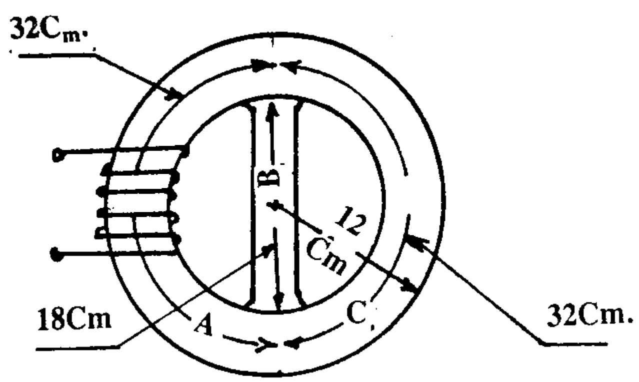
احسب الأمبير لفات اللازمة على الجزء للحصول على مجال مغناطيسي كثافته 1 ويبر لكل متر مربع في الجزء من الحلقة. الخواص المغناطيسية للمواد المستخدمة هي كما يأتي:

الحديد المسبوك:

B[T]	1	1.1	1.2
H[A/m]	900	1020	1220

الحديد:

B[T]	1.2	1.4	1.45
H[A/m]	590	1200	1650



الشكل (٦ - ١٤)

الحل:

1- الجزء C .

من الجدول عندما تكون $B = 1\ Wb/m$

فإن $H_c = 900\ AT/m$

طول المسار

$L_c = [\ \pi\ (24-3)\ ]\ /2 = 66/2 = 33\ cm$

$AT_c = 900 \times 0.33 = 297$

2- الجزء D .

حيث إن D على التوازي مع C فإن نفس الأمبير لفات موجودة عليه، أي أن

$AT_D = 297 = H_D\ l_D$

$H_D = 297 / 0.18 = 1650$ AT /m

ومن الجدول :

$B_D = 1.45$ Wb/m²

$\Phi_c = B_c A_c = 1 \times 9 \times 10^{-4} = 9 \times 10^{-4}$ Wb

$\Phi_D = B_D A_D = 1.45 \times 0.4 \times 3 \times 10^{-4} = 1.74 \times 10^{-4}$ Wb

$\Phi_A = \Phi_c + \Phi_D = 10.74 \times 10^{-4}$ Wb

$B_A = \Phi_A / A_A = 10.74 \times 10^{-4} / 3 \times 3 \times 10^{-4} = 1.193$ Wb /m²

من الجدول و بالتقريب:

$H_A = 1200$ AT/m

$AT_A = H_A l_A = 1200 \times 0.33 = 396$

و الأمبير لفات الكلية تصبح:

$AT_t = 396 + 297 = 693$ AT

الملفات المجوفة (اللولبية):

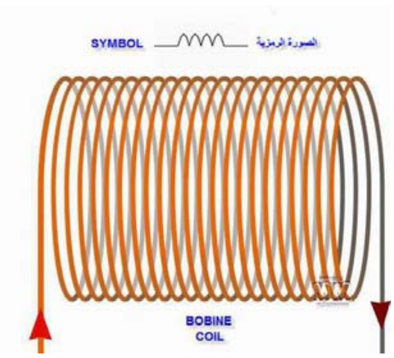
تركيب الملفات:

يتركب الملف من سلك معزول ملفوف على إطار من مادة عازلة وممكن أن تكون على عدة أشكال و أنواع و منها :

أولاً: من حيث القلب

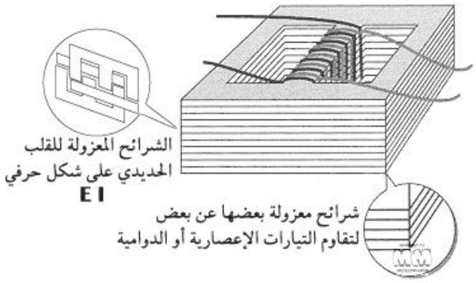
تصنف الملفات وفقاً للمادة التي تشغل الحيز داخل الإطار الداخلي للملف إلى :

١- ملفات ذات قلب هوائي(مجوفاً و فارغاً) : وهي تلك الملفات الشكل (٦- ١٥) التي يشغل الهواء ما بداخل إطارها الداخلي (ما بداخل قلبها) والحث الذاتي لمثل هذه الملفات صغير .



الشكل (٦- ١٥)

٢- ملفات ذات قلب حديدي: إذا وضع داخل الملف قلب حديدي شكل(٦- ١٦)، فإن المجال المغناطيسي يتركز داخل وحول الملف ولا يشرد كثيراً خارجه ، وبالتالي يزيد من حث الملف. قد يصل حث مثل هذا النوع من الملفات إلى 10هنري.



الشكل(٦- ١٦)

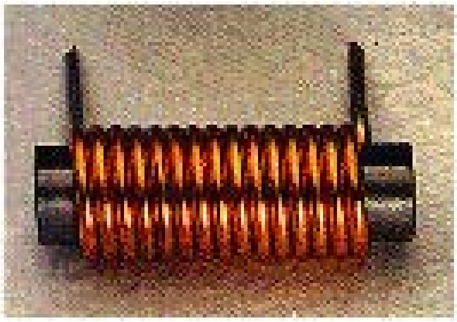
ولكن يعيب على مثل هذا النوع من الملفات ، أن تيارات متولدة بالحث الذاتي داخل القلب الحديدي تسمى بالتيارات الإعصارية أو التيارات الدوامية ، تتحرك في اتجاهات عشوائية داخل هذا القلب مما يسبب ارتفاعا في درجة حرارة القلب المغناطيسي وفقدا في الطاقة .ولذلك يقسم القلب الحديدي إلى شرائح معزولة عن بعضها البعض لتقاوم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

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

٣- ملفات ذات قلب من مسحوق الحديد : وهي الملفات التي يوضع بداخل قلبها مسحوق من الحديد شكل(٦- ١٧)، حيث يخلط مسحوق الحديد بمادة عازلة ويضغط ليعطي قلباً مغناطيسياً ذا مقاومة كهربية عالية ،وبالتالي تقليل التيارات الدوامية أو الإعصارية إلى حد كبير.

الشكل(٦- ١٧)

٤- ملفات ذات قلب من مادة الفرريت : وهى تلك الملفات التي يوضع بداخل قلبها مادة الفيريت الشكل(٦- ١٨)، ومادة الفيريت مادة مغناطيسية مقاومتها الكهربية عالية جداً ،وبذلك نضمن عدم سريان التيارات الإعصارية داخلها.



شكل(٦- ١٨)

ثانيا: من حيث الترددات

1- ملفات التردد المنخفض

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

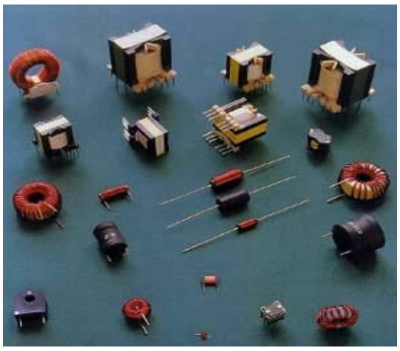
2- ملفات التردد المتوسط

وهي الملفات التي تستخدم في الترددات المتوسطة ، والتردد المتوسط في أجهزة الراديو ذات التعديل السعوي A M يساوي 465 كيلو هرتز. وملفات التردد المتوسط من الملفات ذات القلب المصنوع من مسحوق الحديد أو مادة الفيررين.

3- ملفات التردد العالي

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. في حالة التردد العالي تكون ممانعة الملفات كبيرة ، وفى حالة التردد المنخفض تكون ممانعة الملفات صغيرة وهذا يمكننا من فصل الترددات الصوتية عن الترددات العالية في الدوائر التي يقترن فيها التردد العالي مع التردد المنخفض.

❖ يمكن أن يغلف الملف بغلاف من حديد وذلك عند الرغبة في ألا يتأثر الملف بالمجالات المغناطيسية الخارجية وقد يغلف بغلاف من البلاستيك لحمايته ، وقد يترك بدون تغليف الشكل(٦- ١٩).



الشكل(٦- ١٩)

الشكل(٦- ٢٠)

الملف المجوف (اللولبي) هو الإسم الذي يعطى لملف من السلك صنع لإحداث مجال مغناطيسي. يُلف هذا الملف على حديد (ملف ذي قلب حديدي) أو على مادة غير مغناطيسية (ملف ذي قلب هوائي). الشكل (٦- ٢٠) يوضح الصور الرمزية لأنواع مختلفة من الملفات.

أساسيات الملف المجوف الخطي:

عندما يُحْدث تيار كهربائي مجالاً مغناطيسياً في الحديد. تتحرك في هذا المعدن جسيمات الميادين المجهرية لتنتظم في صف متواز مع المجال . وبما أنه من السهل على التدفق المغناطيسي المرور في الحديد . فالتيار ينتج المزيد من التدفق في وحدة مساحة المقطع . أي أن كثافة الدفق تشتد.

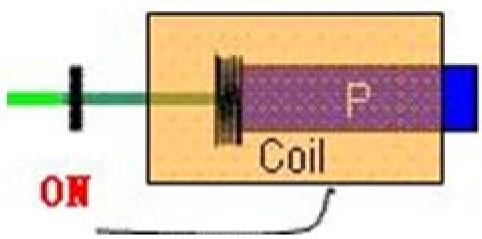
الملف في دوائر التيار المستمر:

إذا سلط جهد مستمر على ملف ، فإن 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 ، فإن الجهد المستنتج بالحث الذاتي يعارض تناقص التيار في الملف ، لذا فإن تيار الهبوط لا يصل إلى الصفر بمجرد فصل الجهد المستمر عن الملف . بل يستمر إلى حين .يتزايد التيار تدريجياً من الملف عند وصله مع التيار المستمر. ويتناقص التيار تدريجياً من الملف عند فصله من التيار المستمر.

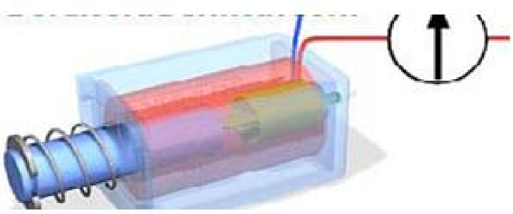
الملفات في دوائر التيار المتردد :

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

دوائر التيار المتناوب . الملفات المجوفة هي أجهزة كهر وميكانيكية تحول الطاقة الكهربائية إلى حركة ميكانيكية.
عموماً يتم استخدام هذه الحركة لنقل الحمولة إلى مسافة محددة. وجميع الملفات اللولبية الخطية هي أساساً من نوع سحب الشكل (٦- ٢١) و هذا ما يسحب الغواص داخل الملف حين يكون هذا الأخير مهيجاً شكل(٦- ٢١أ) أما عند فصل الكهرباء عن الملف (٦-٢١ب) فتتم عملية عودة القضيب إلى وضعيته الأصلية .



(أ) الملف مهيج

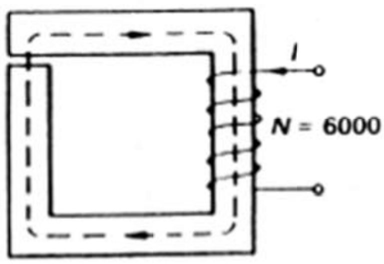


(ب) الملف غير مهيج

الشكل (٦- ٢١)

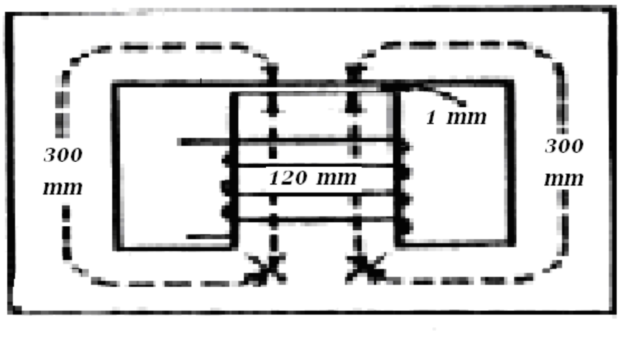
تمارين على الوحدة السادسة

١- يمر تيار قدره 20mA في الملف الذي يحوي على 6000 لفة الشكل (١) فيحدث فيض مغناطيسي عبر الحديد المغناطيسي و الفجوة الهوائية.إذا كانت مساحة مقطع الحديد $0.8\times10^{-4}m^2$ ، و طول المسار المتوسط في الحديد 0.15m، معامل النفاذ النسبي للحديد 800 و الفجوة الهوائية 0.75mm . احسب كثافة الفيض المغناطيسي (يهمل عامل التقوس).

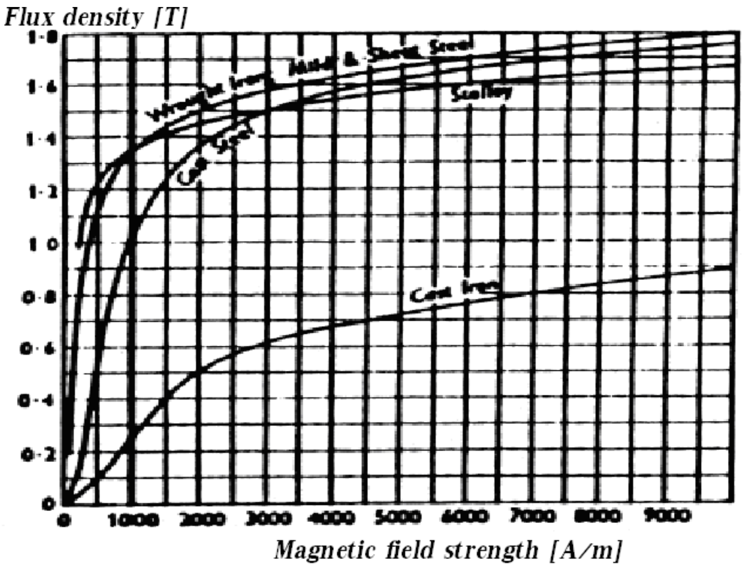


الشكل (١)

٢- لتكن الدائرة المغناطيسية الشكل (٢) ،الساق الوسطى تحتوي على 500 لفة و مساحة مقطعه $800mm^2$ أما الساقان الأيمن و الأيسر فمساحة مقطعهما $500mm^2$، الفجوة الهوائية 1mm. احسب التيار المطلوب الذي يمكننا من الحصول على 1.3mWb في الساق الوسطى (يهمل التسرب و التقوس) وأبعاد المسارات المغناطيسية المختلفة موضحة على الشكل (٢) استعمل منحنى B-H الشكل (٣).

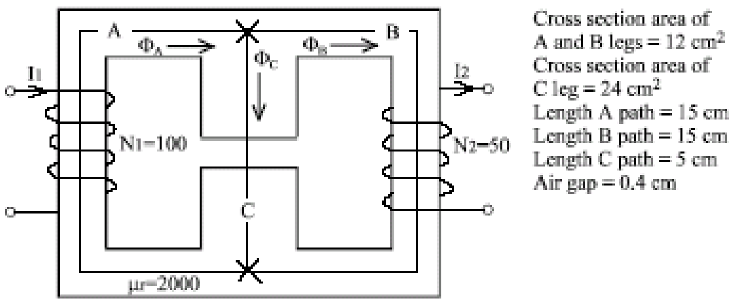


الشكل (٢)



الشكل (٣)

٣- الشكل (٤) يبين محولاً ذا ملفين ، الابتدائي يحتوي على 100 لفة و الثانوي 50 لفة ، ونفاذية الحديد 2000 (يهمل التسرب و التقوس) احسب شدة التيار الابتدائي إذاً كان التيار الثانوي 20A وكانت القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي في الساق الوسطى C 0.6T.



الشكل (٤)

المراجع الأجنبية

اسم المرجع	المؤلف
Principlses and Applications of "Electrical Engineering"	Hill, Mc Graw, 1981.
"Principles of Electric Circuits", 7th Edition	Joseph A. Edminister, Shaum's outline series, McGraw Hill, 1979.
Electric Circuits	James W. Nilson, Addison Wiseley, 1990.
Introduction to Electric Circuits	John Wiley & Sons, 1993.
Engineering Circuit Analysis	William H. Hayt, Jr., J.E. Kennerly, McGaw Hill, 1993
"Basic Electrical Engineering",	Sc.D., A.E.Fitzgerald, 1986.
"Introductory Circuit Analysis", 9th Edition	Boylestad, Robertil. , 1995.
"Introductory Circuit Analysis", 9th Edition	Boylestad, Robertil. , 1995.
Engineering Electromagnetics	William H. Hayt, JR. Mcgraw Hill, 1981.

المراجع العربية

اسم المرجع	المؤلف
أسس الهندسة الكهربائية	د.جيمي ج كايثي، د.سيد أ. نصر
مبادئ الكهرباء والالكترونيات وتقاناتها	ترجمة علاء حسن
أساسيات الهندسة الكهربائية ، الطبعة الثانية العربية	د.جيمي ج كايثي، د.سيد أ. نصر