II الكهرباء المتحركة

اقتصرنا سابقا على دراسة الشحنات الساكنة ,أو ما يسمى بالكهرباء الساكنة (Electrostatique)

في هذا الفصل سنضيف حالة الشحنات المتحركة ,وهو ما يسمى بالكهرباء المتحركة

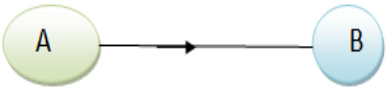
وندخل مصطلح التيار الكهربائي وكثافة التيار.(Électrocinétique)

نتناول أيضا في هذا الفصل تحليل بعض الشبكات الكهربائية البسيطة التي تحتوي على مولدات ومستقبلات ومقاومات . يعتمد التحليل في مثل هذه الشبكات على قانوني كيرشوف الذين هما نتيجة إنحفاظ الطاقة و انحفاظ الشحنة الكهربائية .

التيار الكهربائي والمقاومات

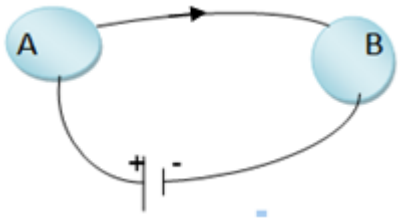
II- 1. التيار الكهربائي

عند ما يكون لدينا ناقلين A وB كمونهما على التوالي V_A وV_B حيث $V_B < V_A$ عند إيصالهما الناقلين فرق في الكمون يولد بين الناقلين حقل كهربائي متجه من A إلىB ناقل فيكون بين بسلك يحدث انتقال الإلكترونات من A إلى B مؤقتا حتى يتوازن الناقلين كهربائيا ويتساوى الكمون فتتوقف حركة الالكترونات. هذا الانتقال يسمى بالانتقال الحظي أي مرور تيار كهربائي لحظي



عندما نوصل طرفي A وB بمولد جهد (Générateur de tension) فهو يحافظ فرق الكمون بين طرفي الناقلين

وتستمر حركة الالكترونات ويسمى ذالك بالتيار المستمر (courant continu)



II–1-1 اتجاه التيار الكهربائي .

الكثير من الظواهر التي تثبت مرور التيار الكهربائي وهي عندما يشتعل مصباح كهربائي في داره كهربائية فإننا نقول بأن التيار مر بالدارة, أو إذا وظعنا إبرة مغناطيسية تحت سلك ناقل وانحرفت الإبرة فإننا نقول بأن التيار يمر بالدارة, أو إذا وظعنا وعاء تحليل كهربائي فإننا نشاهد انطلاق فقاعات هذا يعني ان التيار يمر.

ملاحظات:

- في النواقل الكهربائية و أنصاف النواقل

مثل النحاس و الألمنيوم ، يكون التيار بسبب حركة الإلكترونات السالبة، لذلك فاتجاه التيار الاصطلاحي هو معاكس لاتجاه انسياب الإلكترونات، المسئول الحقيقي عن التيار.

- في المسرعات هناك حزم من البروتونات الموجبة مسببة للتيار فيكون اتجاه التيار الاصطلاحي باتجاه انسياب البروتونات.

II– 1-2 شدة التيار الكهربائي

شدة التيار الكهربائي (Intensité du courant électrique) هي كمية الكهرباء q المارة عبر مقطع S خلال زمن dt

$$I = \frac{\mathrm{dq}}{\mathrm{dt}}$$

وحدة التيار في النظام الدولي هي أمبير (Ampère)

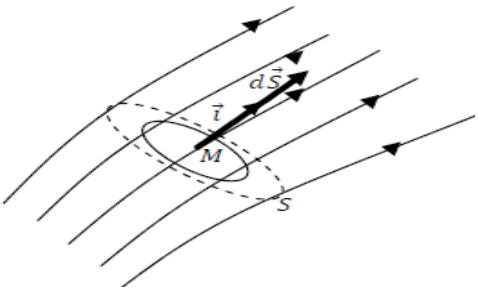
تعريف : الأمبير (1A)هي شدة التيار المكافئة لشحنة قدرها 1 وكلوم 1C تمر في السطح خلال 1 ثانية (1s)

،سنهتم خلال دراستنا بالنظام المستقر(Régime stationnaire) الذي يكون فيه كمون

نقطة ما من الدارة الكهربائية غير متغير مع الزمن، و تكون شدة التيار ثابتة عبر أي مقطع من مقاطع الدارة.

II- 1 -3 شعاع كثافة التيار

يعرف شعاع كثافة التيار بالشعاعً $\vec{\imath}$ M و اتجاهه اتجاه حركة الشحنات الموجبة و مماس لخط التيار المار ب M و طويلته:



$$i = \frac{dI}{dS}$$

حيث تعطى كثافة التيار i بالعلاقة التالية

$$i = n\, e\, v$$

- n الكثافة الحجمية للشحنات

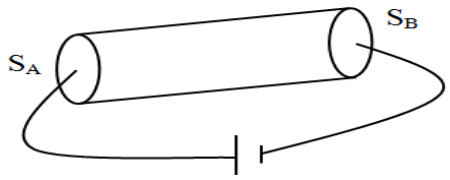
- e شحنة الإلكترون

- v سرعة الإلكترون

II- 2 قانون أوم

نعتبر الناقل التالي المحدود بالمقطعين S_A و S_B كما هو في الشكل

نطبق عن هذا الناقل فرق في الكمون بواسطة مولد في دارة مغلقة



فرق الكمون بين طرفي الناقل هي

$$V_A\text{-}V_B = \int_A^B \vec{E}.\overrightarrow{dl} = \int_A^B \frac{j}{\sigma}\, dl$$

$j = \frac{I}{S}$ الكثافة الكهربائية .

I شدة التيار في النظام المستقر.

S مساحة المقطع

نعوض الكثافة الكهربائية بقيمتها في معادلة فرق الكمون فتصبح كالتالي.

$$V=V_A-V_B=\frac{I}{\sigma}\int_A^B\frac{dl}{S}$$

تسمى مقاومة الناقل الأمي وحدتها هي الأم (Ω) ونرمز لها ب $\frac{1}{\sigma}\int_A^B\frac{dl}{S}$

ونرمز لها ب R إذن

$$\boxed{R=\frac{1}{\sigma}\int_A^B\frac{dl}{S}}$$

مثال : عندما يكون الناقل الأمي اسطوانة فإن المقطع S ليس له علاقة بالطول L

ومنه المقاومة $R=\frac{L}{\sigma S}$

- إذا كان الناقل كرة فإن السطح S له علاقة بالمسار L حيث تصبح المقاومة

$$\boxed{R=\frac{1}{\sigma}\int_A^B\frac{dl}{S}}$$

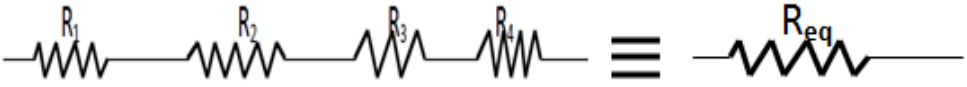
في الكرة $S=4\pi r^2$ و $dl=dr$

$$R=\frac{1}{\sigma}\int_{R_1}^{R_2}\frac{dr}{4\pi r^2} \Longleftarrow R=\frac{1}{\sigma 4\pi}\left[\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right]$$

II- 2 - 1 جمع المقاومات

-أ- جمع المقاومات على التسلسل

عندما تكون لدينا دارة كهربائية تحتوي على عدد من المقاومات مربوطة على التسلسل نستطيع تعويضها بمقاومة واحدة مكافئة أنظر ألشكل



يسري في المقاومات التيار نفسه و فرق الكمون هو مجموع فروق الكمون

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = R_1I + R_2I + R_3I + R_4 = (R_1+R_2+R_3+R_4)\, I$$

المقاومة المكافئة هي.

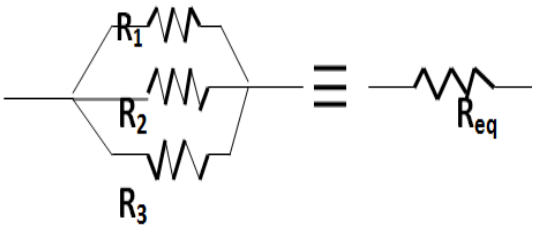
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^{n} R_i$$

ب - جمع المقاومات على التفرع

عندما تكون لدينا دارة كهربائية تحتوي على عدد من المقاومات مربوطة على التفرع نستطيع تعويضها بمقاومة واحدة مكافئة أنظر ألشكل

lmhtw,



في كل مقاومة يسري فيها تيار وكل المقاومات لها نفس فرق الكمون

حيث التيار الكلي يساوي مجموع التيارات المارة في كل مقاومة

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) V = \frac{V}{R_{eq}}$$

المقاومة المكافئة هي.

$$\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{R_{eq}}} = \sum_{i=1}^{\mathbf{n}} \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{R_i}} \qquad \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{R_{eq}}} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{R_1}} + \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{R_2}} + \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{R_3}}$$

- مثال -1-

ثلاث مقاومات R1= 3Ω, R2= 2Ω و R3= 4Ω مربوطة على التسلسل

احسب المقاومة المكافئة

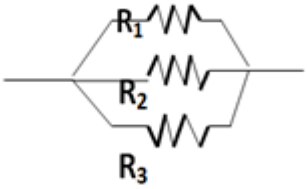
الحل:

المقاومة المكافئة هي

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 = 3\Omega + 2\Omega + 4\Omega$$

$$R_{eq} = \Omega 9$$

مثال -2- ثلاث مقاومات $R1= 3\Omega$,$R2= 2\Omega$ و $R3= 4\Omega$ مربوطة على التفرع



احسب المقاومة المكافئة

الحل:

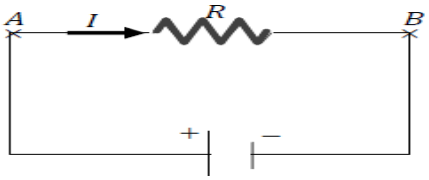
المقاومة المكافئة هي R_{eq} حيث

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$R_{eq} = \frac{12}{13}\ \Omega \qquad \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{3} + \frac{1}{2} + \frac{1}{4}$$

II- 3 قانون جول

عندما تكون لدينا مقاومة R موصولة تحت فرق كمون ثابت .عندما يسري فيها تيار كهربائي شدته I وبين طرفيها فرق في الكمون v في مدة زمنية معينة t يمر عبر هذه المقاومة كمية من الالكترونات $q = It$ فإن حركة هذه الكمية من الالكترونات داخل المقاومة ينتج عنه طاقة حرارية W



حيث $W= q .V$

$q=It$ كمية الالكترونات و $V = RI$ فرق الكمون بين طرفي المقامة ومنه

$$W= It.RI \quad \Longrightarrow \quad W= RI^2t$$

الاستطاعة هي حاصل قسمة الطاقة على الزمن ومنه $P = RI^2$

تبين التجربة أن هذه الطاقة تظهر على شكل حرارة ضائعة في المادة الناقلة إلى الخارج، و يدعى هذا الإصدار للحرارة بمفعول جول (**effet joule**)

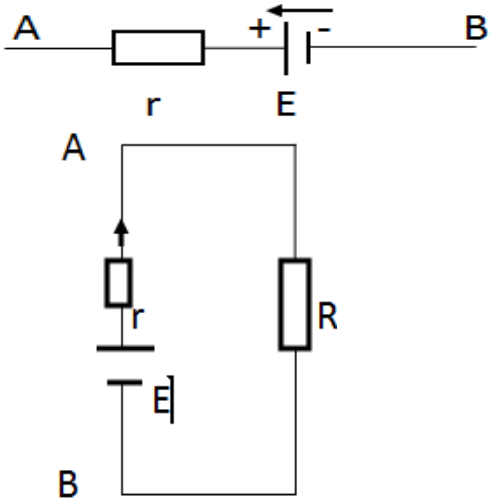
II- 4 الشبكات الكهربائية

II– 4- 1 القوة المحركة الكهربائية

القوة المحركة الكهربائية (*force électromotrice*) في دارة تيار مستمر يكون ناتج عن الآليات التي تنقل حاملات الشحنة داخل المولد في اتجاه معاكس لاتجاه القوة الكهربائية المؤثرة على الشحن.

القوة المحركة الكهربائية هي فرق الكمون المعطى من طرف المولد .وحدتها الفولط ونرمز لها في دارة كهربائية بالرمز E ونعبر عنها باختزال ب (f. é .m)

تمثيل المولد في دارة مفتوحة



نمثل المولد في دارة مفتوحة بالشكل التالي.

حيث فرق الكمون بين A ; B $V_A - V_B = E$

تمثيل المولد في دارة مغلقة

فرق الكمون بين طرفي المولد في الدارة هو

$$E - r.\ I = RI$$

وشدة التيار المارة في الدارة هي

$$I = \frac{E}{R+r}$$

ملاحظات :

- نمثل المولد في دارة كهربائية بالقوة المحركة الكهربائية E و r المقاومة الداخلية للمولد (E , r)

- نمثل المولد في دارة كهربائية بعصاي كبيرة وهي القطب الموجب وعصاي صغيرة وهي القطب السالب .

- القوة المحركة الكهربائية في دارة ب سهم متجه من القطب السالب إلى القطب الموجب

- نمثل فرق الكمون بين طرفي مقاومة في دارة ب سهم ب سهم عكس اتجاه التيار المار في الدارة.

- الاستطاعة المقدمة من طرف المولد : هي $P= E . I$

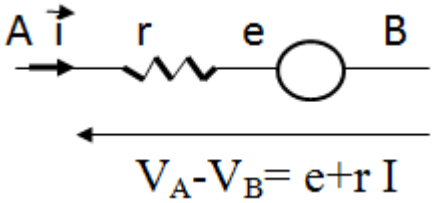
الاستطاعة المستهلكة في الدارة الخارجية هي $P = (V_A – V_B).I = R.I$

الاستطاعة المستهلكة في المولد هي $P = r. I$

II– 4 -2 القوة المضادة للقوة المحركة الكهربائية لعنصر استقبال

عنصر الاستقبال هو جهاز هدفه تحويل الطاقة الكهربائية إلى شكل آخر للطاقة ويضيع طاقة حرارية بداخله بفعل جول.
والتيار في دارة كهربائية يدخل لعنصر الاستقبال من الجهة الموجبة ويخرج من الجهة السالبة
أمثلة عن المستقبلات المحركات , المتراكمات والمولدات إذا كان التيار الذي يمر في الدارة يدخل إلى المولد من الجهة الموجبة ويخرج من الجهة السالبة فهذا المولد يلعب دور قوة مضادة عكسية (f.c.e.m)

- نمثل المستقبلة في دارة كهربائية بالقوة المضادة العكسية e و r المقاومة الداخلية المستقبلة (e , r)



فرق الكمون بين طرفي المستقبلة هو

$V_A-V_B= e + r I$

الاستطاعة المستقبلة في عنصر الاستقبال على شكل كهربائي تساوي I.(VA-VB)

يحول منها استطاعة $Pt= e .I$ والجزء الآخر يحول على شكل حرارة بفعل جول داخل المستقبلة ويساوي $P_J = r .I$.

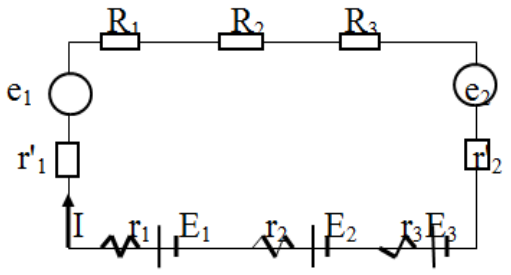
ومنه الاستطاعة الكلية $(VA-VB).I = e .I + r I^2$

مردود جهاز الاستقبال يساوي النسبة بين الاستطاعة المستعملة التي يقدمها عنصر الاستقبال إلى الاستطاعة المستهلكة من طرفه:

$$Ren = \frac{e .I}{(VA-VB).I} < 1$$

II- 5 تطبيق قانون أوم على دارة مغلقة

لتكن الدارة المغلقة من النقطة تحوي المولدات $(E_3; r_3)$ و$(E_2; r_2)$ و$(E_1; r_1)$ وعدد من المستقبلات $(e_1 ; r_1)$ و$(e_2 ; r_2)$ و مقاومات $R_1 ; R_2; R_3$ انظر الشكل .



الاستطاعة المقدمة من طرف المولدات تستهلك من طرف المستقبلات والمقاومات

استطاعة المولدات هي $I\sum E$

الاستطاعة المحولة من طرف المستقبلات هي $I\sum e$

الاستطاعة المحولة بفعل جول هي $I(\sum rI + \sum RI)$

نستطيع القول أن $I\sum E = I\sum e + I(\sum rI + \sum RI)$

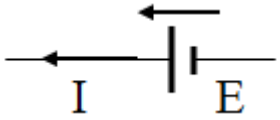
باختزال طرفي المعادلة تتحصل على

$$\sum E = \sum e + (\sum rI + \sum RI)$$

يعني أن المجموع الجبري لفروق الكمون في دارة مغلقة يكون معدوم.

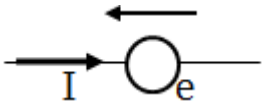
ملاحظة :

- نمثل فرق الكمون بين عصاني المولد بسهم موجه من القطب السالب إلى القطب الموجب وفق الشكل التالي

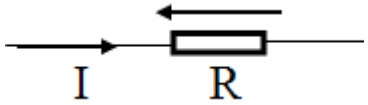


-

- نمثل فرق الكمون بين طرفي المستقبلة بسهم عكس مرور التيار وفق الشكل التالي



- نمثل فرق الكمون بين طرفي المقاومة بسهم عكس مرور التيار وفق الشكل التالي



مثال

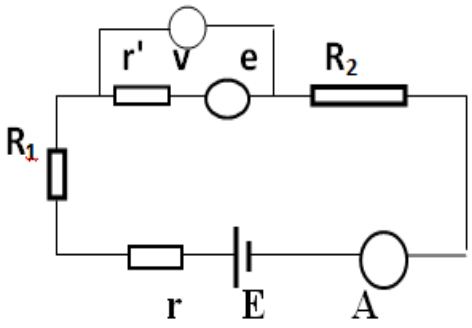
-دارة كهربائية تحتوي على مولد قوته المحركة الكهربائية E = 24 v ومقاومته

r = 2Ω ومستقبلة قوته المحركة الكهربائية العكسية

e=4v ومقاومتها r'= 3Ω

ومقاومتين R_1= Ω20 و R_2= 15Ω الدارة تحتوي على أمبير متر مربوط على التسلسل في الدارة وفولط متر مربوط على الفرع مع المستقبلة.

- أعطي القيم التي يسجلها الفولط والأمبير انظر الشكل.



الحل

بتطبيق قانون أوم في الدارة المغلقة.

$$I = \frac{E-e}{r'+r+R_1+R_2}$$ ومنه $E - r.I - R.I - R.I - r'.I - e = 0$

تطبيق عددي

$$I = \frac{24-4}{3+2+20+15}$$ اذن $I = 0.5\ A$

- نقرأ على مؤشر الأمبير القيمة $I = 0.5\ A$

الفولط يقرأ فرق الكمون بين طرفي المستقبلة.

$$V = e + r'.I$$

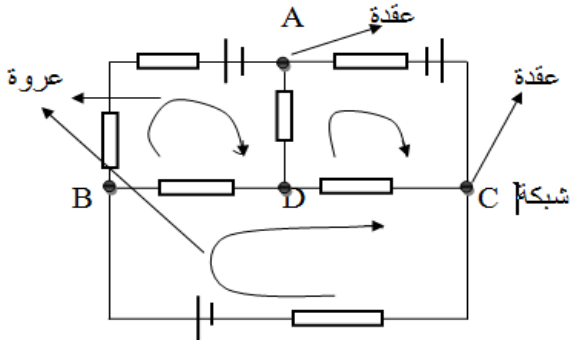
تطبيق عددي.

$V = 4v + 3 \times 0.5$ ومنه $V = 5.5v$

الفولط متر نقرأ عليه 5.5 v

II- 6 تعميم قانون أوم (قانونا كيرشوف)

عند ما تكون لدينا شبكة معقدة مكونة من مولدات وعناصر استقبال و مقاومات كما في الشكل.



- نعرف

- العقدة هي التقاء أكثر من فرعين (nœud)

- الفرع هو مجموعة من العناصر محصورة

بين عقدتين (branche).

-العروة هي مجموعة من الفروع مغلقة (maille)

المسألة العامة في الشبكات :حساب شدة التيار التي تمر في كل فرع من الشبكة . لحل المسألة.

نستعمل قانوني كيرشوف المعرفين كما يلي:

II– 6- 1 قانون كيرشوف الأول(قانون العقد):

هو مجموع شداة التيارات الكهربائية الداخلة إلى عقدة يساوي مجموع شداة التيارات الخارجة منها.

II– 6- 2 قانون كيرشوف الثاني (قانون العروات):

المجموع الجبري للتوترات في العروة الواحدة يكون معدوم وهو أيضا يسمى قانون انحفاظ الطاقة.

II– 6 - 3 تطبيق قانوني كيرشوف على الشبكات :

وضع المعادلات

أولا: بعد رسم الشبكة

ثانيا :

نحدد اختياريا اتجاه التيارات في كل فرع من الشبكة .لا نخشى من التخمين الخاطئ لاتجاه التيار، إن كانت الإجابة سالبة فإن هذا يعني الاتجاه الفعلي للتيار بعكس الاتجاه المختار لكن القيمة صحيحة، و هذا في حالة شبكة لا تحتوي على عنصر استقبال .إذا وجد عنصر استقبال، و كان التيار المحسوب الذي يسري في الفرع الذي يحتوي عنصر الاستقبال سالبا، يجب هنا إعادة وضع معادلات المسألة آخذين الاتجاه الصحيح للتيار.

ثالثا :

نطبق قانون كيرشوف الأول (قانون العقد)، إذا كان لدينا n عقدة سنحصل على n-1 معادلة.

رابعا :

نطبق قانون كيرشوف الثاني (قانون العروات)، إذا كان لدينا b عدد فرع فإن عدد معادلات العروات $m = b - (n-1)$

خامسا :

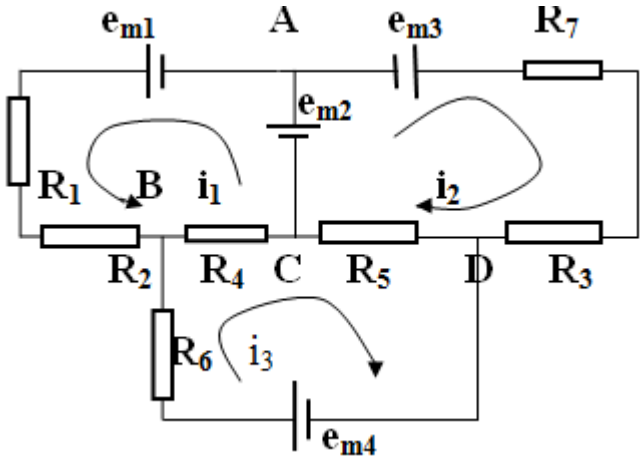
نحصل على جملة من معادلات خطية، نختار فقط المعادلات المستقلة بعد اعتماد كل العقد و العروات .

تمرين تطبيقي :

دارة كهربائية تحتوي على العناصر الكهربائية الممثلة في الشكل احسب شدة التيار المارة في كل فرع .

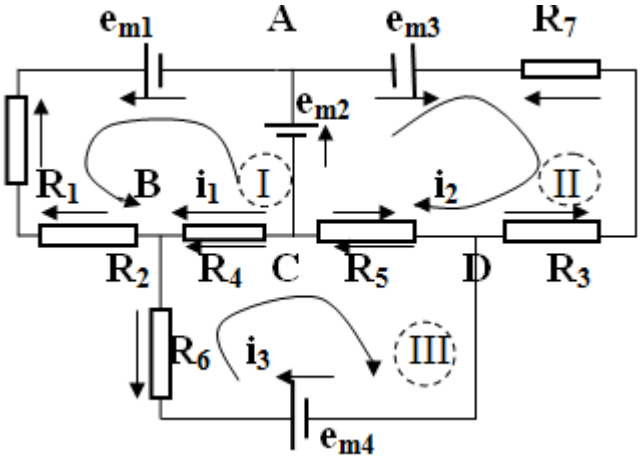
المعطيات. $e_{m1}=1v$ $e_{m3}=e_{m2}=3v$ و $e_{m4}=2v$ $R_1=R_2=1\Omega$

$R_3=R_4=R_5=R_6=R_7=2\Omega$



الحل

أولا – نعيد رسم الشبكة ونمثل عليها التوتر بين طرفي كل عنصر بسهم حيث السهم يكون موجه عكس جهة التيار في العاصر الخاملة ومع جهة التيار في العنصر الشط المولد.



نطبق قانون العروة .

حساب عدد العروات

$M = B - (n - 1)$

$n = 4$ و $B = 6$ ومنه عدد العروات $M = 6 - (4-1) = 3$

العروة I

$$\mathbf{e_{m2} + e_{m1} - R_2 i_1 - R_1 i_1 - R_4 (i_1 + i_3) = 0}$$

العروة II

$$\mathbf{e_{m2} + e_{m3} - R_7 i_2 - R_3 i_1 - R_5 (i_2 - i_3) = 0}$$

العروة III

$$\mathbf{e_{m4} - R_5 (i_3 - i_2) - R_6 i_3 - R_4 (i_1 + i_3) = 0}$$

تطبيق عددي

بعدما نعوض العناصر بقيمها

$$4 - 4i_1 - 0\, i_2 - 2i_3 = 0$$

$$6 - 0i_1 - 6\, i_2 + 2i_3 = 0$$

$$2 - 2i_1 + 2\, i_2 - 6i_3 = 0$$

إذن

$$2i_1 + 0\, i_2 + 1i_3 = 2$$

$$\mathbf{0i_1 + 3\, i_2 - 1i_3 = 3} \quad \Longleftarrow \quad \mathbf{0i_1 + 3\, i_2 - 1i_3 = 3}$$

$$3x \quad 1i_1 - 1\, i_2 + 3i_3 = 1 \qquad 1i_1 - 1\, i_2 + 3i_3 = 1$$

بعد جداء المعادلة الثالثة في 3 وجمعها مع الثانية تتحصل على المعادلة $3i_1 + 8i_3 = 6$

بضرب المعادلة الأولى في 8- وجمعها مع المتحصل من الثانية والثالثة تتحصل على

$-13i_1 = 10$ ومنه $i_1 = 10/13$

نعوض i_1 في المعادلة ألأولى فتتحصل على $i_3 = 6/13$

نعوض i_3 في المعادلة الثانية فتتحصل على $i_2 = 15/13$

شدة التيار في كل فرع.

الفرع AB $i_1 = 10/13 = 0.76$ A

الفرع AD $i_2 = 15/13 = 1.15$ A

الفرع BD $i_3 = 6/13 = 0.46$ A

الفرع CB $i_1 + i_3 = 16/13 = 1.22$A

الفرع DC $i_2 - i_3 = 9/13 = 0.71$A

الفرع CA $i_1 + i_2 = 25/13 = 1.91$A