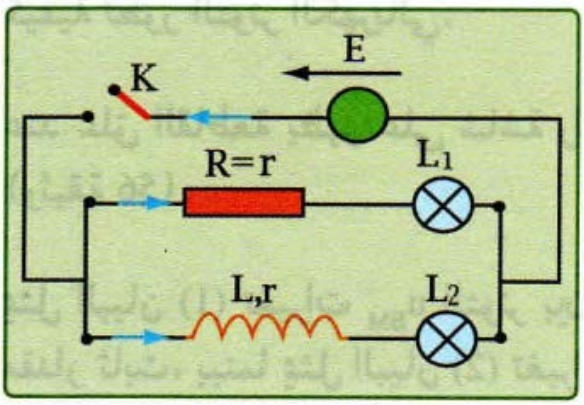
الوحدة ③ : دراسة ظواهر كهربائية.

الموضـــــوع: 3-2- الوشيعة و ثنائي القطب RL.

1- وصف الوشيعة وتصرفها في جزء من دارة:

مثلها مثل المكثفة، تعتبر الوشيعة عنصرا كهربائيا كثير الاستعمال في الدارات الكهربائية، فهي تستعمل في عدة تركيبات، منها: الميقاتيات الإلكترونية، الدارات الكهربائية التي ترشح التيار الكهربائي وتضخمه.

تتشكل الوشيعة من سلك (عادة من النحاس) يلف بشكل حلزوني أو مسطح، كما يمكن للوشيعة أن تأخذ عدة أشكال. تلُف السلك طبقة من عازل لتجنب الدارة القصيرة. تحتوي الوشيعة على عدد معين من اللفات.



للتعرف على تصرف وشيعة في جزء من دارة كهربائية، نحقق الدارة الكهربائية الممثلة بالمخطط:

بعد غلق القاطعة تتغير شدة التيار المار بالدارة من القيمة 0 إلى قيمة i.

بالنسبة للمصباح L_1 يتوهج مباشرة وتكون إنارته ثابتة منذ البداية أما المصباح L_2 فإنه يتوهج متأخرا.

بعد ثوان معدودة تصبح إنارة المصباحين متماثلة، أي أن التيار المار بالفرع الأول نفسه الذي يمر بالفرع الثاني.

ذلك يدل على أن ثبات شدة التيار في الفرع الذي يحوي الوشيعة كان تدريجيا وهي ظاهرة انتقالية سببها الوشيعة، حيث حرضت تيارا يعاكس تيار المولد، وهو سبب تأخير ظهور التيار في الوشيعة آنيا.

نستنتج أن للوشيعة خاصية هي خاصية التحريض لذا نقول أنها وشيعية تحريضية.

وعندما تصبح إنارة المصباحين متماثلة أي تصبح شدة التيار بالفرعين نفسها وذات قيمة ثابتة نقول عندها أن الوشيعة تتصرف كمقاومة.

نتيجة:

- تمانع الوشيعة مرور التيار لمدة قصيرة (نظام انتقالي).
- تتصرف الوشيعة كناقل أومي(مقاومة كهربائية) عندما يجتازها تيار ثابت الشدة (نظام دائم). فعند ربط طرفي الوشيعة إلى مقياس أوم، يشير إلى قيمة ما.

لكل وشيعة ميزتان: مقاومتها الداخلية r المقدرة بالأوم Ω، وذاتيتها L المقدرة بالهنري H: والتي هي مقدار موجب متعلق بالشكل الهندسي للوشيعة.

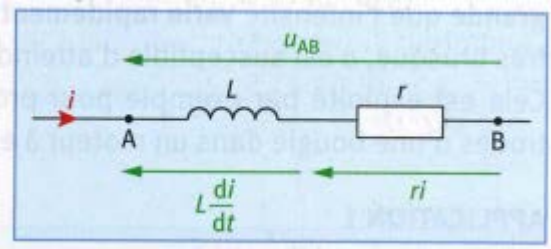
تمثل الوشيعة كما يلي:

طراز الوشيعة	L (H)
1 لفة قطرها 1m	10^{-6}
1000 لفة دون نواة	10^{-3}
1000 لفة مع نواة	1

ذاتية بعض الوشائع

2- العلاقة بين شدة التيار و التوتر بين طرفي الوشيعة:

باعتبار الوشيعة مستقبلة (convention récepteur) العلاقة التي تربط شدة التيار الكهربائي بين طرفي الوشيعة وشدة التيار التي تجتازها تعطى بالعلاقة:



$$u_{AB} = L\frac{d\,i(t)}{dt} + r.i(t)$$

المقدار $L\frac{d\,i}{dt}$ يميز تصرف الوشيعة.

تكون قيمته معتبرة كلما كان التغير في شدة التيار الكهربائي في الوشيعة سريعا.

في حالة تيار ثابت الشدة $\frac{di}{dt} = 0$ ، تتصرف الوشيعة كناقل أومي أي $u_{AB} = r.i(t)$

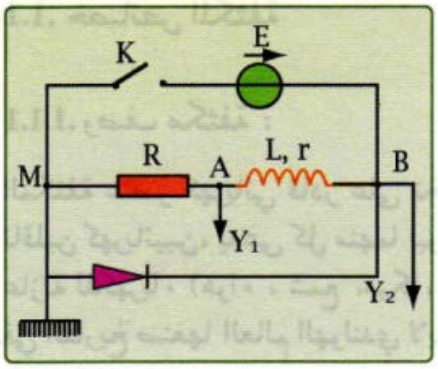
المقدار $r.i(t)$ يعود إلى مقاومة السلك الذي تتشكل منه الوشيعة. في بعض الحالات يهمل هذا المقدار.

نقول في مثل هذه الحالة أن الوشيعة مثالية أو صافية (idéale) حيث مقاومتها تعتبر و كأنها منعدمة.

ويكون $u_{AB} = L\frac{d\,i(t)}{dt}$.

3- تطور شدة التيار الكهربائي المار في وشيعة تحريضية:

3-1- الدراسة التجريبية:



نحقق الدارة الكهربائية المبينة في المخطط المقابل:

والمكونة من العناصر التالية: مولد توتر ثابت $E = 6\,V$ ،

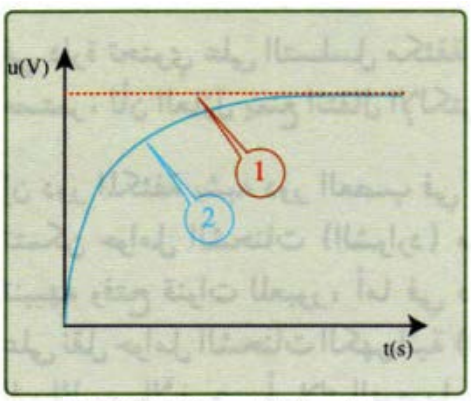
وشيعة ($r = 10\,\Omega$ ، $L = 1\,H$)،

مقاومة $R = 470\,\Omega$، راسم اهتزازات بذاكرة. صمام عادي

(يسمح بمرور التيار في جهة واحدة)، قاطعة، أسلاك توصيل.

أ- تطور شدة التيار نحو قيمة ثابتة غير معدومة:

بعد غلق القاطعة يظهر على شاشة راسم الاهتزازات البيانين (1) و (2):



تطور التوتر بعد غلق القاطعة

الأسئلة:

- حدد البيان الذي يمثل u_{AM} والبيان الذي يمثل u_{BM}.
- كيف يتغير التوتر الكهربائي u_{AM} ؟
- أي البيانين يمكننا من متابعة تغير شدة التيار الكهربائي ؟
- كيف تتغير شدة التيار الكهربائي ؟
- ما هي القيمة العظمى لشدة التيار الكهربائي ؟

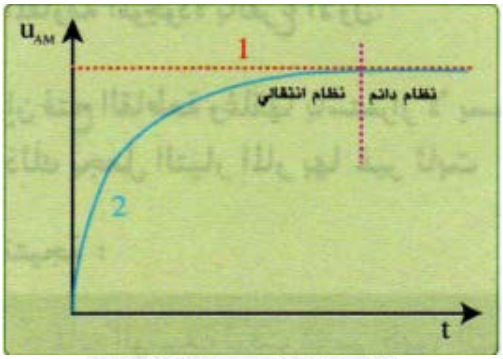
الأجوبة:

- يمثل البيان (1) التوتر u_{BM} بين طرفي المولد وهو ثابت ويساوي E.
- يمثل البيان (2) التوتر u_{AM} بين طرفي المقاومة.

يمر التوتر u_{AM} بمرحلتين:

مرحلة انتقالية يتزايد هذا التوتر تدريجيا حتى يصل إلى قيمة أعظمية.

مرحلة دائمة يبلغ هذا التوتر فيها قيمة عظمى وثابتة.



تطور التوترات بعد غلق القاطعة

- بما أن: $u_{AM} = Ri$ و R مقدار ثابت فإن تغيرات $i = f(t)$ مماثلة تماما لتغيرات u_{AM}،

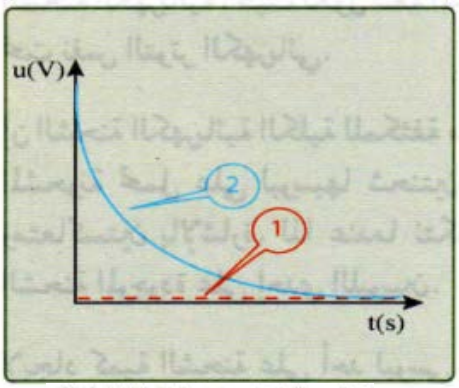
أي يمر التيار بنفس المرحلتين السابقتين . القيمة العظمى لشدة التيار هي: $I_0 = \frac{u_{AM(\max)}}{R} = \frac{E}{R}$

ب- تطور شدة التيار نحو قيمة ثابتة معدومة:

عند فتح القاطعة يظهر على شاشة راسم الاهتزازات بيانين جديدين (1) و (2):

الأسئلة:

- ماذا يمثل كل بيان؟
- كيف تتغير شدة التيار الكهربائي في الدارة؟
- أرسم المماس للبيان $u = f(t)$ عند المبدأ واستنتج فاصلة تقاطعه مع محور الأزمنة.
- قارن النتيجة مع المقدار $\frac{L}{R+r}$



تطور التوتر بعد فتح القاطعة

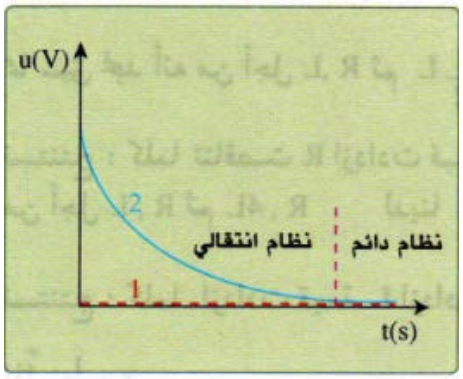
الأجوبة:

- يمثل البيان (1) التوتر u_{BM} لأن $u_{BM} = 0$.
- يمثل البيان (2) التوتر u_{AM} بين طرفي المقاومة حيث $u_{BM} = Ri$.

تمر شدة التيار بمرحلتين:

مرحلة انتقالية : تتناقص فيها شدة التيار تدريجيا مقتربة من الصفر.

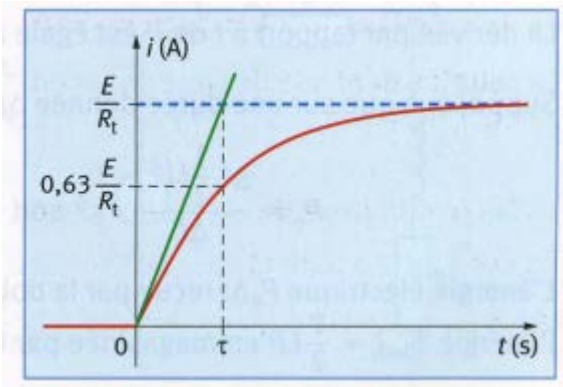
مرحلة دائمة تنعدم فيها شدة التيار.



ثابت الزمن لثنائي القطب RL:

يتشكل ثنائي القطب RL من وشيعة (r,L) موصلة على التسلسل مع مقاومة R.

و بذلك مقاومة ثنائي القطب RL هي $R_t = R + r$.

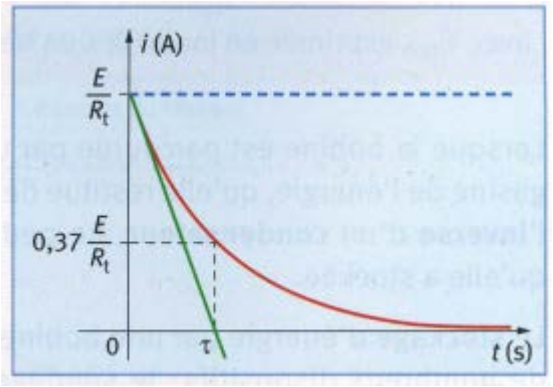


ثابت الزمن τ هو الزمن اللازم لتصل شدة التيار المار بالدارة بعد غلق القاطعة 63% من قيمتها العظمى $i = 0{,}63\, I_0$

أو هو الزمن اللازم لتصل شدة التيار المار بالدارة بعد فتح القاطعة 37% من قيمتها العظمى $i = 0{,}37\, I_0$.

وجد أن τ يتناسب عكسيا مع $R+r$ وطرديا مع L

حيث: $\tau = \dfrac{L}{R+r}$



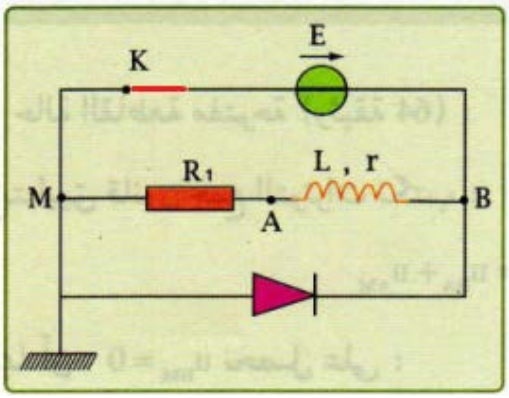
التحليل البعدي للعلاقة: $\dfrac{[L]}{[R]} = \dfrac{[u].[T].[I]^{-1}}{[u].[I]^{-1}} = [T]$

إذن العلاقة متجانسة.

2-3- الدراسة النظرية:

المعادلة التفاضلية لتطور شدة التيار في ثنائي القطب RL.

أ- حالة القاطعة مغلقة:



بتطبيق قانون جمع التوترات: $u_{AM} + u_{BA} = u_{BM}$

لكن: $u_{BM} = E$ و $u_{AM} = R\,i$

و $u_{BA} = L\dfrac{di(t)}{dt} + r.i(t)$

إذن: $E = L.\dfrac{di(t)}{dt} + (r+R).i(t)$

أي: $\dfrac{di(t)}{dt} + \dfrac{(r+R)}{L}.i(t) = \dfrac{E}{L}$

بما أن $\tau = \dfrac{L}{R+r}$ و $I_0 = \dfrac{E}{R}$ فإن المعادلة التفاضلية لتطور شدة التيار في ثنائي القطب تكتب:

$\dfrac{di(t)}{dt} + \dfrac{1}{\tau}.i(t) = \dfrac{I_0}{\tau}$ وهي معادلة تفاضلية من الدرجة الأولى حلّها: $i(t) = I_0\,(1 - e^{-t/\tau})$.

حالات خاصة :

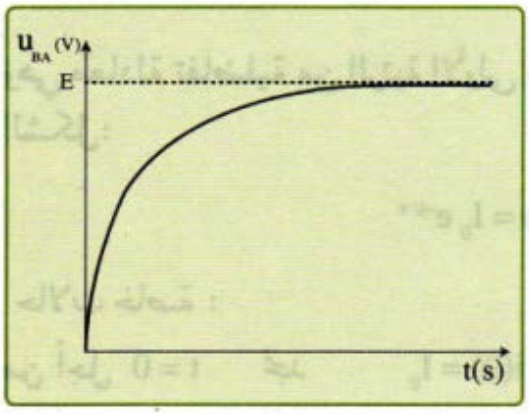
1- لما $t=0$ نجد $i(0)=0$.

2- لما $t=\tau$ نجد $i(\tau)=0,63\,I_0$.

ملاحظة:

من أجل وشيعة صافية يكون $r=0$ عبارة التوتر بين طرفي الوشيعة هي: $u_{BA}=L\frac{di(t)}{dt}=L\frac{I_0}{\tau}e^{-t/\tau}$

أي: $u_{BA}=E\,e^{-t/\tau}$



تطور التوتر بين طرفي وشيعة في حالة قاطعة مغلقة

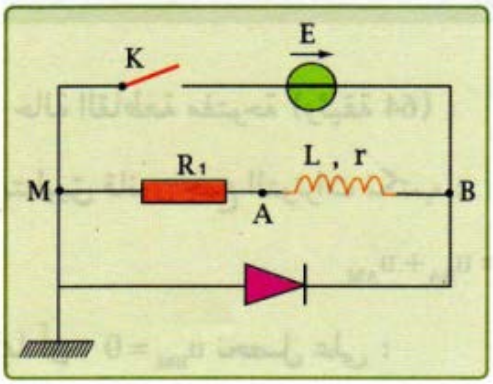
ب- حالة القاطعة مفتوحة:

بتطبيق قانون جمع التوترات: $u_{BM}+u_{BA}=u_{AM}$

هنا: $u_{BM}=0$

إذن: $0=L.\frac{di(t)}{dt}+(r+R).i(t)$

أي: $\frac{di(t)}{dt}+\frac{(r+R)}{L}.i(t)=0$



بما أن: $\tau=\frac{L}{R+r}$ فإن المعادلة التفاضلية لتطور شدة التيار في ثنائي القطب تكتب:

$\frac{di(t)}{dt}+\frac{1}{\tau}.i(t)=0$ وهي معادلة تفاضلية من الدرجة الأولى حلّها: $i(t)=I_0\,e^{-t/\tau}$.

حالات خاصة :

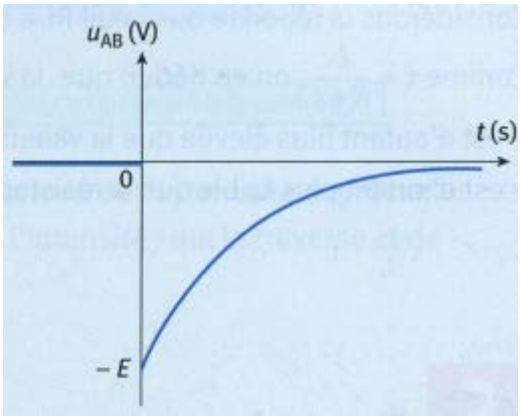
1- لما $t=0$ نجد $i(0)=I_0$.

2- لما $t=\tau$ نجد $i(\tau)=0,37\,I_0$.

ملاحظة:

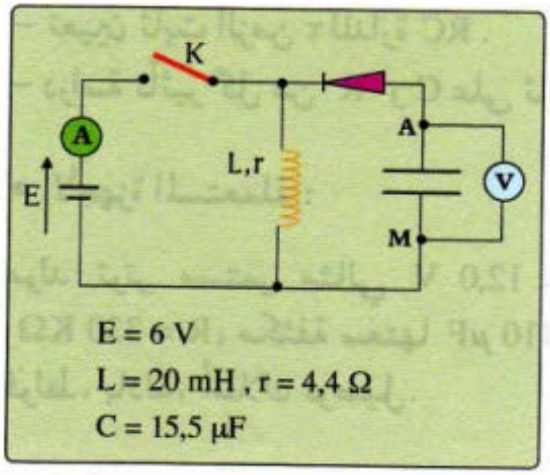
من أجل وشيعة صافية يكون $r=0$ عبارة التوتر بين طرفي الوشيعة هي: $u_{BA}=L\frac{di(t)}{dt}=-L\frac{I_0}{\tau}e^{-t/\tau}$

أي: $u_{BA}=-E\,e^{-t/\tau}$



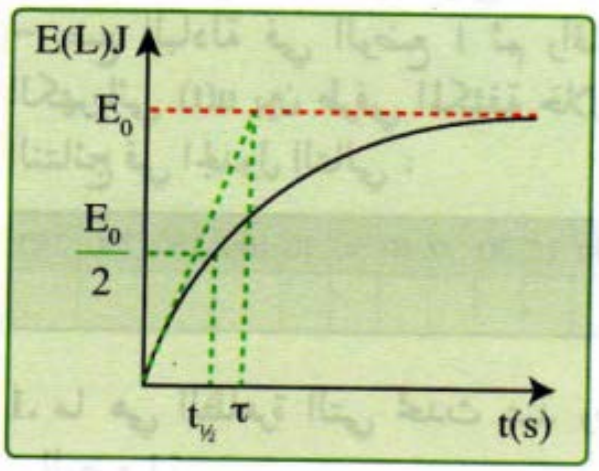
4- الطاقة المخزنة في الوشيعة.

من أجل إظهار الطاقة المخزنة في وشيعة نحقق الدارة الكهربائية الموضحة بالمخطط التالي:



نغلق القاطعة فيشير مقياس الأمبير إلى مرور تيار كهربائي شدته $2A$.
ويشير مقياس الفولط إلى القيمة $0\,V$.

تعطى عبارة الطاقة المخزنة في الوشيعة كما يلي: $E(L)=\frac{1}{2}L.i^2$



ت ع: $E(L)=\frac{1}{2}0,02\times 2^2=0,04\,J$.

نفتح القاطعة فيشير مقياس الفولط إلى القيمة 59V- . وهي قيمة التوتر الذي تشحن تحته المكثفة.

فتخزن طاقة : $E(C)=\frac{1}{2}C.u^2=\frac{1}{2}15,5\times 10^{-6}\times 59^2=0,027\,J$.

أي أن المردود في تحويل الطاقة هو: $\eta=\frac{0,027}{0,04}=0,675=67,5\,\%$.

تطبيق: التمرين المحلول 2 ص158-159 من الكتاب المدرسي.