ثنائي القطب RL

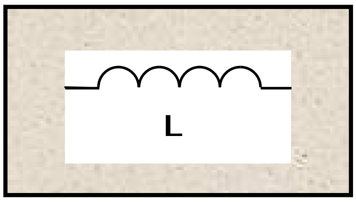
1) الوشيعة .

1 ـ 1) الوصف و التمثيل الرمزي .

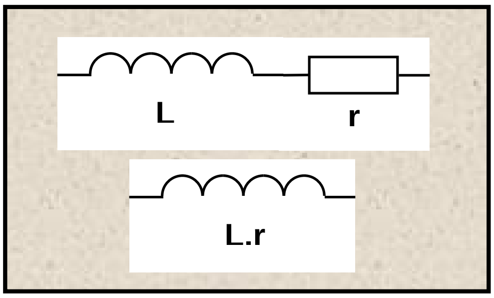
الوشيعة ثنائي قطب يتكون من سلك موصل تم تغليفه بعازل و ملفوف على شكل أسطوانة . نميز الوشيعة بمقدارين هما :

- ❖ مقاومتها **r** وحدتها الأوم (t)
- ❖ معامل تحريضها الذاتي **L** وحدته الهنري **(H)**

في الاصطلاح مستقبل يرمز للوشيعة بأحد الرمزين التاليين :



وشيعة مثالية مقاومتها منعدمة



وشيعة حقيقية ، مقاومتها الداخلية غير مهملة .

1 ـ 2) التوتر بين مربطي الوشيعة .

بالنسبة لوشيعة بدون نواة من الحديد ، في الاصطلاح مستقبل ، نتبث أن التوتر بين مربطيها يحقق العلاقة :

$$u_b(t) = r\,i(t) + L\frac{di}{dt}$$

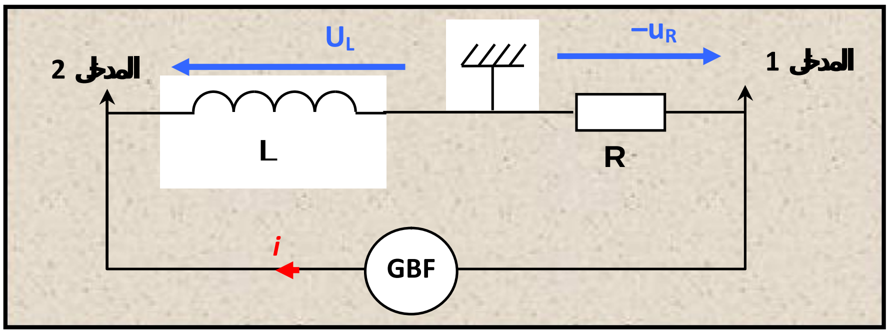
لذلك نسوق دراسة متنوعة :

* باستعمال تيار مستمر بربط الوشيعة بين قطبي تغذية مستمرة تمنح التوتر الثابت **U** و بقياس **I** شدة التيار الموافقة . نبين أن

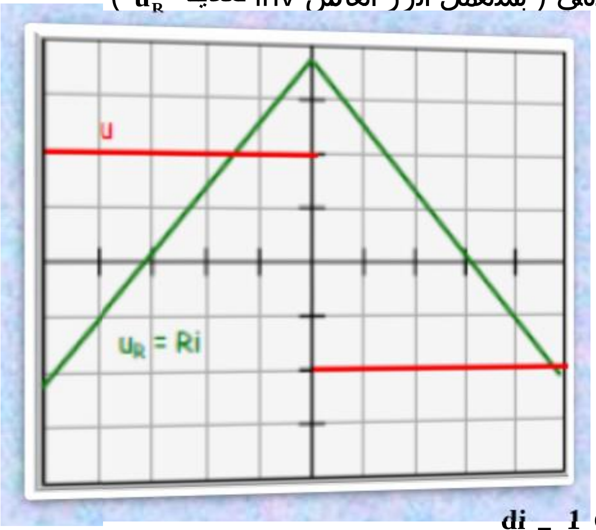
$$u_b = U = rI$$

حيث **أن الوشيعة تتصرف كموصل أومي في النظام الدائم .**

* باستعمال تيار متغير حيث نحقق التركيب التجريبي التالي (الوشيعة المدروسة مثالية) :



نطبق بواسطة GBF توترا مثلثيا (أسنان المنشار) ، في المدخل 1 نعاين مقابل تغيرات التوتر بين مربطي الموصل الأومي و بالتالي مقابل تغيرات شدة التيار . وفي المدخل 2 نعاين تغيرات التوتر بين مربطي الوشيعة . $(u_R = Ri)$.
نلاحظ على شاشة راسم التذبذب الشكل التالي (باستعمال الزر العاكس inv لمعاينة u_R)

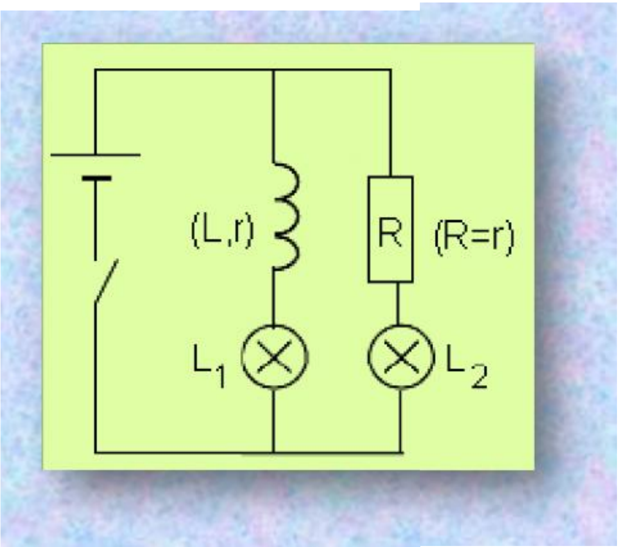


خلال نصف دور $\frac{di}{dt} = \frac{1}{R}\frac{du_R}{dt} = Cte = \alpha$

بقياس قيمة $u_L = u$ ، نبين أن النسبة $\frac{u_L(t)}{\left(\frac{di}{dt}\right)} = \frac{u_L(t)}{\alpha}$ تبقى ثابتة و تساوي تقريبا قيمة معامل التحريض المسجل على الوشيعة .

نستنتج أن التوتر بين مربطي وشيعة مثالية يتناسب مع المشتقة $\frac{di}{dt}$
معامل التناسب L مقدار موجب يسمى معامل التحريض الذاتي للوشيعة
و هو يتعلق بالمميزات الهندسية للوشيعة .

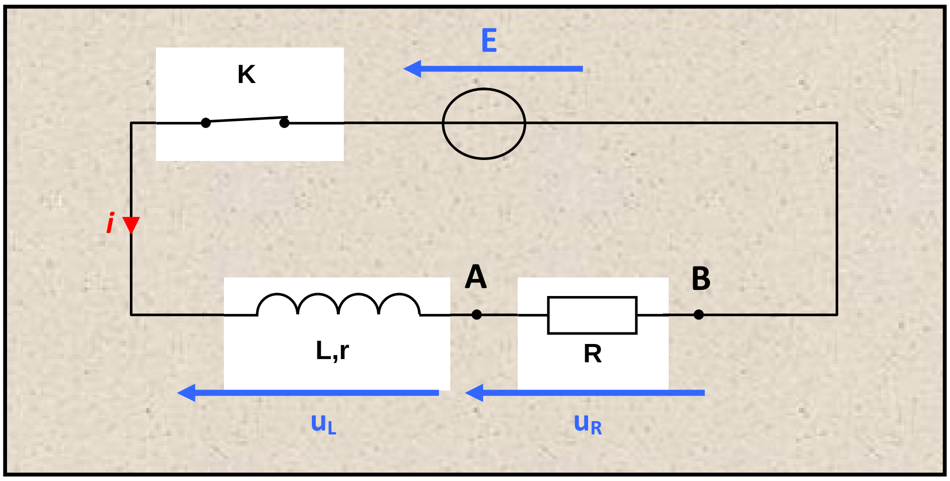
* نحقق التركيب التجريبي التالي :
عند غلق قاطع التيار نلاحظ أن المصباح L_1 يتأخر في الإضاءة
مقارنة مع المصباح L_2 .
و عند فتح قاطع التيار نلاحظ تأخر انطفاء المصباح L_1 .



تؤخر الوشيعة إقامة أو انقطاع التيار ،
و بصفة عامة تقاوم الوشيعة
كل تغير في شدة التيار المار بها

2) **ثنائي القطب** RL .
يتكون ثنائي القطب RL من وشيعة مقاومتها r و معامل تحريضها L مركبة على التوالي مع موصل أومي R .
المقاومة الكلية لثنائي القطب RL هي : $R_t = R + r$.

2ـ 1) **الاستجابة لرتبة توتر صاعدة .**
نهتم في هذه الدراسة بتتبع تغيرات شدة التيار المار بالوشيعة . الدارة الكهربائية المنجزة ممثلة في الشكل التالي :



باعتماد قانون إضافية التوترات :

$$E = u_R(t) + u_b(t)$$

و منه نجد :

$$E = L\frac{di}{dt} + (r + R)\,i(t)$$

و بوضع $R_t = R + r$. شدة التيار تحقق المعادلة التفاضلية من الدرجة الأولى :

$$\frac{di}{dt} + \frac{R_t}{L}\,i(t) = \frac{E}{L}$$

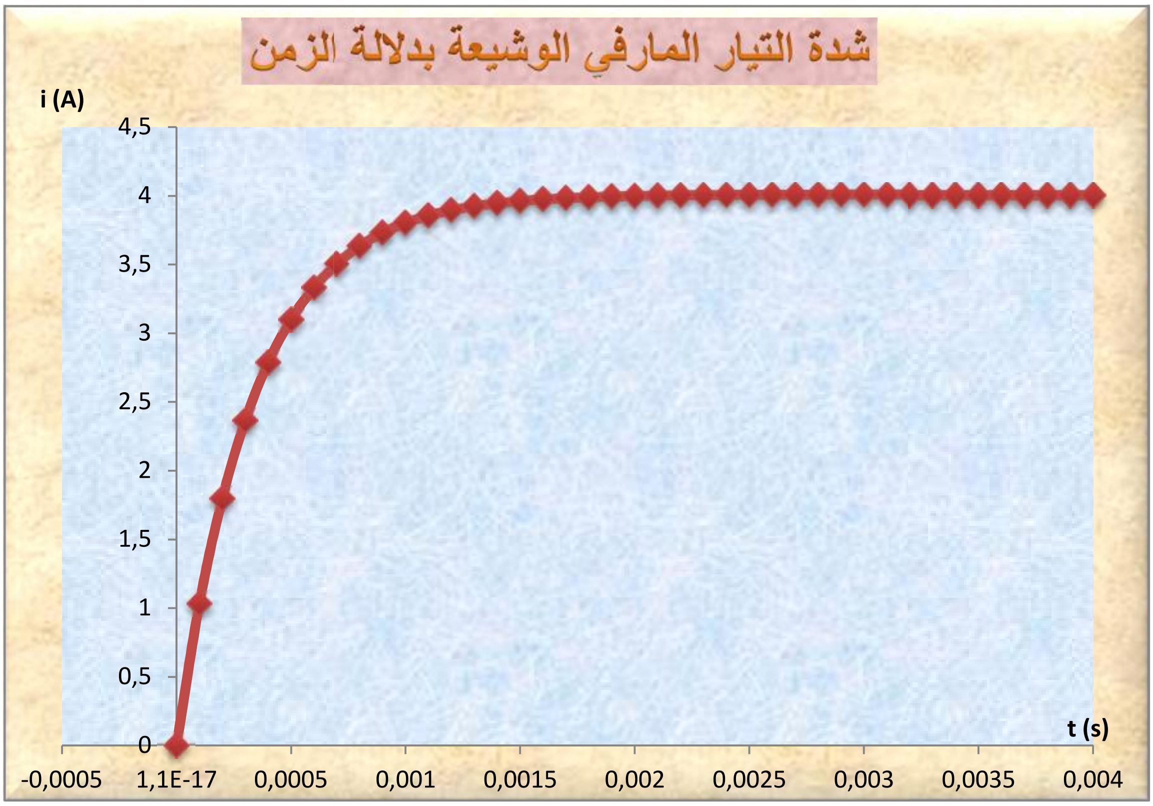
حل هذه المعادلة التفاضلية يكتب على الشكل :

$$i(t) = K\,e^{-\frac{R_t}{L}t} + \frac{E}{R_t}$$

تحدد الثابتة K باستثمار الشروط البدئية : عند $t = 0$ لدينا $i(t = 0) = K + \frac{E}{R_t} = 0$ اذن $K = -\frac{E}{R_t}$

الحل يأخذ الشكل النهائي :

$$\boxed{i(t) = \frac{E}{R_t}\left(1 - e^{-\frac{R_t}{L}t}\right)}$$



المرحلة التي خلالها تتغير شدة التيار $i(t)$ تسمى النظام الانتقالي . و المرحلة التي تكون $i(t)$ ثابتة تسمى النظام الدائم .

خلال النظام الدائم ، $\frac{di}{dt} = 0$ و $i(t) = I_p = Cte = \frac{E}{R_t}$

2 ـ 2) التوتر بين مربطي الوشيعة .

يعطي قانون إضافية التوترات :

$$U_b(t) = E - u_R(t) = E - R\,i(t)$$

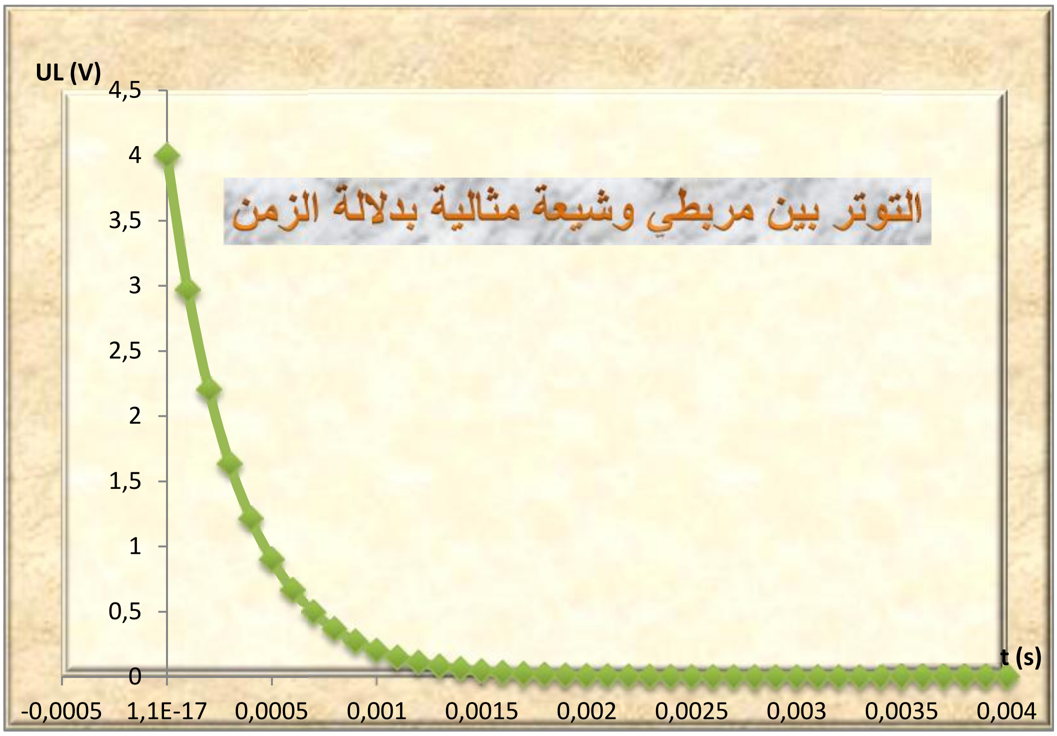
و هذا يمكن من كتابة :

$$u_b(t) = E - R\frac{E}{R_t}\left(1 - e^{-\frac{R_t}{L}t}\right)$$

عندما يمكن أن نهمل r أمام R حيث $R_t = R + r \approx R$ نحصل على :

$$u_b(t) = E\left(1 - \left(1 - e^{-\frac{R_t}{L}t}\right)\right) = E\,e^{-\frac{R_t}{L}t}$$

$$\boxed{u_L(t) = E\,e^{-\frac{R_t}{L}t}}$$



التوتر بين مربطي الوشيعة بدئيا يكون قصويا (يساوي القوة الكهرمحركة E للمولد)، ثم ينقص تدريجيا إلى أن ينعدم (في حالة $r = 0$)

أما إذا كانت المقاومة الداخلية غير منعدمة $r \neq 0$ فإن التوتر بين مربطي الوشيعة يؤول إلى rI_p ، حيث I_p شدة التيار في النظام الدائم.

2 ـ 3) ثابتة الزمن لثنائي القطب RL .

بنفس الطريقة المتبعة بالنسبة لثنائي القطب RC . **نلاحظ أن المقدار** $\frac{L}{R_t}$ يجب أن تكون له وحدة الزمن ، نرمز لهذه الثابتة كذلك ب τ :

$$\boxed{\tau = \frac{L}{R_t}}$$

نعتبر أن خلال المدة الزمنية 5τ يصل ثنائي القطب إلى النظام الدائم .

* التحليل البعدي .

تحليل العلاقة $u_L(t) = r\,i(t) + L\dfrac{di}{dt}$ تشير إلى أن $[L] = \dfrac{[u]\cdot[T]}{[I]}$

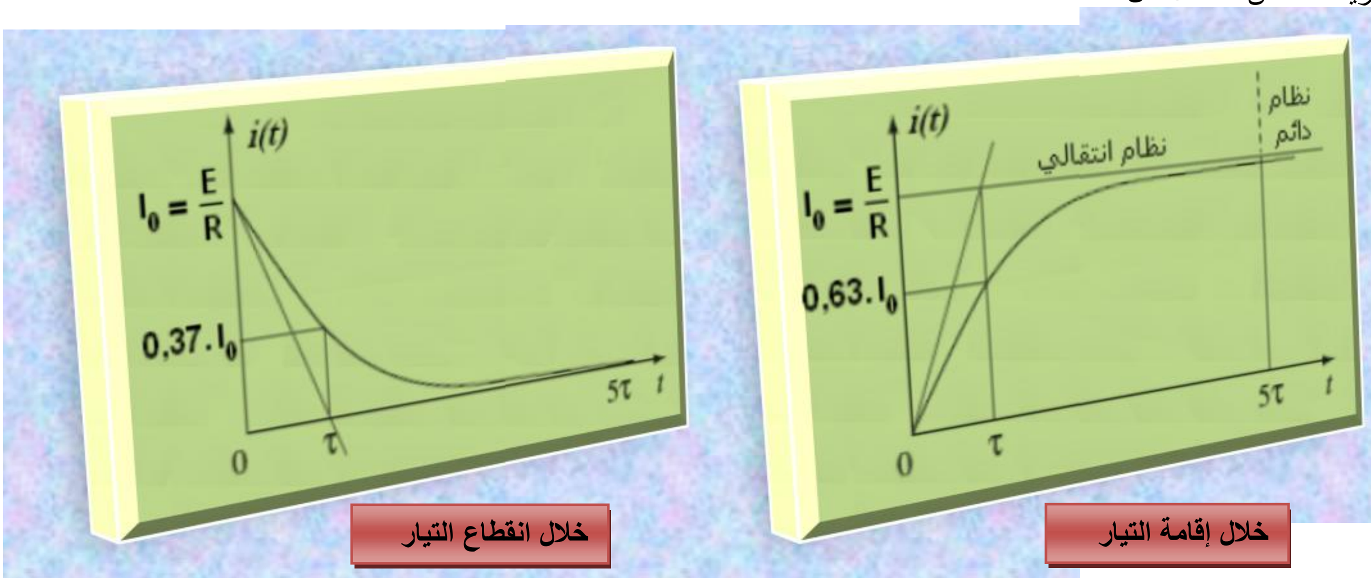
تحليل علاقة أوم تبين أن $[R] = \dfrac{[u]}{[I]}$

نلاحظ أن : $\left[\dfrac{L}{R}\right] = \dfrac{[u]\cdot[T]}{[I]}\cdot\dfrac{[I]}{[u]} = [T]$

* كيف نحدد مبيانيا ثابتة الزمن ؟

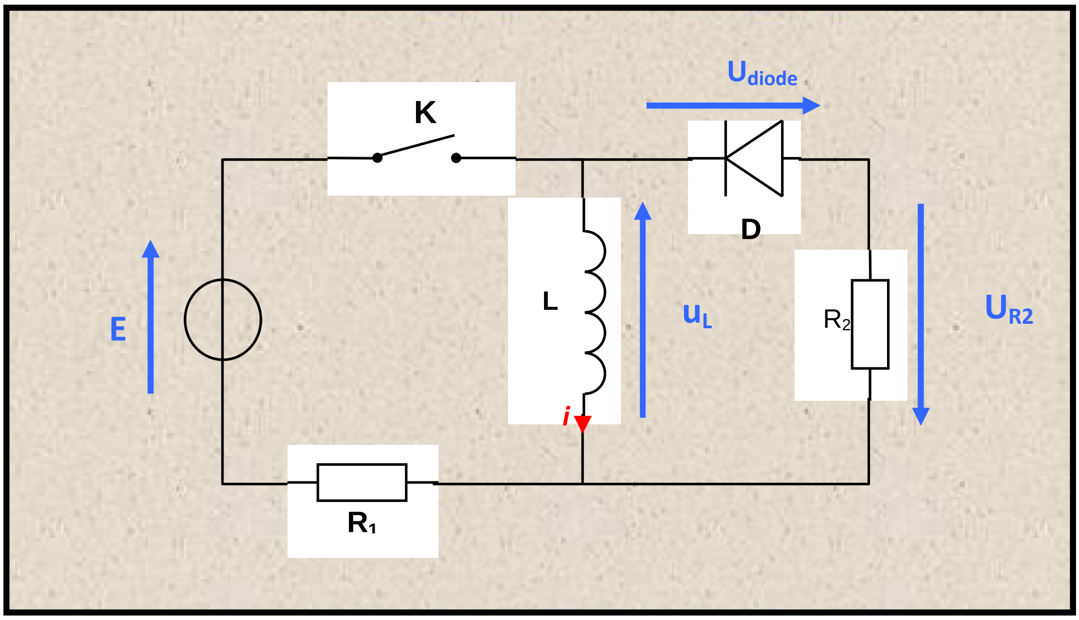
الطريقة المتبعة هي نفس الطريقة المتبعة بالنسبة لثنائي القطب RC :

- طريقة النسبة 63% (أو 37%)
- طريقة المماس عند الأصل



2 ـ 4) **انقطاع التيار في دارة تضم ثنائي قطب RL .**

نضيف فرع يحتوي على صمام ثنائي (diode) لتفادي حدوث شرارات خلال الانقطاع المفاجئ للتيار المار في وشيعة .



لا يمر أي تيار كهربائي (المنحى الحاجز) عند غلق قاطع التيار. عند فتحه قاطع التيار، الدارة المغلقة المكونة من الوشيعة ، الصمام و الموصل الأومي R_2 تسمح بمرور التيار .

في حالة اعتبار الصمام و الوشيعة مثاليين فإن $u_{diode} = 0$ و $r = 0$ و بذلك بتطبيق قانون إضافية التوترات نكتب :

$$L\frac{di}{dt} + R_2\, i(t) = 0$$

$$\frac{di}{dt} = -\frac{R_2}{L}\, i(t)$$

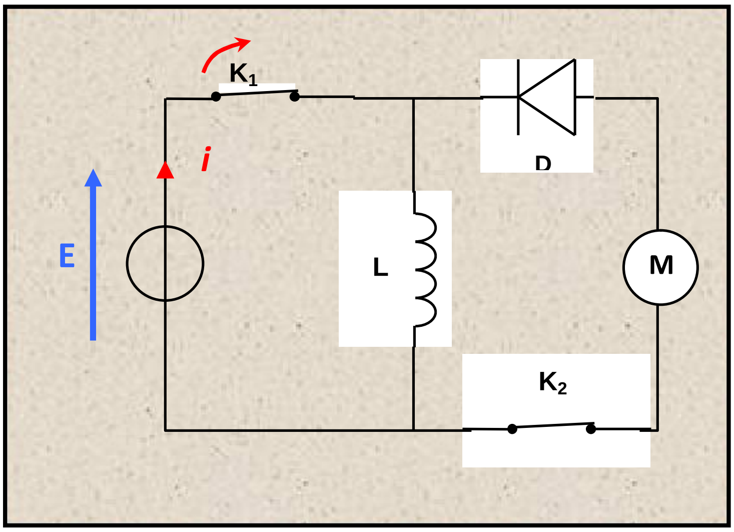
حل هذه المعادلة التفاضلية ، بِاستغلال الشرط البدئي $i(0) = \frac{E}{R_1}$ هو :

$$i(t) = \frac{E}{R_1}\, e^{-\frac{t}{\tau_2}} \qquad \left(\tau_2 = \frac{L}{R_2}\right)$$

في دارة كهربائية حيث R_2 كبيرة ، نحصل على ثابتة زمن τ_2 صغيرة ويمكن أن يكون تناقص شدة التيار مفاجئا :

من العلاقة $u_L(t) = r\, i(t) + L\frac{di}{dt}$ **نلاحظ أن التوتر بين مربطي الوشيعة يمكن أن يصبح مهما لأن** $\frac{di}{dt}$ **يمكن أن تكون كبيرة .**

هذه النتيجة مرغوب فيها عندما نريد إحداث فوق توتر (إضاءة مصابيح النيون) لكن هناك سلبيات تتمحور في كون هذا يؤدي إلى وقوع شرارات عند فتح بعض الدارات التي تضم وشيعة .



3) الطاقة المختزنة في الوشيعة .

3ـ 1) الإبراز التجريبي .

ننجز التركيب التجريبي التالي :

في البداية ، K_1 مفتوح ، K_2 مغلق ، المحرك لا يشتغل .

عندما نغلق K_1 ، الصمام مستقطب في المنحى الحاجز و المحرك لا يدور ، لأن شدة التيار المار في الصمام و المحرك منعدمة .

الطاقة الممنوحة من طرف المولد تنقل فقط إلى الوشيعة .

عندما نفتح K_1 بينما K_2 دائما مغلق ، المحرك يدور خلال مدة وجيزة : فقط الوشيعة هي التي يمكن أن تمنحه الطاقة لأن المولد خارج الدارة .

اذن الوشيعة قد اختزنت طاقة .

3ـ 2) تعبير الطاقة المخزونة .

القدرة المكتسبة من طرف الوشيعة تحقق العلاقة :

$$P(t) = u_L(t) \times i(t) = L\frac{di}{dt} \times i(t)$$

أي :

$$P(t)\,dt = L\, i(t)\, di$$

بإنجاز التكامل نجد :

$$E(t) = \int P(t)dt = \int L\, i\, di = \frac{1}{2} L\, i^2(t)$$

و بذلك فإن الطاقة ذات الأصل المغنطيسي المختزنة في الوشيعة عند لحظة t عندما يمر بها تيار كهربائي شدته $i(t)$ هي :

$$\boxed{E_{magn}(t) = \frac{1}{2} L\, i^2(t)}$$

3 ـ 3) استمرارية شدة التيار المار في وشيعة .

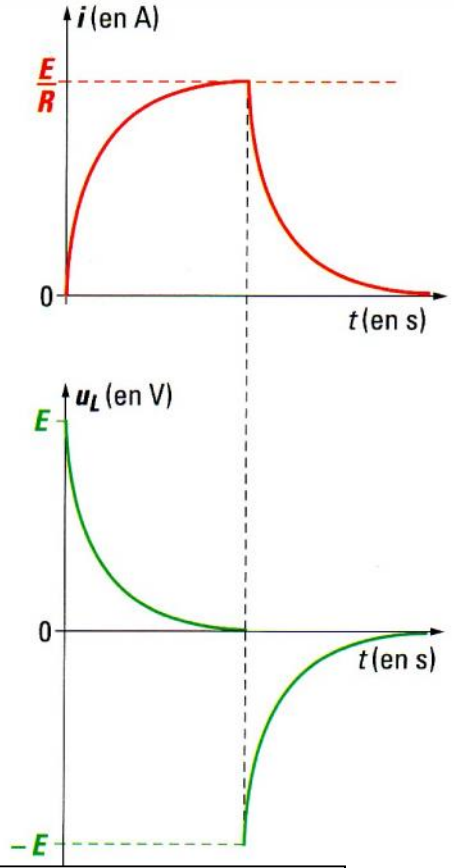
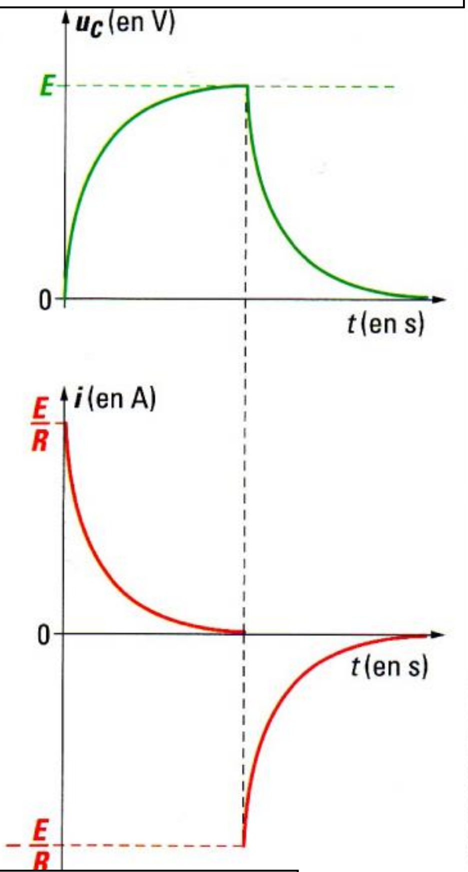
كالمكثف ، الطاقة تنتقل بسرعة محدودة ، حيث تتغير بشكل متصل بدلالة الزمن . تعريف الطاقة المخزونة في وشيعة بالعلاقة

$$i = \sqrt{\frac{2E_{magn}}{L}}$$

تؤكد أن تغيرات شدة التيار كذلك تغيرات متصلة .

3 ـ 4) مقارنة بين الوشيعة و المكثف .

نهتم باستجابة ثنائيي القطب بالنسبة لتوتر مربعي تناوبي (رتبة صاعدة + رتبة نازلة .....)

الوشيعة	المكثف
الوشيعة تضمن استمرارية شدة التيار المار بها	المكثف يضمن استمرارية التوتر بين مربطيه
	
تغيرات $i(t)$ و $u_L(t)$ **في ثنائي القطب RL**	تغيرات $u_C(t)$ و $i(t)$ **في ثنائي القطب RC**
في ثنائي القطب RL ، الاستجابة $u_L(t)$ بين مربطي الوشيعة لرتبة توتر ، دالة متقطعة بينما شدة التيار $i(t)$ **دالة متصلة**	**بالنسبة لثنائي القطب RC، الاستجابة** $i(t)$ **لرتبة توتر** دالة متقطعة بينما التوتر بين **مرطي المكثف** $u_C(t)$ **دالة متصلة**
الطاقة المختزنة في وشيعة معامل تحريضها L :	الطاقة المختزنة في مكثف سعته C :
$\mathscr{E}_{mag}(t) = \frac{1}{2} L\, i^2(t)$	$\mathscr{E}_{élec}(t) = \frac{1}{2} C u_C^2(t)$