محتوى الوحدة

دراسة ظواهر كهربائية

I/ تطور التوتر الكهربائي بين طرفي مكثفة

1. تعريف المكثفة
2. سعة و شحنة مكثفة : العلاقة $q = C.u$
3. التفسير المجهري للشحن و التفريغ
4. المعادلة التفاضلية لتطور التوتر الكهربائي u_C :
   - خلال الشحن.
   - خلال التفريغ في ناقل أومي.
5. الحل التحليلي : ثابت الزمن τ .
6. تطبيق : قياس سعة مكثفة.
7. الطاقة المخزنة في مكثفة

II/ تطور شدة التيار الكهربائي المار في وشيعة تحريضية

1. تعريف ذاتية الوشيعة
2. التوتر : $u_b = ri + L\dfrac{di}{dt}$
3. المعادلة التفاضلية لتطور شدة التيار في ثنائي القطب :
   - خلال ظهور التيار ثم انقطاعه.
4. الحل التحليلي
5. تطبيق : قياس الذاتية L
6. الطاقة في الوشيعة

ملخص الوحدة

دراسة ظواهر كهربائية

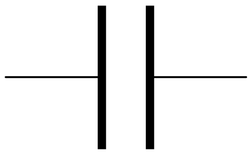
I/ تطور التوتر الكهربائي بين طرفي مكثفة

ثنائي القطب RC

1. تعريف المكثفة

المكثفة عنصر كهربائي قادر على تخزين شحنة كهربائية، تتكون من ناقلين كهربائيين، يدعى كل منهما لبوس المكثفة يفصل بينهما مادة عازلة للكهرباء (هواء ، شمع ، ميكا، ...).

الرمز الاصطلاحي للمكثفة



2. سعة و شحنة مكثفة : العلاقة $q = C.u$

سعة مكثفة : مقدار مميز للمكثفة، وهي النسبة بين شحنة المكثفة Q والتوتر U بين لبوسيها، رمزها C وتعطى بالعلاقة التالية :

$$\boxed{C = \frac{Q}{U}}$$

وحدة الشحنة Q هي الكولون (C)
وحدة التوتر U هي الفولط (V)
وحدة السعة C هي الفاراد (F).

ملاحظة : ـ السعة C مقدار مميز للمكثفة لا يتغير مهما كانت الدارة التي تربط فيها المكثفة.

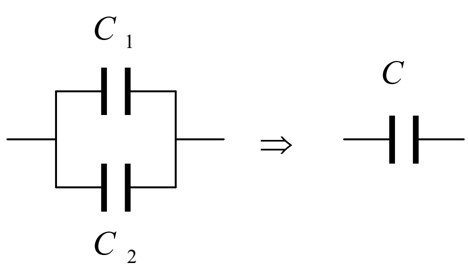
ـ للفاراد أجزاء هي : ـ ميكروفاراد (حيث : $1\mu F = 10^{-6} F$).

ـ نانوفاراد (حيث : $1nF = 10^{-9} F$).

ـ بيكوفاراد (حيث : $1pF = 10^{-9} F$).

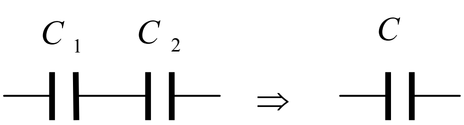
ـ السعة المكافئة C لمكثفتين موصولتين على التفرع سعتاهما C_1 و C_2، تعطى بالعلاقة التالية :

$$\boxed{C = C_1 + C_2}$$



ـ السعة المكافئة C لمكثفتين موصولتين على التسلسل سعتاهما C_1 و C_2، تعطى بالعلاقة التالية :

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

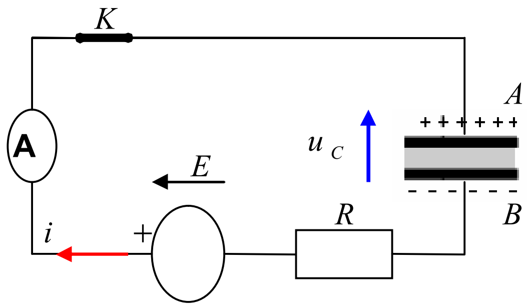


3. شحن و تفريغ مكثفة

شحن المكثفة : نحقق الدارة المبينة في الشكل المقابل (قبل غلق القاطعة K المكثفة غير مشحونة).

عندما نغلق القاطعة :

ـ نلاحظ انحراف إبرة الأمبير متر نحو قيمة عظمى ثم عودتها إلى الصفر (مرور تيار كهربائي لفترة قصيرة)، أي أن القطب الموجب للمولد قام بسحب الإلكترونات من اللبوس (A) ودفعها نحو اللبوس (B) دون عبورها للعازل.



ملاحظة 1:

ـ انعدام شدة التيار يعني أن عملية الشحن قد انتهت،

وعندها يكون : $u_C \approx E$

ـ إن اكتمال الشحن يعني : $q_A = -q_B$

أي : $q_A + q_B = 0$

ملاحظة 2 :

يمكن فصل المكثفة من الدارة وتبقى مشحونة.

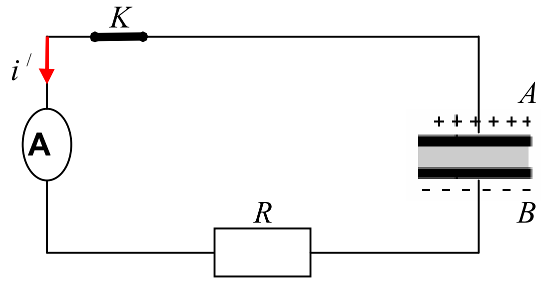
تفريغ المكثفة :

نفصل المكثفة (وهي مشحونة) عن المولد ونربطها مع ناقل أومي كما هو مبين في الشكل المقابل.

ـ نلاحظ مرور تيار كهربائي في الدارة عكس الجهة التي مر فيها أثناء شحن المكثفة.

في هذه الحالة تلعب المكثفة دور مولد مؤقت.

ـ لحظة إفراغ المكثفة ينعدم التيار، وعنها يكون التوتر بين طرفي المكثفة معدوم $u_C = 0$.



4. المعادلة التفاضلية لتطور التوتر الكهربائي u_C :

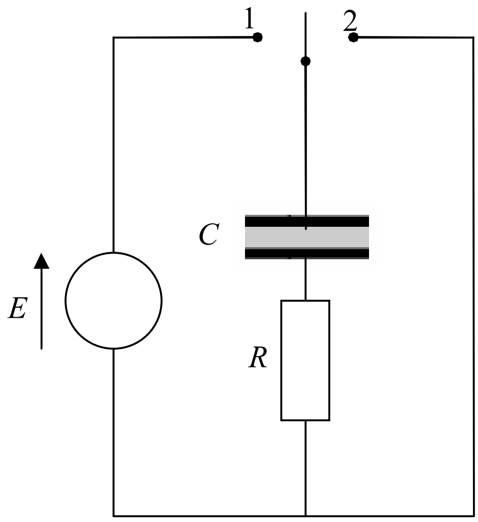
لدراسة تطور التوتر بين طرفي المكثفة u_C وشدة التيار في الدارة i ، في حالتي :

ـ شحن مكثفة.

ـ تفريغ مكثفة .

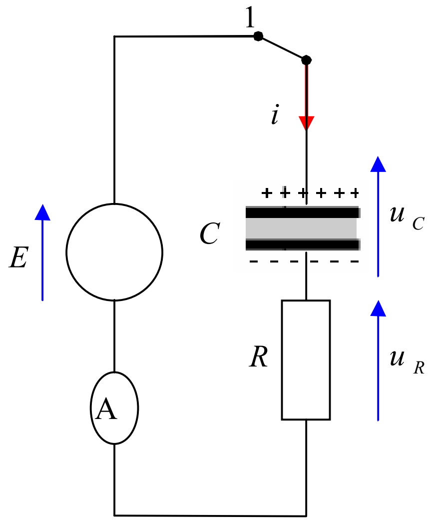
نقوم بما يلي :

1. تحقيق التركيب التجريبي المبين في الشكل المقابل.
2. تطبيق قانوني : ـ قانون جمع التوترات.
   ـ قانون أوم.
3. توظيف العلاقات التالية :



$$\left.\begin{array}{l} \boxed{q = C.u_C} \\ \\ \boxed{i = \dfrac{dq}{dt}} \end{array}\right\} \Rightarrow \boxed{i = C\dfrac{du_C}{dt}}$$

الشحن : (البادلة في الوضع 1)



ـ المعادلة التفاضلية لتطور التوتر الكهربائي u_C :

بتطبيق قانون جمع التوترات : $u_C + u_R = E$

أي : $u_C + Ri = E \;/\; i = C\dfrac{du_C}{dt}$

أي : $u_C + RC\dfrac{du_C}{dt} = E$

وبقسمة طرفي المعادلة على المقدار RC نحصل على المطلوب :

$$\boxed{\frac{du_C}{dt} + \frac{1}{RC}u_C = \frac{E}{RC}} \quad (1)$$

ملاحظة

يمكننا إتباع نفس الطريقة، لإيجاد :

ـ المعادلة التفاضلية لتطور الشحنة q :

بتطبيق قانون جمع التوترات : $u_C + u_R = E$

أي : $u_C + Ri = E \;/\; u_C = \dfrac{q}{C} \;,\; i = \dfrac{dq}{dt}$

أي : $\dfrac{q}{C} + R\dfrac{dq}{dt} = E$

وبقسمة طرفي المعادلة على المقدار R نحصل على المطلوب :

$$\boxed{\frac{dq}{dt} + \frac{1}{RC}q = \frac{E}{R}}$$

و ـ المعادلة التفاضلية لتطور التوتر الكهربائي u_R :

بتطبيق قانون جمع التوترات : $u_C + u_R = E$

باشتقاق طرفي المعادلة بالنسبة للزمن،نجد : $\dfrac{du_C}{dt} + \dfrac{du_R}{dt} = 0 \;/\; u_R = Ri = RC\dfrac{du_C}{dt}$

ومنه المطلوب :

$$\boxed{\frac{du_R}{dt} + \frac{1}{RC}u_R = 0}$$

ـ تطور التوتر u_C

نحصل عليه بحل المعادلة التفاضلية (1) :

$$\boxed{u_C = E\left(1 - e^{-\frac{1}{RC}t}\right)}$$

ـ تطور شدة التيار i المار في الدارة

نحصل عليه بتطبيق العلاقة :

$$\boxed{i = \frac{E}{R}e^{-\frac{1}{RC}t}}$$

$$i = \frac{dq}{dt} = C\frac{du_C}{dt} = C\frac{d}{dt}\left[E\left(1 - e^{-\frac{1}{RC}t}\right)\right] ,$$

ـ تطور التوتر الكهربائي u_R بين طرفي الناقل الأومي :

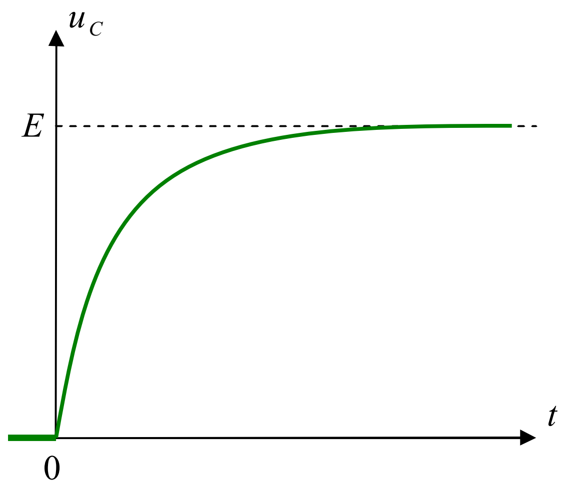
نحصل عليه بتطبيق قانون أوم :

$$\boxed{u_R = Ee^{-\frac{1}{RC}t}}$$

$$u_R = Ri = R\left(\frac{E}{R}e^{-\frac{1}{RC}t}\right) ,$$

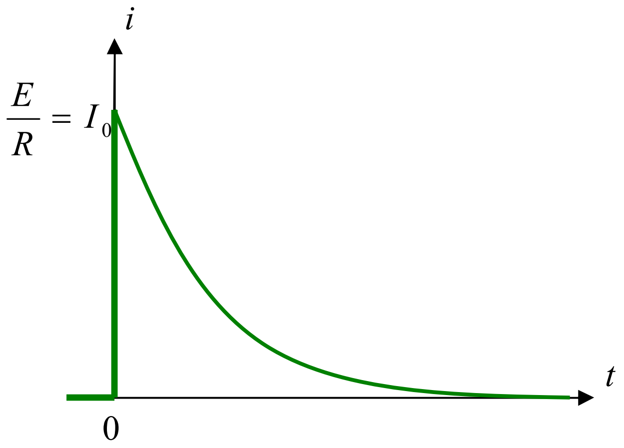
التمثيل البياني (حالة الشحن)

ـ التمثيل البياني : $u_C = f(t)$



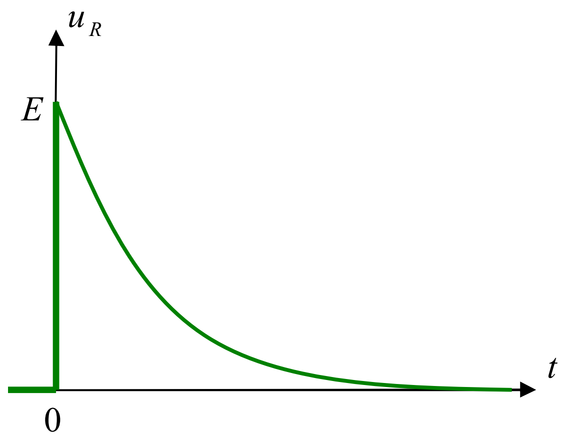
$$u_C = E\left(1 - e^{-\frac{1}{RC}t}\right)$$

ـ التمثيل البياني : $i = f(t)$



$$i = \frac{E}{R} e^{-\frac{1}{RC}t}$$

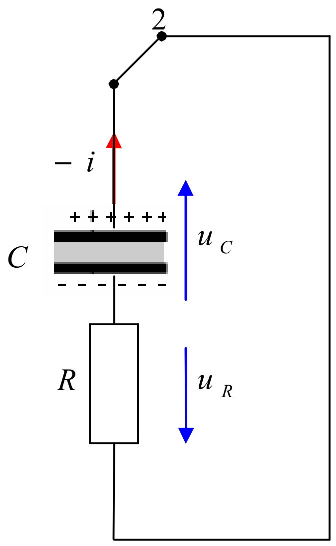
ـ التمثيل البياني : $u_R = f(t)$



$$u_R = E e^{-\frac{1}{RC}t}$$

التفريغ : (البادلة في الوضع 2)

ـ المعادلة التفاضلية لتطور التوتر الكهربائي u_C :



بتطبيق قانون جمع التوترات : $u_C + u_R = 0$

أي : $u_C + Ri = 0 \quad / \quad i = C\dfrac{du_C}{dt}$

أي : $u_C + RC\dfrac{du_C}{dt} = 0$

وبقسمة طرفي المعادلة على المقدار RC نحصل على المطلوب :

$$\boxed{\frac{du_C}{dt} + \frac{1}{RC}u_C = 0} \quad (2)$$

ملاحظة

يمكننا إتباع نفس الطريقة، لإيجاد :

ـ المعادلة التفاضلية لتطور الشحنة q :

بتطبيق قانون جمع التوترات : $u_C + u_R = 0$

أي : $u_C + Ri = 0 \quad / \quad u_C = \dfrac{q}{C} \;,\; i = \dfrac{dq}{dt}$

أي : $\dfrac{q}{C} + R\dfrac{dq}{dt} = 0$

وبقسمة طرفي المعادلة على المقدار R نحصل على المطلوب :

$$\boxed{\frac{dq}{dt} + \frac{1}{RC}q = 0}$$

وـ المعادلة التفاضلية لتطور التوتر الكهربائي u_R :

بتطبيق قانون جمع التوترات : $u_C + u_R = 0$

باشتقاق طرفي المعادلة بالنسبة للزمن،نجد : $\dfrac{du_C}{dt} + \dfrac{du_R}{dt} = 0 \quad / \quad u_R = Ri = RC\dfrac{du_C}{dt}$

ومنه المطلوب :

$$\boxed{\frac{du_R}{dt} + \frac{1}{RC}u_R = 0}$$

ـ تطور التوتر u_C

نحصل عليه بحل المعادلة التفاضلية (2) :

$$\boxed{u_C = Ee^{-\frac{1}{RC}t}}$$

ـ تطور شدة التيار i المار في الدارة

نحصل عليه بتطبيق العلاقة :

$$i = \frac{dq}{dt} = C\frac{du_C}{dt} = C\frac{d}{dt}\left[Ee^{-\frac{1}{RC}t}\right] \;,$$

$$\boxed{i = -\frac{E}{R}e^{-\frac{1}{RC}t}}$$

ـ تطور التوتر الكهربائي u_R بين طرفي الناقل الأومي :

نحصل عليه بتطبيق قانون أوم :

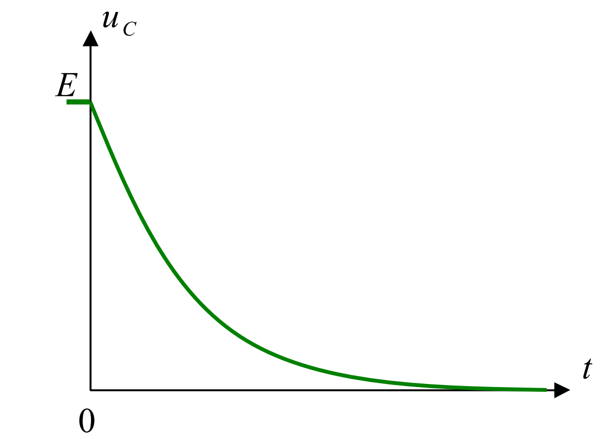
$$u_R = Ri = R\left(-\frac{E}{R}e^{-\frac{1}{RC}t}\right) \;,$$

$$\boxed{u_R = -Ee^{-\frac{1}{RC}t}}$$

التمثيل البياني (حالة التفريغ)

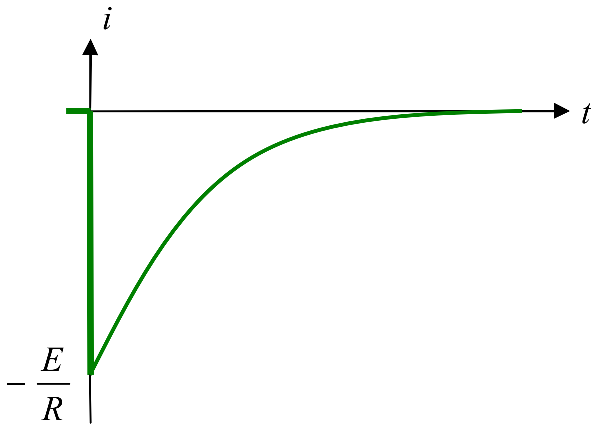
- التمثيل البياني : $u_C = f(t)$

$$\boxed{u_C = Ee^{-\frac{1}{RC}t}}$$



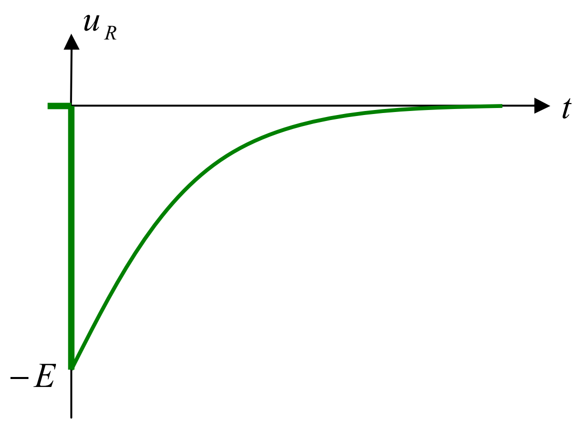
- التمثيل البياني : $i = f(t)$

$$\boxed{i = -\frac{E}{R}e^{-\frac{1}{RC}t}}$$



- التمثيل البياني : $u_R = f(t)$

$$\boxed{u_R = -Ee^{-\frac{1}{RC}t}}$$



5. ثابت الزمن τ :

إن الجداء $R.C$ متجانس مع الزمن حيث : $[R.C]=\frac{[u]}{[I]}\times\frac{[I][T]}{[u]}=[T]$

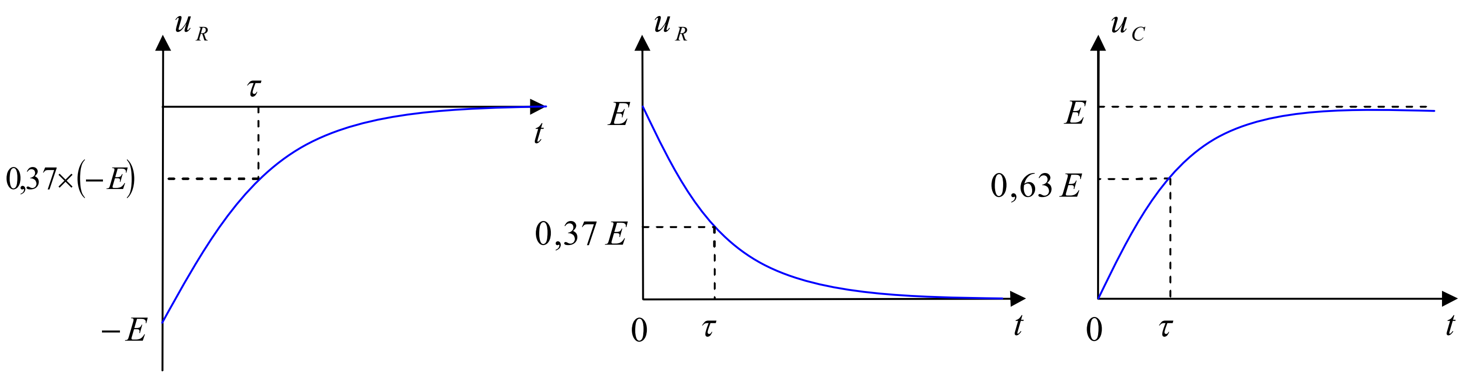
يسمى الجداء $R.C$ ثابت الزمن لثنائي القطب (R,C)، يرمز له بـ τ ووحدته الثانية.

$$\boxed{\tau = RC}$$

تحديد ثابت الزمن τ بيانيا

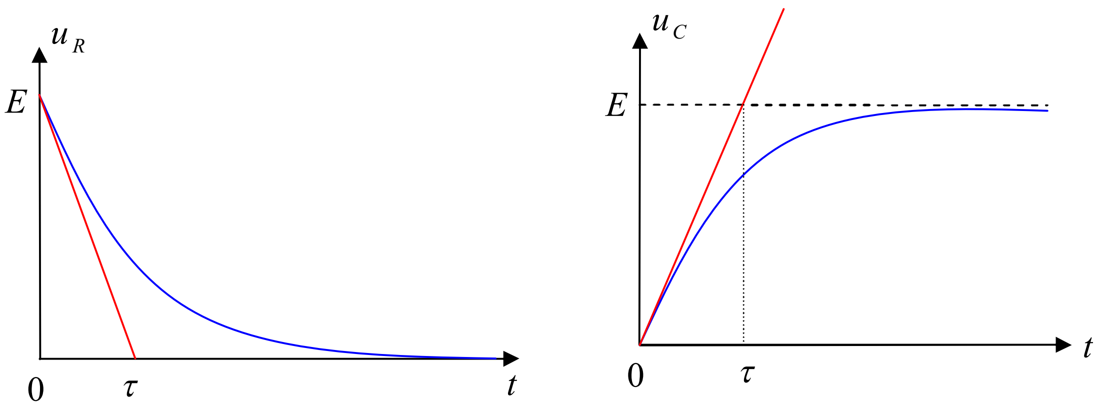
ـ الطريقة الأولى : هي طريقة 63% (أو 37%).

أمثلة :



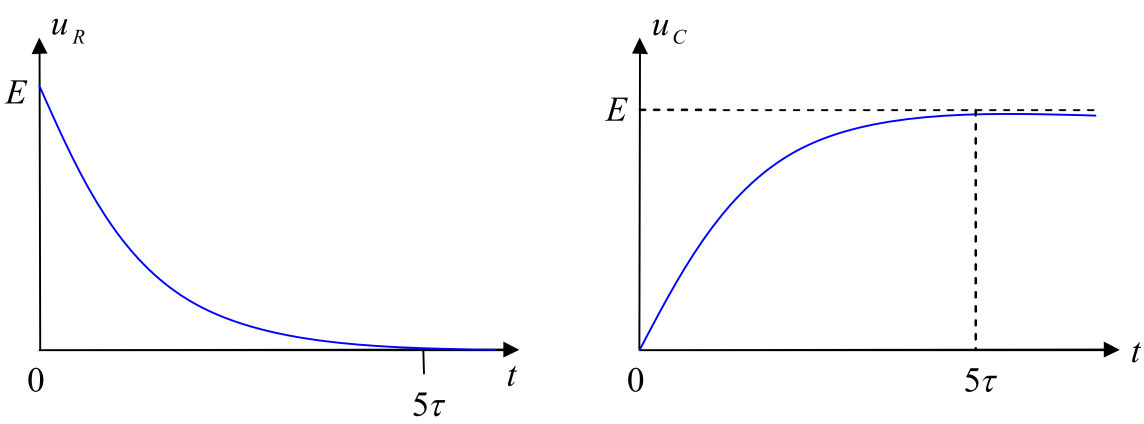
ـ الطريقة الثانية : هي طريقة رسم المماس للبيان عند $(t=0)$.

أمثلة :

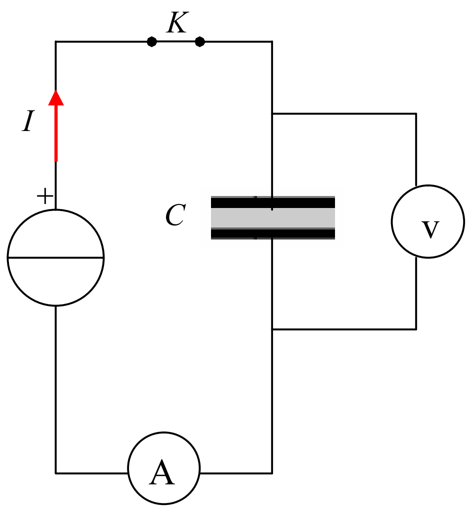


ـ الطريقة الثالثة : نهاية النظام الانتقالي ،حيث $t\approx 5\tau$

أمثلة :



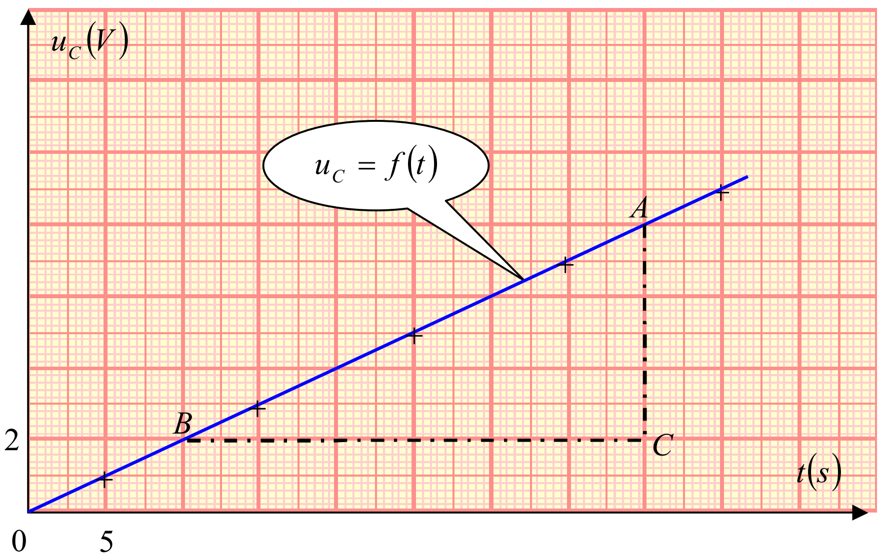
6. تطبيق : قياس سعة مكثفة.



نحقق التركيب التجريبي المبين في الشكل المقابل، بهدف قياس سعة مكثفة.
نستعمل مولدا يغذي الدارة بتيار ثابت الشدة $I = 20\mu A$ يسمح بشحن المكثفة ببطء، نغلق القاطعة عند اللحظة $t = 0$ ونسجل قيم التوتر بين طرفي المكثفة في أزمنة مختلفة، فنحصل على النتائج المدونة في الجدول التالي :

$t(s)$	0	5	15	25	35	45
$u_C(V)$	0	0,98	2,95	4,97	6,95	9

أولا : نمثل البيان $u_C = f(t)$



ثانيا : نستنتج سعة المكثفة من البيان

- التمثيل البياني :

يبين أن العلاقة بين u_C والزمن t هي من الشكل : $u_C = a.t.......(1)$ / a (ميل البيان)

- العلاقة النظرية :

في اللحظة t تكتسب المكثفة شحنة كهربائية q : $q = I.t$ / $q = C.u_C$

أي : $u_C = \dfrac{I}{C}.t........(2)$

من العلاقتين (1) و (2) نجد : $\boxed{\dfrac{I}{C} = a}$

حساب الميل :

$$a = \frac{AC}{CB} = \frac{(8-2)}{(40-10)} = 0{,}2V.s^{-1}$$

ومنه سعة المكثفة :

$$\frac{I}{C} = a = 0{,}2$$

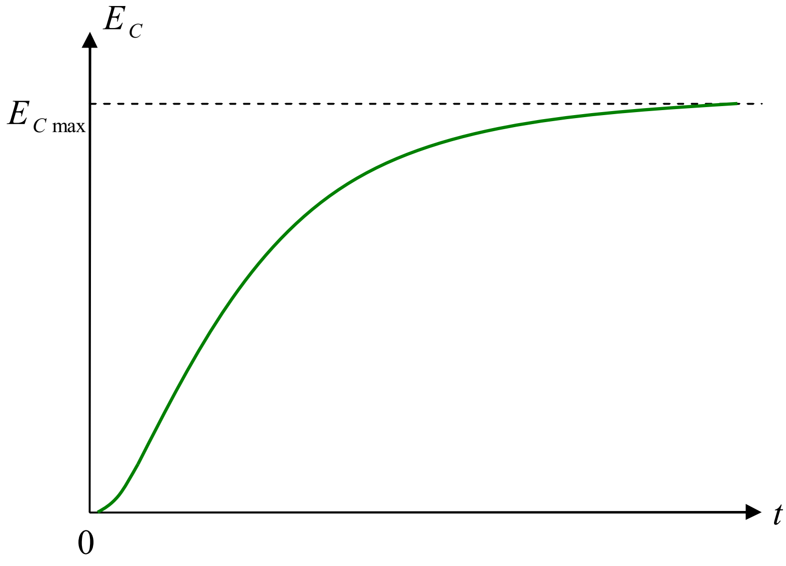
$$C = \frac{I}{0{,}2} = \frac{20\times10^{-6}}{0{,}2} \quad , \quad \boxed{C = 10^{-4}F}$$

7. الطاقة المخزنة في مكثفة

عبارة الطاقة المخزنة في المكثفة E_C ، في كل لحظة t :

$$\boxed{E_C = \frac{1}{2}Cu_C^2 = \frac{1}{2}qu_C}$$

خلال الشحن



ـ عبارة الطاقة المخزنة في المكثفة هي :

$$\boxed{E_C = \frac{1}{2}Cu_C^2}$$

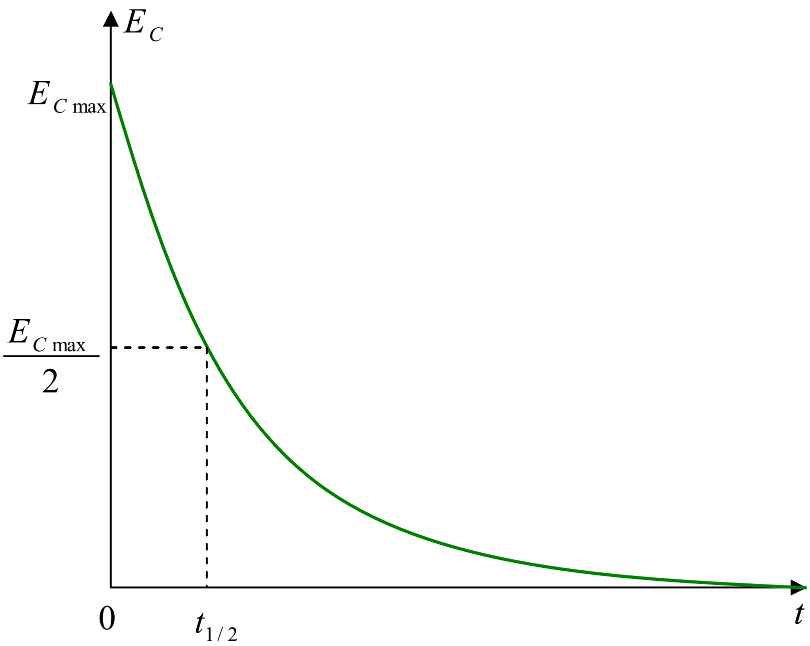
ـ بما أن $u_C = E\left(1-e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ أثناء الشحن، تؤول العبارة السابقة إلى الشكل التالي :

$$\boxed{E_C = \frac{1}{2}CE^2\left(1-e^{-\frac{t}{\tau}}\right)^2}$$

ـ الطاقة الأعظمية :

$$\boxed{E_{C\max} = \frac{1}{2}CE^2}$$

خلال التفريغ



ـ عبارة الطاقة المخزنة في المكثفة هي :

$$\boxed{E_C = \frac{1}{2}Cu_C^2}$$

ـ بما أن $u_C = Ee^{-\frac{t}{\tau}}$ أثناء التفريغ، تؤول العبارة السابقة إلى الشكل التالي :

$$\boxed{E_C = \frac{1}{2}CE^2e^{-\frac{2t}{\tau}}}$$

ـ زمن تناقص طاقة المكثفة إلى النصف $(t_{1/2})$ هو :

$$\boxed{t_{1/2} = \frac{\tau}{2}\ln 2}$$

دراسة ظواهر كهربائية

II/ تطور شدة التيار الكهربائي المار في وشيعة تحريضية

ثنائي القطب RL

1. تعريف ذاتية الوشيعة

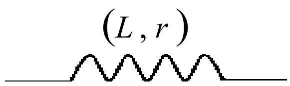
الوشيعة: عنصر كهربائي يتألف من سلك (عادة من النحاس)، ملفوف على شكل حلقات، معزول بطبقة عازلة.

الذاتية L : مقدار مميز للوشيعة تتعلق قيمته بالشكل الهندسي للوشيعة (طولها l ، نصف قطرها R، عدد لفاتها N).

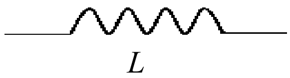
ملاحظة : تتميز الوشيعة بمقدارين ثابتين : ـ ذاتيتها L (تقاس بـ : هنري H).
ـ مقاومتها r (تقاس بـ : الأوم Ω).

الرمز الاصطلاحي للوشيعة :

أو :



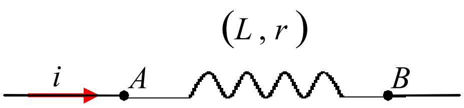
ـ إذا كانت الوشيعة صافية (مقاومتها الداخلية مهملة $r = 0$)، فيرمز لها بالشكل التالي :



2. التوتر : $u_b = ri + L\dfrac{di}{dt}$

تعطى عبارة التوتر الكهربائي بين طرفي الوشيعة بالشكل التالي :

$$\boxed{u_{AB} = ri + L\frac{di}{dt}}$$



$u_{AB} = u_b$

ـ إذا كانت شدة التيار i المار في الوشيعة ثابتة : $\dfrac{di}{dt} = 0$

في هذه الحالة تتصرف الوشيعة كناقل أومي، ويكون التوتر بين طرفيها :

$$\boxed{u_{AB} = ri}$$

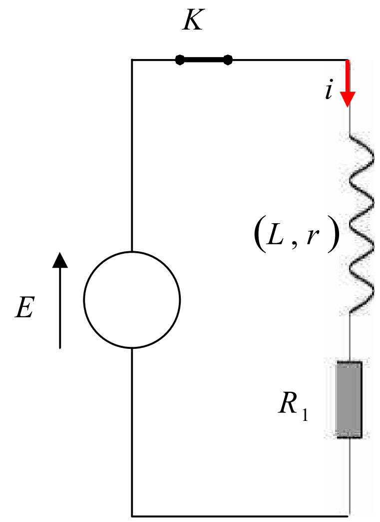
ـ إذا كانت شدة التيار i متغيرة والوشيعة صافية : $r = 0$
يكون التوتر بين طرفيها :

$$\boxed{u_{AB} = L\frac{di}{dt}}$$

ملاحظة : يمكن أن نرمز للتوتر بين طرفي الوشيعة بـ (u_L).

3. المعادلة التفاضلية لتطور شدة التيار في ثنائي القطب RL :

I / خلال ظهور التيار (تطبيق التيار)



لدراسة تطور شدة التيار في ثنائي القطب RL
في حالة **تطبيق التيار** نقوم بما يلي :
1. تحقيق التركيب المبين في الشكل المقابل.
2. تطبيق قانوني : ـ قانون جمع التوترات.
ـ قانون أوم.
3. توظيف العلاقة :

$$\boxed{u_L = ri + L\frac{di}{dt}}$$

1/ المعادلة التفاضلية لتطور شدة التيار i :

بتطبيق قانون جمع التوترات :
$$u_{R'} + u_L = E$$
أي :
$$R_1 i + ri + L\frac{di}{dt} = E$$
أي :
$$(R_1 + r)i + L\frac{di}{dt} = E$$
نرمز للمجموع $(R_1 + r)$ بـ R ، حيث R_1 هي مقاومة الناقل الأومي.

ومنه :
$$Ri + L\frac{di}{dt} = E$$
وبقسمة طرفي المعادلة على L ، نجد :
$$\boxed{\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = \frac{E}{L}} \quad (1)$$
و هي المعادلة التفاضلية لتطور شدة التيار في ثنائي القطب RL.

ملاحظة :

يمكننا أيضا، استنتاج المعادلة التفاضلية لتطور التوتر u_R بين طرفي الناقل الأومي :

بتطبيق قانون جمع التوترات :
$$u_{R'} + u_L = E$$
أي :
$$u_R + ri + L\frac{di}{dt} = E \qquad \left\{ \begin{array}{l} u_R = R_1 i \Rightarrow i = \dfrac{u_R}{R_1} \\ \dfrac{di}{dt} = \dfrac{1}{R_1}\dfrac{du_R}{dt} \end{array} \right.$$
أي :
$$u_R + r\frac{u_R}{R_1} + L.\frac{1}{R_1}\frac{du_R}{dt} = E$$
أي :
$$\left(1 + \frac{r}{R_1}\right)u_R + \frac{L}{R_1}\frac{du_R}{dt} = E$$
ومنه :
$$\boxed{\frac{du_R}{dt} + \left[\left(1 + \frac{r}{R_1}\right)\frac{R_1}{L}\right]u_R = \frac{R_1 E}{L}}$$

2/ تطور شدة التيار i :

نحصل على عبارة تطور شدة التيار المار في الدارة بحل المعادلة التفاضلية (1):

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

3/ تطور التوتر u_L بين طرفي الوشيعة :

نستنتج عبارة تطور التوتر u_L من العلاقة :

$$u_L=ri+L\frac{di}{dt}$$

أي :

$$u_L=r\frac{E}{R}\left(1-e^{-\frac{R}{L}t}\right)+L\frac{E}{R}\frac{R}{L}e^{-\frac{R}{L}t}=r\frac{E}{R}+Ee^{-\frac{R}{L}t}\left(1-\frac{r}{R}\right)$$

ومنه :

$$\boxed{u_L=r\frac{E}{R}+Ee^{-\frac{R}{L}t}\left(1-\frac{r}{R}\right)}$$

4/ تطور التوتر u_R بين طرفي الناقل الأومي :

نستنتج عبارة تطور التوتر u_R من العلاقة :

$$u_R=R_1 i$$

أي :

$$u_R=R_1 i=R_1\frac{E}{R}\left(1-e^{-\frac{R}{L}t}\right)$$

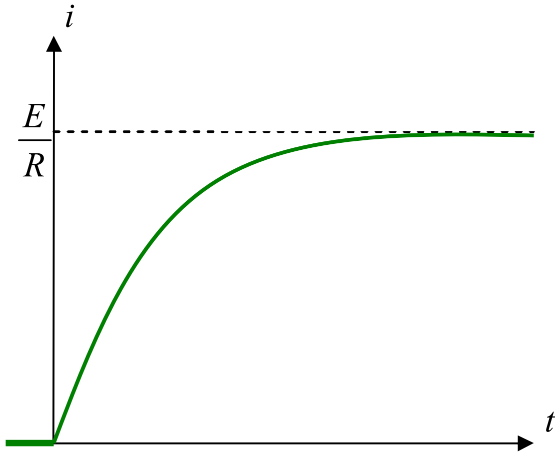
ومنه :

$$\boxed{u_R=R_1\frac{E}{R}\left(1-e^{-\frac{R}{L}t}\right)}$$

التمثيل البياني (حالة تطبيق التيار)

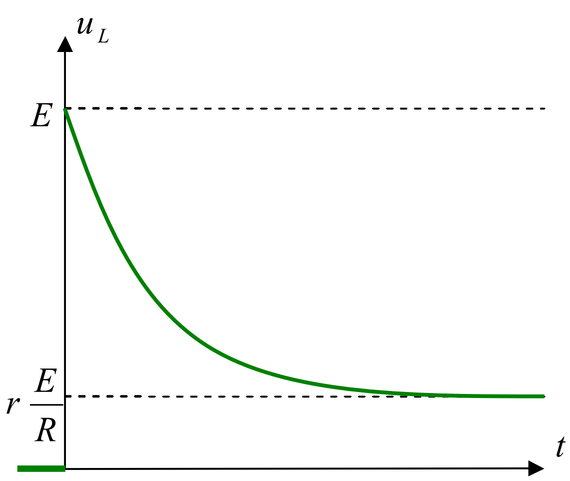
- التمثيل البياني : $i=f(t)$

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



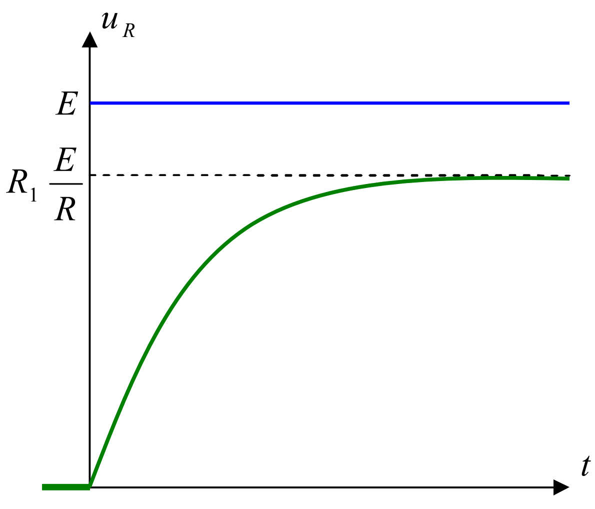
- التمثيل البياني : $u_L=f(t)$

$$\boxed{u_L=r\frac{E}{R}+Ee^{-\frac{R}{L}t}\left(1-\frac{r}{R}\right)}$$



- التمثيل البياني : $u_R = f(t)$

$$\boxed{u_R = R_1 \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)}$$

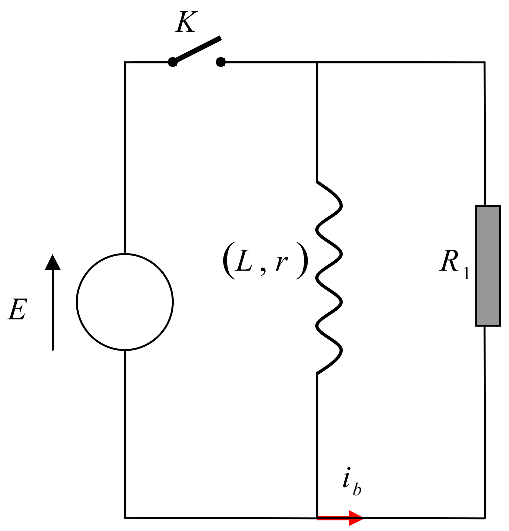


II/ انقطاع التيار

لدراسة تطور شدة التيار في ثنائي القطب RL في حالة **قطع التيار** نقوم بما يلي :

1. قطع التيار عن ثنائي القطب في التركيب المبين في الشكل المقابل.
2. تطبيق قانوني : - قانون جمع التوترات.
   - قانون أوم.
3. توظيف العلاقة :

$$\boxed{u_L = ri + L\frac{di}{dt}}$$



1/ المعادلة التفاضلية لتطور شدة التيار i :

بتطبيق قانون جمع التوترات : $u_{R'} + u_L = 0$

أي : $R_1 i + ri + L\frac{di}{dt} = 0$

أي : $(R_1 + r)i + L\frac{di}{dt} = 0$

نرمز للمجموع $(R_1 + r)$ بـ R حيث، R_1 هي مقاومة الناقل الأومي.

ومنه : $Ri + L\frac{di}{dt} = 0$

وبقسمة طرفي المعادلة على L، نجد :

$$\boxed{\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = 0} \qquad (2)$$

وهي المعادلة التفاضلية لتطور شدة التيار في ثنائي القطب RL.

ملاحظة :

نتبع نفس الطريقة السابقة (حالة تطبيق التيار)، من أجل :

استنتاج المعادلة التفاضلية لتطور التوتر u_R بين طرفي الناقل الأومي في هذه الحالة :

وهي :

$$\boxed{\frac{du_R}{dt}+\left[\left(1+\frac{r}{R_1}\right)\frac{R_1}{L}\right]u_R=0}$$

2/ تطور شدة التيار i :

نحصل على عبارة تطور شدة التيار المار في الدارة بحل المعادلة التفاضلية (2):

$$\boxed{i=\frac{E}{R}e^{-\frac{R}{L}t}}$$

3/ تطور التوتر u_L بين طرفي الوشيعة :

نستنتج عبارة تطور التوتر u_L من العلاقة :

$$u_L=ri+L\frac{di}{dt}$$

أي :

$$u_L=r\frac{E}{R}e^{-\frac{R}{L}t}-L\frac{E}{R}\frac{R}{L}e^{-\frac{R}{L}t}=Ee^{-\frac{R}{L}t}\left(\frac{r}{R}-1\right)$$

ومنه :

$$\boxed{u_L=Ee^{-\frac{R}{L}t}\left(\frac{r}{R}-1\right)}$$

4/ تطور التوتر u_R بين طرفي الناقل الأومي :

نستنتج عبارة تطور التوتر u_R من العلاقة :

$$u_R=R_1 i$$

أي :

$$u_R=R_1\frac{E}{R}e^{-\frac{R}{L}t}$$

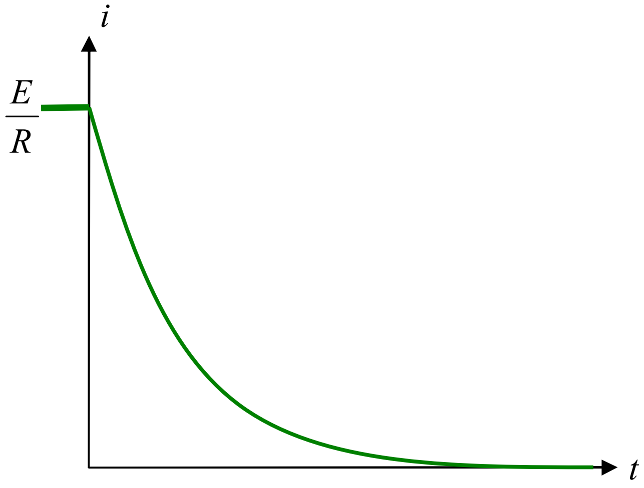
ومنه :

$$\boxed{u_R=R_1\frac{E}{R}e^{-\frac{R}{L}t}}$$

التمثيل البياني (حالة تطبيق التيار)

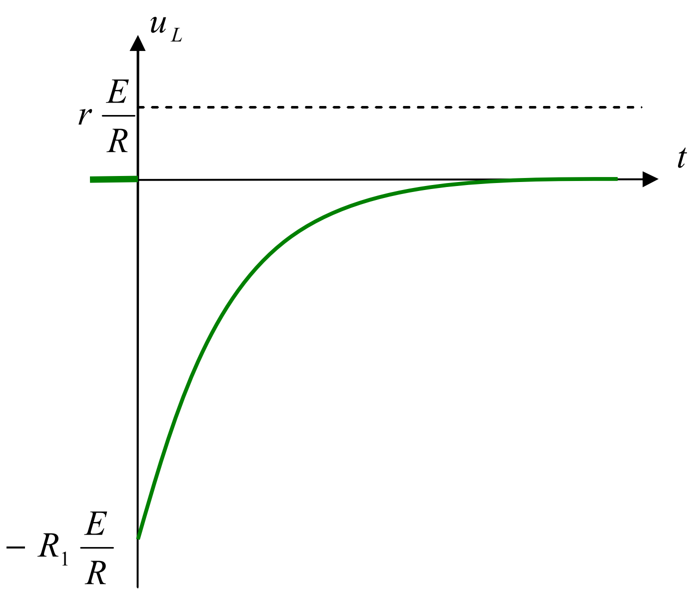
- التمثيل البياني : $i = f(t)$

$$i = \frac{E}{R} e^{-\frac{R}{L}t}$$



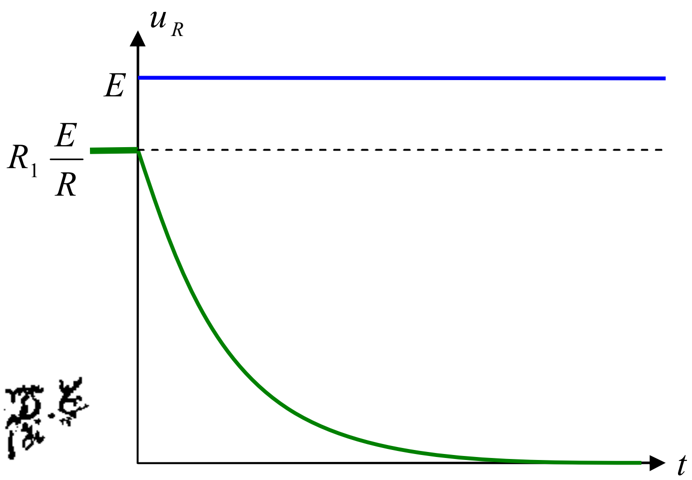
- التمثيل البياني : $u_L = f(t)$

$$u_L = Ee^{-\frac{R}{L}t}\left(\frac{r}{R} - 1\right)$$



- التمثيل البياني : $u_R = f(t)$

$$u_R = R_1 \frac{E}{R} e^{-\frac{R}{L}t}$$



4. ثابت الزمن τ :

إن المقدار $\frac{L}{R}$ متجانس مع الزمن، حيث : $[T]=\frac{[I]}{[u]}\times\frac{[u][T]}{[I]}=\left[\frac{L}{R}\right]$

يسمى المقدار $\frac{L}{R}$ ثابت الزمن لثنائي القطب (R,L)، يرمز له بـ τ ووحدته الثانية.

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

تحديد ثابت الزمن τ بيانيا

يحدد ثابت الزمن τ بيانيا بنفس الطرق التي استعملت في ثنائي القطب RC

5. الطاقة المخزنة في وشيعة

$$\boxed{E_b=\frac{1}{2}Li^2}$$