

Dipôles et associations

Sommaire

I Dipôles usuels	2
I/A Généralités sur les dipôles	2
I/B Résistance	2
I/C Interrupteurs ouverts et fermés	2
I/D Sources de tension et de courant	3
II Associations de dipôles	4
II/A En série	4
II/B En parallèle	5
II/C Entraînements	6
III Condensateurs et bobines	7
III/A Condensateur	7
III/B Bobine	9

Capacités exigibles

- | | |
|--|---|
| ☐ Connaître les relations entre l'intensité et la tension.
☐ Citer des ordres de grandeurs des composants R, L, C.
☐ Exprimer la puissance dissipée par effet JOULE dans une résistance.
☐ Exprimer l'énergie stockée dans un condensateur ou une bobine. | ☐ Remplacer une association série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente.
☐ Établir et exploiter les relations des diviseurs de tension ou de courant.
☐ Modéliser une source en utilisant la représentation de THÉVENIN. |
|--|---|

L'essentiel

Définitions

○ E2.1 : Caractéristique et relation courant-tension	2
○ E2.2 : Vocabulaire des caractéristiques	2
○ E2.3 : Résistor et relation courant-tension	2
○ E2.4 : Interrupteurs ouvert et fermé	3
○ E2.5 : Générateurs de tension	3
○ E2.6 : Générateurs de courant	4
○ E2.7 : Condensateur	7
○ E2.8 : Condensateur réel	8
○ E2.9 : Bobine	9
○ E2.10 : Bobine réelle	10

Propriétés

○ E2.1 : $R_{\text{série}}$ et diviseur de tension	4
○ E2.2 : Résistance de sortie pour E_0	5
○ E2.3 : R_{para} et diviseur de courant	5
○ E2.4 : Résistance de sortie pour I_0	5
○ E2.5 : Charge et capacité	7
○ E2.6 : Relation courant-tension de C	8
○ E2.7 : Conditions limites pour C	8
○ E2.8 : Énergie stockée dans C	8
○ E2.9 : Relation courant-tension de L	9
○ E2.10 : Conditions limites pour L	9
○ E2.11 : Énergie stockée dans L	10

Démonstrations

○ E2.1 : $R_{\text{série}}$ et diviseur de tension	4
○ E2.2 : Résistance de sortie pour E_0	5
○ E2.3 : R_{para} et diviseur de courant	5
○ E2.4 : Résistance de sortie pour I_0	6
○ E2.5 : Relation courant-tension de C	8
○ E2.6 : Conditions limites pour C	8
○ E2.7 : Énergie stockée dans C	8
○ E2.8 : Conditions limites pour L	9
○ E2.9 : Énergie stockée dans L	10

Interprétations

○ E2.1 : Cas limite des interrupteurs	2
○ E2.2 : Relation courant-tension de C	7

Implications

○ E2.1 : Puissance de R	2
---------------------------	---

Applications

○ E2.1 : Résistance équivalente	6
○ E2.2 : Ponts diviseurs de tension	6
○ E2.3 : Pont diviseur de courant	7

Erreurs communes

○ E2.1 : Tension d'un interrupteur ouvert	3
○ E2.2 : Application des ponts	4
○ E2.3 : Utilisation des ponts	7

I Dipôles usuels

I/A Généralités sur les dipôles

Définition E2.1 : Caractéristique et relation courant-tension

On appelle **caractéristique** d'un dipôle la fonction $U = f(I)$ ou $I = g(U)$. Sauf indication contraire, elle est déterminée **en régime continu**. L'expression analytique est appelée **relation courant-tension** (RCT).

Cas particuliers

◇ Court-circuit¹ :

◇ Circuit ouvert

Définition E2.2 : Vocabulaire des caractéristiques

Passif

Linéaire

Symétrique

Actif

Non-linéaire

Asymétrique

I/B Résistance

♥ Définition E2.3 : Résistor et relation courant-tension

Un résistor est un dipôle **récepteur**, dont la **relation courant-tension** suit la **loi d'OHM** :

⇔ avec $\left\{ \begin{array}{l} \text{Unités} \end{array} \right\}$

avec R la résistance, $G = 1/R$ la conductance.

Implication E2.1 : Puissance de R

En utilisant la RCT de la résistance *en convention récepteur* et l'expression de la puissance d'un dipôle, on a

qui est alors bien positive. Dans le cas de la résistance, cette puissance est entièrement **dissipée** par effet JOULE.

I/C Interrupteurs ouverts et fermés

Interprétation E2.1 : Cas limite des interrupteurs

La **résistance** quantifie à quel point le **courant circule ou non**. Il y a alors deux situations extrêmes, qui correspondent aux interrupteurs :

◇ si $R = 0$, le courant circule librement donc $i \neq 0$; ◇ si $R = +\infty$, le courant ne circule pas donc $i = 0$.

1. On dit qu'un dipôle est court-circuité lorsqu'un fil est branché entre ses deux bornes.

♥ Définition E2.4 : Interrupteurs ouvert et fermé

Interrupteur fermé



Interrupteur ouvert



♥ Attention E2.1 : Tension d'un interrupteur ouvert

Il y a deux erreurs malheureusement récurrentes concernant la tension d'un interrupteur ouvert : considérer que $U = 0$ ou $U = \infty$. Elles sont signe d'une mauvaise compréhension de base des circuits électriques. Rectifions :

- ◇ La tension n'est pas infinie ! La modélisation d'un interrupteur ouvert par une résistance infinie est à modérer, et à ne pas étendre ou déformer : même dans ce modèle, il n'y a **jamais** de tension ou d'intensité infinie dans un circuit !
- ◇ La tension n'est surtout pas nulle² !! Par construction, si le courant ne circule pas, c'est qu'il y a une **accumulation de charges d'un côté**, et donc une **différence de potentiel** s'établit et la tension n'est pas (forcément) nulle : $U \neq 0$.

I/D Sources de tension et de courant

♥ Définition E2.5 : Générateurs de tension

Générateur idéal

Il **impose une tension**, le courant débité est lui imposé par le reste du circuit électrique. Il est dit **idéal** si la tension imposée est **constante**, quel que soit le courant débité.

Générateur réel

Avec les effets résistifs, la tension imposée et le courant débité sont liés :

On parle de **générateur de THÉVENIN**, et on le note (E_0, r) sur un schéma ; E_0 est la **force électromotrice** (fém).

FIGURE E2.1

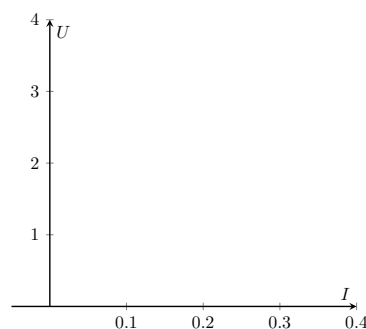


FIGURE E2.2 – Idéal.

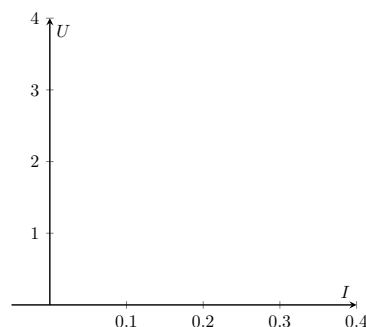


FIGURE E2.3 – Réel.

2. Sauf pour un interrupteur ouvert mais court-circuité : le fil l'« emporte » et $U = 0$.

♥ Définition E2.6 : Générateurs de courant

Générateur idéal

Il **impose un courant**, la tension à ses bornes est lui imposé par le reste du circuit électrique. Il est dit **idéal** si le courant débité est constant quelle que soit la tension à ses bornes.

Générateur réel

À cause des effets résistifs, le courant imposé et la tension induite sont liées :

On parle de **générateur de NORTON**, et on le note (I_0, r_N) .

FIGURE E2.4

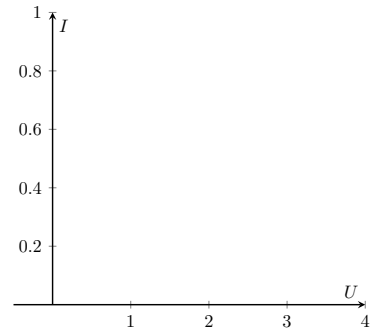


FIGURE E2.5 – Idéal.

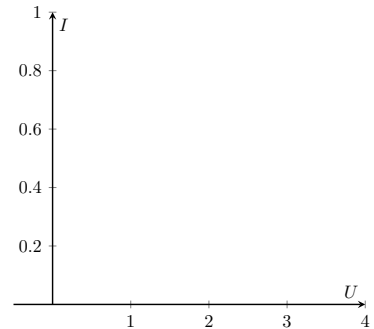


FIGURE E2.6 – Réel.

II Associations de dipôles

II/A En série

♥ Propriété E2.1 : Résistances en série : pont diviseur de tension

Des résistances R_k en série entre les nœuds A et B forment un dipôle équivalent de résistance

On dit qu'en **série**, les **résistances s'ajoutent**. Chaque résistance supporte alors la **même intensité I** mais elles se **divisent la tension** totale U_{AB} , tel que :

FIGURE E2.7

Démonstration E2.1 : Résistances en série et pont diviseur de tension

Association en série

À partir de la Figure E2.7, on utilise l'additivité des tensions, la loi d'OHM, on factorise et on identifie.

Pont diviseur de tension

On part de ce qui est partagé dans le circuit, ici l'intensité :

♥ Attention E2.2 : Application des ponts

La relation mathématique vient avec le schéma exact : si U_2 n'est pas dans ce sens, il faudra prendre son opposé. Il **faut** donc faire des schémas équivalents avant de faire des calculs !

♥ Propriété E2.2 : Résistance de sortie pour E_0

On peut approximer un générateur réel de fém E_0 et résistance interne r par un générateur idéal E_0 si la tension U d'une résistance R branchée à ses bornes est suffisamment proche de E_0 .

Cette condition **dépend de R et r** et se traduit par la relation :

♥ Démonstration E2.2 : Résistance de sortie pour E_0

On applique la formule du pont diviseur de tension pour avoir la tension U :

II/B En parallèle

♥ Propriété E2.3 : Association en parallèle : pont diviseur de courant

Des résistances R_k en dérivation forment un dipôle équivalent de résistance

On dit qu'en **parallèle**, les **conductances s'ajoutent**.

Chaque résistance supporte alors la **même tension** U_{AB} mais elles se **divisent l'intensité** totale I_{para} , tel que :

FIGURE E2.8

Démonstration E2.3 : Association en parallèle et pont diviseur de courant

Association en parallèle

À partir de la Figure E2.8, on utilise la loi des nœuds, la loi d'OHM, on factorise et on identifie.

Pont diviseur de courant

On part de ce qui est partagé dans le circuit, ici la tension :

♥ Propriété E2.4 : Résistance de sortie pour I_0

On peut approximer un générateur réel de courant I_0 et résistance interne r_N par un générateur idéal I_0 si l'intensité I d'une résistance R branchée à ses bornes est suffisamment proche de I_0 .

Cette condition **dépend de R et r** et se traduit par la relation :

♥ Démonstration E2.4 : Résistance de sortie pour I_0

Pont diviseur de courant :

♥ Remarque E2.1 : Série vs. parallèle

Il doit être assez évident que l'association en série augmente la résistance et donc diminue l'intensité à tension égale. Il faut cependant construire l'intuition que l'association en parallèle **diminue la résistance et donc augmente l'intensité** à tension égale. Pour cela, il suffit d'imaginer un flux de voitures/skis/piétons n'ayant qu'une route de résistance R pour passer, puis ce même flux avec des chemins parallèles de même résistance : naturellement, on peut faire passer un plus grand flux total puisqu'il y a plus d'alternatives !

II/C Entraînements

Application E2.1 : Résistance équivalente

Exprimer en fonction de R la résistance équivalente entre A et B pour l'association ci-dessous.

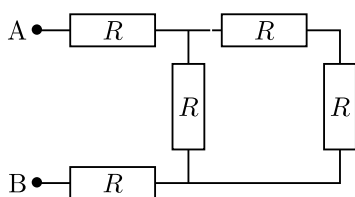
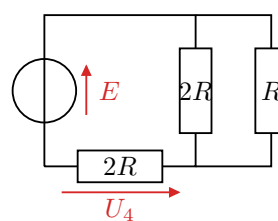
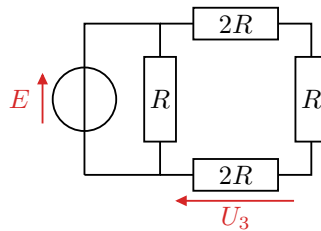
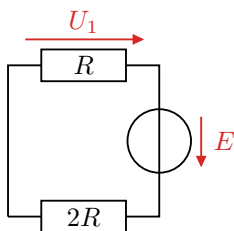
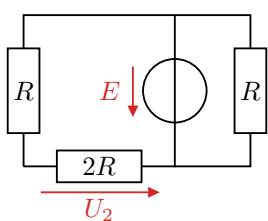
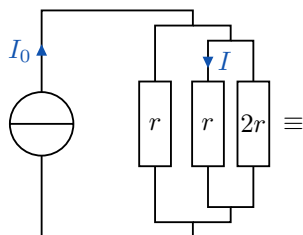


FIGURE E2.9 – Schéma équivalent

Application E2.2 : Ponts diviseurs de tension : exprimer U selon E



Application E2.3 : Pont diviseur de courantExprimer I selon I_0 .**♥ Attention E2.3 : Utilisation des ponts**

Attention aux conditions d'application de ces formules : résistances **en série** pour le pont diviseur de **tension**, et en **parallèle** pour le pont diviseur de **courant**.

Si non, simplifier le circuit pour se ramener à cette forme. Vérifier également le **sens d'orientation des tensions et intensités**.

III Condensateurs et bobines**III/A Condensateur****III/A) 1 Composition****Définition E2.7 : Condensateur**

Un condensateur est un composant constitué de deux **surfaces conductrices** appelées *armatures* et séparées par un **matériau isolant**. Son symbole est représenté ci-contre.

III/A) 2 Relations fondamentales**♥ Propriété E2.5 : Charge et capacité**

Lorsqu'un courant traverse un condensateur, une charge $+q$ s'accumule sur une plaque et $-q$ de l'autre : la **tension à ses bornes** est alors **proportionnelle** à q . On appelle ce coefficient de proportionnalité sa **capacité** notée C , telle que :

avec $\left\{ \begin{array}{l} \text{Unité} \end{array} \right.$

FIGURE E2.10**Ordre de grandeur E2.1 : Valeurs de capacités**

Le Farad est une « grande » unité : on trouvera des valeurs entre le mF (10^{-3} F) et le pF (10^{-12} F) :

- ◇ En électronique, on est entre le nF et le pF ;
- ◇ En électrotechnique, on est plutôt de l'ordre de 10 mF ;
- ◇ Une capacité parasite est autour du pF.

Interprétation E2.2 : Relation courant-tension de C

Pour **caractériser** le fonctionnement d'une capacité, on s'intéresse à la **relation** entre son **courant** et sa **tension** (RCT), comme on le fait pour une résistance ($U_R = \pm RI$). On remarque que :

- ◇ si $i > 0$,
- ◇ si $i < 0$,
- ◇ si $i = 0$,

♥ Propriété E2.6 : RCT de C

Pour un condensateur, l'intensité qui le traverse s'exprime par

avec $\left\{ \right.$

Démonstration E2.5 : RCT de C

Par définition de i et de la charge,

III/A) 3 Conditions limites

♥ Propriété E2.7 : Conditions limites pour C

- 1) Un **condensateur** assure la **continuité** de la **tension** à ses bornes ;
- 2) En régime **continu**, le condensateur **bloque le courant** comme un **interrupteur ouvert**.

Démonstration E2.6 : Conditions limites pour C

- 1) Raisonnons par l'absurde :

◇

◇

- 2) Il suffit de redéfinir régime continu :

◇

◇

III/A) 4 Condensateur réel

Définition E2.8 : Condensateur réel

Dans la réalité, un condensateur possède des **effets résistifs**. Les deux armatures d'un condensateur réel sont séparés par un matériau qui conduit très légèrement le courant.

Ainsi, un condensateur réel se modélise par un **condensateur idéal** en **parallèle avec une résistance R_f** , nommée résistance de fuite, avec

FIGURE E2.11

III/A) 5 Énergie stockée dans un condensateur

♥ Propriété E2.8 : Énergie stockée dans C

Les charges accumulées sur les armatures d'un condensateur lui confèrent une énergie électrique $\mathcal{E}_C$ stockée, telle que

♥ Démonstration E2.7 : Énergie stockée dans C

En convention récepteur, la puissance reçue est

Or, $\forall f$ fonction dérivable,

$\Rightarrow$

Remarque E2.2 : Condensateur récepteur ou générateur

Par l'étude de la relation précédente,

ainsi, le condensateur **reçoit** bien de l'énergie au reste du circuit, et il se **comporte comme récepteur**.

À l'inverse, on lit que

ainsi, le condensateur **cède** en réalité de l'énergie au reste du circuit, autrement dit **il peut se comporter comme générateur** !

III/B Bobine**III/B) 1 Composition**

Les bobines sont fréquemment utilisées dans les applications électrotechniques (moteurs électriques, transformateurs). Comme elles sont lourdes et encombrantes, elles sont plus rares en électronique.

Définition E2.9 : Bobine

Une bobine est constituée de l'enroulement régulier d'une grande longueur d'un fil métallique, recouvert d'une gaine ou d'un vernis isolant. Son symbole est représenté ci-contre.

III/B) 2 Relation courant-tension**♥ Propriété E2.9 : Relation courant-tension de L**

Quand un courant traverse la bobine, une **tension apparaît** à ses bornes. Celle-ci s'exprime, avec L l'**inductance** :

avec $\left\{ \begin{array}{l} \text{Unité} \end{array} \right.$

FIGURE E2.12

Remarque E2.3 : Démonstration de la RCT de L

La démonstration de cette relation fait appel aux notions de magnétisme, on la démontrera plus tard dans l'année.

Ordre de grandeur E2.2 : Valeurs d'inductances

Le Henry est également une « grande unité » : on trouvera des valeurs entre le H et le μH (10^{-6} H).

III/B) 3 Conditions limites**♥ Propriété E2.10 : Conditions limites pour L**

- 1) Une **bobine** assure la **continuité** du **courant** qui la traverse ;
- 2) En régime **continu**, la bobine **laisse passer le courant** comme un **interrupteur ouvert**.

Démonstration E2.8 : Conditions limites pour L

- 1) Raisonnons par l'absurde :
 - ◇
 - ◇
- 2) Il suffit de redéfinir régime continu :
 - ◇
 - ◇

III/B) 4 Bobine réelle

Définition E2.10 : Bobine réelle

Dans la réalité, le fil de cuivre enroulé possède une **résistance non nulle**. Une bobine réelle se modélise donc par une **bobine idéale en série avec une résistance** électrique r , avec

FIGURE E2.13

III/B) 5 Énergie stockée dans une bobine

♥ Propriété E2.11 : Énergie stockée dans L

Le courant circulant dans une bobine lui confère une énergie électrique $\mathcal{E}_L$ *temporaire*, telle que

♥ Démonstration E2.9 : Énergie stockée dans L

En convention récepteur, la puissance **reçue** est

Or, $\forall f$ fonction dérivable,

$\Rightarrow$

■

Remarque E2.4 : Bobine réceptrice ou génératrice

Par l'étude de la relation précédente,

ainsi, la bobine reçoit bien de l'énergie au reste du circuit, et elle se **comporte comme un récepteur**.

À l'inverse, on lit que

ainsi, la bobine cède en réalité de l'énergie au reste du circuit, autrement dit **elle peut se comporter comme un générateur** !