

Gilles DUMÉNIL

Physique appliquée en 30 fiches

DUNOD

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, Paris, 2012
ISBN 978-2-10-058197-9

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

AVANT-PROPOS

Je dédie cet ouvrage à ma mère sans laquelle rien n'aurait été possible.....

Cet ouvrage aborde l'ensemble des thèmes de la physique et de l'électricité appliquée enseignés dans les sections post-baccalauréat. Il est composé de rappels sur les bases de l'électricité et de thèmes tels que les fonctions de l'électronique analogique, le traitement numérique du signal, les convertisseurs de puissance et les machines électriques.

Il est destiné à l'ensemble des étudiants des sections de BTS, DUT et des 2 premières années de licence (cursus LMD) qui intègrent dans leur enseignement général des notions de physique et électricité appliquée.

Cet ouvrage se présente en 30 fiches abordant chacune un thème précis. Chaque fiche est composée d'une synthèse de cours et d'exercices d'application dont la solution détaillée est appuyée par des conseils méthodologiques de résolution.

Il constitue l'outil idéal pour des révisions efficaces en vue d'un contrôle et de l'examen.

Gilles Dumenil

Table des matières

Partie 1 : Lois générales des circuits électriques

Fiche 1	Circuits électriques linéaires	4
Fiche 2	Lois et théorèmes généraux en courant continu	10
Fiche 3	Étude des signaux périodiques	14
Fiche 4	Circuits en régime sinusoïdal	18
Fiche 5	Régime transitoire	22

Partie 2 : Fonctions de l'électronique analogique

Fiche 6	Filtres passifs	26
Fiche 7	Amplificateur opérationnel	32
Fiche 8	Amplification de différence, Amplificateur d'instrumentation	38
Fiche 9	Les comparateurs à amplificateur opérationnel	42
Fiche 10	Systèmes bouclés	46

Partie 3 : Traitement numérique du signal

Fiche 11	Convertisseur numérique analogique (CNA)	52
Fiche 12	Convertisseur analogique numérique (CAN)	56
Fiche 13	Discretisation – Transformée en z	60
Fiche 14	Filtrage numérique	64

Partie 4 : Puissances en régime sinusoïdal

Fiche 15	Puissances en régime sinusoïdal	70
Fiche 16	Systèmes triphasés équilibrés	74
Fiche 17	Relèvement du facteur de puissance	80

Partie 5 : Convertisseurs d'énergie statiques

Fiche 18	Le transformateur	82
Fiche 19	Redressement monophasé non commandé	88
Fiche 20	Redressement monophasé commandé	94
Fiche 21	Pont tout thyristors	100
Fiche 22	Le hacheur	106
Fiche 23	Onduleur de tension monophasé	112
Fiche 24	Stratégies de commande des onduleurs	118

Partie 6 : Convertisseurs d'énergie tournants

Fiche 25	Le moteur à courant continu	124
Fiche 26	Le moteur synchrone	130
Fiche 27	L'alternateur triphasé	136
Fiche 28	Le moteur asynchrone	140
Fiche 29	Variation de vitesse du moteur asynchrone	146
Fiche 30	Moteur pas à pas	152
Index		156

Circuits électriques linéaires

I Définition

Le courant électrique résulte d'un **déplacement de particules** portant une charge électrique. Dans les métaux, ces porteurs sont des **électrons**, c'est-à-dire des particules élémentaires portant une charge négative.

- Le passage du courant électrique entre deux points A et B n'est possible que s'il existe entre ces deux points une différence de potentiel, appelée **tension électrique**. Un **potentiel** est une tension prise par rapport à un potentiel de référence (la masse : $V_M = 0$). Si V_A et V_B sont respectivement les potentiels des points A et B , alors :

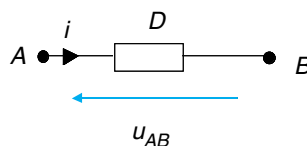
$$u_{AB} = V_A - V_B$$

- L'intensité du courant électrique s'exprime en ampères (A) et une tension s'exprime en volts (V).

On peut donc écrire : $u_{AB} = k \cdot i + U_0$

Avec :

- $- U_0$: tension aux bornes du dipôle si $i = 0$ (à vide) ;
- $- k$: coefficient réel homogène à une résistance (Ω).



Remarque : par convention dans les récepteurs, la flèche de tension est opposée à celle du courant.

Un **circuit électrique** est dit **linéaire** lorsqu'il est constitué de **dipôles passifs et/ou actifs linéaires**, c'est-à-dire par des dipôles caractérisés par une relation **linéaire** entre le courant i et la tension u_{AB} aux bornes du dipôle.

II Dipôles passifs linéaires élémentaires

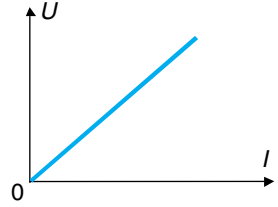
• Dipôles résistifs

La caractéristique de $U = f(I)$ montre que U est proportionnelle à I .

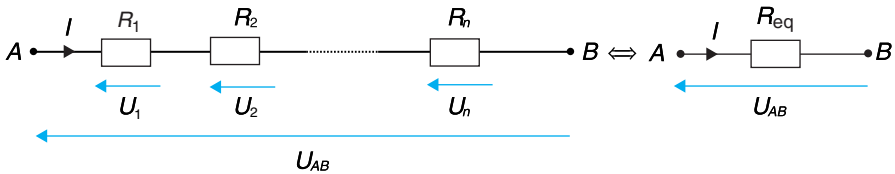
Loi d'Ohm : $U = R \cdot I$

U : Volts (V), I : Ampères (A), R : Ohms (Ω).

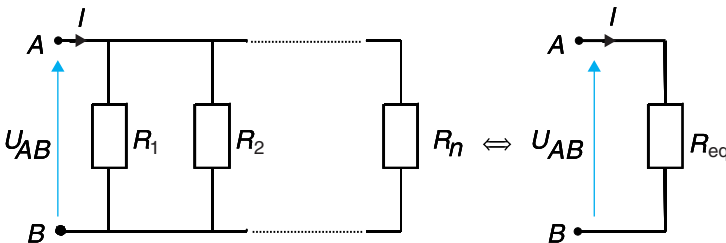
La **conductance** est définie par : $G = \frac{1}{R}$, et s'exprime en Siemens (S).



Le groupement de plusieurs résistances peut se ramener à une seule résistance appelée résistance équivalente en suivant les règles d'association série et parallèle. La résistance équivalente d'un ensemble de résistances en série est égale à la somme des résistances :

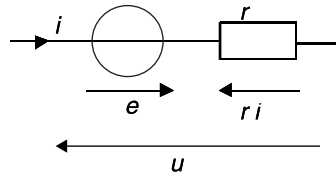
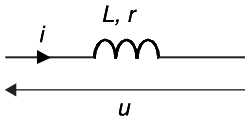
$$R_{\text{eq}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$


L'inverse de la résistance équivalente d'un ensemble de résistances en parallèle est égal à la somme des inverses des résistances :

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$


- **Dipôles inductifs**

Une bobine réelle est constituée d'une inductance pure L en série avec une résistance r (résistance interne correspondant à la résistance du fil et responsable de pertes par effet Joule $P = r \cdot I^2$).



Loi de Lenz : $e = -\frac{d\Phi_T}{dt}$ (Φ_t : flux total).

Cas particulier du flux auto-induit

$\Phi_P = L \cdot i$ (flux propre à une bobine), d'où : $e = -L \frac{di}{dt}$.

e : force électromotrice auto induite qui s'oppose à la cause qui lui donne naissance.

L : inductance en Henry (H).

Donc

$$u = r \cdot i - e = r \cdot i + L \frac{di}{dt}$$

– si la bobine est parfaite : $r = 0 \Omega$ et $u = L \frac{di}{dt}$

– si la bobine est alimentée en régime continu $i = I = \text{Cte}$, alors :
 $u = 0$, si elle est parfaite (court-circuit).

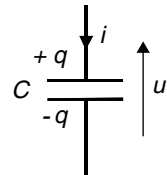
$u = rI$, si elle ne l'est pas (avec $r = \rho \frac{L}{S}$, ρ résistivité en $\Omega \cdot m$.)

- **Dipôles capacitifs**

Pour un condensateur la relation entre l'ensemble des charges électriques q et la tension à ses bornes est : $q = C \cdot u$

C : capacité du condensateur en Farads (F).

Or $i = \frac{dq}{dt}$ donc $i = C \frac{du}{dt}$



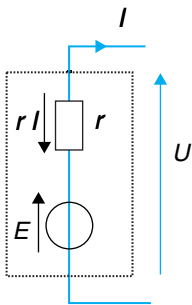
Cas particulier du régime continu

Si $u = U = \text{Cte}$, alors $i = 0$ et le condensateur est équivalent à un circuit ouvert. La capacité équivalente d'un ensemble de condensateurs en parallèle est égale à la somme des capacités de ces condensateurs. $C_{\text{eq}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$

III Dipôles actifs linéaires élémentaires

• Générateurs de tension

Remarque : par convention pour les dipôles actifs on utilise la convention générateur, U et I sont dans le même sens.



Relation pour un générateur de tension linéaire :

$$U = E - r \cdot I$$

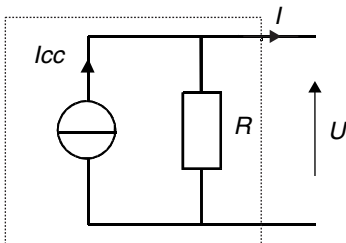
E : f.é.m. à vide (pour $I = 0$).

r : résistance interne du dipôle actif.

Générateur de tension parfait :

$$r = 0 \ \Omega \quad \text{et} \quad U = E = \text{Cte} \ \forall I.$$

• Générateur de courant



Relation pour un générateur de courant linéaire :

$$I = I_{\text{cc}} - \frac{U}{R}$$

I_{cc} : courant de court-circuit (pour $U = 0$).

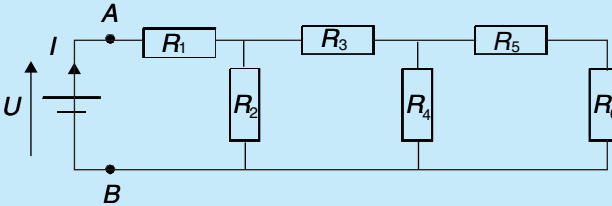
R : résistance interne.

Générateur de courant parfait :

$$R = \infty \quad \text{et} \quad I = I_{\text{cc}} = \text{Cte} \ \forall U.$$

Principe d'un réseau $R - 2R$

On considère le montage suivant :



1. Calculez la résistance équivalente R_{AB} .
2. Calculez le courant I .

Données : $U = 10 \text{ V}$, $R_1 = R_3 = R_5 = R_6 = 1 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = R_4 = 2 \text{ k}\Omega$.

Attention : pour déterminer la résistance équivalente, il faut procéder par étapes en faisant les regroupements de base (série ou parallèle). Faites des schémas intermédiaires.

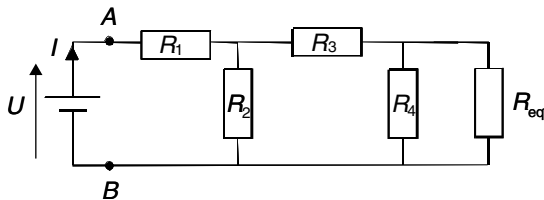
Solution

1. Pour déterminer R_{AB} , il faut procéder par étapes intermédiaires.

1^{re} étape : déterminez la résistance R_{eq1} équivalente à R_5 et R_6 en série.

$$R_{\text{eq1}} = R_5 + R_6 = 1\,000 + 1\,000 = 2\,000 = 2 \text{ k}\Omega$$

On obtient le schéma intermédiaire suivant :

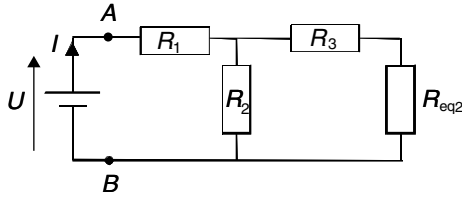


2^e étape : déterminez la résistance R_{eq2} équivalente à R_4 et R_{eq1} en parallèle.

$$\frac{1}{R_{\text{eq2}}} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_{\text{eq1}}} = \frac{1}{2\,000} + \frac{1}{2\,000} = \frac{1}{1\,000}$$

$$R_{\text{eq2}} = 1\,000 = 1 \text{ k}\Omega$$

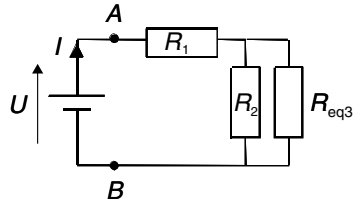
On obtient le schéma intermédiaire suivant :



3^e étape : déterminez la résistance R_{eq3} équivalente à R_3 et R_{eq2} en série.

$$R_{eq3} = R_3 + R_{eq2} = 1\,000 + 1\,000 = 2\,000 = 2\text{ k}\Omega$$

On obtient le schéma intermédiaire ci-contre :

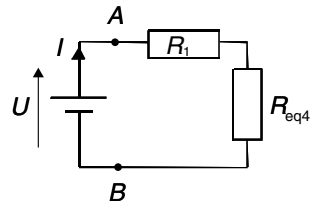


4^e étape : déterminez la résistance R_{eq4} équivalente à R_2 et R_{eq3} en parallèle.

$$\frac{1}{R_{eq4}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{eq3}} = \frac{1}{2\,000} + \frac{1}{2\,000} = \frac{1}{1\,000}$$

$$R_{eq4} = 1\,000 = 1\text{ k}\Omega$$

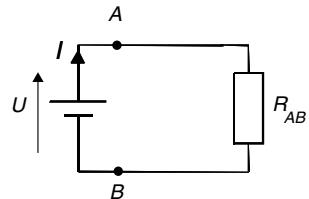
On obtient le schéma intermédiaire ci-contre :



5^e étape : déterminez la résistance R_{AB} équivalente à R_1 et R_{eq4} en série.

$$R_{AB} = R_1 + R_{eq4} = 1\,000 + 1\,000 = 2\,000 = 2\text{ k}\Omega$$

On obtient le schéma intermédiaire suivant :

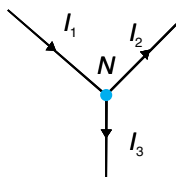


2. Pour déterminer I , on applique la loi d'Ohm : $U = R_{AB} \cdot I$,

$$\text{d'où : } I = \frac{U}{R_{AB}} = \frac{10}{2\,000} = 5 \cdot 10^{-3} = 5\text{ mA}$$

Lois et théorèmes généraux en courant continu

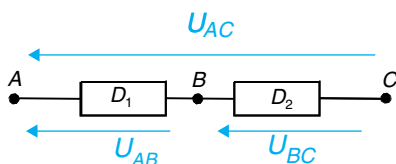
I Lois des nœuds



La somme algébrique des intensités des courants entrant dans un nœud (N) est égale à la somme algébrique des intensités des courants en sortant.

$$I_1 = I_2 + I_3$$

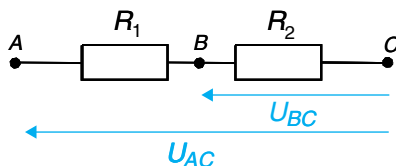
II Loi des mailles



La somme algébrique des tensions rencontrées dans une maille (chemin fermé orienté) est nulle.

$$U_{AC} - U_{AB} - U_{BC} = 0$$

III Loi du pont diviseur de tension



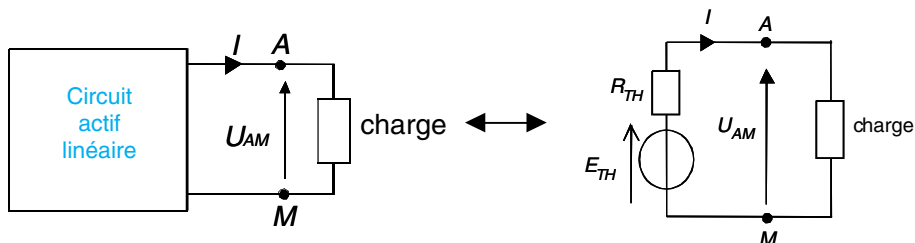
L'association de résistances en série forme un pont diviseur de tension. La tension aux bornes d'une résistance est égale au produit de la résistance par la tension totale divisé par la somme des résistances.

$$U_{BC} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{AC}$$

IV Théorème de Thévenin

Tout circuit actif linéaire peut être modélisé entre A et M par un générateur de tension caractérisé par :

- une f.é.m. à vide E_{TH} égale à la tension (entre A et M) en circuit ouvert ($I = 0$) ;
- une résistance interne R_{TH} égale à la résistance équivalente entre A et M du circuit actif linéaire rendu passif (les sources étant remplacées par leurs résistance interne).



V Théorème de superposition

Pour tout circuit actif linéaire qui comporte plusieurs générateurs (de tension ou de courant), le courant qui traverse une branche quelconque du circuit est la somme des courants que fournirait chaque générateur agissant seul, les autres étant remplacés par leur résistance interne.

Ou bien, pour tout circuit actif linéaire qui comporte plusieurs générateurs (de tension ou de courant), la tension entre deux points quelconques du circuit est la somme des tensions entre ces deux points lorsque chaque générateur agit seul, les autres étant remplacés par leur résistance interne.

VI Théorème de Millman

Ce théorème permet de calculer directement le potentiel d'un nœud. $V_A = \frac{\sum \frac{E_i}{r_i}}{\sum \frac{1}{r_i} + \sum \frac{1}{r_j}}$

r_i résistances en série avec une source de tension E_i et r_j résistances entre le nœud A et la masse.

Exemple :

$$V_A = \frac{\frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2}}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}}$$

