



Royaume du Maroc

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

OFPPT

OFFICE DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE ET DE LA PROMOTION DU TRAVAIL

Cours 1

Circuits Électriques

Résumé de théorie

Première Année

*Programme de Formation des Techniciens Spécialisés
en Électronique*

DIRECTION DE LA RECHERCHE ET INGENIERIE DE LA FORMATION

Septembre 1995

TABLE DES MATIÈRES

1. ÉTUDIER DES CIRCUITS RESISTIFS EN COURANT CONTINU (C.C.) ET EN COURANT ALTERNATIF (C.A.) 1-1

1.1 Introduction à l'électricité	1-1
1.1.1 Introduction	1-1
1.1.2 Unités et notation	1-1
1.1.3 Décrire un système par l'utilisation des schémas appropriés	1-2
1.2 Notions de circuit	1-4
1.2.1 Qu'est-ce qu'un circuit?	1-4
1.2.2 Potentiel et courant (Qu'est-ce qui circule et comment?)	1-4
1.3 Eléments composant un circuit	1-6
1.3.1 Sources de tension (c.a. et c.c.)	1-6
1.3.2 Résistance	1-6
1.3.3 Bobines et condensateurs	1-8
1.3.4 Conducteur	1-8
1.4 Les lois de Kirchhoff	1-9
1.5 La loi d'Ohm et la loi de Joule	1-10
1.5.1 La loi d'Ohm	1-10
1.5.2 Circuits résistifs	1-11
1.5.3 La loi de Joule: énergie et puissance	1-13
1.6 Circuits résistifs en courant alternatif (c.a.)	1-14
1.6.1 Types d'ondes:	1-14
1.6.2 Période, fréquence et phase:	1-14
1.6.3 Amplitude, valeur moyenne et valeur efficace:	1-15
1.6.4 L'onde sinusoïdale	1-16
1.6.5 Analyse d'un circuit résistif mixte en c.a.	1-17
1.7 Les théorèmes	1-18
1.7.1 Superposition	1-18
1.7.2 Thévenin	1-20
1.8 Exercices	1-21

1. Étudier des circuits résistifs en courant continu (c.c.) et en courant alternatif (c.a.)

1.1 Introduction à l'électricité

1.1.1 Introduction

Ce premier module vous permettra de découvrir le domaine de l'électricité. Les termes, les unités et les notations les plus utilisées en électricité ainsi que les lois et les théorèmes généraux couramment employés pour l'analyse de circuits électriques y sont enseignés à travers l'étude des circuits résistifs en c.c. et en c.a.. Chaque concept vu en théorie sera vérifié au laboratoire à l'aide de travaux pratiques faits sur plaquette d'expérimentation.

1.1.2 Unités et notation

Unités

En 1960, le Bureau International des Poids et Mesures, qui a son siège à Sèvres en France, accueillait la Conférence générale des poids et mesures, à laquelle participaient des représentants de tous les pays du globe. La Conférence générale a convenu d'un système international d'unités, abrégé SI dans toutes les langues.

Tableau 1-1 Système International d'unités				
	Anglo-saxon	MKS (métrique)	CGS (métrique)	SI
Longueur	yard (yd)	mètre (m)	centimètre (cm)	mètre (m)
Température	Fahrenheit (°F)	Celcius (°C)	Celcius (°C)	Kelvin (°K)
Énergie	livre-pied (lb-pi)	newton-mètre (N*m)	dyne-centimètre ou erg	joule (J)
Temps	seconde (s)	seconde (s)	seconde (s)	seconde (s)

Notation

En électronique, on emploie la notation d'ingénierie. Cette notation préconise l'utilisation de puissances de 10 qui sont un multiple de 3. Le Tableau 1-2 énumère les principales puissances utilisées avec leur préfixe associé.

Tableau 1-2 Notation d'ingénierie et préfixes		
Puissance de 10	Préfixe	Symbole
10^9	giga	G
10^6	méga	M
10^3	kilo	k
10^{-3}	milli	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p

Certaines calculatrices vous facilitent la vie en vous offrant le choix entre les notations:

FIXE : pas de puissance de 10;

SCIENTIFIQUE : toutes les puissances de 10;

INGÉNIERIE : ... 10^{-9} , 10^{-6} , 10^{-3} , 10^3 , 10^6 , 10^9 , 10^{12} , ...

ici, on utilise la puissance (*multiple de 3*) qui nous permet d'avoir un chiffre compris entre 1 et 999.

Exemples:

Tableau 1-3 Exemples d'utilisation des différentes notations			
FIXE	SCIENTIFIQUE	INGÉNIERIE	SYMBOLE
0.00052	$5.2 \cdot 10^{-4}$	$520 \cdot 10^{-6}$	520 μ
0.5	$5 \cdot 10^{-1}$	$500 \cdot 10^{-3}$	500 m
1.02	1.02	1.02	1.02
25	$2.5 \cdot 10^1$	25	25
25 634	$2.5634 \cdot 10^4$	$25.634 \cdot 10^3$	25.634 k
10 000 000	10^7	$10 \cdot 10^6$	10 M

1.1.3 Décrire un système par l'utilisation des schémas appropriés

Un *système* est un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but.

On peut distinguer deux grandes catégories de systèmes électriques: ceux mettant en cause le signal électrique porteur d'énergie (moteur, génératrice, etc.) et ceux utilisant le signal électrique en guise de porteur d'information (ordinateur, réseau téléphonique, etc.). Pour cette dernière catégorie on parle davantage de circuits électroniques plutôt qu'électriques.

Pour communiquer l'information relative à un système, plusieurs diagrammes peuvent être utilisés. Nous décrirons brièvement les deux types les plus utilisés en électronique.

Le diagramme synoptique

Le mot synoptique signifie: «Qui offre une vue générale d'un ensemble?». Faire un schéma synoptique est un moyen de communiquer. C'est une manière de présenter un système de façon à ce que le lecteur puisse *en comprendre toutes les fonctions d'un seul coup d'oeil*.

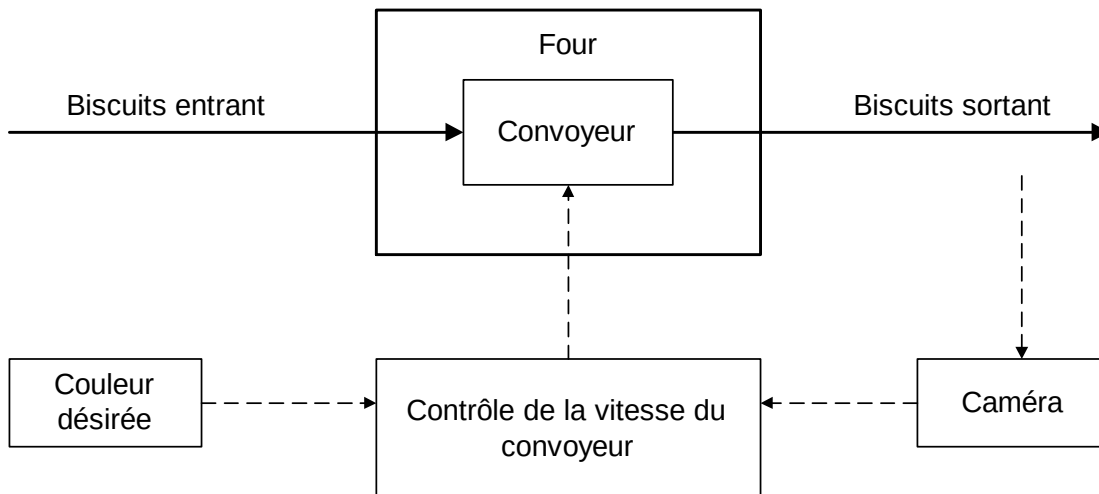


Figure 1-1 Schéma synoptique d'un four à biscuits

Le diagramme schématique

Le mot schématique signifie: "Qui a le caractère d'un schéma; simplifié". Le diagramme schématique (en anglais, schematic diagram) est représenté à l'aide des symboles graphiques de chacun des dispositifs du système et *présente le circuit électrique complet*.

La figure suivante présente le diagramme schématique d'un amplificateur classe A à transistor.

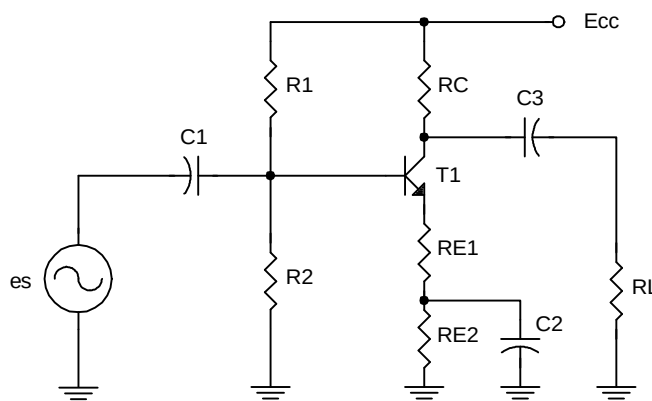


Figure 1-2 Diagramme schématique d'un amplificateur classe A

1.2 Notions de circuit

1.2.1 Qu'est-ce qu'un circuit?

En électricité et en électronique, un *circuit* est un ensemble d'éléments reliés entre eux par des conducteurs, offrant au moins un trajet fermé dans lequel peuvent circuler des charges (le courant).

Une *branche* d'un circuit est une partie de cet ensemble; elle est constituée d'un ou de plusieurs éléments montés en série.

Deux éléments sont montés en *série* si la borne de l'un est reliée à la borne de l'autre sans être raccordée à la borne d'un 3ème élément.

On dira que 2 éléments d'un circuit sont en *parallèle* s'ils ont deux points en commun.

Un *noeud* dans un circuit est le point de jonction entre 2 ou plusieurs branches.

1.2.2 Potentiel et courant (Qu'est-ce qui circule et comment?)

En électricité, on utilise souvent le modèle hydraulique comme système de comparaison.

En hydraulique, on veut pouvoir caractériser les forces qui font circuler et qui sont générées par l'eau dans un réseau. C'est vrai aussi en électricité et en électronique. La circulation des électrons dans un fil électrique est bien représentée par la circulation de l'eau dans un tuyau.

L'énergie potentielle de l'eau dans un bassin (naturel ou artificiel) représente la tension électrique (volt). Le débit de l'eau circulant dans un réseau d'aqueduc représente, lui, le courant électrique (ampères).

Potentiel: c'est la capacité de produire du travail.

Exemple:

$$E_1 = mgh_1, E_2 = mgh_2, E_2 > E_1$$

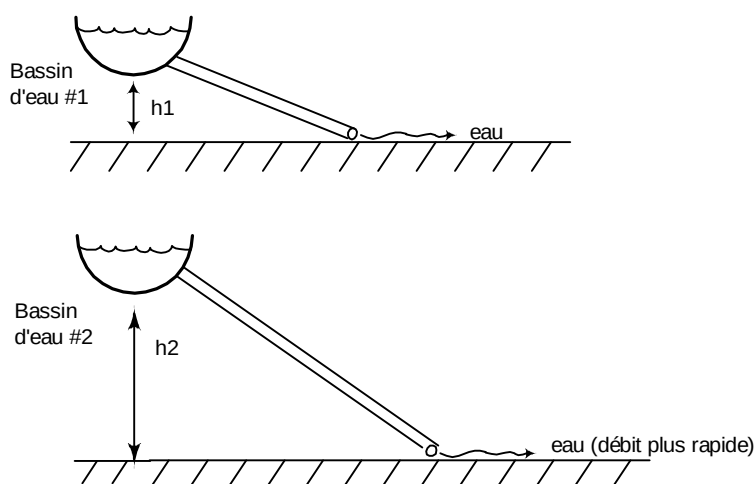


Figure 1-3 Le potentiel

- Sources de tension (potentiel) électrique:
 - * piles, batteries;
 - * bloc d'alimentation;
 - * génératrice, alternateur.
- Différence de potentiel (d.d.p.):

Dans l'exemple précédent, la d.d.p. serait calculée avec « $E_2 - E_1$ ». En électricité, elle s'exprime en volts. Le plus haut potentiel est indiqué par le signe «+» et, le plus bas, par le signe «-».

courant: débit de charges électriques causé par une force extérieure (source de tension). Le courant électrique n'est rien d'autre que le flot ordonné, contrôlé, des électrons. Son unité est l'ampère (A). Il coule toujours du plus haut potentiel (+) vers le plus bas potentiel (-).

résistance Dans tout réseau où il y a circulation d'un élément (eau, électrons, ...), il existe une force qui s'oppose au déplacement de cet élément.

Origine de cette force:

- en hydraulique:

- * frottement;
- * dimension du tuyau;
- * encombrement des voies;
- * embranchements et coudes.

- en électronique:

* La structure atomique du matériau conducteur dont est fait le fil. L'unité de mesure est l'ohm (Ω (oméga)).

- la résistance en électronique, dépend de 4 facteurs:

- * nature du matériau (résistivité: ρ (rhô));
- * longueur du conducteur (l);
- * l'aire du conducteur (section: A);
- * la température (ρ est donnée en fonction d'une température fixe).

$$R = \rho l / A$$

Tableau 1-4 Résistivité de divers matériaux

Résistivité de divers matériaux	(Ω - m) à 20°C
Argent	$16,4 \times 10^{-9} \Omega\text{-m}$
Cuivre	$17,2 \times 10^{-9} \Omega\text{-m}$
Or	$24,4 \times 10^{-9} \Omega\text{-m}$
Aluminium	$28,2 \times 10^{-9} \Omega\text{-m}$

- La résistance électrique provoque toujours une chute de potentiel.

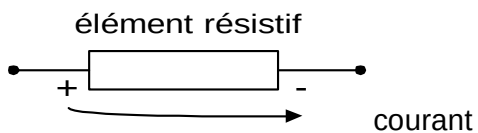


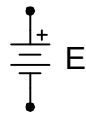
Figure 1-4 La différence de potentiel

1.3 Éléments composant un circuit

1.3.1 Sources de tension (c.a. et c.c.)

Piles: source en c.c.

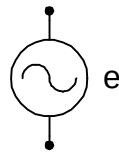
- Symbole:



- Unité: volt

Générateurs: source en c.a. (sinusoïdale le plus souvent)

- Symbole:



- Unité: volt

1.3.2 Résistance

- Symbole:



- Unité: Ohms (Ω)
- Identification: la plupart du temps par un code de couleurs.

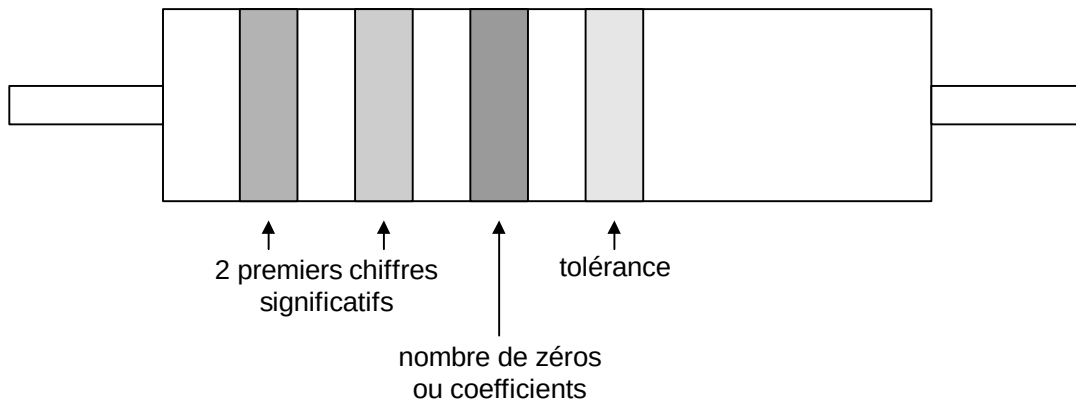


Figure 1-5 Code de couleurs sur une résistance

Tableau 1-5 Code de couleurs des résistances

0 Noir	7 Violet
1 Brun	8 Gris
2 Rouge	9 Blanc
3 Orange	0,1 Or
4 Jaune	0,01 Argent
5 Vert	Tolérance : Or 5%
6 Bleu	Tolérance : Argent 10%

Exemple & exercice:

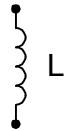
Tableau 1-6 Exemple de codification des résistances

Valeur ohmique	Code de couleur
6,2 $\Omega \pm 5 \%$	Bleu Rouge Or Or
	Gris Blanc Brun Or
430 K $\Omega \pm 10\%$	
0,18 $\Omega \pm 10 \%$	Brun Gris Argent Argent

1.3.3 Bobines et condensateurs

Bobine:

- agit sur le courant
- symbole:



- unité: Henry (H)
- fonctions: relais, filtres...

Condensateur:

- agit sur la tension
- symbole:



- unité: Farad (F)
- fonctions: filtrage d'alimentation, filtres, délais...

1.3.4 Conducteur

Le conducteur est ce qui unit la ou les sources aux différents composants du circuit (réseau). C'est habituellement un fil fait de matériau conducteur isolé par une gaine protectrice.

Matériaux conducteurs:

- possèdent beaucoup d'électrons libres

Tableau 1-7 Conductivité de certains matériaux

Métal	Conductivité relative (%)
Argent	105
Cuivre	100
Or	70,5
Aluminium	61
Fer	14

Matériaux isolants:

- Possèdent peu d'électrons libres
- Utilisés pour fabriquer la gaine des fils conducteurs, ainsi que pour divers autres dispositifs isolateurs.

Tableau 1-8 Rigidité diélectrique de certains matériaux	
Matériau	Rigidité diélectrique moyenne (en kV/cm)
Air	30
Porcelaine	70
Huiles	140
Bakélite	150
Caoutchouc	270
Papier (paraffiné)	500
Teflon	600
Verre	900
Mica	2000

- Rigidité diélectrique = résistance au claquage (passage d'un fort courant)

1.4 Les lois de Kirchhoff**Loi des tensions de Kirchhoff:**

«La somme algébrique des différences de potentiel le long d'un circuit fermé est nulle.»

ou

$$\Sigma \text{ chutes de tension} = \Sigma \text{ montées de tension}$$

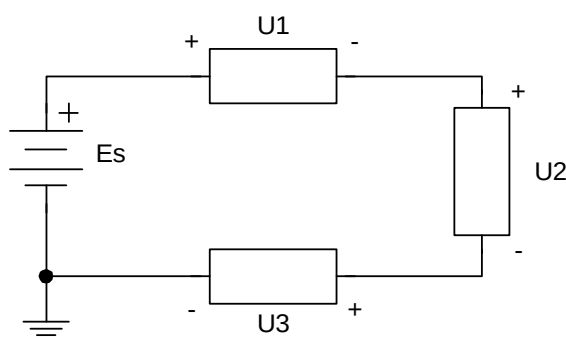
Exemple:

Figure 1-6 Exemple d'application de la loi des tensions de Kirchhoff

Loi des courants de Kirchhoff:

«La somme algébrique des courants, effectuant une arrivée et un départ au noeud, est nulle.»

ou

$$\Sigma \text{ courants entrant} = \Sigma \text{ courants sortant}$$

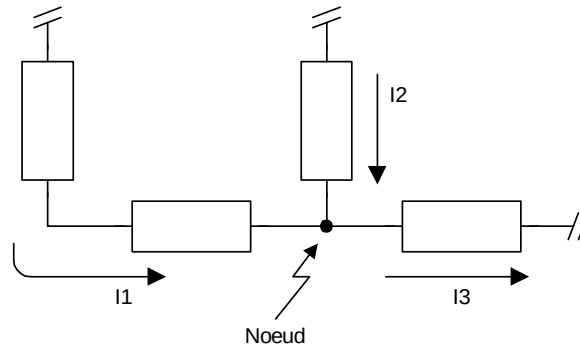
Exemple:

Figure 1-7 Exemple d'application de la loi des courants de Kirchhoff

1.5 La loi d'Ohm et la loi de Joule

1.5.1 La loi d'Ohm

Imaginons que l'on place un bassin rempli d'eau sur une table. On considère ce bassin comme notre source. Pour permettre à l'eau de s'écouler au sol, on utilise un tuyau de 1 cm de diamètre; dès lors, on pourrait, à la sortie de ce tuyau, mesurer le débit d'eau (intensité du courant I_1).

En utilisant un tuyau plus gros, par exemple 2 cm de diamètre, on peut facilement imaginer que le débit augmentera (augmentation de l'intensité du courant ; $I_2 > I_1$). Le tuyau plus gros offre donc moins de résistance au passage de l'eau. En utilisant un tuyau de plus faible diamètre, le phénomène inverse se produira: plus de résistance au passage de l'eau et diminution de l'intensité du courant ($I_2 < I_1$).

Si nous gardons le tuyau de 1 cm de diamètre mais que l'on place le bassin source plus haut, l'eau s'écoulera plus rapidement (voir figure 1-3) et vice-versa; si nous baissions la hauteur du bassin (hausse de l'énergie potentielle de l'eau dans le bassin, en le plaçant plus haut), j'augmente le débit d'eau et, par conséquent, l'intensité du courant. Le débit d'eau diminuera ainsi, dès que je restreint l'énergie potentielle de l'eau dans le bassin en le plaçant au sol, par exemple.

On en déduit que:

1) **Le débit d'eau est inversement proportionnel à la résistance, donc:**

intensité du courant $\propto$ 1/résistance

ou

$$I \propto 1/R$$

2) **Le débit d'eau est proportionnel à l'énergie potentielle, donc:**

intensité du courant $\propto$ potentiel

ou

$$I \propto E$$

Les deux équations précédentes sont réunies en une seule, connue comme étant la loi d'Ohm:

$$I = E/R$$

que l'on peut aussi écrire:

$$E = RI$$

Exemple:

Si un courant de 10 A traverse une charge résistive de 50 Ω , alors selon Ohm:

$$\begin{aligned} E &= RI \\ E &= (50\Omega) \times (10 A) \\ E &= 500(\Omega \times A) \\ \text{donc } E &= 500 \text{ volts} \end{aligned}$$

1.5.2 Circuits résistifs

Comme dans la réalité, toute charge, voire toute composante, fait partie d'un circuit, nous devons analyser comment cette loi se comporte dans un circuit:

Il existe 3 sortes de circuits:

- circuit série
- circuit parallèle
- circuit série parallèle ou mixte

Circuits séries:

Les lois de Kirchhoff et la loi d'Ohm doivent être utilisées pour démontrer ce qui suit.

Soit le circuit série suivant:

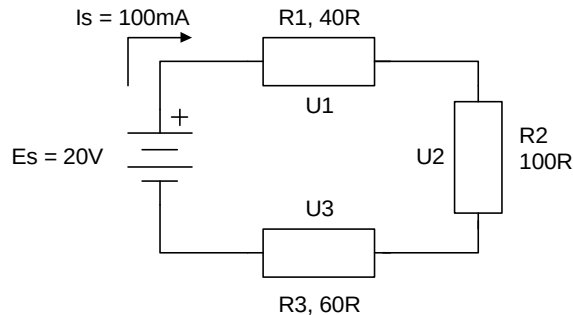


Figure 1-8 Circuit série

Grâce à la loi d'Ohm, on trouve que:

$$U_1 = I_S \cdot R_1 = 4 \text{ V}$$

$$U_2 = I_S \cdot R_2 = 10 \text{ V}$$

$$U_3 = I_S \cdot R_3 = 6 \text{ V}$$

Avec Kirchhoff, on pose que: $E_S = U_1 + U_2 + U_3$

La combinaison de ces équations donne: $E_S = (I_S R_1 + I_S R_2 + I_S R_3) = I_S (R_1 + R_2 + R_3)$

où $R_1 + R_2 + R_3$ est appelé la *résistance totale* du circuit, R_T .

On peut donc additionner la valeur de plusieurs résistances en série.

Circuits parallèles :

L'analyse d'un circuit parallèle démontre que l'on peut additionner l'inverse de la valeur ohmique (conductance : $G = 1/R$) de plusieurs résistances en parallèle.

$$R_T = 1 / (1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots) = 1 / (G_1 + G_2 + G_3 + \dots)$$

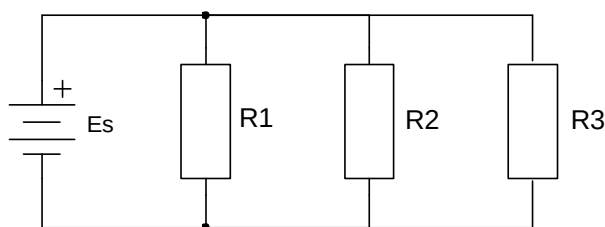


Figure 1-9 Circuit parallèle

1.5.3 La loi de Joule: énergie et puissance

Énergie et puissance.

La puissance est une mesure de la quantité de travail qui peut être fournie en un temps déterminé:

$$P = \text{Travail} / \text{Temps.}$$

Une certaine quantité de puissance utilisée pendant un certain temps crée ou utilise de l'énergie:

$$\text{Énergie} = \text{Puissance} \bullet \text{temps.}$$

Unités de mesure:

- pour la puissance: Watt (W)
- pour l'énergie: Joule (J) Watt-secondes et souvent kilowatt-heure (kWh)

Ordre des grandeurs de la puissance mesurée en Watts:

- Un homme peut fournir 100 W de puissance.
- Un cheval peut développer facilement 1 KW.
- Nos machines outils courantes sont équipées de moteurs de 3 KW à 20 KW (4 hp à 27 hp).
- Les véhicules automobiles ont des moteurs de quelques dizaines de KW.
- Un avion à réaction peut déployer une puissance crête atteignant les 50 MW.

N.B. Ne pas confondre «horse power (hp)» et «cheval-vapeur (c.v.)».car
1 h.p. = 746 W et 1 c.v. = 736 W.

La loi de Joule

Cette loi établit une relation entre la puissance, la tension et le courant électrique.

$$P = U \times I \text{ ou } E \times I$$

Exemple:

La puissance consommée par un réfrigérateur électrique alimenté par une tension de 220 V et un courant moyen de 5 A est de:

$$\begin{aligned} P &= U \times I = 220 \text{ V} \times 5 \text{ A} \\ &= 1,1 \text{ kW} \end{aligned}$$

1.6 Circuits résistifs en courant alternatif (c.a.)

1.6.1 Types d'ondes:

La forme d'une onde électrique est une représentation de sa variation d'amplitude (tension ou courant) en fonction du temps.

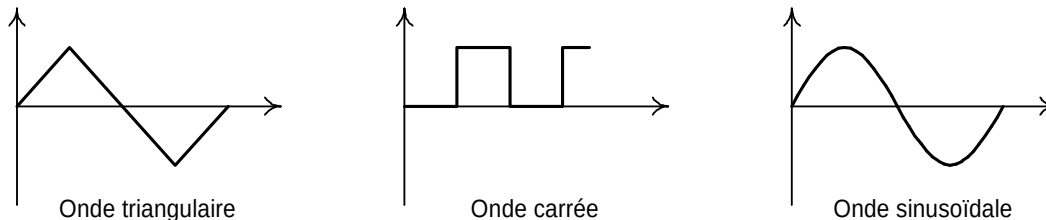


Figure 1-10 Formes d'onde courante

1.6.2 Période, fréquence et phase:

- Onde périodique : un même patron d'onde se répète à toutes les x secondes.

Période (cycle) : intervalle de temps pendant lequel l'onde périodique se reproduit.

- Symbole : **T**.
- Unité : seconde.

Fréquence : nombre de cycles par seconde.

- Symbole : $f = 1 / T$.
- Unité : cycle / sec. ou plus souvent Hertz (Hz).

Exemple :

la fréquence d'une onde périodique, dont la période est de 20ms, se calcule de la façon suivante :

$$f = 1 / (20 \times 10^{-3}) = 50 \text{ Hz.}$$

Phase: décalage, normalement exprimé en degrés ou en radians, entre des ondes de même type qui ne passent pas par zéro en même temps.

Exemple:

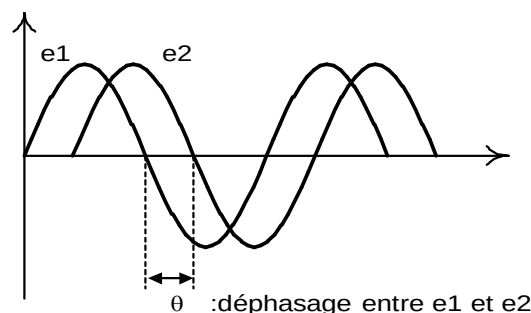
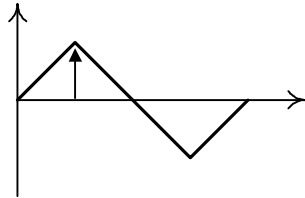


Figure 1-11 Déphasage entre deux ondes

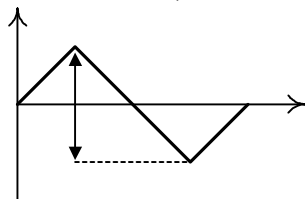
1.6.3 Amplitude, valeur moyenne et valeur efficace:

Amplitude : pour une onde périodique, on utilisera l'amplitude crête et l'amplitude crête à crête.

- Amplitude crête (U_c , E_c , I_c) :



- Amplitude crête à crête (U_{c-c} , E_{c-c} , I_{c-c}) :



Valeur moyenne : de façon générale, la valeur moyenne se calcule en divisant l'aire sous la courbe par la durée d'un cycle de l'onde.

Exemple: la tension moyenne de l'onde carrée suivante se calcule ainsi :

$$U_m = ((5V * 1\mu\text{sec}) - (2V * 1\mu\text{sec})) / 2\mu\text{sec} = 1,5\text{ V}$$

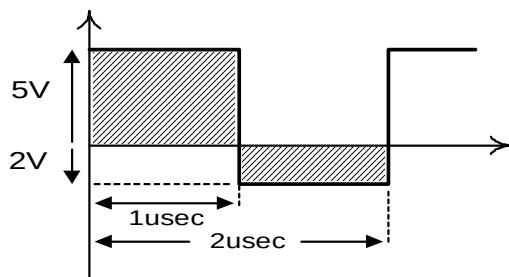


Figure 1-12 Valeur moyenne d'une onde carrée

Valeur efficace (valeur RMS ; Root Mean Square) :

La valeur efficace d'une tension ou d'un courant alternatif est égale à la racine carrée de la moyenne des carrés des valeurs crêtes.

$$U_{eff} . \text{ou} I_{eff} . = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} x^2(t) dt}$$

1.6.4 L'onde sinusoïdale

Instantané : valeur d'une forme d'onde (tension ou courant) à un instant particulier . On utilise la forme suivante pour la représenter :

Exemple pour une tension : $e = E_{\text{crête}} \sin (\omega t + \theta)$

où $\omega = 2\pi f$: c'est la pulsation du signal et s'exprime en radians/sec. et θ est la phase du signal exprimée en radians ou en degrés.

Parfois (ωt) est remplacé par α qui représente un angle du cercle trigonométrique (0° à 360°).

Fresnel : c'est une représentation vectorielle complexe (polaire ou rectangulaire) des ondes électriques. Elle facilite certaines opérations arithmétiques.

Exemple:

Une onde sinusoïdale U_1 de $120 V_{\text{eff}}$. ayant une fréquence de 1kHz et étant déphasée de 35° par rapport à une source de tension alternative de $220 V_{\text{eff}}$. sera représentée par: $U_1 = 120V \angle 35^\circ$ sous forme polaire ou $(98,30 + j 68,83) V$ sous forme rectangulaire, et la source par: $220 V \angle 0^\circ$.

La fréquence n'apparaît donc pas dans cette représentation et on utilise toujours la valeur efficace.

Moyenne : la valeur moyenne d'un sinus est toujours nulle. Nous aurons souvent à calculer cette valeur pour un sinus redressé qui est $E_{\text{moy.}} = (2E_c / \pi)$ pour la tension ou $I_{\text{moy.}} = (2I_c / \pi)$ pour le courant.

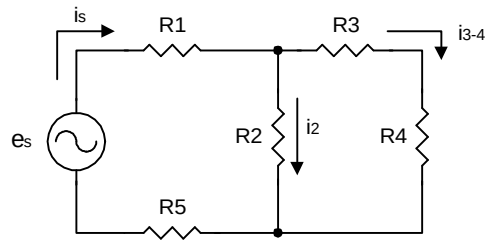
Efficace : $E_{\text{eff.}} = E_{\text{crête}} * 0,707$ ou $I_{\text{eff.}} = I_{\text{crête}} * 0,707$ ex.: la valeur efficace d'une tension sinusoïdale ayant une amplitude crête à crête de 622,35 volts se calcule de la façon suivante :

Exemple:

$$E_{\text{eff.}} = (E_{c-c} / 2) * 0,707 = (622,35V / 2) * 0,707 = 220 V_{\text{eff.}}$$

1.6.5 Analyse d'un circuit résistif mixte en c.a.

Soit le circuit résistif suivant :



où $e_s = 30V \angle 0^\circ$
 $R1=1K$ $R2=2K$ $R3=0K5$ $R4=1K5$ $R5=1K$

Figure 1-13 Analyse d'un circuit résistif en c.a.

$$R_T = R_1 + R_5 + (1 / (1 / R_2 + 1 / (R_3 + R_4))) = 3 \text{ k}\Omega$$

$$i_s = e_s / R_T = 10\text{mA} \angle 0^\circ$$

$$u_{R1} = i_s * R_1 = 10V \angle 0^\circ$$

$$u_{R5} = i_s * R_5 = 10V \angle 0^\circ$$

$$u_{R2} = e_s - u_{R1} - u_{R5} = 10V \angle 0^\circ$$

$$i_2 = u_{R2} / R_2 = 5\text{mA} \angle 0^\circ$$

$$i_{3-4} = i_s - i_2 = 5\text{mA} \angle 0^\circ$$

$$u_{R3} = R_3 * i_{3-4} = 2,5V \angle 0^\circ$$

$$u_{R4} = R_4 * i_{3-4} = 7,5V \angle 0^\circ$$

$$P_T = i_s * e_s = 300\text{mW}$$

Toutes les tensions et les courants sont à la même fréquence et en phase. De plus, puisque la tension de source est exprimée en Volts efficaces, alors toutes les tensions et tous les courants calculés sont, en valeur, efficaces aussi.

Autres façons d'écrire ces résultats :

- Avec Fresnel sous forme rectangulaire : ex. : $i_2 = (5 + j0) \text{ mA}$
 $u_{R4} = (2,5 + j0) \text{ V}$

- Valeurs instantanées : ex.: $u_{R5} = 14,14 \sin(\omega t) \text{ V}$
 $i_{3-4} = 7,07 \sin(\omega t) \text{ mA} \dots$
 où $\omega = 6,283 * 10^3 \text{ radians/sec.}$

1.7 Les théorèmes

1.7.1 Superposition

Théorème : le courant circulant dans un élément d'un circuit électrique est égal à la somme des courants qui seraient produits dans cet élément par chacune des sources de tension agissant seule, les autres sources étant remplacées par des courts-circuits.

Exemple ; soit le circuit suivant :

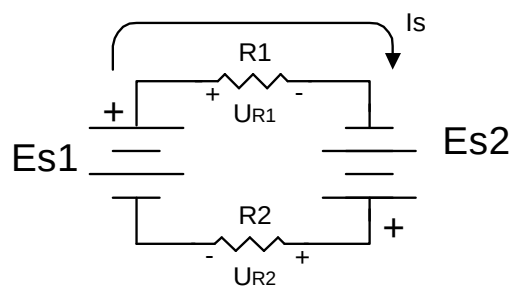


Figure 1-14 Théorème de la superposition

où $E_{S1} = 20V$, $R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 2k\Omega$ et $E_{S2} = 10V$.

Alors, si l'on mesure I_S , U_{R1} et U_{R2} tel que représentés sur la Figure 1-14 on obtient:

1 ère analyse) - en fonction de E_{S1} , on remplace E_{S2} par un court-circuit

$$R_T = R_1 + R_2 = 3 \text{ k}\Omega$$

$$I_S = E_S / R_T = 6,667 \text{ mA}$$

$$U_{R1} = I_S * R_1 = 6,667V$$

$$U_{R2} = I_S * R_2 = 13,334V$$

2 ème analyse) - en fonction de E_{S2} , on remplace E_{S1} par un court-circuit

$$R_T = R_1 + R_2 = 3 \text{ k}\Omega$$

$$I_S = e_S / R_T = 3,333 \text{ mA}$$

$$U_{R1} = I_S * R_1 = 3,333V$$

$$U_{R2} = I_S * R_2 = 6,667V$$

Solution finale) $I_S = 6,667mA + 3,333mA = 10mA$.

$$U_{R1} = 6,667V + 3,333V = 10V.$$

$$U_{R2} = 13,334V + 6,667V = 20V.$$

Exemple; soit le circuit suivant:

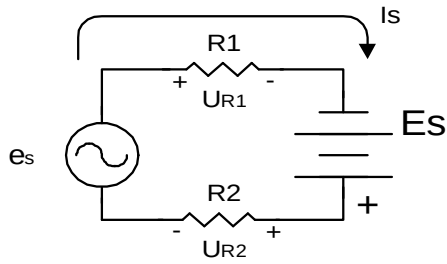


Figure 1-15 Théorème de superposition

où $E_S = 20V$, $R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 2k\Omega$ et $e_s = 10V_{eff}$, $\angle 0^\circ$ à fréquence de 5 kHz.

Alors, si l'on mesure I_S , U_{R1} et U_{R2} tel que représentés sur la Figure 1-15 on obtient:

1 ère analyse) - en fonction de E_S , on remplace e_s par un court-circuit

$$R_T = R_1 + R_2 = 3 \text{ k}\Omega$$

$$I_S = E_S / R_T = 6,667 \text{ mA}$$

$$U_{R1} = I_S * R_1 = 6,667V$$

$$U_{R2} = I_S * R_2 = 13,334V$$

2 ème analyse) - en fonction de e_s , on remplace E_S par un court-circuit

$$R_T = R_1 + R_2 = 3 \text{ k}\Omega$$

$$i_s = e_s / R_T = 3,333 \text{ mA}_{eff.} \angle 0^\circ \text{ à fréquence de 5 kHz.}$$

$$u_{R1} = i_s * R_1 = 3,333V_{eff.} \angle 0^\circ \text{ à fréquence de 5 kHz.}$$

$$u_{R2} = i_s * R_2 = 6,667V_{eff.} \angle 0^\circ \text{ à fréquence de 5 kHz.}$$

Solution finale)

$i_s = i_s + I_S = 3,333 \text{ mA}_{eff.} \angle 0^\circ$ à fréquence de 5 kHz avec une composante continue de 6,667 mA

$u_{R1} = i_s * R_1 = 3,333V_{eff.} \angle 0^\circ$ à fréquence de 5 kHz avec une composante continue de 6,667V.

$u_{R2} = i_s * R_2 = 6,667V_{eff.} \angle 0^\circ$ à fréquence de 5 kHz avec une composante continue de 13,334V.

1.7.2 Thévenin

théorème : Tout circuit linéaire composé d'une ou de plusieurs sources et de plusieurs résistances peut être remplacé par une source de tension unique (E_{th}) et une résistance unique (R_{th}). Ce théorème nous permet donc d'isoler une partie précise d'un réseau.

Exemple : Soit le circuit suivant :

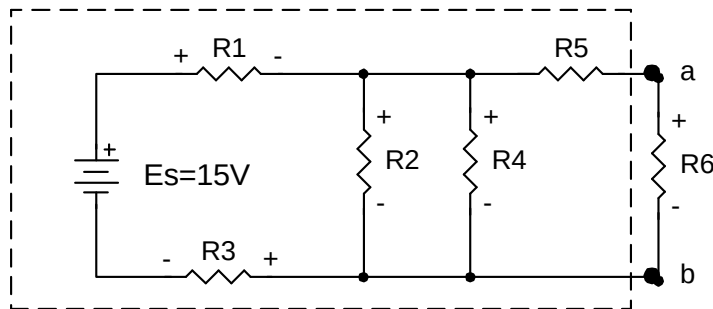


Figure 1-16 Méthode de Thévenin

où $R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 3k\Omega$, $R_3 = 2k\Omega$, $R_4 = 3k\Omega$, $R_5 = 500\Omega$,

Dans cet exemple, l'élément à isoler est la résistance R_6 . Nous avons à calculer les paramètres du circuit équivalent de Thévenin pour la partie encadrée. La méthode consiste, premièrement, à calculer R_{th} en remplaçant toutes les sources de tension par des courts-circuits et en calculant la résistance totale vue entre les bornes a et b sans tenir compte de R_6 . Deuxièmement, on doit calculer E_{th} mesurable entre les bornes a et b en remplaçant R_6 par un circuit ouvert. Le résultat donne le circuit équivalent de Thévenin suivant :

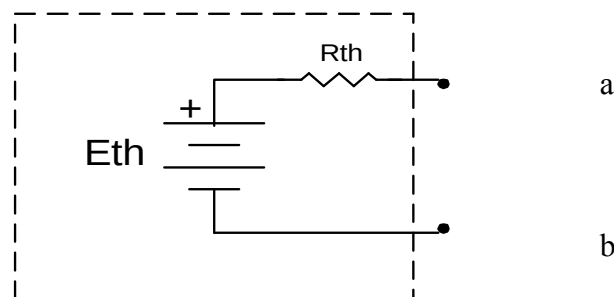


Figure 1-17 Circuit équivalent de Thévenin

où $R_{th} = R_5 + (1 / ((1 / R_2) + (1 / R_4) + (1 / (R_1 + R_3)))) = 1,5 k\Omega$

et $E_{th} = (15V / 4,5k\Omega) * 1,5 k\Omega = 5V$

1.8 Exercices

#1 - Calculez la résistance d'un fil de cuivre utilisé à environ 20 °C, ayant une longueur de 139 mètres et une section de 0,5 cm².

#2 - Nommez 2 sources de tension électrique.

Soit le circuit suivant:

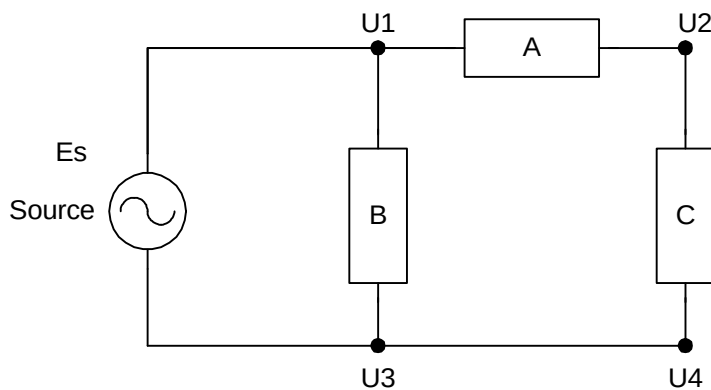


Figure 1-18 Exercice

Si $E_s = 20$ volts, $U_2 = 12$ volts et $U_4 = 0$ volt,

#3 - Que valent U_1 et U_3 ?

#4 - Que valent les différences de potentiel aux bornes des éléments A, B et C ?

#5 - Comment peut-on représenter le fait que U_4 est un potentiel de référence ?

#6 - Indiquez les polarités des chutes de tension manquantes ainsi que le sens des courants manquants pour chacun des circuits suivants.

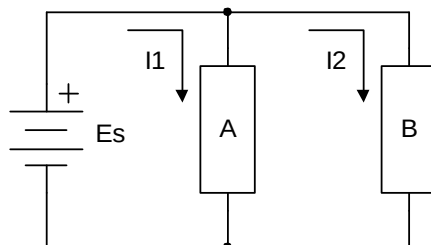


Figure 1-19 Exercice

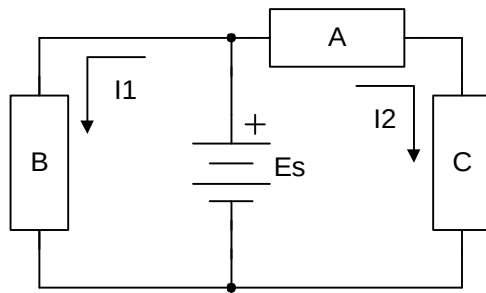


Figure 1-20 Exercice

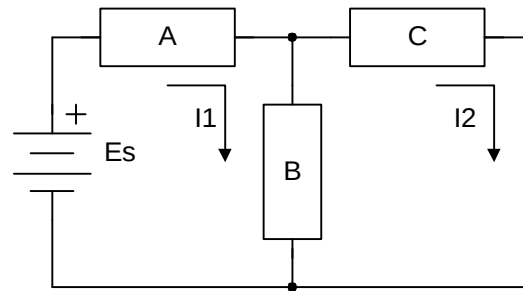


Figure 1-21 Exercice

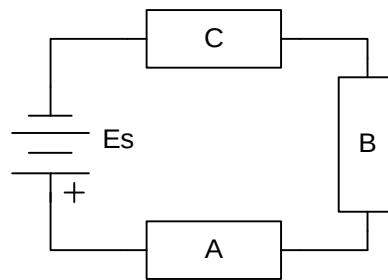


Figure 1-22 Exercice

#7 - Donnez le code de couleur des résistances suivantes:

- a) $3,3 \text{ k}\Omega \pm 5\%$
- b) $560 \Omega \pm 10\%$
- c) $6,8 \Omega \pm 10\%$
- d) $0,33 \Omega \pm 10\%$
- e) $3,6 \text{ M}\Omega \pm 10\%$

#8 - Donnez les valeurs des résistances suivantes à partir du code de couleur fourni:

- a) Rouge Rouge Rouge Argent
- b) Brun Rouge Rouge Or
- c) Jaune Orange Orange Argent
- d) Blanc Brun Vert Or

#9 - Quel métal utilise-t-on comme référence pour comparer la conductivité des métaux?

10 - Lequel, des matériaux suivant, est le meilleur isolant?

- a) Argent
- b) Papier (paraffiné)
- c) Bakélite
- d) Porcelaine
- e) Air

#11- Déterminez la valeur et la polarité de U_{ab} dans les circuits suivants. Chaque boîte noire peut contenir une charge ou une source.

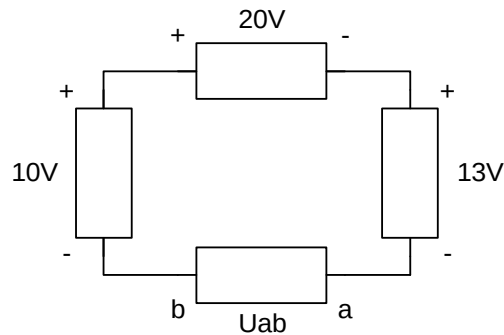


Figure 1-23 Exercice

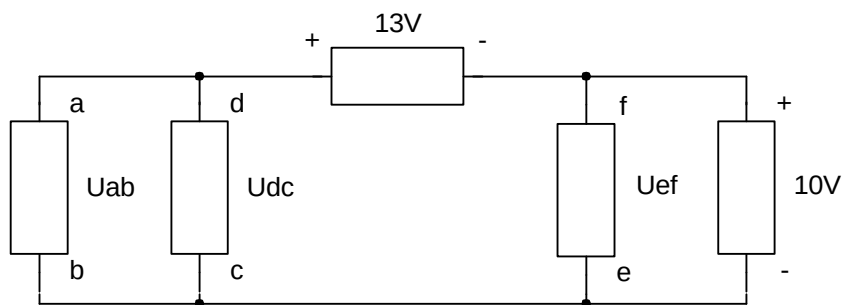


Figure 1-24 Exercice

Que valent U_{dc} et U_{ef} dans le problème de la Figure 1-24?

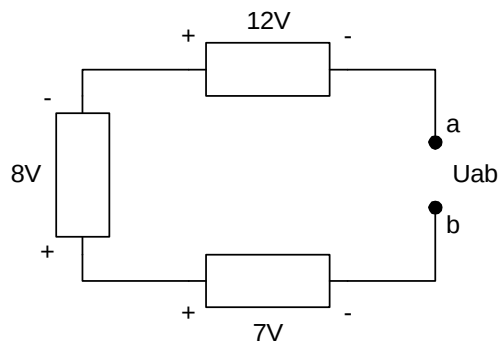


Figure 1-25 Exercice

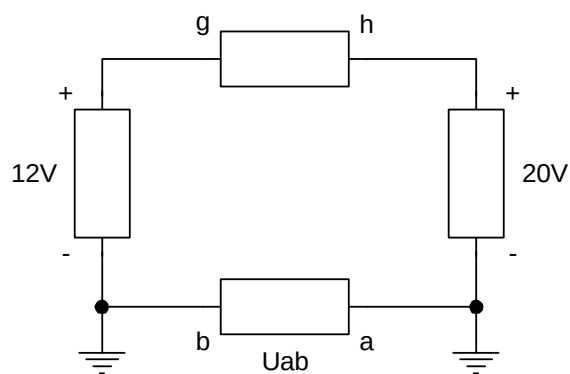


Figure 1-26 Exercice

#12- -Déterminez l'intensité et le sens des courants inconnus dans les portions de circuits suivantes:

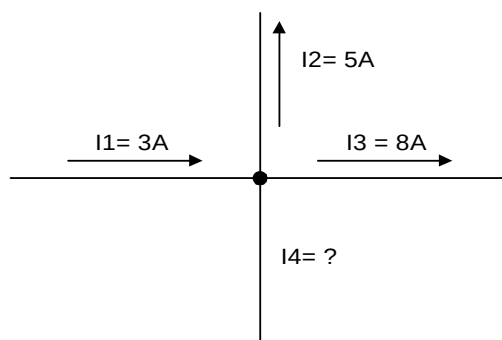


Figure 1-27 Exercice

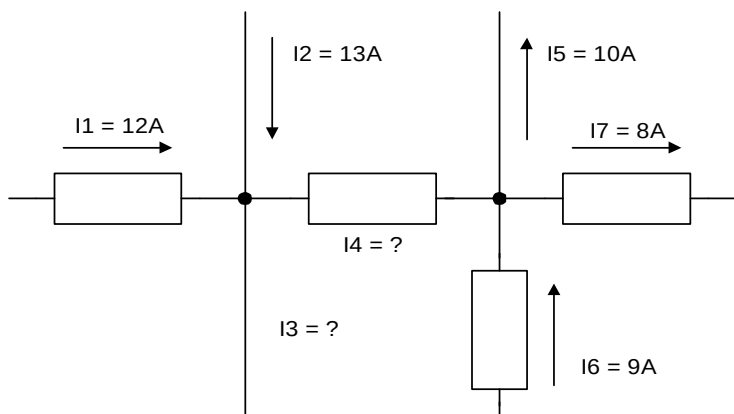


Figure 1-28 Exercice

#13- Trouvez les valeurs inconnues dans les circuits suivants. Indiquez aussi les polarités des tensions inconnues ainsi que le sens des courants inconnus.

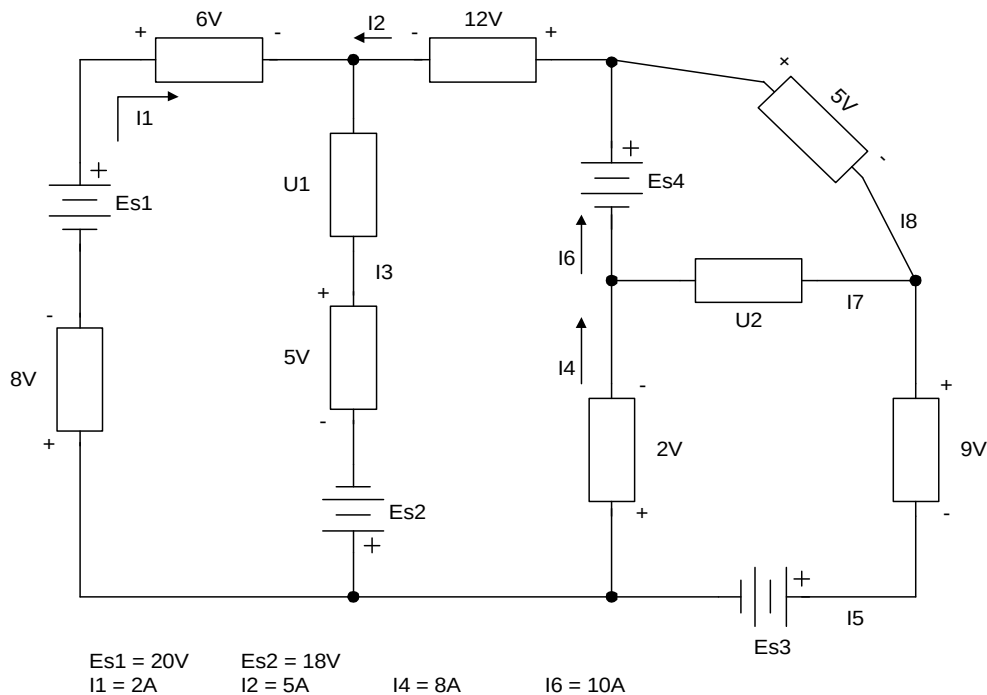


Figure 1-29 Exercice

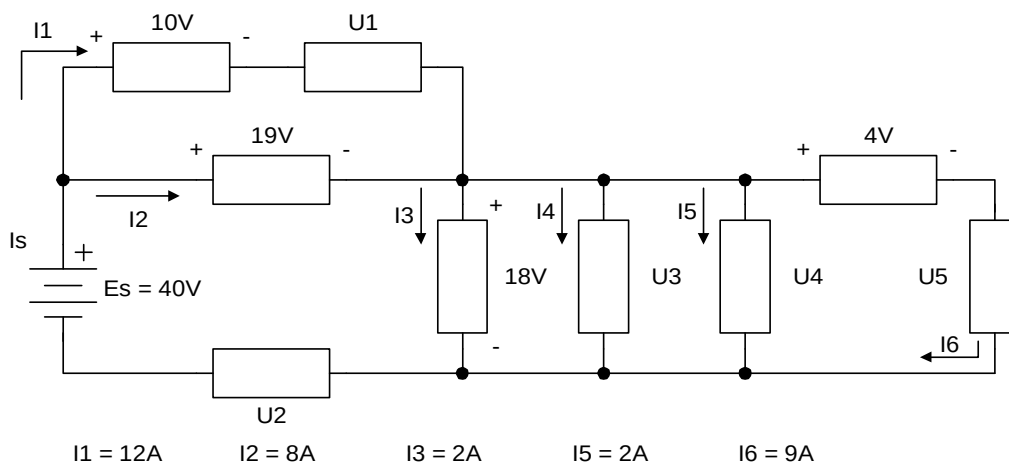


Figure 1-30 Exercice

#14 - Déterminez la valeur résistive de chacune des charges représentées dans les 2 circuits du problème précédent.

#15 - Si un grille-pain consomme 5 A lorsque alimenté à 120 V, quelle est la valeur résistive de ce grille-pain?

#16 - La résistance interne d'une horloge électrique est de $7,5 \Omega$. Calculez l'intensité du courant d'alimentation sous 220 V.

#17 - Le courant d'alimentation d'un fer à souder est de 760 mA sous 220 V. Quelle est sa résistance?

#18 - Trouvez les valeurs inconnues dans les 3 circuits suivants:

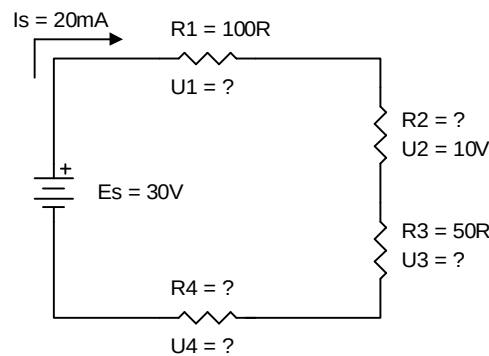


Figure 1-31 Exercice

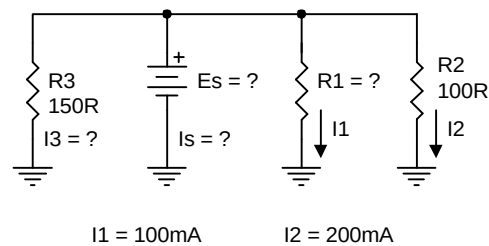


Figure 1-32 Exercice

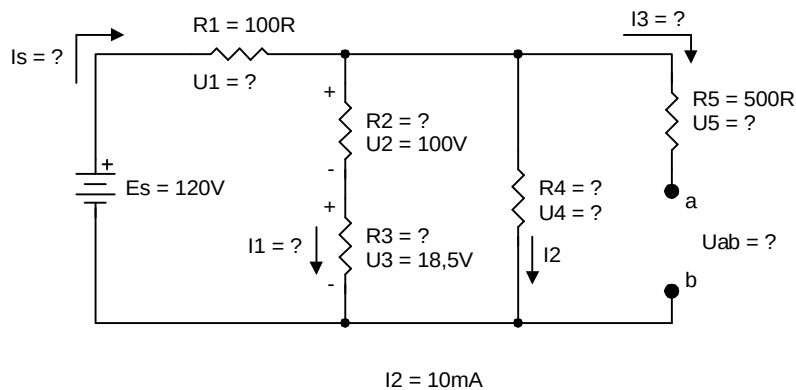


Figure 1-33 Exercice

- #19 - Calculez la puissance dissipée dans chacune des résistances du problème de la Figure 1-33, ainsi que la puissance totale fournie par la source.
- #20 - Si le circuit électrique d'une maison a une capacité de 200 A sous 120 V; calculez la puissance maximale que peut recevoir le circuit.
- #21 - Quelles sont la résistance et la tension nominales d'une machine à laver automatique de 450 W dont le courant d'alimentation est de 3,75 A?

#22 - Soit le circuit suivant:

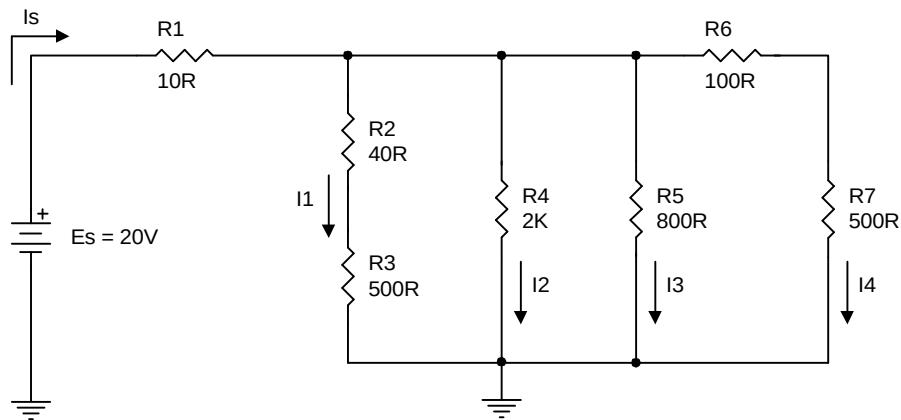


Figure 1-34 Exercice

- Écrivez les équations de Kirchhoff pour chaque noeud de ce circuit.
- Calculez la résistance totale vue par la source (R_T).
- Calculez l'intensité du courant de source (I_S).
- Calculez la tension aux bornes de R_5 (U_5).
- Calculez la tension aux bornes de R_7 (U_7).
- Calculez l'intensité du courant traversant R_3 et R_2 (I_1).
- Calculez la puissance dissipée par la résistance R_6 (P_6).
- Calculez la puissance totale dissipée.

#23 - Si dans le circuit précédent on remplace la résistance R_7 par un court-circuit, est-ce que la puissance totale dissipée (P_T) va augmenter ou diminuer? Pourquoi?