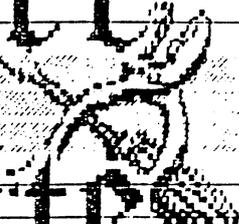


Formulaire
D'electricite



Le courant
Continu

et
Alternatif



RÉSOLUTION DES PROBLÈMES D'ÉLECTROTECHNIQUE

MÉTHODE

1. Lire l'énoncé entièrement pour avoir une idée générale sur le sujet.

2. Relire l'énoncé en effectuant (si possible) un schéma sur lequel on note les données avec les symboles des grandeurs, les valeurs numériques et les unités. Ceci a pour but de concrétiser et de simplifier l'énoncé du problème.

3. Traiter chacune des questions dans l'ordre de l'énoncé. Indiquer d'une façon apparente le numéro ou la nature de la question.

4. Rechercher pour chacune des questions la formule qui contient l'inconnue; le choix s'effectue d'après les données, en indiquant les unités en vérifiant si la formule est bien homogène.

5. Tirer de la formule choisie la valeur cherchée.

6. Indiquer les valeurs connues en convertissant, si nécessaire, les unités données dans l'énoncé.

7. Rechercher les formules qui permettent de trouver les autres inconnues, comme au paragraphe 4.

8. Reporter dans la formule initiale les valeurs données ou déterminées.

9. Effectuer les opérations en ayant soin de bien les disposer pour mieux les vérifier (preuve par 9, par exemple).

• Un calcul sommaire peut donner l'ordre de grandeur du résultat.

• Pour contrôler les résultats on peut refaire le problème en considérant comme donnée la réponse ou en employant, si cela est possible, un autre raisonnement.

10. Encadrer le résultat pour le mettre en évidence; celui-ci doit comporter la grandeur calculée, sa valeur numérique et l'indication de l'unité.

Multiples et sous-multiples décimaux

10 ¹²	Tera	T	1 000 000 000 000	Billion	(Bio.)
10 ⁹	Giga	G	1 000 000 000	Milliard	(Mrd.)
10 ⁶	Mega	M	1 000 000	Million	(Mio.)
10 ³	Kilo	k	1 000	Mille	
10 ²	Hecto	h	100	Cent	
10 ¹	Deca	da	10	Dix	
10 ⁻¹	Deci	d	0,1	Dixième	
10 ⁻²	Centi	c	0,01	Centième	
10 ⁻³	Milli	m	0,001	Millième	
10 ⁻⁶	Micro	μ	0,000 001	Millionnièmes	
10 ⁻⁹	Nano	n	0,000 000 001	Milliardièmes	
10 ⁻¹²	Pico	p	0,000 000 000 001	Billionnièmes	

Alphabète grec

A	α	Alpha	N	ν	Nu
B	β	Beta	Ξ	ξ	Xi
Γ	γ	Gamma	Ο	ο	Omicron
Δ	δ	Delta	Π	π	Pi
Ε	ε	Epsilon	Ρ	ρ	Rho
Z	ζ	Dzéta	Σ	σ-ς	Sigma
H	η	Eta	T	τ	Tau
Θ	θ	Theta	Υ	υ	Upsilon
I	ι	Iota	Φ	φ	Phi
κ	κ	Kappa	X	χ	Chi
Λ	λ	Lambda	Ψ	ψ	Psi
M	μ	Mu	Ω	ω	Omega

Conversions

Unités métriques	m	dm	cm	mm	μm	km
m	1	10	100	1000	1000000	0,001
dm	0,1	1	10	100	100000	0,0001
cm	0,01	0,1	1	10	10000	0,00001
mm	0,0001	0,001	0,01	1	1000	—
μm	0,000001	0,00001	0,00001	0,001	1	—
km	1000	10000	100000	1000000	—	—

Conversions

Unités métriques	m ²	dm ²	cm ²	mm ²	km ²	a	ha
m ²	1	100	10000	1000000	—	0,01	0,0001
dm ²	0,01	1	100	10000	—	0,0001	—
cm ²	0,0001	0,01	1	100	—	—	—
mm ²	—	0,0001	0,01	1	—	—	—
km ²	1000000	—	—	—	1	10000	100
a	100	10000	1000000	—	0,0001	1	0,01
ha	10000	1000000	—	—	0,01	100	1

Puissances nécessaires à certains consommateurs de courant

Allumage	20-40 W
Phares	60 W
Codes	50-55 W
Feux de position	5 W
Stop	18 W
Clignotants	21 W
Phares de recul	25 W
Essuie-glaces	120 W
Moteurs de chauffage ou de ventilation	20-70 W
Moteur de climatisation	...120 W
Chauffe-glace arrière	...120 W
Bougies	100 W
Démarrateur VL	0,8-3 kW

I - COURANT CONTINU

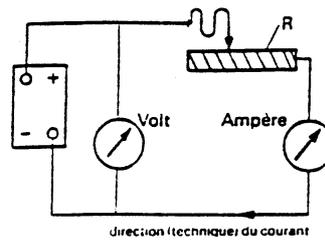
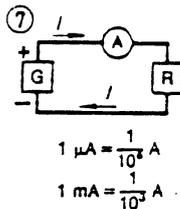
Quantité d'électricité (Q) transportée pendant un temps donné.
 — Unité : coulomb (C). Quantité d'électricité transportée par un courant constant de 1 A pendant 1 s.
 — Unité pratique : ampère-heure (Ah). Quantité d'électricité transportée par un courant constant de 1 A pendant 1 h

$$1Ah = 3600C$$

Intensité du courant (I). Quantité d'électricité débitée par unité de temps (formule 6).
 — Même valeur en tous points d'un circuit.
 — Mesure (fig. 7).
 — Unité : ampère (A). Sous-multiples : milliampère (mA), microampère (μA).

⑥

$I = \frac{Q}{t}$	
A	C
	s
A	Ah
	h



Loi d'Ohm
 Courant continu
 Tension $U = R \cdot I = \text{volts}$
 Courant $I = \frac{U}{R} = \text{ampères}$
 Résistance $R = \frac{U}{I} = \text{ohms}$

Résistance d'un conducteur (R) : formule 8.
 Difficulté plus ou moins grande qu'éprouvent les électrons à circuler à travers les conducteurs. Dans une résistance faible il passera plus d'électrons (forte intensité) que dans une résistance élevée (faible intensité). Unité : ohm (Ω). Sous-multiples et multiple : microhm ($\mu\Omega$), milliohm ($m\Omega$), mégaohm ($M\Omega$).

$1 \mu\Omega = \frac{1}{10^6} \Omega$
 $1 m\Omega = \frac{1}{10^3} \Omega$
 $1 M\Omega = 10^6 \Omega$

⑧

$R = \frac{U}{I}$	
Ω	$\frac{V}{A}$

L'ohm est la résistance d'un conducteur qui est parcouru par un courant de 1 A lorsqu'il existe entre ses bornes une d.d.p. de 1 V

— La résistance d'un conducteur dépend de ses dimensions et de sa nature (formule 1). ρ : résistivité (facteur caractéristique du matériau conducteur).

Unités pratiques : R en Ω ; ρ en $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$; l en m, S en mm^2 .
 — Résistivité : résistance d'un échantillon de conducteur ayant l'unité de section et l'unité de longueur.

Résistivité de quelques corps : tableau 2.
 — Variation de la résistivité avec la température : formule 3.
 ρ_θ et ρ_0 résistivités à θ et $0^\circ C$; α : coefficient de température caractérisant le matériau (tableau 4).
 Il s'ensuit une variation de la résistance électrique :
 $R_\theta = R_0(1 + \alpha \theta)$.

Loi d'Ohm (fig. 5 et formule 6).
 Appliquée à un conducteur ou à un récepteur fournissant uniquement de l'énergie thermique. Elle exprime la proportionnalité de l'intensité du courant à la d.d.p. entre les extrémités d'un élément de circuit qui n'est le siège d'aucune force électromotrice (f.e.m.). La formule 7 permet de calculer (ou mesurer) des résistances; la formule 8, l'intensité du courant absorbée par un appareil.

①

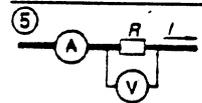
$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$		
Ω	$\Omega \text{ m}^2/\text{m}$	$\frac{\text{m}}{\text{m}^2}$
Ω	$\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$	$\frac{\text{m}}{\text{mm}^2}$
$\mu\Omega$	$\mu\Omega \text{ cm}^2/\text{cm}$	$\frac{\text{cm}}{\text{cm}^2}$

②

Matériaux à $0^\circ C$	μ en $\frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{mm}}$
Argent	0,015
Cuivre ind.	0,016
Aluminium	0,025
Fer	0,10
Maillechort	0,30
Constantan	0,50
RNC1 (Ni 35% Cr 10%, Fe 55%)	1
SO_2, H_2 à $25^\circ B$	$1,36 \cdot 10^8$
Papier	$0,50 \cdot 10^8$
Vers	$0,90 \cdot 10^8$

④

Matériaux	α
Cuivre, Alu	0,004
Fer	0,006
Ferro-Nickel	0,0009
Constantan	0
Carbone	-0,0007



⑥

$U = R \cdot I$		
V	Ω	A

⑦

$R = \frac{U}{I}$		
-------------------	--	--

⑧

$I = \frac{U}{R}$		
-------------------	--	--

③ $\rho_\theta = \rho_0(1 + \alpha_\rho \theta)$

Effet thermique du courant.
 Quand on établit une d.d.p. aux extrémités d'un conducteur, l'énergie communiquée aux électrons est plus grande. Dans leur déplacement, les électrons heurtent violemment des atomes. Les chocs provoquent un dégagement de chaleur.

— Loi de Joule. Énergie thermique W mise en jeu dans une portion de circuit pendant un temps déterminé t (formules 1 et 2). Le wattheure (Wh) est l'énergie mise en jeu pendant 1 heure par une puissance d'un watt; il vaut 3600 joules.

— Puissance des récepteurs thermiques. La puissance dégagée sous forme de chaleur dans un conducteur est donnée par les formules 3, 4 et 5.

— Quantité de chaleur dégagée dans un conducteur. On exprime souvent l'énergie produite dans un conducteur par le passage du courant à l'aide de l'ancienne unité : calorie (ou microthermie) et son multiple kilocalorie (ou milithermie). Ancienne formule : formule 6. La milithermie est la quantité de chaleur capable d'élever de $1^\circ C$ la température de 1 kg d'eau.

4,18 joules transformés en chaleur produisent 1 μth , donc $J = \frac{1}{4,18} = 0,24 \mu\text{th}$.

— Densité de courant J : intensité du courant par unité de section (formule 7).

— Conséquences de l'effet thermique : effets utiles (chauffage, éclairage par incandescence, protection par fusibles); effets nuisibles (diminution du rendement des machines et des lignes de transport).

①

$W = R \cdot I^2 \cdot t$			
J	Ω	A	s

②

$W = U \cdot I \cdot t$			
Wh	V	A	h

③

$P = U \cdot I$		
W	V	A

④

$P = R \cdot I^2$		
W	Ω	A

⑤

$P = \frac{U^2}{R}$	
W	$\frac{V}{\Omega}$

⑥

$q = 0,24 \cdot R \cdot I^2 \cdot t$		
μth ou cal	Ω	A s

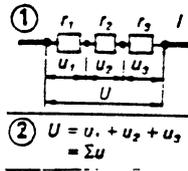
$1\text{th} = 10^3 \text{mth} = 10^6 \mu\text{th}$
 $1\text{mth} = 1\text{kcal} = 10^3 \text{cal}$

⑦

$J = \frac{I}{s}$	
A/mm^2	$\frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$

Groupement des résistances en série.

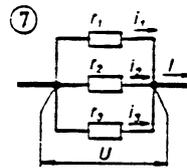
- Résistances montées les unes à la suite des autres (fig. 1).
 — Intensité I : la même intensité traverse les résistances.
 D.d.p. U (formule 2).
 — Résistance du groupement R ou résistance équivalente : (formule 3).
 — Puissance absorbée par le groupement P (formules 4).
 — Cas de n résistances identiques r : (formules 5).
 — Utilisations : lampes montées en série (mètre), rhéostat de réglage à curseur ou à plots, boîte de résistances, résistances additionnelles.



$$\begin{aligned} \textcircled{3} \quad R &= r_1 + r_2 + r_3 \\ &= \Sigma r \\ \textcircled{4} \quad P &= u_1 I + u_2 I + u_3 I \\ &= \Sigma u I = UI \\ P &= \Sigma r I^2 = RI^2 = \frac{U^2}{R} \\ \textcircled{5} \quad U &= un \\ R &= nr \\ P &= pn = uIn \end{aligned}$$

Groupement des résistances en parallèle (ou en dérivation).

- Extrémités des résistances réunies à deux mêmes points (fig. 7).
 — D.d.p. U : la d.d.p. aux bornes du groupement est la même que celle qui existe entre les extrémités de chaque résistance.
 — Intensité I : (formule 8).
 — Résistance du groupement R : l'inverse de la résistance équivalente $1/R$ est égale à la somme des inverses des résistances de chaque dérivation (formule 9).
 — Puissance absorbée par le groupement P (formule 10).
 — Cas de n résistances identiques r (formules 11).
 — Cas de deux résistances r_1, r_2 montées en dérivation (formules 12).
 — Utilisations : lampes montées en dérivation, shunt d'ampèremètre.

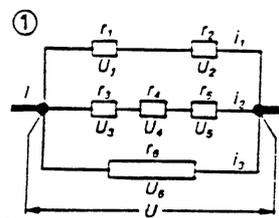


$$\begin{aligned} \textcircled{10} \quad P &= UI_1 + UI_2 + UI_3 \\ &= \Sigma iU = UI \\ \textcircled{11} \quad R &= \frac{r}{n} \\ I &= in \\ P &= pn = rin \\ \textcircled{12} \quad R &= \frac{r_1 \times r_2}{r_1 + r_2} \\ i_1 &= I \frac{r_2}{r_1 + r_2} \\ i_2 &= I \frac{r_1}{r_1 + r_2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{8} \quad I &= i_1 + i_2 + i_3 \\ &= \Sigma i \\ \textcircled{9} \quad \frac{1}{R} &= \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \\ &= \Sigma \frac{1}{r} \end{aligned}$$

Groupement des résistances en série-parallèle (mixte). Combinaison des deux groupements précédents (fig. 1).

- Intensité I (formule 2).
 — D.d.p. U (formule 3).
 — Résistance du groupement R (formule 4).
 — Cas de m dérivation comprenant chacune n résistances en série de même valeur r (formules 5).
 — Utilisations : résistances de montage de mesures, postes radio, etc.



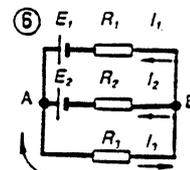
$$\begin{aligned} \textcircled{2} \quad I &= i_1 + i_2 + i_3 \\ &= \Sigma i \\ \textcircled{3} \quad U &= u_1 + u_2 = u_3 + u_4 + u_5 \\ &= u_6 \\ \textcircled{4} \quad \frac{1}{R} &= \frac{1}{r_1 + r_2} + \frac{1}{r_3 + r_4 + r_5} + \frac{1}{r_6} \\ \textcircled{5} \quad U &= un \\ I &= im \\ R &= \frac{m}{n} \end{aligned}$$

Lois de Kirchhoff appliquées aux circuits complexes (fig. 6).

- Réseau : ensemble de conducteurs, générateurs et récepteurs reliés entre eux de façon quelconque.
 — Sommet ou nœud : point où aboutissent plusieurs conducteurs. Exemple : A-B.
 — Élément de circuit ou branche : portion de circuit comprise entre deux sommets. Exemple : AE, R, B - AR, B.
 — Contour fermé ou maille : circuit fermé constitué par un ensemble de branches. Exemple : AE, R, BR, E, A.
 — 1^{re} loi : loi des sommets ou des nœuds : (formule 7). La somme algébrique des courants qui aboutissent à un nœud d'un réseau est nulle.
 — 2^e loi : loi des mailles ou des contours fermés : (formule 8). La somme algébrique des f.e.m. dans un circuit fermé est égale à la somme algébrique des chutes de tension dues aux résistances.

Conventions.

- 1^{re} loi : sens arbitraire des courants, se dirigeant vers le sommet (+ I), s'éloignant du sommet (- I).
 Exemple (fig. 9) : $I_4 + I_3 - I_1 - I_2 = 0$.
 2^e loi : sens de parcours : \curvearrowright par exemple. F.e.m. ou f.c.e.m. considérées comme positives si elles augmentent le potentiel dans le sens du parcours et négatives dans le cas contraire.
 RI : même sens que I . Les intensités sont considérées comme positives si elles se dirigent dans le sens du parcours et négatives dans le cas contraire.
 Exemple (fig. 10) : $-E_1 + E_2 = -R_1 I_1 + R_2 I_2$
 Si le courant trouvé est positif, il passe effectivement dans le sens arbitrairement choisi. S'il est négatif, il passe en sens inverse du sens choisi.



$$\begin{aligned} \textcircled{7} \quad \Sigma I &= 0 \\ \textcircled{8} \quad \Sigma E &= \Sigma RI \\ \textcircled{9} \quad I_1 &+ I_2 \\ &- I_3 - I_4 \\ \textcircled{10} \quad E_1 &- E_2 = -R_1 I_1 + R_2 I_2 \end{aligned}$$

III - COURANT CONTINU

Loi d'Ohm généralisée.

— circuit comprenant un générateur et un récepteur développant une f.c.e.m. (fig. 1, formules 2).

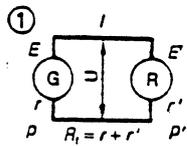
D'après le principe de la conservation des puissances :

$$P_i = P'_u + p' + p, \text{ soit : } EI = EI + rR + rR$$

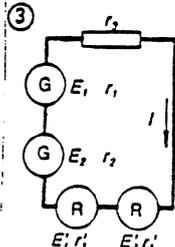
d'où, en divisant tous les membres par I :

$$E = E' + rI + rI = E' + R_i I$$

— circuit comprenant des générateurs, des récepteurs uniquement thermiques et des récepteurs développant une f.c.e.m. (fig. 3, formules 4).



② $E = E' + R_i I$
 $I = \frac{E - E'}{R_i}$



④ $\Sigma E = \Sigma R I$
 $R = r_1 + r_2 + r_1' + r_2' + r_3$
 $I = \frac{\Sigma E}{\Sigma R}$

Générateurs électriques.

— F.e.m. E : force qui fait mouvoir les électrons. C'est la tension mesurée aux bornes d'un générateur à circuit ouvert (fig. 7 et formule 9).

— D.d.p. U : tension mesurée aux bornes d'un générateur à circuit fermé (formule 10).

— Chute de tension ou perte de charge u (formule 8).

r représente la résistance intérieure du générateur. En remplaçant U par $R I$ dans la formule 9 on obtient la formule 11, d'où l'on tire la formule 12. Si le générateur est en court-circuit, $I_{\infty} = \frac{E}{r}$.

— Puissance électrique totale mise en jeu (ou développée) P_i (formule 13).

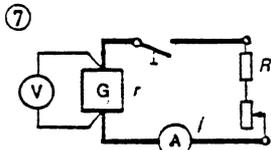
— Puissance électrique mise en jeu dans le circuit extérieur (ou utile) P_u (formule 14).

— Puissance perdue p (formule 15).

— Rendement électrique η_e (formule 16).

— Rendement industriel η_i (formule 17).

P_i : puissance fournie au générateur.



E : circuit ouvert.
 U : circuit fermé.

- ⑧ $u = E - U = r I$
- ⑨ $E = U + r I$
- ⑩ $U = E - r I$
- ⑪ $E = (R + r) I$
- ⑫ $I = \frac{E}{R + r}$
- ⑬ $P_i = E I$
- ⑭ $P_u = U I = R I^2$
- ⑮ $p = P_i - P_u = r I^2$
- ⑯ $\eta_e = \frac{P_u}{P_i} = \frac{U}{E}$
- ⑰ $\eta_i = \frac{P_u}{P_i}$

Récepteurs électriques (fig. 1).

— F.c.e.m. E' : force électromotrice s'opposant à la tension d'alimentation U' .

— Chute de tension u' (formules 2 et 3).

— Loi d'Ohm appliquée à un récepteur développant une f.c.e.m. E' (formule 4).

U' : tension d'alimentation, r' : résistance intérieure.

— Intensité du courant absorbé (formule 5).

Si $E' = 0$ (moteur à l'arrêt), $I = \frac{U'}{r'}$ est très élevée.

— Puissance électrique totale fournie au récepteur par la source P'_i (formule 6).

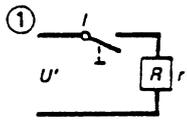
— Puissance électrique utile restituée par le récepteur P'_u (formule 7).

— Puissance électrique perdue p' (formule 8).

— Rendement électrique η'_e (formule 9).

— Rendement industriel η'_i (formule 10).

P'_i : puissance fournie par le récepteur.



- ② $u' = r' I$
- ③ $U' - E' = r' I$
- ④ $U' = E' + r' I$
- ⑤ $I = \frac{U' - E'}{r'}$
- ⑥ $P'_i = U' I$
- ⑦ $P'_u = E' I$
- ⑧ $p' = P'_i - P'_u = r' I^2$
- ⑨ $\eta'_e = \frac{P'_u}{P'_i} = \frac{E'}{U'}$
- ⑩ $\eta'_i = \frac{P'_u}{P'_i}$

Groupement des générateurs et des récepteurs ayant la même f.e.m. (ou f.c.e.m.) et la même résistance.

Mode de groupement	Schémas	I	E	r_i
Série	n en série	I	$e \times n$	$r \times n$
Dérivation	n dérivation	$i \times n$	e	$\frac{r}{n}$
Mixte	n_1 en série n_2 dérivation	$i \times n_2$	$e \times n_1$	$\frac{r \times n_1}{n_2}$

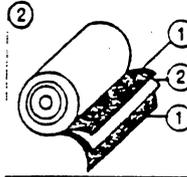
IV - ÉLECTROSTATIQUE

5

Constitution générale. Un condensateur est généralement constitué :

- de deux conducteurs métalliques, ou *armatures*, de grande surface ;
- d'une mince couche isolante d'épaisseur constante, les séparant, ou *diélectrique* : air, huile, papier, mica, céramique.

Fig. 2 : exemple d'un condensateur au papier constitué de deux longues feuilles d'aluminium (1) séparées par une bande de papier paraffiné (2). L'ensemble est enroulé afin de réduire l'encombrement.



Charge. Deux armatures d'un condensateur sont reliées, l'une au pôle + d'un générateur, l'autre au pôle - (terre). La première se recouvre uniformément de charges + dont la somme est +Q et la deuxième, sous l'influence des charges précédentes, de charges - dont la somme est -Q. La quantité d'électricité Q est appelée *charge du condensateur*.

Décharge. Phénomène par lequel les charges opposées de deux armatures se neutralisent partiellement ou totalement.

Rigidité diélectrique. C'est la propriété d'une diélectrique de s'opposer à la décharge disruptive. Si le champ électrique est très intense le diélectrique peut devenir conducteur : le condensateur, hors d'usage, est dit *claqué* (décharge disruptive).

Tableau 3 : valeur de la rigidité en V/m de quelques matériaux isolants. Lorsque le champ dépasse ces valeurs une étincelle conductrice réunit les armatures et les décharges.

Matériaux	V/m
Air sec	$3 \cdot 10^6$
Porcelaine	$8 \cdot 10^6$
Papier paraffiné	$20 \cdot 10^6$
Verr	$50 \cdot 10^6$
Alumine	$60 \cdot 10^6$
Mica	$100 \cdot 10^6$

Capacité. La charge Q est proportionnelle à U. Le facteur de proportionnalité C caractérise le condensateur ; il mesure son aptitude à condenser l'électricité pour une d.d.p. donnée (formule 4).

- Unité : farad (F).
- Sous-multiples : microfarad (μF), $1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$; nanofarad (nF), $1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$; picofarad (pF), $1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$.

Énergies mises en réserve dans un conducteur : formule 5.

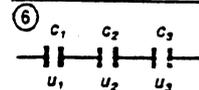
Pertes diélectriques : elles représentent l'énergie transformée en chaleur dans un diélectrique soumis à un champ électrique variable.

Couplages : en série (fig. 6), en parallèle (fig. 7).

5

$$W = \frac{1}{2} C \cdot U^2$$

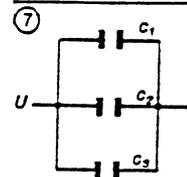
J	F	V
---	---	---



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Si même capacité :

$$C = \frac{C}{n}$$



$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

4

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

F	C
	V

V - ÉLECTROMAGNÉTISME

Champ d'induction au centre d'une bobine longue : B (formule 5)

- B : en tesla.
- N : nombre de spires.
- I : intensité du courant en ampères.
- l : longueur de la bobine en mètres.
- μ : perméabilité magnétique dépendant du milieu (pour l'air $\mu = 1$).
- $\frac{N}{l} = N_l$, = nombre de spires par mètre.

$N_l I$: nombre d'ampères-tours par mètre (At/m).

Le tesla est le champ d'induction au centre d'une bobine électrique infiniment longue baignée dans un milieu de perméabilité unité et portant 1 ampère-tour par mètre. 1 T vaut 1 Wb/m^2 .

Flux magnétique : Φ (formule 6)

- Φ : en weber.
- B_n : composante du champ B normale à la surface S, en tesla.
- S : aire en mètres carrés.

Le weber est le flux magnétique qui, traversant un circuit d'une seule spire, y produit une f. e. m. de 1 V si on l'amène à la valeur 0 en 1 s, par décroissance uniforme.

— Valeur de la f. e. m. induite : (formule 8).

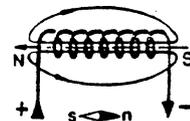
- $\Delta\Phi$: variation du flux.
- Δt : durée de cette variation.

— Sens du courant induit. Loi de Lenz. Le courant induit est de sens tel que le flux qu'il produit s'oppose à la variation du flux inducteur qui lui donne naissance.

5

$$B = \frac{4\pi}{10^7} \frac{NI\mu}{l}$$

T		$\frac{\text{A}}{\text{m}}$
---	--	-----------------------------



6

$$\Phi = B_n \cdot S$$

Wb	T	m^2
----	---	--------------



8

$$E = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

V	$\frac{\text{Wb}}{\text{s}}$
---	------------------------------

— **Création d'une f.e.m.** à l'aide d'un conducteur coupant un flux.
 Fig. 1. Un flux uniforme est donné par un aimant NS. Un conducteur *ab* se déplace et coupe perpendiculairement ce flux. Il y a création d'une f.e.m. induite dans le conducteur. Si le déplacement se faisait parallèlement au flux il n'y aurait pas de f.e.m. induite.

• **Sens** : dépend du sens du déplacement du conducteur par rapport au flux. Règle des trois doigts de la main gauche : (fig. 2). Sens du courant dans le conducteur *ab* : (fig. 3).

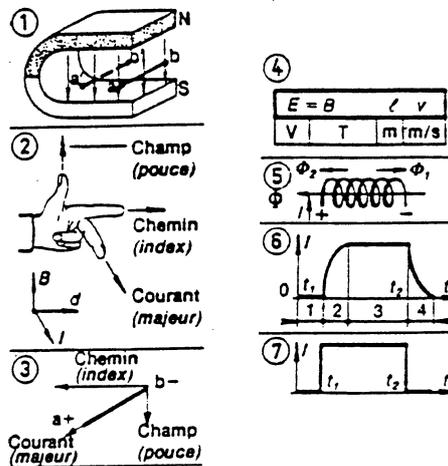
• **Valeur** : (formule 4).

B : Induction magnétique.
ℓ : longueur du conducteur.
v : vitesse de déplacement du conducteur.

Autoinduction.

Induction produite par un courant dans son propre circuit. La variation de l'intensité du courant qui circule dans une bobine provoque dans celle-ci une f.e.m. d'autoinduction.

Fig. 5 : Le courant *I* produit un flux $\phi \rightarrow$. A la fermeture du circuit, ϕ passe de 0 au maximum. Une f.e.m. est induite; elle s'oppose à l'établissement du courant (loi de Lenz) : période 2 (fig. 6), ϕ_1 (fig. 5). A l'ouverture du circuit ϕ passe du maximum à 0. Une f.e.m. est à nouveau induite; elle s'oppose à la suppression du courant : période 4. ϕ_2
 Dans un circuit sans inductance la variation de l'intensité est représentée par la figure 7.



Valeur de la f.e.m. d'autoinduction : (formule 8).

L : inductance du circuit électrique. Henry (H) : unité d'inductance. Inductance d'un circuit dans lequel une variation de 1 A en 1 s produit une f.e.m. de 1 V.

$$\phi = LI$$

avec ϕ en wéber, *L* en henry et *I* en ampère.

Courants de Foucault. Courants induits prenant naissance dans toute partie métallique placée dans un champ d'induction variable.

— **Nuisibles** dans les machines électriques où ils produisent un échauffement : diminution des inconvénients en feuilletant le métal parallèlement aux lignes d'induction ou en choisissant un matériau moins conducteur.

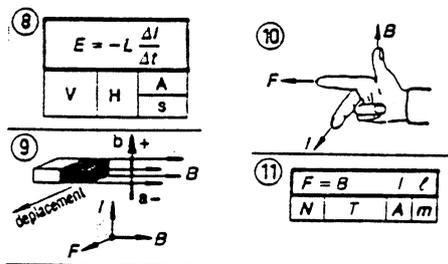
— **Utiles** dans certaines applications : amortissement des oscillations, freinage, fours à induction.

Forces magnétomotrices *F*.

Un conducteur *ab* (fig. 9) parcouru par un courant *I* et soumis à un champ d'induction magnétique *B*, dont les lignes de force lui sont perpendiculaires, subit une action qui tend à le déplacer.

— **Sens du déplacement** : règle des trois doigts de la main droite (fig. 10).

— **Valeur** (formule 11).



Energie emmagasinée

L'énergie emmagasinée dans une inductance est donnée par la relation :

$$W = \frac{1}{2} L I^2$$

W = énergie (en joules)
L = inductance de la bobine (en henrys)
I = courant traversant la bobine (en ampères).

1 - MACHINES ÉLECTRIQUES

1. MACHINES À COURANT ALTERNATIF

1.1. Générateurs synchrones (alternateurs).

Grandeurs caractéristiques.

- F.e.m. : (formule 5). N : nombre de conducteurs induits. n : nombre de tours par seconde. Φ : flux produit par un pôle. p : nombre de paires de pôles. k : coefficient de Kapp.
- Fréquence : (formule 6).

Un alternateur est caractérisé par sa puissance apparente S (sous tension constante, son débit en A est limité par l'élévation de température acceptable). La plaque signalétique comporte : nom du constructeur, type, numéro, puissance en VA ou kVA, fréquence, tension, nombre de phases, nombre de tours par minute, intensité, nature du service et caractéristiques d'excitation (tension, intensité).

Caractéristiques de fonctionnement.

- Caractéristique à vide : $E = f(i)$ pour $n = c^1$ (fig. 7).
- Caractéristique en charge : $U = f(I)$ pour i, n et $\cos \varphi$ constants (fig. 7).
- Chute de tension : $E - U$.
- Chute de tension relative : $\frac{E - U}{E}$.

Réglage de la tension : emploi d'un rhéostat d'excitation permettant de régler i (fig. 8).

⑤ $E = kpN n \Phi$

V		tr/s	Wb
---	--	------	----

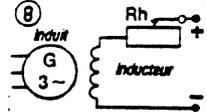
⑥ $f = p n$

Hz		tr/s
----	--	------

⑦ $E = f(i)$ $U = f(I)$

$n, i, \cos \varphi$
 $n = C^1$ $= C^2$

⑧



1.2. Moteurs.

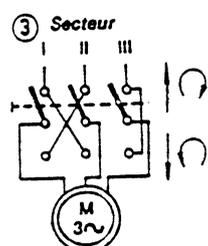
Grandeurs caractéristiques.

- **Sens de rotation.** L'inversion s'obtient en intervertissant deux fils d'alimentation (fig. 3).
- **Vitesse de rotation n' :** mesurée au tachymètre. Dépend du nombre de pôles du moteur et de la fréquence du réseau. La vitesse du rotor n' est légèrement inférieure à celle du synchronisme n .
- **Glisement g** (formule 4).
- **Puissance absorbée P** (formule 5).
- **Puissance mécanique sur l'arbre P_m** (formule 6).
 M : moment du couple.
- **Intensité, I_0** (à vide) est surtout réactive (déphasage très grand). Au démarrage le moteur se comporte comme un transformateur. A mesure que le moteur tourne plus vite, $n - n'$ diminue, I rotor décroît, entraînant une diminution de I stator.
- **Couple M .** Variation avec la vitesse : (caractéristique 7).
 M_n : couple en marche normale, en charge. M_d : couple au démarrage. M_m : couple maximum. Si la charge devient trop grande, le moteur s'arrête : il cale.
- **Rendement η** (formule 8 et caractéristique 9). Pertes totales $P - P_m$ = pertes constantes (mécaniques, frottement, magnétiques, hystérésis et courants de Foucault) + pertes croissant avec la charge (pertes par effet Joule dans les enroulements).
- **Facteur de puissance.** Variation du $\cos \varphi$ avec la charge (ou P_m) : (caractéristique 1).

— Démarrage des moteurs à cage. L'intensité absorbée par un moteur au démarrage, I_d , est un inconvénient (chutes de tension, surintensités en ligne). Les secteurs interdisent le démarrage direct des moteurs à cage de plus de 4000 W. La diminution de I_d se fait en réduisant la tension appliquée au moteur au moment de sa mise en route.

• **Démarrage $\lambda\Delta$.** Couplage du stator en λ pendant la période de démarrage pour obtenir aux bornes de chaque enroulement une tension réduite ($U/\sqrt{3}$). L'intensité est trois fois plus petite qu'en Δ (formule 2). Lorsque le moteur est sur le point d'atteindre sa vitesse de régime, on effectue le couplage Δ . Ce procédé n'est applicable qu'avec un moteur dont la tension aux bornes de chaque enroulement correspond à celle du secteur.

③ Secteur



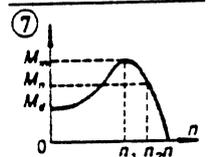
④ $g = \frac{n - n'}{n}$

⑤ $P = UI \sqrt{3} \cos \varphi$

⑥ $P_m = UI \sqrt{3} \cos \varphi$

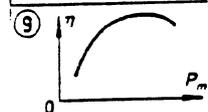
P_m	=	$2\pi n$	M
W		tr/s	N-m

⑦

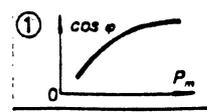


⑧ $\eta = \frac{P_m}{P}$

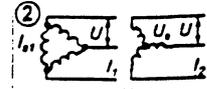
⑨



① $\cos \varphi$



②



$I_1 = I_2 \sqrt{3} = \frac{U}{Z} \sqrt{3}$

$I_2 = \frac{U}{Z} = \frac{U}{Z\sqrt{3}}$

d'où $\frac{I_1}{I_2} = \frac{U\sqrt{3}Z\sqrt{3}}{2U} = 3$

et $I_2 = \frac{I_1}{3}$

1. COURANT ALTERNATIF SIMPLE OU MONOPHASÉ

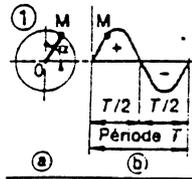
Courant alternatif sinusoïdal. Courant variant périodiquement en s'inversant; courbe se rapprochant d'une sinusoïde.

Cycle. Ensemble des états ou des valeurs par lesquels passe un phénomène ou une fonction périodique avant de se reproduire identiquement.

Représentation cinématique ou vectorielle (fig. 1a), géométrique ou graphique (fig. 1b) : OM amplitude, α phase à l'instant t .

Amplitude. Valeur maximale prise par la fonction.

Période T . Intervalle de temps constant qui sépare deux époques auxquelles la courbe passe par la même valeur et cela dans le même sens.

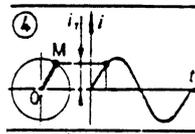


②

$f = \frac{1}{T}$
Hz
s

③

$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$
rad/s
Hz
s



⑥

$$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$E_{eff} = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}}$$

Valeur efficace. Valeur que devrait avoir un courant continu pour dépenser, dans une même résistance pure, la même énergie ou chaleur pendant chaque période (valeur utilisée couramment, sauf spécification contraire) (formule 6). Désignation habituelle : I, E, U .

Valeur moyenne. Moyenne de toutes les valeurs que la grandeur prend pendant une période.

Valeur de crête. Maximum des valeurs que prend la grandeur dans un certain intervalle.

Remarque. Lorsque les électrons se déplacent toujours dans le même sens, le courant est continu.

Lorsque le déplacement des électrons s'effectue tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, le courant est dit alternatif. Le courant alternatif est produit par des générateurs électromécaniques (alternateurs).

Pour un courant alternatif de fréquence 50 Hz, les électrons se déplacent dans un sens pendant $1/100^e$ de seconde, s'arrêtent, se déplacent en sens inverse pendant $1/100^e$ de seconde, s'arrêtent, et ainsi de suite.

Alternance. Demi-période $T/2$.

Fréquence f . Nombre de périodes par seconde; inverse de la période (formule 2). Unité : Hertz (Hz).

Fréquence standard des secteurs français : 50 Hz.

Bande de fréquence. Ensemble des fréquences comprises entre deux limites.

Pulsation ω ou vitesse angulaire (formule 3). Unité : radian par seconde (rad/s).

Valeur instantanée (i, e). Valeur de la grandeur variable à un instant donné (variable avec le temps) : i_t (fig. 4).

Valeur maximale. (I_{max}, E_{max}). Amplitude de la grandeur (indépendante du temps) : i_m (fig. 5).

1.1 Circuits parcourus par un courant alternatif

Circuit résistif (ni inductance, ni capacité) (fig. 1, diagramme 2, formules 3). R : résistance non inductive (pure). Les variations de U et I se produisent en même temps. Leurs maxima, leurs zéros et leurs minima ont lieu au même moment.

U et I sont en phase.

Circuit seulement inductif : (R négligeable, pas de capacité) : (fig. 4, diagramme 5, formules 6). X_L : réactance d'induction. L : inductance ou coefficient de self-induction en Henry (H).

Les maxima et minima de U et I n'ont pas lieu au même moment : U et I sont déphasés. La valeur du déphasage est mesurée par l'angle φ exprimé généralement en radians, ou en degrés.

Fig. 7 : tableau de concordance de quelques angles remarquables.

Circuit comprenant seulement un condensateur (R et L négligeables), (fig. 8, diagramme 9, formules 10).

X_C : réactance de capacité ou capacitance. C : capacité du condensateur.

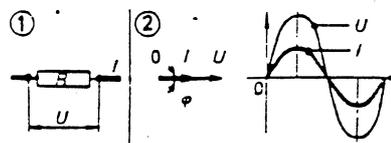
Circuit comprenant une résistance et une inductance en série, ou résistance inductive (fig. 11).

Diagramme (fig. 12). Construction :

- Origine des phases I ;
- $U_1 = RI$ en phase avec I ;
- $U_2 = L\omega I$ déphasé de $\frac{\pi}{2}$ en avance sur I ;
- $\bar{U} = \bar{U}_1 + \bar{U}_2$

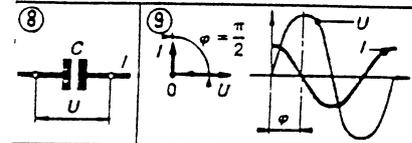
⑦

radian	2π	$\frac{3\pi}{2}$	π	$\frac{2\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{4}$
degré	360	270	180	120	90	60	45



③

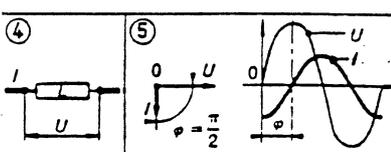
$I = \frac{U}{R}$	$\varphi = 0$
A	V
	Ω



⑩

$I = \frac{U}{\frac{1}{C\omega}} = UC\omega$	$\varphi = \frac{\pi}{2}$
A	V
Ω	rad/s

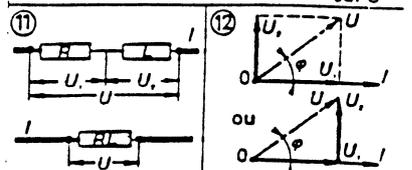
$X_C = \frac{1}{C\omega}$ déphasée en avance sur U



⑤

$I = \frac{U}{L\omega}$	$\varphi = \frac{\pi}{2}$
A	V
Ω	H rad/s

$X_L = L\omega$ I déphasée en arrière sur U



⑬

$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + L^2\omega^2}}$	$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$
A	V
Ω	

$Z = \sqrt{R^2 + L^2\omega^2}$

$\frac{Z}{L\omega}$ REACTANCE X

$\frac{Z}{R}$ RÉACTANCE R

3 - COURANT ALTERNATIF

2. COURANT ALTERNATIF POLYPHASÉ

2.1. Triphasé.

Système de trois grandeurs sinusoïdales de même valeur efficace et déphasées l'une par rapport à l'autre de $\frac{2\pi}{3}$ ou 120° (fig. 1).

A chaque instant la somme des intensités des trois courants triphasés égaux est nulle (formule 2).

Montage étoilé Λ : système de trois phases dont l'une des extrémités est réunie en un point commun (*neutre*), les autres étant raccordées aux fils de ligne (figures 3-4).

L'intensité dans chaque conducteur de ligne est égale à l'intensité qui circule dans chaque phase. Si les phases sont chargées également, l'intensité du courant dans le conducteur neutre est nulle. Ce dernier peut être supprimé, d'où système à 3 ou 4 conducteurs.

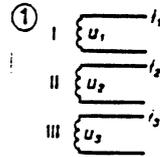
Formule 5 : U tension entre phases (composée).

U_s tension entre phase et neutre (simple).

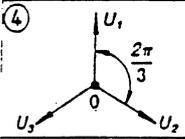
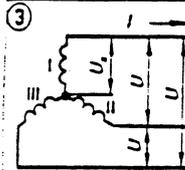
Montage triangle Δ : système de trois phases réunies en série et dont chaque connexion est reliée à un conducteur de ligne (fig. 6-7).

Intensité composée : (formule 8).

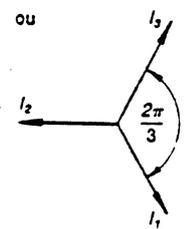
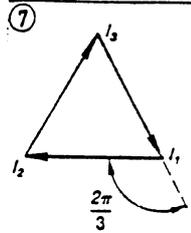
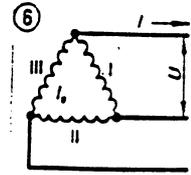
Tension de la ligne identique à la tension entre phases.



② $i_1 + i_2 + i_3 = 0$



⑤ $U = U_s \sqrt{3}$



⑧ $I = I_s \sqrt{3}$

1.2. Composantes d'un courant.

Le courant I passant dans une portion de circuit peut être considéré comme la résultante de deux autres : l'un I_1 , en concordance de phase avec la tension, l'autre I_2 en quadrature (fig. 1).

I_1 : composante active;

I_2 : composante réactive (formules 2).

Cas de plusieurs récepteurs montés en dérivation (formule 3).

1.3. Composantes d'une puissance.

Puissance apparente S (fig. 4 et formule 5). Résultante des puissances P et Q .

Puissance active (réelle ou wattée) P : puissance agissant effectivement dans une portion de circuit (formule 6). $\cos \varphi$: cosinus de l'angle de déphasage formé par U et I .

Puissance réactive (magnétique ou déwattée) Q (formule 7).

Facteur de puissance, ou $\cos \varphi$: rapport de la puissance active à la puissance apparente (nombre abstrait compris entre 0 et 1) (formule 8).

Relations entre puissances (formule 9).

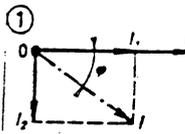
Cas de plusieurs récepteurs (formule 10).

S peut se déterminer à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre;

P , à l'aide d'un wattmètre actif;

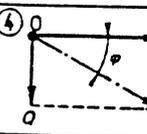
Q , à l'aide d'un wattmètre réactif;

$\cos \varphi$, à l'aide d'un phasemètre.



② $I_1 = I \cos \varphi$
 $I_2 = I \sin \varphi$
 $I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2}$

③ $I = \sqrt{\Sigma I_1^2 + \Sigma I_2^2}$



⑤

$S = U I$
VA V A

⑥

$P = U I \cos \varphi$
W V A

⑦

$Q = U I \sin \varphi$
var V A

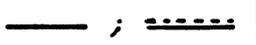
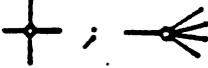
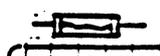
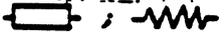
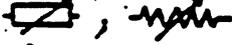
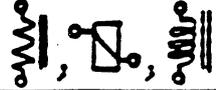
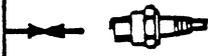
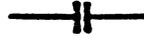
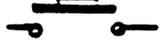
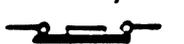
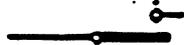
⑧

$\cos \varphi = \frac{P}{S}$
W VA

⑨ $P = S \cos \varphi$
 $Q = S \sin \varphi$
 $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

⑩ $S = \sqrt{\Sigma P^2 + \Sigma Q^2}$

LA SYMBOLISATION ELECTRIQUE

Symbole	Désignation	Symbole	Désignation
     	<p>Accumulateur au plomb</p> <p>Batterie d'accumulateurs</p> <p>Courant continu</p> <p>Courant alternatif</p> <p>Borne</p> <p>Masse</p>	       	<p>Lampe à filament</p> <p>Lampe témoin</p> <p>Projecteur parabolique</p> <p>Bloc d'éclairage</p> <p>Moteur électrique</p> <p>Moto-ventilateur</p> <p>Avertisseur</p> <p>Haut parleur</p>
          	<p>Conducteur simple</p> <p>Conducteur multiple</p> <p>Faisceau</p> <p>Croisement de conducteurs</p> <p>Borne de dérivation</p> <p>Connexion</p> <p>Fusible</p> <p>Boîte à fusible</p> <p>Résistance</p> <p>Résistance variable</p> <p>Bobine d'induction</p>	    	<p>Eclateurs</p> <p>Condensateur</p> <p>Diode</p> <p>Transistor</p> <p>Thyristor</p>
       	<p>Interrupteur</p> <p>Contacteur de fermeture</p> <p>Contacteur d'ouverture</p> <p>Inverseur</p> <p>Contacteur 2 fonctions à point milieu</p> <p>Contacteur stop</p> <p>Relais électromagnétique</p> <p>Commutateurs multifonctions</p>	  	<p>Ampèremètre</p> <p>Voltmètre</p> <p>Ohmètre</p>
		<p>I</p> <p>U</p> <p>P</p> <p>R</p> <p>Φ</p>	<p>Intensité (Ampère)</p> <p>Tension (Volt)</p> <p>Puissance (Watt)</p> <p>Résistance (ohm)</p> <p>Flux (Wéber)</p>
			<p>$P = U \cdot I$</p> <p>$U = R \cdot I$</p> <p>$\Phi = k \cdot I$</p>