

PHYSIQUE APPLIQUEE

1ère STI

TABLE DES MATIÈRES

LOIS FONDAMENTALES DU COURANT CONTINU	6
I. LE COURANT ÉLECTRIQUE.....	6
1. Circuit électrique.....	6
2. Nature microscopique du courant électrique.....	7
3. Sens conventionnel du courant électrique.....	7
4. Intensité du courant électrique continu.....	7
5. Mesure de l'intensité d'un courant électrique.....	7
6. Algébrisation.....	7
7. Loi des nœuds.....	8
II. LA TENSION ÉLECTRIQUE.....	8
1. Notion de tension électrique.....	8
2. Mesure d'une tension électrique.....	9
3. Algébrisation.....	9
4. Loi des mailles.....	9
III. LA PUISSANCE ÉLECTRIQUE.....	10
1. Puissance et énergie électrique échangé.....	10
2. Dipôle générateur – dipôle récepteur.....	10
LOI D'OHM ET ASSOCIATION DE DIPÔLES	11
I. LOI D'OHM POUR UN CONDUCTEUR OHMIQUE.....	11
I.1. Loi d'ohm.....	11
I.2. Puissance dissipé dans un conducteur ohmique.....	11
II. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES D'UN CONDUCTEUR OHMIQUE.....	12
II.1. Résistivité.....	12
II.2. Conductivité.....	12
III. ASSOCIATIONS DE CONDUCTEURS OHMIQUES.....	12
III.1. Association série.....	12
III.2. Association en dérivation.....	13
IV. DIVISEUR DE TENSION – DIVISEUR DE COURANT.....	13
IV.1. Diviseur de tension.....	13
IV.2. Diviseur de courant.....	14
IV.3. Diviseur de tension en charge.....	15
LES DIPOLES ACTIFS	16
1. CARACTERISTIQUE D'UN DIPOLE ACTIF.....	16
2. FONCTIONNEMENT EN GENERATEUR – RECEPTEUR.....	16
2.2. Générateur.....	16
2.2. Récepteur.....	17
3. DIPOLES ACTIFS LINEAIRES (OU LINEARISES).....	17

3.1. Caractéristique d'un dipôle actif linéaire.....	17
3.2. Modèle électrique équivalent.....	17
3.3. Sources linéaires parfaites.....	18
4. PUISSANCE ELECTRIQUE POUR UN DIPOLE REVERSIBLE.....	19
5. ASSOCIATION DE DIPOLES ACTIFS LINEAIRES.....	19
5.2. Association série.....	19
5.2. Association en dérivation.....	20

AMPLIFICATEUR OPÉRATIONNEL **21**

I. PRESENTATION.....	21
1.1. Symboles et fonction.....	21
1.2. Exemple de brochage.....	21
1.3. Caractéristique de transfert en tension de l'ALI.....	22
1.4. Modèle équivalent de l'amplificateur intégré.....	22
II. ETUDE EN BOUCLE OUVERTE.....	23
2.1. Montage et fonctionnement.....	23
2.2. Conclusion.....	23
3. FONCTIONNEMENT EN BOUCLE FERME.....	23
3.1. Principe.....	23
3.2. Réaction sur l'entrée négative.....	24
3.3. Réaction sur l'entrée positive.....	25

LES DIODES A JONCTION **27**

I. DESCRIPTION.....	27
II. POLARISATION D'UNE JONCTION.....	27
2.1. Jonction PN polarisée dans le sens passant.....	27
2.2. Jonction PN polarisée dans le sens bloquant.....	28
III. PROPRIETES DES DIODES DE REDRESSEMENT.....	28
IV. CARACTERISTIQUE STATIQUE D'UNE DIODE A JONCTION.....	28
4.1. Caractéristique réelle.....	28
4.2. Modèle de la diode réelle.....	28
4.3. Modèle de la diode idéale.....	29
V. GROUPEMENT DE DIODES.....	29
5.1. groupement de diodes à cathodes communes.....	30
5.2. groupement de diodes à anodes communes.....	30
COMPLEMENTS.....	30

TRANSISTOR BIPOLAIRE **32**

I. DESCRIPTION ET SYMBOLES.....	32
II. CONVENTION ET RELATION.....	32
III. RÉSEAUX DE CARACTÉRISTIQUES.....	32

3.1. Présentation.....	32
3.2. Valeurs limites du composant.....	33
3.3. Ensemble de caractéristiques.....	33
3.4. Interprétation.....	34
IV. TRANSISTOR BIPOLAIRE SUR CHARGE RÉSISTIVE.....	34
V. APPLICATION À LA COMMUTATION.....	35
5.1. Etat bloqué.....	35
5.2. Etat saturé.....	36
5.3. Exemple de commutation.....	36
LES CONDENSATEURS	38
<hr/>	
1.DESCRPTION.....	38
2.PROPRIÉTÉS DES CONDENSATEURS.....	38
2.1.Montage expérimental.....	38
2.2.Capacité d'un condensateur.....	39
2.3.Relation entre courant et tension.....	40
2.4.Charges portées par les armatures.....	40
2.5.Energie électrique stockée par un condensateur.....	41
3.ASSOCIATIONS DE CONDENSATEURS.....	41
3.1.Condensateurs en dérivation.....	41
3.2.Condensateurs en série	41
4.CHAMP ÉLECTRIQUE ET FORCE ÉLECTROSTATIQUE.....	42
4.1.Champ électrique dans un condensateur plan.....	42
4.2.Force électrostatique.....	42
FORCE DE LAPLACE	44
<hr/>	
I.EXPERIMENTATION.....	44
II.LOI DE LAPLACE.....	44
III.APPLICATIONS.....	45
Haut parleur électrodynamique	45
INDUCTION – AUTOINDUCTION	46
<hr/>	
I.MISE EN EVIDENCE EXPERIMENTALE DE L'INDUCTION ELECTROMAGNETIQUE	46
1.Dispositif et faits expérimentaux	46
2.Interprétation	46
3. Terminologie.....	46
II.COURANT INDUIT – LOI DE LENZ.....	47
1.Les courants induits.....	47
2. Loi de LENZ.....	47
3. Applications.....	47
III. AUTOINDUCTION.....	48

1. Mise en évidence.....	48
2. tension et f.é.m. e autoinduite.....	48
3. modèle équivalente d'une bobine réelle.....	49
4. Energie emmagasinée par une bobine.....	49
5. Expression de L d'un solénoïde placé dans l'air.....	49
6. Puissance et énergie électromagnétique dans une bobine inductive.....	49

GRANDEURS PERIODIQUES **51**

I. GRANDEURS VARIABLES.....	51
1. Notations.....	51
2 Remarque.....	51
3. Mesures.....	51
II. CARACTÉRISTIQUES DES GRANDEURS PÉRIODIQUES.....	51
1. Période et fréquence.....	51
2. Valeur moyenne d'une grandeur périodique.....	51
3. Valeur efficace d'une grandeur périodique.....	54
III. DÉCOMPOSITION D'UNE GRANDEUR PÉRIODIQUE.....	55

PUISSANCE EN REGIME SINUSOIDAL **56**

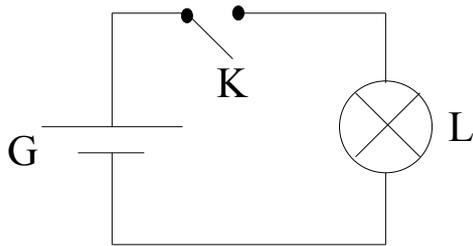
I. DEFINITIONS.....	56
1.1. Puissance instantanée.....	56
1.2. Puissance active.....	56
1.3. Puissance réactive.....	57
1.4. Puissance apparente.....	57
1.5. Relation entre les puissances.....	57
II. PUISSANCES ACTIVE ET REACTIVE MISES EN JEU DANS DES DIPOLES ELEMENTAIRES.....	58
1. Résistance parfaite.....	58
2. Condensateur parfait.....	58
3. Bobine idéale.....	58
III. THEOREME DE BOUCHEROT.....	58
1. dipôles en dérivation.....	58
2. dipôles en série.....	59
3. Groupement mixte de dipôles – théorème de BOUCHEROT.....	59
4. Facteur de puissance.....	59

LOIS FONDAMENTALES DU COURANT CONTINU

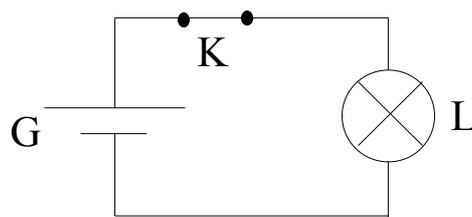
I. LE COURANT ÉLECTRIQUE

1. CIRCUIT ÉLECTRIQUE

1.1. Eléments fondamentaux



La lampe est éteinte



La lampe est allumée

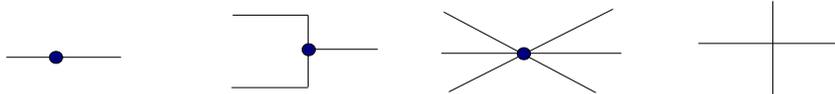
Conclusion: Un courant électrique ne peut s'établir que dans un circuit fermé.

Un circuit électrique est constitué de générateurs et de récepteurs reliés par des fils de liaison (ou conducteurs). Opposés des conducteurs, les isolants – bois, béton, caoutchouc..)

L'interrupteur permet d'interrompre le courant électrique.

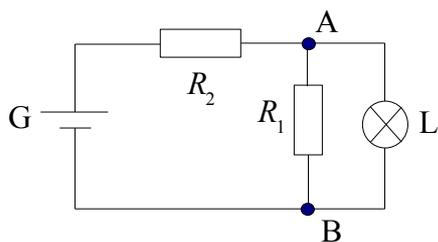
1.2. Noeud, branche, maille

Un noeud est une connexion entre différents éléments.



Attention: aucun point de connexion, donc aucun contact électrique

Une branche est une portion comprise entre deux noeuds consécutifs.



3 branches:

- avec R_1 ,
- avec R_2 et G
- avec L

Une maille est un chemin fermé. Dans le circuit précédent, il existe 3 mailles.

- maille comprenant R_1 , G, R_2
- maille comprenant R_1 et L
- maille avec G, R_2 , L

1.3. Association en série ou en dérivation (parallèle)

- Des dipôles sont dits en série quand ils appartiennent à la même branche ou à un circuit ne comportant qu'une maille.

- Des dipôles sont en dérivation s'ils sont compris entre deux mêmes noeuds.

2. NATURE MICROSCOPIQUE DU COURANT ÉLECTRIQUE

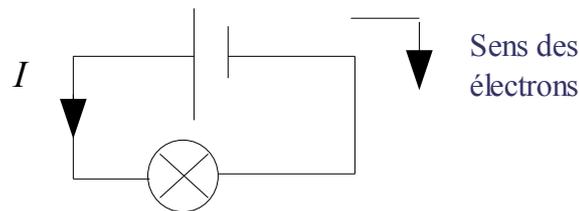
Le courant électrique est un mouvement d'ensemble de porteurs de charges électriques. Il existe deux types de porteurs de charges électriques: les électrons et les ions (charges positives ou négatives).

La charge élémentaire est celle de l'électron: $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

3. SENS CONVENTIONNEL DU COURANT ÉLECTRIQUE

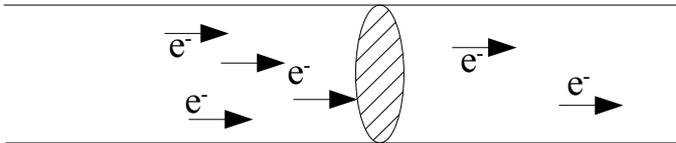
Par convention, le courant électrique est orienté dans le sens du mouvement des porteurs de charges positives (sens inverse des électrons)

Le courant électrique sort de la borne positive et entre par la borne négative du générateur.



4. INTENSITÉ DU COURANT ÉLECTRIQUE CONTINU

L'intensité du courant électrique est une grandeur physique qui caractérise le débit des porteurs de charges traversant une section du conducteur.



dq : variation de la quantité d'électricité en (C) $i = \frac{dq}{dt}$

dt : sur un intervalle de temps (s)

$$I = \frac{Q}{t}$$

Si le débit est invariable dans le temps, le courant est dit continu.

L'intensité du courant électrique s'exprime en Ampère (A).

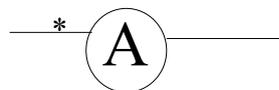
Pour les besoins industriels $q = i \cdot t = 1 \text{ A.h} = 3600 \text{ C}$

5. MESURE DE L'INTENSITÉ D'UN COURANT ÉLECTRIQUE

L'appareil de mesure est l'ampèremètre que l'on insère en série pour être traversé par le courant qu'il mesure.

Un ampèremètre possède deux bornes:

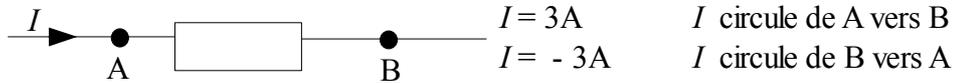
- une borne d'entrée E (rouge ou repérée par un des signes: +, *, A)
- une borne de sortie S (noire ou repérée par un des signes: - ou COM)



6. ALGÈBRISATION

L'intensité du courant électrique est une grandeur algébrique.

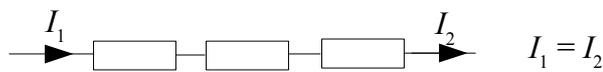
- L'intensité du courant est positive lorsque le sens de la flèche (choisi arbitrairement) est identique au sens conventionnel du courant.
- L'intensité du courant est négative lorsque le sens de la flèche (choisi arbitrairement) est contraire au sens conventionnel du courant.



7. LOI DES NŒUDS

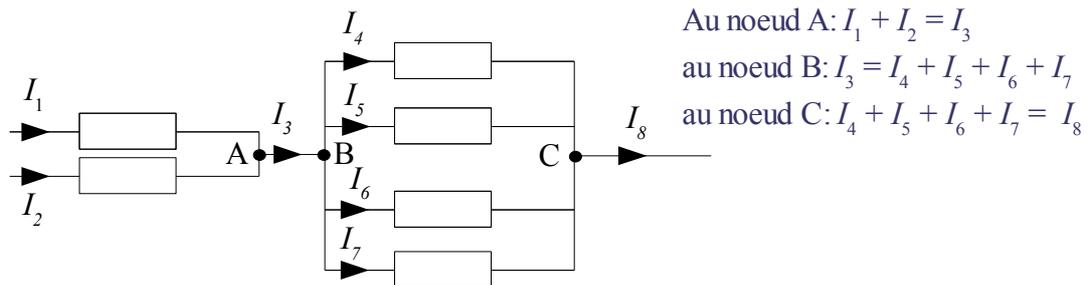
7.1. Circuit série

Tous les appareils montés en série sont traversés par la même intensité I .



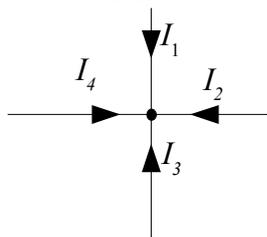
7.2. Circuit avec des dérivations

La somme algébrique des intensités des courants dans les conducteurs arrivant vers un noeud est égale à la somme algébrique des intensités des courants dans les conducteurs partant du noeud.

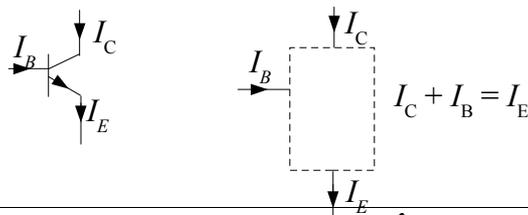


Remarques:

- Lorsque tous les courants aboutissent à un noeud, la somme des intensités est nulle.



- La loi des noeuds est applicable à un ensemble, une portion du circuit ou à un composant.

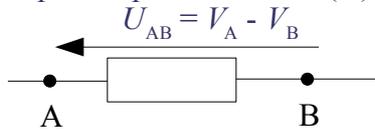


II. LA TENSION ÉLECTRIQUE.

1. NOTION DE TENSION ÉLECTRIQUE

- Pour qu'un courant électrique circule entre deux points A et B d'une portion de circuit, il faut:
- que le circuit soit conducteur (contiennent des porteurs de charges mobiles)
 - que les porteurs de charge soit soumis à une différence de potentiel (d.d.p) appelé également tension électrique.

La tension électrique s'exprime en Volts (V).



V_A et V_B sont respectivement les potentiels des points A et B par rapport à un potentiel de référence (généralement la masse: $V_M = 0$ V)

$$U_{AB} = - U_{BA}$$

2. MESURE D'UNE TENSION ÉLECTRIQUE

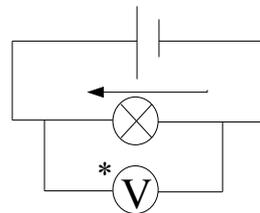
La tension électrique peut être mesurée avec:

- un oscilloscope,
- un voltmètre (analogique ou numérique).

Celui ci doit être placé en dérivation (parallèle) avec le dipôle aux bornes duquel il mesure la tension.

Un voltmètre possède deux bornes:

- une borne d'entrée E (rouge ou +, *, V)
- une borne de sortie S (noire ou -, COM)



3. ALGÉBRISATION

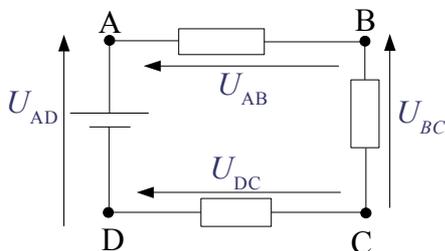
La tension électrique est une grandeur algébrique.

- La tension est positive lorsque le potentiel du point de mesure repéré par la pointe de la flèche (extrémité) est supérieur à celui du point repéré par le talon (origine).
- La tension est négative lorsque le potentiel du point de mesure repéré par la pointe de la flèche est inférieur à celui du point repéré par le talon

4. LOI DES MAILLES

On respecte les règles suivantes:

- on choisit un sens de parcours arbitraire de la maille et un point de départ.
- On affecte le signe + aux tensions dont la flèche indique le même sens.
- On affecte le signe - aux tensions dont la flèche indique le sens contraire.



$$\text{Maille ABCDA: } U_{AD} - U_{AB} - U_{BC} + U_{DC} = 0$$

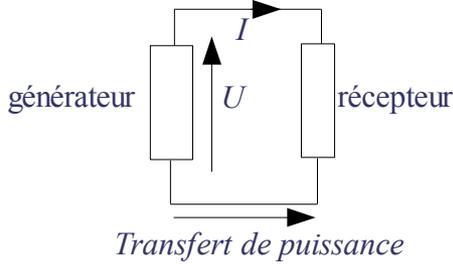
Lois

1. La somme algébrique des tensions rencontrées dans une maille est nulle.
2. La tension totale entre deux points d'un circuit est égale à la somme des tensions partielles.

$$\text{Branche AC : } U_{AC} - U_{AD} - U_{DC} = 0$$

III.LA PUISSANCE ÉLECTRIQUE.

1. PUISSANCE ET ÉNERGIE ÉLECTRIQUE ÉCHANGÉ



La puissance électrique échangée par les deux dipôles s'exprime par la relation:

$$P = U.I$$

P : puissance en Watts (W)

U : tension électrique en V

I : intensité de courant électrique en A

L'énergie électrique s'exprime par l'expression $W = P.t = U.I.t$

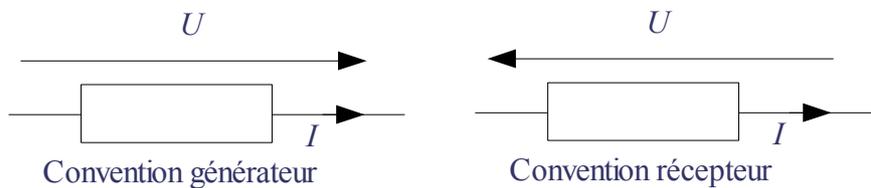
W : Energie en Joule (J)

t : temps en s

2. DIPÔLE GÉNÉRATEUR – DIPÔLE RÉCEPTEUR

- Pour le dipôle générateur, U et I sont dans le même sens : c'est la convention générateur. Le dipôle fournit de la puissance $P_f = U.I > 0$
- Pour le dipôle récepteur, U et I sont dans de sens contraire : c'est la convention récepteur et $P_f = U.I < 0$ le dipôle absorbe de la puissance

	Convention générateur	Convention récepteur
$U.I > 0$	Dipôle générateur	Dipôle récepteur
$U.I < 0$	Dipôle récepteur	Dipôle générateur

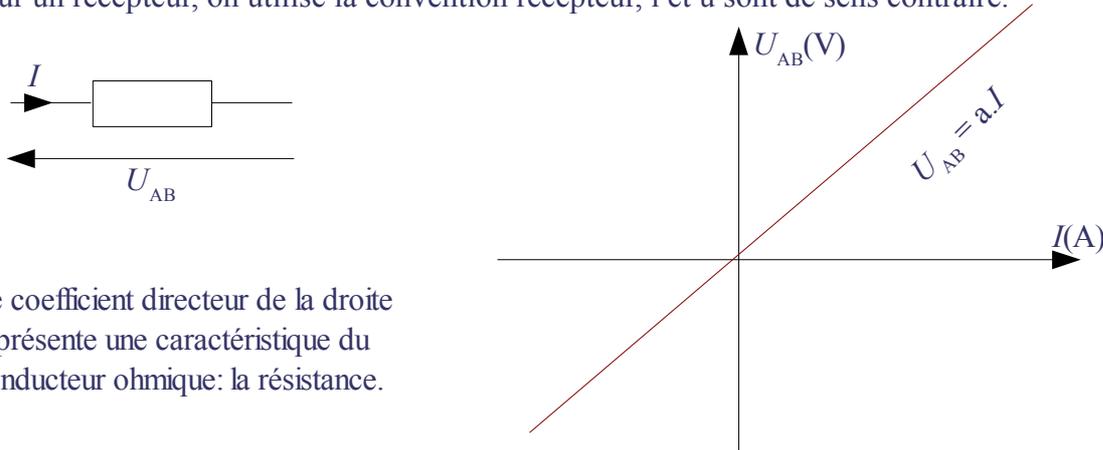


LOI D'OHM ET ASSOCIATION DE DIPÔLES

I. LOI D'OHM POUR UN CONDUCTEUR OHMIQUE

I.1. LOI D'OHM

Pour un récepteur, on utilise la convention récepteur, i et u sont de sens contraire.



Le coefficient directeur de la droite représente une caractéristique du conducteur ohmique: la résistance.

En adoptant la convention récepteur: $U_{AB} = R.I$

U_{AB} : tension aux bornes du conducteur ohmique en V

R : résistance du conducteur ohmique en Ω

I : intensité de courant traversant le conducteur ohmique en A

On peut encore l'expression de la loi d'ohm sous la forme: $I = \frac{U_{AB}}{R} = G.U_{AB}$ avec $G = \frac{1}{R}$

G : conductance en S

Avec la convention générateur: $U_{BA} = -U_{AB} = -R.I$

I.2. PUISSANCE DISSIPÉ DANS UN CONDUCTEUR OHMIQUE

Avec la convention récepteur $U_{AB} = R.I$, la puissance s'exprime par la relation: $P = U_{AB}.I$.

A partir de ces deux expressions, on en déduit:

$$P = R. I^2 = G.U_{AB}^2 = \frac{U_{AB}^2}{R}$$

P : puissance en W

R : résistance en Ω

I : intensité de courant en A

U_{AB} : tension en V

G : conductance en S

La puissance dissipée par le conducteur ohmique se transforme en chaleur: c'est l'effet Joule.

II. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES D'UN CONDUCTEUR OHMIQUE

II.1. RÉSISTIVITÉ

ρ ($\Omega \cdot m$): capacité d'un matériau à empêcher le déplacement des porteurs de charge.

La relation entre la résistance et la résistivité est donnée par la formule:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

R : résistance du conducteur ohmique en Ω

ρ : résistivité du matériau en $\Omega \cdot m$

l : longueur du fil en m

S : section du fil en m^2

Rappel: $S = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot \frac{D^2}{4}$ avec r : rayon de la section en m et $D = 2r$: diamètre de la section

II.2. CONDUCTIVITÉ

γ ($S \cdot m^{-1}$): la conductivité est une grandeur caractérisant la facilité du matériau aux déplacements des porteurs de charge: c'est l'inverse de la résistivité.

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad G = \frac{1}{R} = \frac{1}{\left(\frac{\rho \cdot l}{S}\right)} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{S}{l} = \gamma \cdot \frac{S}{l}$$

γ : conductivité en $S \cdot m^{-1}$

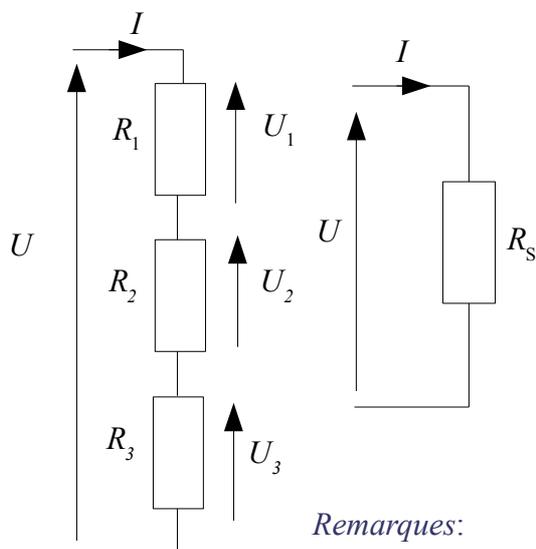
S : section du fil en m^2

l : longueur du fil en m

III. ASSOCIATIONS DE CONDUCTEURS OHMIQUES

III.1. ASSOCIATION SÉRIE

définition: des dipôles sont en série lorsqu'ils sont traversés par la même intensité de courant.



$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$R_s \cdot I = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I + R_3 \cdot I$$

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3$$

Pour N conducteurs ohmiques en série:

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N$$

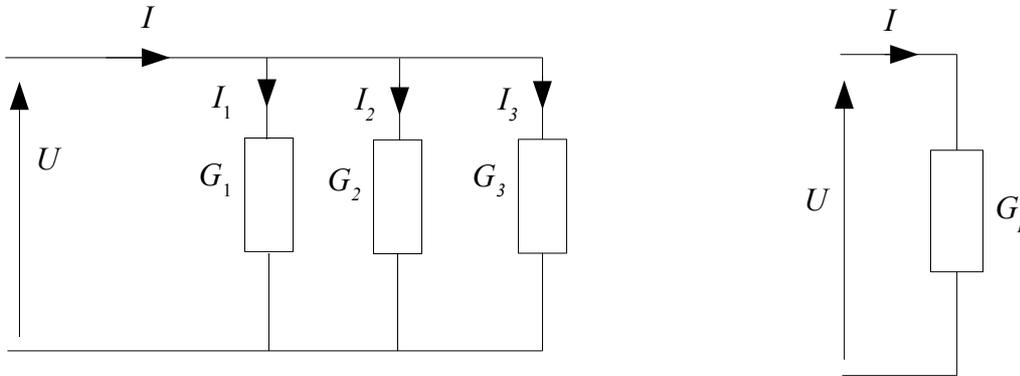
Dans une association de conducteurs ohmiques en série, la résistance équivalente est égale à la somme des résistances.

Remarques:

1. La résistance équivalente est plus grande que la plus grande des résistances ($R_s > R$)
2. Si $R_1 = R_2 = R_3 = \dots = R_N = R$ alors $R_s = N.R$ avec N : nombres de conducteurs ohmiques

III.2. ASSOCIATION EN DÉRIVATION

définition: des dipôles sont en dérivation lorsqu'ils sont soumis à la même tension



$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$G_p U = G_1 U + G_2 U + G_3 U$$

$$G_p = G_1 + G_2 + G_3$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Pour N conducteurs ohmiques en dérivation : $G_p = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_N$ soit

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N}$$

Dans une association de conducteurs ohmiques en dérivation, la conductance équivalente est égale à la somme des conductances.

Remarques:

1. La résistance équivalente est plus petite que la plus petite des résistances.

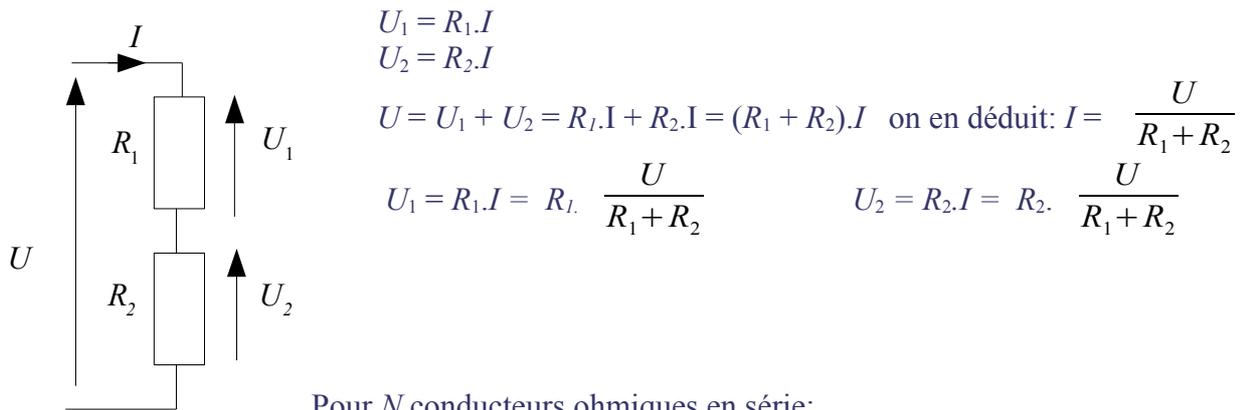
2. Si l'on associe N conducteurs ohmiques identiques $G_p = N.G$ ou $R_p = \frac{R}{N}$

3. Pour deux conducteurs ohmiques en dérivation $R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

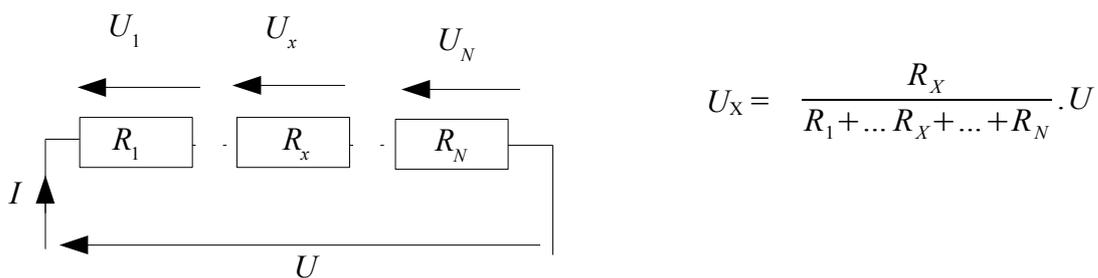
IV. DIVISEUR DE TENSION – DIVISEUR DE COURANT

IV.1. DIVISEUR DE TENSION

On est en présence d'un diviseur de tension chaque fois que des conducteurs ohmiques sont branchés en série, donc traversés par le même courant.

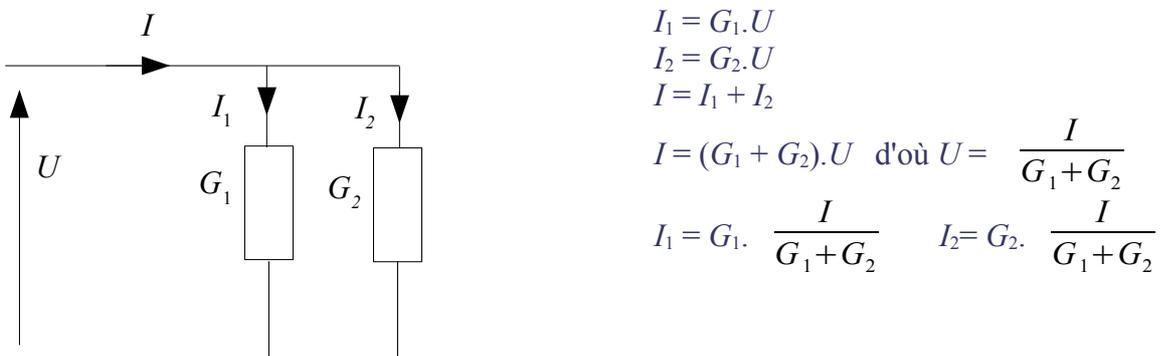


Pour N conducteurs ohmiques en série:

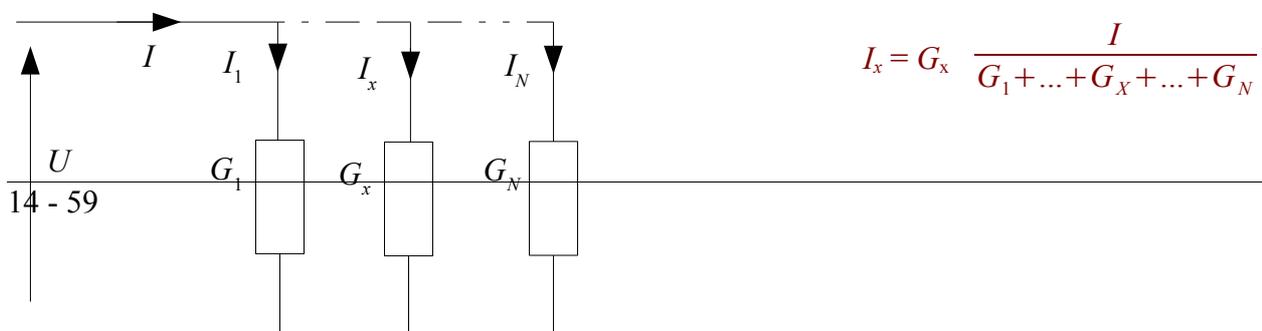


IV.2. DIVISEUR DE COURANT

On est en présence d'un diviseur de courant chaque fois que des conducteurs ohmiques sont branchés en dérivation, donc soumis à la même tension.

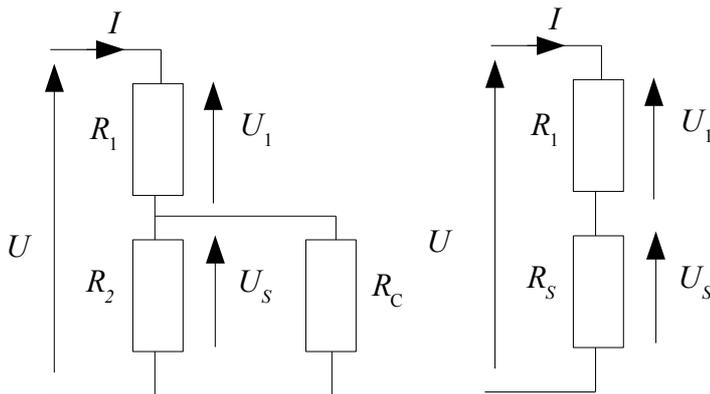


Pour N conducteurs ohmiques en dérivation



IV.3. DIVISEUR DE TENSION EN CHARGE

La présence d'une résistance de charge R_C dans le montage modifie les courants et les tensions. On ne peut pas appliquer directement les relations précédentes car les conducteurs ohmiques R_1 et R_2 ne sont plus traversés par le même courant.



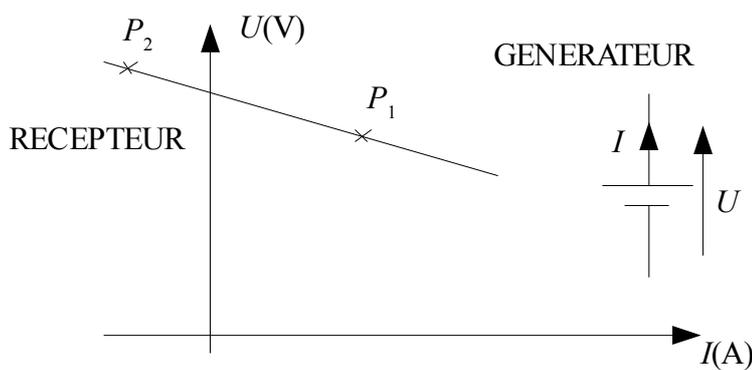
$$R_S = \frac{R_C \cdot R_2}{R_C + R_2}$$

on utilise le diviseur de tension:

$$U_S = R_S \cdot \frac{U}{R_1 + R_S}$$

LES DIPOLES ACTIFS

1. CARACTERISTIQUE D'UN DIPOLE ACTIF



$P_1 = U.I > 0$: le dipôle actif fournit de la puissance électrique

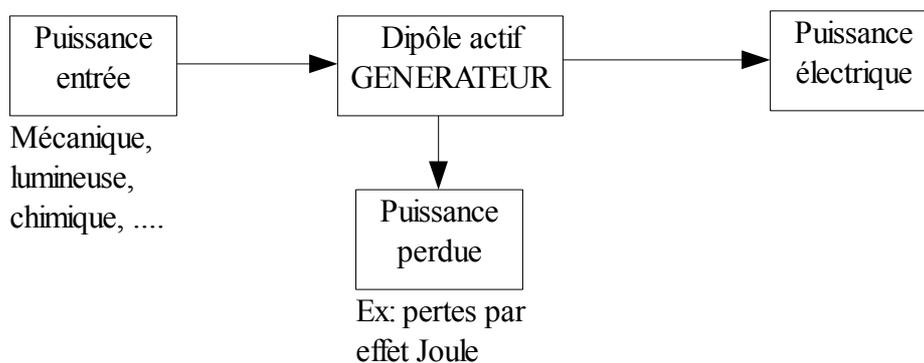
$P_2 = U.I < 0$: le dipôle actif absorbe de la puissance électrique

Du fait de cette dissymétrie, un dipôle actif est polarisé. Il faut donc distinguer les 2 bornes. Un dipôle est dit actif quand $U \neq 0$ V pour $I = 0$ A (passif : $U = 0$ V pour $I = 0$ A). Un dipôle actif est soit générateur, soit récepteur. Un dipôle actif pouvant assumer les deux fonctions est dit réversible.

2. FONCTIONNEMENT EN GENERATEUR – RECEPTEUR

2.2. GÉNÉRATEUR

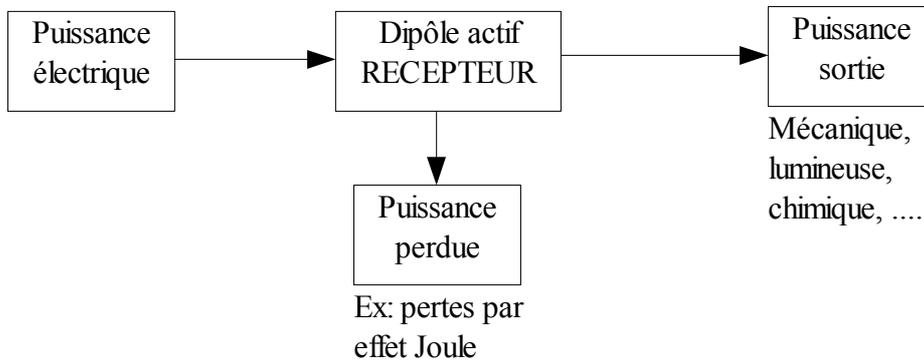
Un dipôle actif est en fonctionnement générateur lorsqu'il transforme une puissance mécanique, chimique, thermique, lumineuse, ... en puissance électrique.



Puissance: $P = U.I > 0$: le dipôle actif fournit une puissance électrique

2.2. RÉCEPTEUR

Un dipôle actif est en fonctionnement récepteur lorsqu'il transforme une puissance électrique en puissance mécanique, chimique, thermique, lumineuse,

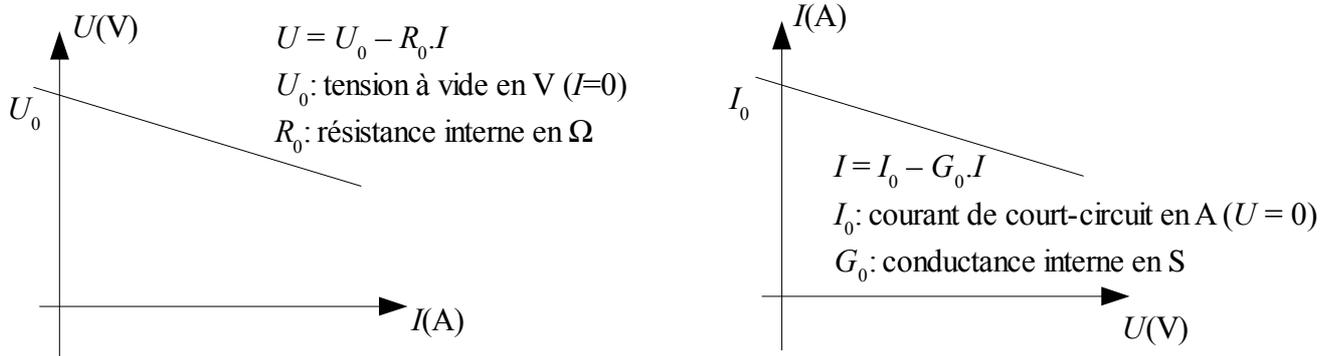


Puissance: $P = U.I < 0$: le dipôle actif absorbe une puissance électrique

3. DIPOLES ACTIFS LINEAIRES (OU LINEARISES)

3.1. CARACTÉRISTIQUE D'UN DIPÔLE ACTIF LINÉAIRE.

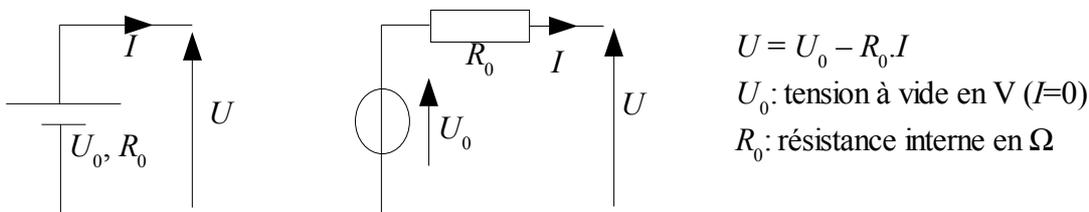
La caractéristique d'un dipôle actif linéaire est une droite. Elle peut être représenté par:



3.2. MODÈLE ÉLECTRIQUE ÉQUIVALENT

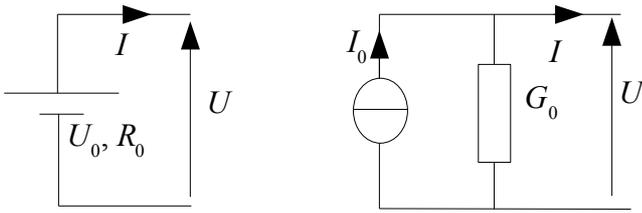
3.2.1. Modèle équivalent de Thévenin – M.E.T. - modèle série

la relation $U = U_0 - R_0.I$ correspond à la loi d'une branche.



3.2.2. Modèle équivalent de Norton – M.E.N. - modèle parallèle

la relation $I = I_0 - G_0 \cdot U$ correspond à la loi des noeuds.



$$I = I_0 - G_0 \cdot U$$

I_0 : courant de court-circuit

G_0 : conductance interne

3.2.3. Equivalence entre les deux modèles

M.E.T (U_0, R) \Rightarrow M.E.N (I_0, G)

$$U = U_0 - R_0 \cdot I$$

$$\frac{U}{R_0} = \frac{U_0}{R_0} - I \Rightarrow I = \frac{U_0}{R_0} - \frac{U}{R_0}$$

$$I = I_0 - G_0 \cdot U$$

par analogie: $I_0 = \frac{U_0}{R_0}$ et $G_0 = \frac{1}{R_0}$

M.E.N (I_0, G) \Rightarrow M.E.T U_0, R)

$$I = I_0 - G_0 \cdot U$$

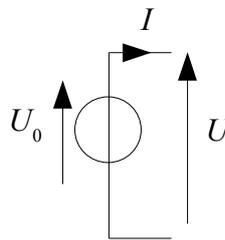
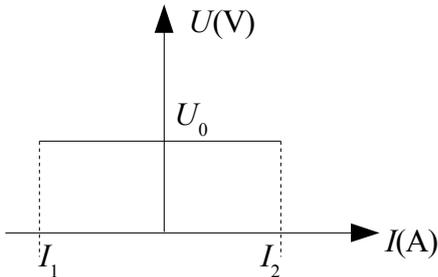
$$\frac{I}{G_0} = \frac{I_0}{G_0} - U \Rightarrow U = \frac{I_0}{G_0} - \frac{I}{G_0}$$

$$U = U_0 - R_0 \cdot I$$

par analogie: $U_0 = \frac{I_0}{G_0}$ et $R_0 = \frac{1}{G_0}$

3.3.SOURCES LINÉAIRES PARFAITES.

3.3.1. Source de tension parfaite



$$U = U_0 \quad \forall \quad I_1 < I < I_2$$

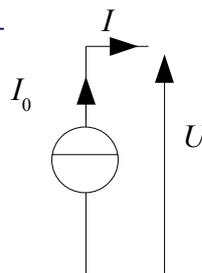
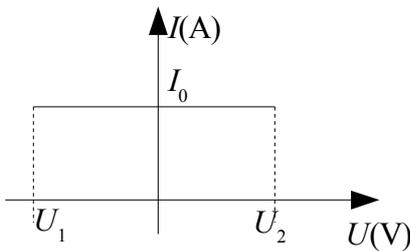
$$R_0 = 0 \Omega$$

Pertes: 0 W

Aucun modèle parallèle

3.3.2.

Source de tension parfaite



$$I = I_0 \quad \forall \quad U_1 < U < U_2$$

$$G_0 = 0 \text{ S}$$

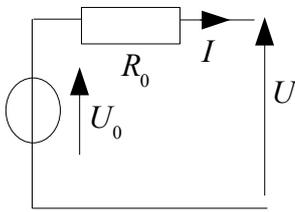
Pertes: 0 W

Aucun modèle série

4. PUISSANCE ELECTRIQUE POUR UN DIPOLE REVERSIBLE.

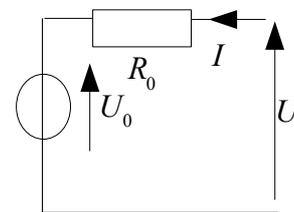
Fonctionnement GENERATEUR

convention générateur



Fonctionnement RECEPTEUR

convention récepteur



U_0 : tension à vide en V ($I=0$)

R_0 : résistance interne en Ω

$$P = U.I = (U_0 - R_0.I).I = U_0 I - R_0 . I^2$$

$P = P_u$: puissance utile (fournie)

P_{em} : puissance électromagnétique

$$P_{em} = U_0.I$$

P_j : Pertes par effet Joule

$$P_j = R_0.I^2$$

$$P_u = P_{em} - P_j$$

$$P = U.I = (U_0 + R_0.I).I = U_0 I + R_0 . I^2$$

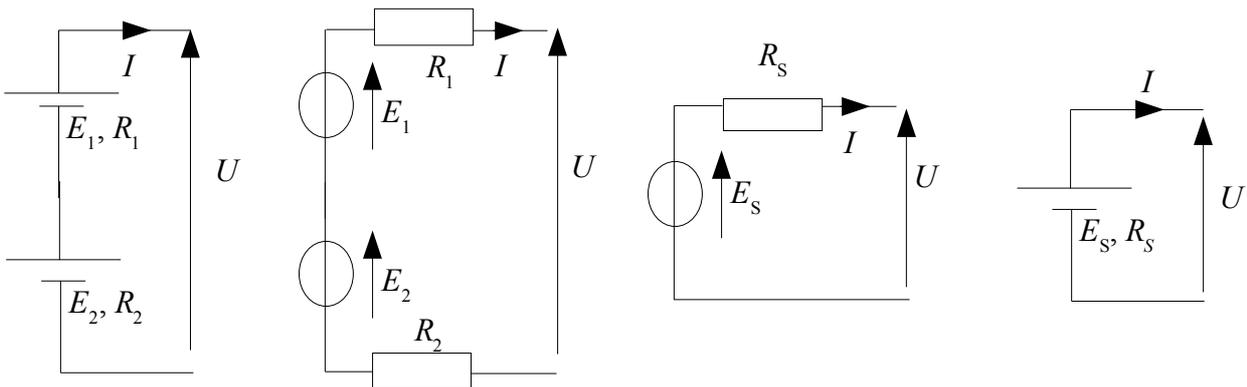
$P = P_a$: puissance absorbée

$$P_a = P_{em} + P_j$$

5. ASSOCIATION DE DIPOLES ACTIFS LINEAIRES

5.2. ASSOCIATION SÉRIE

Définition: les dipôles actifs sont en série lorsque la borne négative de l'un est reliée à la borne positive du suivant.



$$\text{Loi des branches: } U = E_1 + E_2 - R_1.I - R_2.I = E_1 + E_2 - I.(R_1 + R_2) = E_S - R_S.I$$

$$\text{Par identification: } E_S = E_1 + E_2 \quad \text{et} \quad R_S = R_1 + R_2$$

Pour une association de dipôles actifs linéaires en série:

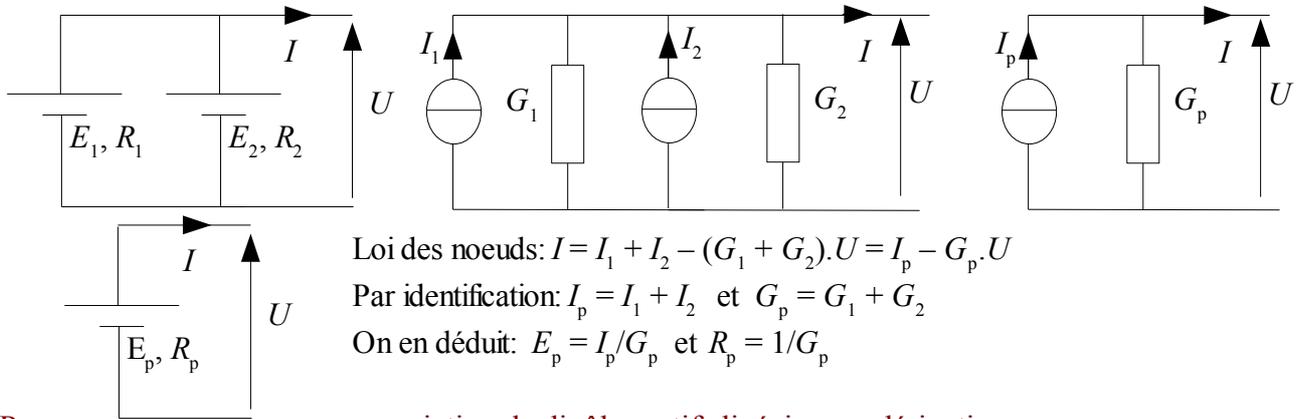
- la tension à vide aux bornes du groupement est égale à la somme des tensions à vide de chaque dipôle: $E_S = E_1 + E_2 + \dots + E_N$
- la résistance interne du groupement est égale à la somme des résistances internes de

chaque dipôle: $R_s = R_1 + R_2 + \dots + R_N$

Dans le cas de N dipôles actifs linéaires identiques en série: $E_s = N.E$ et $R_s = N.R$

5.2. ASSOCIATION EN DÉRIVATION

Définition: les dipôles actifs sont en parallèle lorsque les bornes de mêmes signe sont reliées entre



Pour une association de dipôles actifs linéaires en dérivation:

- L'intensité de courant de court-circuit du groupement est égale à la somme des intensités de courant de court-circuit de chaque dipôle: $I_p = I_1 + I_2 + \dots + I_N$
- la conductance interne du groupement est égale à la somme des conductances internes de chaque dipôle: $G_p = G_1 + G_2 + \dots + G_N$

Dans le cas de N dipôles actifs linéaires identiques en dérivation: $I_p = N.I$ et $G_p = N.G$

Remarques:

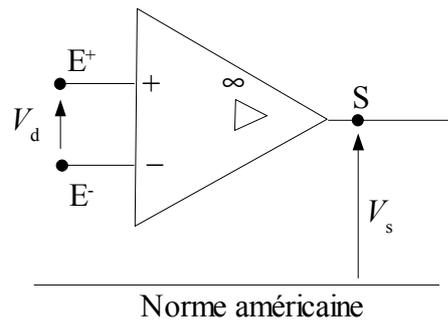
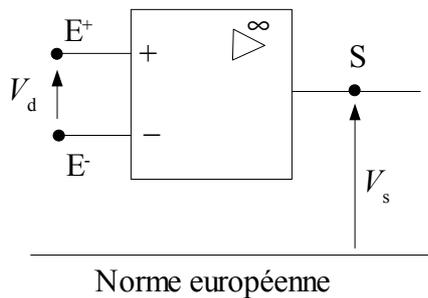
- l'association de dipôles actifs en série permet d'augmenter la tension mais pas l'intensité.
- l'association de dipôles actifs en dérivation permet d'augmenter l'intensité mais pas la tension.
- On ne peut pas brancher en dérivation des sources de tension « parfaites » (ou de faible résistance interne) n'ayant pas la même tension à vide. Ex: batterie de 6 V avec une de 12 V.
- On ne peut pas associer en série des sources de courant « parfaites » n'ayant pas la même intensité de court-circuit.

AMPLIFICATEUR OPÉRATIONNEL

I. PRESENTATION

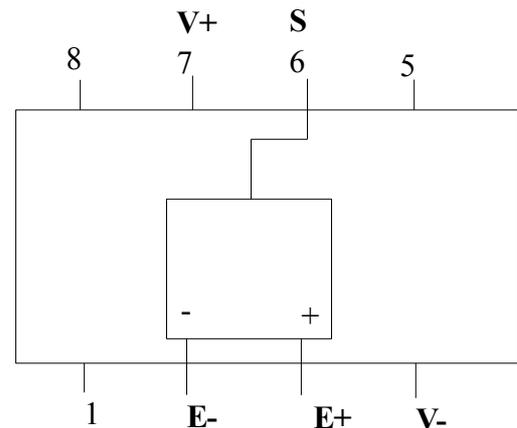
1.1. SYMBOLES ET FONCTION

L'amplificateur intégré linéaire (AIL ou ALI) est un composant électronique de structure interne complexe, appelé aussi amplificateur opérationnel (AOP) ou amplificateur différentiel intégré (ADI).



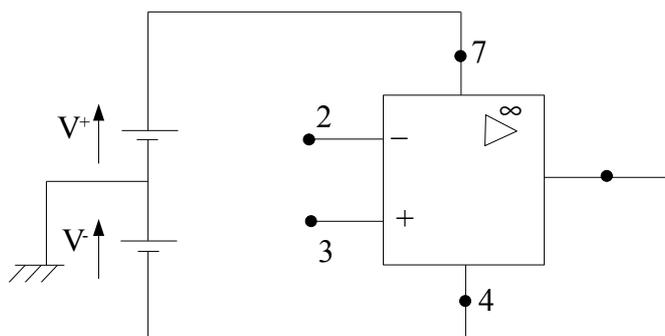
1.2. EXEMPLE DE BROCHAGE

- (2): entrée inverseuse (E^-)
- (3): entrée non inverseuse (E^+)
- (6): sortie ou (S)
- (4): tension de polarisation V^- (-15 V)
- (7): tension de polarisation V^+ (15 V)

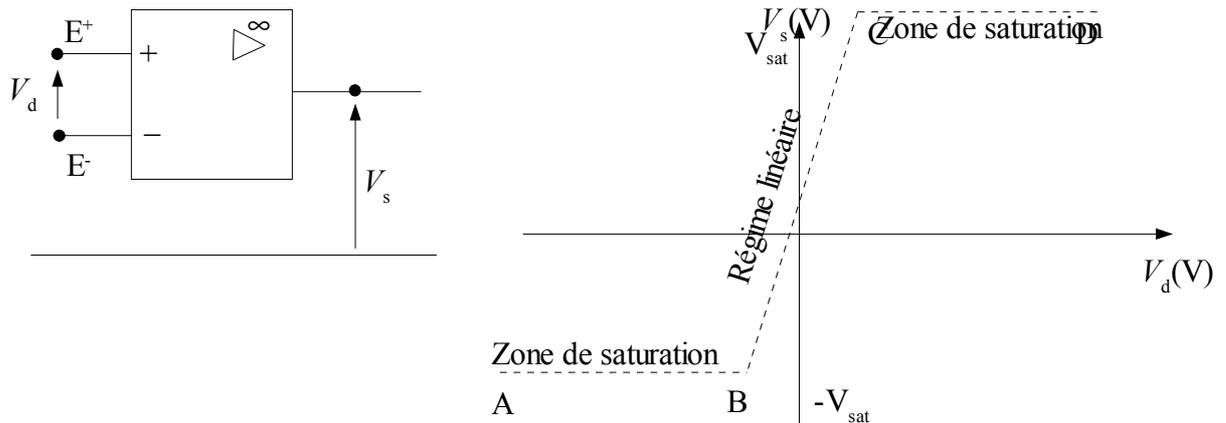


Les tensions de polarisation sont fournies par une alimentation extérieure. L'alimentation comporte un point milieu. Ce point milieu doit être relié à la masse du montage.

Pour simplifier les schémas, on ne représentera plus le circuit d'alimentation.



1.3. CARACTÉRISTIQUE DE TRANSFERT EN TENSION DE L'ALI



Deux régimes de fonctionnement:

- entre B et C $-\varepsilon_0 \leq V_d \leq \varepsilon_0$ V_s est proportionnelle à $V_d \Rightarrow V_s = A_d \cdot V_d$

A_d : coefficient d'amplification différentielle en boucle ouverte.

A_d : très grand $\approx 10^5$ $A_d \rightarrow \infty$

Dans les anciens ouvrages $A_d = \mu$

Nous sommes en régime amplificateur de tension dit encore régime linéaire.

- entre [AB] et [CD] $V_s = \text{constant}$ $|V_s| = |V_{sat}|$ l'amplificateur est saturé

$V_d < -\varepsilon_0$ et $V_d > \varepsilon_0$

1.4. MODÈLE ÉQUIVALENT DE L'AMPLIFICATEUR INTÉGRÉ

1.4.1.A.L.I. Réel

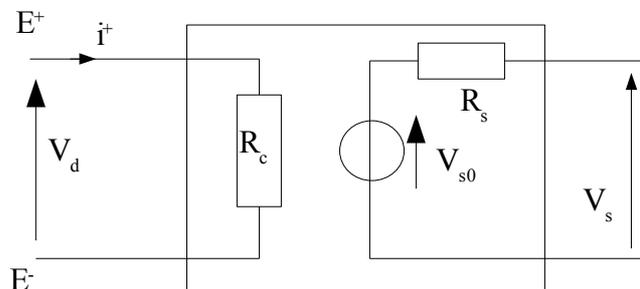
A_d étant très grand, le domaine de linéarité ($\Delta \varepsilon = \Delta V_d$) est très réduit.

Exemple: $|V_{sat}| = 15 \text{ V} \Rightarrow \frac{|V_{sat}|}{A_d} = \frac{15}{10^5} = 0,15 \text{ mV}$

$R_e \geq 1 \text{ M}\Omega$

i^+ et i^- de l'ordre du nA (négligeable devant les autres courants)

$R_s \leq 100 \Omega$



1.4.2.A.L.I. Idéal

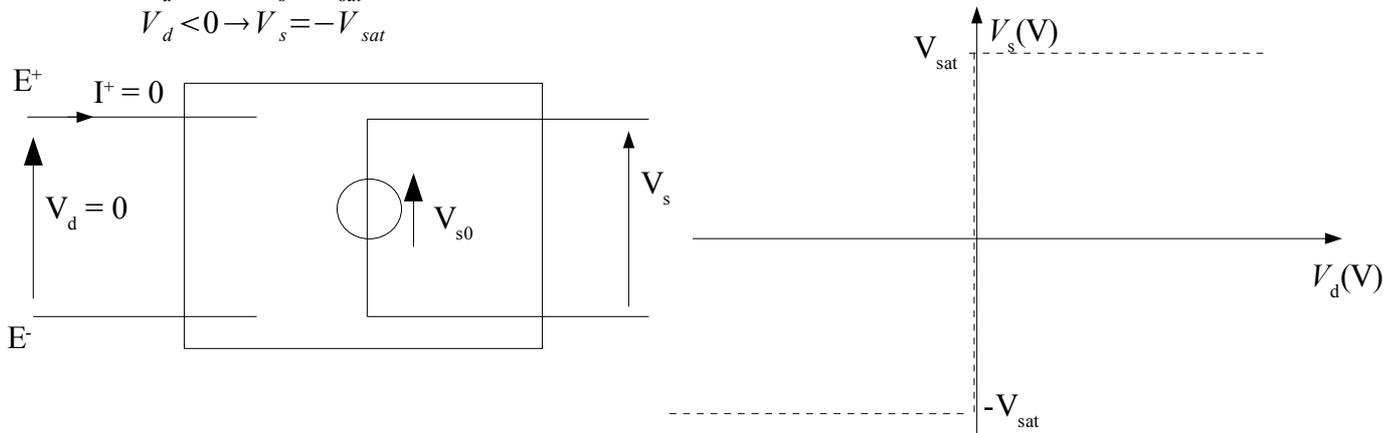
$R_e \neq \infty$ implique $i^+ = i^- = 0$ A

$R_s \neq 0$ implique $V_s \approx V_{s0}$

$V_d \neq 0 \implies -V_{sat} \leq V_s \leq V_{sat}$

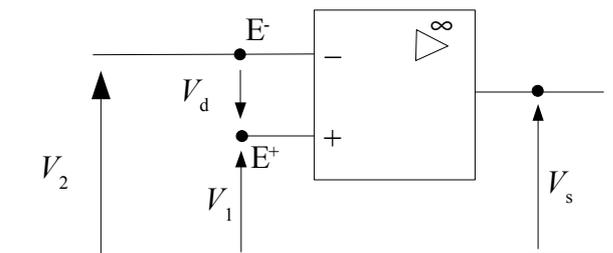
$V_d > 0 \implies V_s = V_{sat}$

$V_d < 0 \implies V_s = -V_{sat}$



II. ETUDE EN BOUCLE OUVERTE

2.1. MONTAGE ET FONCTIONNEMENT



sortie saturée dès que $V_d \neq 0$

$V_1 > V_2 \implies V_d > 0 \implies V_s = V_{sat}$

$V_1 < V_2 \implies V_d < 0 \implies V_s = -V_{sat}$

La valeur de la tension de sortie V_s permet de comparer les valeurs des tensions V_1 et V_2 .
Le montage fonctionne en comparateur de tension.

2.2. CONCLUSION

V_1 étant différent de $V_2 \implies A_d$ grand, ALI ne peut fonctionner en régime linéaire.

3. FONCTIONNEMENT EN BOUCLE FERME

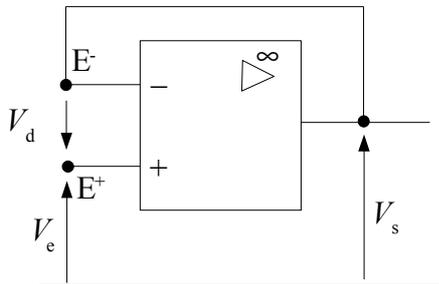
3.1. PRINCIPE

On réalise une liaison, appelé réaction entre la sortie et l'une des entrées. Pour faciliter l'étude, on suppose que la tension de sortie est totalement ramené sur l'entrée.

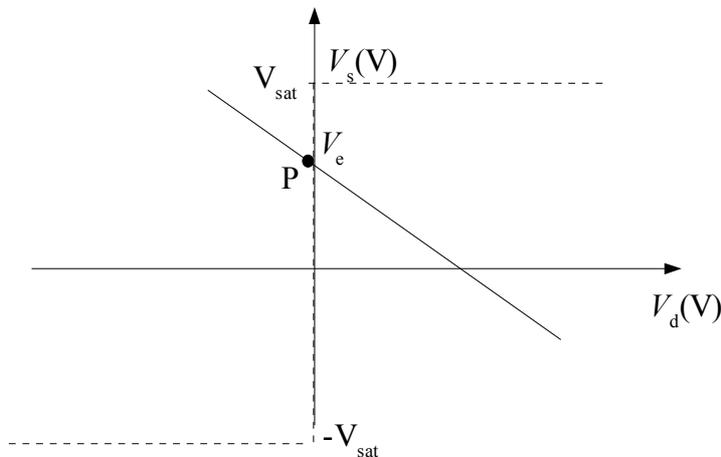
3.2. RÉACTION SUR L'ENTRÉE NÉGATIVE

3.2.1. MONTAGE

La sortie est reliée à l'entrée inverseuse: c'est une contre-réaction, encore appelé rétroaction.



3.2.2. POINT DE FONCTIONNEMENT



Loi des mailles: $V_s + V_d = V_e \Rightarrow V_s = V_e - V_d$ (2)

Le point de fonctionnement P du montage se situe à l'intersection de ces 2 courbes et donc $V_s \neq V_e$.

On remarque que P se trouve dans la zone de fonctionnement linéaire. Le fonctionnement est stable car si, V_d augmente alors $V_s = A_d \cdot V_d$ augmente et $V_d = V_e - V_s$ décroît. Lorsque V_e varie, la droite (2) se déplace parallèlement à elle-même.

P reste dans la zone linéaire tant que $-\hat{V}_e < V_e < \hat{V}_e$ sinon $V_s = \pm V_{sat}$

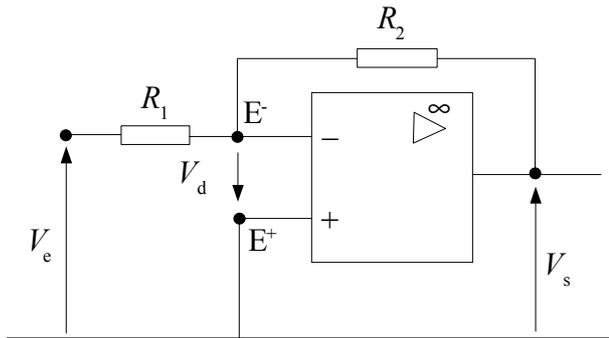
3.2.3. CONCLUSION

Avec une réaction sur l'entrée négative:

- fonctionnement stable;
- domaine de linéarité du montage beaucoup plus grande que celui de l'A.L.I. Seul (V_d négligeable).
- A_v diminue (ici $\frac{V_s}{V_e} = 1$)

La zone de fonctionnement linéaire dépend du courant de sortie i_s . Si celui-ci devient trop important, un écrêtage se produit pour des valeurs $|V_s| = |V_{sat}|$

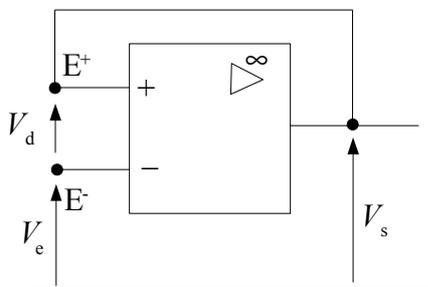
3.2.4. EXEMPLES: l'amplificateur inverseur.



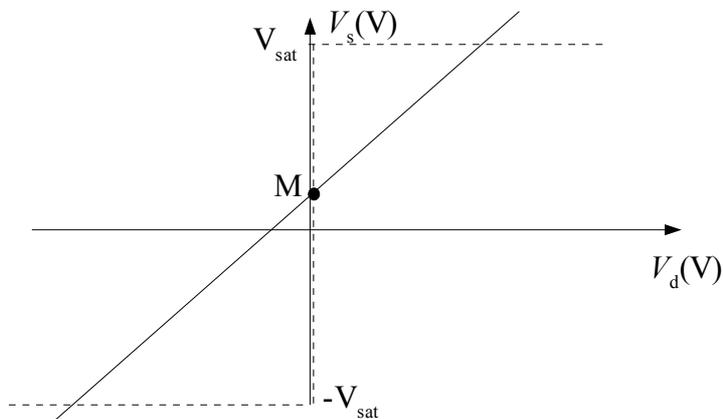
$$V_s = -\frac{R_2}{R_1} V_e \Rightarrow A_v = \frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_2}{R_1} \quad A_v : \text{coefficient d'amplification}$$

3.3. RÉACTION SUR L'ENTRÉE POSITIVE

3.3.1. Montage



3.3.2. Point de fonctionnement



V_s est lié à V_d par deux caractéristiques:

- la caractéristique de transfert $V_s = f(V_d)$ de l'A.L.I. (1)
- La loi des mailles: $V_s = V_e + V_d$ (2)

Supposons le point de fonctionnement en M.

Si V_d augmente alors $V_s = A_d \cdot V_d$ croît aussi et $V_d = V_s - V_e$ augmente. Ainsi le point de fonctionnement se déplace jusqu'en A.

Si V_d diminue, le point de fonctionnement se déplace jusqu'en B.

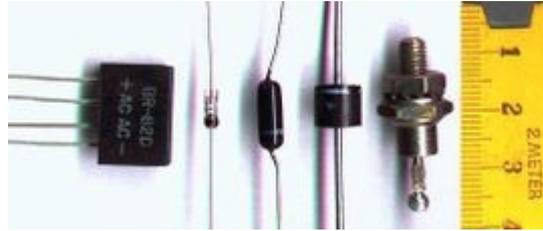
Le fonctionnement est donc instable en M.

3.3.3. Conclusion

La tension de sortie ne peut prendre que deux valeurs: $\pm V_{sat}$, le fonctionnement en régime linéaire est impossible.

Remarque: Il faut cette fois tenir compte de $V_d \cdot V_s = \pm V_{sat}$ et le signe de V_s est celui de V_d .

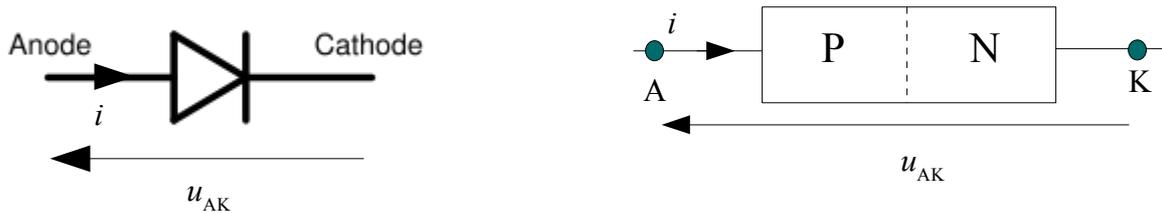
LES DIODES A JONCTION



I. DESCRIPTION

Une diode à jonction est un composant électronique, réalisé à partir d'un cristal semi-conducteur comportant des atomes tétravalents (silicium). Une partie de ce semi-conducteur contient en très faible proportion, des atomes d'impuretés trivalentes (Al, Ga, Indium) pour former la région P. L'autre partie contient, en très faible proportion des atomes pentavalents (phosphore, arsenic, antimoine) pour former la région N.

La zone de transition qui sépare les deux régions internes est appelé jonction.

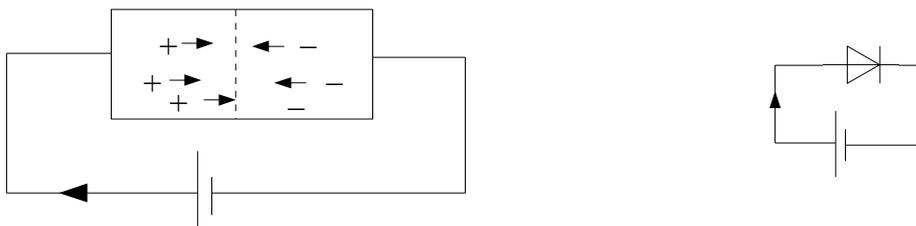


L'électrode reliée à la région P est l'anode (A).
L'électrode reliée à la région N est la cathode (K).

II. POLARISATION D'UNE JONCTION

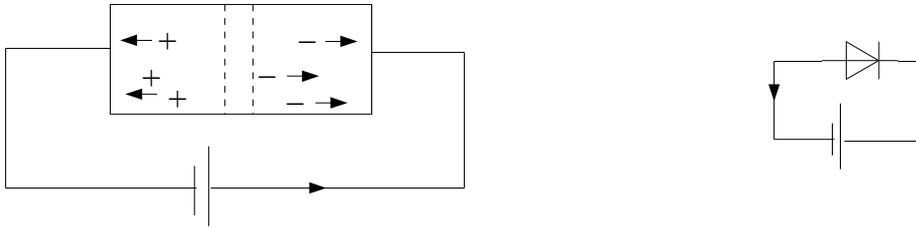
2.1. JONCTION PN POLARISÉE DANS LE SENS PASSANT.

Le pôle positif d'une source de tension est reliée à la partie P. Il y a alors disparition de la barrière de potentiel et la jonction se comporte comme un conducteur.



2.2. JONCTION PN POLARISÉE DANS LE SENS BLOQUANT.

Le pôle positif est relié à la partie N. La source de tension attire les électrons de la zone N vers son pôle positif et les « trous » (charges positives) de la zone P vers son pôle négatif; la jonction s'élargit et s'oppose à toute migration de charges.



3. Conclusion

La jonction PN se comporte comme un conducteur unidirectionnel: elle conduit le courant de l'anode (A) vers la cathode (K).

III. PROPRIÉTÉS DES DIODES DE REDRESSEMENT

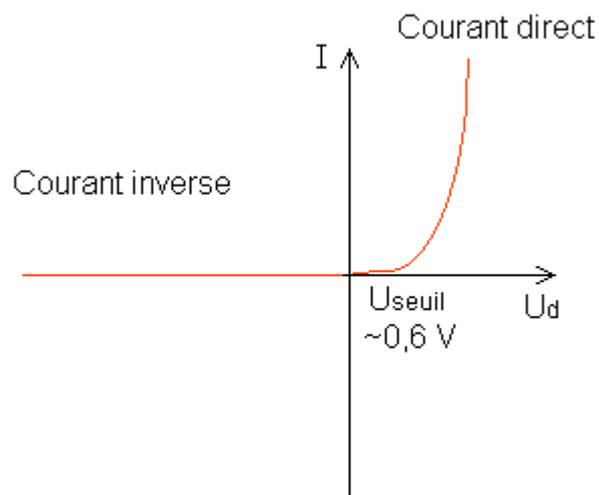
Une diode est un élément ayant la propriété d'être un conducteur pour un certain sens de courant et non conducteur pour l'autre sens.

Le sens passant du courant est appelé sens direct.

Le sens bloquant est appelé sens inverse.

IV. CARACTÉRISTIQUE STATIQUE D'UNE DIODE A JONCTION

4.1. CARACTÉRISTIQUE RÉELLE



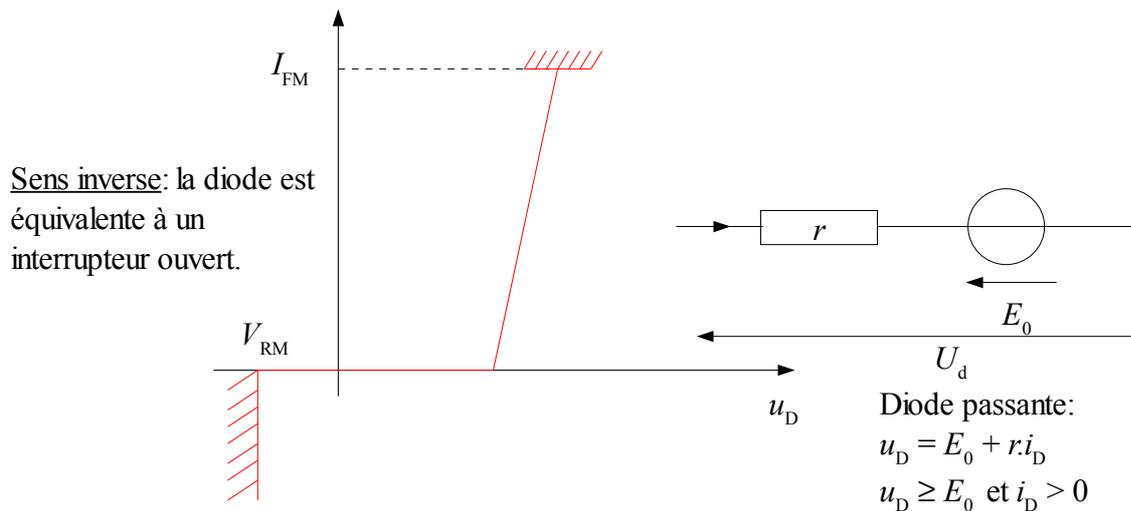
I_{FM} : courant direct maximal

V_{RM} : tension inverse maximale

4.2. MODÈLE DE LA DIODE RÉELLE

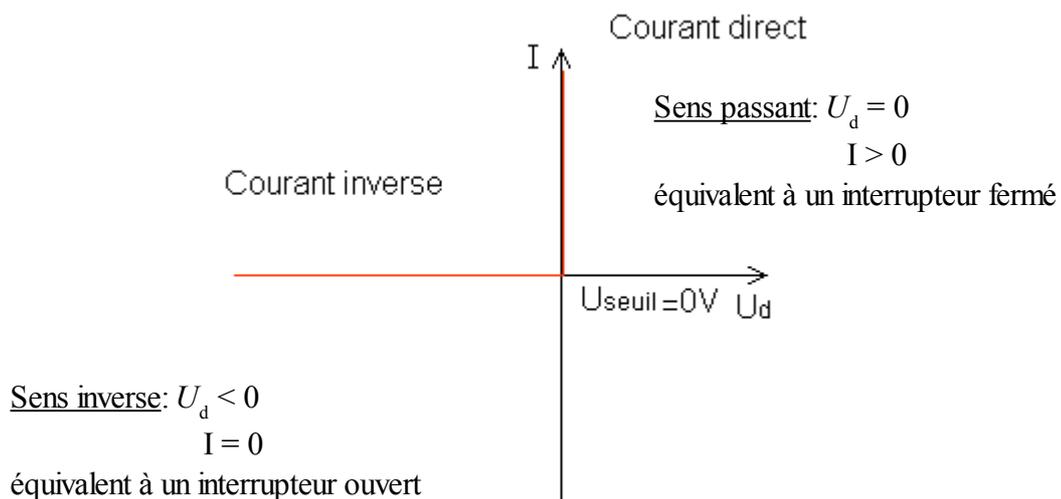
i_D

Sens passant: la diode peut être modélisée par l'association série d'un générateur de tension (de l'ordre de 0,7 à 0,8 V), appelé E_0 tension de seuil et d'une résistance r (faible)



4.3. MODÈLE DE LA DIODE IDÉALE

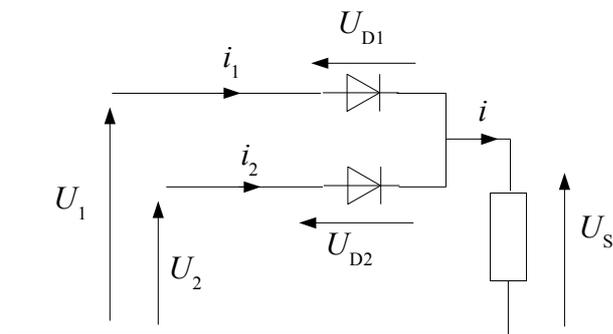
Il s'agit de représenter la diode par un interrupteur électronique unidirectionnel non commandé. En électronique de puissance, la tension aux bornes de la diode passante est négligée devant les autres tensions du circuit.



V. GROUPEMENT DE DIODES

Dans les convertisseurs d'énergie, nous rencontrons souvent des groupements de diodes. Dans ce cas, il est intéressant de savoir quelle diode est susceptible de conduire.

5.1.GROUPEMENT DE DIODES À CATHODES COMMUNES



Hyp: $i > 0$ et $U_1 > U_2$

- si D1 conduit $U_{D1} = 0$.

$U_{D2} = U_2 - U_1 < 0$ et la diode D2 est bloquée.

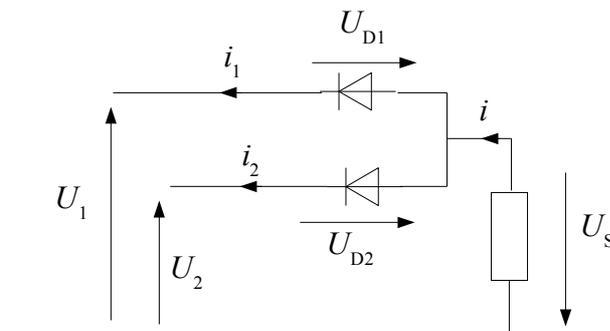
- si D2 passante: $U_{D2} = 0$ et $U_{D1} = U_1 - U_2 > 0$

donc D1 également passante $U_{D1} = 0$ implique

$U_1 = U_2$ en contradiction avec l'hypothèse de départ.

Dans un groupement de diodes à cathodes communes, seule la diode dont l'anode est au potentiel le plus élevé est susceptible de conduire.

5.2.GROUPEMENT DE DIODES À ANODES COMMUNES



Hyp: $i > 0$ et $U_1 > U_2$

- si D2 conduit $U_{D2} = 0$.

$U_{D1} = U_2 - U_1 < 0$ et la diode D1 est bloquée.

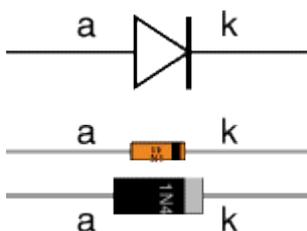
- si D1 passante: $U_{D1} = 0$ et $U_{D2} = U_1 - U_2 > 0$

donc D2 également passante $U_{D2} = 0$ implique

$U_1 = U_2$ en contradiction avec l'hypothèse de départ.

Dans un groupement de diodes à anodes communes, seule la diode dont la cathode est au potentiel le plus bas est susceptible de conduire.

COMPLEMENTS





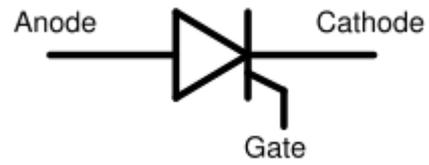
LED (U.S) ou DEL (Eur)
diode électroluminescente



PHOTODIODE



Diode SCHOTTKY



THYRISTOR



Diode VARICAP



diode ZENER



Diode TUNNEL

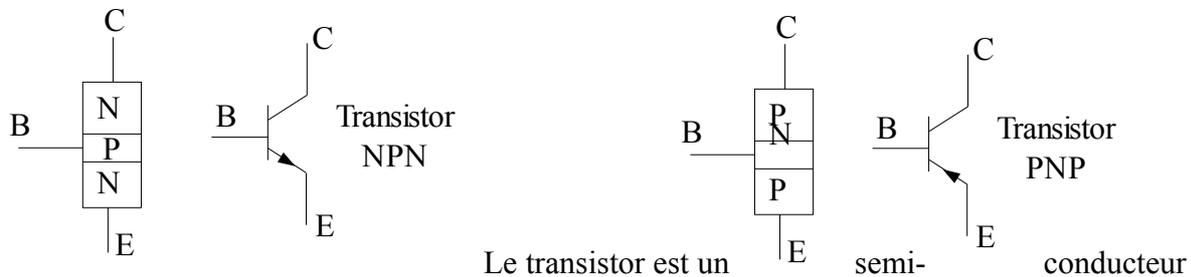
TRANSISTOR BIPOLAIRE

I. DESCRIPTION ET SYMBOLES

Un transistor bipolaire est constitué par la juxtaposition de trois zones semi-conductrices. On réalise le transistor à partir des 2 configurations suivantes:

- deux zones semi-conductrices N emprisonnant une mince couche P (<10 μ): transistor NPN
- deux zones semi-conductrices P emprisonnant une mince couche N: transistor PNP

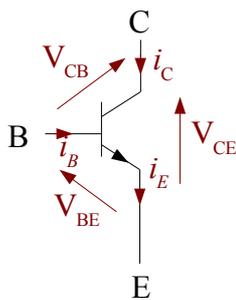
Le transistor comporte 3 connexions: Emetteur (E), Base (B), Collecteur (C).



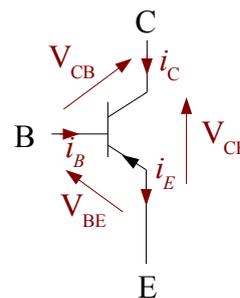
permettant:

- un fonctionnement bloqué-saturé (commutation)
- un fonctionnement en amplificateur de courant (linéaire)

II. CONVENTION ET RELATION



$$i_E = i_C + i_B$$



NPN:

toutes les grandeurs
PNP: toutes les grandeurs sont négatives

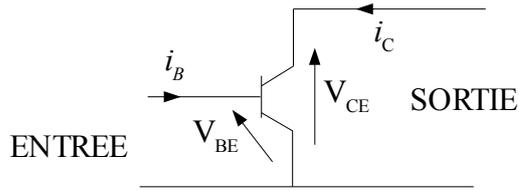
sont positives

III. RÉSEAUX DE CARACTÉRISTIQUES

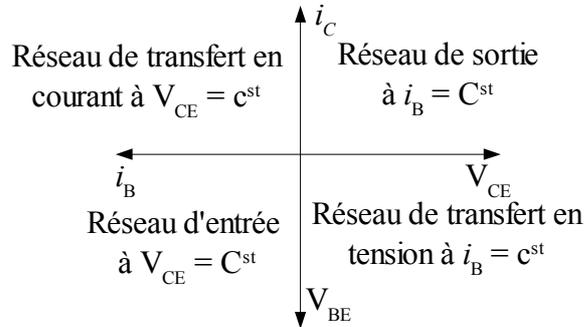
3.1. PRÉSENTATION

Quatre grandeurs suffisent pour caractériser le

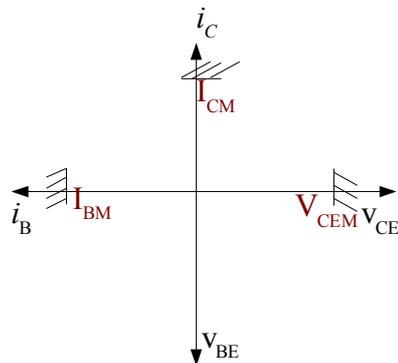
- deux grandeurs d'entrée: i_B, V_{BE}
- deux grandeurs de sortie: i_C, V_{CE}



L'ensemble des caractéristiques peut donc être représenté dans le système d'axe suivant:



3.2. VALEURS LIMITES DU COMPOSANT



I_{CM} : courant collecteur maximal

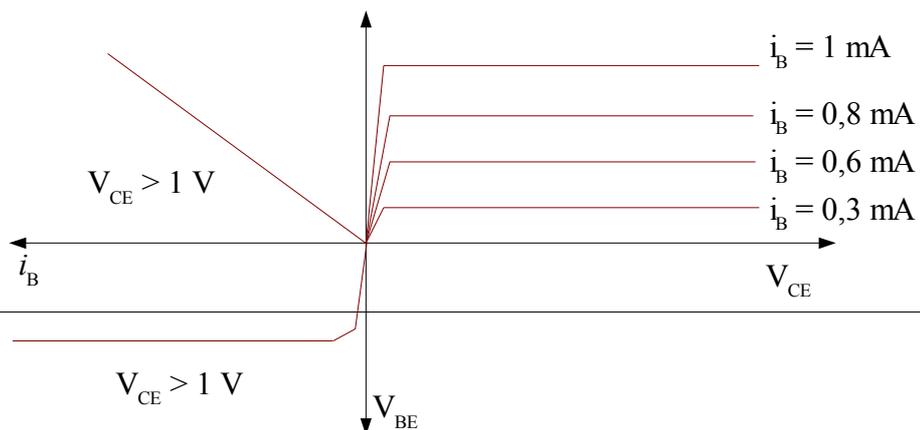
V_{CEM} : tension maximale de VCE au delà de laquelle le transistor risque d'être détruit.

I_{BM} : courant de base maximal au delà duquel la jonction émetteur-base peut se détruire.

P_M : puissance dissipable maximale pour une température du boîtier de 25°C

$$P_M = i_C \cdot V_{CE} + i_B \cdot V_{BE} \approx i_C \cdot V_{CE}$$

3.3. ENSEMBLE DE



CARACTÉRISTIQUES

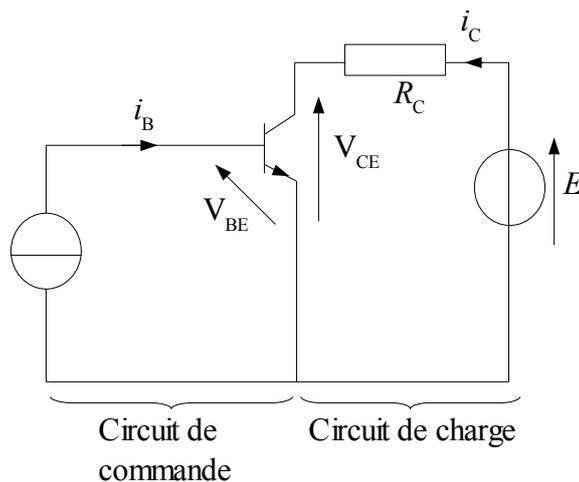
i_C

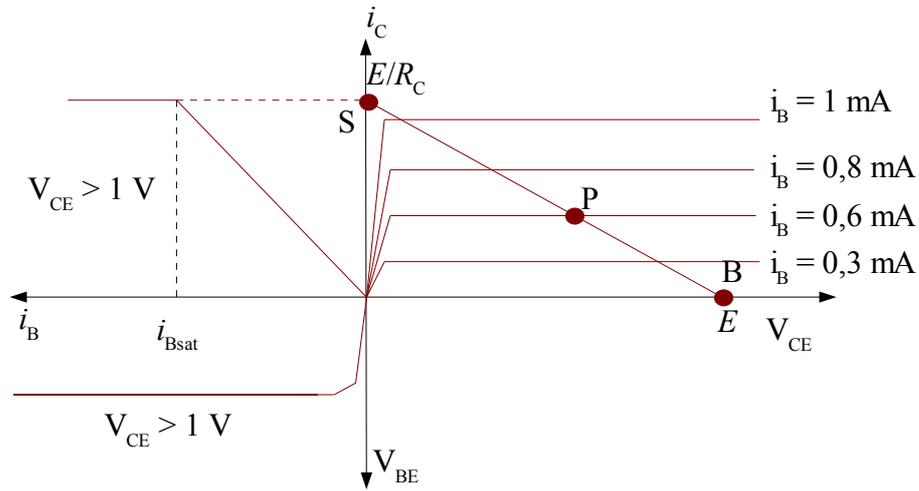
3.4. INTERPRÉTATION

- $i_C = f(i_B)$ est appelé caractéristique de transfert en courant.
Pour $v_{CE} > 1 \text{ V}$ $i_C = \beta \cdot i_B$
 $\beta = h_{FE}$: coefficient d'amplification statique en courant
- $i_B = f(v_{BE})$: la caractéristique d'entrée est identique à celle d'une diode lorsque $v_{CE} > 1 \text{ V}$
 $v_{BE} \approx 0,6 \text{ à } 1 \text{ V}$
- Les caractéristiques de sortie sont sensiblement horizontales pour $v_{CE} > 1 \text{ V}$. Le transistor est équivalent à un générateur de courant presque parfait dont l'intensité est commandée par le courant de base.

$$i_C = \beta \cdot i_B \quad \text{Pour } v_{CE} > 1 \text{ V}$$

IV. TRANSISTOR BIPOLAIRE SUR CHARGE RÉSISTIVE





Loi des mailles:

$V_{CE} +$

$$R_C \cdot I_C = E \Rightarrow I_C = \frac{E}{R_C} - \frac{V_{CE}}{R_C} \text{ droite affine}$$

coefficient directeur : $-\frac{1}{R_C}$ (droite décroissante) et coordonnées à l'origine: $\frac{E}{R_C}$

$I_C = f(V_{CE})$: droite de charge statique

Au point de saturation S: $V_{CE} \approx 0 \text{ V}$ $I_{Csat} \approx \frac{E}{R_C}$ $i_B > I_{Bsat}$ avec $I_{Bsat} = \frac{I_{Csat}}{\beta}$

la formule $i_C = \beta \cdot i_B$ n'est plus valable. Quelque soit la valeur de i_B ($> I_{bsat}$) $i_C = I_{Csat}$

Au point de blocage B: $V_{CE} \approx E$ $I_C \approx 0 \text{ A}$ et $I_B \approx 0 \text{ A}$

Au point de fonctionnement P (compris entre B et S): fonctionnemnt linéaire $i_C = \beta \cdot i_B$ pour $i_B < I_{bsat}$

V. APPLICATION À LA COMMUTATION

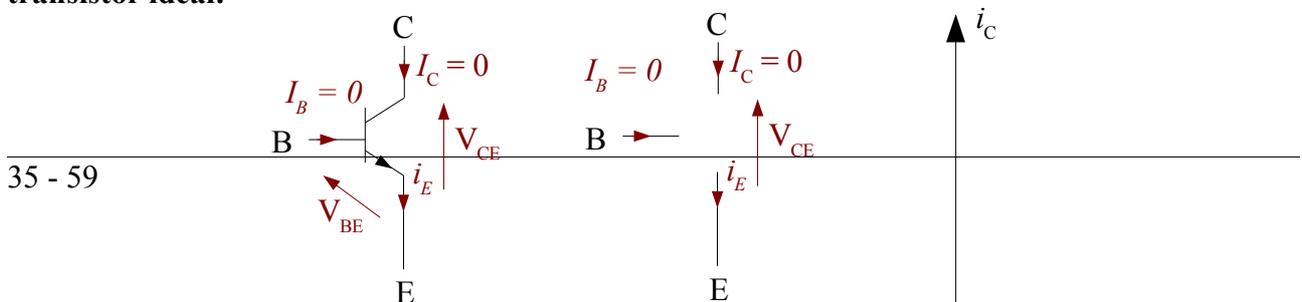
La commutation est le passage de l'état bloqué à l'état saturé et inversement. Le transistor ne peut être que bloqué ou saturé: il se comporte comme un interrupteur ouvert ou fermé.

5.1. ETAT BLOQUÉ

transistor réel:

$$\begin{array}{l} I_B = 0 \text{ A} \\ I_C \approx 0 \text{ A} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{NPN} \\ \left\{ \begin{array}{l} V_{BE} \leq 0,4 \text{ V} \\ V_{CE} \approx E \end{array} \right. \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{PNP} \\ \left\{ \begin{array}{l} V_{BE} \geq -0,4 \text{ V} \\ V_{CE} \approx -E \end{array} \right. \end{array}$$

transistor idéal:





5.2. ETAT SATURÉ

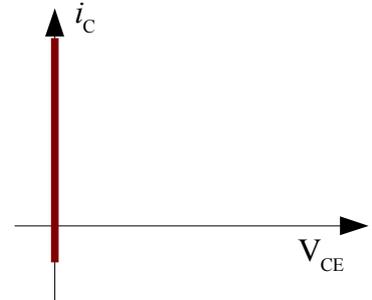
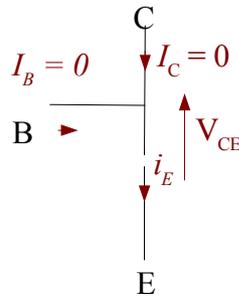
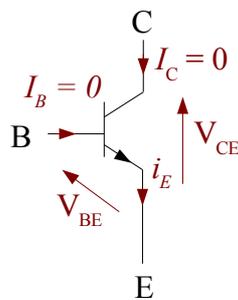
transistor réel:

$$i_B \geq I_{Bsat}$$

$$i_C = i_{Csat} \approx \frac{E}{R_C}$$

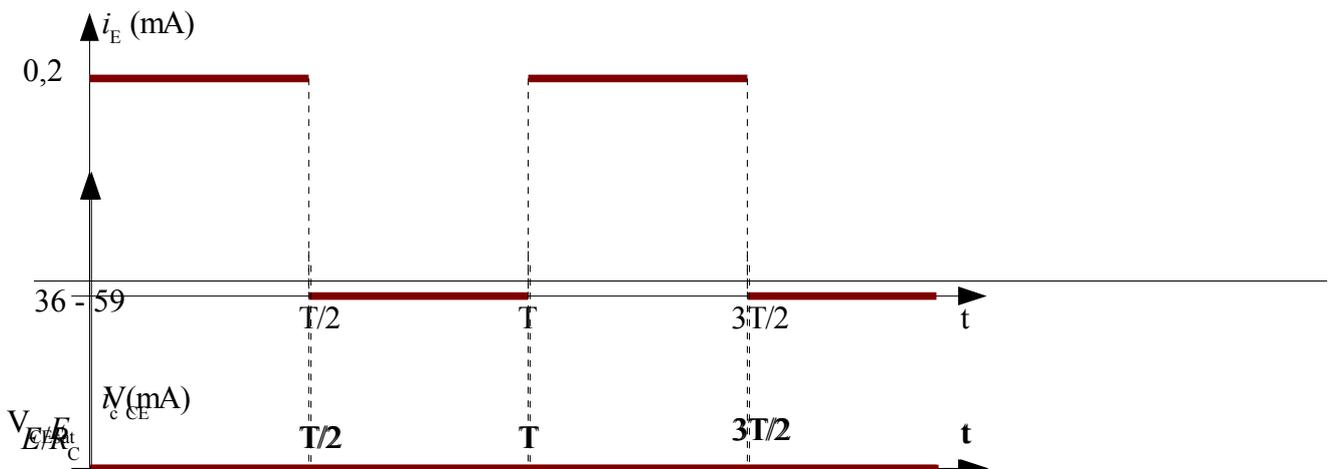
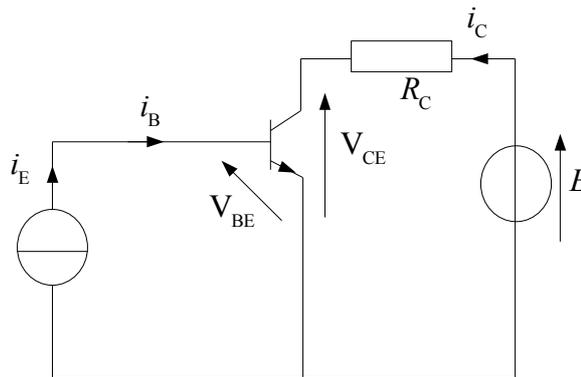
$$\text{NPN} \begin{cases} V_{BEsat} \approx 0,8 \text{ V} \\ V_{CEsat} \approx 0,2 \text{ V} \end{cases} \quad \text{PNP} \begin{cases} V_{BE} \approx -0,8 \text{ V} \\ V_{CE} \approx -0,2 \text{ V} \end{cases}$$

transistor idéal:



5.3. EXEMPLE DE COMMUTATION

$$\begin{aligned} E &= 15 \text{ V} \\ R_C &= 1 \text{ k}\Omega \\ \beta &= 100 \\ V_{CEsat} &= 0,5 \text{ V} \\ i_B &= i_E \end{aligned}$$



$$\text{de } 0 < t < \frac{T}{2} \quad i_E = i_B = 0,2 \text{ mA} \quad \text{or } i_{C\text{sat}} = \frac{E}{R_C} = 15 \text{ mA} \Rightarrow i_{B\text{sat}} = \frac{I_{C\text{sat}}}{\beta} = 0,15 \text{ mA}$$

$i_B > i_{B\text{sat}}$ le transistor est saturé.

$$\text{On en déduit } i_C = \frac{E - V_{CE\text{sat}}}{R_C} = 14,5 \text{ mA}$$

$$\text{de } 0 < t < \frac{T}{2} \quad i_E = 0 \text{ mA} \quad \text{le transistor est bloqué. } I_C = 0 \text{ mA} \quad \text{et } V_{CE} = E = 15 \text{ V}$$

LES CONDENSATEURS

1. DESCRIPTION

Un condensateur est constitué de deux surfaces conductrices (armatures) séparées par un isolant (diélectrique).

La construction et la forme du condensateur dépendent de sa technologie et de son application.

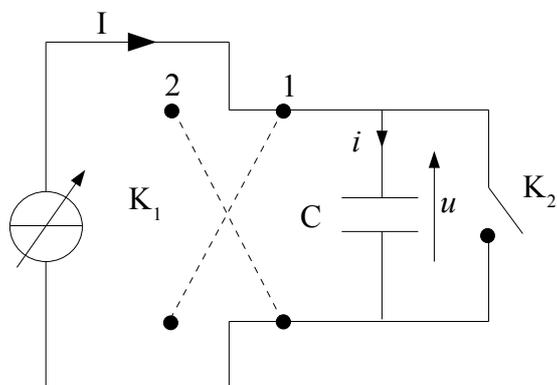
Les condensateurs chimiques ou électrolytiques (de forte capacité) sont généralement polarisés.

Il existe également des condensateurs de (faible) capacités variables.



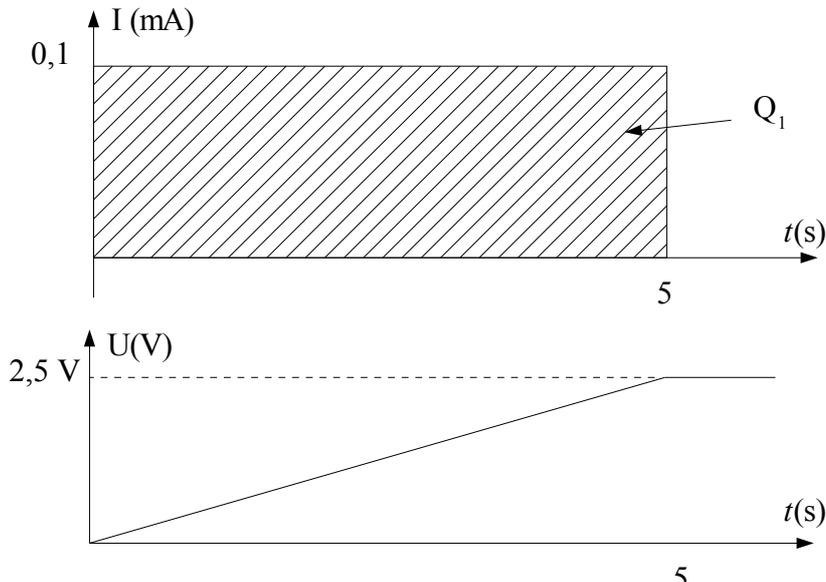
2. PROPRIÉTÉS DES CONDENSATEURS

2.1. MONTAGE EXPÉRIMENTAL



	K_2 ouvert	K_2 fermé
K_1 ouvert	$i = 0$	$i = 0$ et $u = 0$
K_1 position 1	$i = + I$	
K_1 position 2	$i = - I$	

2.2. CAPACITÉ D'UN CONDENSATEUR



- $t < 0$: K_1 en position 0 et K_2 fermé puis ouvert.
 $i = 0$ et $u = 0$.
- $0 < t < t_1$ K_1 en position 1 $\Rightarrow i = I$
le condensateur reçoit une quantité d'électricité: $q = I.t$
La tension croît linéairement au cours du temps, de façon analogue à la quantité d'électricité reçue par le condensateur $u = a.t$

Le rapport entre la quantité d'électricité reçue et la tension aux bornes est une grandeur constante caractéristique du condensateur appelée, capacité du condensateur:

$$C = \frac{q}{u} = \frac{I.t}{a.t} = \frac{I}{a}$$

$$q = C.U = C(V_A - V_B)$$

q : quantité d'électricité en Coulomb (C)

C : capacité d'un condensateur en Farad (F)

U : tension en V

V_A , et V_B : potentiel respectivement au point A et B en V.

- $t > t_1$: K_1 ouvert $i = 0$

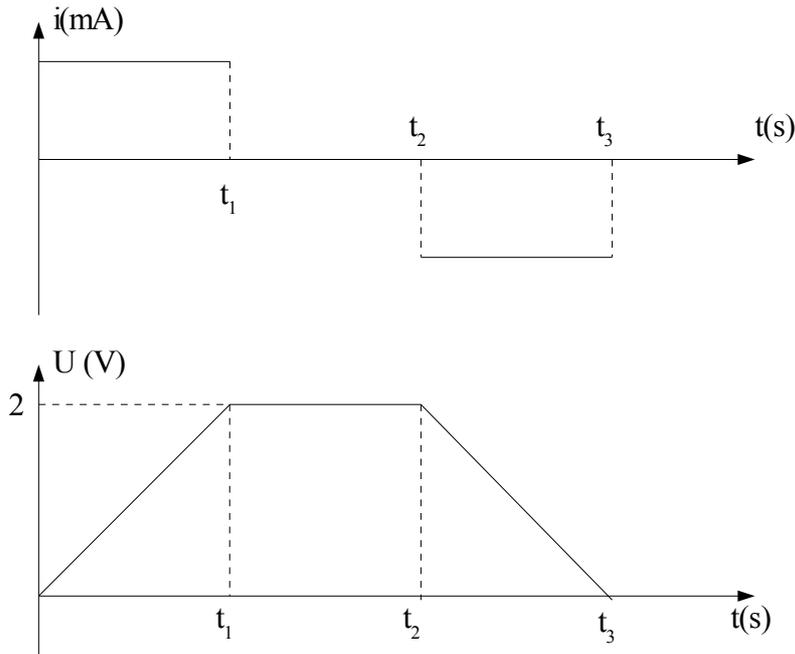
Lorsque le condensateur ne reçoit plus la charge électrique, la quantité d'électricité accumulée et la tension à ses bornes restent constantes.

La quantité d'électricité totale reçue par le condensateur est représentée par l'aire de la surface colorée:

$$Q_1 = C . U_1 = I.t_1 = 0,1 . 5 . 10^{-3} = 0,5 . 10^{-3} \text{ C}$$

La capacité du condensateur vaut: $C = \frac{Q_1}{U_1} = \frac{0,5 . 10^{-3}}{2,5} = 0,2 \text{ mF} = 200 \mu\text{F}$

2.3. RELATION ENTRE COURANT ET TENSION



- $0 < t < t_1 : i = I$

La tension u aux bornes du condensateur croît linéairement au cours du temps.

$$\frac{du}{dt} = \frac{\Delta U}{\Delta t} = a = \frac{I}{C} = \frac{i}{C}$$

- $t_1 < t < t_2 : i = 0$

La tension u aux bornes du condensateur reste constante

$$\frac{du}{dt} = \frac{\Delta U}{\Delta t} = 0 = \frac{i}{C}$$

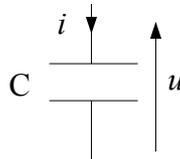
- $t_2 < t < t_3 : i = -I$

La tension u aux bornes du condensateur décroît linéairement au cours du temps.

$$\frac{du}{dt} = \frac{\Delta U}{\Delta t} = -a = \frac{-I}{C} = \frac{i}{C}$$

De façon générale, un courant variable i transporte, pendant une durée dt , une quantité d'électricité $dq = i \cdot dt$. La tension aux bornes du condensateur subit une variation.

$$i = \frac{dq}{dt} = C \cdot \frac{du}{dt}$$

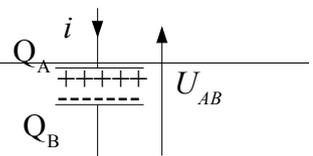


2.4. CHARGES PORTÉES PAR LES ARMATURES

Dans un condensateur, les charges électriques (les e^-) ne peuvent traverser l'isolant qui sépare les deux armatures conductrices.

Pendant un temps Δt , un courant d'intensité I entraîne une accumulation des charges.

$$Q_A = I \cdot \Delta t$$

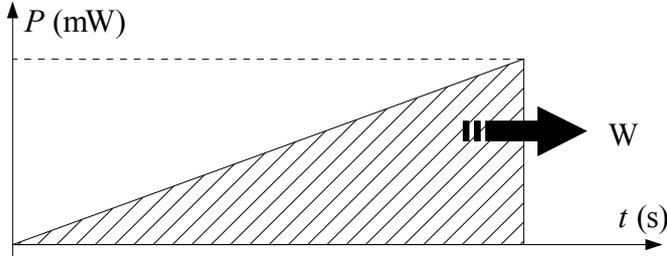


$$Q_A = -Q_B = C(V_A - V_B) = C.U_{AB}$$

Si $I = \text{constante}$ alors $Q = C.U = I.t$ croît jusqu'à la tension de claquage U_{AB}

2.5. ENERGIE ÉLECTRIQUE STOCKÉE PAR UN CONDENSATEUR

W: énergie (travail)



Pour $t = t_1$ $P_1 = U_1.I$
 $t > t_1$ $P = 0$

$$W = P.t \quad \text{or} \quad P = u.i \quad \Rightarrow \quad W = \frac{1}{2}(u.i.t) = \frac{1}{2}u.Q = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} C.u^2$$

avec Q : quantité d'électricité en Coulomb (C)
 u : tension aux bornes du condensateur (V)
 C : capacité du condensateur (F)
 W : énergie en Joules (J)

3. ASSOCIATIONS DE CONDENSATEURS

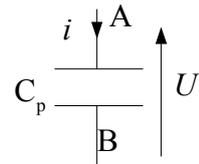
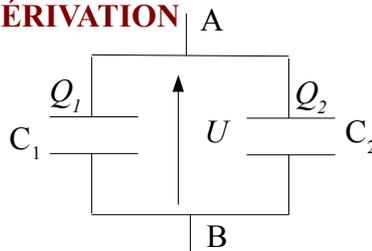
Le condensateur équivalent à une association série ou parallèle, est tel qu'il accumule la même quantité d'électricité lorsqu'il est soumis à la même tension.

3.1. CONDENSATEURS EN DÉRIVATION

$$Q = Q_1 + Q_2$$

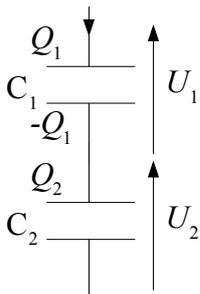
$$C_p U = C_1 U + C_2 U$$

$$\Rightarrow C_p = C_1 + C_2$$



Cas général: $C_{eq} = \sum_{i=1}^n C_i$ **les capacités des condensateurs en dérivation s'ajoutent.**

3.2. CONDENSATEURS EN SÉRIE



$$U = U_1 + U_2 \quad \Rightarrow \quad \frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

La somme des charges sur les deux armatures en contact électrique est nulle:
 $-Q_1 + Q_2 = 0 \Rightarrow Q = Q_1 = Q_2$

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow C_s = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

cas général: $\frac{1}{C_{eq}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$: l'inverse de la capacité équivalente est égale à la somme des inverses des capacités des condensateurs en série.

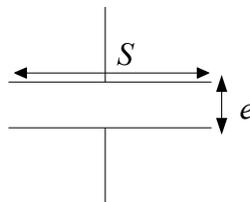
4. CHAMP ÉLECTRIQUE ET FORCE ÉLECTROSTATIQUE.

4.1. CHAMP ÉLECTRIQUE DANS UN CONDENSATEUR PLAN

a. Capacité d'un condensateur plan.

La capacité d'un condensateur plan dépend de ses dimensions et de la nature du diélectrique.

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{e}$$



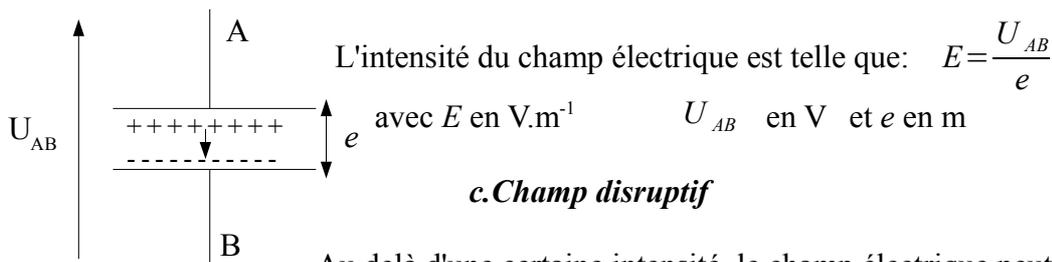
avec: S : surface d'une armature (m^2)
 e : épaisseur du diélectrique (m)

$$\epsilon_0 : \text{permittivité du vide} \quad \epsilon = \frac{1}{36 \pi \cdot 10^9} \text{ en F.m}^{-1}$$

ϵ_r : permittivité relative du diélectrique (sans unité)

b. Champ électrique dans un condensateur plan.

Si l'on admet que les charges électriques se répartissent uniformément sur les surfaces des armatures, il existe entre celles-ci un champ électrique uniforme \vec{E} dirigé de l'armature positive vers l'armature négative (ou dirigé vers les potentiels décroissants).



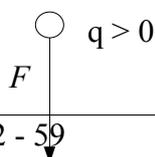
c. Champ disruptif

Au delà d'une certaine intensité, le champ électrique peut provoquer la destruction du diélectrique: ce champ maximal est appelé champ disruptif.

Au champ disruptif correspond une tension maximale dite de claquage qu'il ne faut jamais atteindre.

4.2. FORCE ÉLECTROSTATIQUE

Une charge électrique q placée dans un champ électrique \vec{E} est soumise à une force électrostatique \vec{F} telle que:



$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

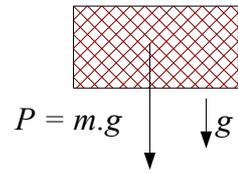
↓ E

F en N

q en C

et E en $V.m^{-1}$

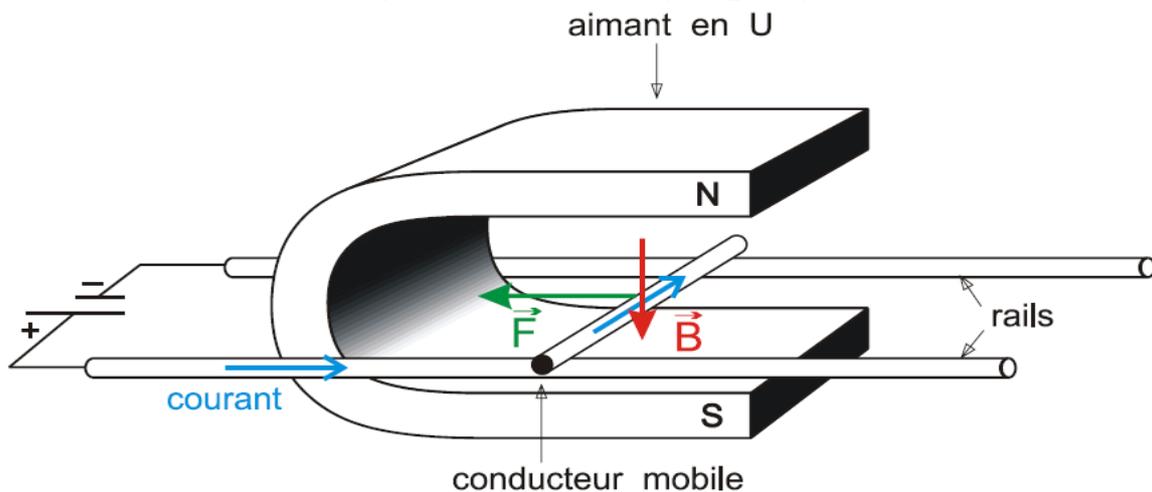
Remarque: Le champ électrique \vec{E} agit de façon analogue sur une charge électrique q , que le champ de pesanteur \vec{g} sur une masse m



FORCE DE LAPLACE

I. EXPERIMENTATION

Un conducteur est posé sur deux rails dans l'entrefer d'un aimant en U. Lorsqu'un courant circule, ce conducteur est mis en mouvement par l'action d'un champ magnétique.



- \vec{F} : force de Laplace (N)
 I : intensité de courant (A)
 \vec{B} : champ magnétique en T.

II. LOI DE LAPLACE

Une portion rectiligne d'un conducteur, de longueur l , parcourue par un courant d'intensité I et placée dans un champ magnétique uniforme \vec{B} , est soumise à une force électromagnétique \vec{F} appliquée en son milieu et donnée par la relation:

$$\vec{F} = I \cdot \vec{l} \wedge \vec{B}$$

Le sens du vecteur \vec{l} étant celui du courant

La force de Laplace a donc les caractéristiques suivantes:

- ✓ direction: \vec{F} est toujours perpendiculaire au plan formé par le conducteur et le champ (\vec{F} est normal au plan défini par \vec{l} et \vec{B})
- ✓ sens: il est conforme à la règle de la main droite. Nous dirons également que le trièdre (\vec{l} , \vec{B} , \vec{F}) est direct.
- ✓ Intensité: $F = I.l.B.\sin \alpha$ avec $\alpha = (\vec{l}, \vec{B})$

III. APPLICATIONS

HAUT PARLEUR ÉLECTRODYNAMIQUE

Un haut parleur électrodynamique est constitué par une bobine pouvant coulisser entre les pôles d'un aimant de forme régulière. L'aimant crée un champ radial: le champ magnétique, en chaque point d'une spire est dirigé vers le centre de celle-ci. La bobine est solidaire d'une membrane.

Lorsqu'un courant circule dans la bobine, chaque spire est soumise à des forces de Laplace qui la déplacent. Un petit élément δl d'une spire est soumis à une force de Laplace $\delta \vec{F}$. L'élément $\delta \vec{l}$ est suffisamment petit pour être confondu avec un petit segment de droite: il est orienté dans le sens du courant.

$$\delta \vec{F} = I \cdot \delta \vec{l} \wedge \vec{B}$$

Le champ étant radial, \vec{B} est perpendiculaire à $\delta \vec{l}$ ($\sin \alpha = 1$). Sur chaque élément δl de la bobine, s'exerce une force orthogonal à \vec{B} et $\delta \vec{l}$, donc perpendiculaire au plan des spires. Sa valeur est :

$$\delta F = I \cdot \delta l \cdot B \quad \text{or} \quad \vec{F} = \sum \delta \vec{F}$$

$$F = \sum \delta F = \sum I \cdot \delta l \cdot B = I \cdot B \cdot \sum \delta l = I \cdot B \cdot L \quad \text{avec } L = 2\pi N \cdot R$$

L : longueur de la bobine

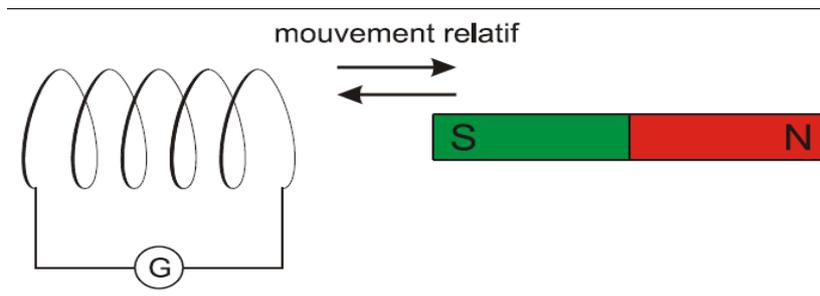
N : Nombre de spires

R : rayon d'une spire

INDUCTION – AUTOINDUCTION

I. MISE EN EVIDENCE EXPERIMENTALE DE L'INDUCTION ELECTROMAGNETIQUE

1. DISPOSITIF ET FAITS EXPERIMENTAUX



Au cours du déplacement de l'aimant droit vers la bobine, l'aiguille du galvanomètre dévie. Eloignons ce pôle de la bobine, la déviation s'inverse. Elle s'inverse aussi si on permute les pôles de l'aimant. La déviation est d'autant plus grande que le déplacement est rapide.

2. INTERPRÉTATION

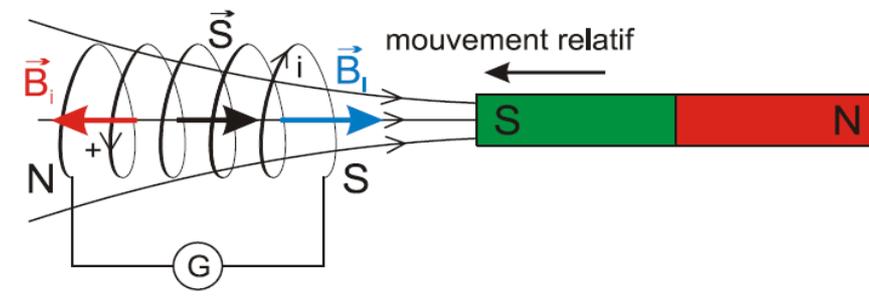
Dès qu'il y a déplacement de la source du champ magnétique près d'un circuit électrique fixe, une tension apparaît aux bornes du circuit: il se comporte comme un générateur. Il existe à l'intérieur du circuit, une force électromotrice qui crée cette tension.

3. TERMINOLOGIE

- ✓ La source de champ variable (aimant droit): inducteur
- ✓ Le circuit dans laquelle apparaît la f.é.m e : induit (bobine)
- ✓ f.é.m. e est appelé force électromotrice induite et le phénomène induction électromagnétique.

II. COURANT INDUIT – LOI DE LENZ

1. LES COURANTS INDUITS



Au cours de l'expérience, le circuit fermé fait apparaître la circulation d'un courant lors du déplacement de l'aimant. Ce courant est appelé courant induit. On remarque que le courant induit fait apparaître une face Nord en regard du pôle Nord de l'aimant droit qui s'approche. Il s'oppose donc à cette approche.

2. LOI DE LENZ

Le phénomène d'induction électromagnétique est tel que par ses effets, il s'oppose à la cause qui lui a donné naissance.

3. APPLICATIONS

a. Orientation de la f.é.m. e

La loi de Lenz permet de déterminer rapidement l'orientation de la f.é.m. Induite e créée dans un circuit.

On imagine le circuit fermé et on dit que le courant induit, de par sa circulation dans le circuit s'opposerait à la cause qui lui donne naissance.

Ainsi, à une approche d'un pôle Nord, le courant induit fait apparaître une face Nord qui repousse ce pôle. Connaissant la face, on en déduit le sens du courant induit i et celui de la f.é.m. induite e (i et e de même sens).

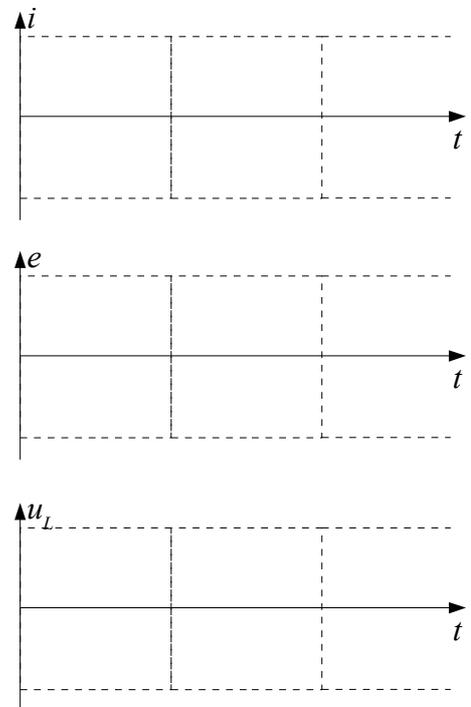
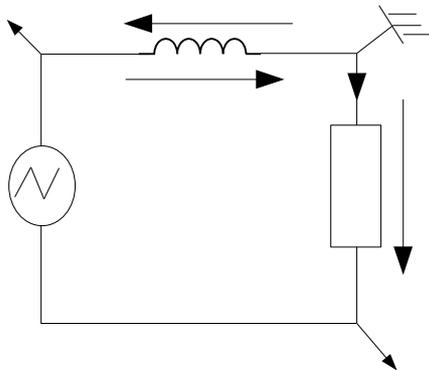
b. Courant de Foucault

Un disque métallique peut osciller librement entre les pôles d'un électroaimant. Si ce dernier n'est pas alimenté, les oscillations ne sont pratiquement pas amorties. Par contre, les mouvement du disque cesse très rapidement dès que l'électroaimant produit un champ magnétique.

Le disque métallique est le siège de f.é.m. induite. Le circuit métallique permet la circulation des courants induits d'où l'apparition des forces de Laplace qui s'oppose au mouvement. On retrouve un autre exemple d'application de la loi de Lenz.

III. AUTOINDUCTION

1. MISE EN ÉVIDENCE



Dans le phénomène d'induction, l'inducteur et l'induit sont deux éléments différents. Dans le phénomène d'autoinduction, l'inducteur est aussi l'induit.

2. TENSION ET F.É.M. e AUTOINDUITE

$$i = a.t + b \Rightarrow \frac{di}{dt} = a \quad L \cdot \frac{di}{dt} = L.a = u_L \Rightarrow \boxed{u_L = L \frac{di}{dt}}$$

u_L : tension aux bornes de la bobine en V

L : inductance en Henry (H)

i : courant en A

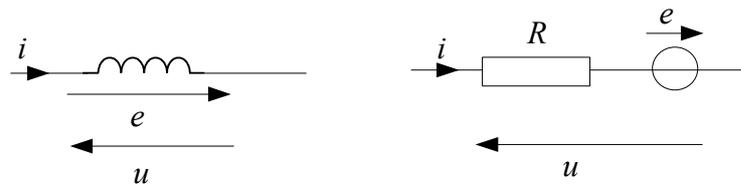
t : temps en s

On appelle L le coefficient de proportionnalité qui est caractéristique de la bobine. Il porte le nom d'inductance propre et s'exprime en Henry.

On en déduit : $\boxed{e = - L \cdot \frac{di}{dt}}$

Remarque: si le courant est constant $\frac{di}{dt} = 0 \Rightarrow e = 0$

3. MODÈLE ÉQUIVALENTE D'UNE BOBINE RÉELLE



$$e = -L \frac{di}{dt}$$

$$u = Ri + L \frac{di}{dt}$$

une bobine est considérée comme idéal quand $L \frac{di}{dt} \gg R.i \Rightarrow u = u_L = L \frac{di}{dt}$

4. ENERGIE EMMAGASINÉE PAR UNE BOBINE

$$W = \frac{1}{2} Li^2$$

W : énergie en Joules

L : inductance de la bobine en H

i : intensité de courant circulant dans la bobine en A

5. EXPRESSION DE L D'UN SOLENOÏDE PLACÉ DANS L'AIR

$$L = \mu_0 \frac{N^2 \cdot S}{l} \quad \text{avec} \quad n = \frac{N}{l} \Rightarrow L = \mu_0 N \cdot n \cdot S$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ S.I.: perméabilité du vide

S : surface en m^2

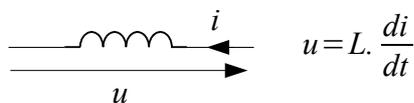
l : longueur de la bobine

N : nombre de spire

n : nombre de spire/m

6. PUISSANCE ET ÉNERGIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE DANS UNE BOBINE INDUCTIVE

a. bobine pure



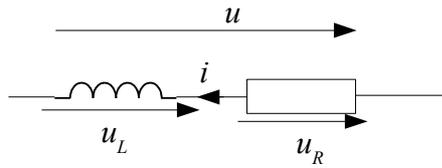
$$u = L \frac{di}{dt}$$

Puissance: $P = u \cdot i = L \cdot i \cdot \frac{di}{dt} = \frac{1}{2} L \frac{di^2}{dt}$

Energie: $\delta W = P \cdot dt = \frac{1}{2} L \cdot \frac{di^2}{dt} \cdot dt = \frac{1}{2} L \cdot di^2$ or $W = \sum \delta W = \frac{1}{2} L \cdot i^2$

b. Bobine réelle

La bobine est schématisée par une inductance pure en série avec une résistance



Puissance: $P = u \cdot i = (u_R + u_L) \cdot i = R \cdot i + \frac{1}{2} L \cdot \frac{di^2}{dt}$

Energie: $W = P \cdot dt = \frac{1}{2} L i^2 + R \cdot i^2 t$

GRANDEURS PERIODIQUES

I. GRANDEURS VARIABLES

1. NOTATIONS

Nous représentons par une lettre minuscule la valeur instantanée d'une grandeur électrique variable (intensité de courant i , tension u). La valeur maximale de cette grandeur sera noté \hat{U} (U_{\max}) et sa valeur minimale \check{U} (U_{\min}).

2 REMARQUE

A instant t donné, un courant variable i a une valeur fixe, c'est comme si, à cet instant, le circuit électrique était traversé par un courant continu de valeur i constante. Nous en déduisons que: **toutes les lois du courant continu s'appliquent aux valeurs instantanées des courants variables.**

3. MESURES

Les valeurs instantanées d'une tension et d'une intensité (évolution de la tension ou du courant au cours du temps) peuvent être visualisées et mesurées sur l'écran d'un oscilloscope avec éventuellement des sondes différentielles et des sondes de courant.

II. CARACTÉRISTIQUES DES GRANDEURS PÉRIODIQUES

1. PÉRIODE ET FRÉQUENCE

1.1. Définition de la période

La période d'une grandeur périodique est la durée T , exprimée en secondes, qui sépare deux instants consécutifs, où la grandeur se reproduit identiquement à elle-même.

$$u(t+T) = u(t)$$

1.2. Définition de la fréquence

La fréquence f , exprimée en Hertz (Hz) d'une grandeur périodique, est égale au nombre de périodes par seconde. La fréquence est égale à l'inverse de la période.

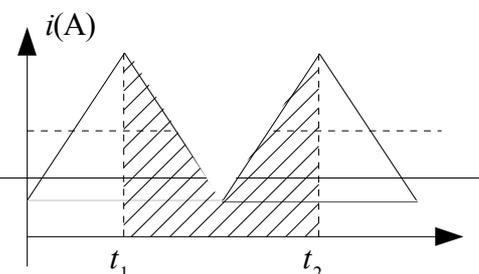
$$f \text{ (en Hz)} = \frac{1}{T \text{ (en secondes)}}$$

2. VALEUR MOYENNE D'UNE GRANDEUR PÉRIODIQUE

2.1. Intensité moyenne d'un courant variable.

a) Définition

Considérons un courant continu, d'intensité I constante.
Pendant la durée $\Delta t = t_2 - t_1$, il transporte une charge électrique



$\Delta q = I \cdot \Delta t$. Ce produit est matérialisé par l'aire du rectangle colorié sous la courbe.

$t(s)$

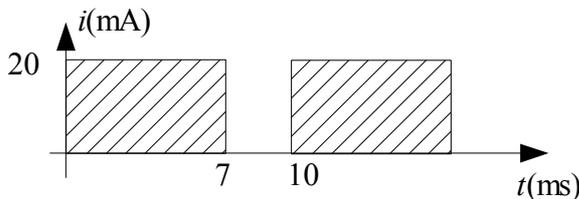
Définition: On appelle intensité moyenne entre t_1 et t_2 , d'un courant variable, l'intensité du courant continu qui transporterait la même charge Δq , pendant la même durée $\Delta t = t_2 - t_1$; elle est notée $\langle i \rangle$ ou \bar{i} .

b) Principe de calcul

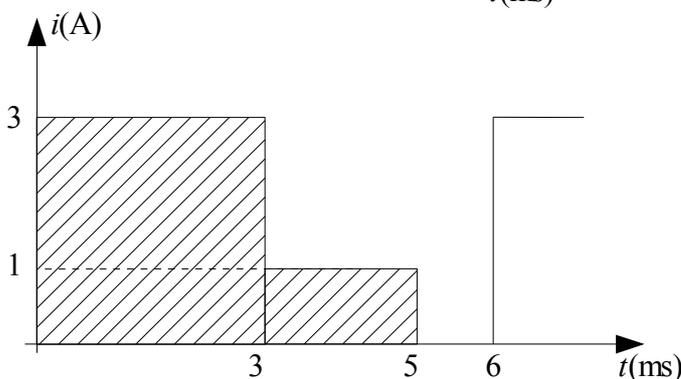
Pour des courants périodiques, on calculera l'intensité moyenne du courant sur une période. Comme dans le cas du courant continu, la quantité d'électricité (Δq) transportée par le courant périodique sera matérialisé par l'aire de la surface limitée par la courbe de variations de $i=f(t)$ et les verticales d'abscisses t et $t+T$

$$\langle i \rangle = \frac{[Aire]}{T} = \frac{\Delta q}{T} \quad \text{ou} \quad \langle i \rangle = \frac{1}{T} \int i(t) dt$$

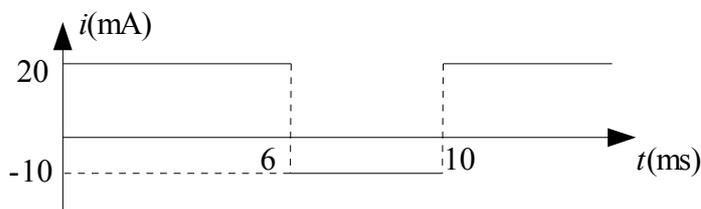
c) Exercices d'application



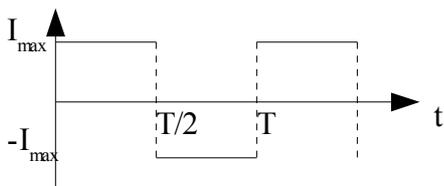
$$\langle i \rangle = \frac{\Delta Q}{T} = 14 \text{ mA}$$



$$\langle i \rangle = 1,8 \text{ A}$$



$$\langle i \rangle = 8 \text{ mA}$$



Un courant périodique de valeur moyenne nulle est appelé un courant alternatif, symétrique.

d) Mesures de l'intensité moyenne

Les ampéremètres magnétoélectriques (symbole) mesure directement l'intensité moyenne d'un

courant variable. La déviation de l'aiguille étant proportionnelle à la valeur moyenne du courant, ce type d'ampèremètre est utilisable quelle que soit la fréquence. Les ampèremètres numériques, avec le selecteur en position DC indiquent également l'intensité moyenne.

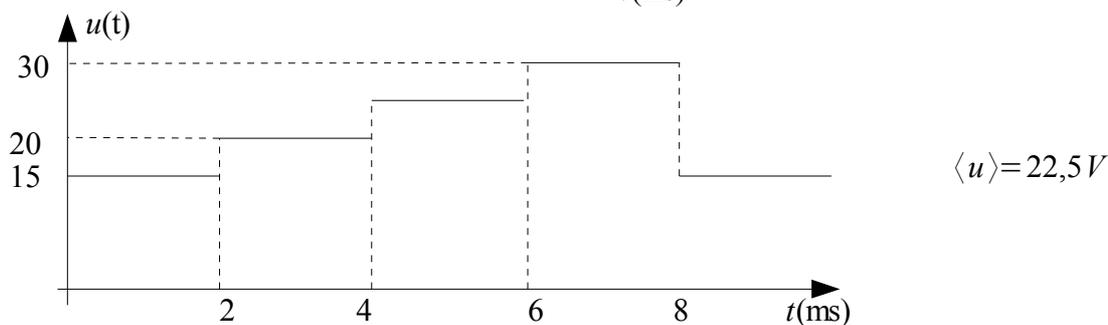
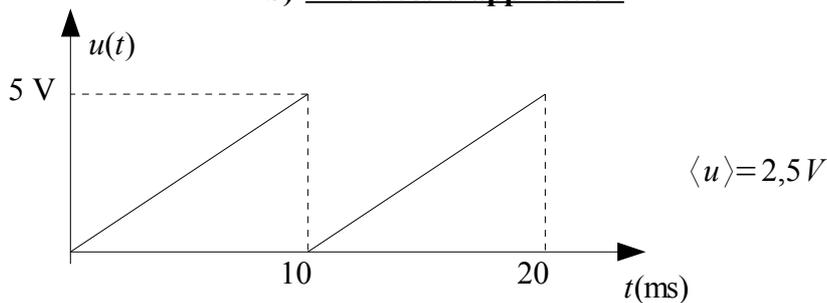
2.2. Valeur moyenne d'une tension variable.

a) Principe

La méthode des aires, utilisée pour déterminer l'intensité moyenne, s'applique de la même façon pour calculer la valeur moyenne d'une tension variable.

La mesure s'effectue à l'aide d'un voltmètre magnétoélectrique ou numérique en position DC.

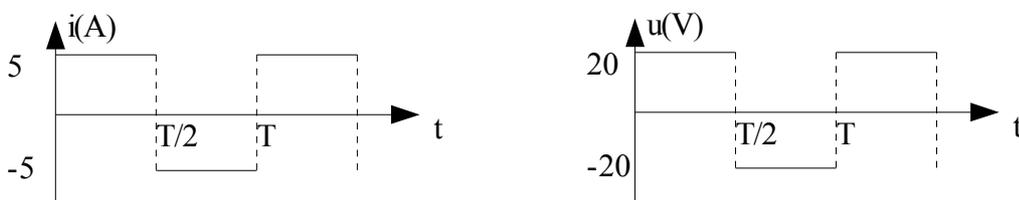
b) Exercices d'application



2.3. Valeur moyenne d'une puissance

Soit un dipôle récepteur parcouru par un courant i variable sous une tension u (variable). La puissance s'exprime par la relation $p = u.i$. La puissance moyenne $P = \langle p \rangle = \bar{p}$ est donnée par la relation $P = \langle u.i \rangle$.

Elle se calcule par la méthode des aires. Le wattmètre mesure directement la valeur moyenne de la puissance.



Entre 0 et $\frac{T}{2}$, $u = 20$ V et $i = 5$ A $\Rightarrow P = u.i = 100$ W

entre $\frac{T}{2}$ et T , $u = -20$ V et $i = -5$ A $\Rightarrow P = u.i = 100$ W



On en déduit $\langle p \rangle = 100 \text{ W}$ alors que $\langle u \rangle = 0 \text{ V}$ et $\langle i \rangle = 0 \text{ A}$. $\langle p \rangle = \langle u \cdot i \rangle \neq \langle u \rangle \cdot \langle i \rangle$

3. VALEUR EFFICACE D'UNE GRANDEUR PÉRIODIQUE

3.1. Intensité efficace d'un courant variable

a) Définition

On appelle intensité efficace notée I du courant variable i , l'intensité du courant continu qui dissiperait par effet Joule, la même énergie dans la même résistance, pendant la même durée.

b) Cas d'un courant périodique

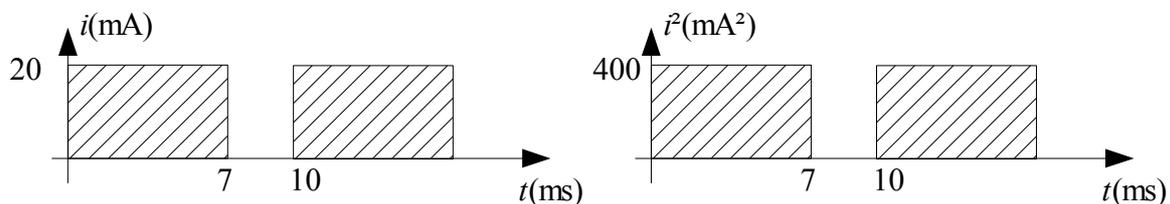
Le courant périodique i produit, aux bornes de la résistance, puissance instantanée $p = Ri^2$. Durant chaque période T , l'énergie créée étant la même, le courant continu fournirait une puissance constante

$$P = \frac{W}{T} = RI^2 \quad \text{qui est la valeur moyenne de } p : P = \langle p \rangle \quad \text{implique: } R \cdot I^2 = \langle R \cdot i^2 \rangle = R \cdot \langle i^2 \rangle \Rightarrow I^2 = \langle i^2 \rangle$$

$$I = \sqrt{\langle i^2 \rangle}$$

c) Principe de calcul

1. On trace les variations de i^2 en fonction du temps;
2. On calcule la valeur moyenne de i^2 par la méthode des aires.
3. On prend la racine carrée de celle-ci et on obtient ainsi la valeur efficace I du courant i , quelle que soit la forme de celui-ci.



$$\langle i^2 \rangle = 280 \text{ mA}^2 \quad I = 16,7 \text{ mA}$$

Remarque: la valeur moyenne de ce courant est de 14 mA, donc l'intensité efficace est supérieure à l'intensité moyenne.

3.2. Valeur efficace d'une tension variable

La valeur efficace U d'une tension variable u est telle que : $U = \sqrt{\langle u^2 \rangle}$

On calcule U , comme auparavant, en utilisant la méthode des aires.

3.3. Mesure d'une valeur efficace

- les appareils à thermocouple () sont directement basés sur la chaleur dégagée par effet Joule et mesurent donc les valeurs efficaces des courants et des tensions, quelle que soit leur forme.
- Les appareils ferromagnétiques () remplissent la même fonction. Ces appareils sont limités

en fréquence. Peu sensibles, et perturbateurs, ils ne sont plus très utilisés.

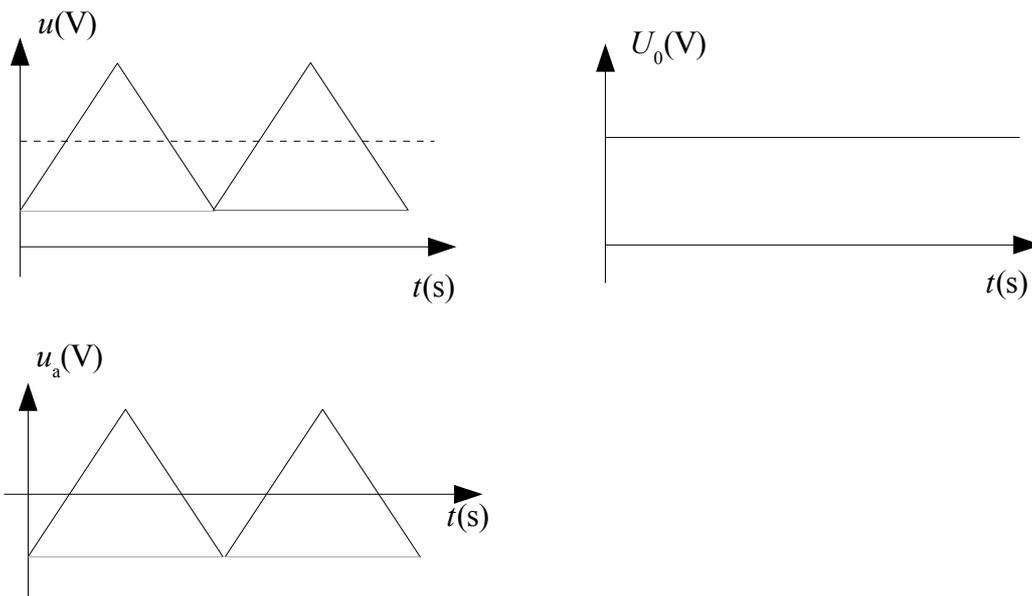
- Les appareils numériques dits « RMS » (root mean square) avec le sélecteur en position AC + DC mesurent aussi les valeurs efficaces.

III. DÉCOMPOSITION D'UNE GRANDEUR PÉRIODIQUE

Toute grandeur périodique se décompose comme la somme d'une grandeur continue U_0 et d'une grandeur alternative u_a .

$$u(t) = U_0 + u_a(t)$$

- la grandeur continue U_0 est la valeur moyenne de u
- la grandeur u_a est l'ondulation de u autour de sa valeur moyenne.



On mesure U_a (valeur efficace de $u_a(t)$) avec un appareil TRMS en position AC.

$$U^2 = \langle u \rangle^2 + U_a^2$$

PUISSANCE EN REGIME SINUSOIDAL

I. DEFINITIONS

1.1. PUISSANCE INSTANTANÉE

1.1.1. Expression de la puissance instantanée

p : puissance instantanée consommée ou fournie
 v : tension aux bornes du dipôle
 i : intensité instantanée du courant qui le traverse.

$$p = v.i.$$

1.1.2. Les conventions du dipôle

	Convention générateur (dessin)	Convention récepteur (dessin)
$p > 0$	Dipôle fournit de la puissance	Dipôle reçoit de la puissance
$p < 0$	Dipôle reçoit de la puissance	Dipôle fournit de la puissance

1.1.3. Expression de p en régime sinusoïdal

En prenant i comme référence des phases

$i = \hat{I} \cdot \sin \omega t$ et $v = \hat{V} \sin(\omega t + \varphi)$ avec $\varphi = (\vec{V}, \vec{I})$ Différence de phase entre $v(t)$ et $i(t)$.

$$p = v.i = \hat{V} \cdot \hat{I} \cdot \sin \omega t \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad \text{or} \quad \sin a \cdot \sin b = \frac{1}{2} [\cos(a - b) - \cos(a + b)]$$

$$p = \frac{\hat{V}\hat{I}}{2} \cos \varphi - \frac{\hat{V}\hat{I}}{2} \cos(2\omega t + \varphi) \quad \text{or} \quad \hat{V} = V\sqrt{2} \quad \text{et} \quad \hat{I} = I\sqrt{2}$$

$$p = VI \cos \varphi - VI \cos(2\omega t + \varphi)$$

1.2. PUISSANCE ACTIVE

1.2.1. Définition

La puissance active, est par définition, la valeur moyenne de P .

$P = \langle p \rangle = \langle VI \cos \varphi \rangle - \langle VI \cos(2\omega t + \varphi) \rangle = \langle VI \cos \varphi \rangle$ - car $\cos(2\omega t + \varphi)$ est l'expression d'un signal symétrique alternatif et donc sa valeur moyenne est nulle.

$$P = VI \cos \varphi$$

P : puissance active en W

V : tension efficace aux bornes du dipôle en V

I : intensité efficace en A

φ : déphasage de u par rapport à i en rad.

Remarque: P est le produit scalaire des vecteurs de Fresnel \vec{V} Et \vec{I} : $P = \vec{V} \cdot \vec{I}$

1.2.2. Dipôles récepteurs et dipôles générateurs de puissance active

Avec la convention de type récepteur:

- ✓ $P > 0$, dipôle récepteur (il consomme de la puissance active). Dans ce cas, $\cos \varphi > 0$ et $-\frac{\pi}{2} < \varphi < \frac{\pi}{2}$
- ✓ $P < 0$, dipôle générateur (il fournit de la puissance active). Dans ce cas, $\cos \varphi < 0$ et $\frac{\pi}{2} < \varphi < \frac{3\pi}{2}$

1.3. PUISSANCE RÉACTIVE

1.3.1. Définition

La puissance réactive est par définition:

$$Q = VI \cdot \sin \varphi$$

Q : puissance réactive en Var (Voltampères réactifs)

V : tension efficace aux bornes du dipôle en V

I : intensité efficace en A

φ : déphasage de u par rapport à i en rad.

1.3.2. Dipôles récepteurs et dipôles générateurs de puissance réactive

Avec la convention de type récepteur:

- ✓ $Q > 0$, dipôle récepteur (il consomme de la puissance réactive). Dans ce cas, $\sin \varphi > 0$ et $0 < \varphi < \pi$
- ✓ $Q < 0$, dipôle générateur (il fournit de la puissance réactive). Dans ce cas, $\sin \varphi < 0$ et $\pi < \varphi < 2\pi$

1.4. PUISSANCE APPARENTE

1.4.1. Expression

On appelle puissance apparente, le produit des valeurs efficaces de v et i .

$$S = VI.$$

S : puissance apparente en VA (et non watts car elle ne correspond à aucune puissance)

1.4.2. Utilité de la puissance apparente

La puissance apparente permet de dimensionner les appareils électriques. Exemple: un transformateur de 440 VA, 220 V peut délivrer en permanence $U = 220$ V un courant de I de $440 / 220 = 2$ A à un récepteur quel que soit le facteur de puissance.

1.5. RELATION ENTRE LES PUISSANCES

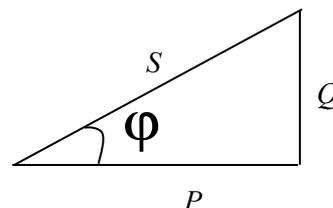
$$P = VI \cdot \cos \varphi$$

$$P^2 + Q^2 = S^2$$

$$Q = VI \cdot \sin \varphi$$

$$\frac{Q}{P} = \tan \varphi$$

$$S = VI.$$



II. PUISSANCES ACTIVE ET REACTIVE MISES EN JEU DANS DES DIPOLES ELEMENTAIRES

On adopte la convention récepteur

1. RÉSISTANCE PARFAITE

$$\vec{Z}_R = [R; 0] \quad \begin{cases} \cos \varphi = 1 \\ \sin \varphi = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} P = VI = RI^2 = \frac{V^2}{R} \\ Q = VI \cdot \sin \varphi = 0 \end{cases}$$

la résistance parfaite n'absorbe que de la puissance active.

2. CONDENSATEUR PARFAIT

$$\vec{Z}_c = \left[\frac{1}{C\omega}; -\frac{\pi}{2} \right] \quad \begin{cases} \cos \varphi = 0 \\ \sin \varphi = -1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} P = 0 \\ Q = -VI = -C\omega V^2 = -\frac{I^2}{C\omega} < 0 \end{cases}$$

Le condensateur parfait n'absorbe pas de puissance active mais fournit de la puissance réactive.

3. BOBINE IDÉALE

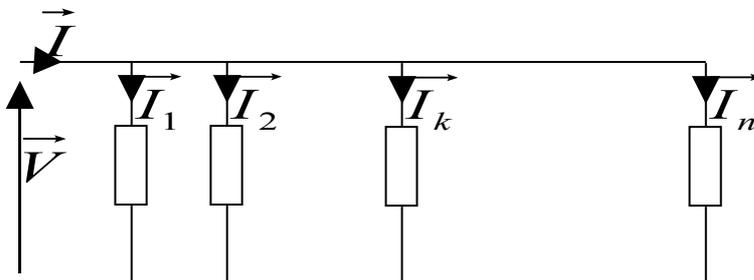
$$\vec{Z}_L = \left[L\omega; \frac{\pi}{2} \right] \quad \begin{cases} \cos \varphi = 0 \\ \sin \varphi = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} P = 0 \\ Q = VI = L\omega I^2 = \frac{V^2}{L\omega} > 0 \end{cases}$$

La bobine parfaite absorbe uniquement de la puissance réactive.

III. THEOREME DE BOUCHEROT

1. DIPÔLES EN DÉRIVATION

Calculons les puissances actives et réactives absorbées par n dipôles branchés en dérivation.



$\vec{I} = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \dots + \vec{I}_k + \dots + \vec{I}_n$ cette égalité reste valable si tous les vecteurs tournent de $\frac{\pi}{2}$ d'où

$$\vec{I}' = \vec{I}_1' + \vec{I}_2' + \dots + \vec{I}_k' + \dots + \vec{I}_n'$$

$$\vec{V}\vec{I} = \vec{V}\vec{I}_1 + \vec{V}\vec{I}_2 + \dots + \vec{V}\vec{I}_k + \dots + \vec{V}\vec{I}_n \quad \vec{V}\vec{I}' = V.I.\cos\left(\varphi + \frac{\pi}{2}\right) = V.I.\sin\varphi$$

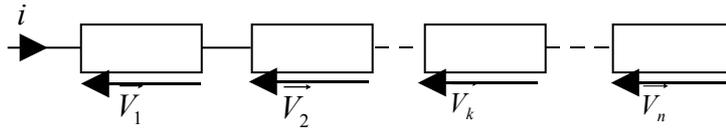
$$\vec{V}\vec{I}' = \vec{V}\vec{I}'_1 + \vec{V}\vec{I}'_2 + \dots + \vec{V}\vec{I}'_k + \dots + \vec{V}\vec{I}'_n$$

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_k + \dots + P_n$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_k + \dots + Q_n$$

2. DIPÔLES EN SÉRIE

Calculons les puissances actives et réactives absorbées par n dipôles branchés en série



$$\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \dots + \vec{V}_k + \dots + \vec{V}_n \quad \text{cette égalité reste valable si tous les vecteurs tournent de } -\frac{\pi}{2}$$

$$\vec{V}' = \vec{V}'_1 + \vec{V}'_2 + \dots + \vec{V}'_k + \dots + \vec{V}'_n$$

$$\vec{I}\vec{V} = \vec{I}\vec{V}_1 + \vec{I}\vec{V}_2 + \dots + \vec{I}\vec{V}_k + \dots + \vec{I}\vec{V}_n$$

$$\vec{I}\vec{V}' = \vec{I}\vec{V}'_1 + \vec{I}\vec{V}'_2 + \dots + \vec{I}\vec{V}'_k + \dots + \vec{I}\vec{V}'_n$$

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_k + \dots + P_n$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_k + \dots + Q_n$$

3. GROUPEMENT MIXTE DE DIPÔLES – THÉORÈME DE BOUCHEROT

Un groupement mixte contient à la fois des dipôles en série et en dérivation. On peut le subdiviser en sous groupements élémentaires ne contenant que des dipôles en série ou en dérivation.

Les puissances active et réactive absorbées par un groupement de dipôles sont respectivement égales à la somme des puissances actives et réactives absorbées par chaque élément du groupement.

4. FACTEUR DE PUISSANCE

On appelle facteur de puissance d'un circuit en régime périodique, le rapport entre la puissance active et la puissance apparente.

$$k = \frac{P}{S} \leq 1$$

En régime sinusoïdal $k = \frac{VI \cos \varphi}{VI} = \cos \varphi$