Introduction

LES BASES

Les grandeurs physiques intervenant en électronique
Réseaux de Kirshoff en courant continu
Linéarisation point de polarisation, schéma équivalent
Régime harmonique , la notation complexe
Les Quadripôles , impédances et gain.

LES GRANDEURS PHYSIQUES

L'électronique est une branche de l'électricité et les grandeurs qui interviennent sont les grandeurs électriques

Charge électrique

C'est une quantité d'électricité que l'on assimile parfois par analogie hydraulique à une masse de fluide L'unité est **le coulomb** . Elle est désignée le plus souvent par la lettre q

L'intensité de courant électrique

C'est le débit de charges circulant dans un conducteur. L'unité est l'**Ampère**. Cette unité est assez grande pour l'électronicien qui rencontre plus souvent dans les circuits des courants beaucoup plus petits

milliampère mA = 10^{-3} A
microampère µA = 10^{-6} A
nanoampére nA = 10^{-9} A
picoampère pA = 10^{-12} A

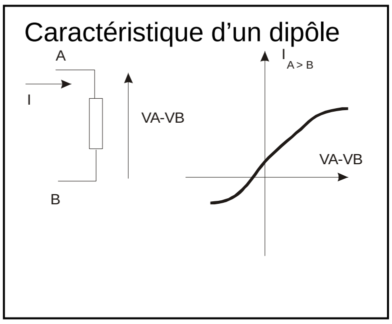
Dans les conducteurs la charge est portée par les électrons, même pour de très faibles courant le nombre des électrons mis en œuvre est toujours très grand, la charge d'un électron est en effet de 1,6 10^{-19} Coulomb ; par exemple dans une section d'un fil parcouru un courant de 1pA c'est 6250000 électrons qui passent chaque seconde .

Dans une analogie hydraulique l'intensité est un débit de fluide en grammes par seconde .

La tension électrique

C'est une notion plus difficile à introduire de façon rigoureuse ; nous dirons seulement que c'est approximativement l'équivalent d'une pression . Le potentiel est toujours une grandeur relative, <u>on ne peut parler que de différence de potentiel entre deux points</u> . L'unité est le **Volt**

DIPOLES



Un dipôle est un dispositif accessible seulement par 2 accès (deux bornes) entre lesquels circule le courant Dans l'analogie hydraulique un tuyau avec ses deux extrémités est un dipôle. Le débit de fluide dans ce tuyau dépend de la différence de pression entre ses extrémités . De même le courant traversant un dipôle est une fonction de la tension appliquée entre ses 2 bornes .Cette fonction est représentée par une courbe qui est la **caractéristique du dipôle**.

$I_{A \to B} = f(V_A - V_B)$

Sources

Une **source de tension** idéale est un dipôle entre les bornes duquel existe une tension indépendante du courant qui le traverse.

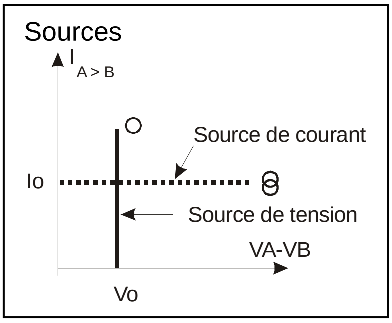
$V = V_0 \quad \forall I$ (quelque soit I)

Dans l'analogie hydraulique c'est une pompe qui délivre un fluide sous une certaine pression.

Une **source de courant** idéale est un dipôle délivrant un courant constant indépendant de la tension existant entre ses bornes

$$I = I_0 \quad \forall V$$

Ces deux dipôles particuliers ont les courbes caractéristiques représentées ci contre .



Résistance

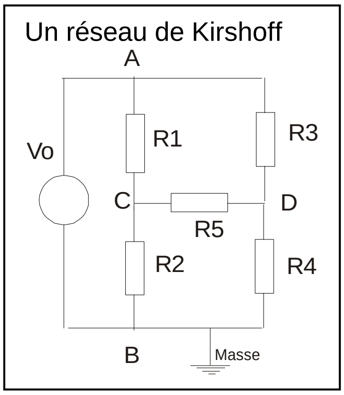
Une résistance est un dipôle dont la caractéristique est une droite passant par l'origine. L'équation de la caractéristique est alors

$I_{A\to B} = G.(V_A - V_B)$ ou inversement $\mathbf{V_A - V_B = R\, I_{A>B}}$

Cette dernière relation est ce que l'on appelle la **loi d'Ohm**
Le coefficient R est **la résistance** du dipôle, elle s'exprime en **Ohms** (Ω)
Pour l'électronicien l'Ohm est une petite résistance , il rencontre plus souvent les multiples
Kilo Ohms kΩ
Mégohms MΩ
G=1/R est une conductance .

RESEAUX DE KIRSHOFF

C'est un circuit associant sources de tension et de courant et résistances. La figure ci dessous représente un tel réseau de Kirshoff



Il est constitué ici d'une seule source de tension (symbolisée par un cercle) et 5 résistances.
Traditionnellement on définit les **branches** AC CD CB etc , les **nœuds** A,B,C,D,.. les **mailles** (parcours fermé) ACD ACDB etc..
L'un des nœuds est choisi comme référence de potentiel , c'est **la masse** ,(ici le nœud B) .Les potentiels des autres nœuds sont alors les différences de potentiel entre le nœud correspondant et cette masse . Par exemple $V_D = V_D - V_B$

Il existe de nombreuses méthodes pour calculer les courant circulant dans chaque branche et les potentiels aux nœuds. Certaines sont très puissantes mais cela se termine toujours par la résolution d'un système d'équations linéaires.

Pour déterminer les potentiels le plus simple est d'écrire qu'a chaque nœud la somme de tous les courants est nulle, c'est à dire que la somme des courants arrivant au nœud (positifs) est égale à la somme des courants qui en sortent (négatifs).

Par exemple pour le nœud D les courants arrivent et partent par 3 résistances . Le courant qui arrive à travers R1 est d'après la loi d'Ohm $I_{AC} = (V_A - V_C)/R1$
Celui qui arrive via R5 $I_{DC} = (V_D - V_C)/R5$
Et pour R2 $IBC = (V_B - V_C)/R2 = -V_C/R2$ car $V_B = 0$

Ces courants peuvent être positifs (s'ils arrivent vers le nœud) ou négatifs (s'ils en sortent) .Aucune charge ne s'accumulant en C leur somme est nulle , d'ou une équation

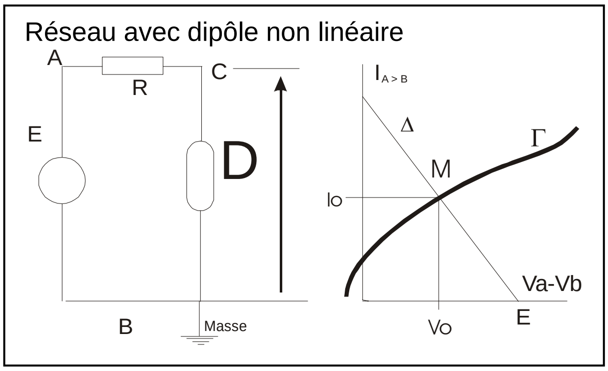
$$(V_A - V_C)/R1 + (V_D - V_C)/R5 - V_C/R2 = 0$$

En établissant une telle équation pour chaque nœud du réseau on obtient un système linéaire dont les solutions sont les potentiels cherchés *Dans l'exemple présent il n'y a que 2 équations avec pour inconnues V_C et V_D , V_A étant égal à Vo tension de la source .*

.

DIPOLES NON LINEAIRES , LINEARISATION , POINT DE POLARISATION

Il existe des dipôles dont le comportement est plus complexe et qui **n'obéissent pas à la loi d'Ohm**. L'équation de la caractéristique n'est pas du premier degré. Dans ce cas le plus souvent le calcul algébrique n'est plus possible . Considérons par exemple le circuit très simple suivant dans lequel le dipôle D à pour caractéristique une courbe quelconque Γ. $I=\Gamma(V)$



La loi d'Ohm peut s'appliquer à la résistance R donc :

Vc=E-RI si I est le courant traversant R et D.

Pour déterminer quelle est la tension de repos au point C il faut résoudre le système d'équations :

$$\begin{cases} V = E - RI \\ I = \Gamma(V) \end{cases} \quad (1)$$

Cette résolution ne peut être que graphique Tension Vo et courant Io au repos sont déterminés par l'intersection de la droite Δ dont l'équation dans le plan V,I est la première ci dessus.(Cette droite est appelée **droite de charge**.) , et de la caractéristique Γ.

Ce point M dans le plan V,I est **le point de polarisation** du dipôle.

Dans de très nombreux cas, tension et courants ne s'écartent que peu de ce point, et ce sont ces faibles écarts qui sont intéressants lorsque E varie peu . On dit que l'on travaille en **régime de petits signaux autour du point de polarisation**.

Si E varie de ΔE le courant de repos devient Io+ΔV et la tension Vo+ΔV et les deux équations précédentes deviennent :

$$\begin{cases} V_0 + \Delta V = E + \Delta E - R(I_0 + \Delta I) \\ I_0 + \Delta I = \Gamma(V_0 + \Delta V) \end{cases} \quad (2)$$

mais si ΔV est petit on peut effectuer un développement au premier ordre :

$$\Gamma(V_0 + \Delta V) = \Gamma(V_0) + \left[\frac{d\Gamma(V)}{dV}\right]_{V=Vo} \Delta V$$

Le système devient :

$$\begin{cases} V_0 + \Delta V = E + \Delta E - R(I_0 + \Delta I) \\ I_0 + \Delta I = \Gamma(V) + \left[\frac{d\Gamma(V)}{dV}\right]_{V=Vo} \Delta V \end{cases} \quad (3)$$

mais Io et Vo sont solutions du système (1) , (3) se simplifie en :

$$\begin{cases} \Delta V = \Delta E - R\Delta I \\ \Delta I = \left[\frac{d\Gamma(V)}{dV}\right]_{V=Vo} \Delta V \end{cases} \quad (4)$$

Il est d'usage d'utiliser les lettres majuscules pour désigner les tensions et courant du point de polarisation et les minuscules pour les variations. Le système (4) devient alors :

$$\begin{cases} v = e - Ri \\ i = \frac{1}{r}.v \end{cases} \quad (5)$$

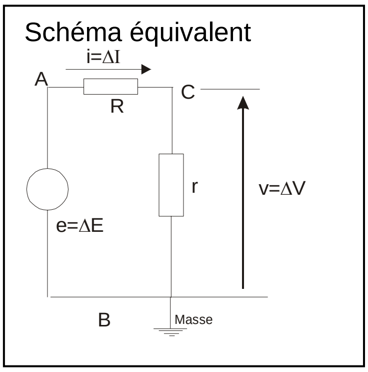
ou r est l'inverse de la dérivée $\left[\frac{d\Gamma(V)}{dV}\right]_{V=Vo}$ c'est à dire l'inverse de la pente de la courbe Γ au point M de polarisation. Cette résistance est appelée **résistance différentielle du dipôle** au point de polarisation choisi.

On remarquera que ce système (5) est celui qui décrit le circuit ci dessous dans lequel :

Les résistances (et de façon générale tous les composants passifs R L ou C) sont conservés

Les sources de tension (et de courant s'il y en a) sont remplacées par leurs seules variations

Les courants et tensions sur le circuit sont les variations autour du point de polarisation



Ce nouveau circuit est appelé **schéma équivalent** (sous entendu pour de petites variations) du circuit.

Cette notion de circuit équivalent est fondamentale car la plupart des composants utilisés dans les circuits (transistors, MOS etc..) ont un comportement non linéaire.

La démarche est toujours la suivante :

Déterminer le point de polarisation (En tenant compte des non linéarités des composants)

Dans le schéma physique conserver les composants passifs R,L,C

Remplacer les sources par leurs variations

Calculer les résistances différentielles au point de polarisation et remplacer dans le schéma réel les dipôles non linéaires par des résistances ayant ces valeurs .

CIRCUITS EN REGIME VARIABLE

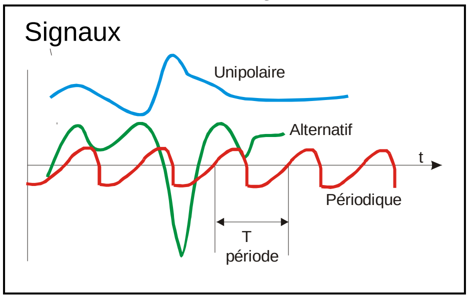
Dans ce qui précède la tension des sources est constante, mais très souvent il n'en est pas ainsi. E=E(t) Si le circuit ne comprend que des résistances rien n'est changé , à chaque instant courants et tensions sont proportionnels à la valeur instantanée de E Il existe cependant des composants dont la caractéristique fait intervenir le temps, c'est le cas des condensateurs et des inductances. Dans ce cas le comportement en régime variable est très différent de ce qu'il est en continu. De nouveaux outils de calcul sont nécessaires.

Signaux variables

Les signaux peuvent avoir une forme quelconque .Nous distinguerons :

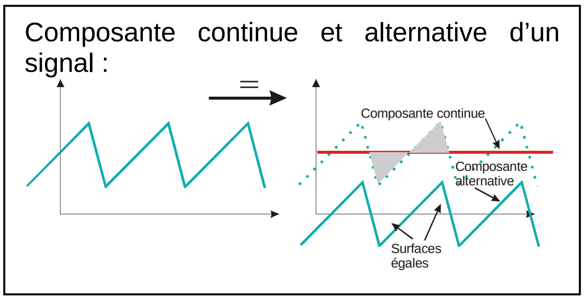
Les signaux unipolaires : qui ne changent pas de signe

Les signaux alternatifs qui au cours du temps changent de signe



Lorsque la forme d'un signal se reproduit périodiquement de façon régulière dans le temps , il est **périodique**. Les signaux périodiques jouent en électronique un rôle important Ils peuvent être alternatifs ou non .Tout signal périodique unipolaire peut être considéré comme la somme d'un signal périodique centré sur zéro (moyenne nulle) et d'un signal continu qui est la valeur moyenne du signal initial.

Moyenne d'un signal périodique : $\overline{V} = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)dt$



Lorsqu'un signal variable est appliqué à l'entrée d'un système, le signal de sortie est en général de forme différente. C'est le cas de circuits qui intègrent des condensateurs et/ou des inductances

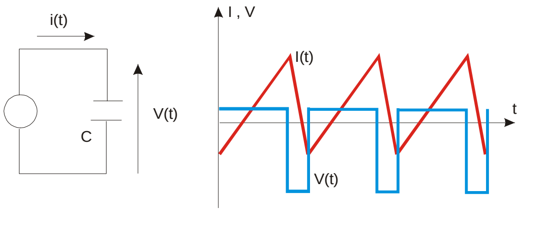
Un condensateur par exemple est un réservoir de charges électriques : Sa charge est proportionnelle à la tension qui lui est appliquée Q=CV (comme la masse de gaz que peut contenir un réservoir de volume V est proportionnelle à la pression p du gaz)

Si la tension varie de ΔV , la charge varie donc de C.ΔV , si cette variation à pris un temps Δt la source de tension a dù fournir un courant de valeur moyenne $\bar{I} = C\dfrac{\Delta V}{\Delta t}$ A la limite pour Δt ⇒ 0 le courant circulant dans un condensateur est donc : $i = C\dfrac{dV}{dt}$

il est proportionnel à la dérivée de la tension.

En considérant ce condensateur comme un système dont la grandeur d'entrée est une tension et celle de sortie un courant, la forme n'est pas conservée. C'est ce qu'illustre la figure ci contre.

Courant et tension dans un condensateur .



Il existe cependant un cas très important pour lequel la forme est conservée. Il s'agit de signaux sinusoïdaux et de systèmes linéaires. Précisons un peu ces deux notions qui en électronique sont essentielles .

Système linéaire

Soit e(t) un signal variable appliqué à l'entrée d'un système et s(t) le signal de sortie correspondant . En particulier :

Si $e_1(t)$ est un signal d'entrée et $s_1(t)$ le signal de sortie correspondant
Si $e_2(t)$ est un signal d'entrée et $s_2(t)$ le signal de sortie correspondant

Le **système est linéaire** si à un signal d'entrée qui est une combinaison linéaire des deux précédents correspond un signal de sortie qui est la même combinaison linéaire des signaux de sortie. C'est à dire à $a_1e_1(t) + a_2e_2(t)$ en entrée correspond $a_1s_1(t) + a_2s_2(t)$ en sortie

C'est le **principe de superposition** .

Tous les systèmes ne sont pas linéaires ; par exemple si la grandeur d'entrée est le nombre de vos invités et la grandeur de sortie ce que cela vous coûte , l'invitation de 6 personnes n'est pas la moitié de ce celle de 12 La courbe coût= f(nombre d'invités) n'est pas une droite.

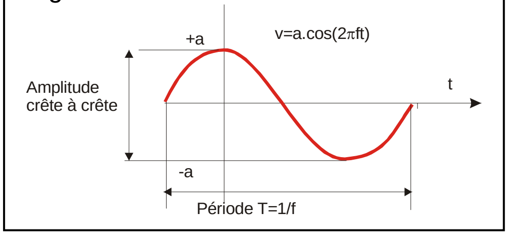
Cependant beaucoup de systèmes sont presque linéaires , on peut les considérer comme tels. De plus le comportement d'un système quelconque en **régime de petits signaux** autour d'un point de polarisation est linéaire .

Signal sinusoïdal

Il est de la forme $v = a.\cos(2\pi ft)$ ou plus généralement $v = a.\cos(2\pi ft + \varphi)$

f est la **fréquence** , φ la **phase** . En électronique on utilise souvent la **pulsation** $\omega = 2\pi f$

Signal sinusoïdal :



Sa valeur moyenne est nulle La puissance moyenne correspondante qui est la moyenne de son carré vaut :

$$\frac{1}{T}\int_0^T (a.\cos(2\pi ft))^2\,dt = \frac{a^2}{2} = \left(\frac{a}{\sqrt{2}}\right)^2$$

Par analogie avec un signal continu A dont la puissance est A² , $(\frac{a}{\sqrt{2}})$ est la **valeur efficace** du signal sinusoïdal , on écrit parfois $v = v_{eff}\sqrt{2}\cos(\omega t)$ par exemple la tension secteur a comme fréquence 50 Hertz et une valeur efficace de 220V c'est à dire une amplitude crête de 311V

Le signal sinusoïdal joue un rôle essentiel pour plusieurs raisons :

-Un signal sinusoïdal conserve sa forme à la traversée d'un système linéaire

-Tout signal peut être considéré comme la sommation d'un nombre plus ou moins grand de signaux sinusoïdaux

Pour un signal périodique de fréquence f :

$$v(t) = v_0 + v_1 \cos(2\pi ft + \varphi_1) + v_2 \cos(4\pi ft + \varphi_2) + v_3 \cos(6\pi ft + \varphi_3) + ...$$

C'est ce que l'on appelle sa décomposition en série de Fourier v_0 est la **composante continue**, (c'est aussi la valeur moyenne) , les termes suivants sont **le fondamental** de fréquence f et **les harmoniques** de fréquences 2f, 3f, 4f , etc..(par abus de langage on appelle parfois harmonique 1 le fondamental)

Si le signal n'est pas périodique, c'est plus compliqué, le nombre de termes devient infini ainsi que le nombre de fréquences mises en jeu , il faut introduire la transformée de Fourier

$$v(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} V(j2\pi f).e^{j2\pi ft} dt$$

La grandeur complexe V(j2πf) est la **transformée de Fourier du signal**, on dit souvent **son spectre**

Pour plus de détails voir le cours de traitement du signal .

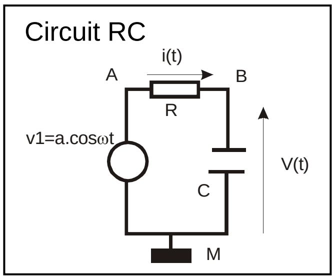
La notation complexe

Reprenons le cas du condensateur , nous avons établi plus haut qu'il obéit à la relation $i = C\dfrac{dV}{dt}$ (ou inversement $V = \dfrac{1}{C}\int_0^t i(t)dt$) Si la tension est sinusoïdale (**Régime harmonique**) :

$$\begin{cases} v = v_0 \cos \omega t \\ et \quad i = -Cv_0\omega.\sin \omega t \end{cases}$$

mais alors le quotient v/i dépend du temps , il varie même de -∝ à +∝, tension et courant ne sont pas proportionnels, **le condensateur n'obéit pas à la loi d'Ohm**

Soit maintenant le circuit très simple composé d'une source sinusoïdale d'une résistance et un condensateur :



On peut écrire :(la tension est additive)

V_A-V_M=(V_A-V_B)+(V_B-V_M)

Nous vérifierons plus loin que le courant est , comme la tension de source, sinusoïdal et de même fréquence , posons donc

$$i = i_0 \cos(\omega t + \varphi)$$

En utilisant la relation précédente aux bornes de C et la loi d'Ohm pour R il vient :

$$a.\cos(\omega t) = Ri_0 \cos(\omega t + \varphi) + \frac{i_0}{C\omega}\sin(\omega t + \varphi) \qquad (1)$$

Cette équation nous fournit l'amplitude de la tension et du courant fourni par la source et le déphasage entre v et i .Mais si le circuit est plus complexe la résolution des équations devient laborieuse à tel point que la généralisation de la distribution d'énergie en courant alternatif en fut freinée au 19eme siècle.

C'est Fresnel qui introduisit une représentation géométrique qui évite les longs calculs algébriques.

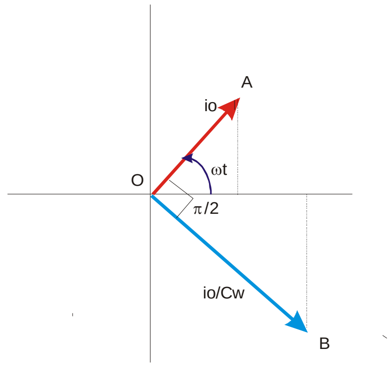
Les équations de v et i aux bornes de C peuvent se mettre sous la forme :

$$\begin{cases} i = i_0 \cos \omega t \\ et \quad v = \dfrac{i_0}{C\omega} \sin \omega t = \dfrac{i_0}{C\omega} . \cos(\omega t - \dfrac{\pi}{2}) \end{cases} \quad (2)$$

Fresnel remarque alors que i est la projection sur l'axe des abscisses d'un vecteur $\vec{I}$ de longueur i_o et tournant autour de l'origine avec la vitesse angulaire (en radians/sec) ω.

De même v est la projection sur le même axe d'un vecteur $\vec{V}$ tournant à la même vitesse, de longueur $i_o/C\omega$, mais déphasé de -π/2 (figure ci contre)

Vecteurs de Fresnel pour un condensateur

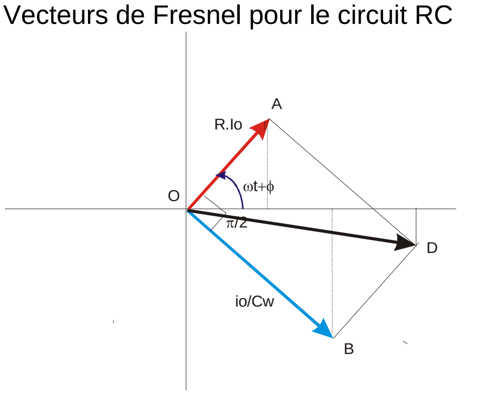


Revenons maintenant au circuit RC décrit par l'équations (1) dont le second membre s'écrit aussi :

$$Ri_0 \cos(\omega t + \varphi) + \frac{i_0}{C\omega} \cos(\omega t + \varphi - \frac{\pi}{2})$$

En exploitant l'idée de Fresnel le premier terme du second membre (tension aux bornes de R) est la projection d'un vecteur OA tournant autour de l'origine avec la vitesse angulaire ω de longueur Ri_o , le second terme la projection d'un vecteur OB de longueur $i_o/C\omega$ mais en retard de π/2 .

Vecteurs de Fresnel pour le circuit RC



La tension aux bornes de la source est la somme de ces deux termes, or la projection de la somme de deux vecteurs est la somme de leurs projections , la tension cherchée est donc la projection sur l'axe des abscisses du vecteur OD somme da OA et OB ..

L'amplitude de cette tension est la valeur maximale de sa projection, donc la longueur de ce vecteur. Le théorème de Pythagore dans le triangle OBD rectangle en B donne :

$$V^2 = (R^2 + \frac{1}{C^2\omega^2}).i_0^2$$

Il faut remarquer que l'amplitude de la tension de source : $i_0 \sqrt{(R^2 + \dfrac{1}{C^2\omega^2})}$. n'est pas la somme des amplitudes des tensions aux bornes de R (Ri_o) et de C ($i_o/C\omega$).

A chaque instant
v(source)=v(aux bornes de R) + v(aux bornes de C)
mais
amplitude de tension source < amplitude aux bornes de R + amplitude aux bornes de C
C'est une conséquence du non respect de la loi d'Ohm par le condensateur.

Les tensions aux bornes de C et de la source sont toutes deux sinusoïdales de même fréquence, mais déphasées d'un angle directement perceptible sur la figure : (l'angle AOD)

Cette méthode de Fresnel a eu un grand succès et est encore enseignée dans les lycées, mais elle reste d'emploi difficile lorsque le circuit comprend plusieurs branches avec plusieurs condensateurs .Elle se simplifie considérablement si l'on remplace le plan dans lequel tournent les vecteurs par le plan complexe.

Alors pour revenir au condensateur (2)

I est la partie réelle du nombre complexe $\tilde{i} = i_0 e^{j\omega t}$ et v celle du nombre complexe

$\tilde{v} = \frac{i_0}{C\omega} e^{j(\omega t - \pi/2)}$ qui s'écrit aussi

$$\tilde{v} = \frac{i_0}{C\omega} e^{j(\omega t - \pi/2)} = \frac{i_0}{C\omega} e^{j\omega t}.e^{-j\pi/2} = -j\frac{i_0}{C\omega} e^{j\omega t} = \frac{1}{jC\omega}.i_0 e^{j\omega t}$$

Mais l'on remarque alors que $\tilde{v} = \frac{1}{jC\omega}\tilde{i}$

Les nombres complexes dont la partie réelle est la grandeur physique sont proportionnels, la constante de proportionnalité $Z_C = \frac{1}{jC\omega}$ est **l'impédance du condensateur** .

Pour une résistance le coefficient est réel, c'est la résistance habituelle .

En travaillant sur les nombres complexes associés aux grandeurs physiques on a retrouvé la loi d'Ohm

Remarquons que le caractère complexe de l'impédance est une conséquence du déphasage entre courant et tension. Pour tout composant contenant des condensateurs mais aussi des inductances on écrit $\tilde{V} = Z.\tilde{I}$ **c'est la loi d'Ohm pour les complexes associés.**

En pratique l'utilisation des complexes associés est sous entendue et l'on écrit V=ZI avec Z complexe (*ce qui en toute rigueur n'a pas de sens* ***) .***

Revenons une dernière fois au circuit RC .
L'équation $V_A\text{-}V_M=(V_A\text{-}V_B)+(V_B\text{-}V_M)$
Devient entre les complexes associés :

$$(\tilde{V}_A - \tilde{V}_M) = (\tilde{V}_A - \tilde{V}_B) + (\tilde{V}_B - \tilde{V}_M)$$

Soit $(\tilde{V}_A - \tilde{V}_M) = R.\tilde{i} + \frac{1}{jC\omega}\tilde{i} = (R + \frac{1}{jC\omega})\tilde{i}$ (3)

L'amplitude de la tension totale est le module de ce nombre complexe (plus haut c'était la longueur du vecteur AD) soit $i_0\sqrt{R^2 + \frac{1}{C^2\omega^2}}$, c'est ce que nous avions trouvé plus haut .

Remarquons enfin que l'équation (3) est de la forme V=ZI avec $Z = R + \frac{1}{jC\omega}$ impédance de l'association série de R et C .

De l'équation (3) on peut tirer : $\tilde{i} = \frac{\tilde{v}}{(R + \frac{1}{jC\omega})}$

Mais aux bornes de C $\tilde{v}_C = \frac{1}{jC\omega}.\tilde{i}$

Donc en remplaçant i par sa valeur , et en omettant le ~

$$v_C = \frac{\frac{1}{jC\omega}}{R + \frac{1}{jC\omega}}.v = \frac{1}{1 + jRC\omega}v$$

Le circuit est un atténuateur avec déphasage, son gain complexe est $\frac{1}{1 + jRC\omega}$, on retrouve le résultat classique , le gain est unitaire pour les fréquences basses et nul pour les fréquences élevées, c'est un passe bas . Tout ceci sera longuement développé dans le chapitre consacré aux filtres. Le déphasage est tout simplement l'argument du gain .

$$\varphi = arctg(-RC\omega)$$

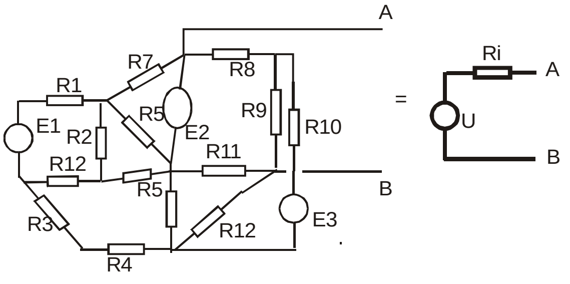
Ainsi en utilisant les complexes toutes les méthodes de calcul des réseaux de Kirshoff sont de nouveau valables

QUADRIPOLES IMPEDANCES INTERNES

THEOREME DE THEVENIN

Soit un circuit complexe constitué de sources de tension et courant, de résistances , condensateurs et inductances. Les méthodes de calcul des réseaux de Kirshoff (en utilisant si nécessaire la notation complexe) permettent de calculer courants et tensions en tous les points, mais la résolution du système peut se révéler difficile si le nombre de nœuds est grand. Or dans un grand nombre de cas ce réseau n'est accessible de l'extérieur que par deux points seulement .

Théorème de Thévenin.



Soit par exemple le réseau ci contre comportant plusieurs sources de tension continue et des , des résistances

On peut montrer que si l'on regarde le circuit à partir des seuls points A et B ;il se comporte comme un dipôle constitué par une seule source U et une résistance Ri

U est la tension apparaissant entre les points A et B du circuit lorsque aucune charge extérieure n'est placée entre ces points (**tension à vide**)

Ri est **la résistance interne** du circuit , c'est la résistance que mesurerait un ohmètre entre les points A et B si toutes les sources étaient annulées.

C'est ce que l'on appelle **Théorème de Thévenin.**

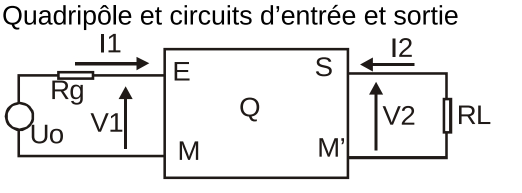
Si A et B sont les seuls points d'accès du circuit , il n'y a aucun moyen de déterminer sa structure interne, il est entièrement décrit par sa tension de sortie à vide et sa résistance interne. Ce résultat est fondamental .

Si les sources sont alternatives sinusoïdales et que le circuit contient aussi des condensateurs et inductances le théorème reste valable mais Ri devient une impédance complexe Z=Ri+jYi

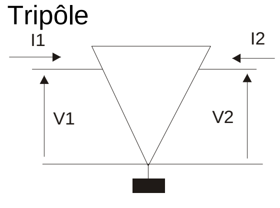
IMPEDANCES D'ENTREE ET DE SORTIE D'UN QUADRIPOLE.

Un quadripôle est un circuit accessible par 4 bornes , deux bornes d'entrée , deux de sortie. Parfois l'un des accès est commun à l'entrée et la sortie, il s'agit alors d'un tripôle.

Quadripôle et circuits d'entrée et sortie



Tripôle

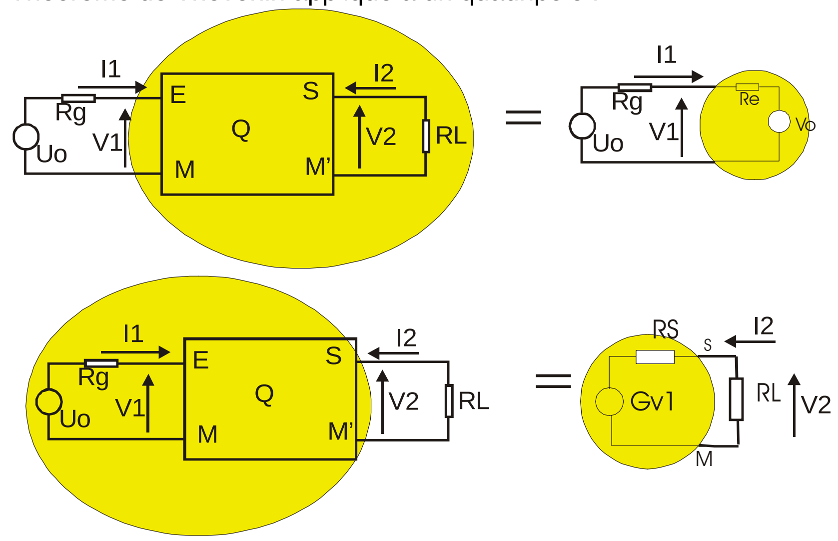


Un quadripôle est toujours associé à des circuits extérieurs.

- Un signal est appliqué à l'entrée par une source qui en vertu du théorème de Thévenin peut être assimilée à une source de tension idéale de tension Uo (on dit force électromotrice) et une résistance interne Rg .Deux grandeurs électriques sont associées à cette entrée, le courant d'entrée i_1 et la tension d'entrée v_1 (figure)
- La tension en sortie est appliquée à une charge RL (Qui peut dans le cas plus général être une impédance quelconque) , il existe donc une tension de sortie v_2 et un courant de sortie i_2 (que les électroniciens considèrent comme positif quand il entre dans le quadripôle.

Si l'on considère le circuit dont les bornes d'entrée sont E et M (figure ci dessous) , le théorème de Thévenin nous permet de dire qu'il est équivalent à une seule résistance R_E et une source de tension Vo . **R_E est la résistance d'entrée du quadripôle** chargé par la résistance R_L . (résistance de charge). Si le quadripôle est la représentation d'un circuit linéarisé , la tension interne Vo est le plus souvent nulle et la source Uo ;Rg voit le dipôle EM comme une résistance R_E seulement .

Théorème de Thévenin appliqué à un quadripôle :



De même en considérant l'ensemble du circuit de bornes S et M , il est vu par la charge R_L comme une source que nous noterons GV1 et une résistance R_S . Cette dernière est la **résistance de sortie du quadripôle** attaqué par la source Uo,Rg , G est **le gain en tension** du quadripôle. En régime harmonique Uo est une tension sinusoïdale, il en est de même de GV1 , cette dernière est de même fréquence mais le plus souvent déphasée par rapport à V1 , le gain G est alors considéré comme complexe.

Pour les grandeurs complexes associées :

$$v_1 = v.e^{j\omega t} \quad \rightarrow \quad v_2 = G_1.e^{j(\omega t+\varphi)} = v.G_1.e^{j\varphi}.e^{j\omega t} = (G_1.e^{j\varphi}).v_1$$

G1 est le module du gain , φ le déphasage sortie, entrée.

On rencontre souvent dans les cours d'électronique la notion de matrice d'un quadripôle , nous y reviendrons à propos des filtres Elles s'introduisent de la façon suivante :

Pour définir 4 grandeurs (ici 2 courants et 2 tensions) ° , il faut 4 relations ;: deux d'entres elles sont obtenues en appliquant la loi d'Ohm aux circuits extérieurs :

$$\begin{cases} v_1 = U_0 - R_g i_1 \\ v_2 = -R_L i_2 \end{cases}$$

Les deux autres sont caractéristiques du quadripôle, par exemple :

$$\begin{cases} v_1 = f(i_1, i_2) \\ v_2 = g(i_1, i_2) \end{cases}$$

Si les composants internes sont linéaires ou linéarisés autour d'un point de polarisation, ces deux dernières équations sont du premier degré, par exemple :

$$\begin{cases} v_1 = Z_{11} i_1 + Z_{12} i_2 \\ v_2 = Z_{21} i_1 + Z_{22} i_2 \end{cases}$$

Les coefficients Zij sont les termes d'une matrice d'ordre 2 appelée **matrice impédance du quadripôle.**

Nous utiliserons peu cette représentation