



جامعة مولاي إسماعيل
ⵜⴰⵎⴰⵎⴻⵔⴰⵏ ⵜⴰⵎⴰⵎⴻⵔⴰⵏ
UNIVERSITÉ MOULAY ISMAÏL



كلية العلوم
ⵜⴰⵎⴰⵎⴻⵔⴰⵏ ⵜⴰⵎⴰⵎⴻⵔⴰⵏ
FACULTÉ DES SCIENCES

Cours Circuits électriques Parcours électronique S3 2026-2027

Syllabus

Les étudiants sont invités à respecter les horaires des cours des TDs et des travaux pratiques

Les cellulaires doivent être éteints au cours des séances des cours des TD et des Travaux pratiques

Le cours est présenté en PowerPoint avec des illustrations image et si nécessaire par vidéo

La période des examens est programmée dans les délais fixes

Syllabus

Le cours comprend les chapitres suivants:

Chapitre 1: Lois de base des circuits en régime quasi stationnaire

Chapitre 2: Méthode d'analyse des circuits électriques

Chapitre 3: Puissance en régime sinusoïdal

Chapitre 4: Analyse des circuits RLC

Chapitre 1: Lois de base des circuits en régime quasi stationnaire

Lois de Kirchhoff en régime quasi stationnaire

Signal sinusoïdal en notation complexe

Lois de Kirchhoff en régime quasi stationnaire

Approximation des régimes quasi stationnaires (ARQS)

Dipôles en régime variable

Lois de Kirchhoff en régime quasi stationnaire

Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS)

L'étude des circuits électroniques sont divisés en deux domaines distincts en fonction de la vitesse de variation des signaux :

Vitesse de variation des signaux lents :

- les dimensions des circuits, représentés par l'association de dipôles en connexion, sont très faible devant la longueur d'onde λ du rayonnement électromagnétique associé à leur fréquence.
- c'est le cas de l'Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS).
- Dans cette approximation la durée caractéristique de la variation d'une tension ou d'un courant des circuits est très grande devant la durée de propagation du signal d'un point à l'autre du circuit.

Lois de Kirchhoff en régime quasi stationnaire

Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS)

Vitesse de variation des signaux très rapide :

Le cas des antennes sous forme des circuits ouverts parcourus par des courants

Domaine des micro-ondes ou des hyperfréquences

Analyse est totalement différente, exige

- la connaissance exacte de la position de chacun des éléments du circuit
- la longueur des conducteurs entre les éléments du circuit
- influence non négligeable de la propagation des ondes électromagnétiques d'un point à l'autre du circuit

Lois de Kirchhoff en régime quasi stationnaire

Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS)

Lois de Kirchhoff

- Loi des nœuds

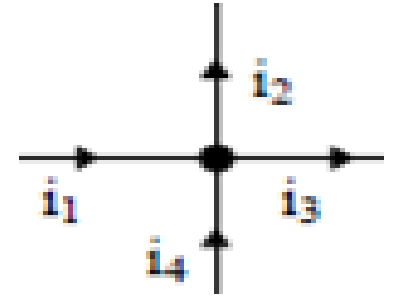
La somme algébrique des courants concourants en un nœud est nulle

$$\sum_k \epsilon_k i_k = 0$$

$\epsilon_k = 1$ si le courant i_k est orienté vers le nœud

$\epsilon_k = -1$ si le courant i_k est orienté vers le sens contraire du nœud.

Exemple



$$i_1 + i_4 = i_2 + i_3$$

Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS)

Lois de Kirchhoff

▪ Loi des mailles

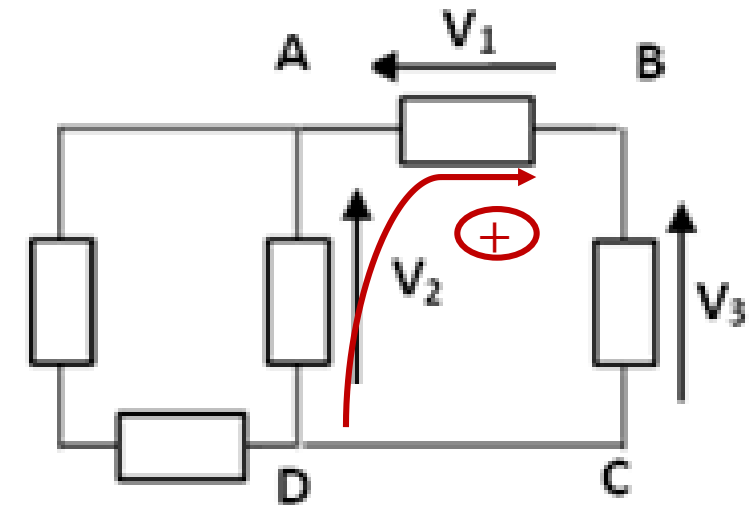
La somme algébrique des tensions aux bornes des branches d'une maille décrite dans un sens arbitraire est nulle

$$\sum_k \epsilon_k u_k = 0$$

$\epsilon_k = 1$ si la tension u_k est dans sens que la maille

$\epsilon_k = -1$ si la tension u_k est dans le sens opposée de la maille.

Exemple



$$V_2 - V_1 - V_3 = 0$$

Lois de Kirchhoff en régime quasi stationnaire

Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS)

Dipôles en régime variable

Générateurs variables

Condensateurs

Bobines

Lois de Kirchhoff en régime quasi stationnaire

Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS)

Dipôles en régime variable

- de nouveaux dipôles apparaissent
- les circuits comportent toujours des résistors, des diodes, mais aussi des générateurs variables (de tension ou de courant)
- des bobines
- des condensateurs.

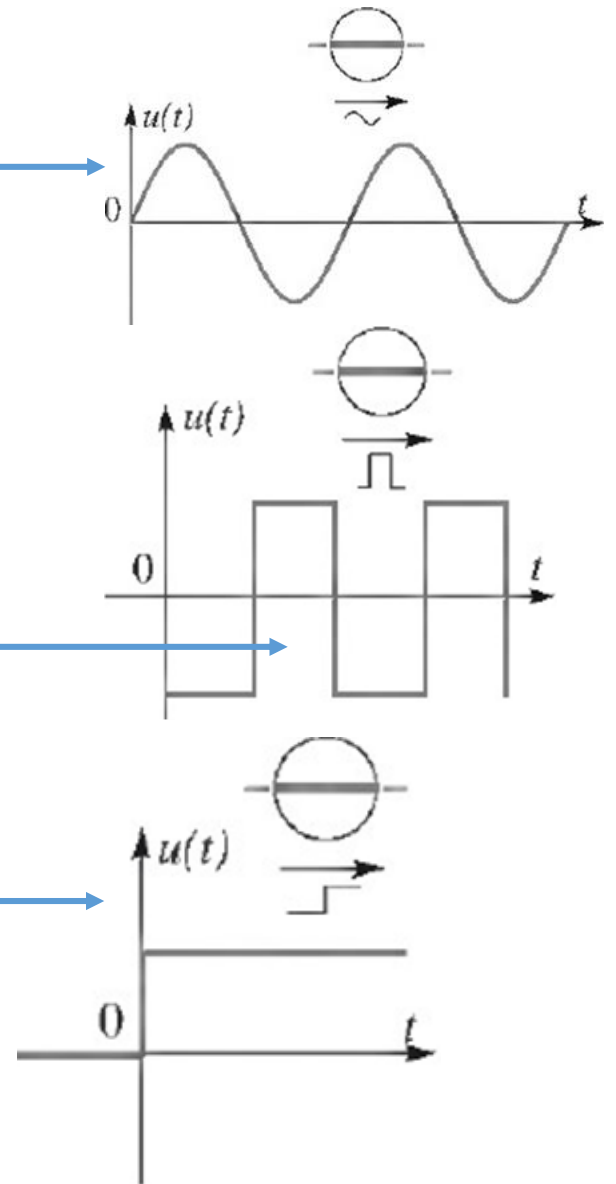
Lois de Kirchhoff en régime quasi stationnaire

Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS)

Dipôles en régime variable

Générateurs variables

- les générateurs sont représentés comme en régime stationnaire
- il faut préciser la nature du signal délivré
 - signal sinusoïdal
 - signal carrée
 - signal en marche appelé échelon
- Dans l'ARQS les GBF (Générateurs Basse Fréquence) sont capables de délivrer des signaux de formes variées et de fréquence et d'amplitude réglables par l'utilisateur.



Lois de Kirchhoff en régime quasi stationnaire

Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS)

Dipôles en régime variable

Condensateurs

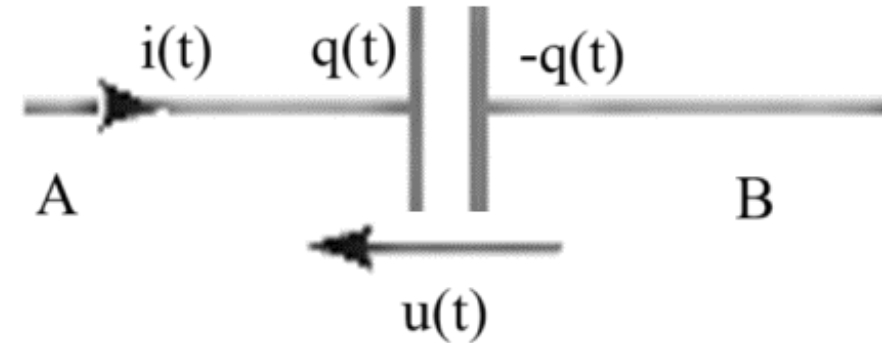


Un condensateur idéal est caractérisé par sa capacité C

$$q_A = Cu_{AB} = Cu.$$

conventions adoptées :

- l'extrémité de la flèche de tension pointe l'armature A dont la charge est q
- $i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt}$ intensité du courant orienté vers cette armature



Lois de Kirchhoff en régime quasi stationnaire

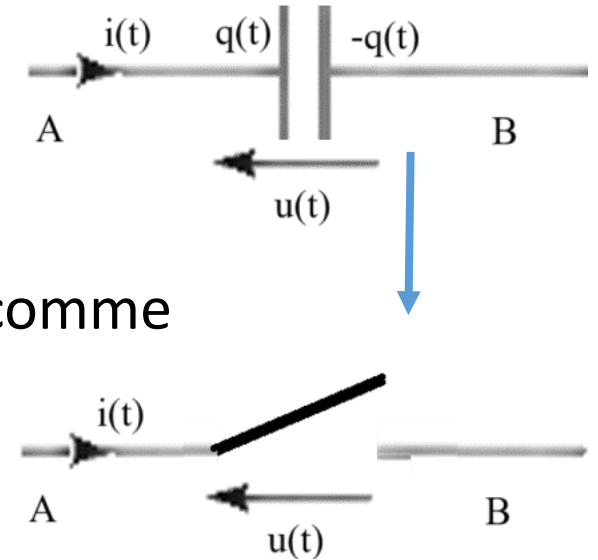
Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS)

Dipôles en régime variable

Condensateurs

Remarque :

- En régime stationnaire $u = cste$, un condensateur se comporte comme un interrupteur ouvert. $i = C \frac{du}{dt} = 0$
- La charge de l'armature du condensateur est une grandeur continue, tout comme la tension à ses bornes, ce qui se justifie par la continuité de l'énergie électromagnétique du condensateur.



Lois de Kirchhoff en régime quasi stationnaire

Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS)

Dipôles en régime variable

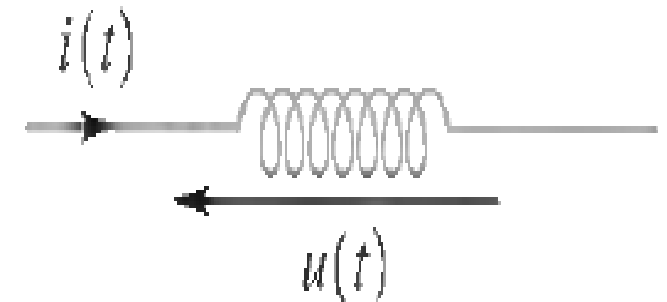
Bobines

Une bobine idéale est caractérisée par son inductance L

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

convention adoptée pour la tension et le courant est tel que

u et i sont en sens opposé

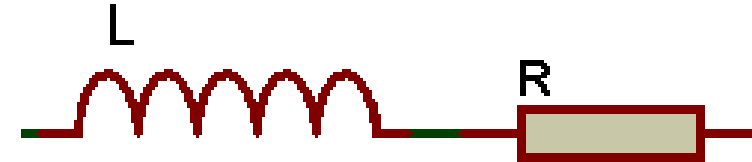


Lois de Kirchhoff en régime quasi stationnaire

Approximation des Régimes Quasi Stationnaires (ARQS)

Dipôles en régime variable

Bobines



Remarque

- Une bobine réelle est généralement représentée, jusqu'à des fréquences de quelques kHz, par l'association d'une bobine idéale en série avec un résistor représentant la résistance du bobinage.
 - En régime stationnaire, une bobine idéale est équivalente à un court-circuit et une bobine réelle est équivalente à sa résistance de bobinage.
- Tout comme la charge de l'armature d'un condensateur, l'intensité du courant dans une bobine est une grandeur continue.

Signal sinusoïdal en notation complexe

Importance du régime sinusoïdal

Du régime transitoire au régime établi

Notation complexe des grandeurs électriques sinusoïdales

Impédance d'un dipôle passif linéaire

Association d'impédances

Générateurs en régime sinusoïdal établi

Signal sinusoïdal en notation complexe

Importance du régime sinusoïdal

Les signaux sinusoïdaux à basse fréquence ont une importance considérable dans la pratique, cela pour plusieurs raisons :

- Faciles à réaliser (alternateurs, générateurs basse fréquence, etc.)
- transportables sur de longues distances, sans grandes pertes, pourvu que l'amplitude de la tension soit suffisamment élevée, ce que l'on réalise aisément à l'aide de transformateurs
- le distributeur au Maroc fournit un courant sinusoïdal de fréquence 50 Hz, alors qu'en Grande Bretagne et aux USA, la fréquence du réseau de distribution électrique est 60 Hz;
- étude des circuits est particulièrement simple
 - conservent leur forme, lorsqu'on les dérive par rapport au temps ou lorsqu'on les intègre

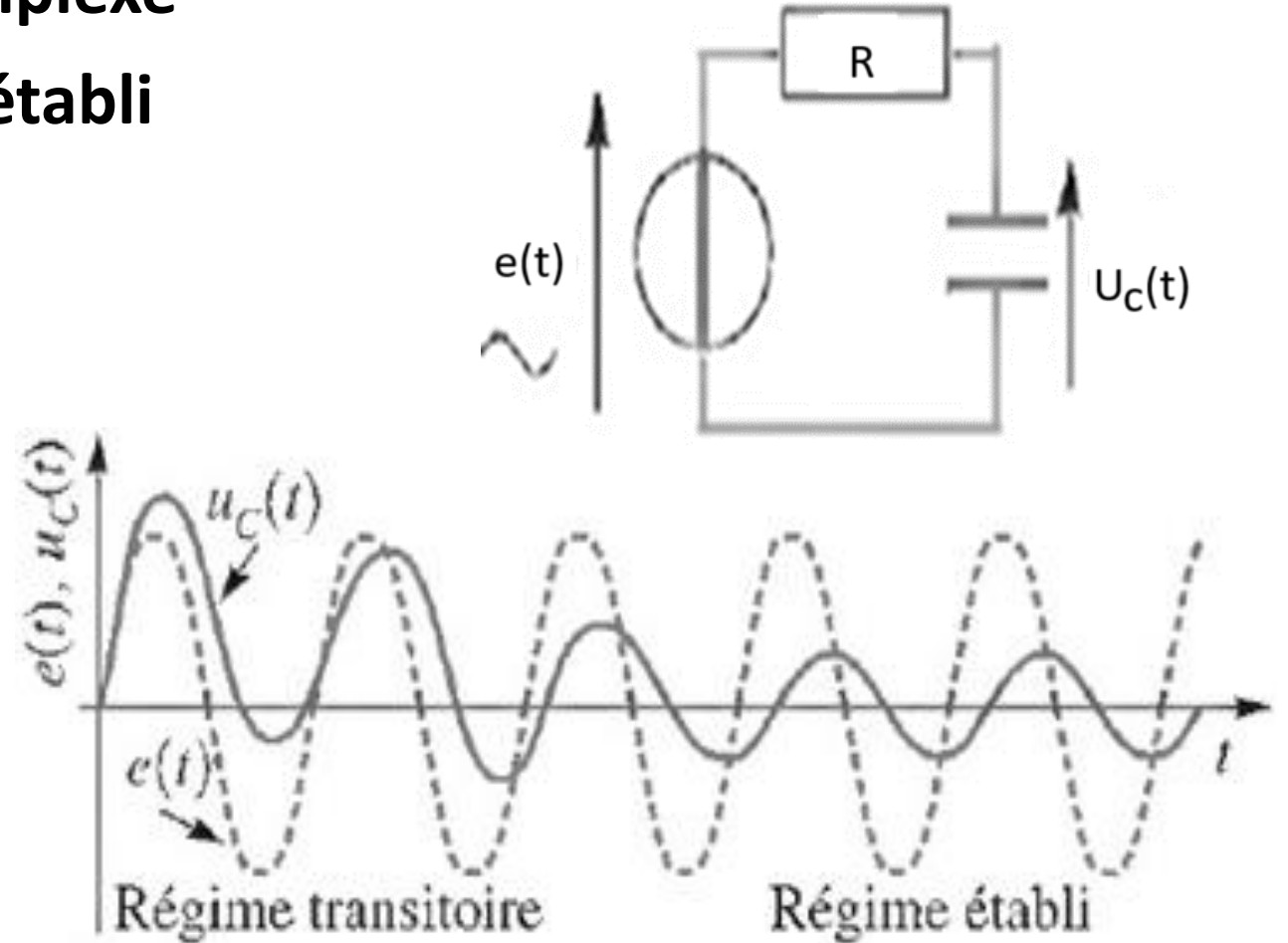
Signal sinusoïdal en notation complexe

Du régime transitoire au régime établi

l'évolution de la tension $u_C(t)$
aux bornes du condensateur

à partir de l'instant pris comme
origine

$t = 0s$ où l'on ferme le circuit.



Signal sinusoïdal en notation complexe

Signal analytique associé à un signal réel

$$s(t) = s_m \cos(\omega t + \varphi_x) \text{ ou bien } s(t) = s_m \sin(\omega t + \varphi_x)$$

variable complexe $\hat{s}(t)$ appelée signal analytique correspondant

$$\hat{s}(t) = s_m e^{j(\omega t + \varphi_x)} = \mathbf{s_m e^{j\varphi_x}} e^{j\omega t}$$

$$s(t) = \text{Re}(\hat{s}(t))$$

$\mathbf{s_m e^{j\varphi_x}}$ amplitude complexe du signal analytique.

Signal sinusoïdal en notation complexe

Avantages de la notation complexe

simplification des équations à résoudre pour déterminer l'état d'un circuit en régime sinusoïdal.

une dérivation par rapport au temps se traduit par une simple multiplication de la grandeur complexe par $j\omega$.

une intégration se traduit par une simple multiplication par $1/(j\omega)$.

les équations différentielles linéaires se ramènent ainsi à des équations algébriques simples.

comparer très facilement deux grandeurs dans un circuit

Signal sinusoïdal en notation complexe

Avantages de la notation complexe

Exemple :

$$\frac{d^2 s}{dt^2} + \frac{1}{\tau} \frac{ds}{dt} + \omega_0^2 s = e_m \cos(\omega t) \longrightarrow \frac{d^2 \hat{s}}{dt^2} + \frac{1}{\tau} \frac{d\hat{s}}{dt} + \omega_0^2 \hat{s} = \hat{e}_m e^{j\omega t}$$
$$\hat{s}(t) = s_m e^{j\varphi_x} e^{j\omega t} = \hat{s}_m e^{j\omega t} \longrightarrow \hat{s}_m = \frac{\hat{e}_m}{-\omega^2 + \frac{j\omega}{\tau} + \omega_0^2}$$

simplifions par $e^{j\omega t}$

Nous obtenons $s(t)$ du régime établi en prenant la partie réelle

$$s(t) = \text{Re}(\hat{s}(t)) = \text{Re}(S_m e^{j\varphi_x} e^{j\omega t}) = s_m \cos(\omega t + \varphi)$$

$$s_m = |\hat{s}_m| \quad \varphi = \arg(\hat{s}_m)$$

Signal sinusoïdal en notation complexe

Avantages de la notation complexe

Exemple :

soit $x(t)$ et $y(t)$ deux grandeurs réelles, de même pulsation

Le rapport des amplitudes réelles est égal au rapport des modules

$$\frac{Y_m}{X_m} = \left| \frac{\hat{y}}{\hat{x}} \right|$$

le déphasage φ est l'argument du rapport $\frac{\hat{y}}{\hat{x}}$

$$\varphi = \varphi_y - \varphi_x$$

Signal sinusoïdal en notation complexe

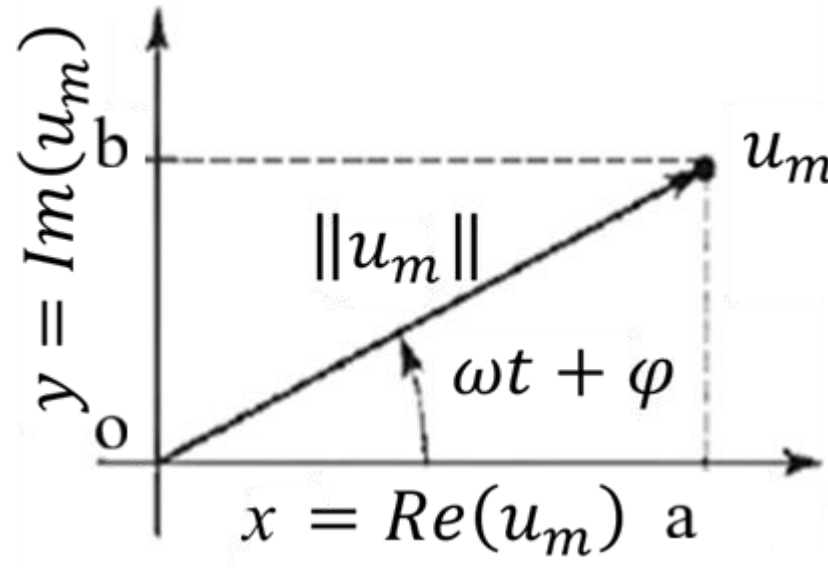
Avantages de la notation complexe

Représentation de Fresnel

La représentation de Fresnel d'un nombre complexe dans le plan cartésien Oxy

$$z = a + jb \quad y = \text{Im}(u_m) \quad x = \text{Re}(u_m) \quad \omega t + \varphi \quad \|u_m\| \quad u_m$$

Ox étant l'axe des réels et Oy l'axe des imaginaires



Signal sinusoïdal en notation complexe

Avantages de la notation complexe

Représentation de Fresnel

Le point A, qui représente le nombre complexe

$$\|\vec{OA}\| = |z| = \sqrt{a^2 + b^2}$$

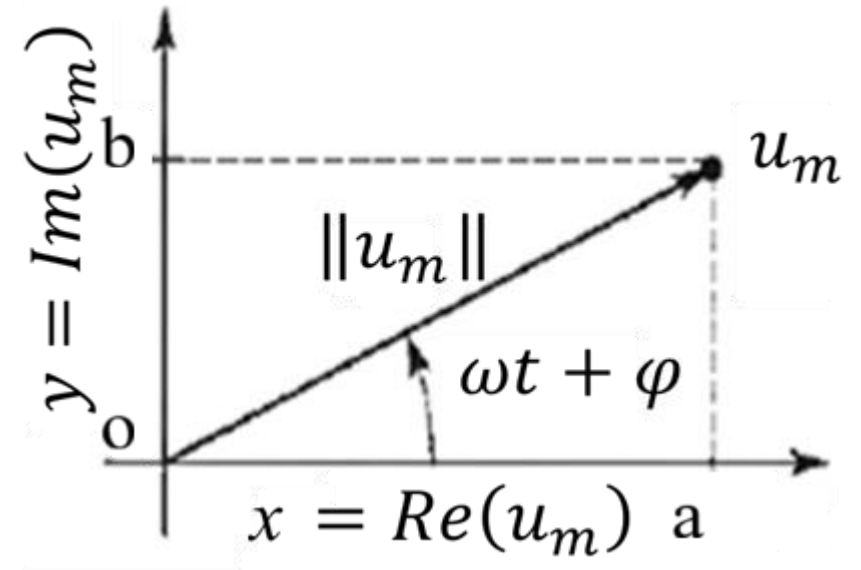
$$\varphi = \widehat{Ox OA}$$

le vecteur de Fresnel, de longueur

$$U_m : u(t) = u_m \cos(\omega t + \varphi)$$

tourne autour de l'origine O à la vitesse angulaire ω

à $t = 0s$, ce vecteur fait l'angle φ avec l'axe Ox



Signal sinusoïdal en notation complexe

Impédance d'un dipôle passif linéaire

Le concept d'impédance permet de comparer, en régime sinusoïdal, l'intensité du courant qui traverse un dipôle à la tension à ses bornes

Définition

En régime sinusoïdal, l'impédance d'un dipôle linéaire passif est le rapport entre les nombres complexes représentant la tension à ses bornes et l'intensité du

courant qui le traverse : $\mathbf{Z} = \frac{\hat{u}}{\hat{i}}$

Signal sinusoïdal en notation complexe

Impédance d'un dipôle passif linéaire

Remarque :

- l'impédance est un nombre complexe est écrite Z .
- L'impédance n'a de sens qu'en régime sinusoïdal; ainsi, l'impédance produite par un dipôle, lorsque la tension à ses bornes est un signal carré périodique, n'a pas de sens. Dans ce cas, on doit décomposer le signal en série de Fourier et définir une impédance pour chacune de ses composantes (stationnaire ou sinusoïdale)

Signal sinusoïdal en notation complexe

Impédance d'un dipôle passif linéaire

Remarque :

- En régime sinusoïdal établi, $u(t)$ et $i(t)$ ont même pulsation, mais des phases respectives généralement différentes φ_u et φ_i

- $$Z = \frac{\hat{u}}{\hat{i}} = \frac{\hat{u}_m}{\hat{i}_m} = |Z|e^{j\varphi}.$$

Signal sinusoïdal en notation complexe

Impédance d'un dipôle passif linéaire

Remarque :

- Impédance d'un dipôle est indépendante du temps est équivalente avec une résistance R (Ω) et φ ,
- Déphasage de la tension $u(t)$ par rapport au courant $i(t)$, s'exprime en radian dans le système international d'unités.
- $\text{Re}(Z) = \text{résistance } R$
- $\text{Im}(Z) = \text{réactance } X$:
- $Z = R + jX$

Signal sinusoïdal en notation complexe

Impédance d'un dipôle passif linéaire

Remarque :

- Admittance Y d'un dipôle :

$$Y = \frac{\hat{i}}{\hat{u}} = \frac{\hat{i}_m}{\hat{u}_m} = \frac{1}{|Z|} e^{-j\varphi} = |Y| e^{-j\varphi}$$

- $\|Y\| = 1/\|Z\|$
- Phase de Y est – phase de Z
- $\text{Re}(Y)$ = conductance G et
- $\text{Im}(Y)$ = susceptance B :
- $Y = G + jB$

Signal sinusoïdal en notation complexe

Impédance d'un dipôle passif linéaire

Remarque :

- Puisque $Y = 1/Z$, nous obtenons facilement les relations suivantes:
- $G = \frac{R}{R^2 + X^2}$ et $B = \frac{-X}{R^2 + X^2}$
- La résistance R d'un dipôle passif est toujours positive, alors que la réactance est de signe quelconque. Ce résultat est relié à l'interprétation physique de X . De même, la conductance G est toujours positive, alors que la susceptance est de signe quelconque.

Signal sinusoïdal en notation complexe

Association d'impédances

Association en série

en notation complexe :

$$\hat{i}_1 = \hat{i}_2 = \dots = \hat{i}_n$$

$$\hat{u} = \hat{u}_1 + \hat{u}_2 + \dots + \hat{u}_n \quad \longrightarrow \quad Z = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n$$

Association en parallèle

En notation complexe : $\hat{u}_1 = \hat{u}_2 = \dots = \hat{u}_n$

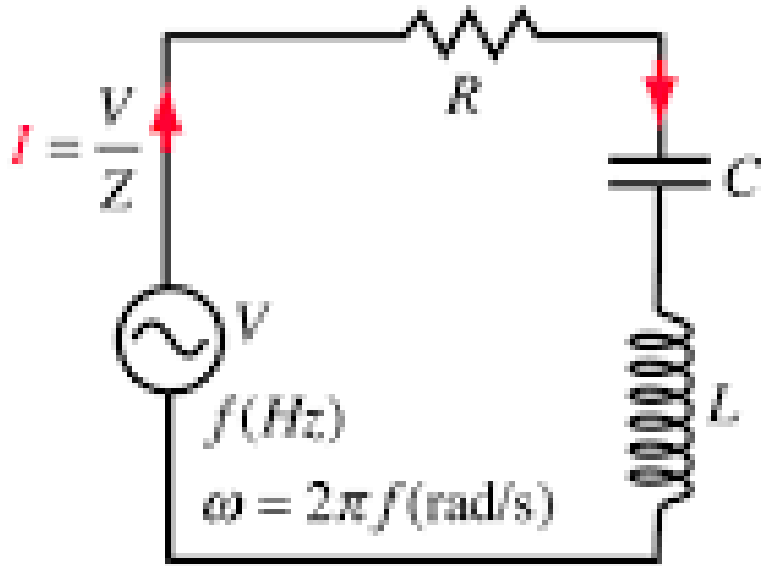
$$\hat{i} = \hat{i}_1 + \hat{i}_2 + \dots + \hat{i}_n \quad \longrightarrow \quad Y = Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n$$

Signal sinusoïdal en notation complexe

Association d'impédances

Exemple

Association série:



$$Z = R + j\left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)$$

$$|Z| = \left(R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2 \right)^{1/2}$$

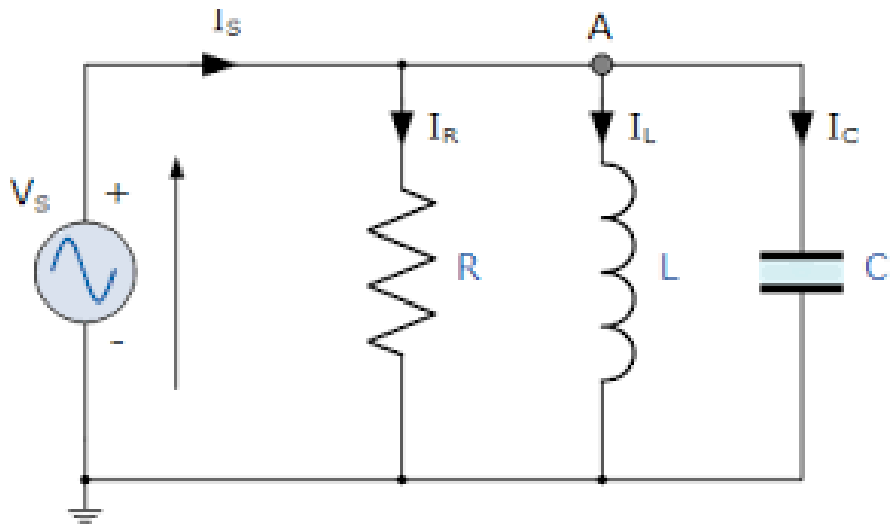
$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} \right)$$

Signal sinusoïdal en notation complexe

Association d'impédances

Exemple

Association parallèle:



$$Y = \frac{1}{R} + j\left(C\omega - \frac{1}{L\omega}\right)$$

$$|Y| = \left(\left(\frac{1}{R} \right)^2 + \left(C\omega - \frac{1}{L\omega} \right)^2 \right)^{1/2}$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{C\omega - \frac{1}{L\omega}}{\frac{1}{R}} \right)$$

Pour $\omega = \omega_0 = \left(\frac{1}{LC} \right)^{1/2}$ et $R \rightarrow \infty$

le courant entrant dans le circuit dans ce cas est nul (circuit bouchon)

Signal sinusoïdal en notation complexe

Générateurs en régime sinusoïdal établi

En régime sinusoïdal établi les générateurs délivrent un signal de

Tension $\hat{u}(t) = u_m e^{j\varphi_u} e^{j\omega t} = \hat{u}_m e^{j\omega t}$ f.e.m

Ou de

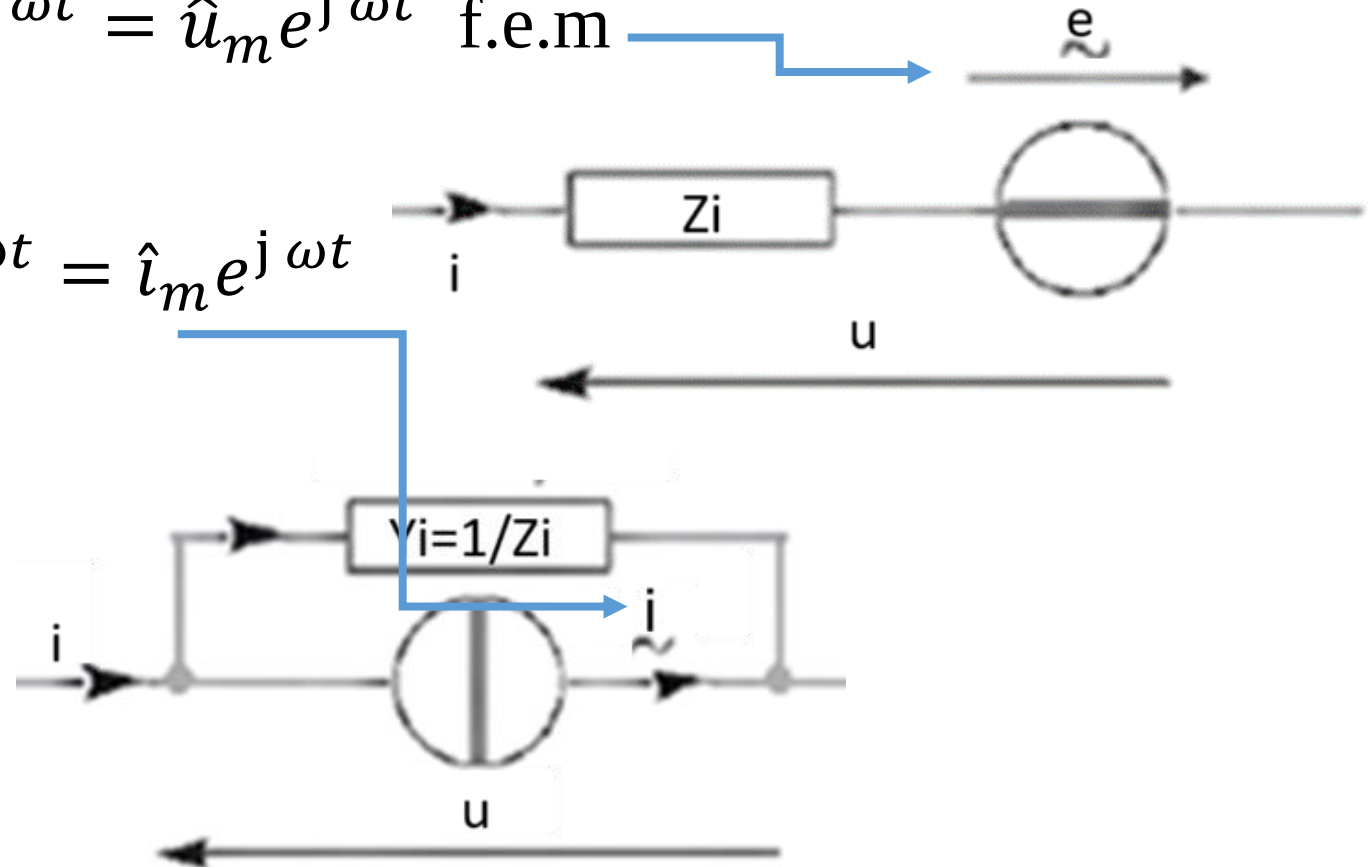
Courant $\hat{i}(t) = i_m e^{j\varphi_i} e^{j\omega t} = \hat{i}_m e^{j\omega t}$

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

Si $\varphi_u = \varphi_i = 0$

$$\hat{u}(t) = Z_i \hat{i}(t) - \hat{e}_m$$

$$\hat{i}(t) = Y_m \hat{u}(t) - \hat{i}_m$$



FIN