

# LES COURANTS DE COURT-CIRCUIT

## 1 -. Naissance d'un court circuit (modélisation):

Schéma équivalent de la distribution d'énergie en fonctionnement normal :

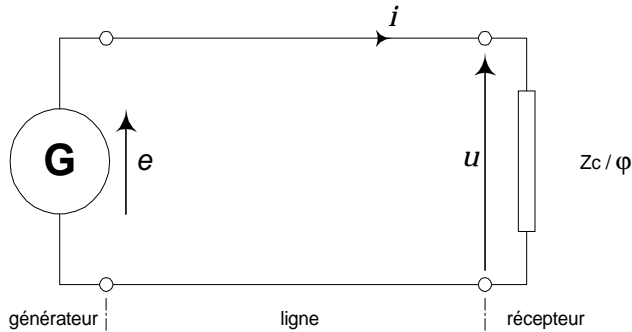


Schéma de principe d'une distribution d'énergie

Le générateur alimente le récepteur en énergie électrique par l'intermédiaire de la ligne.

La tension d'alimentation est :

$$e = E\sqrt{2} \sin \omega t$$

Le courant  $i$  s'installe dans le circuit :

$$i = e/Z_c$$

donc

$$i = (E\sqrt{2}/Z_c) \sin (\omega t - \varphi)$$

A l'instant  $t=0$  le court circuit apparaît sur la ligne, et on peut représenter l'installation par le schéma équivalent suivant :

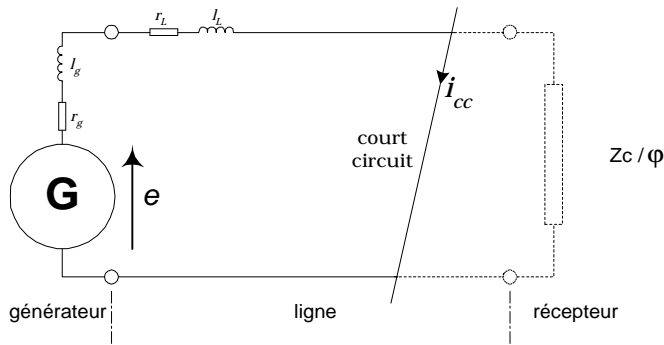


Schéma équivalent sur court circuit

Soit :

$$Z_g = r_g + j l_g \omega$$

l'impédance interne du générateur

$$Z_L = r_L + j l_L \omega$$

l'impédance de la ligne

$$Z = Z_g + Z_L$$

l'impédance totale sur court-circuit

On notera :

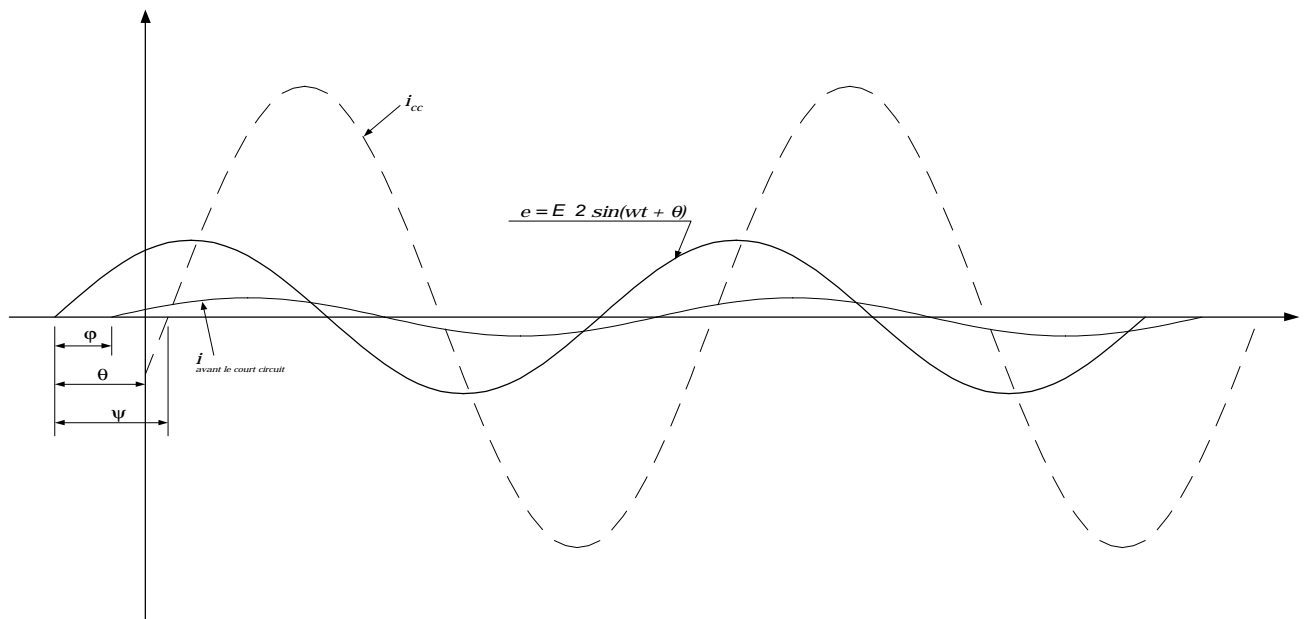
$$Z = R + jL\omega = Ze^{j\psi}$$

avec  $R = r_g + r_L$ ;  $L = l_g + l_L$

et l'angle  $\psi = \text{Arctg } L\omega/R$

le déphasage entre le courant de court-circuit et la tension

La tension et les courants peuvent être représentés selon les graphiques ci-dessous :



# LES COURANTS DE COURT-CIRCUIT

L'apparition du court circuit est prise comme origine des temps. Donc à l'instant  $t=0$  on peut écrire l'équation suivante en appliquant la loi des mailles au circuit en défaut :

$$e = E\sqrt{2} \sin(\omega t + \theta) = R i_{cc} + L di_{cc}/dt$$

Résolution d'une équation du 1<sup>er</sup> ordre :

Quand on a  $f(t) = a dx/dt + b x$  la solution est de la forme  $x = (x_0 - xf_0) e^{-bt/a} + xf$ .

Avec  $x_0$  : la valeur de  $x$  à l'instant  $t=0$  de la perturbation

$xf_0$  : la valeur du terme forcé pour  $t=0$

$xf$  : le terme forcé, celui du régime permanent qui subsiste après les transitoires.

Application :

$$i_{cc} = (i_{cc0} - i_{ccf_0}) e^{-Rt/L} + i_{ccf}$$

1- détermination de  $i_{ccf}$  le terme forcé:

$$\underline{i}_{ccf} = \underline{E} / \underline{Z} \text{ (en notation complexe)}$$

$$\text{avec } \underline{E} \text{ correspondant à } e = E\sqrt{2} \sin(\omega t + \theta)$$

$$e = E_M \cos(\omega t + \theta - \pi/2)$$

$$\underline{E} = E_M e^{j(\omega t + \theta - \pi/2)}$$

$$\text{avec } \underline{Z} = Z e^{j\psi}$$

$$\text{Donc, } \underline{i}_{ccf} = \underline{E} / \underline{Z} = E_M e^{j(\omega t + \theta - \pi/2)} / Z e^{j\psi}$$

$$\underline{i}_{ccf} = (E_M / Z) \cdot e^{j(\omega t + \theta - \psi - \pi/2)}$$

$$i_{ccf} = (E_M / Z) \cdot \sin(\omega t + \theta - \psi)$$

2- détermination de  $i_{ccf_0}$  le terme forcé à l'instant  $t=0$ :

$$i_{ccf_0} = (E_M / Z) \cdot \sin(\omega t + \theta - \psi)$$

$$i_{ccf_0} = (E_M / Z) \cdot \sin(\omega \cdot 0 + \theta - \psi)$$

$$i_{ccf_0} = (E_M / Z) \cdot \sin(\theta - \psi)$$

3- détermination de  $i_{cc0}$  valeur du courant de court circuit à l'instant  $t=0$ :

C'est la valeur de  $i_{cc}$  à  $t=0$ . A  $t_0$  le courant dans le circuit est le courant  $i$  (courant nominal imposé par le récepteur). A  $t_0^+$  le court circuit existe, mais le courant n'a pas eu le temps de croître. Donc,  $i_{cc0} = i$ . On peut considérer que cette valeur est négligeable devant  $i_{ccf_0}$ !

La solution donne donc :

$$\text{On pose } I_M = (E_M / Z) = (E\sqrt{2} / Z)$$

$$i_{cc} = [i_{cc0} - i_{ccf_0}] e^{-Rt/L} + i_{ccf}$$

$$i_{cc} = [-I_M \sin(\theta - \psi)] e^{-Rt/L} + I_M \cdot \sin(\omega t + \theta - \psi)$$

$$i_{cc} = i_0 + i_1$$

équation dans laquelle :

$i_0$  est un courant transitoire qui tend vers 0 quand  $t \rightarrow \infty$

$i_1$  est le courant du régime permanent, celui qui subsistera si les systèmes de protection n'intervenaient pas.

On appelle :

$I_p$  la valeur présumée du courant de court circuit. C'est la valeur efficace de  $i_1$ .

$$I_p = I_M / \sqrt{2} = E / Z$$

# LES COURANTS DE COURT-CIRCUIT

## 2 -. Formes des courants de court circuit :

Deux cas sont à considérer :

Lorsque  $\theta = \psi$  l'angle d'enclenchement du court circuit est égal au déphasage de  $i_{ccf}$  par rapport à  $e$ . Si,  $i_{ccf_0} = (E_M/Z) \cdot \sin(\theta - \psi) \Rightarrow i_{ccf_0} = 0$

Lorsque  $\theta = 0$  l'enclenchement du court circuit se produit lorsque la tension d'alimentation passe par zéro.  $e = 0$

2.1  $\theta = \psi$  : enclenchement lorsque  $i_{ccf}$  passe par 0.

$$i_{cc} = [ -I_M \sin(\theta - \psi) ] e^{-Rt/L} + I_M \cdot \sin(\omega t + \theta - \psi)$$

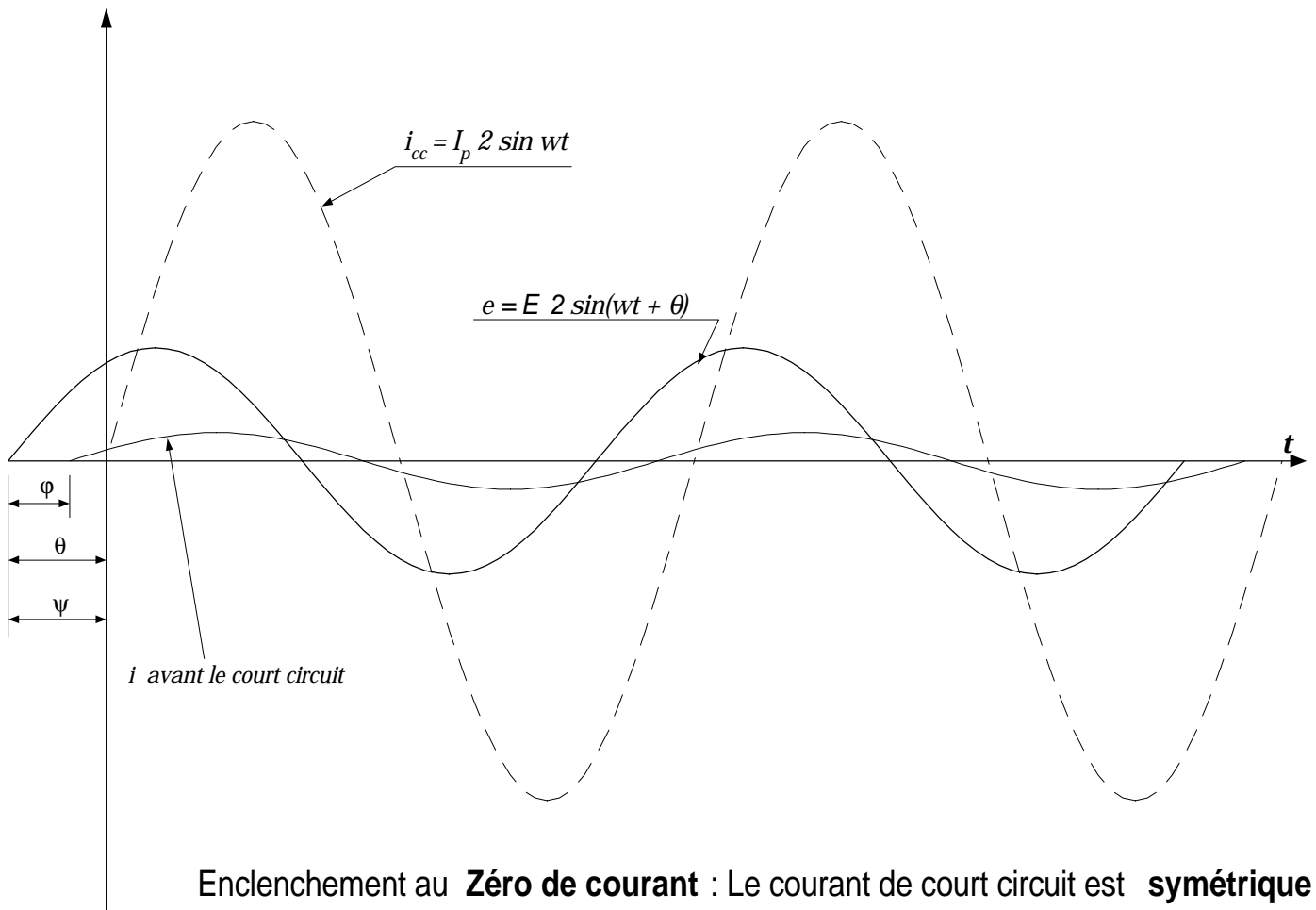
Si  $\theta = \psi$  il vient :

$$i_{cc} = [ -I_M \sin(0) ] e^{-Rt/L} + I_M \cdot \sin(\omega t + 0)$$

$$i_{cc} = I_M \cdot \sin(\omega t)$$

donc  $i_0 = 0$  , il n'y aura pas de régime transitoire.

Le courant de court circuit sera symétrique



# LES COURANTS DE COURT-CIRCUIT

2.2  $\theta = 0$  : enclenchement lorsque  $e$  passe par 0.

$$i_{cc} = [ -I_M \sin(\theta - \psi) ] e^{-Rt/L} + I_M \sin(\omega t + \theta - \psi)$$

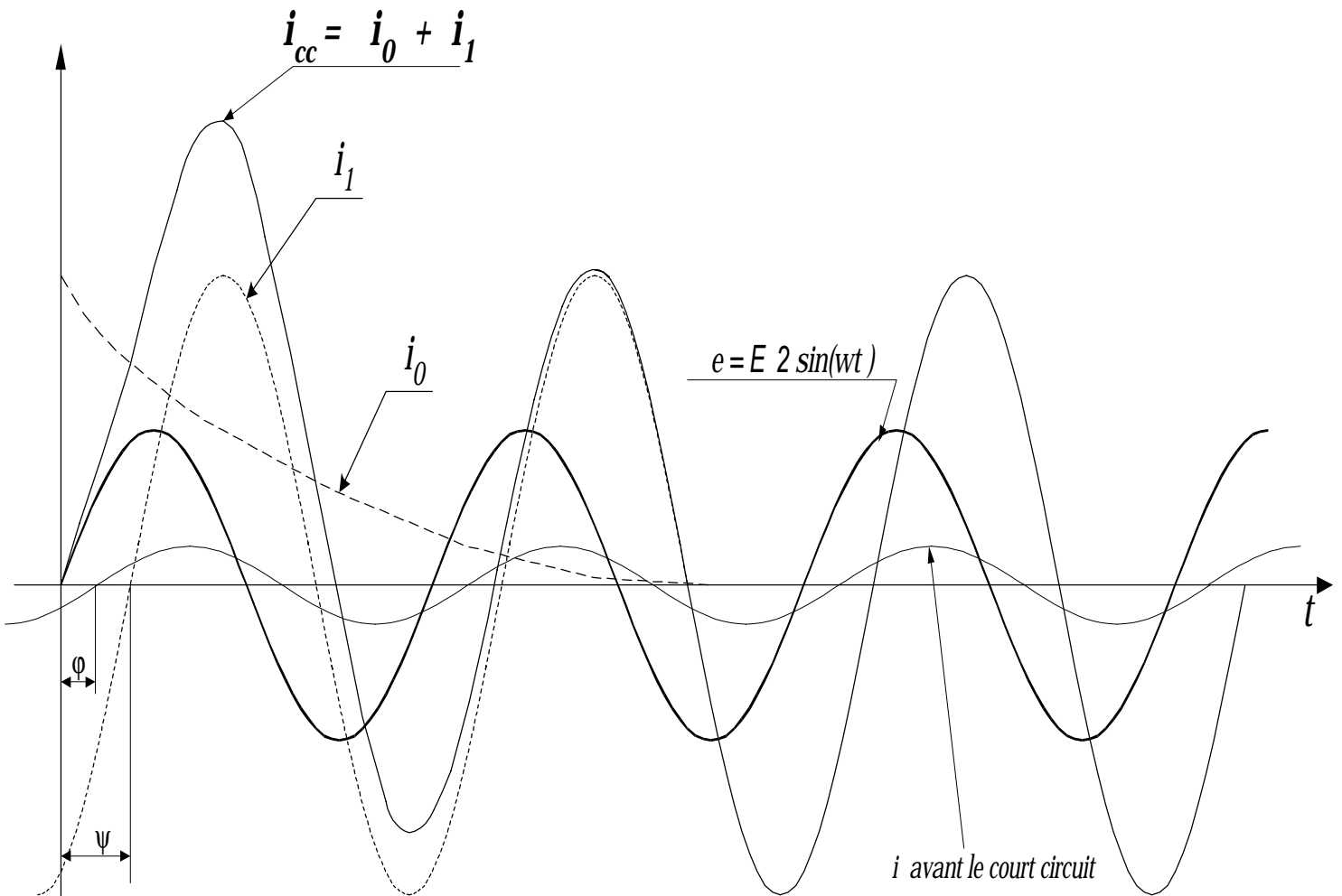
Si  $\theta = 0$  il vient :

$$i_{cc} = [ -I_M \sin(-\psi) ] e^{-Rt/L} + I_M \sin(\omega t - \psi)$$

$$i_{cc} = I_M [ \sin \psi \cdot e^{-Rt/L} + \sin(\omega t - \psi) ]$$

donc  $i_0$  n'est pas nul, il y aura un régime transitoire.

Le courant de court circuit sera asymétrique



Enclenchement au **Zéro de tension** : Le courant de court circuit est **asymétrique**

# LES COURANTS DE COURT-CIRCUIT

## Remarque.

Si le circuit est purement inductif, donc que les résistances de la ligne et la résistance interne du générateur sont nulles ( $R = r_g = r_L \approx 0$ ), le déphasage  $\psi$  du courant de court circuit sur la tension  $e$  du générateur est de  $\pi/2$ . Donc,  $\cos\psi = 0$  et  $\sin\psi = 1$ . Le rapport  $t/\tau = Rt/L$  tend vers  $0$ . Il vient :

$$i_{cc} = [ -I_M \sin(\theta - \psi) ] e^{-Rt/L} + I_M \sin(\omega t + \theta - \psi)$$

$$i_{cc} = [ -I_M \sin(0 - \pi/2) ] e^0 + I_M \sin(\omega t + 0 - \pi/2)$$

$$i_{cc} = I_M [ 1 \cdot 1 + \sin(\omega t - \pi/2) ] = I_M (1 - \cos\omega t)$$

$$i_{cc} = I_p \sqrt{2} (1 - \cos\omega t)$$

Lorsque  $\cos\psi = 0$ , on a l'asymétrie maximale théorique. La valeur de crête est obtenue pour  $\cos\omega t = 0$ . Alors,  $\hat{i}_{cc} = 2\sqrt{2} I_p$

$2,8 I_p$ , C'est l'asymétrie maximale théorique.

Dans la réalité, les éléments résistifs ne sont jamais nuls, aussi la norme indique t-elle comme cas extrême que  $\cos\psi = 0,1$  d'où  $\lambda_{max} = \hat{i}_{cc} / I_p = 2,5$

$\hat{i}_{cc} = 2,5 I_p$ , C'est l'asymétrie maximale réelle.

## 3 -. Notion de contrainte thermique :

Les courants de court circuit produisent des effets de deux ordres :

- des efforts électrodynamiques :  $f(I^2)$
- des contraintes thermiques :  $f(I^2 t)$

*Hypothèses à propos des contraintes thermiques :*

La durée du court circuit est suffisamment brève pour que les échanges thermiques entre les éléments qui les subissent et l'extérieur puissent être considérés comme inexistantes (c'est le cas pour un fusible, la pastille de silicium d'un semi-conducteur...)

Énergie électrique dissipée :

$$W_{elec} = R \int i^2 dt = \rho l/s \int i^2 dt$$

Avec :  $l$  = longueur de l'élément fusible  
 $s$  = section de l'élément fusible

Énergie thermique d'échauffement :

$$W_{th} = V \cdot \Delta\theta^\circ \cdot m \cdot C$$

Avec :  $V$  = volume de l'élément fusible  
 $m$  = masse spécifique  
 $C$  = chaleur

massique

S'il n'y a pas d'échange avec l'extérieur, toute l'énergie électrique sert à l'échauffement du fusible et :

$$W_{elec} = R \int i^2 dt = \rho l/s \int i^2 dt = W_{th} = V \cdot \Delta\theta^\circ \cdot m \cdot C$$

$$\rho l/s \int i^2 dt = V \cdot \Delta\theta^\circ \cdot m \cdot C = V \cdot \Delta\theta^\circ \cdot m \cdot C$$

$$\Delta\theta^\circ = (\rho/m \cdot C) \cdot (l/s^2) \cdot \int i^2 dt$$

$\rho$ ,  $m$ ,  $C$  et  $s$  sont les caractéristiques de l'élément fusible.

$\int i^2 dt$  est fonction du courant de court circuit.

On appelle contrainte thermique ou intégrale de Joule :  $C_T = \int i^2 dt$

Donc  $C_T = I^2 t$  avec  $I$  valeur efficace de  $i$