

L.T Déodat TS1 ET	PSIM / TP1 Courants de court circuit	Essais de système
----------------------	---	-------------------

Résumé :

On utilise le logiciel de simulation de circuits électriques PSIM pour analyser les formes d'ondes et les amplitudes de courants, lors d'un court-circuit « franc » aux bornes d'un récepteur, monophasé puis triphasé, alimenté par un réseau BT industriel.

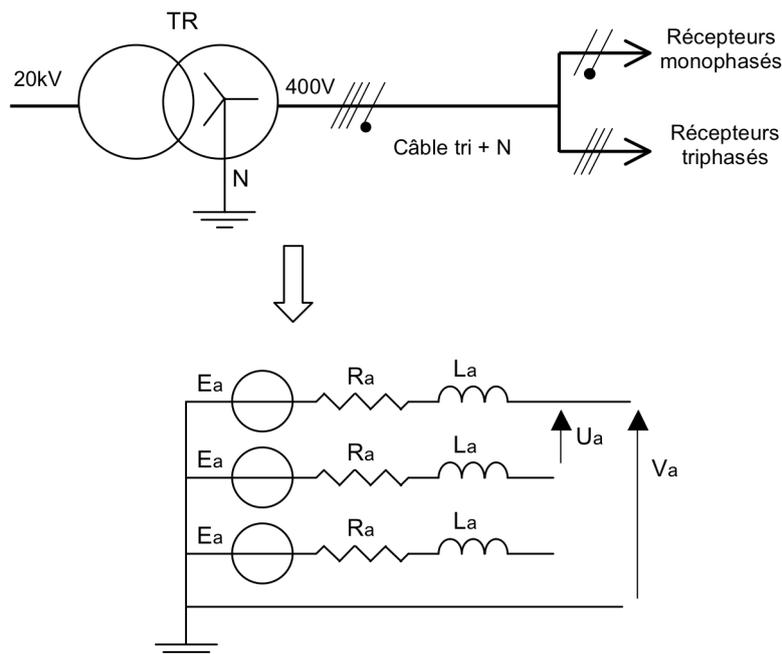
La saisie du schéma à simuler et des paramètres de simulation s'effectuent dans le module SimCAD du logiciel. Les résultats de la simulation sont accessibles dans le module SimView : visualisation de graphes, mesurage de grandeurs, ...

Les résultats des simulations ainsi que vos commentaires seront remis, à la fin de la séance, dans un fichier Word.

Modélisation du réseau de distribution

Le réseau de distribution d'une petite entreprise de mécanique générale est alimenté par un transformateur HTA-BT (20kV/400V) de puissance $S = 400$ kVA. Ce réseau alimente des récepteurs monophasés (éclairage, prises) et triphasés (moteurs asynchrones, fours industriels).

Conformément au schéma ci-dessous, le réseau de distribution peut être modélisé, pour une phase, par un générateur de fem E_a en série avec une impédance comprenant une résistance R_a et une inductance L_a .



Données numériques : $E_a = 231$ V ; $f = 50$ Hz ; $R_a = 5$ m Ω ; $L_a = 60$ μ H

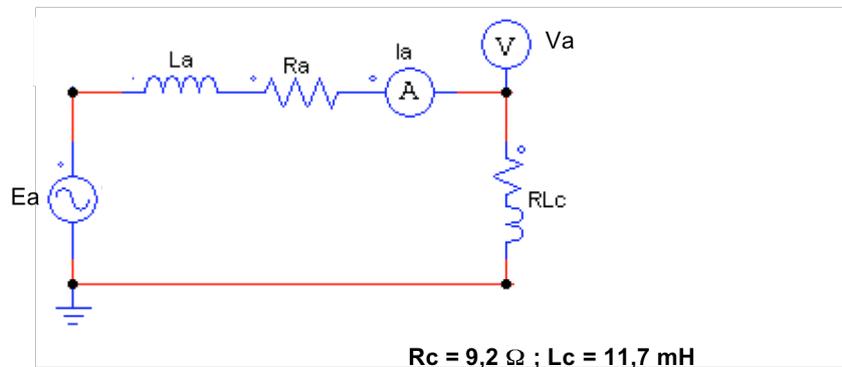
1 – Récepteur monophasé

1.1 – Etude du courant nominal

L'ensemble des récepteurs monophasés absorbe une puissance active : $P = 15 \text{ kW}$, et une puissance réactive : $Q = 6 \text{ kVAr}$. Ces récepteurs sont répartis uniformément sur les 3 phases.

Calculer, pour une phase, le courant nominal puis les éléments R_c et L_c du schéma équivalent série correspondant à la charge. (dans ce calcul, on néglige l'impédance du réseau)

Schéma de simulation



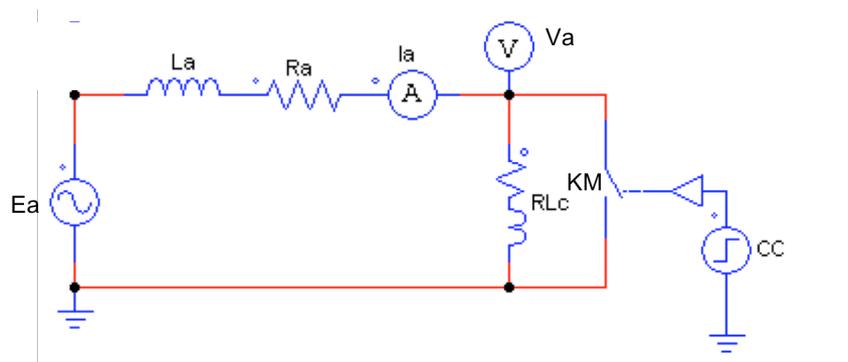
Simulation et résultats

- Réaliser la saisie du schéma à simuler.
- Paramétrer l'horloge de simulation :
 - time step (pas de calcul) = $2 \cdot 10^{-5} \text{ s}$;
 - total time (durée de simulation) = 60 ms.
- Lancer la simulation.
- Visualiser séparément les graphes de la tension $V_a(t)$ et du courant $i_a(t)$. Mesurer la valeur efficace (RMS) du courant ($i_{a\text{ef}}$). Evaluer graphiquement le déphasage de i_a sur V_a (φ).
- Relever, dans un fichier Word, les résultats de simulation (graphes, valeurs $i_{a\text{ef}}$, φ). Commenter ces résultats.

1.2 – Etude d'un court-circuit franc aux bornes de la charge

Schéma de simulation

Pour simuler un court-circuit aux bornes de la charge, on ajoute au schéma précédent un interrupteur KM dont on peut contrôler l'instant de fermeture.



1^{ère} Simulation

- Réaliser la saisie du schéma à simuler.
- Le module voltage step (CC) permet de fixer l'instant d'apparition du court-circuit. Paramétrer le retard à 40 ms.
- Paramétrer l'horloge de simulation :
 - time step (pas de calcul) = $2 \cdot 10^{-5}$ s ;
 - total time (durée de simulation) = 120 ms.
- Réaliser la simulation.
- Visualiser séparément les graphes de la tension **Va(t)** et du courant **Ia(t)**. Noter la valeur de **Va(t)** au moment de l'apparition du court-circuit. Copier ces graphes dans le fichier Word. Justifier les formes d'ondes visualisées (avant et après le court-circuit).
- Visualiser uniquement le graphe de **Ia(t)**, après l'apparition du court-circuit (dans l'intervalle de temps : 40 ms – 120 ms). Relever les valeurs crêtes du courant de court-circuit (**I_{acc}**) pour les 4 premières alternances positives de Ia(t). Mesurer la valeur RMS (**I_{acc,ef}**).
- Visualiser uniquement la 1^{ère} alternance du courant de court-circuit. Mesurer sa valeur RMS
- Commenter les relevés.

2^{ème} Simulation

On effectue une 2^{ème} simulation après avoir modifié l'instant d'apparition du court-circuit, pour vérifier son éventuelle influence sur le courant de court-circuit.

- Paramétrer le retard du module voltage step à 44,2 ms.
- Paramètres de l'horloge de simulation : inchangés.
- Réaliser la simulation.
- Visualiser séparément les graphes de la tension **Va(t)** et du courant **Ia(t)**. Noter la valeur de **Va(t)** au moment de l'apparition du court-circuit. Copier ces graphes dans le fichier Word. Quelles constatations faites-vous ?
- Visualiser uniquement le graphe de **Ia(t)**, après l'apparition du court-circuit (dans l'intervalle de temps : 44,2 ms – 120 ms). Relever les valeurs crêtes (**I_{acc}**) pour les 4 premières alternances positives de Ia(t). Mesurer la valeur RMS (**I_{acc,ef}**).
- Visualiser uniquement la 1^{ère} alternance du courant de court-circuit. Mesurer sa valeur RMS

Analyse du courant de court-circuit, dans les 2 cas étudiés

Dans la 1^{ère} simulation, le court-circuit est dit *asymétrique*. Dans la 2^{ème} simulation, il est dit *symétrique*.

En comparant les résultats des 2 simulations, mettre en évidence les différences et conclure sur l'influence de l'instant d'apparition du court-circuit.

Contrainte thermique due au court-circuit

Lors d'un court-circuit dans une installation, l'appareil de protection placé en amont (généralement un disjoncteur) ouvre le circuit avec un temps de retard, le plus court possible. Pendant la durée du court-circuit, les câbles et l'appareillage subissent une *contrainte thermique* qui se traduit par une élévation de température.

L'élévation de température dans un câble peut se calculer par la relation : $\Delta\theta = k \cdot \frac{c}{s^2}$

k : coefficient qui dépend des caractéristiques du câble et de la canalisation,
 c : contrainte thermique (voir ci-dessous),
 s : section du câble (cuivre ou aluminium).

La contrainte thermique (I^2t) se calcule par la relation : $c = I_{ef}^2 \cdot t$

I_{ef} : valeur efficace du courant de court-circuit,
 t : durée du court-circuit.

En faisant l'hypothèse que le disjoncteur qui protège l'installation étudiée coupe le circuit à la fin de la 1^{ère} alternance du courant de court-circuit, calculer la contrainte thermique pour le court-circuit asymétrique, puis pour le court-circuit symétrique. Commenter.

2 – Récepteur triphasé

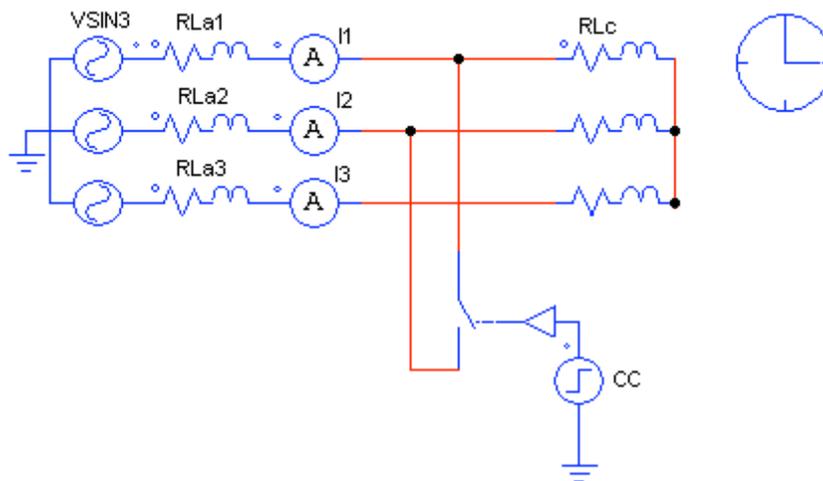
Charge triphasée : $U_a = 400 \text{ V}$; $R_c = 1,1 \ \Omega$; $L_c = 1,7 \text{ mH}$

Impédance du réseau (R_a, L_a) : mêmes valeurs que pour la première partie.

2.1 – Etude d'un court-circuit franc phase-phase

Schéma de simulation

On étudie I_{cc} lors d'un court-circuit entre 2 phases (phase1-phase2).

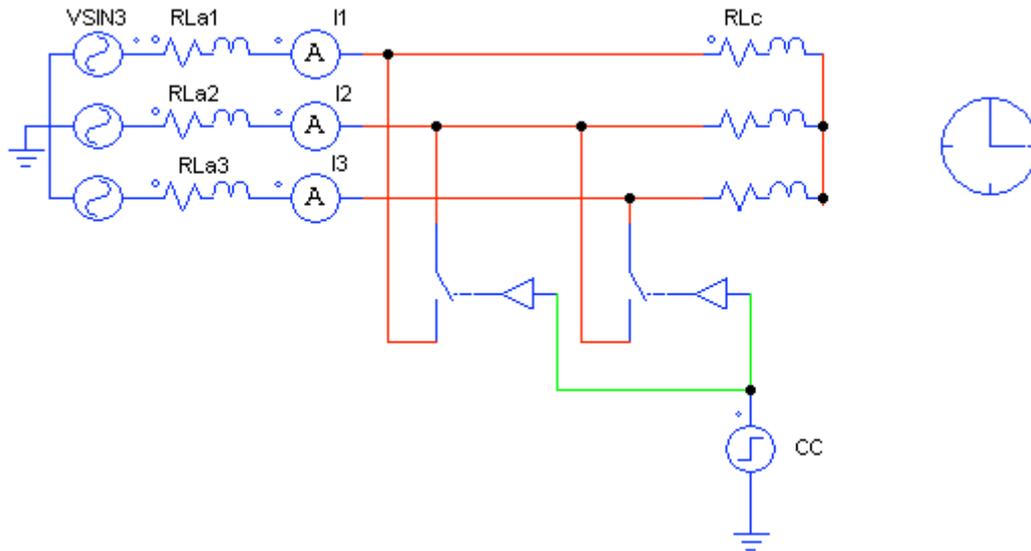


Simulation et résultats

- Réaliser la saisie du schéma à simuler.
- Paramétrer le retard du module voltage step à 40 ms.
- Paramétrer l'horloge de simulation :
 - time step (pas de calcul) = $2 \cdot 10^{-5}$ s;
 - total time (durée de simulation) = 120 ms.
- Réaliser la simulation.
- Visualiser le graphe de $I_{a1}(t)$, après l'apparition du court-circuit. Mesurer la valeur RMS ($I_{acc1_{ef}}$).

2.2 – Etude d'un court-circuit franc triphasé

Schéma de simulation



Simulation et résultats

- Réaliser la saisie du schéma à simuler.
- Paramétrer le retard du module voltage step à 40 ms.
- Paramètres de l'horloge de simulation : inchangés.
- Réaliser la simulation.
- Visualiser simultanément les graphes de $i_{a1}(t)$, $i_{a2}(t)$ et $i_{a3}(t)$ après l'apparition du court-circuit. Mesurer la valeur RMS ($I_{acc1_{ef}}$).

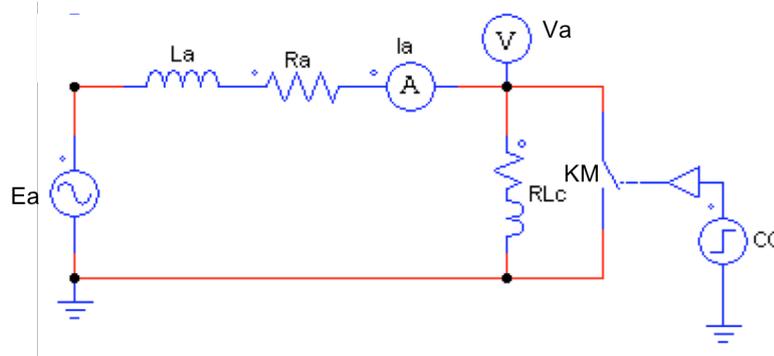
2.3 – Analyse des résultats

Comparer les valeurs RMS d'un court-circuit triphasé et biphasé. Conclure sur le choix de l'organe de protection (disjoncteur).

1 – Circuit monophasé : étude d’un court-circuit franc aux bornes de la charge

Schéma de simulation

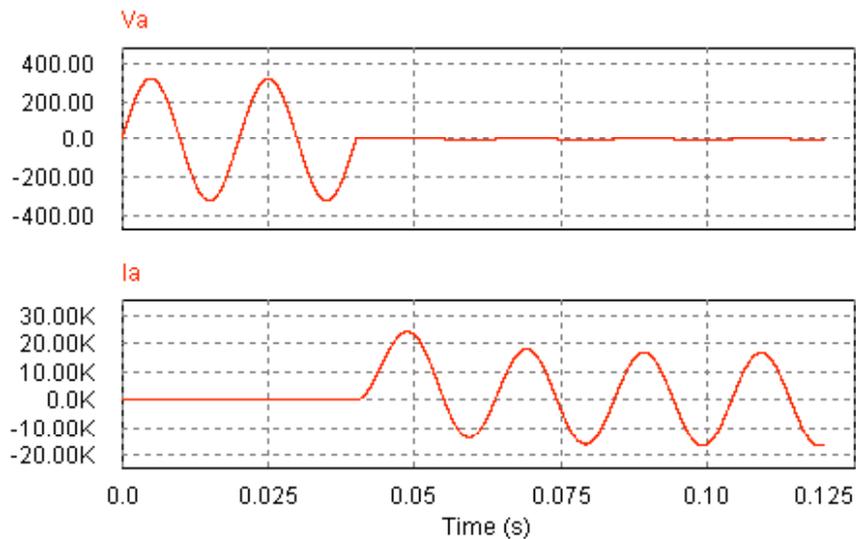
On simule un court-circuit aux bornes de la charge à l’aide d’un interrupteur KM dont on peut contrôler l’instant de fermeture.



Valeurs numériques : $E_a = 231 \text{ V}$; $f = 50 \text{ Hz}$; $R_a = 5 \text{ m}\Omega$; $L_a = 60 \text{ }\mu\text{H}$;
 $R_c = 9,2 \text{ }\Omega$; $L_c = 11,7 \text{ mH}$.

→ 1^{ère} Simulation : Le court circuit débute à $t = 40 \text{ ms}$

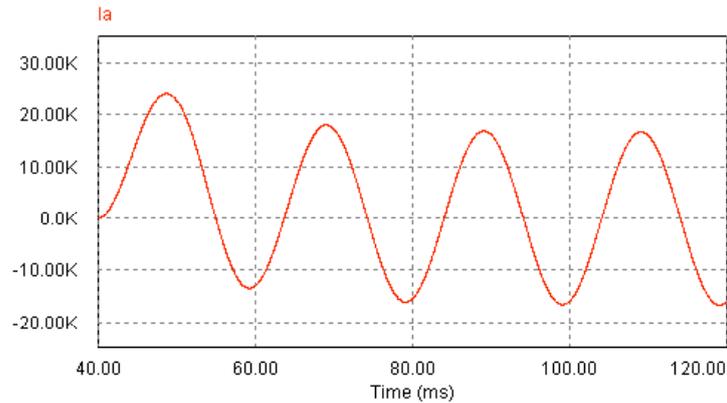
✓ Graphes de $V_a(t)$ et $I_a(t)$



Le court circuit débute au passage par zéro de la tension.

Avant le court-circuit, la tension aux bornes de la charge est égale à la tension du réseau d’alimentation. Après l’apparition du court-circuit, la tension devient nulle. Le courant de court-circuit est très élevé (plus de 10 kA).

✓ **Graphe de $i_{acc}(t)$: courant de court-circuit**



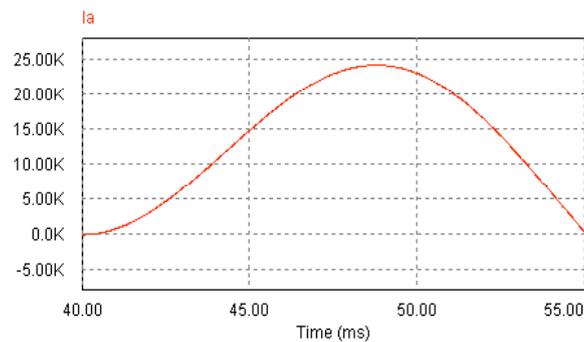
- Valeurs crêtes du courant de court-circuit (\hat{i}_{acc}) pour les 4 premières alternances positives de $i_a(t)$:

1 ^{ère} alternance	$\hat{i}_{acc} = 24,3 \text{ kA}$
2 ^{ème} alternance	$\hat{i}_{acc} = 18 \text{ kA}$
3 ^{ème} alternance	$\hat{i}_{acc} = 16,9 \text{ kA}$
4 ^{ème} alternance	$\hat{i}_{acc} = 16,7 \text{ kA}$

- Valeur efficace (RMS) du courant de court-circuit pour les 4 premières périodes :

$$i_{accef} = 12,6 \text{ kA}$$

✓ **Graphe de $i_{acc}(t)$ pour la 1^{ère} alternance du courant de court-circuit**



- Valeur efficace du courant de court-circuit pour la 1^{ère} alternance :

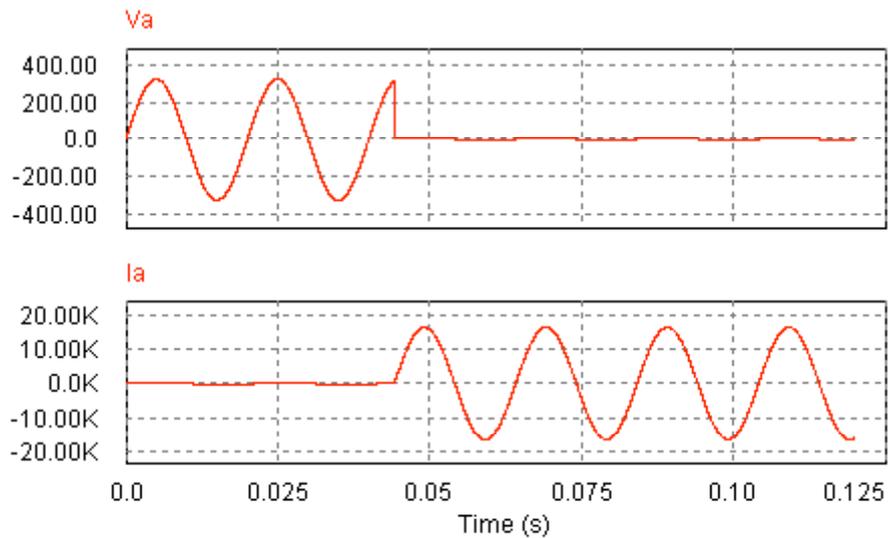
$$i_{accef1} = 15,8 \text{ kA}$$

La valeur crête du courant de court-circuit est maximale pour la première alternance (24,3 kA), puis décroît pendant les alternances suivantes, pour se stabiliser à environ 16,7 kA.

Pour la 1^{ère} alternance, le rapport $\hat{i}_{acc} / i_{accef}$ vaut environ 1,9.

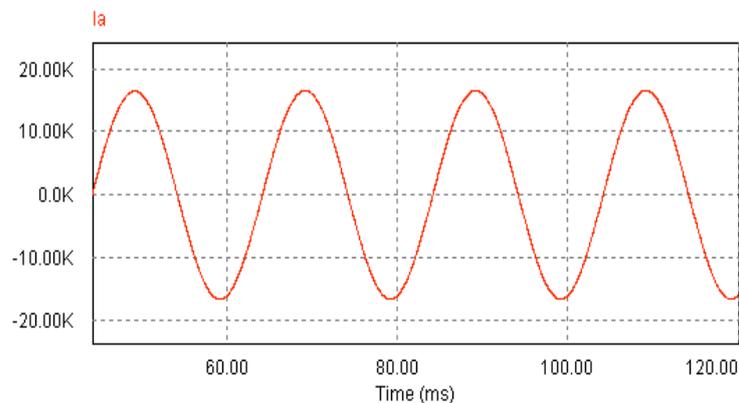
→ 2^{ème} Simulation : le court-circuit débute à $t = 44,2 \text{ ms}$

✓ Graphes de $V_a(t)$ et $I_a(t)$



Le court circuit débute pratiquement au maximum de la tension.

✓ Graphe de $I_{acc}(t)$: courant de court-circuit



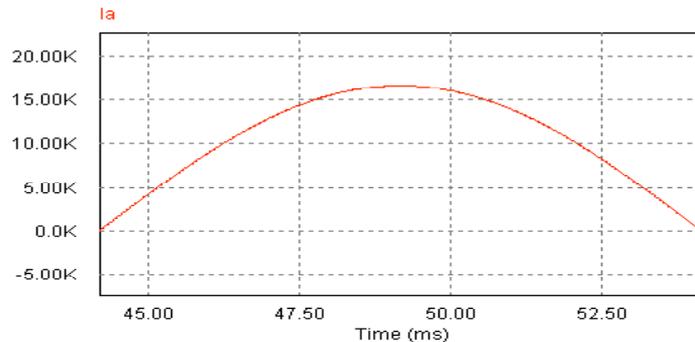
- Valeurs crêtes du courant de court-circuit (\hat{I}_{acc}) pour les 4 premières alternances positives de $I_a(t)$:

1 ^{ère} alternance	$\hat{I}_{acc} = 16,6 \text{ kA}$
2 ^{ème} alternance	$\hat{I}_{acc} = 16,7 \text{ kA}$
3 ^{ème} alternance	$\hat{I}_{acc} = 16,7 \text{ kA}$
4 ^{ème} alternance	$\hat{I}_{acc} = 16,7 \text{ kA}$

- Valeur efficace (RMS) du courant de court-circuit pour les 4 premières périodes :

$I_{acc\text{ef}} = 11,8 \text{ kA}$

✓ **Graphes de $i_{cc}(t)$ pour la 1^{ère} alternance du courant de court-circuit**



- Valeur efficace du courant de court-circuit pour la 1^{ère} alternance:

$$i_{accef1} = 11,7 \text{ kA}$$

La valeur crête du courant de court-circuit s'établit à 16,7 kA dès la première alternance. Le rapport \hat{i}_{cc} / i_{accef} vaut environ 1,41 soit $\sqrt{2}$.

→ **Analyse du courant de court-circuit, dans les 2 cas étudiés**

Dans la 1^{ère} simulation, le court-circuit a lieu au passage par zéro de la tension. La valeur crête de la 1^{ère} alternance est très élevée ($\hat{i}_{cc} / i_{accef} \approx 1,9$) puis décroît pour les alternances suivantes. Le court-circuit est dit asymétrique.

Dans la 2^{ème} simulation, le court-circuit a lieu pratiquement au maximum de la tension. La valeur crête de la 1^{ère} alternance est identique à celle des alternances suivantes : ($\hat{i}_{cc} / i_{accef} = \sqrt{2}$). Le court-circuit est dit symétrique.

→ **Contrainte thermique due au court-circuit**

En faisant l'hypothèse que le disjoncteur qui protège l'installation étudiée coupe le circuit à la fin de la 1^{ère} alternance du courant de court-circuit, on calcule la contrainte thermique $c = I_{ef}^2 \cdot t$ subie par les câbles et l'appareillage.

- Court-circuit symétrique :

$$i_{accef1} = 11,7 \text{ kA}$$

$$t = 10 \text{ ms}$$

⇒

$$I^2t = 1,37 \cdot 10^6 \text{ A}^2\text{s}$$

- Court-circuit asymétrique :

$$i_{accef1} = 15,8 \text{ kA}$$

$$t = 15 \text{ ms}$$

⇒

$$I^2t = 3,75 \cdot 10^6 \text{ A}^2\text{s}$$

La contrainte thermique est environ 2,5 fois plus importante dans le cas d'un court-circuit asymétrique.

L'élévation de la température des câbles due au courant de court-circuit sera également 2,5 fois plus élevée puisque : $\Delta\theta = k \cdot \frac{c}{S^2}$.

2 – Circuit triphasé

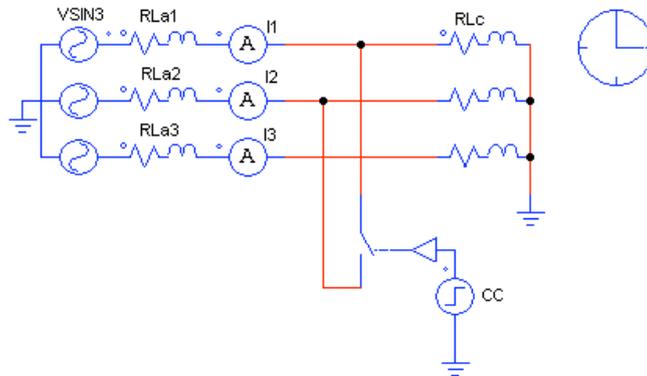
Réseau triphasé : $U_a = 400 \text{ V}$; $R_a = 5 \text{ m}\Omega$; $L_a = 60 \text{ }\mu\text{H}$.

Charge triphasée ; $R_c = 1,1 \text{ }\Omega$; $L_c = 1,7 \text{ mH}$.

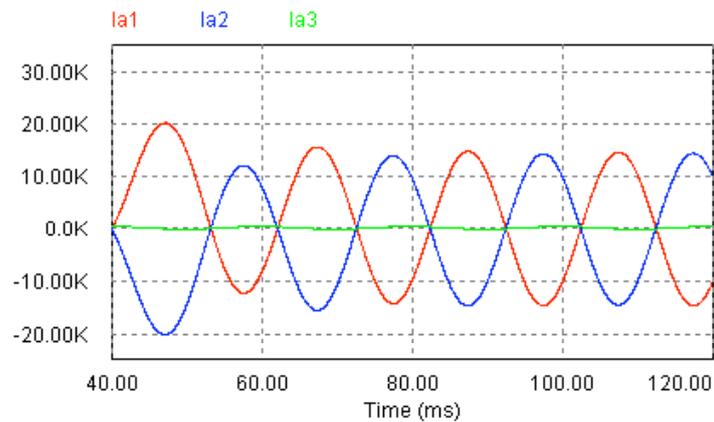
→ Etude d'un court-circuit franc phase-phase

Schéma de simulation

On étudie I_{cc} lors d'un court-circuit entre 2 phases (phase1-phase2).



✓ Graphe de $I_{cc}(t)$ pour les 3 phases



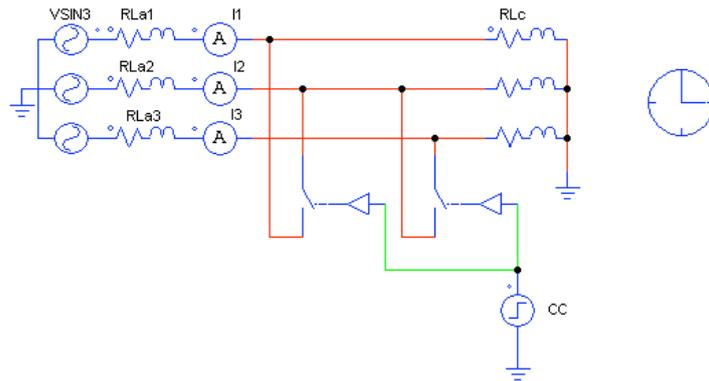
- Valeur efficace du courant de court-circuit pour la phase 1 :

$$I_{accef1} = 10,9 \text{ kA}$$

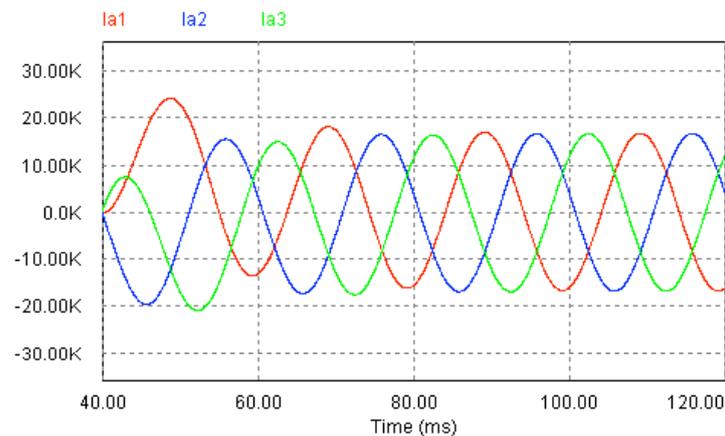
La phase 3 n'est pas affectée par le court-circuit. Les courants de court-circuit I_{cc1} et I_{cc2} sont en opposition de phase. Le court-circuit est asymétrique ; la valeur crête du courant pour la 1^{ère} alternance est d'environ 20 kA.

→ Etude d'un court-circuit franc triphasé

Schéma de simulation



✓ Graphe de $i_{cc}(t)$ pour les 3 phases



- Valeur efficace du courant de court-circuit pour la phase 1 :

$$I_{accf1} = 12,6 \text{ kA}$$

Les 3 phases sont affectées par le court-circuit. La plus forte asymétrie s'observe sur le courant de court-circuit de la phase 1 (i_{cc1}) ; la valeur crête du courant pour la 1^{ère} alternance est d'environ 24 kA.

→ Analyse des résultats

**Dans le cas d'un court-circuit phase-phase : $I_{accf} = 10,9 \text{ kA}$;
Dans le cas d'un court-circuit triphasé : $I_{accf} = 12,6 \text{ kA}$;
Donc, pour les mêmes conditions d'asymétrie, le courant de court-circuit triphasé (I_{cctri}) est plus élevé que le courant de court-circuit phase-phase ($I_{ccph-ph}$). Il faut donc choisir le pouvoir de coupure de l'organe de protection (disjoncteur) en fonction de $I_{cctri} : I_{cu} > I_{cctri}$.**