

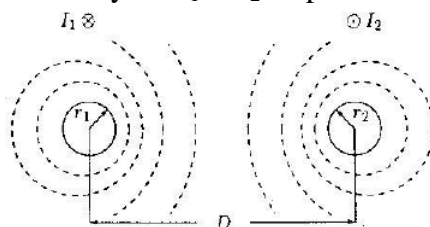
Examen de Rattrapage: Réseaux Electriques

Questions de cours (7 pts)

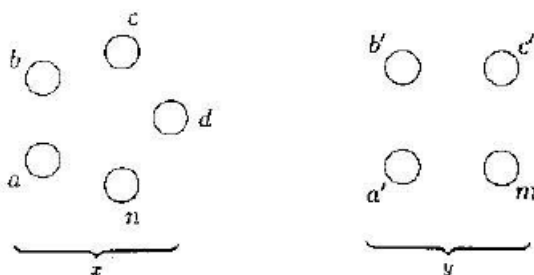
1. Le réseau électrique est subdivisé en **trois types selon le rôle** de chaque type, lesquelles ?
2. **La régulation des réseaux** vise à maintenir proches de leurs valeurs de consigne les grandeurs de **fréquence et de tension**. Expliquer brièvement le réglage de ces dernières grandeurs.

Exercice N°1 (6 pts)

Nous considérons deux conducteurs de rayons r_1 et r_2 respectivement séparés par une distance D :



1. Calculer l'inductance interne et l'inductance externe.
2. Calculer l'inductance totale et déduire le rayon moyen géométrique RMG.
3. Nous considérons maintenant une configuration quelconque d'une ligne en faisceau :

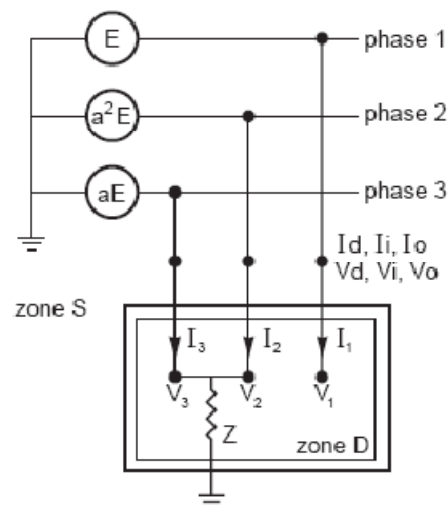


Calculer l'inductance L_x en utilisant la notion du RMG et DMG.

Exercice N°2 (7 pts)

Nous considérons un réseau électrique avec un défaut biphasé-terre comme illustré en figure 3.

1. Calculer les courants et les tensions de défaut en utilisant les composantes symétriques.
2. Donner le schéma du réseau selon les composantes symétriques.
3. Etudier les deux cas particuliers lorsque $Z = 0$ et $Z = \infty$.



Bon courage.

Correction EMD N°1 : Réseaux Electriques

1. **Les réseaux de transport** (de 50 kV à 400 kV) : ont pour but de transporter l'énergie des grands centres de production vers les régions consommatrices d'électricité. Les grandes puissances transitées imposent des lignes électriques de forte capacité de transit, ainsi qu'une structure maillée (ou interconnectée).
2. **Les réseaux de répartition** (de l'ordre de 30 à 150 kV) : ont pour but d'assurer à l'échelle régionale la fourniture d'électricité. Les réseaux de répartition sont distribués de manière assez homogène sur le territoire d'une région. Ils ont une structure à la fois maillée et bouclée suivant les régions considérées.
3. **Les réseaux de distribution** : ont pour but d'alimenter l'ensemble des consommateurs. Il existe deux sous niveaux de tension :
 - les réseaux moyenne tension (MT devenu HTA de 3 à 50 kV)
 - les réseaux basse tension (BT devenu BTB de 110 à 600 V), sur lesquels sont raccordés les utilisateurs domestiques.Les réseaux à moyenne tension (HTA) ont de façon très majoritaire une structure arborescente, qui autorise des protections simples et peu coûteuses

1. Sachant que le réglage de la tension est assuré en agissant sur des puissances réactives. Expliquer les modes de réglage de la tension.

I. Réglage de la tension

1. **Réglage primaire** : Le régulateur primaire de tension d'un alternateur fixe automatiquement la puissance réactive fournie en fonction de la tension. Il agit d'une régulation locale.
2. **Réglage secondaire** : Le réglage secondaire de tension est un réglage national. Divers points pilotes sont retenus et chacun constitue une référence pour la tension dans une sous-région.
3. **Réglage tertiaire** : Ce réglage s'effectue manuellement et les opérations sont ordonnées par le dispatching : elles permettent d'assurer le maintien et/ou le rétablissement du plan de tension.

II. Réglage de la fréquence

1. **Le réglage primaire** permet de revenir à un équilibre production-consommation. C'est la composante du réglage dont le temps de réponse est le plus court : la moitié de la réserve primaire doit pouvoir être mobilisée en moins de 15 s et la totalité en moins de 30 s.
2. **Le réglage secondaire** : Le but du réglage secondaire est double : résorber l'écart résiduel de fréquence induite par le réglage primaire et corriger les écarts de bilan des zones de réglage (100-200sec).
3. **Le réglage tertiaire** intervient lorsque l'énergie réglante secondaire disponible est insuffisante. Contrairement aux réglages primaire et secondaire qui sont des automatismes. Le réglage tertiaire fait appel au mécanisme d'ajustement. Cette réserve supplémentaire d'énergie peut être mobilisée entre 15-30 minutes.

Exercice N°1

1. Inductance interne

Le flux couplé à l'intérieur du conducteur $d\lambda_x = \left(\frac{x^2}{r^2}\right)d\phi_x = \frac{\mu_0 I}{2\pi r^4} x^3 dx$ $\lambda_{int} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r^4} \int_0^r x^3 dx$
 est : $= \frac{\mu_0 I}{8\pi} \text{ Wb/m}$

L'inductance peut facilement déduite : $L_{int} = \frac{\mu_0}{8\pi} = \frac{1}{2} \times 10^{-7} \text{ H/m}$

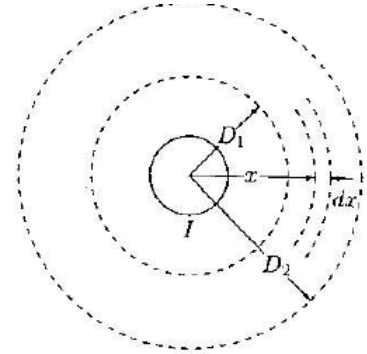
2. Inductance externe

Nous considérons un contour externe pour H_x :

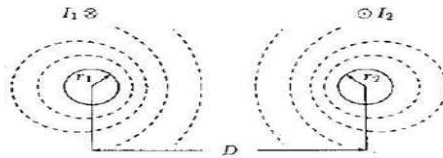
$$B_x = \mu_0 H_x = \frac{\mu_0 I}{2\pi x} \quad d\lambda_x = d\phi_x = B_x dx \cdot 1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi x} dx$$

$$\lambda_{ext} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \int_{D_1}^{D_2} \frac{1}{x} dx \quad L_{ext} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_2}{D_1} \text{ H/m}$$

$$= 2 \times 10^{-7} I \ln \frac{D_2}{D_1} \text{ Wb/m}$$



Nous considérons deux conducteurs de rayons r_1 et r_2 respectivement séparés par une distance D (figure).



$$B_x = \mu_0 H_x = \frac{\mu_0 I}{2\pi x} \quad d\lambda_x = d\phi_x = B_x dx \cdot 1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi x} dx \quad \lambda_{ext} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \int_{D_1}^{D_2} \frac{1}{x} dx \quad L_{1(ext)} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r_1} \text{ H/m}$$

3. L'inductance total L : $L = L_{ext} + L_{int}$:

$$L_1 = \frac{1}{2} \times 10^{-7} + 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r_1} \text{ H/m} \quad L_1 = 2 \times 10^{-7} \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{D}{r_1} \right)$$

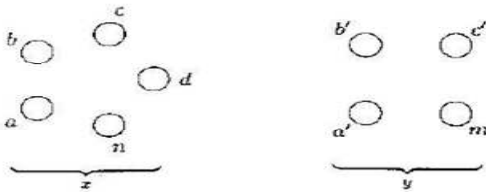
$$= 2 \times 10^{-7} \left(\ln e^{\frac{1}{4}} + \ln \frac{1}{r_1} + \ln \frac{D}{1} \right)$$

$$= 2 \times 10^{-7} \left(\ln \frac{1}{r_1 e^{-1/4}} + \ln \frac{D}{1} \right)$$

$$r' = r e^{-1/4}$$

r' : est le Rayon Moyen Géométrique RMG

4. Nous considérons la configuration quelconque suivante :



$$\lambda_a = 2 \times 10^{-7} \frac{I}{n} \left(\ln \frac{1}{r'_x} + \ln \frac{1}{D_{ab}} + \ln \frac{1}{D_{ac}} + \dots + \ln \frac{1}{D_{an}} \right) \quad \lambda_a = 2 \times 10^{-7} I \ln \frac{\sqrt[n]{D_{aa'} D_{ab'} D_{ac'} \dots D_{an}}}{\sqrt[n]{r'_x D_{ab} D_{ac} \dots D_{an}}}$$

$$- 2 \times 10^{-7} \frac{I}{m} \left(\ln \frac{1}{D_{aa'}} + \ln \frac{1}{D_{ab'}} + \ln \frac{1}{D_{ac'}} + \dots + \ln \frac{1}{D_{am}} \right)$$

$$L_a = \frac{\lambda_a}{I/n} = 2n \times 10^{-7} \ln \frac{\sqrt[n]{D_{aa'} D_{ab'} D_{ac'} \dots D_{an}}}{\sqrt[n]{r'_x D_{ab} D_{ac} \dots D_{an}}}$$

$$L_{av} = \frac{L_a + L_b + L_c + \dots + L_n}{n}$$

$$L_x = \frac{L_{av}}{n} = \frac{L_a + L_b + L_c + \dots + L_n}{n^2} \quad L_x = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR_x} \text{ H/meter}$$

$$GMD = \sqrt[n]{(D_{aa'} D_{ab'} \dots D_{am}) \dots (D_{na'} D_{nb'} \dots D_{nm})}$$

$$GMR_x = \sqrt[n]{(D_{aa} D_{ab} \dots D_{an}) \dots (D_{na} D_{nb} \dots D_{nn})}$$

Exercice N2

Ecriture des équations

■ Dans la zone (D)

$$\begin{cases} I_1 = 0 \\ V_2 = V_3 = Z (I_2 + I_3) \end{cases}$$

■ Dans la zone (S)

$$\begin{cases} I_1 = I_d + I_i + I_o \\ I_2 = a^2 I_d + a I_i + I_o \\ I_3 = a I_d + a^2 I_i + I_o \\ V_1 = V_d + V_i + V_o \\ V_2 = a^2 V_d + a V_i + V_o \\ V_3 = a V_d + a^2 V_i + V_o \end{cases}$$

■ Continuité à la frontière (D) - (S)

$$\begin{cases} I_d + I_i + I_o = 0 \\ V_d = V_i \\ V_o = V_d + 3Z \times I_o \end{cases}$$

■ Fonctionnement de (S)

$$\begin{cases} E = V_d + Z_d \times I_d \\ 0 = V_i + Z_i \times I_i \\ 0 = V_o + Z_o \times I_o \end{cases}$$

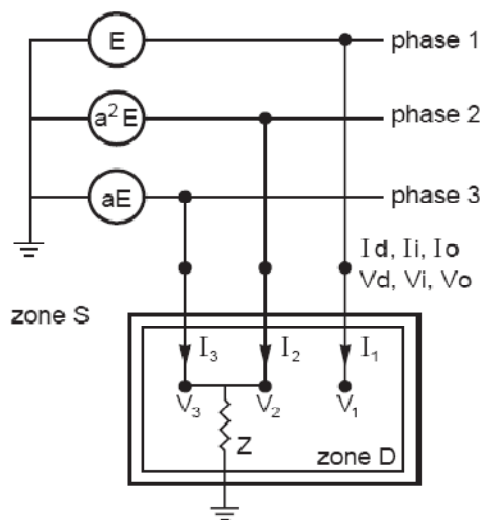


Fig. 15

Résolution des équations

$$I_d = E \frac{Z_i + Z_o + 3Z}{Z_d \times Z_i + (Z_o + 3Z)(Z_d + Z_i)}$$

$$I_i = \frac{-E (Z_o + 3Z)}{Z_d \times Z_i + (Z_d + Z_i)(Z_o + 3Z)}$$

$$I_o = \frac{-E \times Z_i}{Z_d \times Z_i + (Z_d + Z_i)(Z_o + 3Z)}$$

$$V_d = V_i = \frac{E \times Z_i (Z_o + 3Z)}{Z_d \times Z_i + (Z_d + Z_i)(Z_o + 3Z)}$$

$$V_o = \frac{E \times Z_i \times Z_o}{Z_d \times Z_i + (Z_d + Z_i)(Z_o + 3Z)}$$

$$I_1 = 0$$

$$I_2 = -j\sqrt{3} E \frac{Z_o + 3Z - aZ_i}{Z_d \times Z_i + (Z_d + Z_i)(Z_o + 3Z)}$$

$$I_3 = j\sqrt{3} E \frac{Z_o + 3Z - a^2 Z_i}{Z_d \times Z_i + (Z_d + Z_i)(Z_o + 3Z)}$$

$$I_2 + I_3 = -3E \frac{Z_i}{Z_d \times Z_i + (Z_d + Z_i)(Z_o + 3Z)}$$

$$V_1 = E \frac{3Z_i (Z_o + 3Z)}{Z_d \times Z_i + (Z_d + Z_i)(Z_o + 3Z)}$$

$$V_2 = V_3 = E \frac{-3Z \times Z_i}{Z_d \times Z_i + (Z_d + Z_i)(Z_o + 3Z)}$$

■ Schéma du réseau selon les composantes symétriques (cf. fig. 16)

Cas particuliers

■ Défaut franc

Soit $Z = 0$, le courant de défaut phase-terre

prend la valeur : $I_2 + I_3 = -\frac{3E \times Z_i}{Z_d \times Z_i + Z_i \times Z_o + Z_d \times Z_o}$

■ Défaut biphasé

Soit $Z = \infty$, le courant de défaut phase vaut alors :

$$I_2 = -I_3 = E \frac{(a^2 - a)}{Z_d + Z_i} = -jE \frac{\sqrt{3}}{Z_d + Z_i}$$

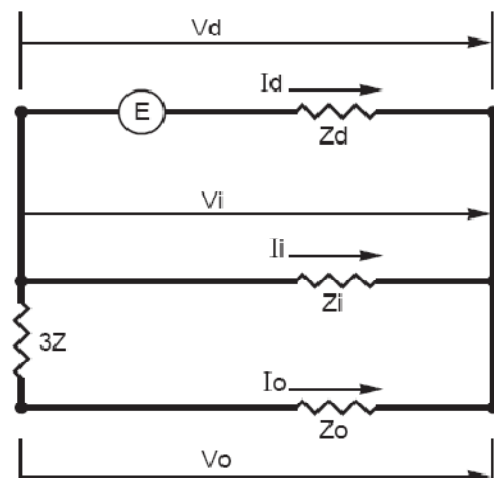


Fig. 16