Chapitre V

Le système des grandeurs réduites
" Per_unit "

V.1) Introduction.

V. 2) Le schéma unifilaire d'un système triphasé

V 2.1) Puissance, Tension et courant de Base

V. 2.2) Impédance et admittance de Base

V. 2.3) Chute de tension

V. 2.4) changement de base

Chapitre V

Le système des grandeurs réduites (le Per-unit)

V.1 Introduction

le système " Per-unit " est un système de grandeurs réduites qui permet à l'ingenieur électricien d'avoir constamment à l'esprit des ordres de grandeurs relatifs de certains paramètres indépendament des niveaux de tension et de puissance. De plus, l'utilisation de ce système simplifie certaines formules et schémas équivalent. En particulier, un bon choix initial permet de s'affranchir de la présence des transformateurs idéaux et la formulation se ramène à l'étude de circuits monophasés.

Ce système associe, à une variable quelconque « α » ; une valeur de base « αbase » et la compare à sa valeur "vraie" « αvraie » de manière à l'exprimer dans un système adimensionnel « Pu » ou (en % de sa valeur de base) dont les ordres de grandeurs sont bien connus.

*)

Système « Per Unit »

La définition des quantities (voltage, courant; Puissances; impedances) en système "Per unit" est donnée par :

$$\text{Quantitie (per unit)} = \frac{\text{Quantitie (unité normale)}}{\text{Valeure de Base de la quantie (unité normale)}}$$

Soit :

$$P_{base} = Q_{base} = S_{base}$$

$$I_{base} = \frac{S_{base}}{V_{base}}$$

$$Z_{base} = R_{base} = X_{base} = \frac{V_{base}}{I_{base}} = \frac{V_{base}^2}{S_{base}}$$

$$Y_{base} = G_{base} = B_{base} = \frac{1}{Z_{base}}$$

Les quantities en "Per unit" sont données par :

$$V_{pu} = \frac{V}{V_{base}}$$

Rq : La valeure de base est réel

$$I_{pu} = \frac{I}{I_{base}}$$

$$S_{pu} = \frac{S}{S_{base}}$$

$$Z_{pu} = \frac{Z}{Z_{base}}$$

V. 2 Schéma unifilaire

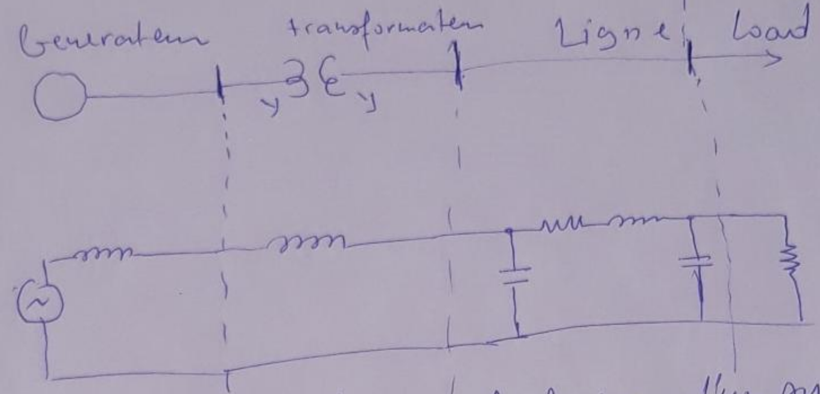
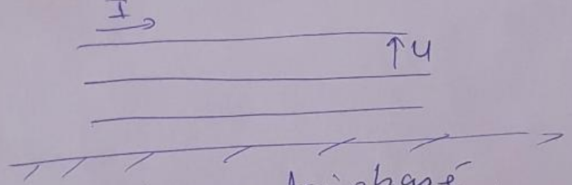


Schéma unifilaire d'un système triphasé.

IV. 3 Puissance, tension et courant de base



Ligne triphasé.

Dans un système triphasé équilibré

$U = \sqrt{3} \cdot V$ [V] (1)

$\bar{S} = 3 \cdot \bar{V} \bar{I}^* = \sqrt{3} \cdot \bar{U} \cdot \bar{I}^* = P + jQ$ (2) [V.A]

$\bar{V} = \bar{Z} \cdot \bar{I}$ (3)

Les grandeurs réduites "Per unit" ; $\bar{U}_{pu} = \frac{\bar{U}}{U_{Base}}$; $\bar{I}_{pu} = \frac{\bar{I}}{I_B}$ et $Z_{pu} = \frac{Z}{Z_B}$ (4)

$\bar{S}_{pu} = \frac{\bar{S}}{S_B}$

$U_B = \sqrt{3} \cdot V_B$ (5)

$S_B = \sqrt{3} \cdot U_B \cdot I_B$ (6)

$V_B = Z_B \cdot I_B$ (7)

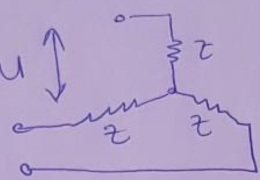
divisons les equations (2) et (5) nous obtenons.

$$\boxed{U_{pu} = V_{pu}} \quad [Pu] \quad (8)$$

divisons les equations (2) et (6)

$$\boxed{\bar{S}_{pu} = \bar{U}_{pu} \cdot \bar{I}^{*}_{pu}} \quad [Pu] \quad (9)$$

V.4 Impédance et admittance de base



charge (équilibrée) triphasée en étoile.

$$\bar{S} = 3\,\bar{V} \cdot \frac{\bar{V}^{*}}{\bar{Z}^{*}} = 3\,\frac{V^2}{\bar{Z}^{*}} = \frac{U^2}{\bar{Z}^{*}} \quad [VA] \quad (10)$$

Les grandeurs de base

$$S_B = \frac{U_B^2}{Z_B} \quad (11)$$

$$Z_B = \frac{U_B^2}{S_B} \quad [\Omega] \quad (12)$$

$$\boxed{\bar{S}_{pu} = \frac{U_{pu}^2}{\bar{Z}^{*}_{pu}} \quad (13)}$$

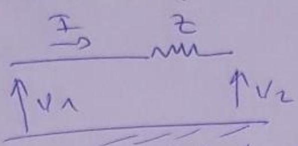
de la même manière à l'impédance

$$Y_B = \frac{S_B}{U_B^2} \quad [S] \quad (14)$$

$$\bar{Y}_{pu} = \frac{\bar{Y}}{Y_B} \quad (15)$$

$$\bar{S}_{pu} = \bar{Y}^{*}_{pu} \cdot U_{pu}^2 \quad (16)$$

V.5 Chute de tension



Variation de la tension dû au passage de courant à travers une ligne impédante.

$$\overline{V}_1 = \overline{V}_2 + \overline{Z}\cdot\overline{I} \quad (17)$$

$$Z_B \cdot I_B = V_B \quad (18)$$

$$\overline{V}_{1pu} = \overline{V}_{2pu} + \overline{Z}_{pu}\cdot\overline{I}_{pu} \quad (19)$$

V.6 changement de base

Nous pouvons écrire, pour deux systèmes de base différents :

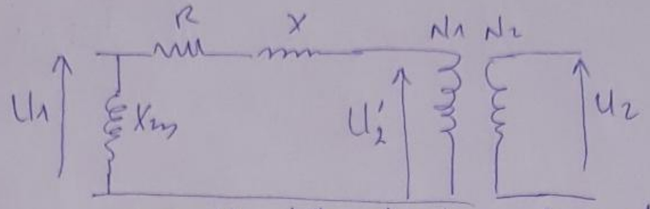
$$\overline{Z} = \overline{Z}_{pu1}\cdot Z_{B1} = \overline{Z}_{pu2}\cdot Z_{B2} \quad (20)$$

$$\boxed{\overline{Z}_{pu2} = \overline{Z}_{pu1}\cdot\frac{Z_{B1}}{Z_{B2}} = \overline{Z}_{pu1}\cdot\frac{U_{B1}^2}{U_{B2}^2}\cdot\frac{S_{B2}}{S_{B1}}} \quad (21)$$

Pour les admittances,

$$\boxed{\overline{Y}_{pu2} = \overline{Y}_{pu1}\cdot\frac{Y_{B1}}{Y_{B2}} = \overline{Y}_{pu1}\cdot\frac{U_{B2}^2}{U_{B1}^2}\cdot\frac{S_{B1}}{S_{B2}}} \quad (22)$$

V.6 Transformateur en PU



2.7 Modèle du transformateur

$R = R_1 + n^2 R_2$ [Ω] / $n = \frac{N_1}{N_2}$

$X = X_{f1} + n^2 X_{f2}$ [Ω]

- L'impédance caractérisant le transformateur s'exprime à travers la tension de court-circuit (Ucc) de ce dernier (en %)
"Ucc" représente ~~la tension~~ Le pourcentage de la tension nominale à appliquer à un des enroulements pour qu'il passe un courant nominal dans l'autre enroulement, lorsque celui-ci est court-circuité

Cette tension correspond à l'impédance de fuite lorsque sa valeur est donnée dans le système per unit lié aux grandeurs nominales de l'appareil!

- Dans le système Pu ; à partir du modèle de la figure 2.7 ; la tension de court-circuit se déduit par : << $U_{cc\,pu} = Z_{cc\,pu} \cdot I_{N\,pu}$)
avec $I_{N\,pu} = 1$; naturellement $Z_{cc\,pu}$ représente l'impédance du transformateur ($= R_{pu} + jX_{pu}$) au cours de cet essai

- Nous prendrons les grandeurs de base comme étant les grandeurs nominales du système.

- Le système per unit

En choisissant "S_{B1}" et "U_{B1}" puissance et tension de base du réseau "1".

$\bar{U}_{1pu} = \frac{1}{U_{B1}} \cdot \bar{U}_1$ ×

$I_{1pu} = \frac{1}{I_{B1}} \cdot \bar{I}_1$ ×

- La tension de base du réseau "2" comme suit

$U_{B2} = n U_{B1}$ ×

nous avons $S_{B1} = 3 \cdot I_{B1} \cdot V_{B1}$; $S_{B2} = 3 I_{B2} \cdot V_{B2}$

- En choisissant $\boxed{(S_{B1} = S_{B2} = S_B)}$ ⇒

$I_{B2} = \frac{I_{B1}}{n}$ ×

- $\bar{U}'_{2pu} = \bar{U}_{2up}$ ×

- $I'_{2pu} = \bar{I}_{2up}$ ×