APP3

$$E = N\frac{d\phi}{dt} = \frac{N\,\phi_o\,\omega}{\sqrt{2}} = \frac{N\,\phi_o\,2\pi f}{\sqrt{2}}$$

freq

w = fréquence ($2\pi f$) (rad/s)
E = tension (V)
N = nb spires
ϕ = flux
$\phi = \frac{\phi_o \cdot \sin(\omega t)}{\sqrt{2}}$
f = fréquence (Hz)

$$L = \frac{N\phi}{I}$$

L = inductance (H)
I = Courant (A)

$$Z = \frac{E_{co}}{I_{cc}}$$

I_{cc} = Courant court-circuit (A)
E_{co} = Tension circuit ouvert (V)
Z = impédance (Ω)

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$Q = \frac{E_p^2}{X_{eq}} = I^2 X_{eq}$$

Q = puissance réactive (VAR)
P = puissance active (W)
S = Puissance apparente (VA)

Para

série

$$P = \frac{E_p^2}{R_{eq}} = I^2 R_{eq}$$

impédance C = Contraire Résistance
impédance L = pareille Résistance

Etoile : $E_{LL} = \sqrt{3}\,E_{LN}$
$I_{LL} = I_{LN}$

Triangle : $I_{LL} = \sqrt{3}\,I_{LN}$
$E_{LL} = E_{LN}$

$$\text{Para} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$dV = \frac{GND}{GND + autre}$$

Notes

$\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ F/m

1 mile = 1.60934 Km

1 mètre = 3.28 pieds

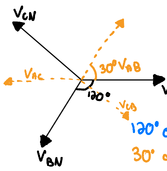
1 pied = 12 pouces

1 watt = 1 joule / seconde

Triphasé si pas précisé c'est LL

$$P_u = \frac{Val}{Z_{nom}} \qquad Z_{nom} = \frac{E_{LL}^2}{S_{3\phi}} = \frac{E_{LN}^2}{S_{1\phi}}$$

Corona négligeable < 20 kV/cm



$V_{AB} = V_{AN} + V_{NB}$
$= V_{AN} - V_{BN}$

120° entre la ligne neutre
30° décalage entre LL et LN

$$\theta = \tan\left(\frac{imag}{réel}\right)$$

$$FP = \frac{P}{S}$$

arccos(FP) = angle entre I et V

Variables

α = angle entre 0 et apparition Court-Circuit
t_{cc} = temps entre 0 et apparition Court-Circuit
E = Champs électrique
X_C, X_L = réactance (Ω)
C = Capacité (C)
L = inductance (H)
Y = admittance (S) $1/Z$ ou $1/R$ ou $1/X$

$$\frac{0\angle 10°}{0\angle 20°} = \frac{0}{0}\angle 10-20$$

$0\angle 10 \cdot 0\angle 20 = 0 \cdot 0 \angle 10+20$

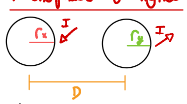
$J = 1\angle 90°$
$a = 1\angle 120°$
$a^2 = 1\angle 240°$

$X_L = 2\pi f L J$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C J} \Rightarrow Y = 2\pi f C$$

Inductance de ligne

Monophasé 2 lignes



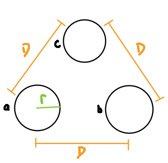
r_x = rayon 1 (m)
r_y = rayon 2 (m)
D = distance entre (m)
L = inductance/distance (H/m) pour circuit

$r' = e^{-1/4} r = 0.7788\,r$

$$L = 4\times10^{-7}\ln\frac{D}{\sqrt{r'_x r'_y}}$$

✱ D = GMD
r = GMR'

Triphasé 3 fils



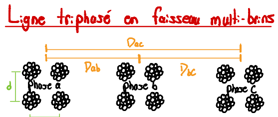
r = rayon (m)
D = distance entre (m)
L = inductance/distance (H/m par phase)

$r' = e^{-1/4} r = 0.7788\,r$

$$L_{an} = \frac{\lambda_a}{I_a} = 2\times10^{-7}\ln\frac{GMD}{GMR}$$

$L_{an} = L_b = L_c$

Ligne triphasé en faisceau multi-brins



$$L_a = 2\times10^{-7}\ln\frac{GMD}{GMR'}$$

La = inductance par phase (H/m)

$GMD = \sqrt[3]{D_{ab} D_{bc} D_{ac}}$

GMD = distance géométrique moyen (m)

$GMR_o' = 0.7788 \cdot GMR_o$

GMR_o = rayon géométrique moyen d'un seul conducteur (m)

GMR' 2 Conducteur : $\sqrt{GMR_o' \cdot d}$
GMR' 3 Conducteur : $\sqrt[3]{GMR_o' \cdot d^2}$
GMR' 4 Conducteur : $\left(\sqrt[4]{GMR_o' \cdot d^3}\right) \times 1.091$

Capacité d'une ligne

✱ attention aux unités

$$E_x = \frac{q}{2\pi\varepsilon x}$$

$$E_r = \frac{q}{2\pi\varepsilon r}$$

E = Champ électrique (V/m)
q = Charge (C/m)
r = x à la surface du Conducteur

$$q = C_{xn} V_{xn}$$

C_{xn} = Capacité (F/m)
V_{xn} = tension Ligne-neutre (V)

Monophasé deux fils :

$$V_{xy} = \frac{q}{\pi\varepsilon}\ln\frac{D}{\sqrt{r_x r_y}}$$

xn = Ligne-Neutre
ab = Ligne-Ligne

$$C_{xy} = \frac{q}{V_{xy}} = \frac{\pi\varepsilon}{\ln(D/r)} \qquad C_{xn} = \frac{2\pi\varepsilon}{\ln(D/r)}$$

$V_{xn} = V_{xy}/2$

ligne triphasé (espacement égale)

$$V_{ac} = \frac{1}{2\pi\varepsilon}\left[q_a\ln\frac{D}{r} + q_b\ln\frac{r}{D}\right]$$

V_{ac} = Ligne-Ligne
V_{an} = Ligne-Neutre

$$V_{an} = \frac{1}{2\pi\varepsilon}q_a\ln\frac{D}{r}$$

$$C_{an} = \frac{q_a}{V_{an}} = \frac{2\pi\varepsilon}{\ln\left(\frac{D}{r}\right)}$$

triphasé (inégalement espacé) :

$$C_{an} = \frac{2\pi\varepsilon}{\ln(D_{eq}/r)}$$

✱ Lorsque conducteurs en brins on remplace r par GMR

$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab} D_{bc} D_{ac}}$

D_{eq} = distance géométrique moyen = GMD

Conducteur en faisceaux :

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi\varepsilon}\left[q_a\ln\frac{D_{ab}}{\sqrt{rd}} + q_b\ln\frac{\sqrt{rd}}{D_{ab}} + q_c\ln\frac{D_{bc}}{D_{ac}}\right]$$

V_{ab} = V ligne-ligne entre deux phases (V)

$$V_{an} = \frac{1}{2\pi\varepsilon}q_a\ln(D_{eq}/GMR)$$

V_{an} = V ligne-neutre entre deux phases (V)

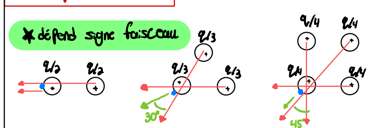
$$C_{an} = \frac{2\pi\varepsilon}{\ln(D_{eq}/GMR)}$$

GMR 2 Conducteur : $\sqrt{GMR_o\, d}$
GMR 3 Conducteur : $\sqrt[3]{GMR_o\, d^2}$
GMR 4 Conducteur : $1.091 \times \sqrt[4]{GMR_o\, d^3}$

GMR = rayon géométrique moyen du faisceau

Champ électrique

✱ dépend signe faisceau



• = Point max ← = force ← = résultant

D = espacement entre les Conducteurs (m)
r = rayon d'un Conducteur (m)

faisceau 2 Conducteur pour même phase

$$E_{rmax} = \frac{q}{4\pi\varepsilon r} + \frac{q}{4\pi\varepsilon D} = \frac{q}{4\pi\varepsilon r}\left(1 + \frac{r}{D}\right)$$

faisceau 3 Conducteur pour même phase

$$E_{rmax} = \frac{q}{6\pi\varepsilon}\left(\frac{1}{r} + \frac{2\cos(30°)}{D}\right)$$

faisceau 4 conducteur pour même phase

$$E_{rmax} = \frac{q}{8\pi\varepsilon}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{D\sqrt{2}} + \frac{2\cos(45°)}{D}\right)$$

✱ Lorsque Conducteurs en brins on remplace r par GMR_o

Notes importantes

$X_L = J\omega L$ $X_C = \frac{1}{J\omega C}$

inductance parallèle ligne diminue effet Capacitif de la ligne

Condensateur en série avec ligne diminue effet inductif ligne

Courant parallèle = / nb fils

résistances parallèle = / nb fils

(diminue si plus de fils)

Autre

Vide $I_R = 0 \Rightarrow V_R = V_S/A$

R = au bornes de la charge

$$\text{Régulation} = \frac{V_{R\,vide} - V_{R\,charge}}{V_{R\,charge}}$$

V_{B2} = entrée ligne (V)
V_{B3} = sortie ligne (V)

$$\text{Variation} = \frac{V_S - V_R}{V_S}$$

SIL

$+ V_R < V_S$
$- V_R > V_S$

B = admittance (Y(S))
X = impédance série (Ω)

$$SIL_{3\phi} = \frac{V_{LL}^2}{Z_C} \qquad Z_C = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{X}{B}}$$

$$SIL_{1\phi} = \frac{V_{LN}^2}{Z_C}$$

L = inductance ligne (H)
C = Capacité ligne (F)
Z_C = Impédance de la ligne sans pertes
Z_C = Impédance Caractéristique

Transfert

$$X_G = X_{Pu\ old} \cdot \left(\frac{V^2_{base\ old}}{S_{base\ old}}\right) \cdot \left(\frac{S_{base\ new}}{V^2_{base\ new}}\right)$$

$$Z_{base} = \frac{E_{base}^2}{P_{base}}$$ selon donner du problème

$\Omega / Z_c = Pu$

$Pu \cdot Z_c = \Omega$

* toujours vérifier Pu par rapport à quoi

Court-Circuits

Court-circuit = ground

↳ tout à gauche du Court-circuit devient en parallèle avec la droite

1. Transfert vers bon pu
2. Trouver Z_{th} équivalent (CC sources)
3. E_{th} au point de Court-Circuit
4. Dessiner circuit avec les deux branches parallèle (Z_{th})
5. Mettre source thevenin et calculé I $V = RI$ avec angles

Rappel

$$S_{3\phi} = 3 V_{\phi} I_{\phi}$$

$$I_{base} = \frac{S_{3\phi}\ base}{\sqrt{3}\, V_{LL\,base}}$$ I_{base} = transfert Pu

$$I_{nominal} = \frac{S_{nominal}\ \text{total}}{\sqrt{3}\, V_{nominal}\ \text{sortie LL}}$$

Courant

$$I_{ac} = \frac{V_{LN}}{Z_{disjoncteur}} = \frac{V_{LN}}{\sqrt{a^2+b^2}}$$

$$I_{RMS\ max}\ (\text{asymetrique}) = I_{ac} \cdot K(\delta)$$

$\delta = f \cdot t$

$$K(\delta) = \sqrt{1 + 2e^{-4\pi \delta / X/R}}$$

$\alpha = \theta + 90$ ou $\theta + \pi/2$

$\theta = \arctan\left(\frac{X}{R}\right)$

$t_{cc} \cdot 360 \cdot f = \alpha$ ou $t_{cc}\,\omega = \alpha$

f = fréquence (Hz)
t = temps après apparition (s)
δ = nombre de cycle depuis apparition
X = partie imaginaire Z (Ω)
R = partie Réel Z (Ω)
α = angle (°) voir variables
t_{cc} = temps (s) voir variables
θ = angle disjoncteur (°)

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

$V_a = V_0 + V_1 + V_2$

$V_b = V_0 + V_1 \angle 240° + V_2 \angle 120°$

$V_c = V_0 + V_1 \angle 120° + V_2 \angle 240°$

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = A^{-1} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$

$a = 1 \angle 120$
$a^2 = 1 \angle 240$
$a^3 = 1 \angle 0$
$1 + a + a^2 = 0$
$1 - a = \sqrt{3} \angle -30$
$1 - a^2 = \sqrt{3} \angle 30$
$a^2 - a = \sqrt{3} \angle 270$
$ja = 1 \angle 210$
$1 + a = -a^2 = 1 \angle 60$
$1 + a^2 = -a = 1 \angle -60$
$a + a^2 = -1 = 1 \angle 180$

$$\text{Taux serie} = \frac{X_{comp}}{X_{ligne}}$$

$$\text{taux shunt} = \frac{Y_{comp}}{Y_{ligne}}$$

$Q_R < 0$: La somme Consomme effet inductif > effet Capacitif

+ = Shunt

− = serie

Puissances

' = module

* Z en Ω * 3 si LN

$V_{B2} = V_s$ = Source $V_{B3} = V_R$ = Receveur

$$P_{R_{3\phi}} = 3\frac{V_{B2} V_{B3}}{Z'} \cos(\theta_Z - \delta) - 3\frac{A\, V_{B3}^2}{Z'} \cos(\theta_Z - \theta_A)$$

$$Q_{R_{3\phi}} = 3\frac{V_{B2} V_{B3}}{Z'} \sin(\theta_Z - \delta) - 3\frac{A\, V_{B3}^2}{Z'} \sin(\theta_Z - \theta_A)$$

Lignes sans pertes ($\theta_Z = 90$, $\theta_A = 0$)

$$P_{R_{3\phi}} = 3\frac{V_{B2} V_{B3}}{X'} \cos(90 - \delta) - 3\frac{A\, V_{B3}^2}{X'} \cos(90°)$$

$$= 3\frac{V_{B2} V_{B3}}{Z'} \sin(\delta)$$

$$P_{R\,max\ theo} = \frac{V_{RLL} V_{SLL}}{X}$$

$$P_{R\,max\ pratique} = \frac{V_{RLL} V_{SLL}}{X} \sin(35)$$

Sequences

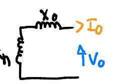
Zero = homopolaire
Positive = direct
Négatif = inverse

$V_0 = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c)$
$V_1 = \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2V_c)$
$V_2 = \frac{1}{3}(V_a + a^2V_b + aV_c)$

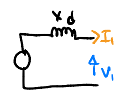
Court Circuit à ligne a

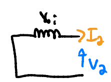
2 phases CC:
$I_a + I_b + I_c = 0$
serie

3 phases CC:
$V_a + V_b + V_c = 0$
Parallèle

Zero $3X_n$ 

$I_a = I_{cc}$	$V_a = 0$
$I_b = 0$	$V_b = ?$
$I_c = 0$	$V_c = ?$

direct 

inverse 

$V_a = V_0 + V_1 + V_2 = 0$
$I_a = I_0 + I_1 + I_2$
$I_b = I_0 + a^2 I_1 + a I_2$
$I_c = I_0 + a I_1 + a^2 I_2$

➡

$I_0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c)$
$I_1 = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2I_c)$
$I_2 = \frac{1}{3}(I_a + a^2I_b + aI_c)$

$V_a = V_0 + V_1 + V_2$
$V_b = V_0 + a^2V_1 + aV_2$
$V_c = V_0 + aV_1 + aV_2$

Connect les 3 sequence ensemble le total donne $\frac{1}{3} I_{cc}$

$$\frac{1}{3} I_{cc} = \frac{1}{3X_n + X_0 + X_1 + X_2}$$

Serie

$$\begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

shunt (Parallèle) $B_3 = R$

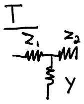
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{bmatrix}$$

$P = 3 V_{B3} I_{B3}\, FP$

$V_s = A V_R + B I_R$

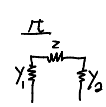
Y = admittance (S)
Z = impédance (Ω)
V_s = Source
V_R = Charg
* Ligne - Neutre

T



$$\begin{bmatrix} 1 + YZ_1 & Z_1 + Z_2 + YZ_1Z_2 \\ Y & 1 + YZ_2 \end{bmatrix}$$

π



$$\begin{bmatrix} 1 + Y_2 Z & Z \\ Y_1 + Y_2 + Y_1 Y_2 Z & 1 + Y_1 Z \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 + \frac{YZ}{2} & Z \\ Y\left(1 + \frac{YZ}{4}\right) & 1 + \frac{YZ}{2} \end{bmatrix}$$

A modèle PI doit être plus petit que 1