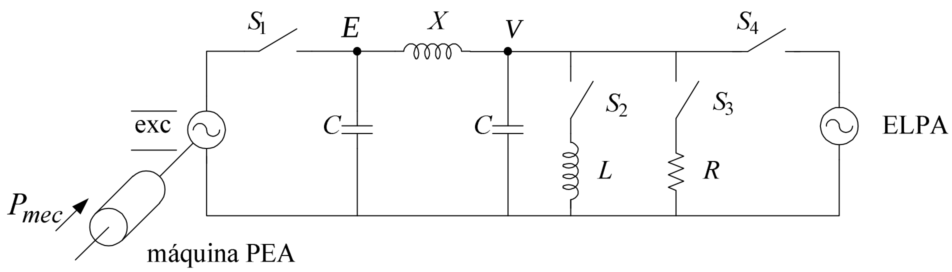
MINI - SISTEMAS
PEA 2406

Luiz Cera Zanetta Jr

(2º semestre 2009)

EXEMPLO 1

Em um simulador, o gerador tem tensão nominal de linha de 220 V, a reatância do modelo de linha tem $X_m = 10\Omega$ e capacitância do modelo de linha $C_m = 12\mu F$. O sistema real é composto por uma linha de 220 kV com 200 km de comprimento, apresentando uma reatância $x = 0,4\Omega / km$ e uma capacitância $c = 15nF / km$. O sistema real alimenta uma carga resistiva com potência trifásica de 300 MW.



a) Descreva o comportamento das tensões no início e final de linha no simulador, quando ocorre uma rejeição de carga (inicialmente S1 e S3 fechadas e S2 e S4 abertas), assumindo Vg constante. Considere o sistema real operando com tensão fase-terra na carga de 120,7kV (0,95 pu).
b) Faça um diagrama fasorial representativo da situação anterior e posterior à abertura de S3, com os valores obtidos no simulador.

Resolução:

a) Primeiro, temos que calcular os fatores de escala para darmos início à solução do problema. Convenção: índice m refere-se ao modelo da linha, enquanto que ausência de índice relaciona-se ao valor real.

$X = x.l = 0,4.200 = 80\Omega$ (Reatância total da linha)

$C = c.l = 15n.200 = 3\mu F$ (Capacitância total da linha)

$$\lambda_\Omega = \frac{X}{X_m} = \frac{80\Omega}{10\Omega} = 8\Omega / \Omega$$

$$\lambda_v = \frac{V}{V_m} = \frac{220kV}{220V} = 1kV / V$$

e, portanto, $\lambda_I = \frac{\lambda_v}{\lambda_\Omega} = \frac{1kV / V}{8\Omega / \Omega} = 1kA / A$.

Agora podemos calcular as correntes que circulam nos ramos capacitivo e resistivo.

$R = \frac{V^2}{P} = \frac{(220kV)^2}{300MW} = 161,333\Omega$ (usamos a tensão entre fases e a potência trifásica)

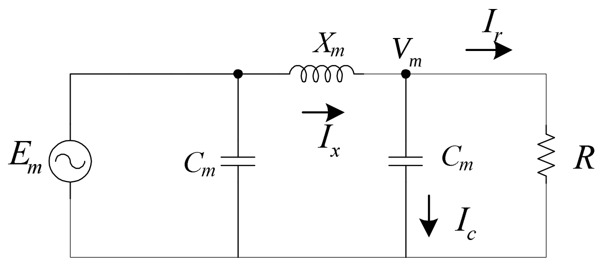
$$R_m = \frac{R}{\lambda_\Omega} = \frac{161,33\Omega}{8} = 20,167\Omega$$

$V_m = \dfrac{V}{\lambda_v} = \dfrac{120,7kV}{1k} = 120,7V$ (usamos a tensão fase-terra)

Corrente no ramo capacitivo: $I_c = Y_c.V_m = j\omega.C_m.V_m = j0,546A$, onde $Y_c = \dfrac{1}{X_c}$.

Corrente no ramo resistivo: $I_r = \dfrac{V_m}{R_m} = \dfrac{120,7}{20,167} = 5,985A$.

A tensão no início da linha (tensão no gerador, E_m) é dada pela soma da queda de tensão na linha e da tensão no final da linha, isto é:



$E_m = \Delta V_m + V_m$

$E_m = [(I_r + I_c).jX_m] + V_m$

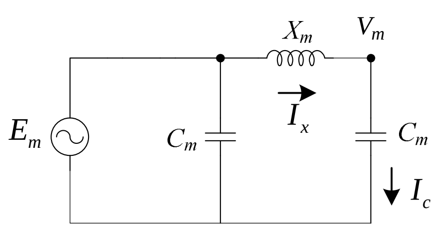
$E_m = [(5,985 + j0,546).j10] + 120,7$

$E_m = (115,24 + j59,85)$ [V]

Que pode ser representado por sua forma polar:

$E_m = 129,855 \underline{|27,45^0}$ [V]

Análise para rejeição de carga (abrindo a chave S3): supondo que a tensão no gerador é constante e não se altera mesmo quando ocorre a rejeição, podemos obter a nova tensão no final da linha por:



$V_m = \dfrac{X_c}{X_c - X_m}.E_m$

$V_m = \dfrac{221,043}{221,043 - 10}.129,855 \underline{|27,45^0}$

$V_m = 136 \underline{|27,45^0}$ [V]

Podemos verificar que a tensão no final da linha passa de 0,95 p.u. para:

$$V_m^{\,p.u.} = \frac{136}{120,7}.0,95\,p.u. = \frac{136}{127}\,p.u. = 1,07\,p.u.,$$

o que significa um aumento de 0,12 p.u na tensão de saída. Voltando ao sistema real, teríamos a tensão indo de 120,7 kV para 136 kV, resultando em um aumento de 15,3 kV, ou de 12,68 %.

Agora vamos representar os diagramas fasoriais para cada caso utilizando os resultados obtidos:

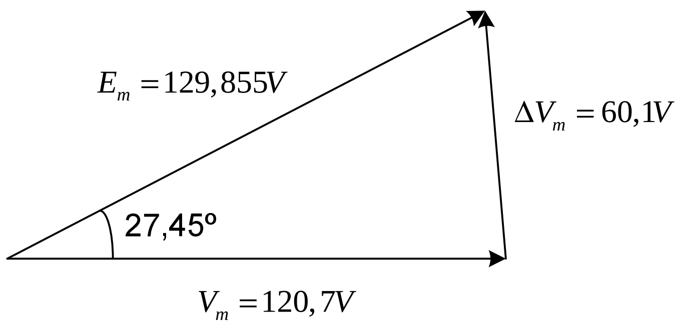
Antes da abertura ou rejeição de carga:

$$V_m = 120,7\ \text{[V] (adotado como referência)}$$

$$E_m = 129,855\ \underline{\left|27,45^0\right.}\ \text{[V]}$$

$$\Delta V_m = [(I_r + I_c).jX_m] = -5,46 + j59,85$$

$$= 60,1\ \underline{\left|95,21^0\right.}\ \text{[V]}$$



Após a rejeição de carga:

$$V_m = 136\ \underline{\left|27,45^0\right.}\ \text{[V]}$$

$$E_m = 129,855\ \underline{\left|27,45^0\right.}\ \text{[V]}$$

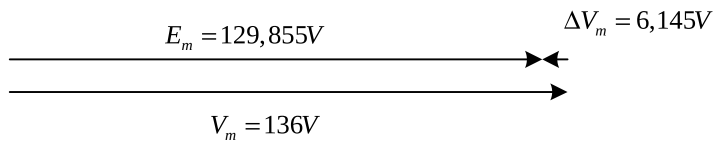
$$\Delta V_m = E_m - V_m = 6,145\ \underline{\left|-152,44^0\right.}\ \text{[V]}$$

Adotando-se um referencial mais conveniente:

$$V_m = 136\ \underline{\left|0^0\right.}\ \text{[V]}$$

$$E_m = 129,855\ \underline{\left|0^0\right.}\ \text{[V]}$$

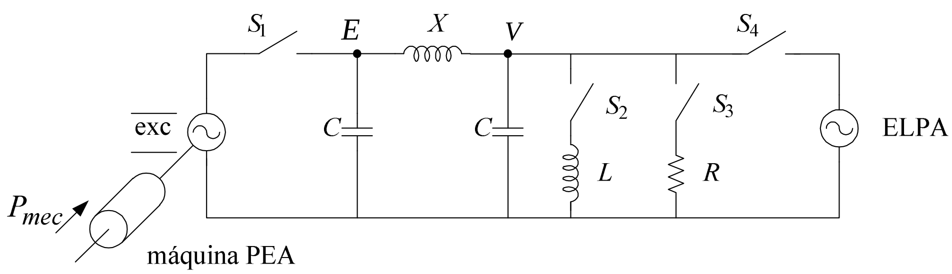
$$\Delta V_m = E_m - V_m = 6,145\ \underline{\left|-180^0\right.}\ \text{[V]}$$



Isso ocorre porque a corrente que passa pelo indutor está adiantada em 90º em relação à tensão do capacitor, e a tensão no indutor está adiantada em 90º em relação à corrente no capacitor, gerando 180º de defasagem entre as tensões no indutor e no capacitor.

EXEMPLO 2

Em um simulador, o gerador tem tensão nominal de linha de 220 V, a reatância do modelo de linha tem $X_m = 10\Omega$ e capacitância do modelo de linha $C_m = 12\mu F$. O sistema real é composto por uma linha de 220 kV com 200 km de comprimento, apresentando uma reatância específica $x = 0{,}4\Omega / km$ e uma capacitância específica $c = 15nF / km$. O sistema real alimenta uma carga com potência trifásica de 300 MW e fator de potência $f.p. = 0{,}85$ atrasado .



a) Descreva o comportamento das tensões no início e final de linha no simulador, quando ocorre uma rejeição de carga (inicialmente S1 e S3 fechadas e S2 e S4 abertas), assumindo Vg constante. Considere o sistema real operando com tensão fase-terra na carga de 120,7kV (0,95 pu).
b) Faça um diagrama fasorial representativo da situação anterior e posterior à abertura de S3, com os valores obtidos no simulador.

Resolução:

a) Primeiro, temos que calcular os fatores de escala para darmos início à solução do problema. Convenção: índice m refere-se ao modelo da linha, enquanto que ausência de índice relaciona-se ao valor real.

$X = x.l = 0{,}4.200 = 80\Omega$ (Reatância total da linha)

$C = c.l = 15n.200 = 3\mu F$ (Capacitância total da linha)

$$\lambda_\Omega = \frac{X}{X_m} = \frac{80\Omega}{10\Omega} = 8\Omega / \Omega$$

$$\lambda_v = \frac{V}{V_m} = \frac{220kV}{220V} = 1kV/V$$

e, portanto, $\lambda_I = \frac{\lambda_v}{\lambda_\Omega} = \frac{1kV/V}{8\Omega/\Omega} = 1kA/A$.

Agora podemos calcular as correntes que circulam nos ramos capacitivo e resistivo.

$R = \frac{V^2}{P} = \frac{(220kV)^2}{300MW} = 161,333\Omega$ (usamos a tensão entre fases e a potência trifásica)

$$R_m = \frac{R}{\lambda_\Omega} = \frac{161,33\Omega}{8} = 20,167\Omega$$

$V_m = \frac{V}{\lambda_v} = \frac{120,7kV}{1k} = 120,7V$ (usamos a tensão fase-terra)

Agora precisamos calcular o valor da potência reativa fornecida pelo gerador. Para isso, usamos a relação $S = P + jQ$, de onde vem $Q = P.\tan(\varphi)$, com $\varphi = \arccos(f.p.)$ o ângulo de defasagem entre e tensão e corrente no indutor. Essas equações nos levam a:

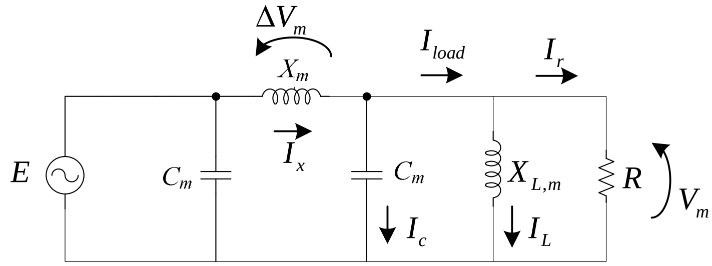
$$\cos(\varphi) = 0,85 \Rightarrow \tan(\varphi) = 0,6197$$
$$Q = 300MW.0,6197 = 185,923MW$$

$$X_L = \frac{V^2}{Q} = \frac{(220kV)^2}{185,923MW} = 260,322\Omega$$
$$X_{L,m} = \frac{X_L}{\lambda_\Omega} = \frac{260,322\Omega}{8} = 32,540\Omega$$

Corrente no ramo capacitivo: $I_c = Y_c.V_m = j\omega.C_m.V_m = j0,546A$, onde $Y_c = \frac{1}{X_c}$.

Corrente de carga: $I_{load,m} = I_{r,m} + I_{l,m} = \frac{V_m}{R_m} - \frac{jV_m}{X_m} = 5,985 - j3,709A$.

A tensão no início da linha (tensão no gerador, E_m) é dada pela soma da queda de tensão na linha e da tensão no final da linha, isto é:



$E_m = \Delta V_m + V_m$

$E_m = [(I_{load} + I_c).jX_m] + V_m$

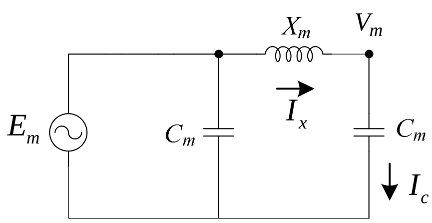
$E_m = [(5,985 - j3,709 + j0,546).j10] + 120,7$

$E_m = (152,333 + j59,851)$ [V]

Que pode ser representado por sua forma polar:

$E_m = 163,667 \angle 21,45^0$ [V]

Análise para rejeição de carga: como a tensão no gerador é constante e não se altera mesmo quando ocorre a rejeição, podemos obter a nova tensão no final da linha por:



$$V_m = \frac{X_c}{X_c - X_m}.E_m$$

$$V_m = \frac{221,043}{221,043 - 10}.163,667 \angle 21,45^0$$

$$V_m = 171,43 \angle 21,45^0 \text{ [V]}$$

Podemos verificar que a tensão no final da linha passa de 0,95 p.u. para:

$$V_m^{p.u.} = \frac{171,43}{120,7}.0,95\,p.u. = \frac{171,43}{127}\,p.u. = 1,35\,p.u.,$$

o que significa um aumento de 0,4 p.u na tensão de saída. Voltando ao sistema real, teríamos a tensão indo de 120,7 kV para 171,43 kV, resultando em um aumento de 50,7 kV, ou de 42,03 %.

Agora vamos representar os diagramas fasoriais para cada caso utilizando os resultados obtidos:

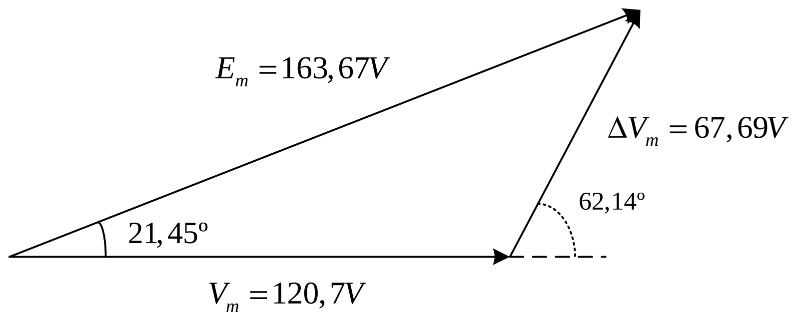
Antes da abertura ou rejeição de carga:

$V_m = 120,7$ [V] (adotado como referência)

$E_m = 163,667 \angle 21,45^0$ [V]

$\Delta V_m = [(I_{load} + I_c).jX_m] = 31,63 + j59,85$

$= 67,694 \angle 62,14^0$ [V]

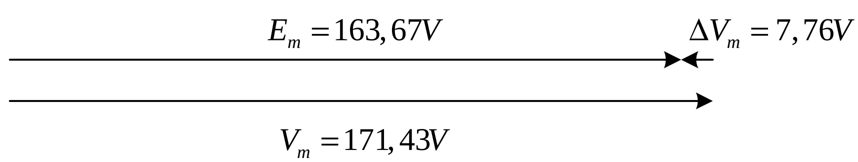


Após a rejeição de carga:

$$V_m = 171,43 \angle 21,45^0 \text{ [V] (adotado como referência)}$$
$$E_m = 163,667 \angle 21,45^0 \text{ [V]}$$
$$\Delta V_m = E_m - V_m = 7,76 \angle -158,55^0 \text{ [V]}$$

Adotando-se V_m como referencial:

$$V_m = 171,43 \angle 0^0 \text{ [V]}$$
$$E_m = 163,667 \angle 0^0 \text{ [V]}$$
$$\Delta V_m = E_m - V_m = 7,76 \angle -180^0 \text{ [V]}$$



Isso ocorre porque a corrente que passa pelo indutor está adiantada em 90º em relação à tensão do capacitor, e a tensão no indutor está adiantada em 90º em relação à corrente no capacitor, gerando 180º de defasagem entre as tensões no indutor e no capacitor.

Com a colaboração do aluno: Marcos Bassini