

Capítulo 3

Sistema eléctrico de potencia objeto de estudio

3.1 Planta fotovoltaica.

En la siguiente figura se muestra el esquema de un sistema eléctrico de potencia compuesto por una planta fotovoltaica de 1 MW y su conexión a la red eléctrica. El sistema eléctrico consta, por tanto, de:

- FILTRO.
- LÍNEA SUBTERRÁNEA DE BT.
- TRANSFORMADOR 0.42/20 kV.
- LÍNEA SUBTERRÁNEA DE MT.
- LÍNEA AÉREA DE MT.
- TRANSFORMADOR 66/20 kV.
- CARGAS.
 - o CARGA 1.
 - o CARGA 2.
 - o CARGA 3.

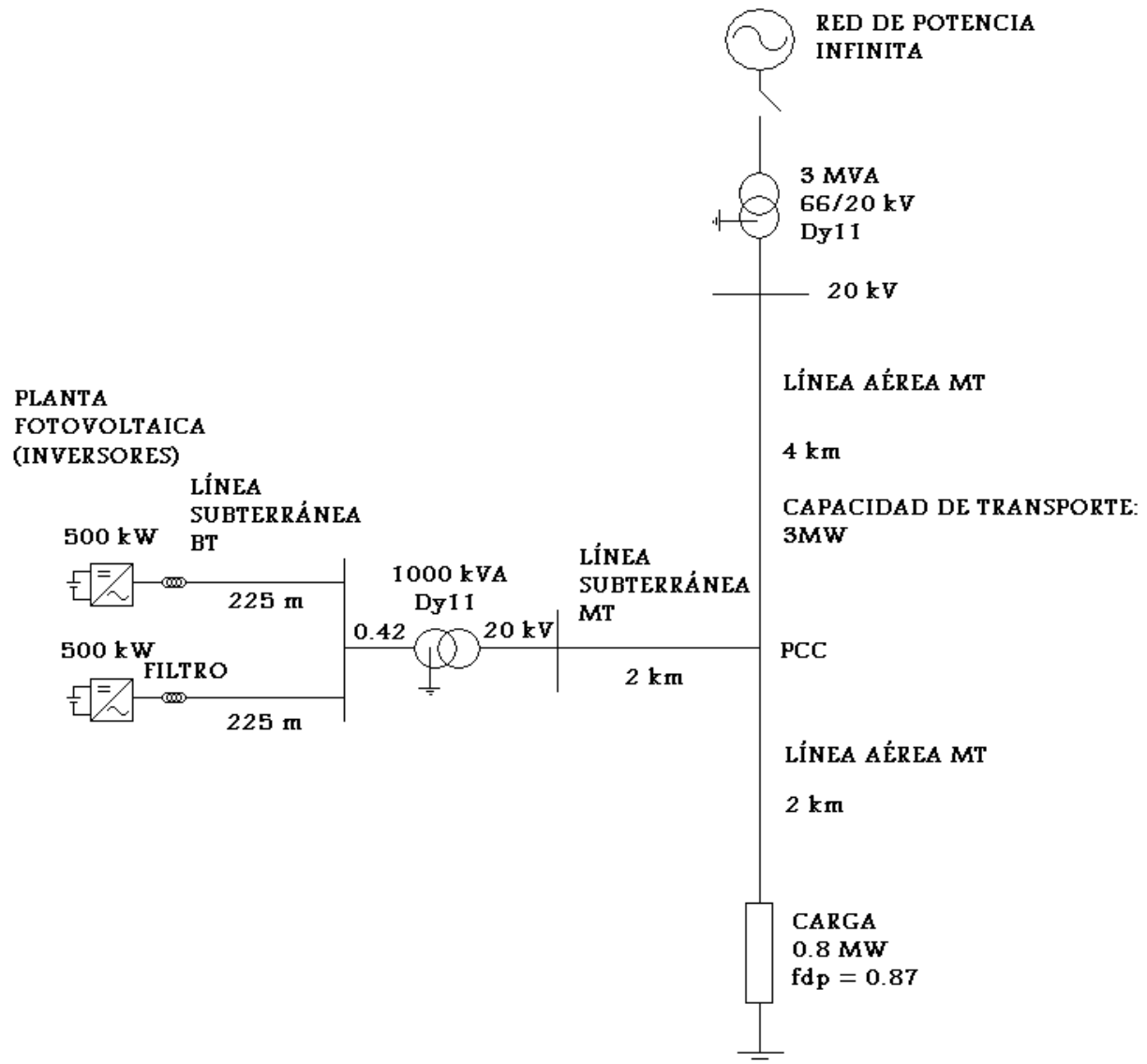


Figura. Esquema de planta fotovoltaica conectada a red eléctrica.

3.2 Cálculos.

3.2.1 Filtro.

$$P=500\text{ kW}$$

$$P=\sqrt{3}\cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi$$

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot \cos \varphi} = \frac{500000}{\sqrt{3} \cdot 420 \cdot 0.95} = 760\text{ A}$$

- $L \cdot \frac{di}{dt} = \frac{V_{DC}}{2} - V_{primario}(t) \Rightarrow L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t} = \frac{V_{DC}}{2}$
- $\Delta i \approx 10\% I_F \rightarrow \{i_F = 760\text{ A}\} \rightarrow \Delta i = 0.1 \cdot 760 = 76$
- $\Delta t = \frac{1}{f_{PWM}} \rightarrow \{f_{PWM} = 10\text{ kHz}\} \rightarrow \Delta t = 0.0001$
- $L = \frac{V_{DC} \cdot \Delta t}{2 \cdot \Delta i} \rightarrow \{V_{DC} = 640\text{ V}\} \Rightarrow L \approx 0.4\text{ mH}$

3.2.2 Línea subterránea de BT.

Se considerarán 8 líneas de 225 metros cada una. Estarán formadas por tres cables unipolares de 240 mm² para las fases y 150 mm² para el neutro, ambos de cobre. Para la simulación, no será necesario tener en cuenta el conductor neutro.

La denominación de cada línea subterránea de BT es la siguiente:

XZ1 0,6/1 kV 3(1 x 240) + 1x150 k Cu

Cálculos de la resistencia e inductancia de cada línea:

$$P=500\text{ kW}$$

$$P=\sqrt{3}\cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi$$

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot \cos \varphi} = \frac{500000}{\sqrt{3} \cdot 420 \cdot 0.95} = 760\text{ A}$$

$$8\text{ LÍNEAS} : \frac{760}{8} = 95\text{ A}$$

$$R = \frac{1.02}{K_{TS} \cdot S} = \frac{1.02}{K_{90}^{Cu} \cdot 240} = \frac{1.02}{44 \cdot 240} = 9.659 \cdot 10^{-5} \frac{\Omega}{m}$$

$$X \approx 0.25 \cdot R \Rightarrow L = \frac{X}{2\pi f} = 7.686 \cdot 10^{-8} \text{ H / m}$$

Caída de tensión en cada línea:

$$\begin{aligned} \Delta U_{LINEA} (V) &= \sqrt{3} \cdot LONG \cdot I \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi) = \\ &= \sqrt{3} \cdot 250 \cdot 95 \cdot (9.659 \cdot 10^{-5} \cdot 0.9 + 2.145 \cdot 10^{-5} \cdot 0.436) = 4\text{ V} \end{aligned}$$

$$\frac{\Delta U}{U} \cdot 100 = \frac{4}{420} \cdot 100 = 0.95\%$$

3.2.3 Transformador 0.420/20 kV.

$$S=1000\text{ kVA} \quad 20/0.420\text{ kV} \quad \text{Dy11}$$

$$P_0=1700\text{ W}, \quad I_0 = 0.013 \cdot I_N$$

$$P_{cc}=10500\text{ W}$$

$$\varepsilon_{cc}=6\%$$

$$m = \frac{20000}{\frac{420}{\sqrt{3}}} = 82.48; \quad m = \frac{N_1}{N_2} \rightarrow N_1 = 82.48 \cdot 50 = 4124$$

$$S = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L$$

$$I_{2L} = \frac{S_2}{\sqrt{3} V_{2L}} = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 420} = 1374.64\text{ A}$$

$$I_{1L} = \frac{S_1}{\sqrt{3} V_{1L}} = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 20000} = 28.86\text{ A}$$

Ensayo de vacío :

$$I_0 = 0.013 \cdot 1374.64 = 17.87\text{ A}$$

$$P_0 = V_{2N} \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_0 \rightarrow \cos \varphi_0 = \frac{1700}{\frac{420}{\sqrt{3}} \cdot 17.87} = 0.3922$$

$$R_{Fe} = \frac{V_2}{I_{Fe}} = \frac{V_2}{I_0 \cdot \cos \varphi_0} = \frac{\frac{420}{\sqrt{3}}}{17.87 \cdot 0.3922} = 34.6\ \Omega$$

Flujo magnético de vacío :

$$\mathfrak{R} = \frac{l}{\mu \cdot S} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} l = 0.6 \text{ m}; r = 0.07 \text{ m}; S = 0.0154 \text{ m}^2 \\ \mu_r = 500 \text{ (Núcleo de hierro);} \\ \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}} \end{array} \right\} \rightarrow \mathfrak{R} = \frac{0.6}{500 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 0.0154} = 62008.42 \text{ H}^{-1}$$

$$N \cdot i = \mathfrak{R} \cdot \Phi \Rightarrow \Phi_0 = \frac{N_2 \cdot I_0}{\mathfrak{R}} = \frac{50 \cdot 17.87}{62008.42} = 0.0144 \text{ Wb}$$

Ensayo de cortocircuito :

$$\varepsilon_{cc} = \frac{V_{2ccL}}{V_{2N}} \cdot 100 = 6 \rightarrow V_{2ccL} = \frac{6 \cdot 420}{100} = 25.2 \text{ V}$$

$$V_{1ccF} = m \cdot V_{2ccF} = 82.48 \cdot \frac{25.2}{\sqrt{3}} = 1200 \text{ V}$$

$$P_{cc} = \sqrt{3} \cdot V_{1ccL} \cdot I_{1NL} \cdot \cos \varphi_{cc} \Rightarrow \cos \varphi_{cc} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} \cdot V_{1ccL} \cdot I_{1NL}} = \frac{10500}{\sqrt{3} \cdot 1200 \cdot 28.86} = 0.175$$

$$\sin \varphi_{cc} = 0.9845$$

$$R_{cc} = \frac{V_{1ccF}}{I_{1NF}} \cdot \cos \varphi_{cc} = \frac{1200 \cdot 0.175}{\frac{28.86}{\sqrt{3}}} = 12.6 \text{ } \Omega$$

$$X_{cc} = \frac{V_{1ccF}}{I_{1NF}} \cdot \sin \varphi_{cc} = \frac{1200 \cdot 0.9845}{\frac{28.86}{\sqrt{3}}} = 70.90 \text{ } \Omega$$

$$R_{cc} = R_1 + R_2'; \quad R_1 = R_2' = \frac{R_{cc}}{2} = 6.3 \Omega; \quad R_2 = \frac{R_2'}{m^2} \rightarrow R_2 = \frac{6.3}{82.48^2} = 0.926 m\Omega$$

$$X_{cc} = X_1 + X_2'; \quad X_1 = X_2' = \frac{X_{cc}}{2} = 35.45 \Omega \rightarrow L_1 = 0.1128 H$$

$$X_2 = \frac{X_2'}{m^2} = \frac{35.45}{82.48^2} = 5.21 m\Omega \rightarrow L_2 = 16.58 \mu H$$

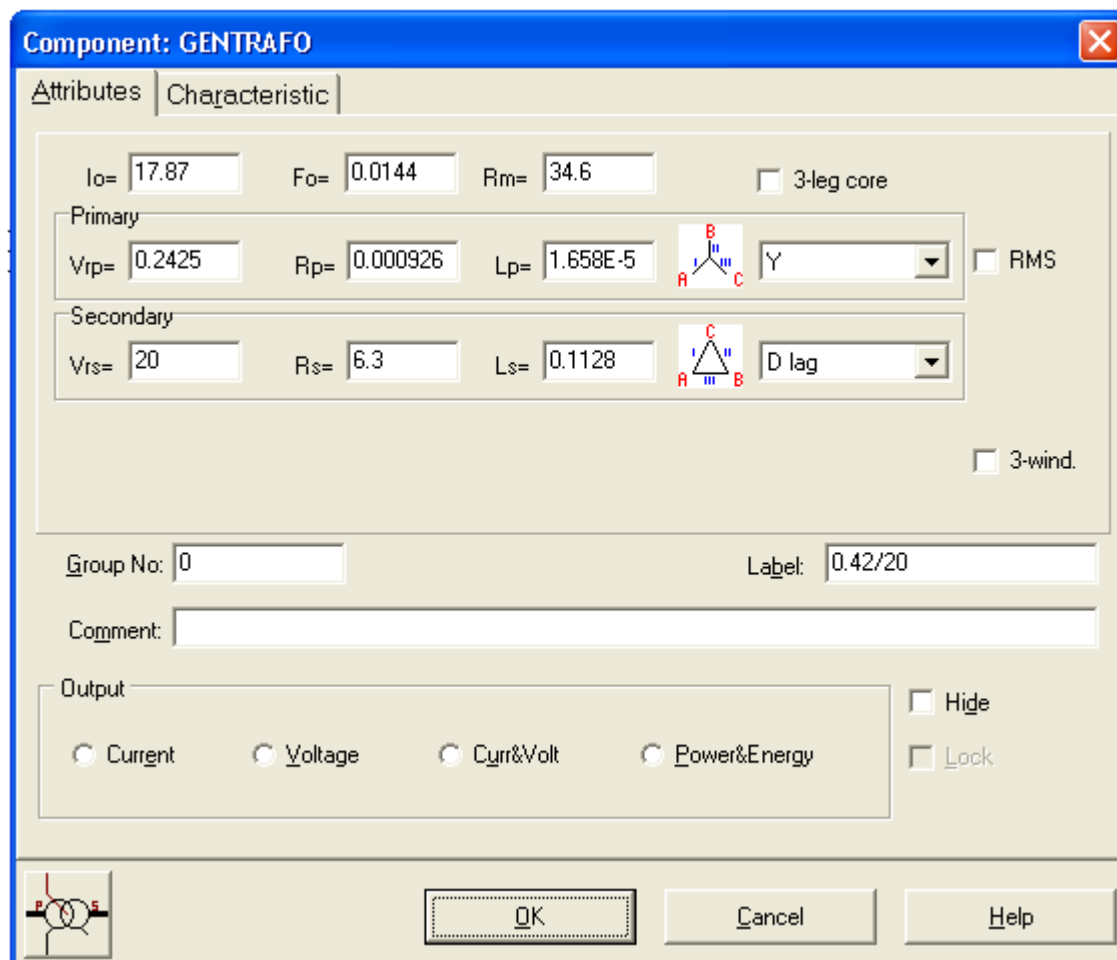


Figura. Ventana del transformador en ATP-EMTP.

3.2.4 Línea subterránea de MT.

Tres cables unipolares de 150 mm² de aluminio de aislamiento XLPE (R) con cubierta exterior (Z1) enterrados bajo tubo a un metro de profundidad. Obturación al paso de agua (OL), cuerda compacta (K) y apantallamiento de hilos de cobre de 16 mm² (H16). Longitud: 2 km.

Denominación de la línea subterránea de MT sería:

RHZ1-OL 18/30 kV 3x150K Al + H16

Cálculos:

$$V_L = 20 \text{ kV} \quad \text{LONG.} = 2 \text{ km}$$

$$P = 1 \text{ MW} \quad \cos \varphi = 0.9$$

$$P = \sqrt{3} V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \Rightarrow I_L = \frac{1 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0.9} = 32 \text{ A}$$

$$I_{\text{max. Adm.}} = 315 \text{ A [Tabla IX. PRYSMIAN]}$$

$$\text{Factores de corrección : } I_{\text{max. Adm.}} = 315 \cdot 0.88 \cdot 1.111 = 305 \text{ A}$$

Resistencia R

$$R_{ca} = \frac{1.03}{K_{Ts} \cdot S} = \frac{1.03}{28 \cdot 150} = 0.245 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

Reactancia X

$$\text{--Catálogo General Cable : } X_L = 0.123 \frac{\Omega}{\text{km}} \Rightarrow L = \frac{0.123}{100 \cdot \pi} = 3.915 \cdot 10^{-4} \frac{H}{\text{km}}$$

–Tresbolillo

$$L (H / \text{km}) = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \ln \left(1.28 \cdot \frac{D}{R} \right)$$

$$R = \frac{13.9 \text{ mm}}{2}; \quad D = 30.9 \text{ mm}; \quad L = 3.477 \cdot 10^{-4} H / \text{km}; \quad X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 0.109 \Omega / \text{km}$$

$$\text{Catálogo General Cable : } C = 0.179 \frac{\mu F}{\text{km}}$$

Caída de tensión en la línea subterránea de MT:

$$LONG = 2 \text{ km}$$

$$\Delta U_{\text{Línea}} (V) = \sqrt{3} \cdot 32 \cdot 2 \cdot (0.245 \cdot 0.8 + 0.123 \cdot 0.6) = 29.9 \text{ V} < 100 \text{ V} (0.5\%)$$

$$\frac{\Delta U}{U} \cdot 100 = \frac{29.9}{20000} \cdot 100 = 0.15\%$$

3.2.5 Línea aérea de MT.

Cálculos de la resistencia e inductancia de la línea aérea de MT:

$$V_L = 20 \text{ kV} \quad LONG. = 6 \text{ km}$$

$$P = 3 \text{ MW} \quad \cos \varphi = 0.9$$

$$P = \sqrt{3} \cdot I_L \cdot V_L \cdot \cos \varphi \rightarrow I_L = \frac{3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0.9} = 96.22 \text{ A}$$

LA110

$$\text{Im ax. Adm} = 313.4 \text{ A}$$

$$S = 116.2 \text{ mm}^2$$

$$R = 0.3066 \text{ } \Omega / \text{ km}$$

$$L = \left(0.05 + 0.46 \cdot \ln \frac{D}{r} \right) 10^{-4} = 2.725 \cdot 10^{-4} \frac{\text{H}}{\text{km}} \{ D = 1904 \text{ mm}, r = 5.67 \text{ mm} \}$$

$$X_L = 0.0856 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

Caída de tensión de la línea aérea de MT:

$$LONG. = 6 \text{ km}$$

$$e = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 96.22 \cdot (0.30661 \cdot 0.9 + 0.0856 \cdot 0.436) = 312.52 \text{ V}$$

$$\frac{e}{V} \times 100 = \frac{312.52}{20.000} \times 100 = 1.56 \%$$

3.2.6 Transformador 66/20 kV.

$$S = 3000 \text{ kVA} \quad 66/20 \text{ kV} \quad Dy11$$

$$P_0 = 5100 \text{ W}, \quad I_0 = 0.015 \cdot I_N$$

$$P_{cc} = 31500 \text{ W}$$

$$\varepsilon_{cc} = 8\%$$

$$m = \frac{66000}{\frac{20000}{\sqrt{3}}} = 5.715; \quad m = \frac{N_1}{N_2} \rightarrow N_1 = 5.715 \cdot 1088 = 6218$$

$$S = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L$$

$$I_{1L} = \frac{S_1}{\sqrt{3} V_{1L}} = \frac{3000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 66000} = 26.24 \text{ A}$$

$$I_{2L} = \frac{S_2}{\sqrt{3} V_{2L}} = \frac{3000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 20000} = 86.6 \text{ A}$$

Ensayo de vacío :

$$I_0 = 0.015 \cdot 86.6 = 1.3 \text{ A}$$

$$P_0 = V_{2N} \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_0 \rightarrow \cos \varphi_0 = \frac{5100}{\frac{20000}{\sqrt{3}} \cdot 1.3} = 0.1132$$

$$R_{Fe} = \frac{V_2}{I_{Fe}} = \frac{V_2}{I_0 \cdot \cos \varphi_0} = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{1.3 \cdot 0.1132} = 78465.65 \Omega$$

Flujo magnético de vacío :

$$\Re = \frac{l}{\mu \cdot S} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} l = 0.8 \text{ m}; r = 0.09 \text{ m}; S = 0.0254 \text{ m}^2 \\ \mu_r = 500 \text{ (Núcleo de hierro);} \\ \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}} \end{array} \right\} \rightarrow \Re = \frac{0.8}{500 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 0.0254} = 50127.54 \text{ H}^{-1}$$

$$N \cdot i = \Re \cdot \Phi \Rightarrow \Phi_0 = \frac{N_2 \cdot I_0}{\Re} = \frac{50 \cdot 1.3}{50127.54} = 0.0129 \text{ Wb}$$

Ensayo de cortocircuito :

$$\varepsilon_{cc} = \frac{V_{2ccL}}{V_{2N}} \cdot 100 = 8 \rightarrow V_{2ccL} = \frac{8 \cdot 20000}{100} = 1600 \text{ V}$$

$$V_{1ccF} = m \cdot V_{2ccF} = 5299.3 \text{ V}$$

$$P_{cc} = \sqrt{3} \cdot V_{1ccL} \cdot I_{1NL} \cdot \cos \varphi_{cc} \Rightarrow \cos \varphi_{cc} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} \cdot V_{1ccL} \cdot I_{1NL}} = \frac{31500}{\sqrt{3} \cdot 5299.3 \cdot 26.24} = 0.1313$$

$$\sin \varphi_{cc} = 0.9913$$

$$R_{cc} = \frac{V_{1ccF}}{I_{1NF}} \cdot \cos \varphi_{cc} = \frac{5299.3 \cdot 0.1313}{\frac{26.24}{\sqrt{3}}} = 45.92 \, \Omega$$

$$X_{cc} = \frac{V_{1ccF}}{I_{1NF}} \cdot \sin \varphi_{cc} = \frac{5299.3 \cdot 0.9913}{\frac{26.24}{\sqrt{3}}} = 346.77 \, \Omega$$

$$R_{cc} = R_1 + R_2'; \quad R_1 = R_2' = \frac{R_{cc}}{2} = 22.96 \, \Omega; \quad R_2 = \frac{R_2'}{m^2} \rightarrow R_2 = \frac{22.96}{5.715^2} = 0.7 \, \Omega$$

$$X_{cc} = X_1 + X_2'; \quad X_1 = X_2' = \frac{X_{cc}}{2} = 173.385 \, \Omega \rightarrow L_1 = 0.552 \, H$$

$$X_2 = \frac{X_2'}{m^2} = \frac{173.385}{5.715^2} = 5.3085 \, \Omega \rightarrow L_2 = 0.0169 \, H$$

3.2.7 Cargas.

3.2.7.1 Carga 1.

$$P = 0.8 \text{ MW}$$

$$V_L = 20 \text{ kV}$$

$$\cos \varphi = 0.87$$

Conexión en estrella

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \rightarrow I_L = \frac{0.8 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0.87} = 26.545 \text{ A}$$

$$P = 3 \cdot R \cdot I^2 \rightarrow R = \frac{P}{3 \cdot I^2} = \frac{0.8 \cdot 10^6}{3 \cdot 26.545^2} \approx 378 \, \Omega$$

$$\bar{Z} = R + jX; \quad \text{tg} \varphi = 0.567;$$

$$\text{tg} \varphi = \frac{Q}{P}$$

$$Q = P \cdot \text{tg} \varphi = 0.8 \cdot 10^6 \cdot 0.567 = 453600 \text{ VAr}$$

$$Q = 3 \cdot X_L \cdot I_F^2 \Rightarrow X_L = \frac{Q}{3 \cdot I_F^2} = \frac{453600}{3 \cdot 26.545^2} \approx 214.44 \, \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{214.44}{2 \cdot \pi \cdot 50} \approx 0.6826 \text{ H}$$

3.2.7.2 Carga 2.

$$P = 0.2 \text{ MW}$$

$$V_L = 20 \text{ kV}$$

$$\cos \varphi = 0.87$$

Conexión en estrella

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \rightarrow I_L = \frac{0.2 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0.87} = 6.64 \text{ A}$$

$$P = 3 \cdot R \cdot I^2 \rightarrow R = \frac{P}{3 \cdot I^2} = \frac{0.2 \cdot 10^6}{3 \cdot 6.64^2} \approx 1514 \text{ } \Omega$$

$$\bar{Z} = R + jX; \quad \text{tg} \varphi = 0.567;$$

$$\text{tg} \varphi = \frac{Q}{P}$$

$$Q = P \cdot \text{tg} \varphi = 0.2 \cdot 10^6 \cdot 0.567 = 0.1134 \text{ MVar}$$

$$Q = 3 \cdot X_L \cdot I_F^2 \Rightarrow X_L = \frac{Q}{3 \cdot I_F^2} = \frac{113400}{3 \cdot 6.64^2} \approx 857.35 \text{ } \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{857.35}{2 \cdot \pi \cdot 50} \approx 2.73 \text{ H}$$

3.2.7.3 Carga 3.

$$P = 1.5 \text{ MW}$$

$$V_L = 20 \text{ kV}$$

$$\cos \varphi = 0.87$$

Conexión en estrella

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \rightarrow I_L = \frac{1.5 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0.87} = 49.77 \text{ A}$$

$$P = 3 \cdot R \cdot I^2 \rightarrow R = \frac{P}{3 \cdot I^2} = \frac{1.5 \cdot 10^6}{3 \cdot 49.77^2} \approx 202 \text{ } \Omega$$

$$\bar{Z} = R + jX; \quad \text{tg} \varphi = 0.567;$$

$$\text{tg} \varphi = \frac{Q}{P}$$

$$Q = P \cdot \text{tg} \varphi = 1.5 \cdot 10^6 \cdot 0.567 = 0.8505 \text{ MVar}$$

$$Q = 3 \cdot X_L \cdot I_F^2 \Rightarrow X_L = \frac{Q}{3 \cdot I_F^2} = \frac{850500}{3 \cdot 49.77^2} \approx 114.45 \text{ } \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{114.45}{2 \cdot \pi \cdot 50} \approx 0.3643 \text{ H}$$

3.2.7.4 Carga 4.

$$P = 0.8 \text{ MW}$$

$$V_L = 20 \text{ kV}$$

$$\cos \varphi = 0.98$$

Conexión en estrella

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \rightarrow I_L = \frac{0.8 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0.98} = 23.56 \text{ A}$$

$$P = 3 \cdot R \cdot I^2 \rightarrow R = \frac{P}{3 \cdot I^2} = \frac{0.8 \cdot 10^6}{3 \cdot 23.56^2} \approx 480 \, \Omega$$

$$\bar{Z} = R + jX; \quad \tan \varphi = 0.2030;$$

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

$$Q = P \cdot \tan \varphi = 0.8 \cdot 10^6 \cdot 0.203 = 162400 \text{ VAR}$$

$$Q = 3 \cdot X_L \cdot I_F^2 \Rightarrow X_L = \frac{Q}{3 \cdot I_F^2} = \frac{162400}{3 \cdot 23.56^2} \approx 97.52 \, \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{97.52}{2 \cdot \pi \cdot 50} \approx 0.3104 \text{ H}$$

3.3 Programación en ATP-EMPT del transistor IGBT.

MODEL IGBT

INPUT
Gate

OUTPUT
Right

VAR
Ron[1..31]
Roff[1..19]

Right

tup
toff

n
m

up
down

dt

INIT

Ron[1]:=1000
Ron[2]:=530
Ron[3]:=260
Ron[4]:=170
Ron[5]:=100
Ron[6]:=65
Ron[7]:=39
Ron[8]:=26
Ron[9]:=18
Ron[10]:=14
Ron[11]:=11
Ron[12]:=9
Ron[13]:=7
Ron[14]:=5.6
Ron[15]:=4.6
Ron[16]:=3.9
Ron[17]:=3.2
Ron[18]:=2.3
Ron[19]:=1.4
Ron[20]:=1.18
Ron[21]:=0.86

```
Ron[22]:=0.61
Ron[23]:=0.43
Ron[24]:=0.36
Ron[25]:=0.27
Ron[26]:=0.18
Ron[27]:=0.09
Ron[28]:=0.06
Ron[29]:=0.03
Ron[30]:=0.02
Ron[31]:=0.01

Roff[1]:=0.24
Roff[2]:=1.01
Roff[3]:=2.18
Roff[4]:=3.87
Roff[5]:=6.43
Roff[6]:=10.08
Roff[7]:=18.34
Roff[8]:=27.62
Roff[9]:=41.71
Roff[10]:=56.23
Roff[11]:=83.67
Roff[12]:=101.09
Roff[13]:=117.34
Roff[14]:=193.11
Roff[15]:=312.26
Roff[16]:=487.38
Roff[17]:=743.86
Roff[18]:=1822.76
Roff[19]:=100000000

Right:=100000000

tup:=0
toff:=0

up:=0
down:=0

ENDINIT

EXEC

dt:=timestep

IF Gate>0 AND up=0 THEN

    tup:=t
    up:=1
    down:=0

ENDIF
```

```
n:=(t-tup)/dt+1
IF Gate>0 AND up=1 THEN
    IF n<=31 THEN
        Rigbt:=Ron[n]
    ELSE
        Rigbt:=Ron[31]
    ENDIF
ENDIF
ENDIF
IF Gate<=0 AND up=1 THEN
    toff:=t
    down:=1
    up:=0
ENDIF
m:=(t-toff)/dt+1
IF Gate<=0 AND down=1 THEN
    IF m<=19 THEN
        Rigbt:=Roff[m]
    ELSE
        Rigbt:=Roff[19]
    ENDIF
ENDIF
ENDIF
ENDEXEC
ENDMODEL
```