

Un generador de un parque eólico de 690 V se conecta a las líneas interiores del parque a través de un transformador dY de 1.000 kVA y relación de transformación 690/15.500 V. Dicho transformador tiene una impedancia de cortocircuito porcentual del 5% y unas pérdidas en el cobre a plena carga de 35 kW.

La tensión nominal de la red de la compañía exterior al parque es de 45 kV. El transformador dY de conexión del parque a la compañía tiene una potencia de 30 MVA y una impedancia de cortocircuito del 11% con una resistencia de cortocircuito del 2%. La tensión nominal del lado en triángulo es 15.000 V (constante), mientras que la tensión del lado secundario se puede variar mediante un cambiador de tomas.

La línea interior del parque está puesta a tierra con una inductancia en zig-zag que consumió en un ensayo en vacío realizado a 15.000V una intensidad de 1,2 A con un factor de potencia 0,15. Se desprecia la variación de la inductancia y de su factor de potencia con la tensión de la línea. Las impedancias de las líneas que conectan el generador con la reactancia de puesta a tierra, así como las de las líneas que conectan la reactancia de puesta a tierra con el transformador de conexión del parque son resistivas puras y su valor se muestra en la figura.

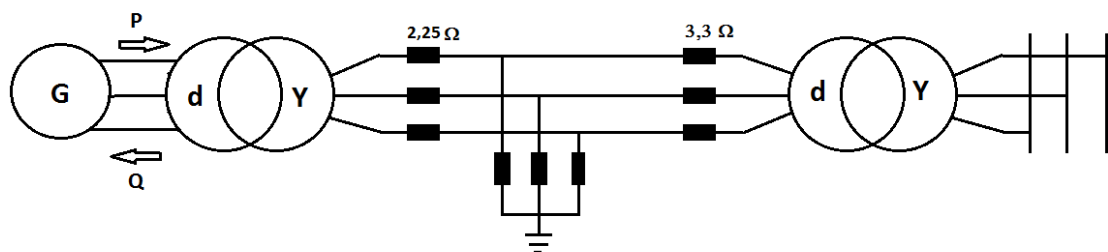
En un instante determinado el generador está generando 500 kW y consumiendo 400 KVAR, y la tensión en bornas es 680 V.

Se pide:

1. Expresión fasorial de la corriente de salida del generador (en coordenadas rectangulares) tomando como origen de fases la tensión en bornas del mismo
2. Tensión en bornas de la reactancia
3. Tensión en el lado de 15.000 V del transformador de conexión del parque

El lado Y del transformador de conexión del parque tiene una toma central, 10 tomas aditivas y 10 tomas sustractivas. La toma central del transformador es la de 45 kV y por cada toma se añaden o se detraen 450 V.

4. Calcular en qué toma sería más adecuado conectar el transformador del parque a la red.



SOLUCIÓN

1) Corriente en el generador

Hay que tomar el mismo sentido para la potencia activa que genera el generador y para la reactiva. El sentido que tomemos para la potencia activa será el sentido de la intensidad. Esto es, los sentidos no pueden ser independientes, sino que están relacionados.

$$\bar{S} = 500 \text{ kW} - j400 \text{ k var} = 640,3 \text{ kVA} \angle -38,66$$

La potencia aparente (compleja) se obtiene multiplicando la tensión por la conjugada de la intensidad (y por 3)

$$\bar{S} = 3 \cdot \bar{U}_{fN} \cdot \bar{I}^*$$

$$\bar{I} = \frac{\bar{S}^*}{3 \cdot \bar{U}_{fN}^*} = \frac{640,3 \angle 38,66}{3 \cdot \frac{680}{\sqrt{3}}} = 543,64 \text{ A} \angle 38,66$$

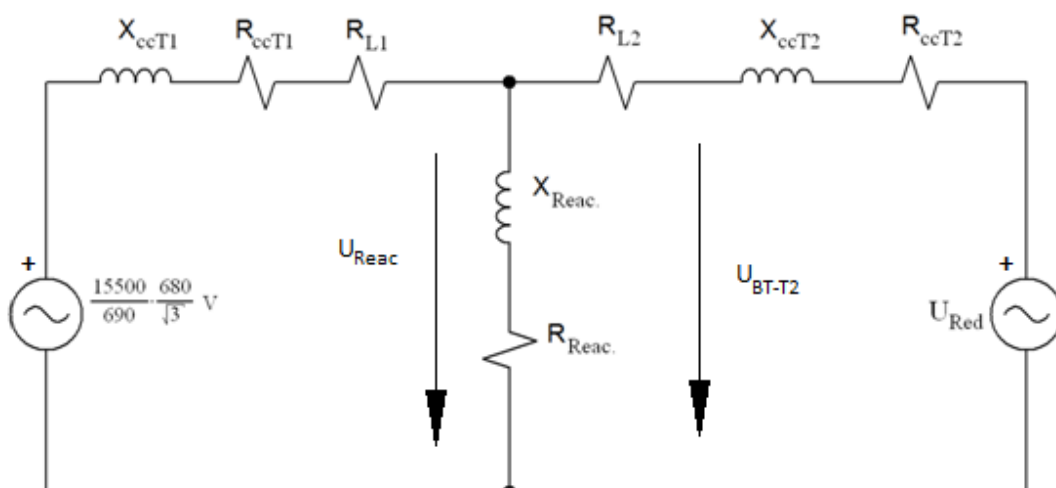
La corriente adelanta a la tensión, ya que instalación entrega reactiva al generador, con lo que se comporta como si fuera un condensador. Es sabido que las corrientes capacitivas adelantan a la tensión.

2) Tensión en bornas de la reactancia

La corriente en el lado de 15.500 V del transformador será

$$\bar{I}'_G = \bar{I}_G \frac{690}{15.500} = 543,64 \frac{690}{15.500} \angle 38,66 = 24,2 \text{ A} \angle 38,66$$

El circuito equivalente de la instalación se muestra en la figura



La tensión en bornas de la reactancia será

$$\bar{U}_{Reac} = \bar{U}_G - (R_{ccT1} + jX_{ccT1} + R_{L1}) \bar{I}'_G$$

$$Z_{ccT1} = \frac{\varepsilon_{ccT1} U_L^2}{S_{NT1}} = \frac{5 \cdot 15,5^2}{100 \cdot 1} = 12,01 \Omega$$

$$I_{NT1} = \frac{S_{NT1}}{\sqrt{3} U_L} = \frac{1.000}{\sqrt{3} \cdot 15,5} = 37,25 \text{ A}$$

$$R_{ccT1} = \frac{P_{ccT1}}{3 I_{NT1}^2} = \frac{35000}{3 \cdot 37,35^2} = 8,41 \Omega$$

$$X_{ccT1} = \sqrt{12,01^2 - 8,41^2} = 8,57 \Omega$$

$$\bar{U}_{Reac} = \frac{680}{\sqrt{3}} \frac{15500}{690} - (8,41 + j8,57 + 2,25) 24,2 \angle 38,66$$

$$\bar{U}_{Reac} = 8819 - 13,68 \angle 38,8 - 24,2 \angle 38,66 = 8819 - 333,8 \angle 77,46$$

$$\bar{U}_{Reac} = 8819 - 333,8 \angle 77,46 = 8.747 - j325,8 = 8.753 \text{ V} \angle 2,1^\circ$$

La tensión de línea es

$$U_{ReacL} = 8.753 \cdot \sqrt{3} = 15.160 \text{ V}$$

3) Tensión en el lado de 15.000

Primero calculamos la intensidad consumida por la reactancia.

La impedancia de la reactancia será

$$Z_{Reac} = \frac{15000}{\frac{\sqrt{3}}{1,2}} = 7217 \Omega$$

De forma compleja

$$Z_{Reac} = 7.217 \Omega \angle 81,37 = 1.083 + j7.135 \Omega$$

Por tanto, la corriente consumida por la reactancia será

$$\vec{I}_{Reac} = \frac{\vec{U}_{Reac}}{1083 + j \cdot 7135} = 1,23 \angle -83,46^\circ \text{ A}$$

Entonces, la corriente por la línea de impedancia $3,3\Omega$ es:

$$\vec{I}'_{L2} = \vec{I}_g - \vec{I}_{Reac} = 24,2 \angle 38,66 - 1,23 \angle -83,46^\circ = 24,86 \angle 41,03 \text{ A}$$

La tensión en el lado de 15KV del transformador de 30MVA es:



$$\vec{U}_{BT_T2} = \vec{U}_{Reac} - \vec{I}'_{L2} \cdot 3,3 = 8.694,6 V \angle -2,46^\circ$$

$$U_{LBT_T2} = 8694,6 \cdot \sqrt{3} = 15.059,48 V$$

- 4) Calcular en qué toma sería más adecuado conectar el transformador del parque a la red.

Primero calculamos la tensión U'_2

$$\vec{U}'_2 = U'_{ATrafo} - (R_{cc2} - jX_{cc2}) I'_{L2}$$

$$Z_{ccT2} = \frac{\epsilon_{ccT1} U_L^2}{S_{NT1}} = \frac{11 \cdot 15^2}{100 \cdot 30} = 0,825 \Omega$$

$$R_{ccT2} = \frac{\epsilon_{RccT1} U_L^2}{S_{NT1}} = \frac{2 \cdot 15^2}{100 \cdot 30} = 0,15 \Omega$$

$$X_{ccT2} = \sqrt{Z_{ccT2}^2 - R_{ccT2}^2} = 0,811 \Omega$$

$$\vec{U}'_2 = 8694,6 \angle -2,46 - (0,15 + j0,811) 24,86 \angle 41,03$$

$$\vec{U}'_2 = 8.697 - j391 = 8.705 V \angle -261^\circ$$

La tensión de línea será

$$U'_{2L} = 15.079 V$$

La relación de transformación deseada sería

$$r_{deseada} = \frac{45.000}{15.079} = 2,984$$

Veamos cuál de las relaciones de transformación del trafo se parece más a la buscada

$$Toma \ 11 \dots \dots \dots r_{t11} = \frac{45.000}{15.000} = 3$$

$$Toma \ 9 \dots \dots \dots r_{t9} = \frac{45.450}{15.000} = 3,03$$

$$Toma \ 12 \dots \dots \dots r_{t12} = \frac{44.550}{15.000} = 2,97$$

$$Toma \ 13 \dots \dots \dots r_{t13} = \frac{44.100}{15.000} = 2,94$$

En la toma central (toma 11), la tensión de salida del transformador sería

$$U_{1L} = 15.079 \cdot 3 = 45.237 V$$

En la toma 12 (primera de las sustractivas) la tensión de salida del transformador sería

$$U_{1L} = 15.079 \cdot 2,97 = 44.785 V$$

Lo ideal sería que hubiera una toma intermedia entre la 11 y la 12, pero ya que no la hay seleccionamos la 12.

Ciertamente, la tensión que 2 deberíamos aplicar al primario en la toma 12 deberían ser 44.550 V, y le estamos aplicando un poquitín más (45.000 V). Por tanto aumentará un poco la corriente de vacío y las pérdidas. No obstante, la diferencia entre 45.000 V y 44.550 V es apenas un 1,01%, de forma que la sobreexcitación no es demasiado elevada, con lo que confío en que el transformador la aguante.

TOMA	Relación de transformación			Tensión secundaria	
	U1toma	U2toma	Rt	U1red	U2
Central	45.000	15.000	3	45.000	15.000
Aditiva 1	45.450	15.000	3,03	45.000	14.851
Aditiva 2	45.900	15.000	3,06	45.000	14.706
Aditiva 3	46.350	15.000	3,09	45.000	14.563
Aditiva 4	46.800	15.000	3,12	45.000	14.423
Aditiva 5	47.250	15.000	3,15	45.000	14.286
Sustractiva 1	44.550	15.000	2,97	45.000	15.152
Sustractiva 2	44.100	15.000	2,94	45.000	15.306
Sustractiva 3	43.650	15.000	2,91	45.000	15.464
Sustractiva 4	43.200	15.000	2,88	45.000	15.625
Sustractiva 5	42.750	15.000	2,85	45.000	15.789