

# Máquinas Eléctricas

## Práctico 2

### Transformadores II

IIE - Facultad de Ingeniería - Universidad de la República

#### Problema 1

Debido a un aumento previsto en la carga de la instalación de una planta que cuenta con un transformador T1 cuyos datos se darán más adelante, se decide duplicar la capacidad de transformación instalada poniendo otro transformador en paralelo con T1. El único transformador disponible es T2, cuyos datos se darán más adelante.

#### Datos:

	$U_p(kV)$	$U_s(kV)$	$S_n(MVA)$	$f(Hz)$	Conexión
T1	60,0	6,0	12,5	50	Yy0
T2	70,0	6,6	12,5	50	Yy0

#### ■ Transformador 1:

- Ensayo de vacío: 60,0kV; 6,126kV; 2,4A (primario); 10,9kW.
- Ensayo de secundario en cortocircuito: 3,6kV; 120A; 529,1kW (primario).
- T1 está previsto de un cambiador de tomas en el primario en un rango  $\pm 10\%$  de  $U_n$ , por 21 pasos de 1% cada uno. Los ensayos de vacío están realizados con el cambiador en el punto medio y a 50 Hz. En todo el problema se admitirá que los valores de las impedancias internas de T1 determinadas a partir de los ensayos dados no cambian al variar la posición del cambiador de tomas.

#### ■ Transformador 2:

- Ensayado en vacío a 50Hz y alimentado por el secundario se obtuvo:

$U_2(kV)$	2	4	5	5,75	6,3	6,6	6,8
$I_2(A)$	3,2	6,8	10,9	17,0	23,5	27,3	30,0
$P_2(kW)$	3,5	11,5	17,5	23,9	27,6	30,1	32,9
$U_1(kV)$	20,62	41,24	51,55	59,28	64,95	68,04	70,1

- Ensayos con secundario cc a 50Hz: 2,8kV; 106A; 124,7kW (primario).

Se pide:

- Elegir la posición del cambiador de tomas de T1 tal que permita el funcionamiento en paralelo con T2, con mínima corriente de circulación.

- b) Con T1 y T2 en paralelo (T1 con su cambiador de posición elegida en 1), y despreciando la eventual diferencia en las relaciones de transformación de ambos, determinar la máxima corriente de secundario que puede entonces llevar T2 en régimen permanente sin sobrecalentamiento respecto de su funcionamiento en condiciones nominales. La red es de  $60kV$ .
- c) En las condiciones de la parte anterior calcular la máxima corriente del lado de los secundarios que puede llevar el paralelo de ambos transformadores en régimen permanente sin sobrecalentamiento de ninguno de ellos respecto de sus regímenes nominales. Calcular la potencia máxima que en esas condiciones se entregaría a una carga inductiva de  $FP = 0,85$ .
- d) Determinar el valor de la impedancia inductiva  $R + jX$  a agregar en serie con uno de los transformadores para maximizar la corriente entregada a la carga, en iguales condiciones que la parte anterior, y calcular la potencia entregada.

## Problema 2

Se dispone de un transformador trifásico con sus 12 bornes accesibles. Sus datos de chapa son:

$50kVA$ ,  $500/100V$ , conexión Yd,  $50Hz$ .

Se lo quiere utilizar para alimentar una carga trifásica que consume  $60kV$  bajo  $150V$  y  $60Hz$ . La red trifásica primaria disponible es de  $600V$ ,  $60Hz$ .

Se pide:

- a) Indicar bajo qué conexión de los bobinados del transformador es posible alimentar esa carga a partir de la red. Calcular la tensión de salida en vacío del transformador. Para ésta se admite una tolerancia de  $\pm 5\%$  respecto de la tensión nominal de  $150V$  de la carga.
- b) Para el conexionado indicado en la parte anterior calcular la nueva potencia que el transformador puede entregar sin exceder sus corrientes nominales, y el rendimiento máximo, determinando bajo qué corriente primaria se produce el mismo.
- c) Si el transformador en su conexión normal y bajo tensiones y frecuencia nominales toleraba una sobrecarga de  $20\%$  durante 3 horas, determinar la sobrecarga que admite en las nuevas condiciones en idéntico tiempo.
- d) Indicar cuál es la tensión máxima primaria (valor rms, entre fases) que el transformador puede tolerar en la nueva conexión.

### Datos:

- Ensayos realizados para el conexionado nominal del transformador y a la frecuencia  $50Hz$ .
  - Cortocircuitado del lado  $100V$ :  $60V$ ,  $50A$ ,  $900W$ .
  - En vacío del lado  $500V$ :  $100V$ ,  $8A$ ,  $750W$ .
- Suponer que las pérdidas en el hierro (histéresis y corrientes de Foucault), son de la forma  $kfB^2$ .
- Se admitirá que el transformador bajo condiciones nominales trabaja en la zona lineal del hierro.

### Problema 3

Se dispone de un transformador trifásico T1 con sus bobinados conectados como se indica en la figura. Los bobinados del primario poseen regulación bajo carga (RBC) pudiendo modificarse la relación de espiras  $N2/N1$  entre los límites 0,04 y 0,12.

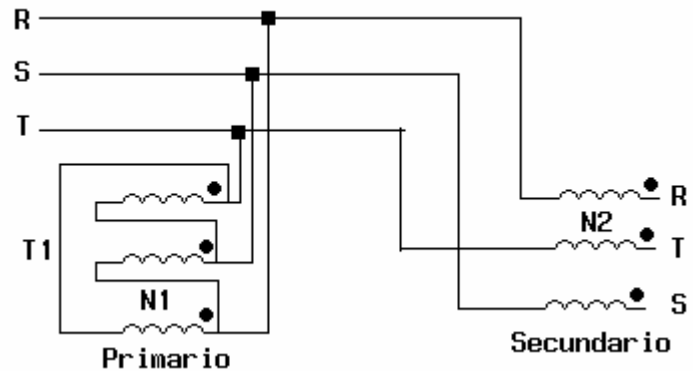


Figura 1: Esquema Problema 3.

#### Datos:

- Ensayos del transformador a 50Hz, conectado como Dy:
  - Con el secundario en vacío:  $U_{10} = 30kV$ ,  $I_{10} = 5A$ ,  $P_{10} \approx 0W$ .
  - Alimentado desde el secundario, con el primario en cortocircuito:  $U_{2cc} = 220V$  (entre fases),  $I_{2cc} = 50,8A$ ;  $P_{2cc} \approx 0W$ .
- Se supondrá que la reactancia de fugas del primario es despreciable y que la del secundario no cambia al variar el RBC del primario.

Se pide:

- a) Mostrar mediante un diagrama fasorial que el montaje indicado del transformador T1 permite obtener tensiones de salida en vacío  $V_{R'}$ ,  $V_{S'}$ ,  $V_{T'}$ , desfasadas de las respectivas tensiones de entrada  $V_R$ ,  $V_S$ ,  $V_T$ , (tensiones fase neutro), en un ángulo cuyo valor se determina actuando sobre el RBC del primario de T1.
- b) Establecer la relación de dependencia que resulta entre los módulos de las tensiones de entrada, las de salida en vacío y el ángulo con que se desee desfasar ambos sistemas trifásicos.
- c) Se tiene una fuente trifásica (supuesta infinita) de  $30kV$ ,  $50Hz$  y 2 cables trifásicos  $a$  y  $b$  de  $30kV$ , de distinta longitud, supuestos de impedancia puramente inductiva, que se requiere emplear para alimentar en conjunto una carga trifásica que consume  $400A$ , con  $\cos\varphi = 1$ . Reactancia (por fase) de los cables:  $X_a = 25\Omega$ ,  $X_b = 40\Omega$ . El cable  $a$  se alimenta directamente desde los bornes RST de la red.

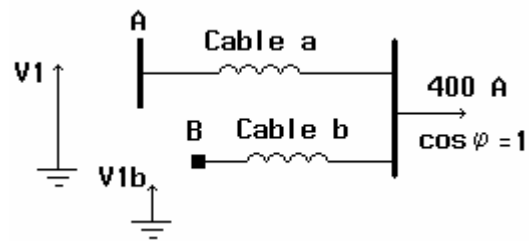


Figura 2: Situación Parte 3.

Determinar la tensión  $V1b$  con que debería alimentarse el cable  $b$  para que ambos cables conduzcan corrientes iguales en módulo y fase. Expresar  $V1b$  en su relación de módulo y de fase respecto de  $V1$ .

- d) En función de la relación establecida en la parte 2, mostrar que no es posible obtener la tensión  $V1b$  calculada anteriormente intercalando el transformador  $T1$  entre la fuente y el punto B (ver figura).
- e) Poniendo entre la fuente y el punto B un segundo transformador  $T2$  igual a  $T1$ , con su primario en paralelo y su secundario en serie con el de  $T1$ , como se indica en el esquema, y eligiendo adecuadamente la sucesión y signo de las fases de los secundarios que se conecta en serie, es posible hacer que las corrientes de ambos cables se igualen. Determinar las relaciones de espiras  $(N2/N1)T1$ ,  $(N2/N1)T2$ , y el conexionado de las fases con este fin. Indicar el esquema completo de conexión de los bornes U, V, W, X, Y, Z, de  $T2$  con R', S', T' y con los bornes B1, B2, B3 de entrada del cable.

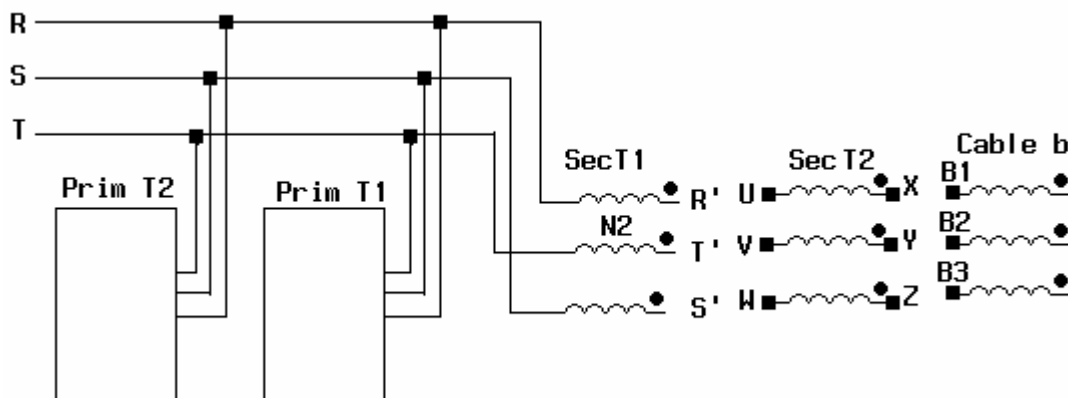


Figura 3: Situación Parte 5.

- f) Calcular la corriente y las potencias activa y reactiva entregadas por la fuente para las condiciones de 5.

## Problema 4

Se considera un transformador trifásico de tres arrollamientos  $150/6,3/30kV$ , compuesto por un banco de tres transformadores monofásicos iguales de tres arrollamientos.

Cada uno de los transformadores monofásicos presenta un arrollamiento primario (A) para  $\frac{150}{\sqrt{3}}kV$ , 10 MVA, y dos secundarios, uno para  $6,3kV$ , 2MVA (B), y el otro para  $\frac{30}{\sqrt{3}}kV$ , 10 MVA (C).

Se realizaron los siguientes ensayos:

- Con los secundarios abiertos y el primario alimentado bajo tensión nominal, se midió una corriente del primario de 2% de la nominal.
- Con el bobinado B abierto y el C en cortocircuito, se tuvo una tensión de cortocircuito de 7,5% en el primario.
- Con el bobinado C abierto y el B en cortocircuito, la tensión de cortocircuito del primario resultó 12%.

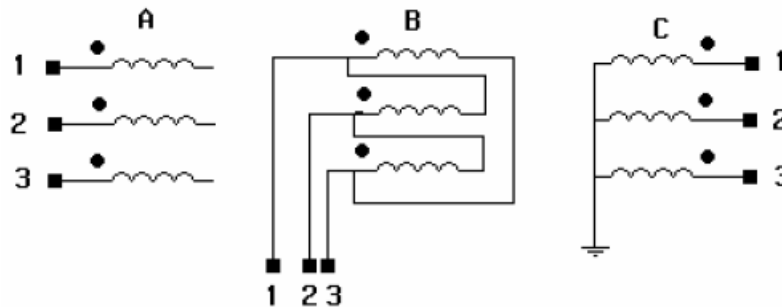


Figura 4: Esquema Problema 4.

Se despreciarán todas las pérdidas, y se asumirá que el hierro se encuentra muy lejos de la saturación. El banco de transformadores se conecta como se indica en la figura. La red a la que está conectado el primario se supone de potencia infinita.

Se pide:

- a) Estando el bobinado de  $30kV$  en vacío y el de  $6,3kV$  con una carga trifásica total  $3MVA$ ,  $\cos\varphi = 1$ , de impedancia  $Z_L$  por fase conectada en triángulo, por un defecto del interruptor de  $6,3kV$  se abre una sola de sus fases. Calcular las corrientes por el primario y la tensión de sobrecarga.
- b) Estando el bobinado de  $6,3kV$  en vacío y el de  $30kV$  con una carga trifásica total de  $15MVA$ ,  $\cos\varphi = 1$ , de impedancia  $Z'_L$  por fase conectada en estrella con neutro a tierra, también por defecto en el interruptor de  $30kV$ , al pretender abrirlo queda una fase cerrada. Calcular las corrientes en todos los arrollamientos del transformador.
- c) Si estando en la situación de la parte 2 se abriera la conexión del secundario en A (B), calcular cómo quedarían las corrientes y tensiones de fase del primario.

Sugerencia: despreciar la corriente magnetizante cuando pueda corresponder, mostrando la validez de la aproximación.

## Problema 5

Se tiene un transformador trifásico T1 de  $250kVA$  alimentando la instalación trifásica con neutro de una fábrica, en tensiones  $220/380V$ , a partir de una red trifásica de  $50Hz$ , de tensión constante e igual a  $6kV$ . En previsión de una ampliación e las instalaciones y un aumento de la carga se decide instalar un transformador T2 en paralelo.

### Datos:

- T1: Trifásico Dyn;  $250kVA$ ;  $6/0,38kV$ ;  $50Hz$ .  
Ensayo de vacío bajo  $6kV$ ;  $50Hz$ :  $394,9V$ ;  $0,48A$ ;  $866W$ .  
Ensayo en cortocircuito a  $50Hz$ :  $220V$ ;  $23,87A$ ;  $2373W$ .
- T2: No tiene el conexionado armado, pero se sabe que: cada una de las bobinas primarias tiene aislación para  $4kV$  (valor rms),  $25A$  nominales, y es de  $1500$  espiras, su resistencia es de  $2,979\Omega$  y su reactancia de fugas es de  $1,094\Omega$  (valores por fase). Cada una de las 2 bobinas secundarias de cada columna tiene aislación para  $380V$ ,  $400A$  nominales, es de  $57$  espiras, y tiene una resistencia de  $4m\Omega$  y una reactancia de fugas de  $2,5m\Omega$  (valores por fase).

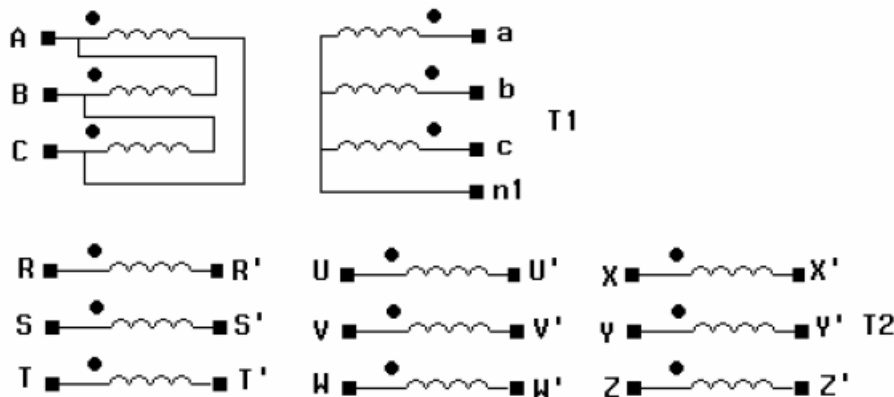


Figura 5: Esquema Problema 5.

Se pide:

- Determinar el modo de conexionado de las bobinas de T2 entre sí y también de cada uno de los bornes terminales de las fases del primario y del secundario con los respectivos bornes de fase de T1. Indicar esto último mediante una tabla que establezca qué bornes de T1 y de T2 deben conectarse juntos. Como condición adicional se requiere un neutro en el secundario de T2 que se conectará al neutro de T1.
- Determinar la máxima corriente de  $FP = 1$  que puede llevar el conjunto de los dos transformadores en paralelo, sin exceder las corrientes nominales de ninguno de ellos. Calcular la tensión en bornes de la carga en esas condiciones.

- c) T1 tiene un cambiador de tomas en vacío en el primario que permite modificar en  $0\%$ ,  $\pm 2,5\%$  y  $\pm 5\%$ , el total de las espiras activas en las bobinas de  $6kV$ . Con T1 y T2 conectados en paralelo con el montaje seleccionado en 1 y sin carga en el secundario (conjunto de los transformadores en vacío), se pide calcular las pérdidas Joule del conjunto de los dos transformadores y la potencia que consumiría Ti de la red de  $6kV$ , si el cambiador de tomas estuviese en la posición  $-2,5\%$  de espiras del primario.

Nota: los ensayos indicados en los datos están realizados con el cambiador en la posición  $0\%$ . A los efectos de la resolución del problema se admitirá que las impedancias internas de T1 y también las del circuito equivalente determinado en 2, no se modifican al variar el cambiador de tomas.

## Problema 6

Se dispone de un transformador trifásico T1, Yd11,  $100kVA$ ,  $50Hz$ ,  $6,3/0,2kV$ , impedancia de cortocircuito vista del lado de alta tensión igual a  $14 + 20j\Omega$  por fase. Se quiere acoplar en paralelo con otro transformador T2 trifásico Yd11,  $100kVA$ ,  $50Hz$  pero de  $6,3/0,23kV$  e impedancia de cortocircuito desconocida.

Se pide:

- a) Determinar la impedancia de cortocircuito de T2 sabiendo que si se conectan los primarios de T1 y T2 en paralelo y sus secundarios en cortocircuito, sometiendo el paralelo a  $250V$  entre líneas, la corriente total medida es de  $17A$  y la potencia consumida por el conjunto es  $5kW$ .
- b) ¿Es posible conectando T1 y T2 en paralelo con la misma tensión nominal en el primario atender una carga que bajo  $230V$  consume  $160kW$  con  $\cos\varphi = 0,8$  en atraso?.
- c) Para solucionar la parte anterior se recurre a otro transformador auxiliar T3, Yy,  $6300/60,6V$ , con todos los bornes secundarios accesibles de impedancia de cortocircuito despreciable y corriente magnetizante a tensión nominal de  $0,01A$  en el primario con potencia de vacío despreciable. Este transformador se conecta su primario en paralelo con T1 y T2 y las fases secundarias en serie con los secundarios de T1 y T2.
- Determinar en un diagrama trifásico como realizar la conexión para que en ambos casos sea factible el paralelo y atender la carga.
  - Calcular la repartición de cargas en uno de los casos anteriores que recomendaría realizar y la potencia que debería tener.
  - Analizar cualitativamente las consecuencias de la desconexión del primario de T3 estando todo en servicio y en el caso seleccionado en el ítem anterior.

Nota: se despreciarán las pérdidas en vacío de los transformadores salvo para el T3 en el último ítem.

## Problema 7

Se considera el transformador de potencia T1 de la figura, cuya relación nominal es  $6/30kV$ , y potencia nominal  $10MVA$ . Posee un cambiador de tomas en  $30kV$  que permite regular la tensión  $\pm 10\%$ .

A este transformador se lo quiere dotar de una protección diferencial cuyo modelo (simplificado) es el indicado. La misma acciona cuando por lo menos alguna de las tensiones  $VA$ ,  $VB$  o  $VC$  (entre fase y neutro puesto a tierra), supera  $5V$  en valor rms. Para conectar la protección se utiliza dos transformadores de corriente (trifásicos) TC1 y TC2, indicados en la figura, constituidos cada uno por tres transformadores monofásicos idénticos. Se conoce el montaje de TC1 y se desea elegir el de TC2. Los transformadores monofásicos que forman el TC1 son c/u de relación de corrientes  $1000:5$  y los del TC2  $200\sqrt{3}:5$ .

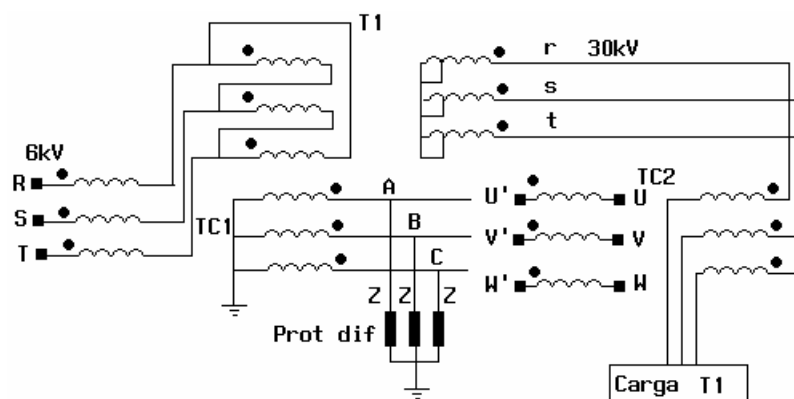


Figura 6: Esquema Problema 7.

Todos los transformadores se considerarán como ideales a los efectos de la resolución del problema.

Se pide:

- Indicar el grupo de conexión o índice horario del T1.
- Especificar el conexión del secundario del TC2, es decir la forma en que deberá conectarse los bornes U, V, W, U', V', W', entre sí y con los bornes A, B y C, de la protección para que: cuando T1 tiene su cambiador de tomas en la posición correspondiente a la relación de transformación nominal, la corriente por la impedancia Z sea cero, para cualquier posible estado de carga simétrico y equilibrado del T1. Para determinar los sentidos de las corrientes se recomienda imaginar como si T1, TC1 y TC2 fuesen todos de relación de espiras 1:1.
- Calcular el valor del módulo de la impedancia Z para que la protección no actúe cuando se recorre todo el cambiador a potencia del primario de T1 constante e igual a su valor nominal.