



PRÁCTICO CONMUTADOS POR LA RED

ELECTRÓNICA DE POTENCIA

Curso 2017

Ejercicio 1

El rectificador de la figura 1a con alimentación trifásica directa se controla con un comando arco coseno clásico (ver figura 1b) mediante el cual, por ejemplo, para el tiristor 1 se utiliza la tensión de fase $-V_s$.

El pulso de disparo generado es de corta duración por lo que el control tiene implementado el necesario disparo de confirmación.

La carga es una resistencia. La tensión de comando U_c se varía en el rango $[+1, -1]$.

- Dar una expresión y dibujar la transferencia $\langle v_o(t) \rangle = f(U_c)$ indicando valores notables como ser $U_c = 1, \frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ y -1 .
- Analizar qué pasa si el mismo rectificador y control diseñado para rotación horaria (directo) se conecta por error en un sistema antihorario (inverso).

Indicar claramente:

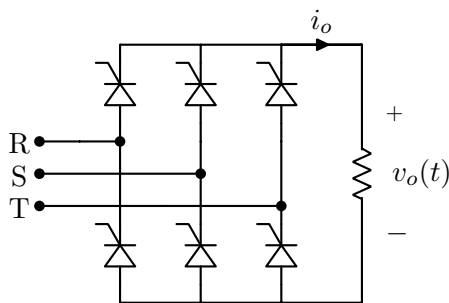
- Cuáles son los instantes de conmutación de los tiristores.

2) Cuándo se disparan los tiristores si $U_c = 1$.

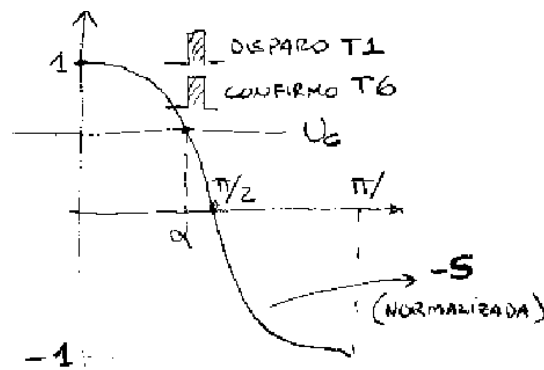
Se recomienda utilizar las curvas trifásicas usuales cambiando, por ejemplo, las R con las S . Tener presente que no cambia el circuito de control, por lo que, por ejemplo, el tiristor 1 se sigue disparando a partir de la tensión $-V_s$ que sigue conectada entre los tiristores 3 y 6.

- Dar una expresión y dibujar la nueva transferencia $\langle v_o(t) \rangle = f^*(U_c)$ indicando valores notables como ser $U_c = 1, \frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ y -1 .
- Restablecido el sentido horario del sistema trifásico, analizar cómo influye un desbalance en módulo del mismo. Dibujar la forma de onda de salida si cae la tensión de una sola fase un 20 %.

Nota: se asumirá que los tiristores conmutan instantáneamente y no hay fallas de conmutación.



(a) Circuito



(b) Comando.

Ejercicio 2

Sea un rectificador q -fásico doble vía con diodos. El mismo se alimenta de un sistema de tensiones q fásicas horario, sinusoidal, equilibrado con un valor eficaz de tensión de fase U_f . Las fases se denominan f_1, f_2, \dots, f_q . Se considera que la carga del rectificador es una fuente de corriente constante no nula.

- Graficar la tensión de salida del rectificador para el caso de $q = 7$. En el gráfico se deberán incluir las tensiones de fase (basta con indicar los momentos en que cada fase toma valores máximos o mínimos respecto a las restantes fases). Indicar la cantidad de pulsos que tiene la tensión de salida del rectificador.
- Numerar los diodos en el esquema del rectificador e indicar en el gráfico los instantes de conmutación de cada diodo.

- c) Calcular la tensión media de salida del rectificador en función de q . Verificar para el caso usual de $q = 3$.
- d) ¿Qué ocurre con la cantidad de pulsos de la tensión de salida del rectificador si q es par? Alcanza para justificar la respuesta realizar un esquema similar al analizado en la parte a) considerando $q = 6$.

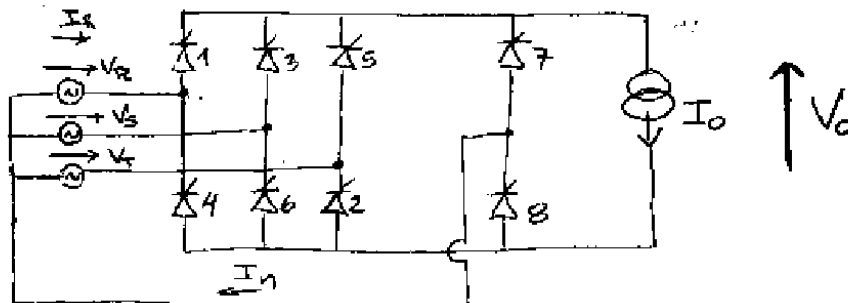
Ejercicio 3

El circuito de la figura es un puente doble vía al que se le agregan dos tiristores a los efectos de mejorar el factor de potencia del sistema.

El disparo del puente es el normal para este tipo de puente y a los tiristores agregados se los dispara con un ángulo de δ a partir de sus respectivos instantes de conmutación natural.

- a) Dibujar $V_o(t)$ para $\alpha = 70^\circ$ y $\delta = 10^\circ$, y calcular $\langle V_o \rangle$ para este caso. Se recomienda hallar en esta parte la expresión analítica de $\langle V_o \rangle$.
- b) Asumir solamente en esta parte que T_7 y T_8 son diodos. Dibujar $V_o(t)$, $I_r(t)$ e $I_n(t)$ con $\alpha = 70^\circ$. Dar la curva de transferencia $\langle V_o \rangle (\alpha)$ con $\alpha \in [0^\circ, 150^\circ]$.
- c) Dibujar $V_o(t)$ durante el transitorio de pasar de $\alpha = 70^\circ$, $\delta = 10^\circ$ a $\alpha = 130^\circ$, $\delta = 80^\circ$, si el cambio de consigna se produce inmediatamente después de disparar T_8 (disparo que apagaba el tiristor T_6).

Nota: V_r , V_s y V_t son las tensiones de fase en una red equilibrada, fuerte y con tensión de línea $U = 220 \text{ V}$.



Ejercicio 4

Un puente de 6 pulsos - 2 vías que alimenta un motor de corriente continua con carga de momento de inercia muy grande, está implementado con tiristores LS432243 cuya hoja de datos se adjunta.

Cada tiristor está montado sobre un disipador. El medio refrigerante es aire a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ con convección natural. El puente se alimenta de una red de 400 V que se considera fuerte y en estado estacionario suministra 180 kW al motor con corriente nominal 600 A , que podrá considerarse lisa.

En determinado momento se decide bajar rápidamente la velocidad del motor. Debido a la gran inercia, el control comanda al puente de manera que pase de inmediato a trabajar como inversor suministrando la máxima potencia posible a la red, retirando energía cinética de la carga. El margen de conmutación mínimo es de 20° . El comando al puente llega inmediatamente después de disparado el tiristor 1. La corriente se mantiene constante durante el proceso.

- Calcular los ángulos de disparo inicial y final y dibujar la forma de onda de la tensión de salida durante el proceso de inversión de sentido de la potencia. Agregar algunos períodos de los estados estacionarios inicial y final e indicar claramente abscisas y ordenadas.
- Dibujar la forma de onda de la corriente por el tiristor 1 incluyendo la transición. Indicar claramente abscisas y ordenadas.
- Calcular la resistencia térmica del disipador de manera que la temperatura instantánea de juntura del tiristor 1 no supere el máximo admisible dado por la hoja de datos.
- Dibujar las formas de onda de tensión de salida y corriente por el tiristor 1 durante la transición teniendo en cuenta que en realidad la red es inductiva con $0,3\text{ mH}$ por fase.

Ejercicio 5

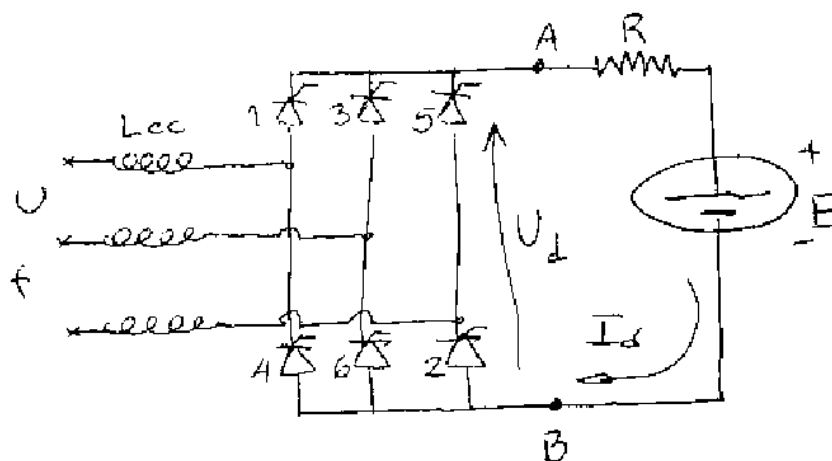
El control del rectificador de la figura tiene como consigna disparar los tiristores con el ángulo de disparo que ofrece condiciones de régimen estacionario en función del valor de E y U , L_{cc} , R e I_d . Se asumirá que el valor medio de corriente de salida I_d es constante y que el sistema está en régimen de conducción continua.

Hasta antes de 10° de lo que sería el disparo del tiristor 2 el sistema funciona normalmente. En ese instante la tensión de red baja a cierto valor U^* por lo que el control actúa inmediatamente modificando el ángulo de disparo a su nuevo valor.

- Dibujar V_a , V_b y U_d desde un poco antes del disparo de T_1 y hasta el momento en que se produce la cada de tensión.
- Calcular el valor U^* que pone al sistema en el borde de la falla de conmutación.
- Asumiendo que con U^* se produce la falla de conmutación, dibujar como evolucionan V_a , V_b y U_d hasta un momento después de la misma (en el mismo dibujo ya realizado).
- Calcular la máxima resistencia térmica que se puede tener entre el disipador y el aire si la temperatura ambiente puede llegar a 40° (el disipador es de doble lado).

Datos:

- $E = -1,3 \text{ kV}$
- $U = 1,5 \text{ kV}$
- $R = 10 \text{ m}\Omega$
- $I_d = 6 \text{ kA}$
- $S_n = 8,58 \text{ MVA}$
- $x_{cc} = 15 \%$
- $f = 50 \text{ Hz}$
- $t_q = 500 \mu\text{s}$



Ejercicio 6

Sea un rectificador trifásico de onda completa controlado por el método de control arco coseno. La carga es del tipo L-E. El transformador de entrada tiene una potencia aparente S y una impedancia de de cortocircuito x_{cc} . El control arco coseno impone en forma instantánea un valor de tensión de referencia determinado por el valor de régimen tal que se mantiene la corriente media del rectificador en un valor constante I asociado a una potencia constante P en el bus de continua del mismo.

Justo después de disparar el tiristor 1 se produce una inversión instantánea de la tensión E (por ejemplo E podría ser la tensión contraelectromotriz de un motor de continua con excitación independiente que gira a velocidad constante al que se le invierte el campo de excitación).

Dibujar la tensión de salida del convertidor que muestre el transitorio resultante indicando las conmutaciones y los ángulos relevantes.

Datos:

- $U = 400 V$
- $E = 500 V$
- $S = 10 kVA$
- $x_{cc} = 10 \%$
- $P = 8 kW$

Ejercicio 7

Sea un rectificador trifásico de 6 pulsos - 2 vías con diodos que se alimenta de una red ideal de tensión U y frecuencia f a través de un transformador trifásico de potencia aparente S e impedancia de corto circuito x_{cc} . La carga del lado de continua es una batería de una tensión E conectada al rectificador a través de una inductancia L . Se asumirá que L es tal que la corriente de salida del rectificador se considera lisa. Se desea cargar la batería con una corriente de valor I_{dc} .

- a) Calcular la potencia aparente mínima que debe tener el transformador. Sólo en esta parte del problema se despreciará el efecto de la conmutación.
- b) Calcular el valor x_{cc} del transformador calculado en la parte a).
- c) Dibujar la tensión de salida y la corriente de una de las fases de entrada del rectificador. En lo que respecta a la corriente de fase, se deberán dibujar correctamente las concavidades de las conmutaciones. No es importante determinar el valor numérico del corte de la corriente con el eje de abcisas.

Datos:

- $U = 230 \text{ V}$
- $f = 50 \text{ Hz}$
- $E = 115 \text{ V}$
- $I_{dc} = 95 \text{ A}$

Ejercicio 8

Una instalación en 230 V se alimenta de una red de $6,3 \text{ kV}$ mediante un transformador de 500 kVA , $x_{cc} = 5\%$. En dicha instalación se conecta un puente 6 pulsos - 2 vías que controla la velocidad de una máquina de continua. A plena carga la máquina consume 20 kW , siendo su tensión nominal de 220 V .

A potencia máxima:

- a) Calcule los ángulos de conmutación y dibuje la tensión en bornes de la máquina y la corriente de una fase de alterna, explicitando las concavidades.
- b) Dibuje la tensión de una fase de la instalación de 230 V .
- c) Se decide conectar ahora el puente de tiristores a la red mediante una inductancia trifásica. Determinar el valor necesario de la misma para disminuir a un 20% el efecto en tensión de conectar el puente. Dibujar la nueva tensión de fase de la instalación de 230 V .

Ejercicio 9

Sea un convertidor trifásico 6 pulsos - 2 vías que se alimenta de un transformador cuya tensión del lado del convertidor es U , su potencia nominal es S_n y su impedancia de cortocircuito es x_{cc} . El convertidor se utiliza para descargar una batería de voltaje E conectada al convertidor mediante una inductancia que determina que la corriente de la batería sea lisa.

El control respeta que no se supere un margen de conmutación mínimo caracterizado para la frecuencia de red por un ángulo γ_{min} . En todo el proceso de descarga el control trata de extraer de la batería la máxima corriente posible de régimen permanente.

- a) Determinar la máxima corriente de batería que podrá tener el proceso de descarga y para dicho valor determinar la potencia entregada a la red. Cuando corresponda se deberán indicar las hipótesis simplificadoras utilizadas.
- b) En las condiciones que se da la máxima corriente calculada, dibujar en un mismo eje de tiempos la tensión de salida del convertidor, la tensión E y la corriente instantánea por uno de los tiristores. Indicar en el dibujo los ángulos de disparo, conmutación y margen de conmutación.

Datos:

- $E = 560 V \pm 5\%$
- $U = 380 V \pm 10\%$
- $x_{cc} = 15\%$
- $S_n = 600 kVA$
- $\gamma_{min} = 5^\circ$

Ejercicio 10

Dos redes fuertes de $50 Hz$ y $60 Hz$, $150 kV \pm 15\%$ y $120 kV \pm 15\%$ respectivamente están unidas por una estación convertidora de frecuencia compuesta por dos convertidores A y B iguales de 6 pulsos - 2 vías, dos transformadores $Y - Y$ con reactancia de cortocircuito 20% y una inductancia. Se supone que la inductancia es suficientemente grande como para considerar que la corriente continua del sistema es lisa. El sistema debe transferir una potencia nominal de $120 MW$ en ambos sentidos para cualquier condición de las redes. Para los dos convertidores el margen mínimo de conmutación es $\gamma = 25^\circ$ y el ángulo mínimo de disparo es $\alpha = 10^\circ$. Los tiristores están elegidos e instalados como para soportar una corriente media de $1000 A$ en cada tiristor y se utilizan al máximo. El sistema está dimensionado para trabajar con mínimo consumo de potencia reactiva.

- a) Dibujar el circuito de la estación.
- b) Calcular la tensión media del lado de continua de los convertidores.
- c) Calcular la corriente nominal del secundario de los transformadores.
- d) Demostrar que en régimen permanente y estacionario la estación funciona con ángulo de disparo del rectificador igual al margen de conmutación del inversor.

- e) Calcular la tensión nominal del secundario de los transformadores si se quiere minimizar el consumo de potencia reactiva de cada convertidor para cualquier condición de operación prevista.
- f) Dibujar la tensión instantánea en bornes de continua del convertidor que trabaja como inversor a potencia nominal y tensión mínima de red con respecto al punto común entre ambos convertidores. Indicar los ángulos de conmutación, de margen de conmutación y de disparo.

Ejercicio 11

Un cargador de baterías está implementado con un transformador monofásico, un puente rectificador semicontrolado y una inductancia. El puente rectificador está formado por dos tiristores con los cátodos conectados entre sí y dos diodos. La inductancia es lo suficientemente grande como para que la corriente se pueda considerar lisa.

El cargador se alimenta con $230\text{ V} \pm 20\%$ y debe entregar hasta 58 V , 30 A . Se supone que el transformador tiene una impedancia de cortocircuito del 10% , puramente inductiva.

El control permite un ángulo de disparo mínimo de 30° . Se trata de calcular el transformador adecuado para la aplicación con la mínima potencia posible.

- a) Calcular la corriente eficaz para la cual debe dimensionarse el transformador. Despreciar en este caso el efecto de la conmutación.
- b) Hallar una expresión para la caída de tensión por conmutación para el convertidor utilizado.
- c) Especificar completamente el transformador indicando la relación de vueltas, la potencia aparente y la inductancia de conmutación en Ω .
- d) Dibujar la tensión en bornes del convertidor y la corriente por el primario del transformador cuando la tensión de alimentación es la máxima admisible, la de baterías es 40 V y la corriente de salida es 30 A .

Ejercicio 12

El circuito de la figura es utilizado para disminuir el contenido armónico de la corriente tomada de la red de alimentación en comparación con poner un único rectificador controlado.

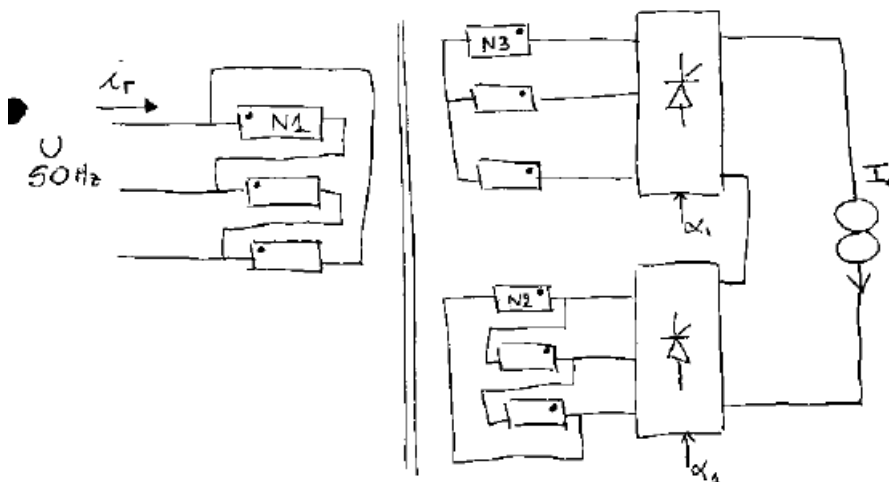
Ambos rectificadores controlados trifásicos doble vía se disparan con un mismo ángulo de disparo α y entregan la misma tensión de continua.

El transformador es de flujos ligados.

Se pide:

- Dibujar en un mismo diagrama de tiempos las tensiones de fase de los tres sistemas trifásicos y la corriente de línea $i_r(t)$. Se indicarán claramente los niveles y puntos notables.
- Determinar el factor de potencia del primer armónico en la línea de entrada.
- Calcular el contenido armónico de la corriente de línea de entrada.
- Si las relaciones de vueltas $\frac{N_2}{N_1}$ y $\frac{N_3}{N_1}$ tienen una dispersión del $\pm 10\%$, ¿cuál es el peor valor numérico de la relación entre el 5^{to} y 1^{er} armónico en la corriente de línea de entrada?

Nota: se recomienda expresar las relaciones manteniendo en forma genérica N_1, N_2 y N_3 .



Ejercicio 13

Se tiene un puente 6 pulsos - 2 vías alimentando una carga en continua de $100 A$ y potencia nula, que puede asumir de corriente lisa. Se conecta a la red de media tensión mediante un banco de tres transformadores monofásicos, conformando una conexión Yy. Dos de ellos tienen $z_{cc} = j200 m\Omega$ mientras que el otro $z_{cc} = j100 m\Omega$. La tensión del lado de baja es de $230 V$.

- Calcular los ángulos de conmutación de todas las conmutaciones posibles.
- Dibujar tensión en bornes de continua y de una fase de alterna.

Ejercicio 14

Sea un rectificador trifásico 6 pulsos - 2 vías que carga una batería de tensión E mediante una inductancia de filtro L_1 que permite asumir como lisa a la corriente I_1 que circula por ella. El control de dicho rectificador mantiene el valor medio de esta corriente I_1 en $75 A$ durante todo el proceso de carga en donde E varia desde $20 V$ hasta $145 V$. La red trifásica que alimenta el sistema es de $110 V$, $50 Hz$.

A los efectos de mantener nulo el consumo de reactiva del sistema durante el proceso de carga, se dispone de un compensador estático de reactiva consistente en un banco de condensadores trifásico conectado permanentemente, 6 tiristores y una bobina L_2 .

- Dibujar el circuito y explicar como se comanda el compensador de reactiva a medida que se carga la batería.
- Calcular los MVA mínimos que debe tener el banco de condensadores trifásico.
- Calcular la corriente media máxima (I_2M) que se deberá hacer circular por la bobina L_2 .
- Calcular el valor de L_2 mínimo que asegura que I_2M es 10 veces la corriente límite de conducción continua discontinua.
- Dibujar en un mismo eje de tiempos un período de la tensión de fase R y las tres corrientes que suministra dicha fase al sistema total cuando la batería llega a su valor máximo de tensión. En el caso de corrientes cuasicuadradas, si hubiere, dar una noción del ripple presente e indicar los ángulos que las determinan.