

OpenCourseWare de la Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea  
<http://ocw.ehu.es>

# Estudio de Rectificadores Trifásicos

1.- Presentación e introducción  
a los rectificadores trifásicos con diodos y tiristores

F. Javier Maseda, Oskar Casquero, Itziar Martija & Jesús Romo

# Bloques temáticos

---

- ▶ Rectificadores no-controlados (P3, PD3 y S3)
- ▶ Rectificadores controlados (P3, PD3 y S3)
- ▶ Rectificadores semi-controlados (PD3 y S3)
- ▶ Acoplamientos

## Definición de electrónica de potencia

---

Se pueden encontrar diversas definiciones de electrónica de potencia.

- ▶ Por ejemplo, según el IEEE se define como “la utilización de dispositivos electrónicos para el control y conversión de energía eléctrica”.
- ▶ O la que propone Academic Press, que la describe diciendo que “la electrónica de potencia engloba el estudio de los circuitos electrónicos orientados al control del flujo de energía eléctrica. Estos circuitos controlan el flujo de energía a niveles de potencia mucho más altos que los de los dispositivos individuales que los componen”.

# Interrupidores estáticos

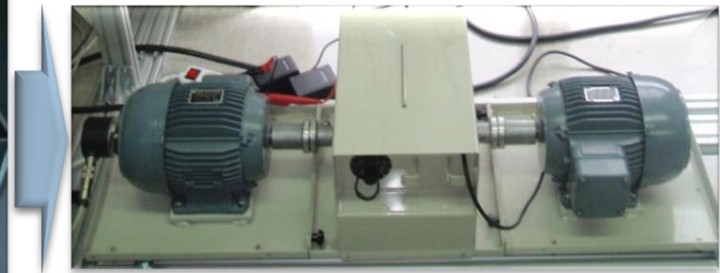
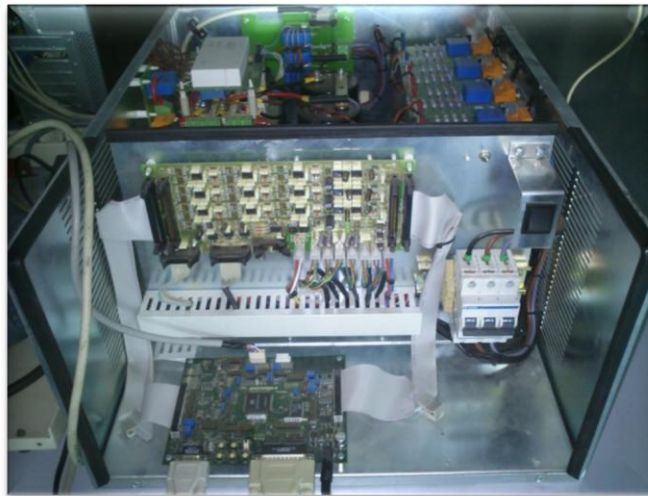
- ▶ La transformación de energía eléctrica se realiza a través del funcionamiento conmutado de los elementos que forman el convertidor electrónico de potencia.
- ▶ Dichos componentes, denominados interruptores estáticos, son el núcleo central de los convertidores modernos.
- ▶ Como elementos individuales poseen unas características bien definidas de funcionamiento, y conectados en diferentes topologías forman estructuras de conversión de energía eléctrica, cada una de las cuales presenta unas características de transformación que la hacen adecuada para la carga eléctrica que deben alimentar.
- ▶ Entre las cualidades que poseen estos interruptores electrónicos se pueden destacar una vida útil prácticamente ilimitada comparada con elementos electromecánicos, siempre y cuando se respeten de manera cuidadosa sus límites de diseño, y una gran diferencia entre la energía consumida para su mando y la energía que es capaz de conmutar.



*Diferentes tipos de módulos electrónicos: diodos, tiristores, transistores e IGBTs. Procesadores o DSPs especializados para aplicaciones industriales*

## La electrónica de potencia se basa en cuatro tipo de conversiones de energía y sus aplicaciones industriales

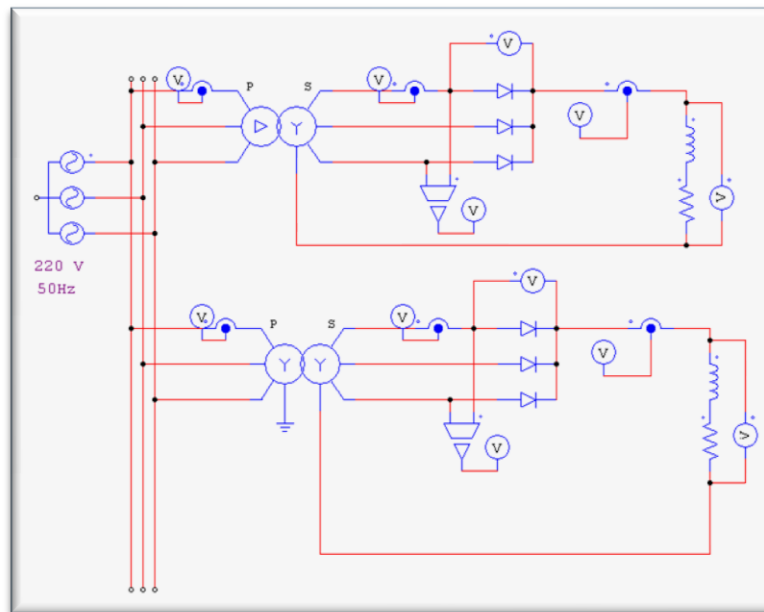
- ▶ *La rectificación (Convertidores AC-DC)* que transforma tensión alterna, fundamentalmente de la red de potencia, en tensión continua fija o variable.
- ▶ *La inversión (Convertidores DC-AC)* que transforma tensión continua, que proviene en la mayoría de los casos de un rectificador, en tensión alterna variable en valor eficaz y frecuencia.
- ▶ *La regulación de tensión continua o troceado (Convertidores DC-DC)* que transforma tensión continua fija en tensión continua variable.
- ▶ *La regulación de tensión alterna (Convertidores AC-AC)* que como su nombre indica transforma tensión alterna fija, fundamentalmente de la red potencia, en otra tensión alterna de la misma frecuencia y de diferente valor eficaz.



*Convertidor industrial: en la entrada, conectado a la red eléctrica, un rectificador semi-controlado y en la etapa de salida un inversor conectado a un motor de corriente alterna.*

## Los rectificadores con diodos

Son seguramente los pioneros de lo que se podría llamar electrónica de potencia y que en un principio únicamente incluía la conversión de energía alterna, suministrada por las compañías distribuidoras, en energía continua necesaria para alimentar algunos sistemas industriales: accionamientos basados en motores de corriente continua, procesos electro-químicos, etc.



*Dos rectificadores con diodos y transformadores con diferente configuración (Triángulo\_Estrella y Estrella-Estrella)*

Los rectificadores trifásicos son una materia de difícil estudio debido fundamentalmente a la necesidad de:

---

- ▶ Comprensión de los sistemas eléctricos a los que van conectados, transformadores trifásicos y red, y su interacción con el tipo de carga que alimentan.
- ▶ Conocimiento del funcionamiento conmutado del propio rectificador y su control, guiado por la red a la que van conectados. Los **tiristores** son interruptores, de tres terminales, en los que tiene control del encendido pero no del bloqueo.
- ▶ Dominio del aparato matemático que se debe desarrollar para la comprensión de todos sus efectos, tanto sobre los sistemas que alimenta, como sobre la red de la cual toma la energía a convertir.
- ▶ Analizar parámetros que no se pueden medir directamente y que, en muchas ocasiones, habrá que estimar.
- ▶ Estudiar los efectos de ser los interruptores electrónicos componentes no lineales. Ya que introducirán estados transitorios con una fuerte dependencia sobre los demás elementos del rectificador, por lo que se tratará de independizarlos y estudiar sus efectos de forma separada.

Por todo lo anterior, el estudio de los rectificadores de potencia se realizará siguiendo unas pautas bien definidas,

---

▶ **Estudio de las tensiones**

- ▶ Para el estudio de las tensiones se va a, en un primer momento, a despreciar todas las caídas de tensión del sistema cuando está en carga.
- ▶ A partir de las tensiones alternas, se deduce la tensión rectificadora de vacío  $V_{LC_0}$ .
- ▶ Se deduce el factor de ondulación de dicha tensión.
- ▶ Y, por último, la tensión inversa máxima en bornes de los diodos.

▶ **Estudio de las corrientes**

- ▶ Se deduce la corriente a través de los diodos, a partir de la corriente suministrada al lado de continua.
- ▶ Seguidamente se deduce la intensidad por los devanados secundarios del transformador, por los primarios y finalmente la corriente de línea.
- ▶ Para el estudio de las corrientes se parte de considerar la carga lo suficientemente inductiva (lo que generalmente es cierto) para permitir suponer su corriente rigurosamente constante, confundíndose, por tanto, su valor instantáneo  $i_L$  con su valor medio  $I_C$ .

▶ **Estudio de las caídas de tensión**

- ▶ Con las corrientes ya determinadas, se puede calcular la caída de tensión debida a las resistencias, a la conmutación no instantánea en reactancias del secundario del transformador y a la caída interna de los diodos.
- ▶ Determinada la caída de tensión se puede calcular la tensión rectificadora en carga  $V_{LC}$ .

Nota: Este cálculo es imprescindible en los rectificadores no controlados.



## Otras consideraciones importantes:

---

- ▶ Los semiconductores de silicio son elementos muy sensibles a las sobrecargas, aun cuando éstas sean de corta duración. Por ello es interesante añadir una cuarta etapa en el estudio de los montajes. Se trata de estudiar su **funcionamiento en cortocircuito**; lo que permitirá conocer las peores condiciones a que se pueden ver sometidos los diodos y el transformador, pudiendo así determinar las protecciones correspondientes.
- ▶ Las condiciones de funcionamiento de un rectificador, de manera especial en los rectificadores totalmente controlados, dependerá de la naturaleza de la carga que está alimentando. Se considerarán tres tipos de carga: resistiva, inductiva y activa.

## Tipos de rectificadores polifásicos

---

Los tipos básicos de rectificadores polifásicos son:

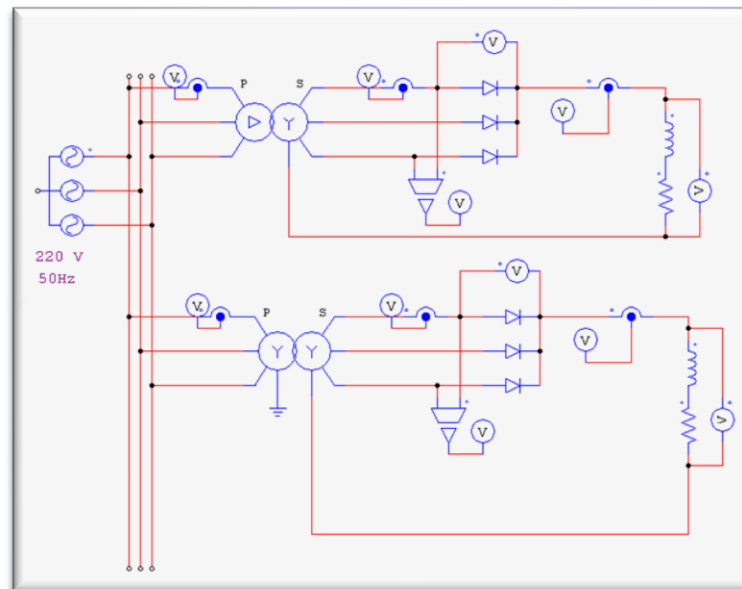
- ▶ los rectificadores paralelos, también denominados P
- ▶ los paralelos dobles, también denominados PD
- ▶ los series, también denominados S

Los tipos básicos de funcionamiento son:

- ▶ los rectificadores no controlados, en base a diodos
- ▶ los rectificadores totalmente controlados, en base a tiristores
- ▶ los rectificadores semicontrolados, en base a diodos y tiristores

## Montajes de conmutación paralela

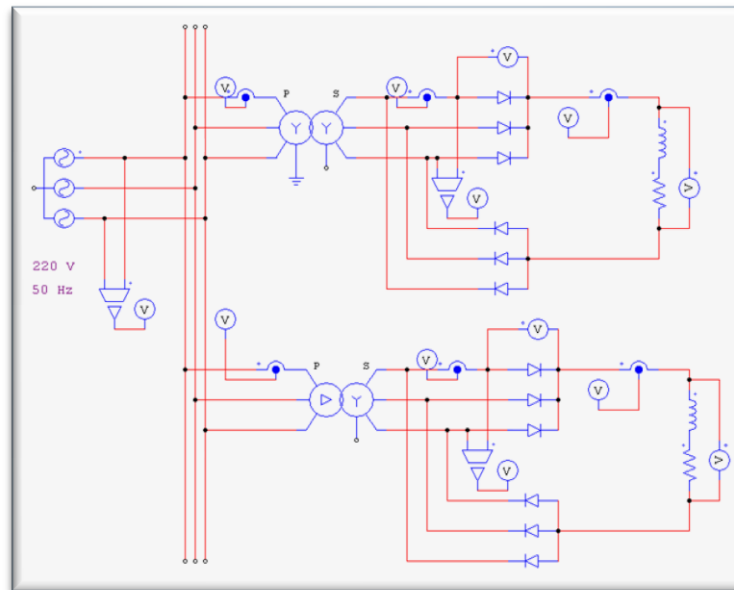
Las  $q$  fases, donde residen las  $q$  tensiones a rectificar, están conectadas en *estrella*. Gracias a  $q$  diodos, el borne positivo de la carga está unido en cada instante, a través del diodo correspondiente, a la tensión más positiva de la red.



*Dos rectificadores con diodos P3*

# Montajes de conmutación paralela doble

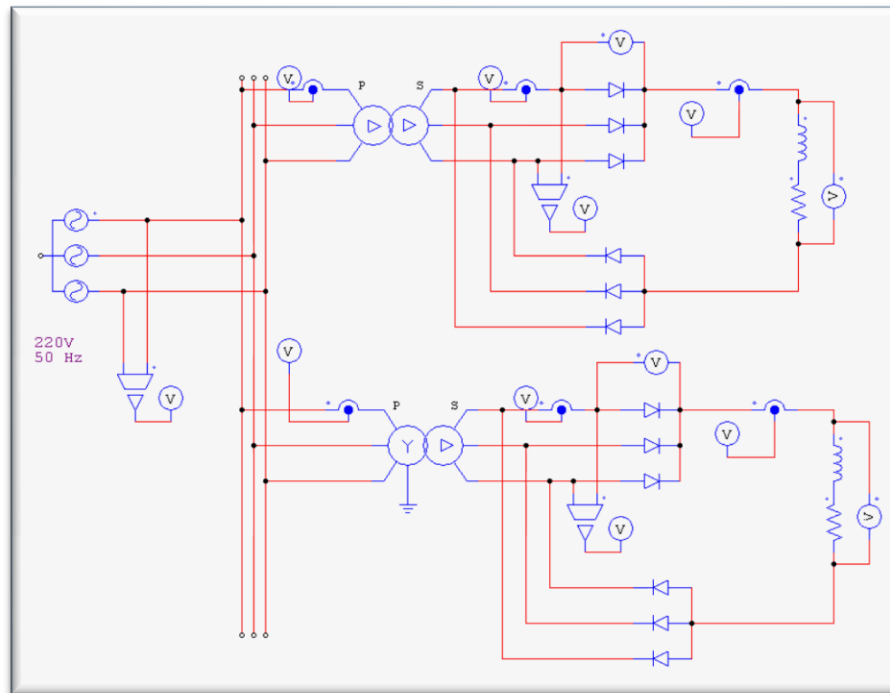
- ▶ Los  $q$  devanados, donde se encuentran las  $q$  tensiones alternas a rectificar, están en esta ocasión conectados en estrella, pero se utilizarán  $2q$  diodos en el grupo conmutador.
- ▶ El primer grupo de diodos forma un conmutador más positivo, uniendo el borne positivo de la carga a la más positiva de las tensiones de fase. La segunda serie de diodos  $D'$  formando un conmutador más negativo, que une el borne negativo de la carga a la más negativa de las tensiones de fase.
- ▶ La tensión rectificada es, en cada instante, igual a la diferencia entre la tensión más positiva y más negativa de las tensiones alternas.



*Dos rectificadores con diodos PD3*

## Montajes de conmutación serie

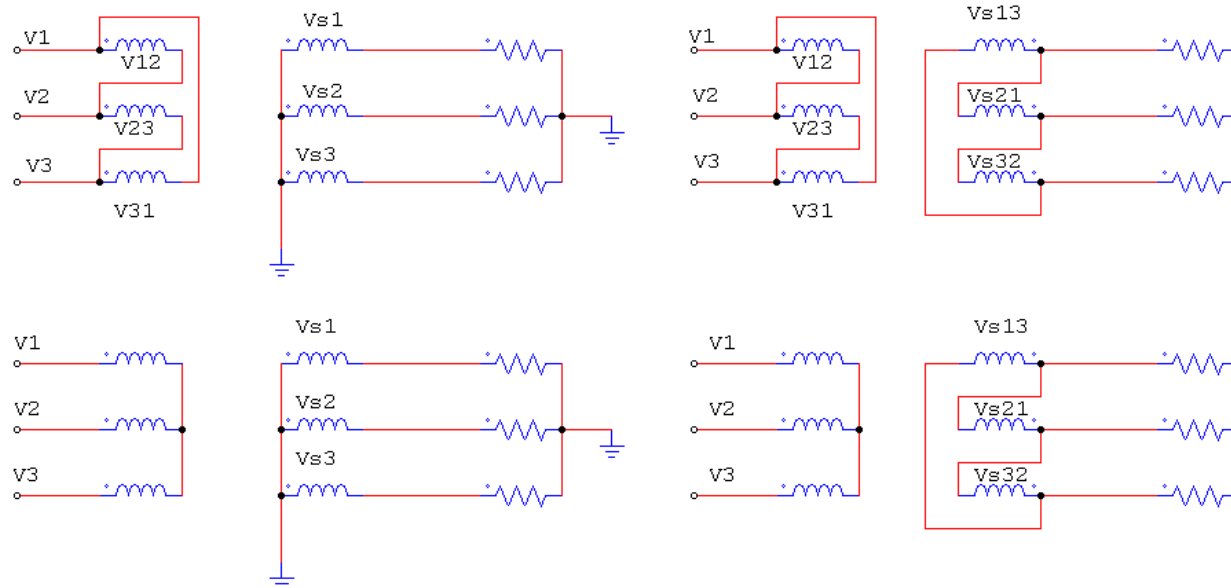
- ▶ Los devanados en cuyos bornes aparecen las tensiones alternas se montan *en polígono* (la suma de  $q$  tensiones que forman un sistema equilibrado es nula). Existen en este caso  $2q$  diodos,  $q$  con los cátodos unidos al mismo borne positivo y  $q$  con los ánodos unidos al mismo borne negativo.
- ▶ Como se estudiará, más adelante, el rectificador trabaja en base a la suma de las tensiones presentes en los secundarios del transformador y no en base a su diferencia como en los PD.



Dos rectificadores con diodos S3

## Representación vectorial de tensiones simples y compuestas

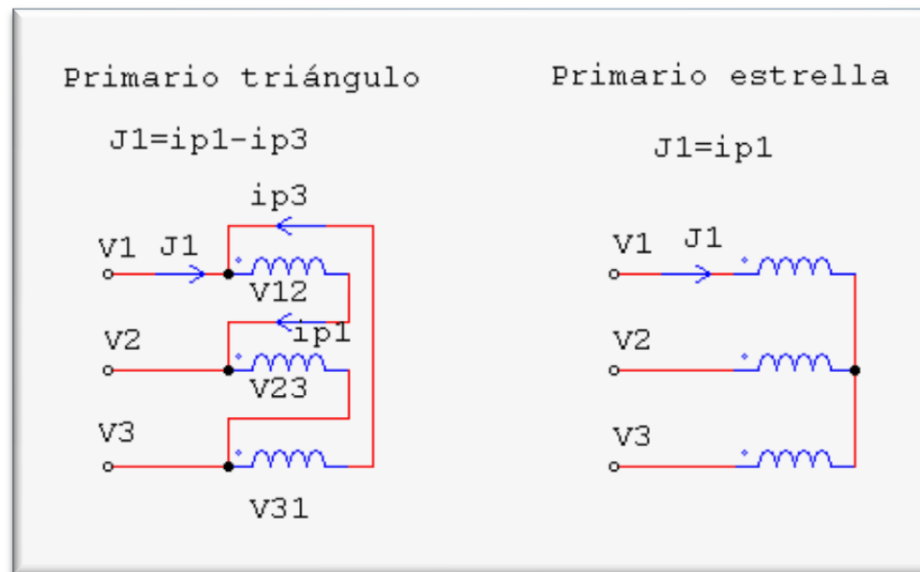
Representación vectorial de tensiones simples y compuestas en los rectificadores trifásicos, dependiendo del tipo de transformador que se utilice



Configuraciones de transformador convenientes

## Cálculo de la corriente absorbida de la red

Cálculo de la corriente absorbida de la red en función de la configuración del primario del transformador



Observación: las componentes continuas en las corrientes secundarias del transformador no pueden ser transferidas a los bobinados primarios.