

MODULO N°5

RECTIFICADORES TRIFÁSICOS

UNIDAD: CONVERTIDORES CA - CC

TEMAS:

- Parámetros de los Rectificadores Trifásicos.
- Rectificador Trifásico de Media Onda.
- Rectificador Trifásico de Onda Completa con Puente de Diodos.
- Comparación de los Sistemas de Rectificación.

OBJETIVOS:

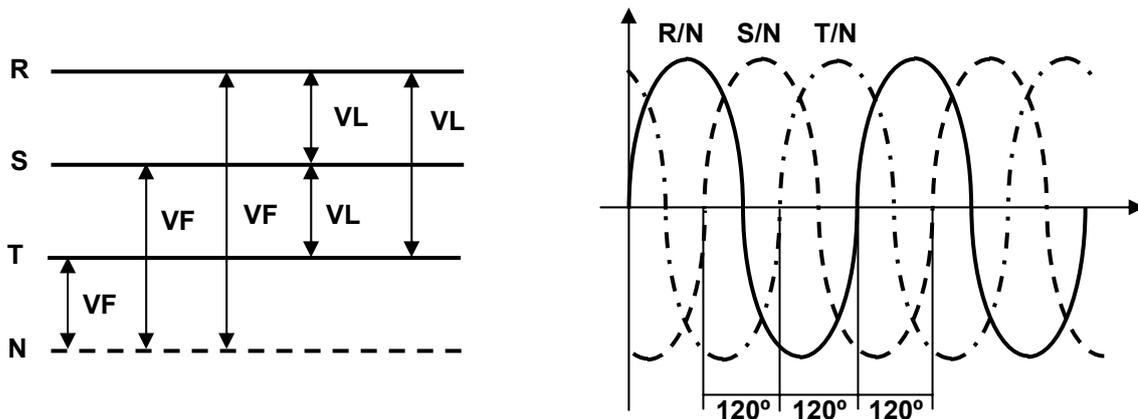
- Entender el funcionamiento del rectificador de media onda
- Entender el funcionamiento del rectificador de onda completa.
- Realizar el cálculo de circuitos de rectificación.
- Comprender las ventajas y desventajas de los diferentes rectificadores

DESARROLLO DE TEMAS

1. Parámetros de los Rectificadores Trifásicos:

La mayoría de valores antes aprendidos para sistemas de rectificación monofásicos son igualmente utilizados en sistemas trifásicos, tales como: $V_{m\acute{a}x}$, V_m , V_d , V_{inv} , I_m , I_d , P_c y n . Sin embargo los valores referentes a la red ya no pueden ser utilizados de la misma manera ya que como se verá más adelante se utiliza la red trifásica. De acuerdo a esto aparecen nuevos parámetros para el ingreso del rectificador que se estudian en breve.

El sistema trifásico que se utilizará, se caracteriza por poseer 4 líneas de corriente divididas en: 1 cable de regreso de corriente o neutro y 3 cables de tensión o fases cada uno de los cuales transporta un tensión senoidal de igual amplitud pero con un desfase de 120° eléctricos entre cada uno. Esto se puede apreciar de mejor manera en la siguiente figura:



La distribución antes vista da lugar a diferentes tensiones que pueden ser clasificadas en 2: Tensiones de Fase (VF) y tensiones de Línea (VL). De acuerdo a esto se tienen 3 tensiones de fase (V_{RN} , V_{SN} , V_{TN}) y 3 Tensiones de línea (V_{RS} , V_{ST} , V_{RT}). Es de mencionar que las tensiones de línea también son senoidales y con desfases de 120° la única diferencia es la amplitud, es decir, son más grandes.

Matemáticamente las tensiones de fase y de línea se relacionan mediante la siguiente expresión:

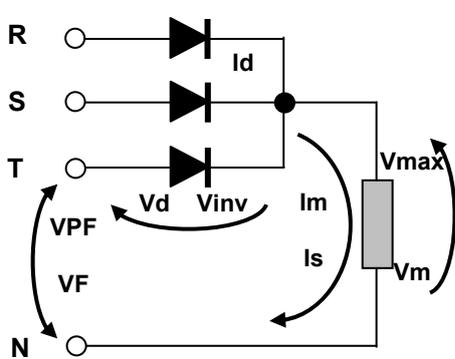
$$V_L = \sqrt{3} \cdot V_F = 1.732 \cdot V_F$$

En los sistemas trifásicos también es importante diferenciar entre voltajes eficaces y voltajes picos, tanto de fase como de línea, mismos que serán de gran utilidad en los posteriores análisis. A continuación se presentan estas relaciones:

$$\begin{aligned} V_{ef F} &= V_F \\ V_{ef L} &= V_L \\ V_{PF} &= V_F / 0.707 \\ V_{PL} &= V_L / 0.707 \\ V_{PL} &= 1.732 * V_{PF} \end{aligned}$$

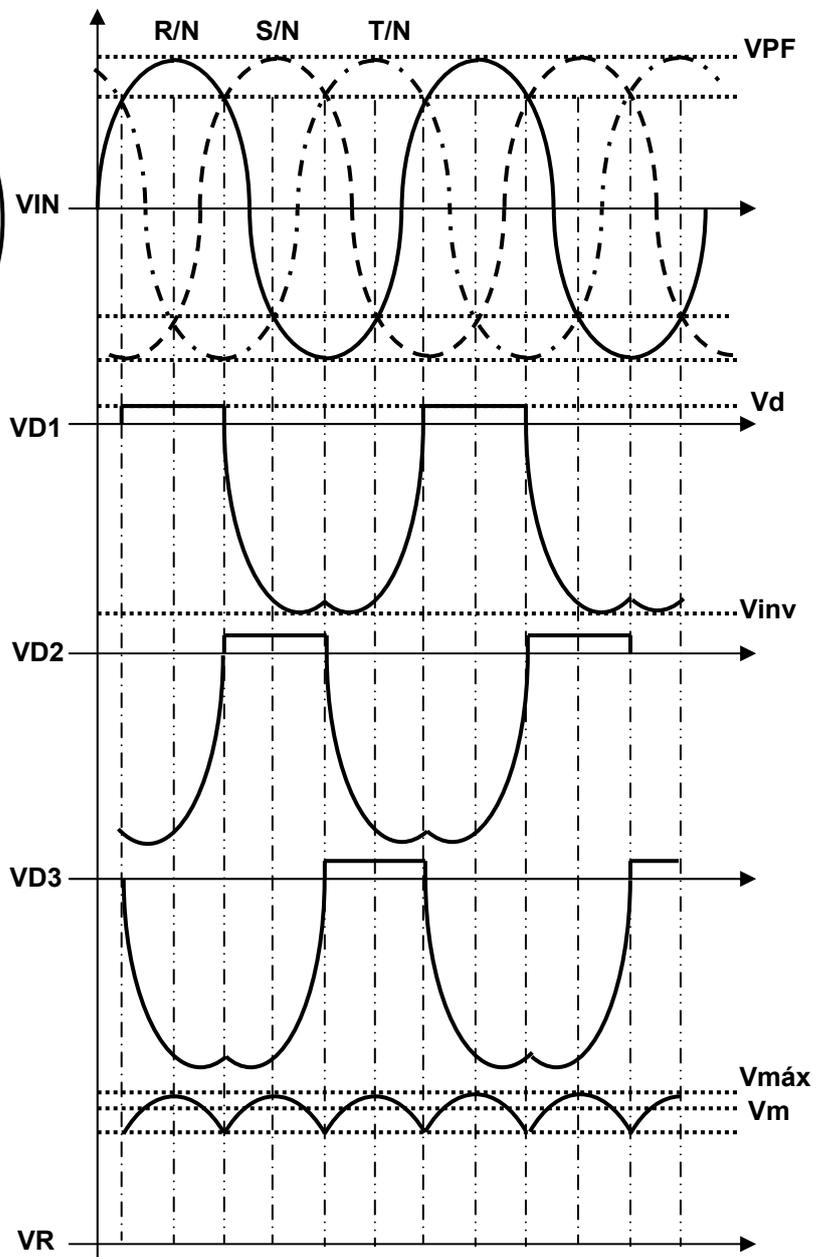
2. Rectificador Trifásico de Medio Onda:

Básicamente se trata de 3 rectificadores monofásicos de media onda combinados (un diodo por fase), sin embargo debido al desfase entre los voltajes de cada rectificador, cada diodo solo conduce un cierto intervalo de tiempo no todo el semiciclo. Esto logra que el voltaje en la carga nunca descienda a cero, por lo que el voltaje medio alcanza hasta un 82% del voltaje máximo:

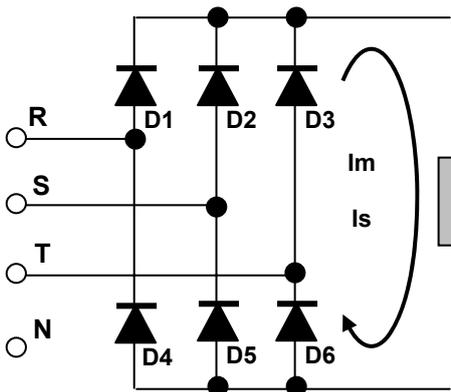


FORMULAS:

$$\begin{aligned} V_{PF} &= V_F / 0.707 \\ V_{PL} &= 1.732 * V_{PF} \\ V_{max} &= V_{PF} - V_d \\ V_m &= 0.827 * V_{max} \\ V_{inv} &= V_{PL} \\ I_m &= V_m / R \\ I_d &= I_m / 3 \\ I_s &= 0.586 * I_m \\ P_c &= V_m * I_m \\ P_c &= I_m^2 * R \\ P_c &= V_m^2 / R \\ P_T &= 3 * V_F * I_s \\ n &= P_c / P_T \end{aligned}$$

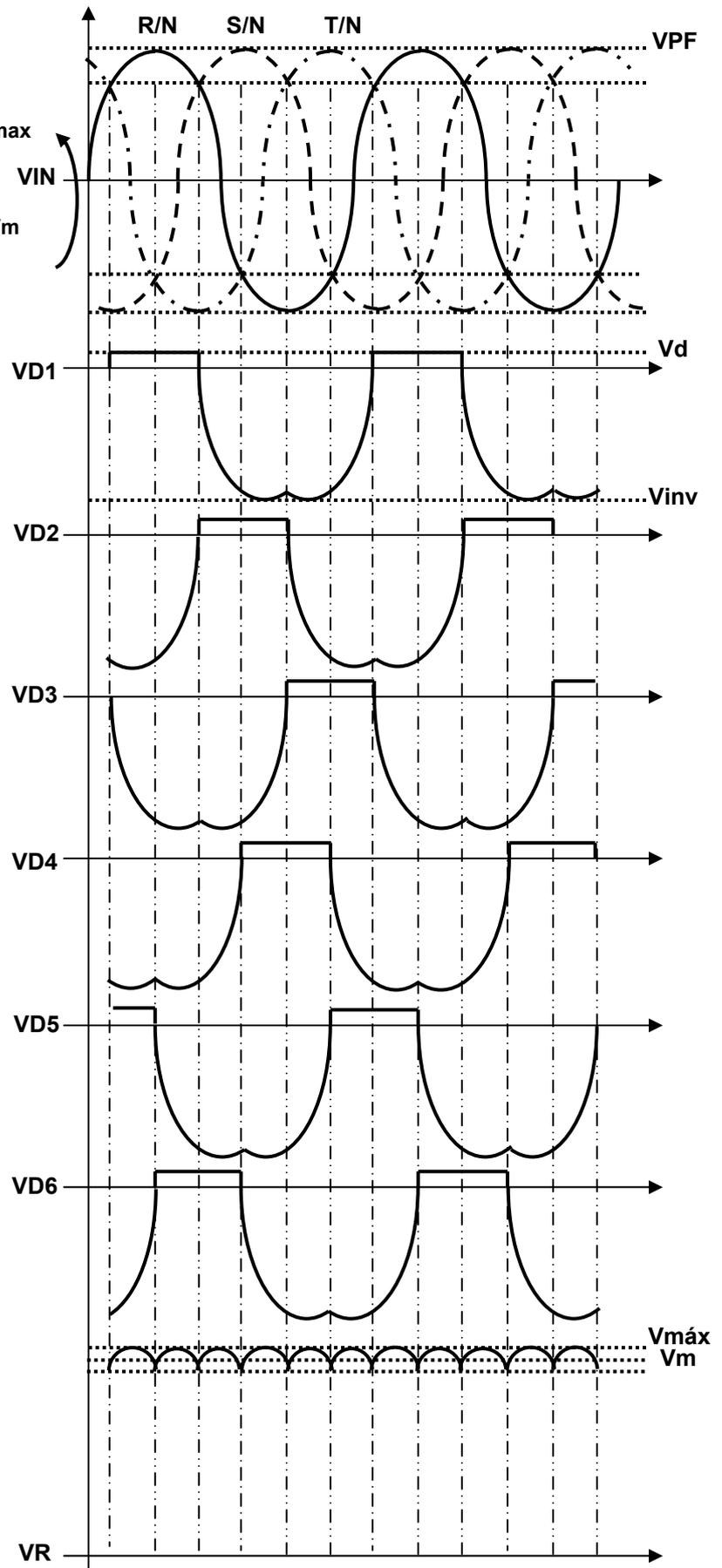


3. Rectificador Trifásico de Onda Completa con Puente:



FORMULAS:

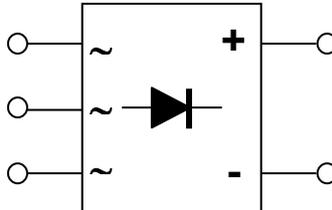
$$\begin{aligned}
 VPF &= VF / 0.707 \\
 VPL &= 1.732 * VPF \\
 VPL &= VL / 0.707 \\
 Vmax &= VPL - 2 * Vd \\
 Vm &= 0.955 * Vmax \\
 Vinv &= VPL \\
 Im &= Vm / R \\
 Id &= Im / 3 \\
 Is &= 0.817 * Im \\
 Pc &= Vm * Im \\
 Pc &= Im^2 * R \\
 Pc &= Vm^2 / R \\
 PT &= 3 * VF * Is \\
 n &= Pc / PT
 \end{aligned}$$



El rectificador trifásico de onda completa, también puede ser visto como 3 puentes monofásicos combinados (uno por cada par de fases).

Un aspecto sobresaliente de este rectificador es que el voltaje máximo de la carga es prácticamente igual al voltaje pico de línea, es decir se tiene aproximadamente el doble de voltaje que en el rectificador trifásico de media onda, con un voltaje medio cercano al 100% (95%), lo cual se ve reflejado en un menor desperdicio de potencia que cualquier otro sistema de rectificación.

El puente de diodos trifásico también puede venir integrado en cuyo caso se puede utilizar el siguiente símbolo:



Un detalle final, es que al igual que en los rectificadores monofásicos, en estos sistemas también es indispensable la utilización del diodo antiparalelo cuando se trabaja con cargas inductivas, a fin de evitar la destrucción de los diodos del rectificador.

4. Comparación de los Sistemas de Rectificación:

Para finalizar, se presenta a continuación una tabla que resume algunas de las características más relevantes de los rectificadores estudiados. En especial observe que el factor más importante es el rendimiento, por lo que a nivel industrial los rectificadores trifásicos son los más utilizados, donde sí se dispone de una red trifásica.

Sistema:	Ventajas:	Desventajas:
RMMO n ≈ 20% a 30%	<ul style="list-style-type: none"> • Simple • Costo mínimo (en cuanto a material) 	<ul style="list-style-type: none"> • Excesivo desperdicio de potencia • Bajo voltaje medio
RMOCP n ≈ 45% a 55%	<ul style="list-style-type: none"> • Los diodos manejan la mitad de la corriente total • Voltaje medio alto • Menor desperdicio de potencia • Disponible en paquetes de diodos 	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza 4 diodos • Complejo • Ocupa más espacio
RTMO n ≈ 60% a 70%	<ul style="list-style-type: none"> • Solo utiliza 3 diodos • Los diodos manejan la tercera parte de la corriente total • Voltaje medio muy cercano al voltaje pico de fase 	<ul style="list-style-type: none"> • Para su operación requiere del Terminal Neutro • Voltaje inverso igual al voltaje pico de línea (alto voltaje) • Desperdicio de Potencia
RTOCP n ≈ 85% a 95%	<ul style="list-style-type: none"> • Los diodos manejan la tercera parte de la corriente total • Voltaje medio muy cercano al voltaje pico de línea • Disponible en paquetes de diodos • Opera solo con 3 líneas • Muy bajo desperdicio de Potencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza 6 diodos • Complejo • Voltaje inverso igual al voltaje pico de línea (alto voltaje)

EJERCICIOS

En los siguientes ejercicios dibujar el esquema correspondiente a cada tipo de rectificación y resaltar todas las respuestas obtenidas con sus respectivas unidades:

1. Se tiene un circuito RTMO con $V_F = 220V$, $V_d = 2.5$ y $R_C = 300\Omega$. Calcular el resto de valores y redondee los diodos a comprar. **Respuestas: $I_s = 0.498A$; $n = 0.659$.**
2. Se tiene un circuito RTMO con $V_F = 4.5KV$, $V_d = 0$ e $I_m = 1000A$. Calcular el resto de valores y redondee los diodos a comprar. **Respuestas: $V_m = 5.26KV$; $n = 0.665$.**
3. Se tiene un circuito RTMO con $V_m = 50V$, $V_d = 2$ y $P_c = 2KW$. Calcular el resto de valores y redondee los diodos a comprar. **Respuestas: $V_F = 44.2V$; $n = 0.643$.**
4. Se tiene un circuito RTOCP con $V_F = 220V$, $V_d = 2.5$ y $R_C = 300\Omega$. Calcular el resto de valores y redondee los diodos a comprar. **Respuestas: $I_s = 1.389A$; $n = 0.946$.**
5. Se tiene un circuito RTOCP con $V_F = 4.5KV$, $V_d = 0$ e $I_m = 1000A$. Calcular el resto de valores y redondee los diodos a comprar. **Respuestas: $V_m = 10.53KV$; $n = 0.955$.**
6. Se tiene un circuito RTOCP con $V_m = 50V$, $V_d = 2$ y $P_c = 2KW$. Calcular el resto de valores y redondee los diodos a comprar. **Respuestas: $V_F = 23V$; $n = 0.887$.**