

CIRCUITOS RECTIFICADORES

11.1 Utilización del diodo

El diodo semiconductor se lo emplea en circuitos en los que se quiere aprovechar la diferente resistencia que presenta en un sentido o en el otro.

El gráfico de la corriente en el diodo en función de la tensión aplicada al mismo es el de la figura 15.1, para un diodo real y el de la figura 11.2 para uno ideal..

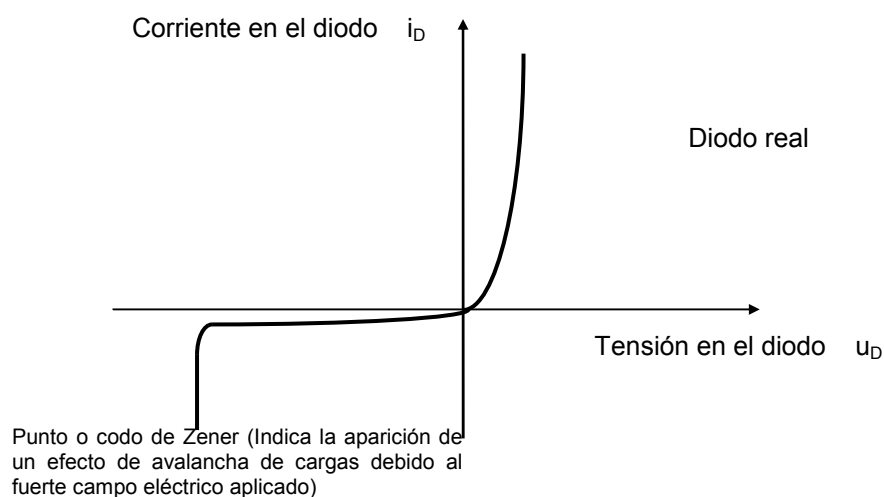


Figura 11.1 Corriente en el diodo en función de la tensión aplicada en un diodo real

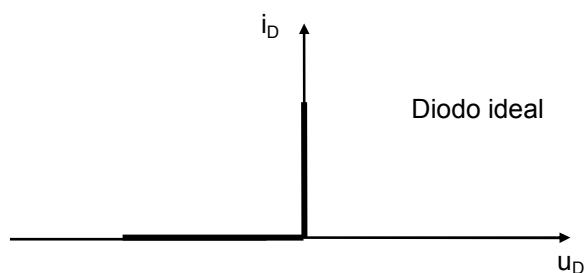


Figura 11.2 Corriente en el diodo en función de la diferencia de potencial aplicada en un diodo ideal

El símbolo gráfico del diodo es el mostrado en la siguiente figura 11.3.



Figura 11.3 Símbolo gráfico de un diodo

11.2 Rectificación

La rectificación es un proceso por el cual se obtiene corriente y tensión unidireccional, partiendo de una tensión alterna.

Para dicho proceso se utilizan diodos, ya que los mismos conducen corriente en un sólo sentido.

En todo circuito rectificador interesa definir:

- La forma de onda de la corriente y la tensión sobre la carga.
- La eficiencia del sistema rectificador, que es la relación de la potencia de salida, a la potencia tomada de la fuente.
- El valor máximo o de cresta de la corriente por el diodo.
- El valor máximo de la tensión a través del elemento rectificador en el sentido inverso (Tensión de pico ó cresta inversa).

11.3 Circuitos rectificadores

Circuito rectificador monofásico de media onda

El esquema de un circuito rectificador de media onda se muestra en la figura 11.4.

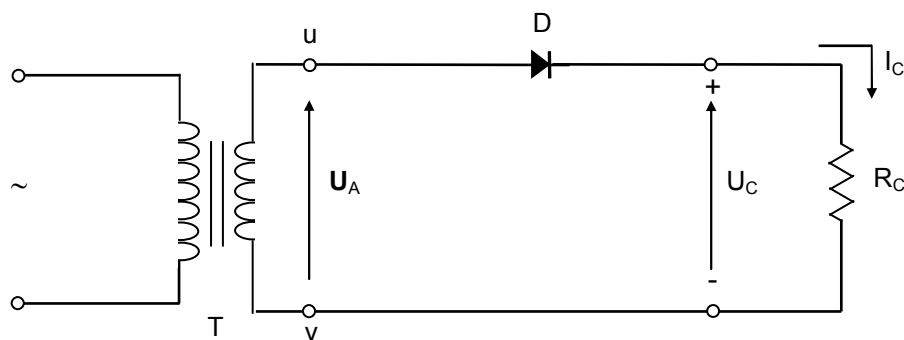


Figura 11.4 Circuito rectificador monofásico de media onda

U_A : Tensión a la salida del transformador (Valor eficaz) [V]

U_C : Tensión unidireccional sobre la carga [V]

I_C : Corriente unidireccional sobre la carga [A]

R_C : Resistencia de carga [Ω]

T : Transformador monofásico.

D : Diodo.

Como el elemento rectificador “D”, solo permite el paso de corriente en un solo sentido, únicamente circulará corriente por la resistencia de carga, en los momentos en los cuales el borne “u” es más positivo que el borne “v”.

Si la tensión de salida del transformador es de forma senoidal:

$$u(t) = U_{\max} \sin \omega t$$

Podemos observar que durante el intervalo de $0 - \pi$, el borne “u” es más positivo, con lo cual el diodo “D” conduce, y sobre la resistencia de carga R_C , circula una corriente cuyo valor esta dado por:

Esta situación se presenta en la figura 11.5

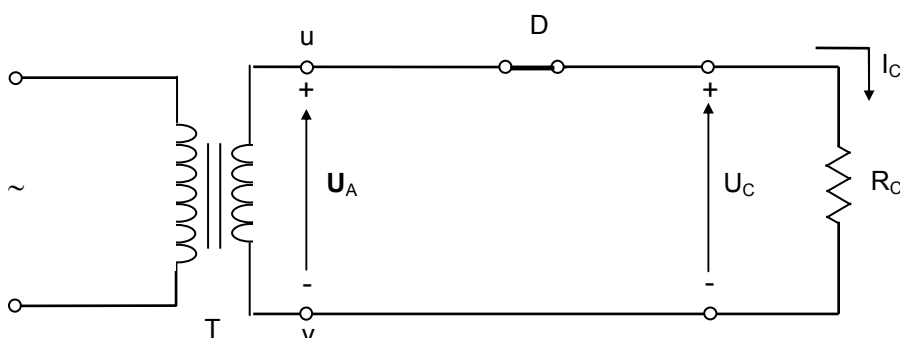


Figura 11.5 Situación de conducción cuando borne “u” es más positivo que el “v”

En el intervalo $\pi - 2\pi$, la polaridad de “u” es negativa con respecto a “v” (“v” es positiva con respecto a “u”), por lo tanto no hay circulación de corriente (Diodo bloqueado). Situación que se muestra en la figura 11.6.

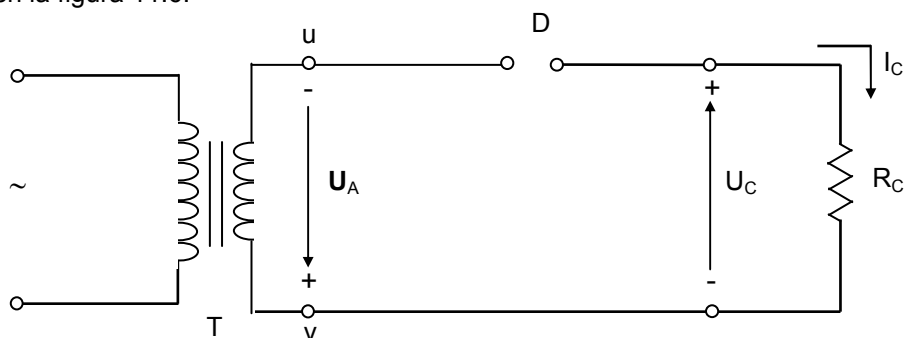


Figura 11.6 Situación de conducción cuando el borne “v” es más positivo que el “u”

Las formas de onda que aparecen sobre la carga son las mostradas en los gráficos de la figura 11.7.

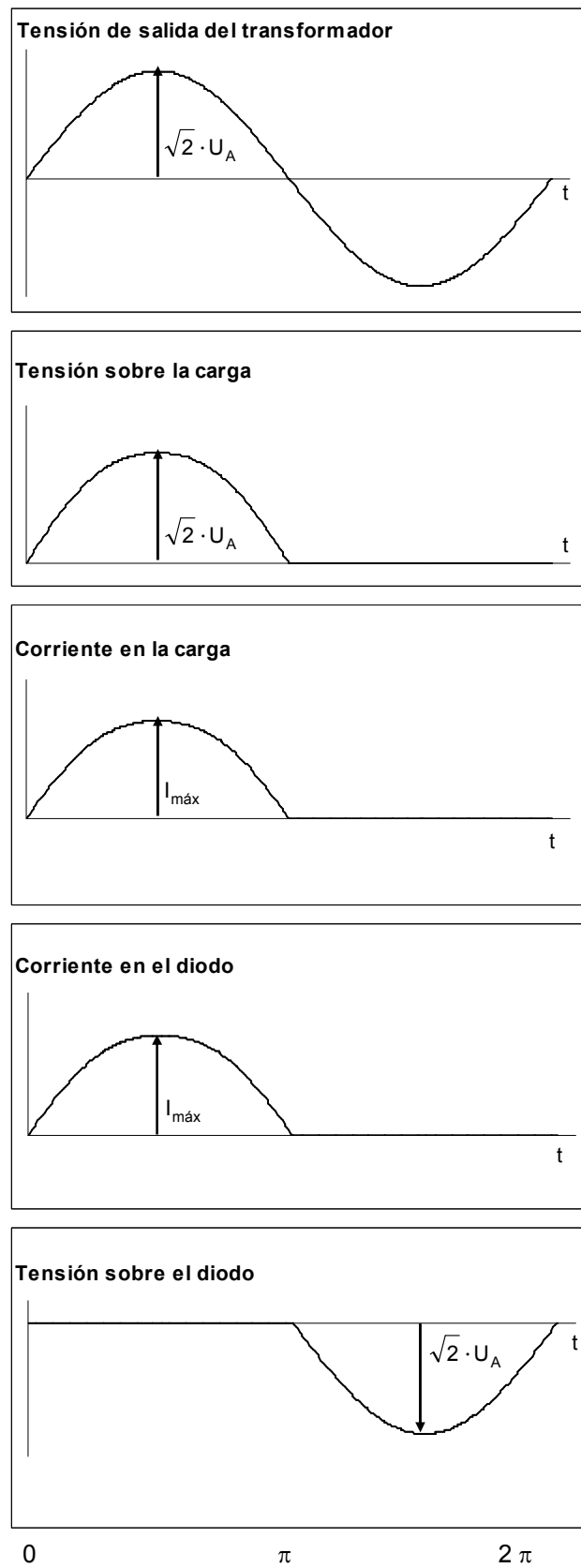


Figura 11.7 Formas de onda sobre la carga y los distintos elementos del rectificador monofásico de media onda

A los fines prácticos conviene conocer el valor medio de las ondas de salida

$$U_C = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} \int_0^{\omega/\pi} u_C \cdot dt$$

$$U_C = \frac{U_{\max}}{\pi} = \sqrt{2} \frac{U_A}{\pi}$$

$$U_C = 0,45 U_A$$

El valor eficaz de la corriente en la carga va a estar dado por:

$$I_{\text{ef}} = \sqrt{\frac{\omega}{2 \cdot \pi} \int_0^{\omega/2\pi} i_C^2 dt}$$

$$I_{\text{ef}} = \frac{I_{\max.}}{2}$$

Análogamente la tensión eficaz sobre la carga es :

$$U_{\text{ef.}} = I_{\text{ef}} \cdot R_C = \frac{U_{\max}}{2}$$

La corriente eficaz en el diodo es igual a la de la carga.

La potencia de salida sobre la carga es :

$$P_C = I_C^2 \cdot R_C = \frac{U_{\max}^2}{\pi^2 \cdot R_C}$$

La potencia a la salida del transformador es :

$$P = I_{\text{ef}}^2 \cdot R_C = \frac{U_{\max}^2}{4 \cdot R_C}$$

La eficiencia de la rectificación será:

$$\varepsilon = \frac{P_C}{P} = \frac{4}{\pi^2} = 0,406$$

El valor máximo de la tensión inversa que aparece sobre el diodo cuando está bloqueado, es la tensión del secundario del transformador en su valor máximo:

$$U_P = \sqrt{2} U_A$$

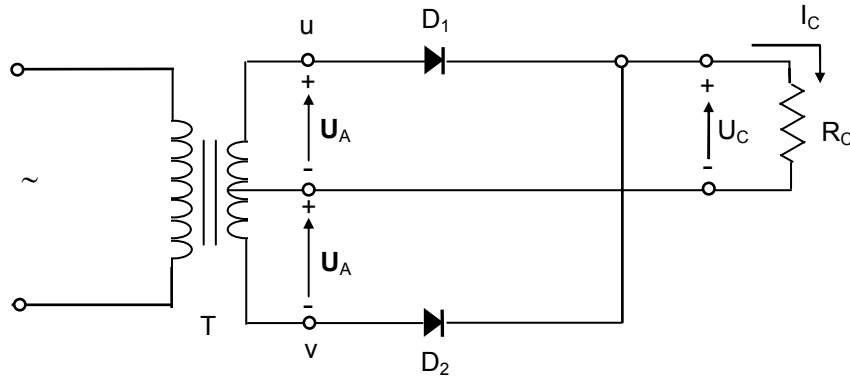
Circuito rectificador monofásico de onda completa

Figura 11.8 Circuito rectificador monofásico de onda completa

En este caso el transformador adaptador debe tener un punto medio en su secundario.

Cuando el potencial de “u” es más positivo que el de “v”, el diodo **D₁** está en condiciones de conducir, mientras que el diodo **D₂** se encuentra bloqueado, lo cual se muestra en la figura 11.9.

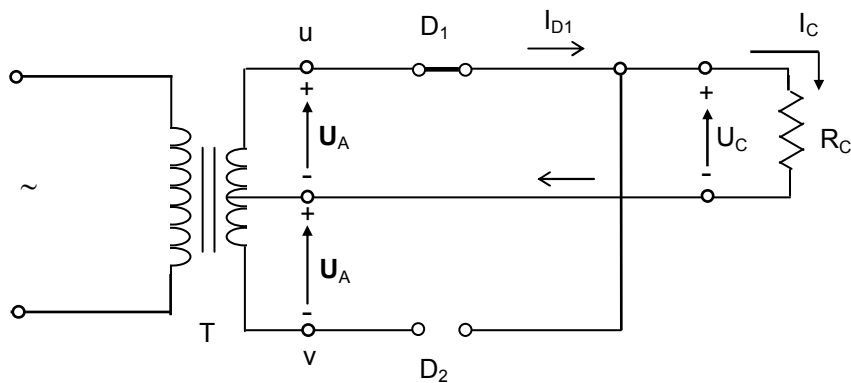


Figura 13.9 Situación de conducción cuando el borne “u” es más positivo que el “v”

Análogamente en la figura 11.10 observamos que cuando el punto “v” es más positivo que el “u”, el diodo **D₂** se encuentra en situación de conducción mientras que el **D₁** está bloqueado.

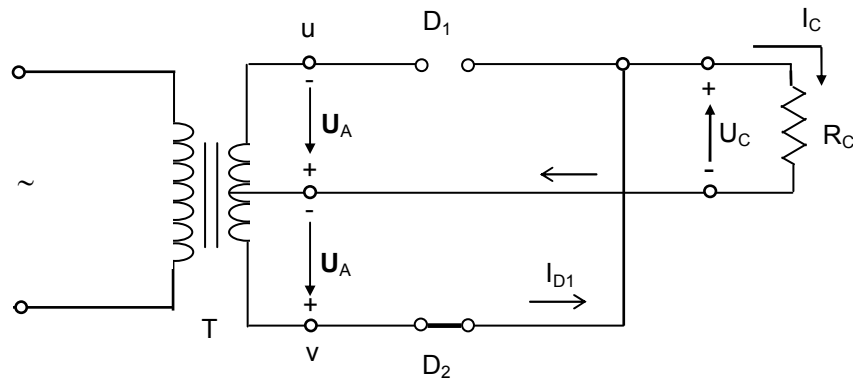


Figura 11.10 Situación de conducción cuando el borne “v” es más positivo que el “u”

Las formas de onda que aparecen sobre la carga son, las mostradas en la figura 11.11.

Los valores medios y eficaces de las tensiones y corrientes sobre la carga son:

$$U_C = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} \int_0^{2\pi} u_C dt$$

$$U_C = \frac{2 \cdot U_{\max}}{\pi} = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot U_A}{\pi}$$

$$U_C = 0,90 U_A$$

Análogamente se obtienen los valores eficaces:

$$U_{\text{ef}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} = U_A$$

$$I_{\text{ef}} = \frac{U_A}{R_C}$$

La potencia de salida sobre la resistencia de carga está dada por:

$$P_C = I_C^2 \cdot R_C = \frac{4 \cdot U_{\max}^2}{\pi^2 \cdot R_C}$$

La potencia de salida del transformador es :

$$P = I_{\text{ef}}^2 \cdot R_C = \frac{U_{\max}^2 \cdot R_C}{2}$$

Siendo la eficiencia : $\varepsilon = 0,81$

$$\text{La corriente media en los diodos : } I_{CD} = \frac{I_{\max}}{\pi} = \frac{I_C}{2}$$

$$\text{La corriente eficaz en los diodos es : } I_{\text{ef}} = I_{\max}/2 = I_{\text{ef}}/\sqrt{2}$$

La tensión de pico inversa en los diodos está dada por la tensión máxima a la salida del transformador (Bornes u - v), ya que cuando uno de los diodos se bloquea, uno de sus terminales coincide con uno de los bornes terminales del transformador, y el otro borne del diodo coincide con el otro borne del transformador a través del diodo que está conduciendo.

$$U_P = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot U_A$$

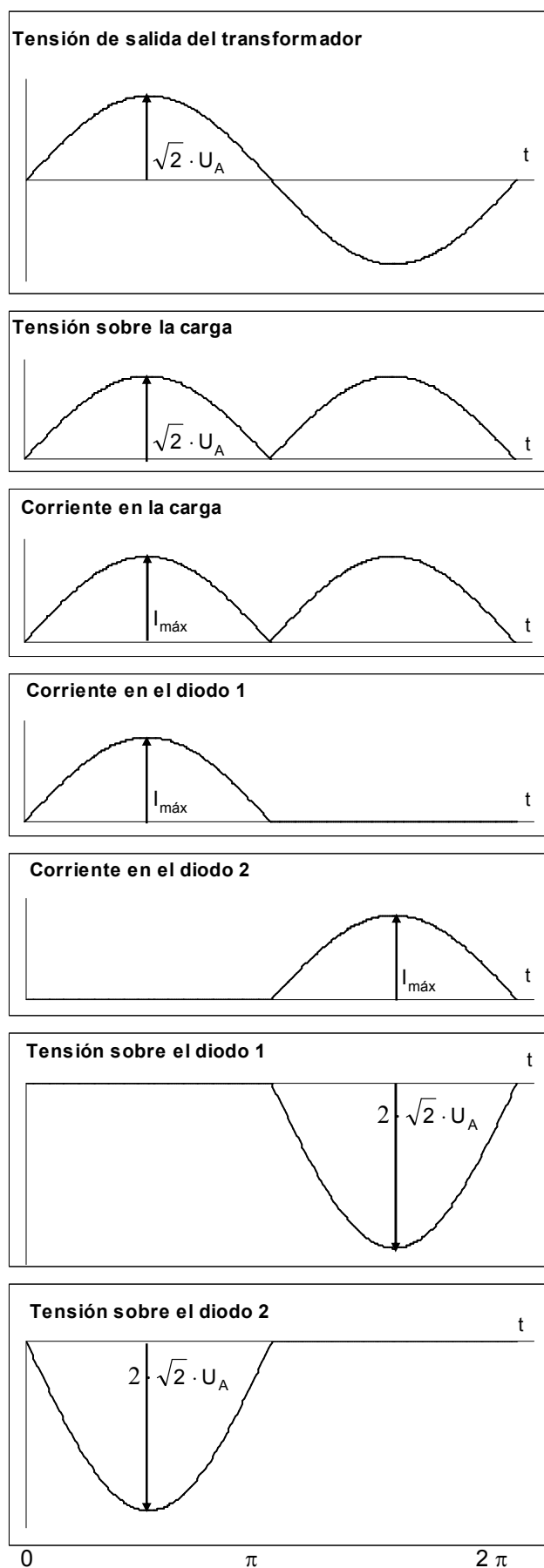


Figura 11.11
Formas de onda sobre la
carga y los distintos
elementos
del rectificador monofásico
de onda completa

Circuito rectificador monofásico de onda completa puente

El esquema es el que se muestra en la figura 11.12.

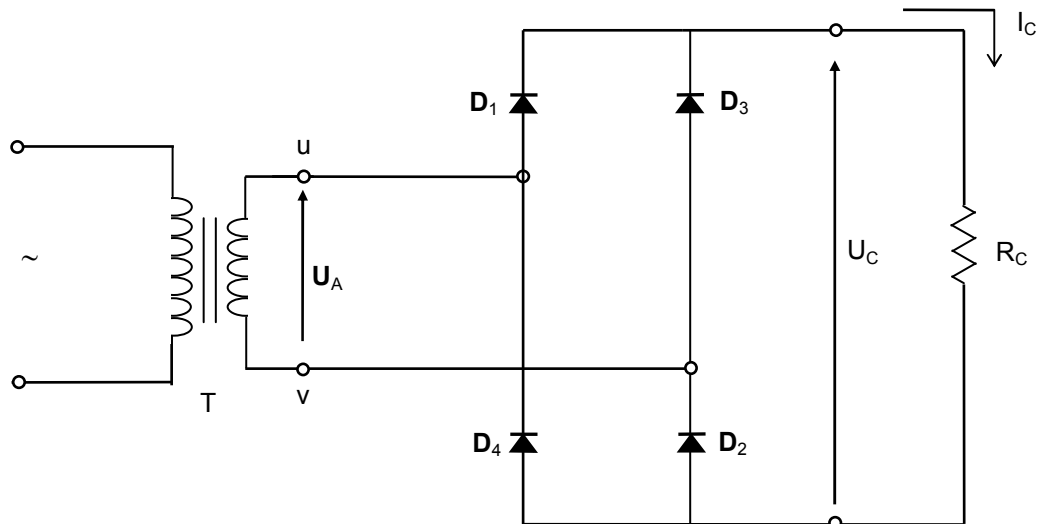


Figura 11.12 Circuito rectificador monofásico de onda completa puente

Este circuito rectificador tiene una respuesta similar al anterior pero el transformador no tiene punto medio, lo cual lo hace más económico, ya que el costo de los diodos es relativamente bajo con respecto al transformador.

Cuando el borne “u” del secundario del transformador es más positivo que el “v”, los diodos **D₁** y **D₂** están en condiciones de conducción y los diodos **D₃** y **D₄** se bloquean.

Luego en el semiciclo positivo la corriente circula saliendo desde el borne “u” pasa por el diodo **D₁**, por la carga **R_C** y a través del diodo **D₂** retorna al transformador por el borne “v”. Esto se puede observar en la figura 11.13.

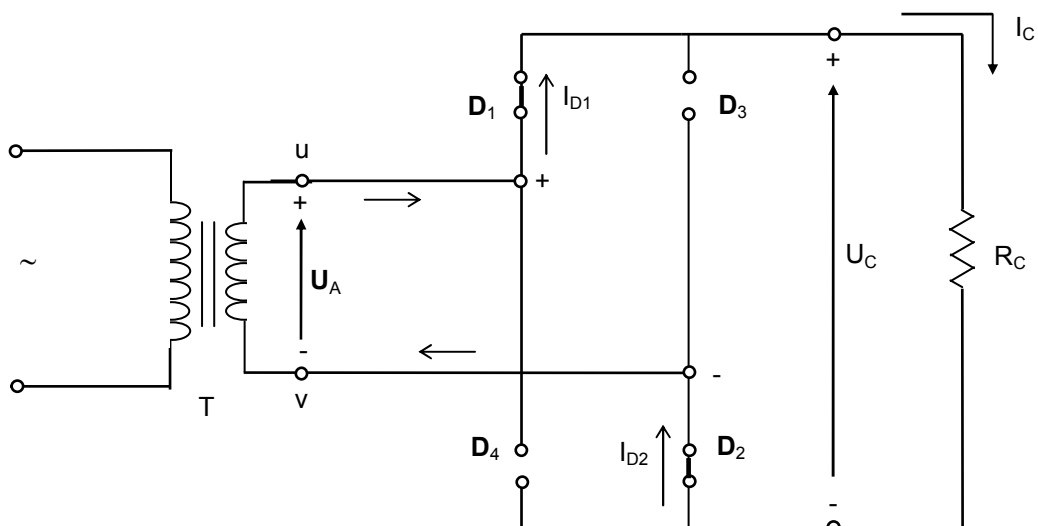


Figura 11.13 Situación de conducción cuando el borne “u” es más positivo que el “v”

En el siguiente semiciclo el borne “v” es más positivo que el “u”, con lo cual el proceso es similar, pero los diodos que conducen son los **D₃** y **D₄** y se bloquean los diodos **D₁** y **D₂**, siendo el

sentido de circulación de la corriente en la carga igual en ambos casos, según lo mostrado en la figura 11.14.

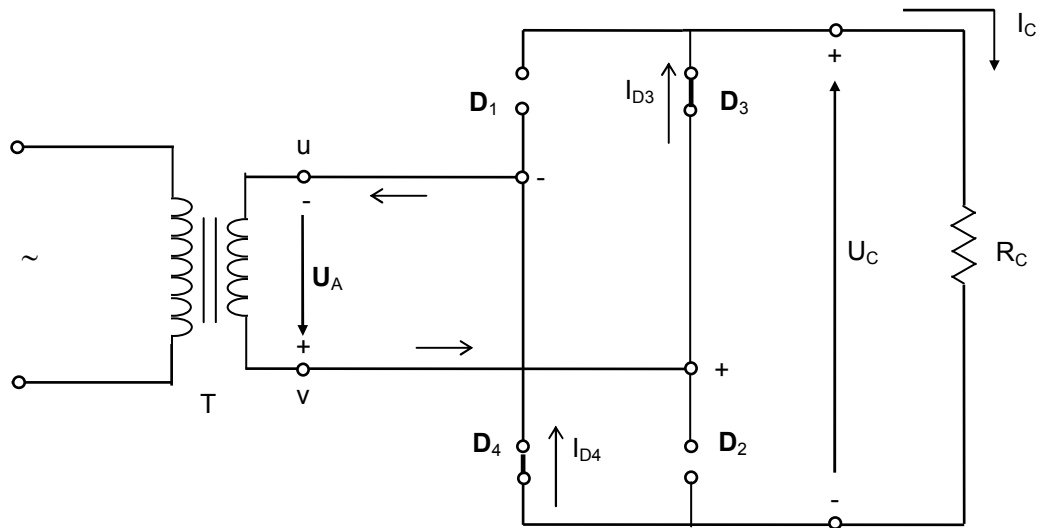


Figura 11.14 Situación de conducción cuando el borne “v” es más positivo que el “u”

Los valores medios y eficaces sobre la carga son análogos a los del circuito rectificador de onda completa con transformador con punto medio anterior.

$$U_C = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} \int_0^{2\pi} u_C dt$$

$$U_{ef} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} = U_A$$

$$U_C = \frac{2 \cdot U_{max}}{\pi} = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot U_A}{\pi}$$

$$I_{ef} = \frac{U_A}{R_C}$$

$$U_C = 0,90 U_A$$

La tensión de pico inversa sobre los diodos es:

$$U_P = \sqrt{2} \cdot U_A$$

ya que los bornes de un diodo cuando no conduce están al mismo potencial que los bornes del transformador (u - v)

Las formas de onda se pueden visualizar en la figura 11.15.

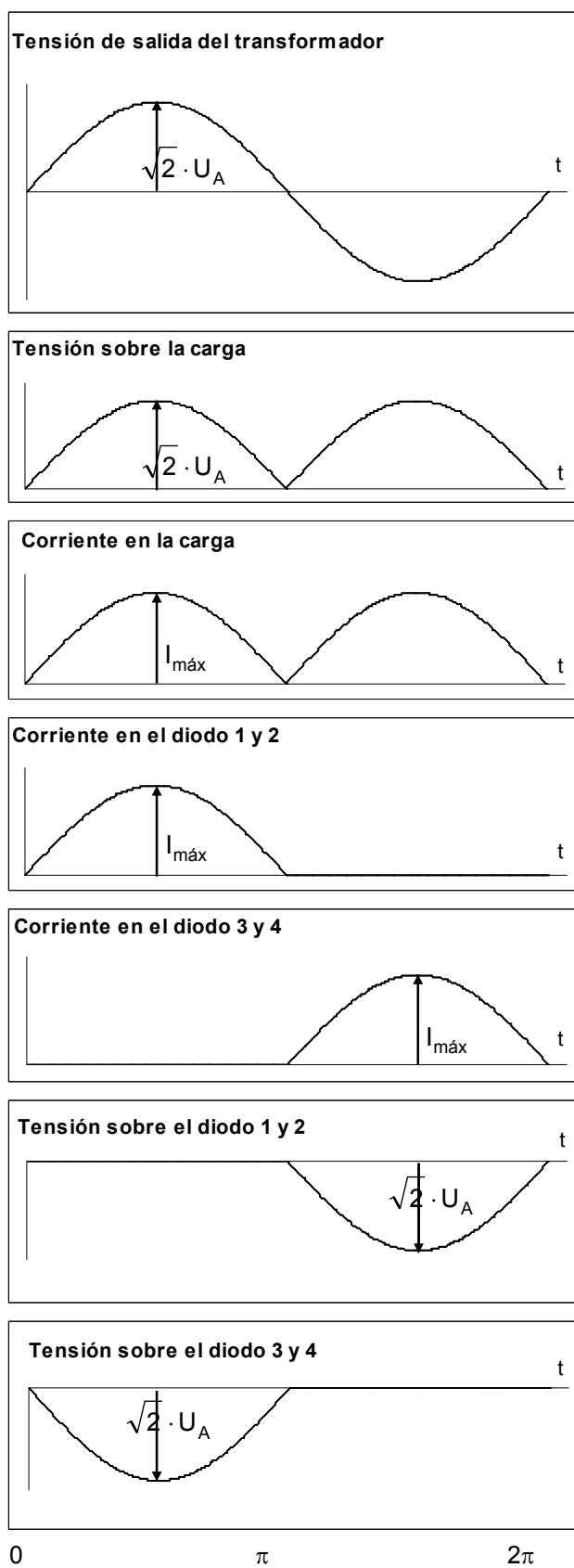


Figura 11.15 Formas de onda del rectificador monofásico de onda completa puente

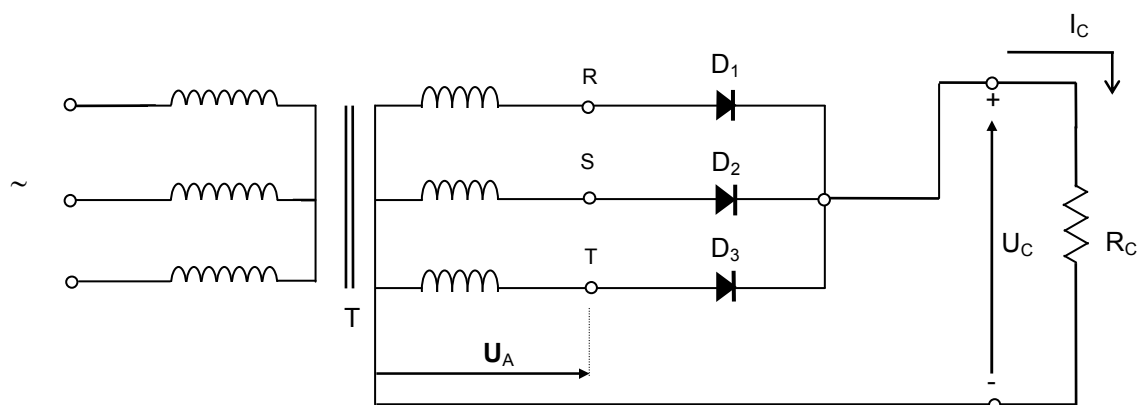
Circuito rectificador trifásico de media onda

Figura 11.16 Circuito rectificador trifásico de media onda

En este caso el transformador adaptador es trifásico, debiendo estar el secundario del mismo conectado en estrella, como puede observarse en el esquema de la figura 11.16.

Si analizamos el circuito a partir de $\omega t = 30^\circ (\pi/6)$, observamos que las tensiones de las fases “R” y “T” son iguales y positivas, en cambio la fase “S” es negativa. A partir de ese instante la fase “R” se hace más positiva que las restantes, con lo cual el diodo **D₁** permite el pasaje de corriente y los otros diodos (**D₂** y **D₃**) se encuentran bloqueados, lo cual se muestra en la figura 11.17.

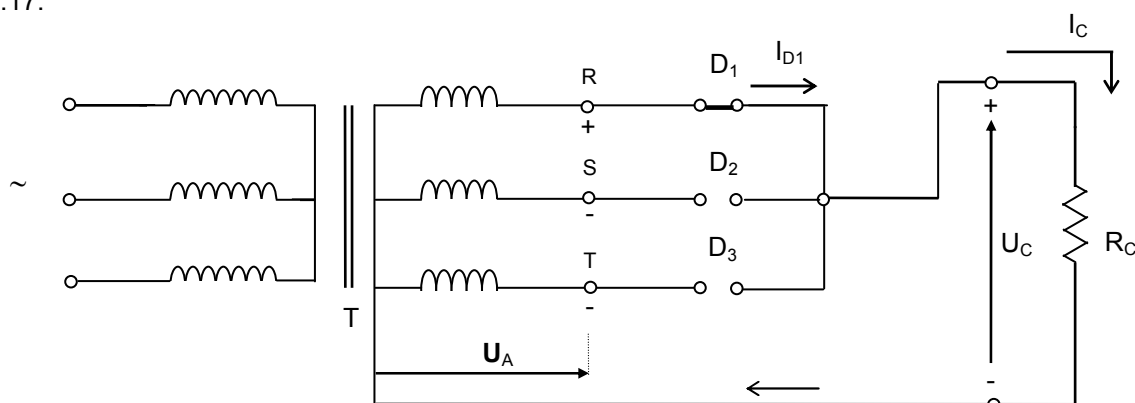


Figura 11.18 Situación de conducción cuando el borne “R” es más positivo que el “S” y el “T”

Cuando transcurre un tiempo igual a $120^\circ (2/3 \pi)$, la tensión de las fases “R” y “S” son iguales y positivas, mientras que la tensión de la fase “T” es negativa. A partir de ese instante (150°) la tensión de la fase “S” se hace más positiva que las otras, con lo cual comienza a conducir el diodo **D₂** y se bloquean **D₁** y **D₃**. En la figura 11.19 se observa esta situación.

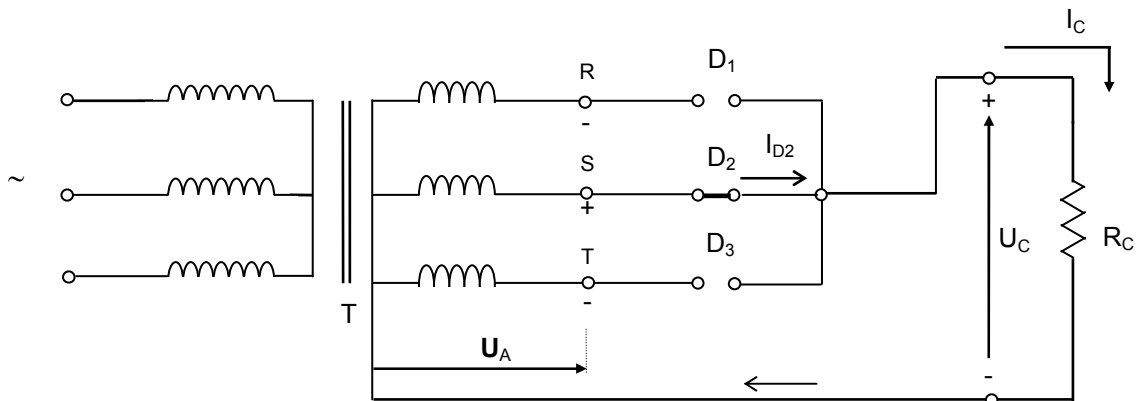


Figura 11.19 Situación de conducción cuando el borne "S" es más positivo que el "R" y el "T"

Al transcurrir otro tiempo equivalente a $2/3 \pi$, se igualan las tensiones de las fases "S" y "T" mientras que la fase "R" es negativa. A partir de ese instante (270°) se hace más positiva la fase "T", con lo cual comienza a conducir el diodo D_3 y los diodos D_1 y D_2 se bloquean, tal cual se muestra en la figura 11.20. A partir de 390° se repite el proceso señalado.

Se observa que cada diodo conduce durante un tercio del período de la señal.

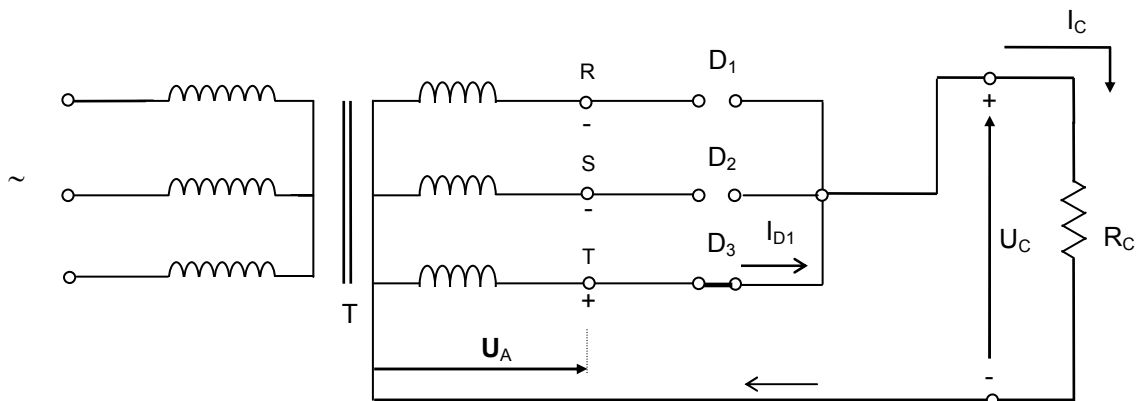


Figura 11.20 Situación de conducción cuando el borne "T" es más positivo que el "R" y el "S"

En la figura 11.21 se pueden observar las distintas formas de onda en cada parte del elemento rectificador.

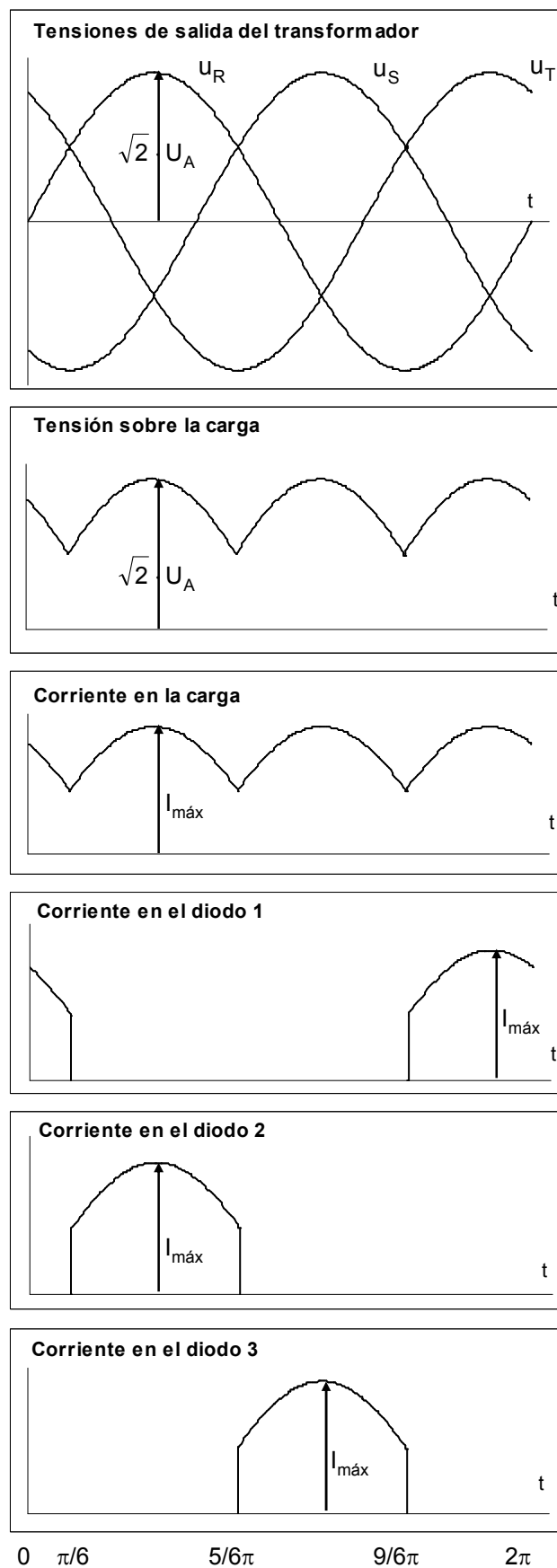


Figura 11.21
Formas de onda del
rectificador trifásico
de media onda

Los valores medios y eficaces son por lo tanto:

$$U_C = \frac{3 \cdot \omega}{2 \cdot \pi} \int_{\pi/6 \cdot \omega}^{5/6 \cdot \omega} U_{\text{máx}} \cdot \sin \omega t$$

$$U_C = 1,17 U_A$$

$$I_C = \frac{1,17 \cdot U_A}{R_C}$$

$$I_{mD} = \frac{I_C}{3}$$

$$U_{\text{ef.}} = 0,8407 \cdot \sqrt{2} \cdot U_A = 1,189 \cdot U_A$$

La corriente eficaz en los diodos es : $I_{\text{efD}} = \frac{0,68 \cdot U_A}{R_C} = \frac{I_C}{\sqrt{3}}$

La tensión de pico inversa será : $U_P = \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot U_A = \sqrt{6} \cdot U_A$

Cuando un diodo está bloqueado, uno de sus bornes es directamente un terminal del transformador, y el otro borne se conecta a través del diodo que esté conduciendo al otro terminal del transformador, con lo cual la tensión que aparece en el diodo es la tensión de línea en su valor máximo.