

## AULA: 04 - Retificadores em Geral

### 1. Características principais de uma forma de onda

#### 1.1 Definições:

Uma forma de onda qualquer pode ser aproximada por um polinômio trigonométrico que descreverá através de uma série de termos matematicamente a forma de onda no tempo. Supondo uma função  $f(x)$  com intervalo de 0 a  $2\pi$  pode ser aproximada a seguir:

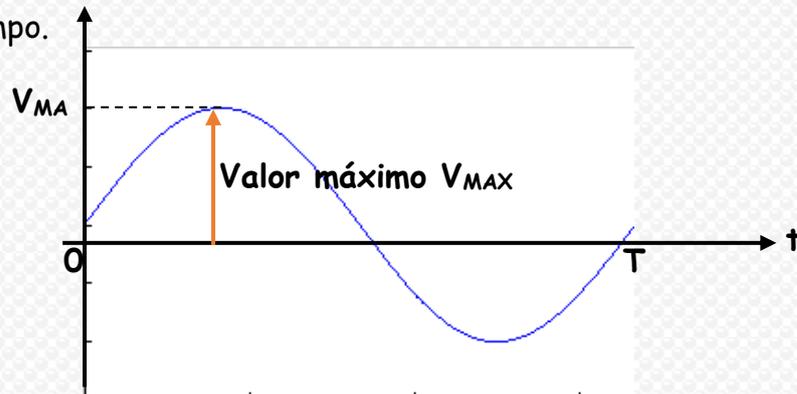
$$F(x) = a_0 + (a_1 \cos x + b_1 \sin x) + \dots + (a_n \cos nx + b_n \sin nx).$$

Integrando a expressão resulta:

$$F(t) = a_0 + \sum_{k=1}^n (a_k \cos kx)$$

Essa expressão define a composição do sinal e os termos dessa expressão são as harmônicas da fundamental de ordem par e ímpar.

**Valor máximo (pico):** É o maior valor da forma de onda em um intervalo de tempo ou dentro de um período de tempo.

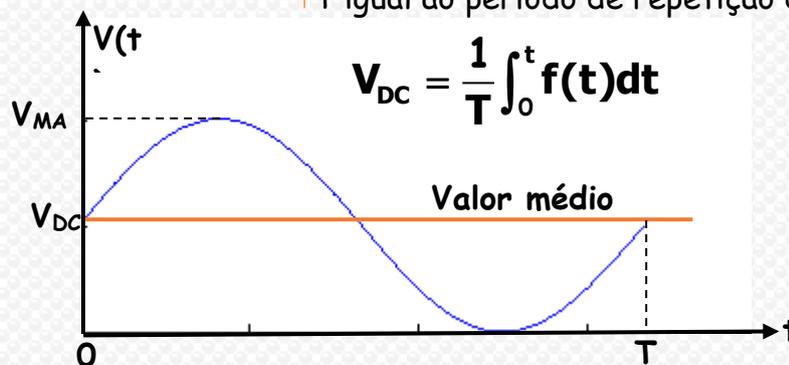


**Valor pico a pico:** É a máxima variação da forma de onda em um intervalo de tempo ou dentro de um período de tempo.

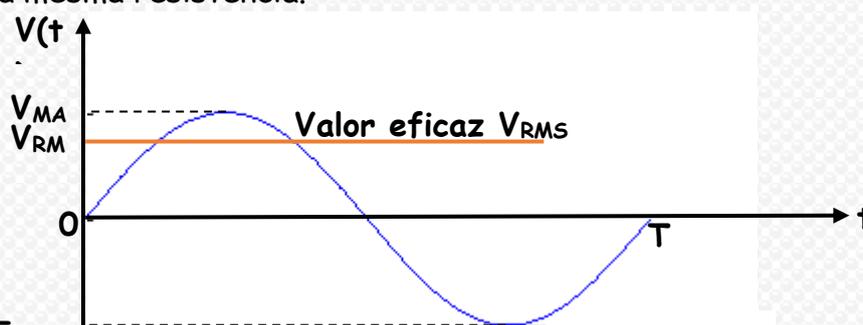


**Valor médio:** É a média dos valores instantâneos dentro do intervalo de tempo. Para a função periódica ou aperiódica pode ser definido como:

T igual ao período de repetição da onda.



**Valor eficaz:** É uma medida de valor contínuo e equivalentes à potência fornecida uma por uma tensão contínua aplicada a uma resistência elétrica com a potência fornecida pelo sinal original aplicada à mesma resistência.



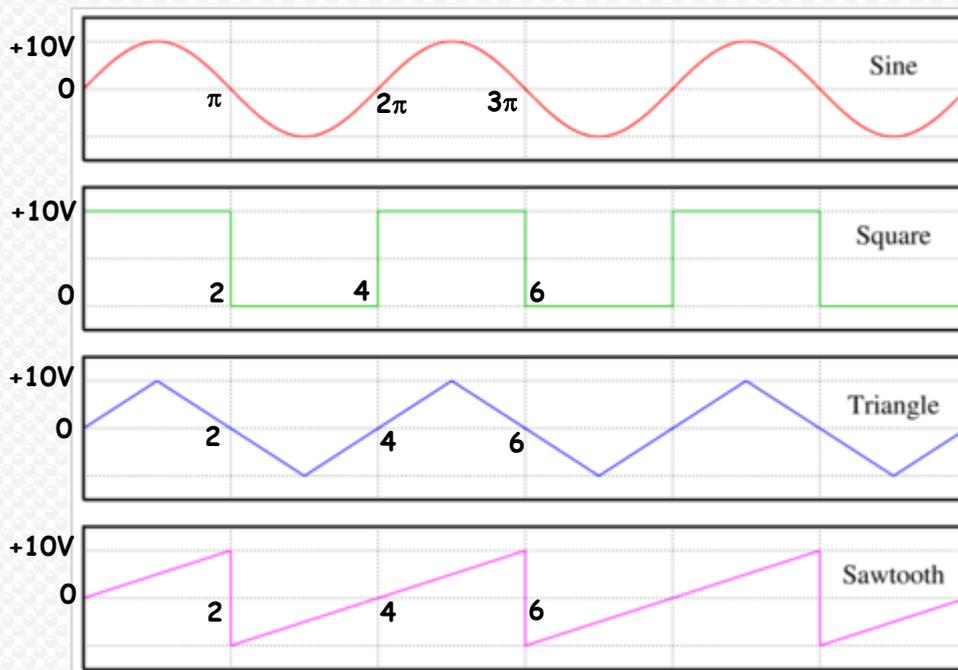
$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^t f(t)^2 dt}$$

**Fator de forma:** É a relação entre o valor eficaz de uma grandeza de entrada sobre o valor médio da função periódica.

$$FF = \frac{V_{RMS}}{V_{DC}}$$

Para consolidar os conceitos vamos resolver alguns exemplos de cálculo dos valores médio, eficaz e fator de forma.

**EXERCÍCIOS:** Para as formas de ondas a seguir, sabendo-se a amplitude máxima igual a 10V.



$$1. \quad V_{DC} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} 10 \sin t \, dt = \frac{10}{2\pi} (-\cos t) \Big|_0^{2\pi} = 0 \quad \text{e} \quad V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} 10 \sin^2 t \, dt}$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{100}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2 t \, dt} = \sqrt{\frac{50}{\pi} \left[ \int_0^{2\pi} dt - \int_0^{2\pi} \cos 2t \, dt \right]} = \sqrt{\frac{25}{\pi} t \Big|_0^{2\pi} - 0} = \sqrt{50} = 7,07V$$

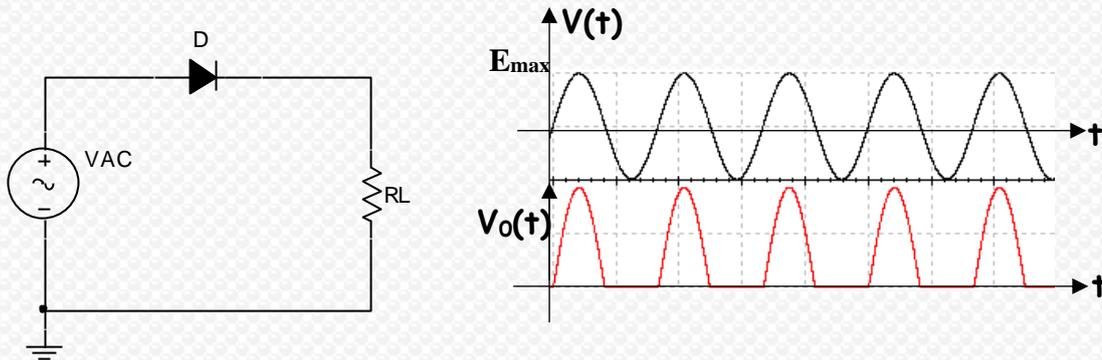
$$2. \quad V_{DC} = \frac{1}{4} \int_0^2 10 \, dt = 2,5 \cdot t \Big|_0^2 = 2,5 \cdot 2 = 5V \quad \text{e} \quad V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{4} \int_0^2 10^2 \, dt} = 7,07V \quad \text{e} \quad FF = \frac{7,07}{5} = 1,41$$

$$3. \quad V_{DC} = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 10t \, dt = 5 \frac{t^2}{2} \Big|_{-1}^1 = 2,5(1 - 1) = 0 \quad \text{e}$$

## Retificação meia onda

A retificação meia onda é a maneira mais simples e econômica de converter um sinal alternado em um sinal de única polaridade ou contínuo. Pode ser positiva ou negativa a polaridade dependendo do circuito.

Circuito: Retificador de meia onda. Formas de ondas entrada e saída.



Calculando os valores médio, eficaz, fator de forma e frequência.

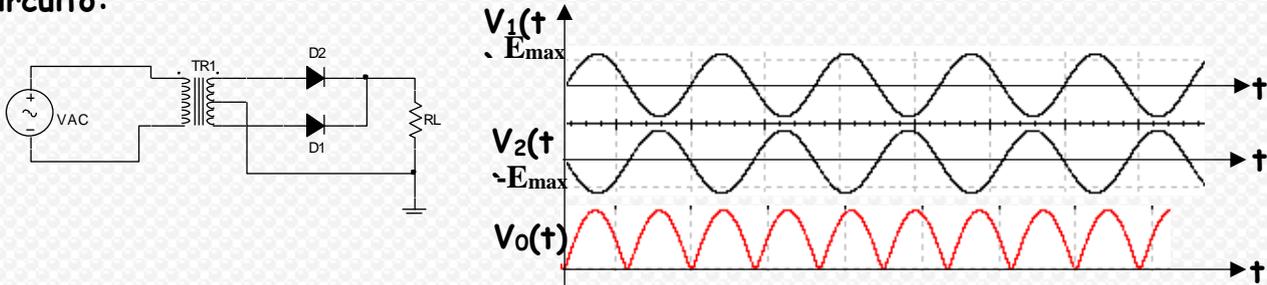
$$V_{ODC} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} E_{\max} \sin t \cdot dt = \frac{E_{\max}}{\pi} \quad \text{e} \quad V_{ORMS} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} E_{\max}^2 \sin^2 t \cdot dt} = \frac{E_{\max}}{2}$$

$$FF = \frac{\frac{E_{\max}}{\pi}}{\frac{E_{\max}}{2}} = \frac{2}{\pi} = 2,22 \quad \text{e} \quad f = 60\text{Hz} \quad \text{e} \quad V_{RRM} = E_{\max}$$

## Retificação em onda completa a dois diodos.

A retificação em onda completa, produz na saída do retificador os dois ciclos de um período da senoide e de uma única polaridade. Esse tipo de configuração do retificador com dois diodos produz duas retificações em meia onda defasadas de 180°. A frequência de saída é o dobro da frequência de entrada. Pode produzir saída positiva ou negativa de acordo com a configuração utilizada. Muitas vezes o retificador é chamado de bifásico.

Circuito:

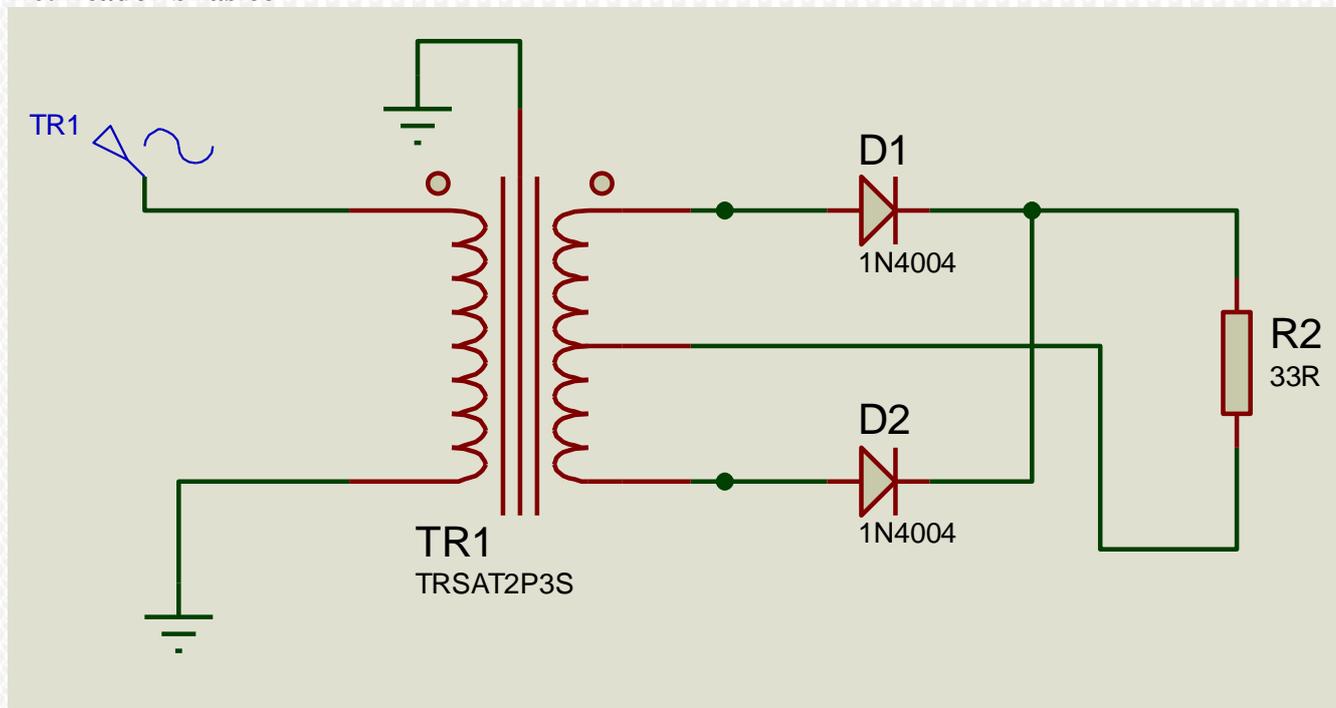


Calculando os valores médio, eficaz, fator de forma e frequência.

$$V_{ODC} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} E_{\max} \text{sen} t \cdot dt = \frac{2E_{\max}}{\pi} \text{ e } V_{ORMS} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} E_{\max}^2 \text{sen}^2 t dt} = \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}}$$

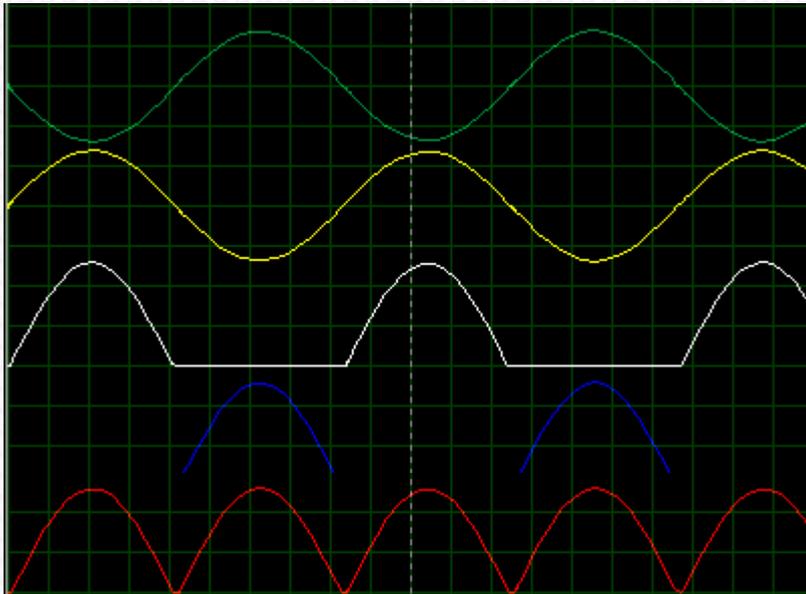
$$FF = \frac{\frac{E_{\max}}{\sqrt{2}}}{\frac{2E_{\max}}{\pi}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11 \text{ e } f = 120\text{Hz} \text{ e } V_{RRM} = 2E_{\max}$$

Retificador bifásico



**Operação:** Tensão positiva em D1 e negativa em D2. O caminho da corrente será por D1, por R2 e retorno pelo tap central do transformador. A tensão de saída em R2 será o diferencial da tensão de entrada em D1 com a queda de 0,7V do diodo.

Retificador bifásico: Com alimentação bifásica de  $V_{RMS} = 10V$

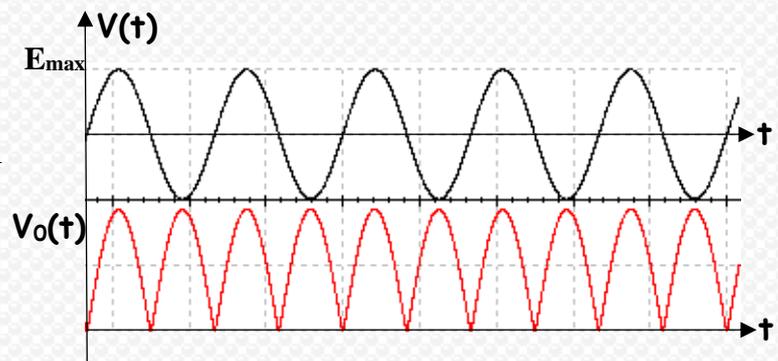
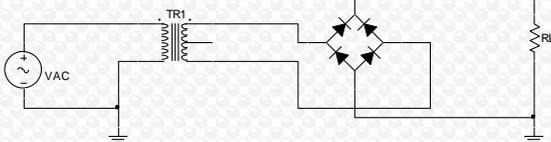


- a. Secundário do trafo
- b. Secundário do trafo
- c. Corrente em D1
- d. Corrente em D2
- e. Tensão de saída.

## Retificação em onda completa a ponte de diodos.

A retificação em onda completa, produz na saída do retificador os dois ciclos de um período da senoide e de uma única polaridade. Esse tipo de configuração do retificador com quatro diodos ligados em ponte produz equilíbrio da corrente na entrada de alimentação, pois o fluxo será em cada ciclo num sentido. A frequência de saída é o dobro da frequência de entrada. Pode produzir saída positiva ou negativa de acordo com a configuração utilizada. Muitas vezes o retificador é chamado em ponte.

### Circuito:



Calculando os valores médio, eficaz, fator de forma e frequência.

$$V_{Odc} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} E_{\max} \text{sen} t \cdot dt = \frac{2E_{\max}}{\pi} \text{ e } V_{ORMS} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} E_{\max}^2 \text{sen}^2 t \cdot dt} = \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}}$$



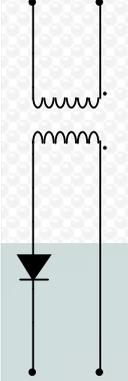
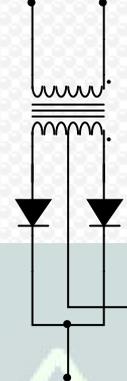
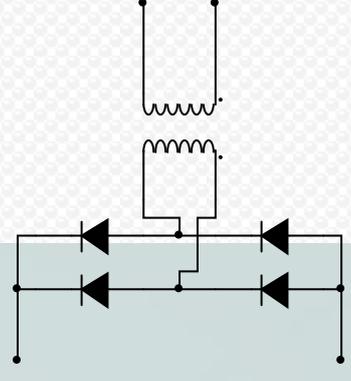
# Eletrônica básica

$$FF = \frac{\frac{E_{\max}}{\sqrt{2}}}{\frac{2E_{\max}}{\pi}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11 \text{ e } f = 120\text{Hz e } V_{\text{RRM}} = E_{\max}$$

A seguir é apresentada uma tabela com diversos valores de corrente, tensão, ângulo de condução, frequência e relações entre tensões rms e média, fator de forma.

## TABELA PARA CÁLCULO DE RETIFICADORES MONOFÁSICOS

Dados para cálculo de retificadores em geral

Retificadores Monofásicos	Meia onda	Center Tap 2Ø	Ponte 1Ø
Circuito			
Número de braços	1	2	4
Freq.(Hz) componente alternada superposta	60Hz	120Hz	120Hz
Tensão contínua em Vazio: $U_{ODC}/V_{ef}$	$\frac{\sqrt{2}}{\pi} = 0,45$	$\frac{\sqrt{2}}{\pi} = 0,45$	$\frac{2\sqrt{2}}{\pi} = 0,90$
$\frac{V_{ODC}}{V_{ORMS}}$	1,57	1,11	1,11
$\frac{I_{ORMS}}{I_{ODC}}$	1,57	1,11	1,11
Fator de "ripple" % $w = 100\sqrt{f_j^2 - 1}$	121	48	48
Ângulo de condução de cada elemento	180°	180°	180°
Valor médio da corrente por diodo	1	0,5	0,5
Valor eficaz da corrente por diodo	1,57	0,79	0,79
Corrente no secundário do transformador	1,57	0,79	1,11
Potência do secundário	3,5	1,75	1,23
Potência do primário	2,68	1,23	1,23
Potência nominal do transformador	3,10	1,49	1,23