

Exercícios resolvidos de PEA 2487

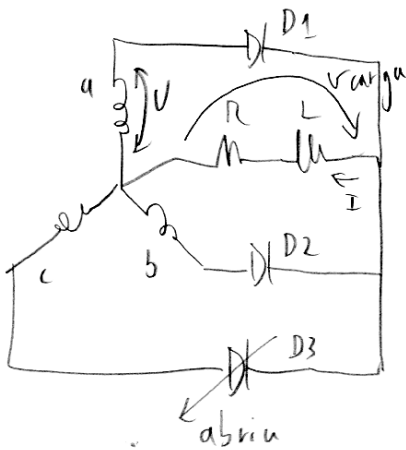
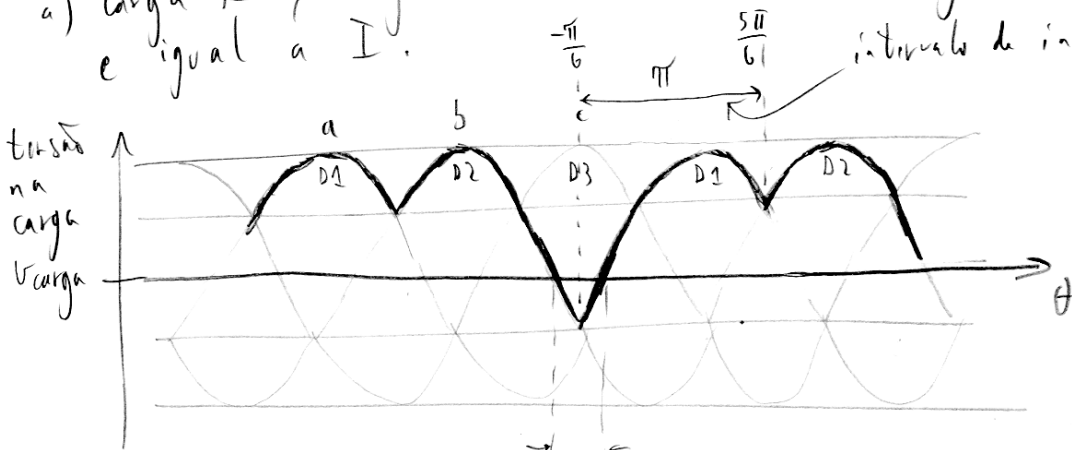
1

Prof. Wilson
Julho de 2005

- ① Um retificador 3F1C teve um de seus diodos queimado em aberto. Desprezar reatâncias de comutação e considerar a tensão eficaz de fase V . Determinar:
- Tensão média na carga, com carga RL (L grande);
 - Tensão média na carga, com carga R .

Resolução:

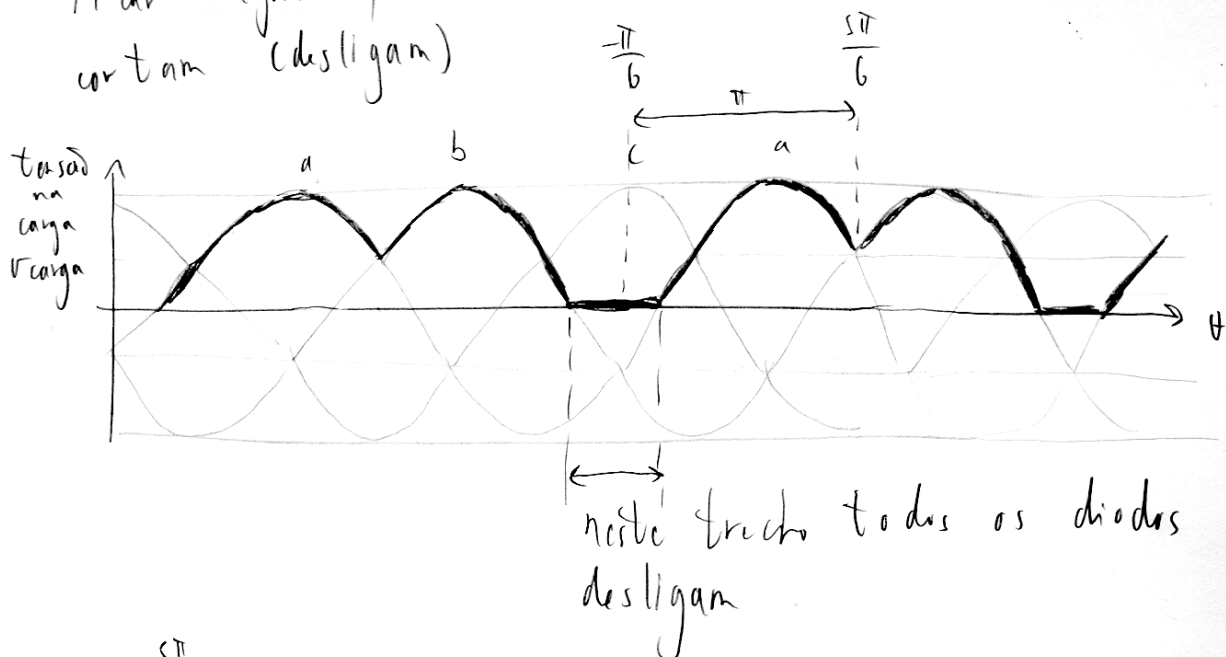
- a) carga RL , L grande $\Rightarrow$ a corrente pela carga é constante e igual a I .



⤴ A tensão da carga torna-se negativa neste trecho pois o indutor L impõe continuidade de corrente na carga, que necessariamente é alimentada pelas fases a e b , que aqui estão negativas.

$$E = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi/6}^{\pi/6} \sqrt{2} V \sin \theta d\theta = \frac{\sqrt{2} V}{\pi} [\cos \theta]_{-\pi/6}^{\pi/6} = \frac{\sqrt{2} V}{\pi} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} - \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \right] = \frac{\sqrt{6} V}{\pi}$$

b) agora com carga R, não há mais imposição de continuidade (2)
 de corrente na carga. Logo, quando a tensão CA
 ficar negativa, os diodos restantes D_1 e D_2 simplesmente
 cortam (desligam)



$$E = \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{6}} \sqrt{2} V \sin \theta d\theta = \frac{\sqrt{2} V}{\pi} [\cos \theta]_0^{\frac{\pi}{6}} = \frac{\sqrt{2} V}{\pi} \left[1 + \frac{\sqrt{3}}{2} \right]$$

Obs: esta questão pode ser modificada de diversas formas:

- i) fazendo o diodo defeituoso entrar em curto;
- ii) invertendo a polaridade de uma das fases;
- iii) usando versões de fase distintas umas das outras;
- iv) a versão que vai cair na prova;
- v) etc.

② Exercício 5 da lista

③

- retificador 3 F 2 C operando como inversor
- $\gamma = 10^\circ$ (ângulo de extinção)
- $I = 180 \text{ A}$ (corrente CC, suposta constante (L grande))
- $V_{\text{linha}} = 220 \text{ V}$
- $X_c = 0,5 \Omega / \text{fase}$ (reatância de comutação)

Pedem-se:

- Tensão do lado CC (E);
- ângulo de comutação μ .

Resolução:

$$a) E = E_0 \cos \alpha - \frac{3X_c I}{\pi} \quad \textcircled{I}$$

$$\text{onde } E_0 = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_{\text{linha}} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} V \approx 1,35 V_{\text{linha}} \quad \textcircled{II}$$

e a tensão média em vazio do lado CC

substituído em $\textcircled{I}$:

$$E = 1,35 \times 220 \times \cos \alpha - \frac{3 \times 0,5 \times 180}{\pi} \Rightarrow \text{qual } \alpha?$$

mas $\alpha + \mu + \gamma = 180^\circ \quad \textcircled{III}$ e não se dispõe nem de α nem de μ .

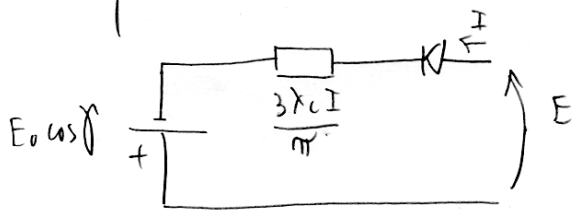
Adota-se então a expressão $\textcircled{I}$ modificada para γ :

$$\begin{cases} E = -E_0 \cos \gamma + \frac{3X_c I}{\pi} \quad \textcircled{IVa} \leftarrow \text{versão com sinal correto} \\ |E| = +E_0 \cos \gamma - \frac{3X_c I}{\pi} \quad \textcircled{IVb} \leftarrow \text{versão em módulo} \end{cases}$$

↑ ↑
repere nos sinais!

A expressão (IVa) ficaria expressa no modelo equivalente para valores médios como:

(4)



Logo, por (IVa):

$$E = -1,35 \times 220 \times \cos 10^\circ + \frac{3 \times 0,5 \times 180}{\pi} = -292,49 + 85,94 = -206,55 \text{ V}$$

O resultado é negativo como era de se esperar, já que se trata de um inversor.

b) $\frac{E}{E_0} = \frac{\cos \alpha + \cos (\alpha + \mu)}{2}$ (IVa) (com sinal correto).

ou

$$\left| \frac{E}{E_0} \right| = \frac{\cos \delta + \cos (\delta + \mu)}{2}$$
 (IVb) (em módulo)

de (IVb): $\frac{206,55}{1,35 \times 220} = \frac{\cos 10^\circ + \cos (10^\circ + \mu)}{2} \Rightarrow \cos (10^\circ + \mu) = 1,39 - 0,98 =$

$$= 0,41 \Rightarrow 10^\circ + \mu = 65,80^\circ \Rightarrow \mu = 55,80^\circ //$$

aplicando-se (I): $\alpha = 114,20^\circ$

$$E = 1,35 \times \cos (180^\circ - 10^\circ - 55,80^\circ) - \frac{3 \times 0,5 \times 180}{\pi} = -121,77 - 85,94$$

$E = -207,77 \text{ V}$ diferente do item a) devido aos arredondamentos!

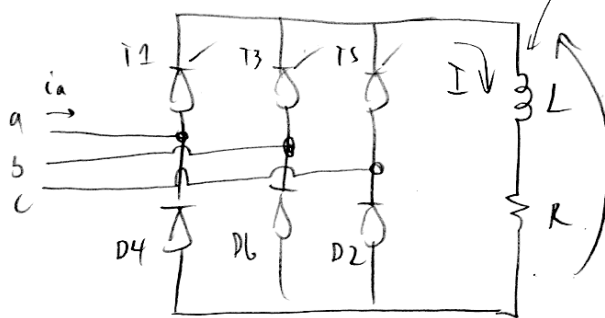
- (3) Demonstrar que para um retificador 3F2C semi-convertido (ponte híbrida), para $\alpha > \pi/3$ o fator de potência é:

$$\cos \varphi = (1 + \cos \alpha) \sqrt{\frac{3}{2\pi(\pi - \alpha)}}$$

Resolução:

Esta questão foi proposta em um exame britânico de validação de diploma de engenheiro eletrônica para fins de exercício da profissão (um "exame da OAB" para engenheiros britânicos).

Desenhando a ponte híbrida:



L muito grande: se é enunciado não é explícito, assume-se L muito grande

$$V_{\text{carga}} = \langle v_{\text{carga}} \rangle = E$$

valor médio

- Tensão média na carga: $E = \frac{E_0}{2} (1 + \cos \alpha)$ (I)

com $E_0 = 1,35 V_{\text{linha}} = \frac{3\sqrt{6}V}{\pi}$ (II) onde V é a tensão eficaz de fase

- Esta fórmula (I) está desprezando reatâncias de comutação. Embora o enunciado não seja explícito, esta demonstração também despreza reatâncias de comutação.

- Potência ativa (em W) na carga: $P = EI$ (III)

- Potência ativa (em W) no lado CA: $P = \sqrt{3} V_{\text{linha}} I_{\text{ef}} \cos \varphi$ (IV)
onde I_{ef} é a corrente eficaz de linha (CA).

De (IV):

(III)

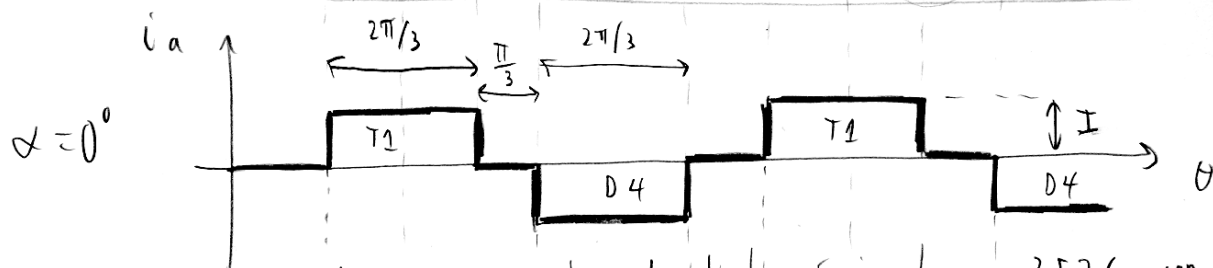
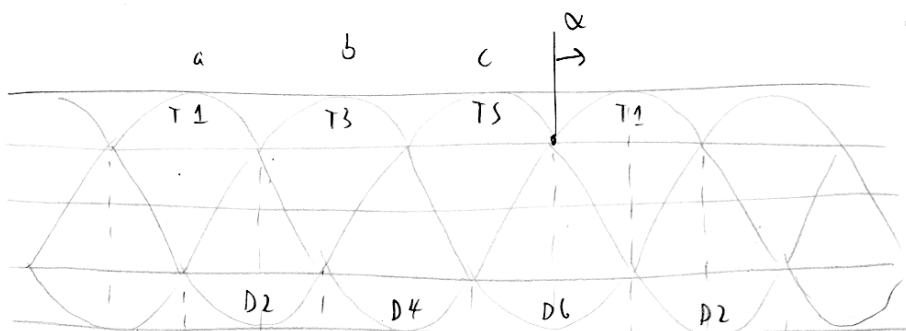
(I, II)

(6)

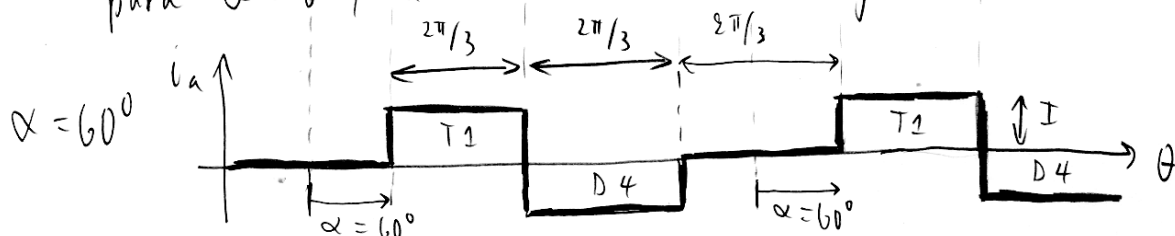
$$\cos \phi = \frac{P}{\sqrt{3} V_{\text{linha}} I_{\text{ef}}} = \frac{E I}{\sqrt{3} V_{\text{linha}} I_{\text{ef}}} = \frac{\sqrt{3} V_P}{2\pi} \frac{(1 + \cos \alpha) V_{\text{linha}} I}{V_{\text{linha}} I_{\text{ef}}}$$

$$\cos \phi = \frac{\sqrt{6}}{2\pi} \frac{I}{I_{\text{ef}}} (1 + \cos \alpha)$$

Deve ser encontrada a relação entre I (corrente CC na carga) e I_{ef} (corrente eficaz do lado CA), e para $\alpha > 60^\circ$ ($60^\circ = \pi/3$). Analisando a corrente de linha i_a para diversos valores de α :



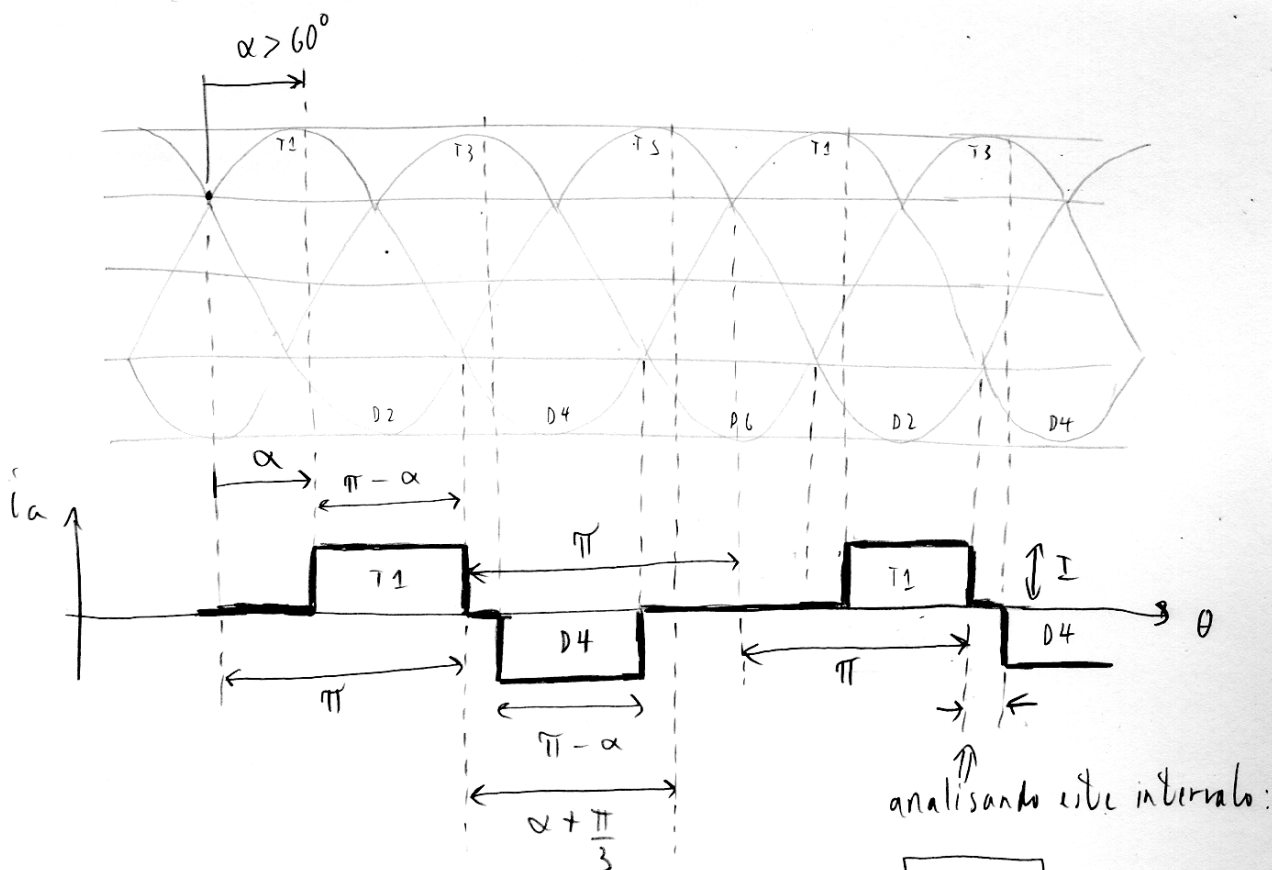
para $\alpha = 0^\circ$, a corrente de linha é igual ao 3F2C com diodos.



para $\alpha = 60^\circ$, a corrente pelos transistores (no caso, T1) atrasa até "encostar" na corrente pelos diodos (no caso, D4).

E para $\alpha > 60^\circ$?

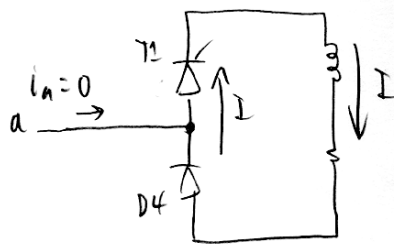
(7)



Tanto o tiristor T1 como o diodo D4 conduzem por um período $(\pi - \alpha)$ em um intervalo π . Logo:

$$I_{ef}^2 = \frac{I^2 (\pi - \alpha)}{\pi} \Rightarrow I_{ef} = I \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi}}$$

e se consegue a relação entre I e I_{ef} desejada.



a condução simultânea de T1 e D4 zera a corrente de linha i_a durante este intervalo!

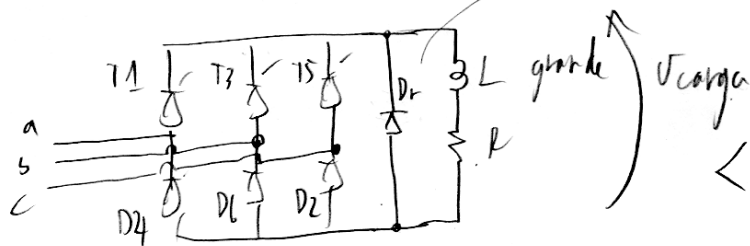
Relembrando:

$$\cos \phi = \frac{\sqrt{6}}{2\pi} \frac{I}{I_{ef}} (1 + \cos \alpha) = \frac{\sqrt{6}}{2\pi} \frac{I_{ef}}{I_{ef}} \sqrt{\frac{\pi}{\pi - \alpha}} (1 + \cos \alpha) = \frac{\sqrt{2} \sqrt{3}}{\sqrt{2} \sqrt{2} \sqrt{\pi} \sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{\pi}{\pi - \alpha}} (1 + \cos \alpha)$$

$$\cos \phi = (1 + \cos \alpha) \sqrt{\frac{3}{2\pi(\pi - \alpha)}} \quad \text{para } \alpha > 60^\circ$$

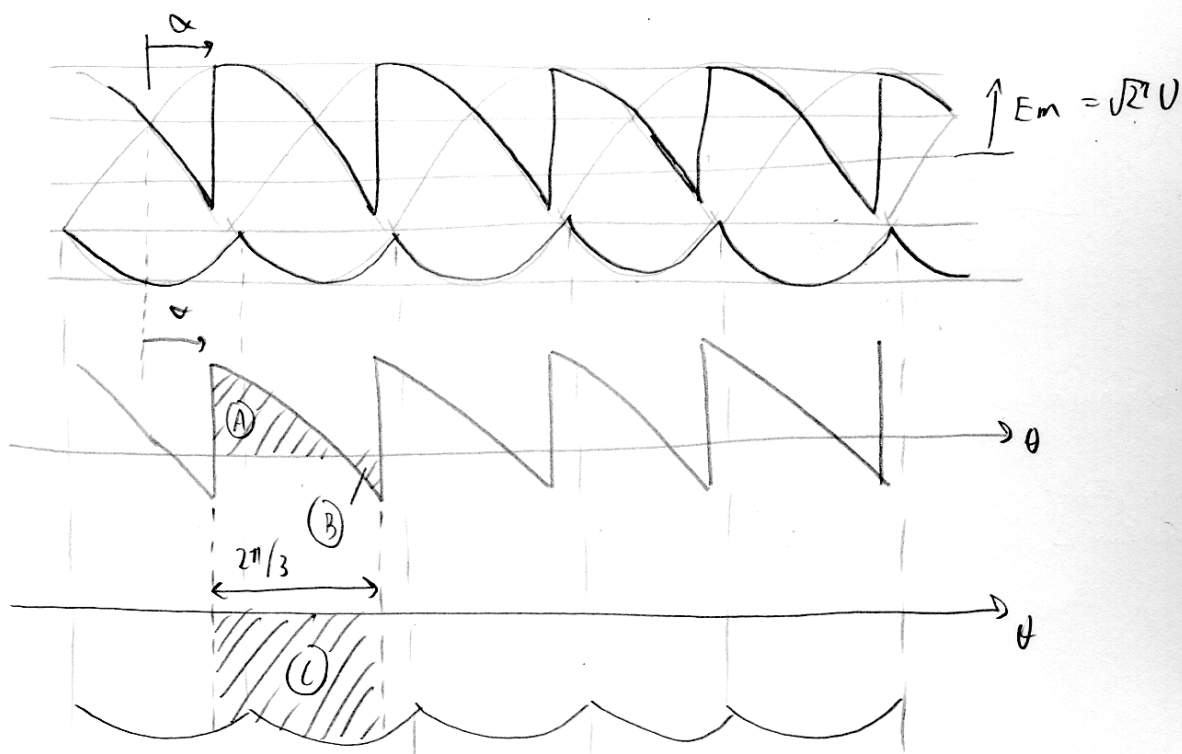
④ Uma maneira de se calcular o valor da tensão média E em uma ponte híbrida:

D_r : diodo de retorno



$$\langle v_{carga} \rangle = E \quad (\text{valor médio})$$

chutando um $\alpha < 90^\circ$:



$$E = \frac{\text{área (A)} - \text{área (B)} + \text{área (C)}}{2\pi/3}$$

$$\begin{aligned} \text{área (A)} - \text{área (B)} &= \int_{\pi/6 + \alpha}^{2\pi/3 + \pi/6 + \alpha} E_m \sin \theta \, d\theta = E_m \left[\cos \theta \right]_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{\pi}{6} + \alpha} = E_m \left[\frac{\sqrt{3}}{2} \cos \alpha - \frac{1}{2} \sin \alpha + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \alpha + \frac{1}{2} \sin \alpha \right] = \\ &= \sqrt{3} E_m \cos \alpha \end{aligned}$$

$$\text{área (C)} : \int_{-\pi/3}^{\pi/3} E_m \cos \theta \, d\theta = E_m \left[\sin \theta \right]_{-\pi/3}^{\pi/3} = E_m \left[\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \right] = \sqrt{3} E_m$$

$$E = \frac{\sqrt{3} E_m (\cos \alpha + 1)}{2\pi/3} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} E_m (\cos \alpha + 1) //$$