

Princípio de funcionamento e modulação de inversores

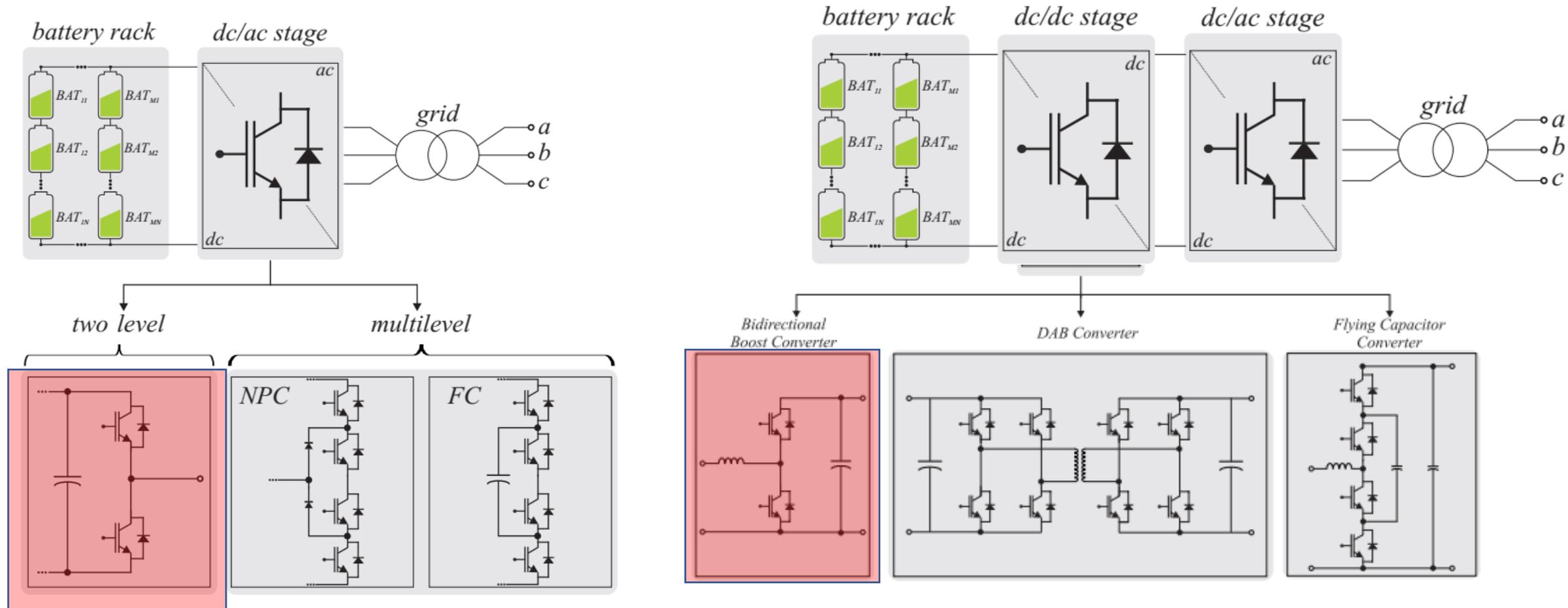
Prof. Allan Fagner Cupertino
afcupertino@ieee.org

Tópicos a serem abordados

- Inversores monofásicos;
- Inversor trifásico em modo six-step;
- Teoria de vetores espaciais;
- Modulação PWM de inversores;
- Simulações.



Topologias a serem investigadas

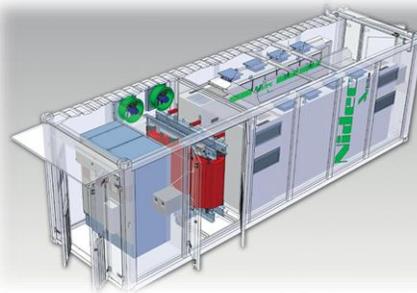


Fonte: Jonathan H. D. G. Pinto, “Modeling, Design and Performance Evaluation of Battery Energy Storage Systems based on Modular Multilevel Converter”, 2020.

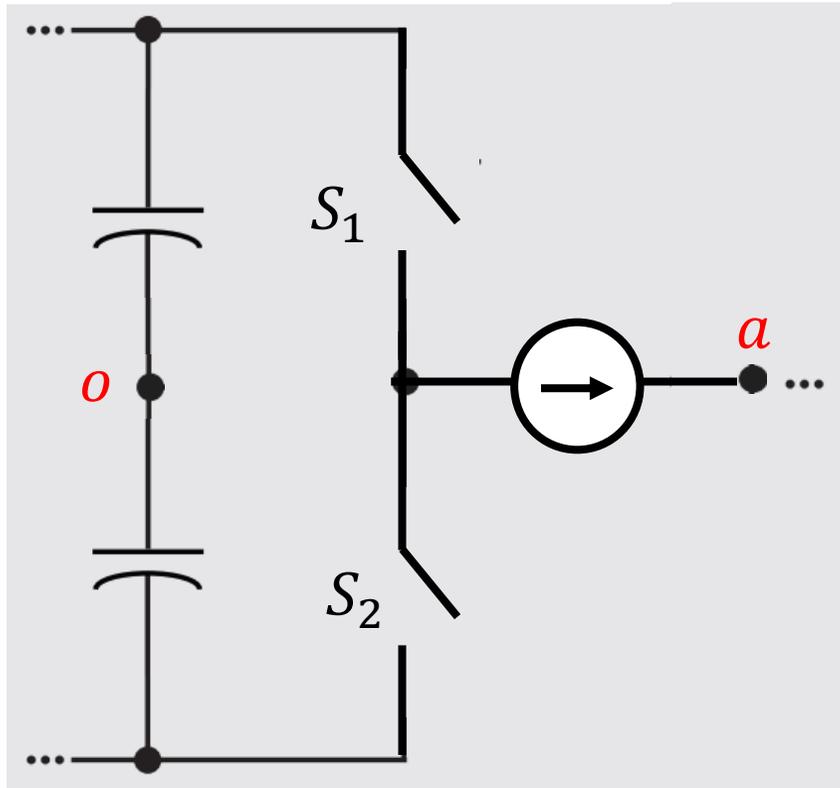


Inversores monofásicos

Prof. Allan Fagner Cupertino
afcupertino@ieee.org



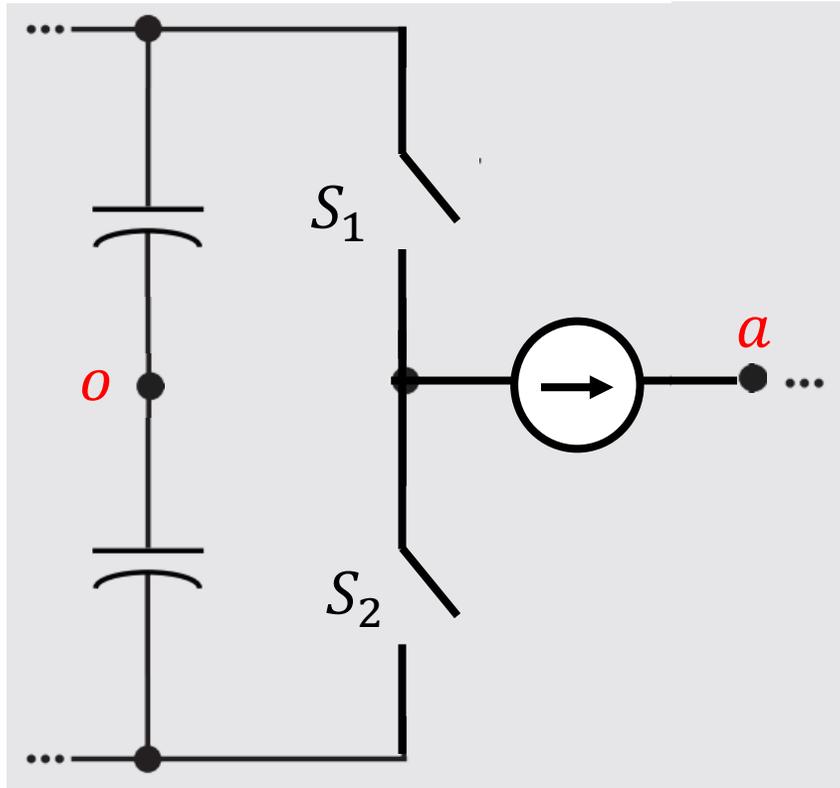
Inversor de dois níveis – fundamentos



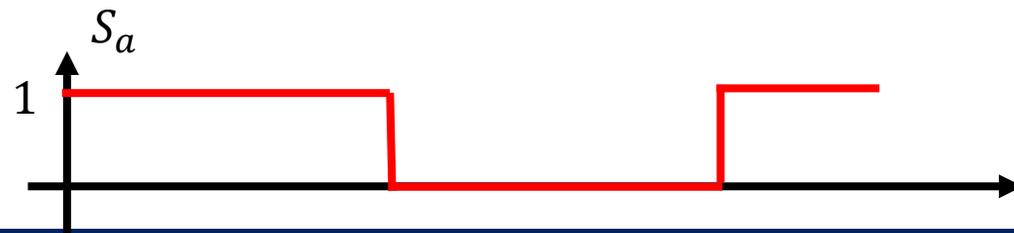
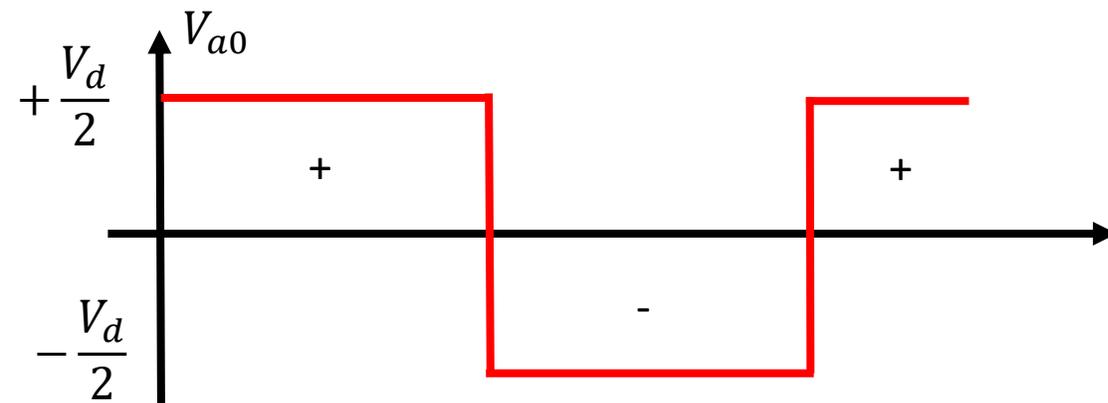
Estado de S_1	Estado de S_2	Situação
0	0	Problema!
1	0	ok
0	1	ok
1	1	Problema!

Conclusão: $S_2 = \bar{S}_1$

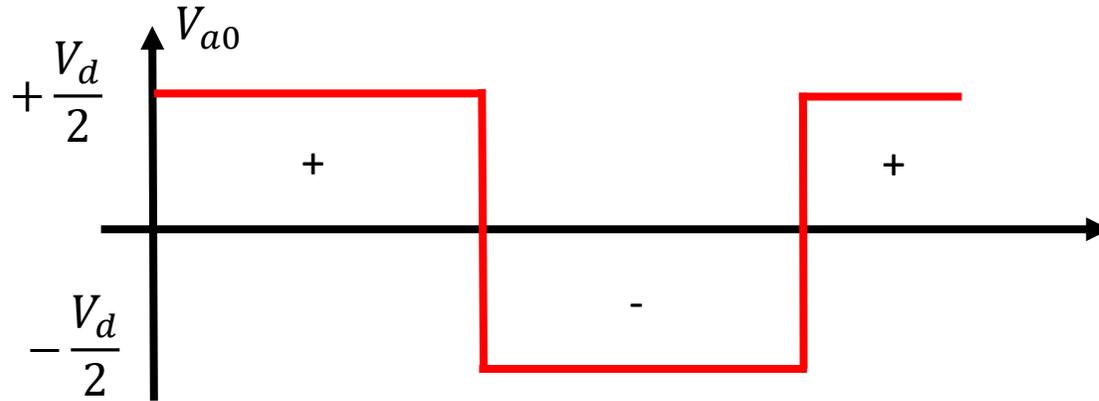
Inversor de dois níveis – estados possíveis



S_1	S_2	V_{a0}	S_a
1	0	$+\frac{V_d}{2}$	1
0	1	$-\frac{V_d}{2}$	0



Inversor de dois níveis – harmônicos

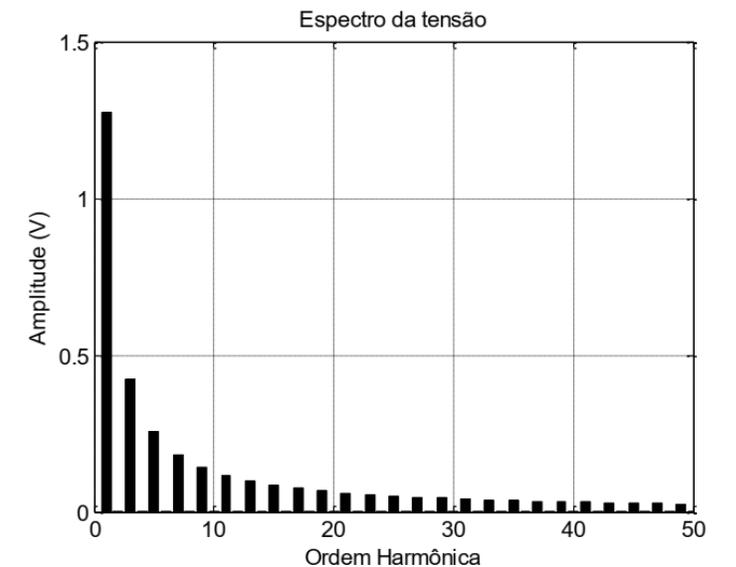
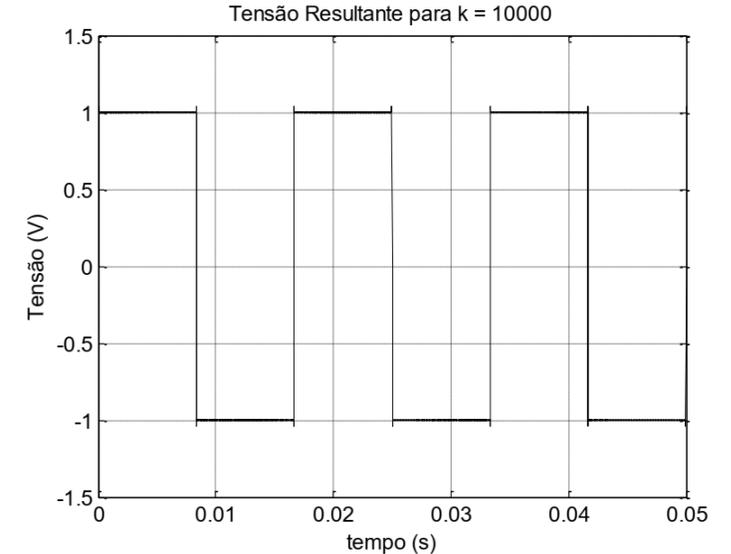


Série de Fourier:
$$V_{ao} = \sum_{h=1}^{+\infty} V_{ao,h}$$

$$V_{ao,1} = \frac{4}{\pi} \left(\frac{V_d}{2} \right) = \frac{2}{\pi} V_d$$

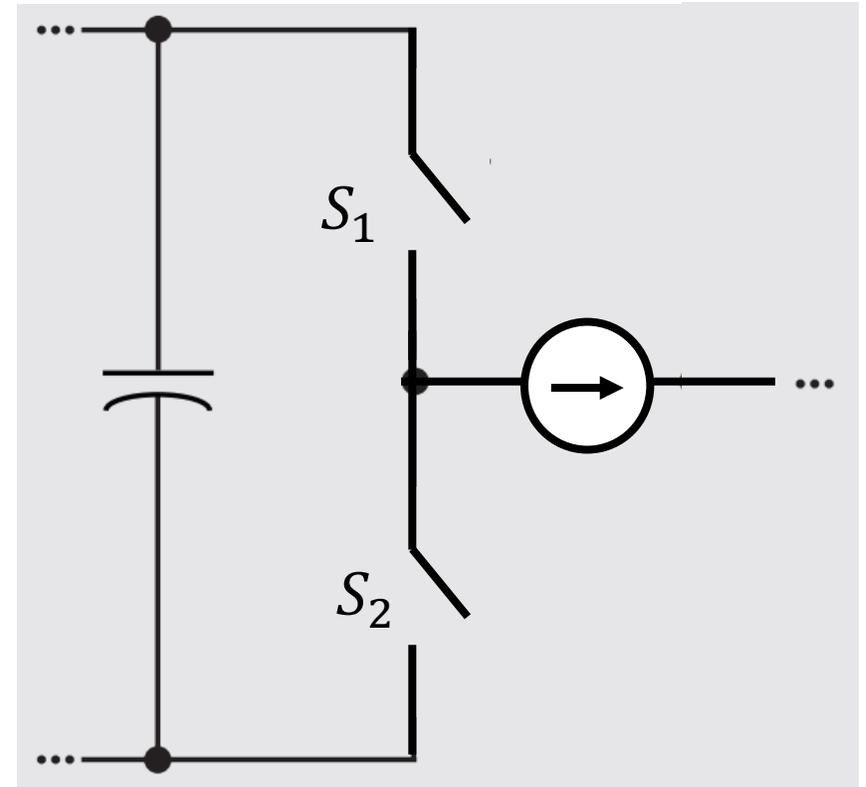
Se $h = 1, 3, 5, \dots$:
$$V_{ao,h} = \frac{V_{ao,1}}{h}$$

Se $h = 2, 4, 6, \dots$:
$$V_{ao,h} = 0$$



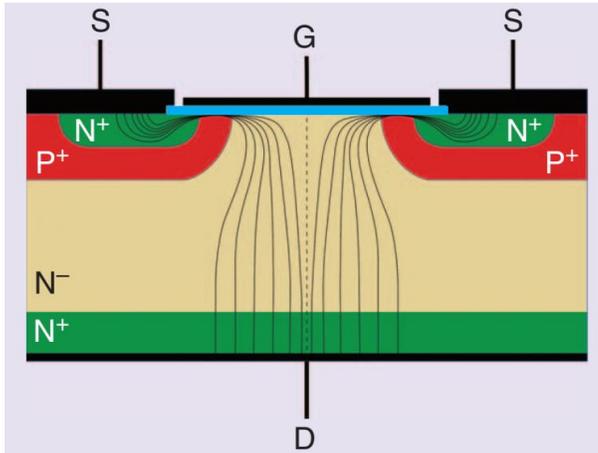
Inversor de dois níveis – fundamentos

- ❑ Bidirecional em corrente;
- ❑ Capacidade de bloquear a tensão do barramento CC;
- ❑ Deve ser controlável;
- ❑ Baixo atraso;
- ❑ Baixo custo.

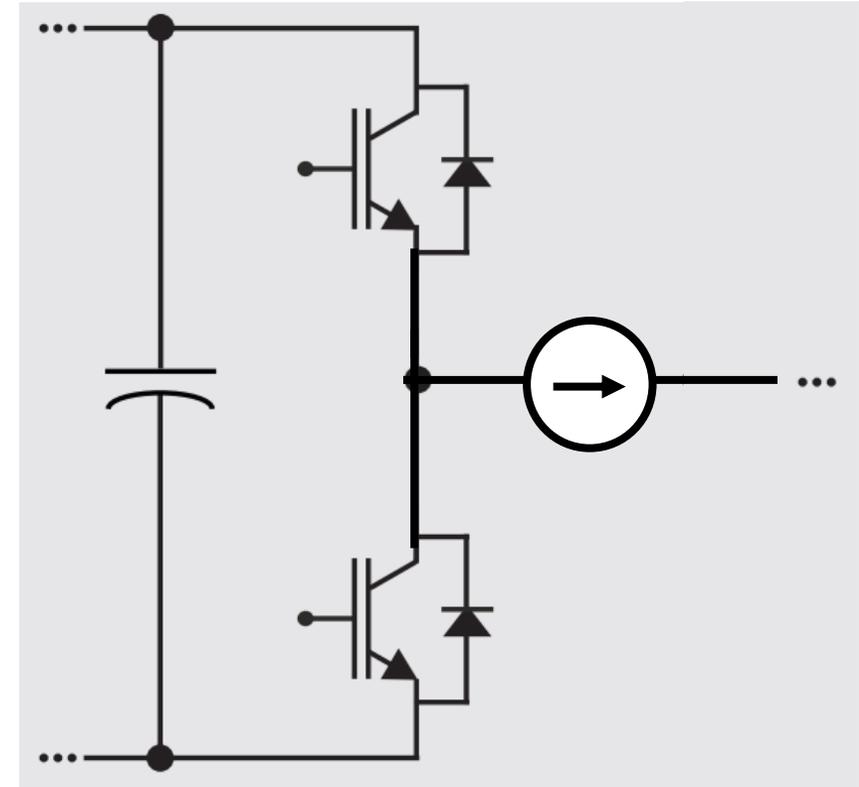
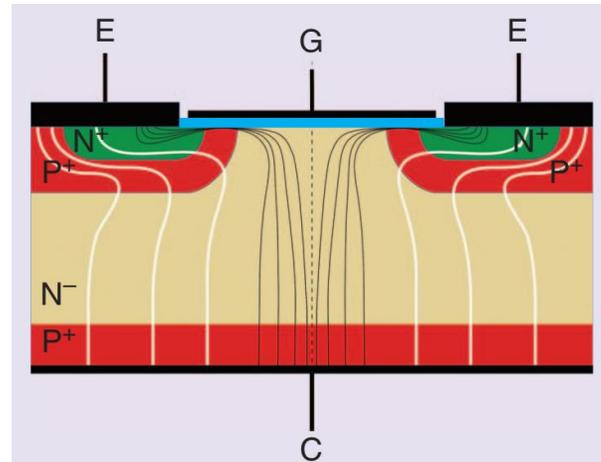


Implementação com interruptores semicondutores

MOSFET

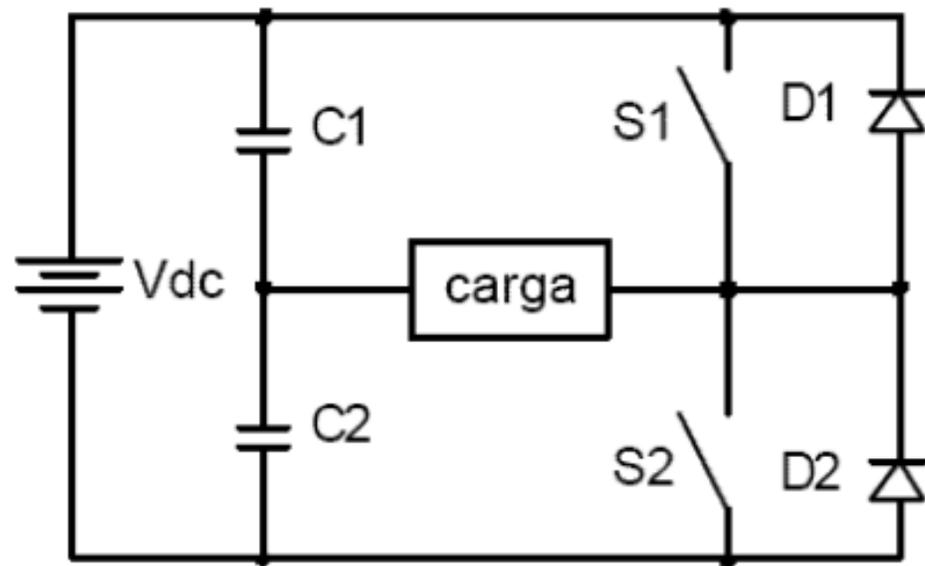


IGBT



Fonte: F. Iannuzzo, C. Abbate and G. Busatto, "Instabilities in Silicon Power Devices: A Review of Failure Mechanisms in Modern Power Devices," in IEEE Industrial Electronics Magazine, vol. 8, no. 3, pp. 28-39, Sept. 2014, doi: 10.1109/MIE.2014.2305758.

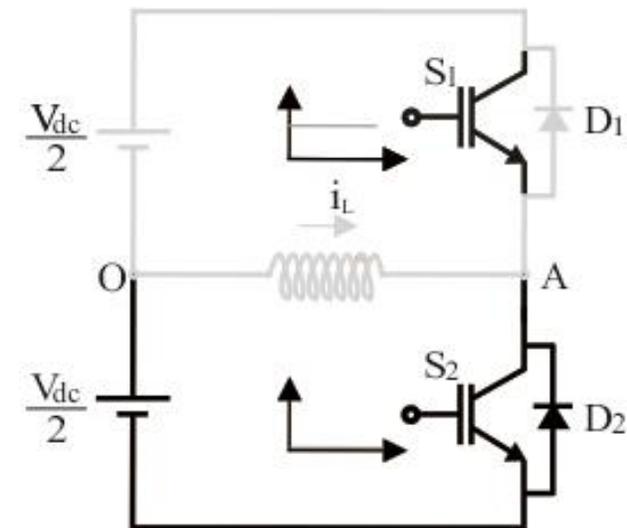
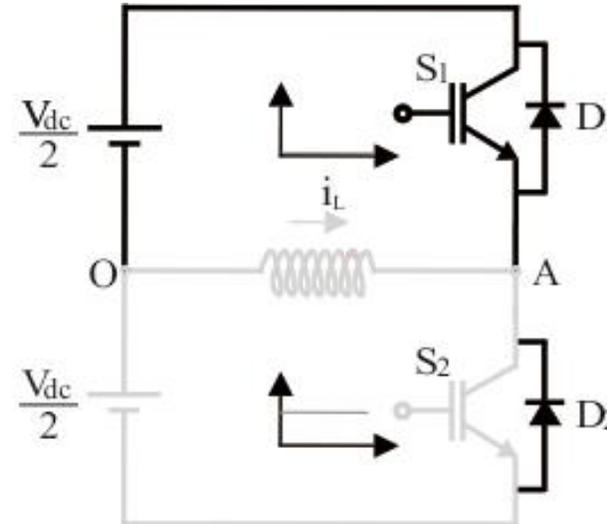
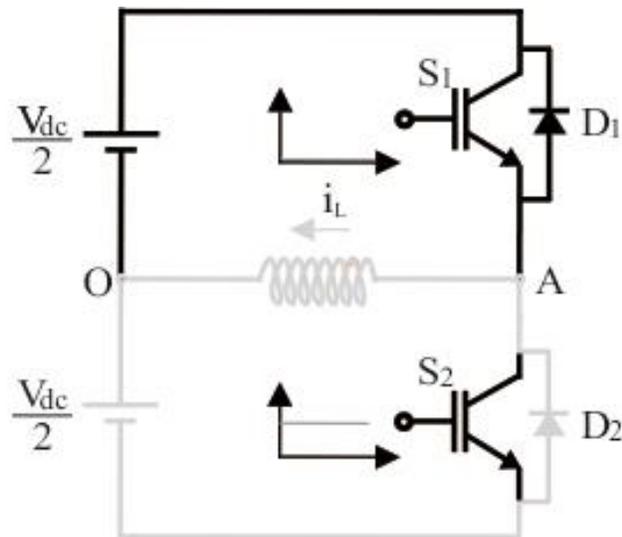
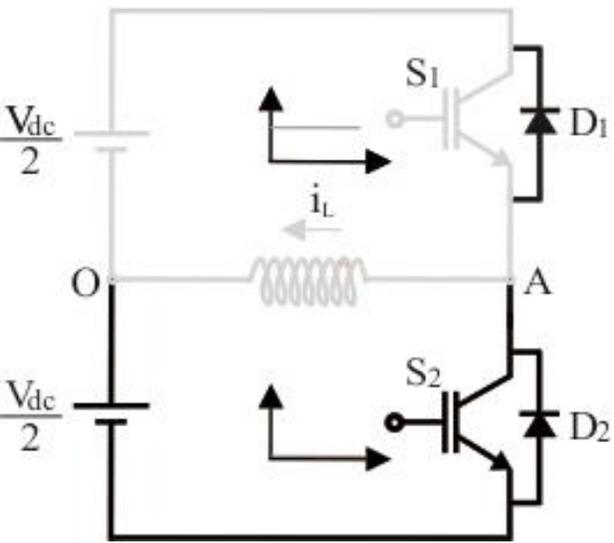
Princípio de funcionamento – inversor meia ponte



- ❑ Note que S_1 aplica uma tensão positiva na carga enquanto S_2 aplica tensão negativa na carga;
- ❑ Qual a função dos diodos?

Princípio de funcionamento – inversor meia ponte

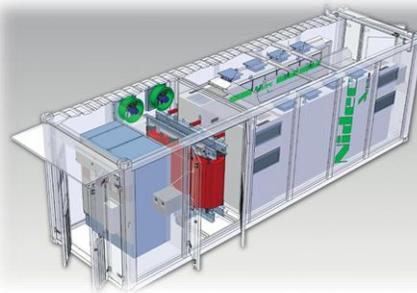
- ❑ Diodos são importantes visto que a carga tem característica indutiva!!!



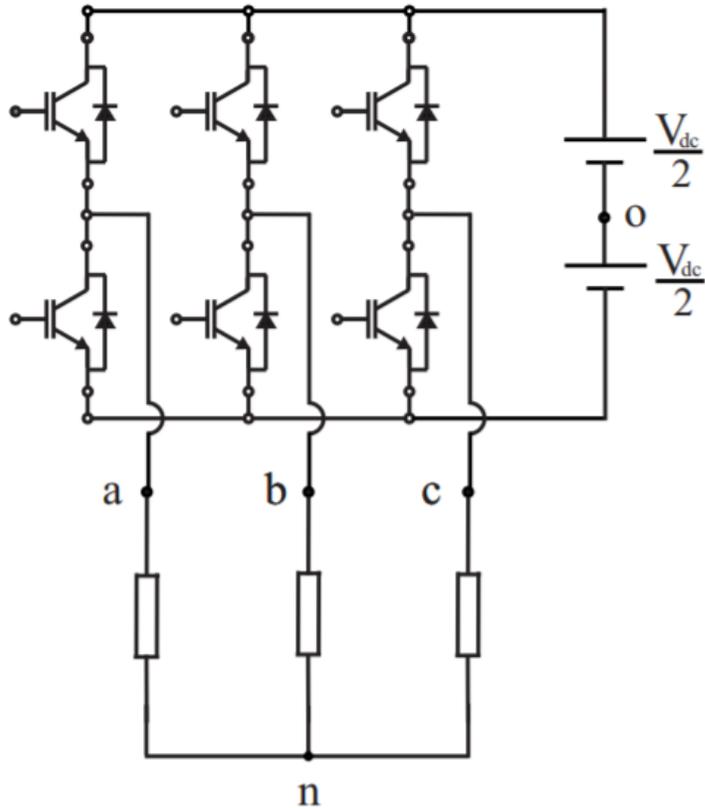


Inversor trifásico de dois níveis em modo *six-step*

Prof. Allan Fagner Cupertino
afcupertino@ieee.org



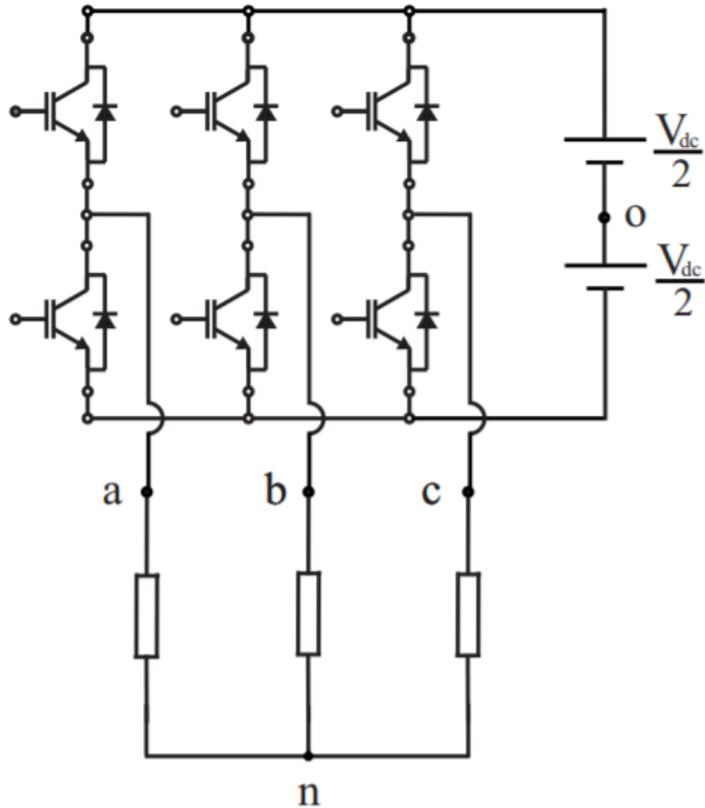
Princípio de funcionamento – inversor trifásico



S_a	S_b	S_c	V_{ao}	V_{bo}	V_{co}	V_{ab}	V_{bc}	V_{ca}	V_{an}	V_{bn}	V_{cn}

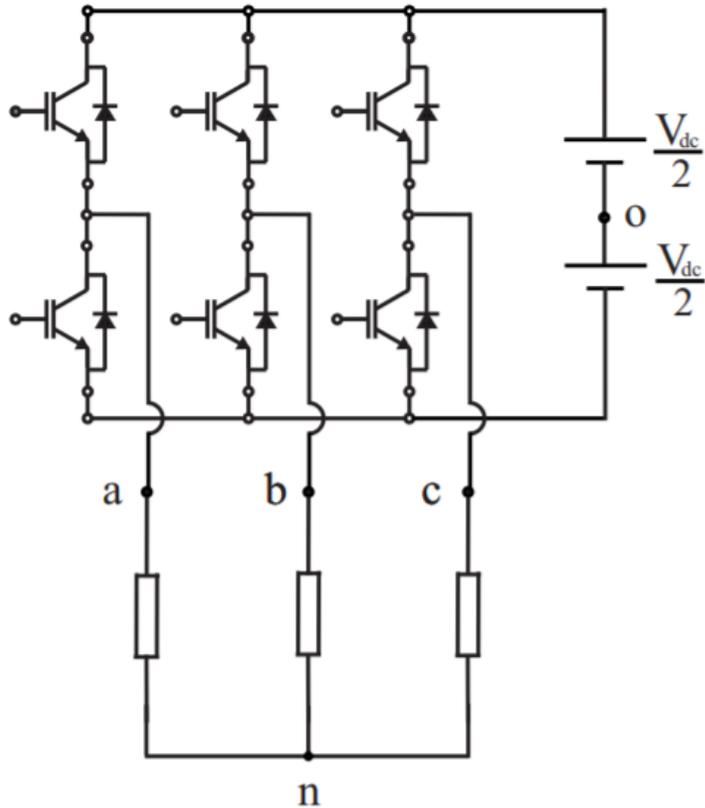
☐ Qual o valor de tensão em função dos estados dos interruptores?

Princípio de funcionamento – inversor trifásico



S_a	S_b	S_c	V_{ao}	V_{bo}	V_{co}	V_{ab}	V_{bc}	V_{ca}	V_{an}	V_{bn}	V_{cn}
1	0	0	$+\frac{V_d}{2}$	$-\frac{V_d}{2}$	$-\frac{V_d}{2}$						

Princípio de funcionamento – inversor trifásico



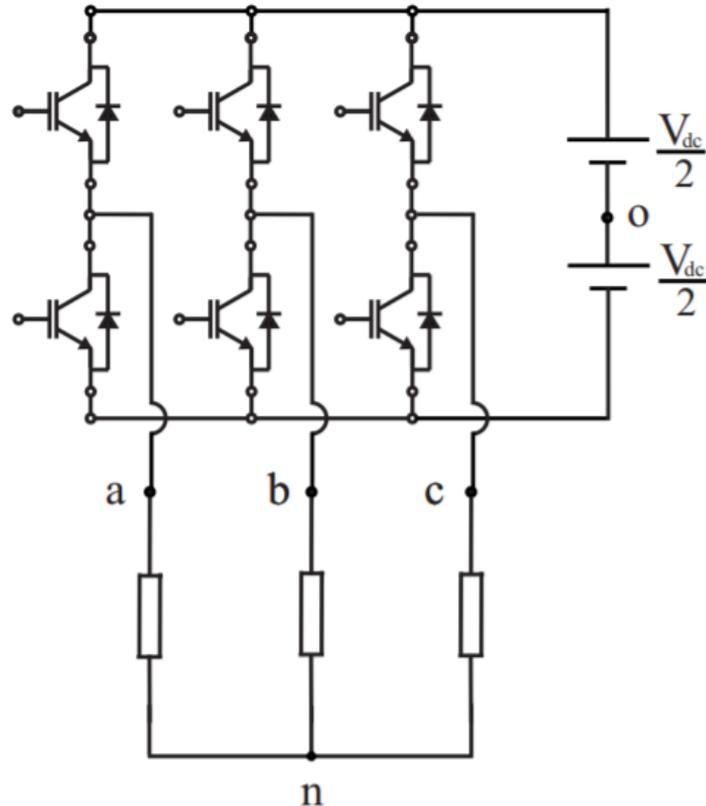
S_a	S_b	S_c	V_{ao}	V_{bo}	V_{co}	V_{ab}	V_{bc}	V_{ca}	V_{an}	V_{bn}	V_{cn}
1	0	0	$+\frac{V_d}{2}$	$-\frac{V_d}{2}$	$-\frac{V_d}{2}$	$+V_d$	0	$-V_d$			

$$V_{ab} = V_{ao} - V_{bo}$$

$$V_{bc} = V_{bo} - V_{co}$$

$$V_{ca} = V_{co} - V_{ao}$$

Princípio de funcionamento – inversor trifásico



Tensão do inversor *Tensão comum ao inversor e carga* *Depende da carga*

S_a	S_b	S_c	V_{ao}	V_{bo}	V_{co}	V_{ab}	V_{bc}	V_{ca}	V_{an}	V_{bn}	V_{cn}
1	0	0	$+\frac{V_d}{2}$	$-\frac{V_d}{2}$	$-\frac{V_d}{2}$	$+V_d$	0	$-V_d$?	?	?

$$V_{ab} = V_{ao} - V_{bo}$$

$$V_{bc} = V_{bo} - V_{co}$$

$$V_{ca} = V_{co} - V_{ao}$$

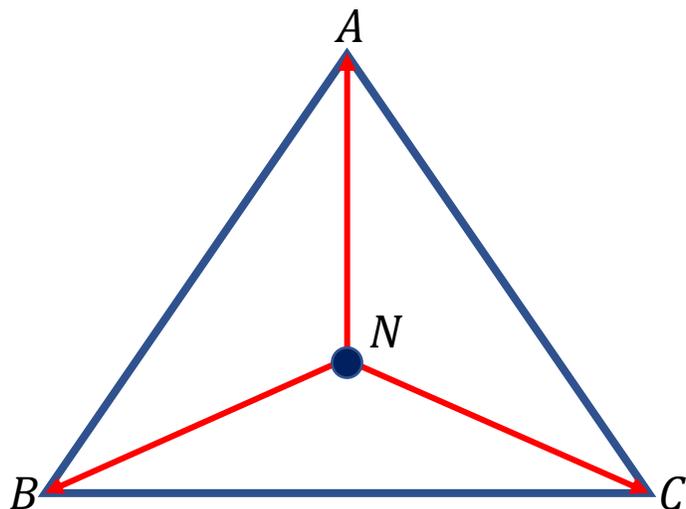
$$V_{ao} = V_{an} + V_{no}$$

$$V_{bo} = V_{bn} + V_{no}$$

$$V_{co} = V_{cn} + V_{no}$$

Princípio de funcionamento – inversor trifásico

- ❑ Consideração: a carga é equilibrada;
- ❑ Posicionamento do ponto de neutro da carga!!!



$$V_{ao} = V_{an} + V_{no}$$

$$V_{bo} = V_{bn} + V_{no}$$

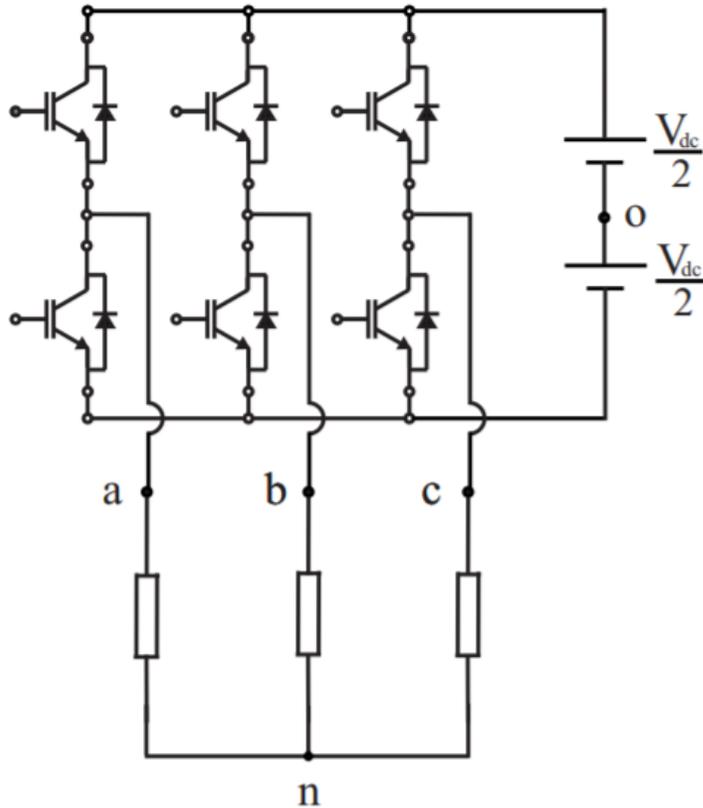
$$V_{co} = V_{cn} + V_{no}$$

$$\Rightarrow V_{ao} + V_{bo} + V_{co} = \underbrace{V_{an} + V_{bn} + V_{cn}}_0 + 3V_{no}$$

$$\Rightarrow V_{no} = \frac{V_{ao} + V_{bo} + V_{co}}{3}$$

- ❑ Análise de sinais: tensão de modo comum;
- ❑ Sistemas de potência: tensão de sequência zero.

Princípio de funcionamento – inversor trifásico



S_a	S_b	S_c	V_{ao}	V_{bo}	V_{co}	V_{ab}	V_{bc}	V_{ca}	V_{an}	V_{bn}	V_{cn}	V_{no}
1	0	0	$+\frac{V_d}{2}$	$-\frac{V_d}{2}$	$-\frac{V_d}{2}$	$+V_d$	0	$-V_d$				

$$V_{ab} = V_{ao} - V_{bo}$$

$$V_{bc} = V_{bo} - V_{co}$$

$$V_{ca} = V_{co} - V_{ao}$$

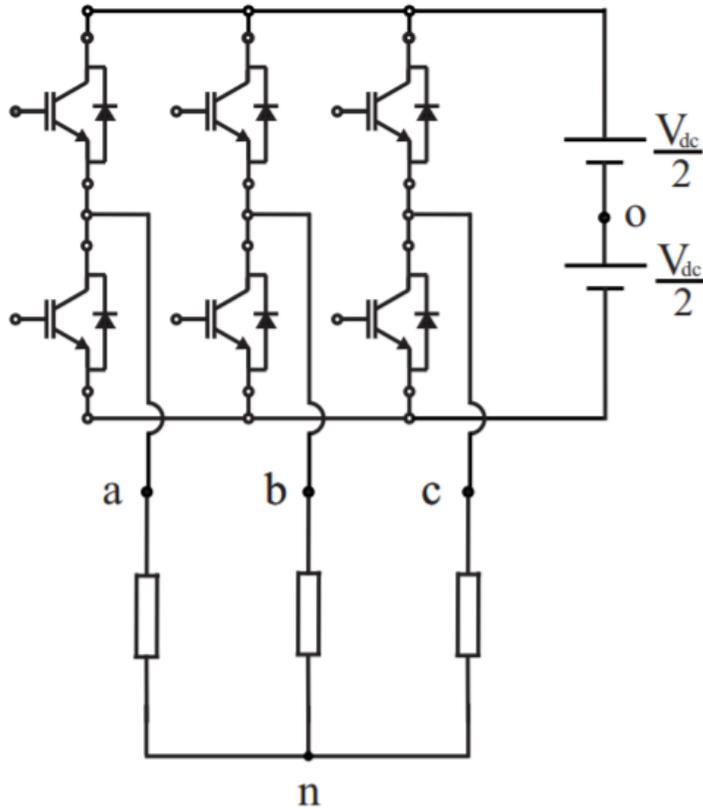
$$V_{an} = V_{ao} - V_{no}$$

$$V_{bn} = V_{bo} - V_{no}$$

$$V_{cn} = V_{co} - V_{no}$$

$$V_{no} = \frac{V_{ao} + V_{bo} + V_{co}}{3}$$

Princípio de funcionamento – inversor trifásico



S_a	S_b	S_c	V_{ao}	V_{bo}	V_{co}	V_{ab}	V_{bc}	V_{ca}	V_{an}	V_{bn}	V_{cn}	V_{no}
1	0	0	$+\frac{V_d}{2}$	$-\frac{V_d}{2}$	$-\frac{V_d}{2}$	$+V_d$	0	$-V_d$				$-\frac{V_d}{6}$

$$V_{ab} = V_{ao} - V_{bo}$$

$$V_{bc} = V_{bo} - V_{co}$$

$$V_{ca} = V_{co} - V_{ao}$$

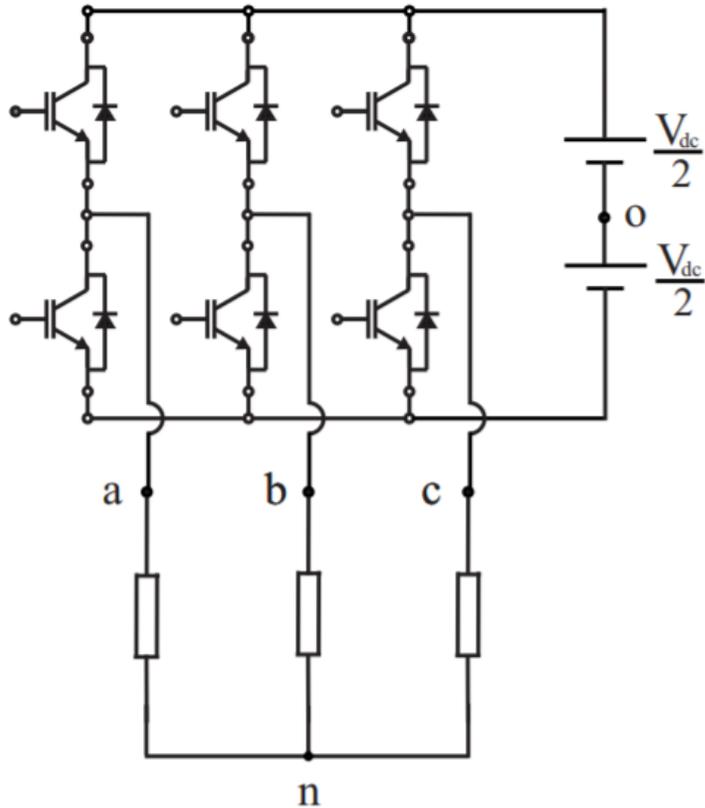
$$V_{an} = V_{ao} - V_{no}$$

$$V_{bn} = V_{bo} - V_{no}$$

$$V_{cn} = V_{co} - V_{no}$$

$$V_{no} = \frac{V_{ao} + V_{bo} + V_{co}}{3}$$

Princípio de funcionamento – inversor trifásico



S_a	S_b	S_c	V_{ao}	V_{bo}	V_{co}	V_{ab}	V_{bc}	V_{ca}	V_{an}	V_{bn}	V_{cn}	V_{no}
1	0	0	$+\frac{V_d}{2}$	$-\frac{V_d}{2}$	$-\frac{V_d}{2}$	$+V_d$	0	$-V_d$	$+\frac{2V_d}{3}$	$-\frac{V_d}{3}$	$-\frac{V_d}{3}$	$-\frac{V_d}{6}$

$$V_{ab} = V_{ao} - V_{bo}$$

$$V_{bc} = V_{bo} - V_{co}$$

$$V_{ca} = V_{co} - V_{ao}$$

$$V_{an} = V_{ao} - V_{no}$$

$$V_{bn} = V_{bo} - V_{no}$$

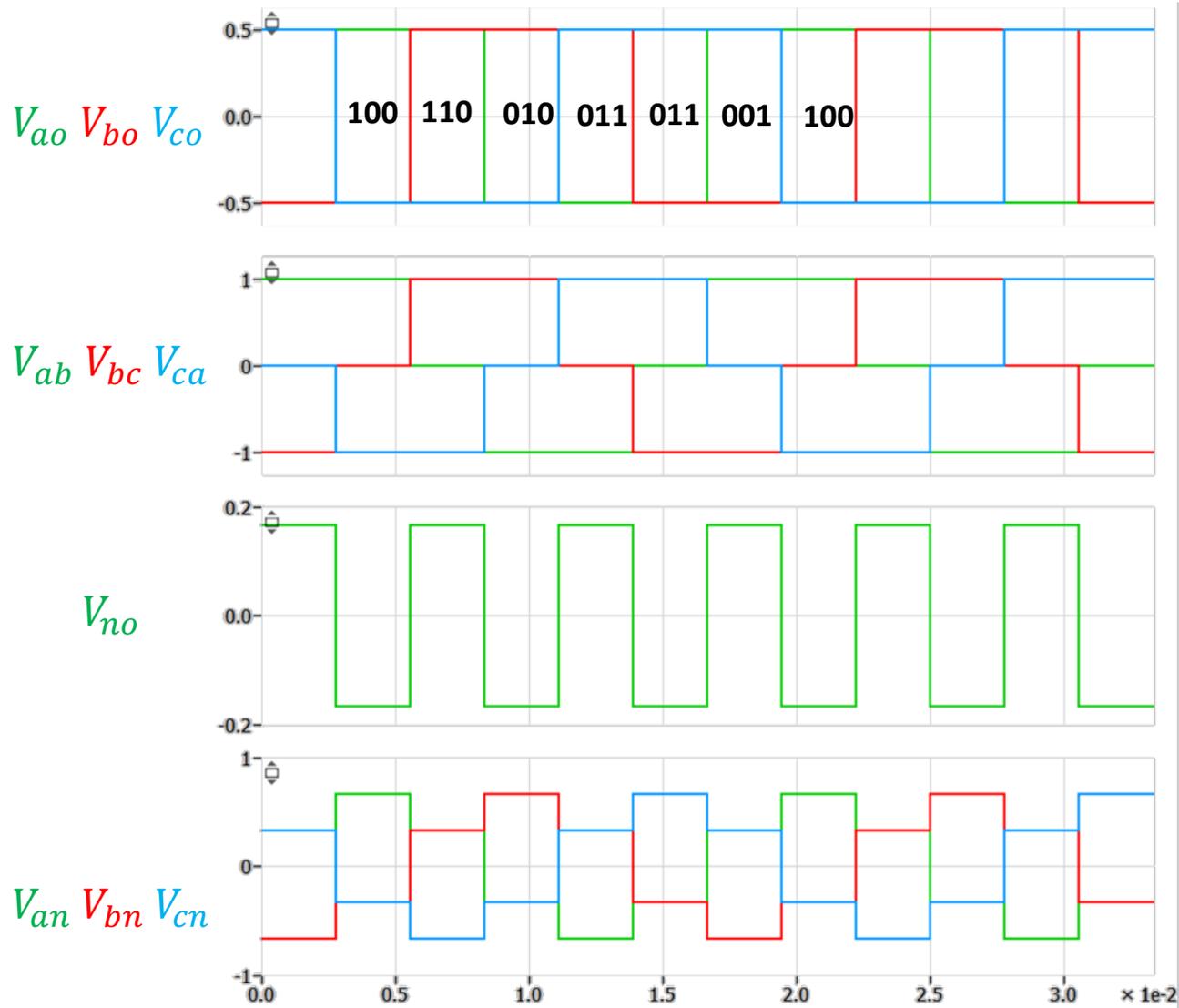
$$V_{cn} = V_{co} - V_{no}$$

$$V_{no} = \frac{V_{ao} + V_{bo} + V_{co}}{3}$$

Tabela de estados possíveis

S_a	S_b	S_c	V_{ao}	V_{bo}	V_{co}	V_{ab}	V_{bc}	V_{ca}	V_{an}	V_{bn}	V_{cn}	V_{no}
1	0	0	$+\frac{V_d}{2}$	$-\frac{V_d}{2}$	$-\frac{V_d}{2}$	$+V_d$	0	$-V_d$	$+\frac{2V_d}{3}$	$-\frac{V_d}{3}$	$-\frac{V_d}{3}$	$-\frac{V_d}{6}$
1	1	0	$+\frac{V_d}{2}$	$+\frac{V_d}{2}$	$-\frac{V_d}{2}$	0	$+V_d$	$-V_d$	$+\frac{V_d}{3}$	$+\frac{V_d}{3}$	$-\frac{2V_d}{3}$	$+\frac{V_d}{6}$
0	1	0	$-\frac{V_d}{2}$	$+\frac{V_d}{2}$	$-\frac{V_d}{2}$	$-V_d$	$+V_d$	0	$-\frac{V_d}{3}$	$+\frac{2V_d}{3}$	$-\frac{V_d}{3}$	$-\frac{V_d}{6}$
0	1	1	$-\frac{V_d}{2}$	$+\frac{V_d}{2}$	$+\frac{V_d}{2}$	$-V_d$	0	$+V_d$	$-\frac{2V_d}{3}$	$+\frac{V_d}{3}$	$+\frac{V_d}{3}$	$+\frac{V_d}{6}$
0	0	1	$-\frac{V_d}{2}$	$-\frac{V_d}{2}$	$+\frac{V_d}{2}$	0	$-V_d$	$+V_d$	$-\frac{V_d}{3}$	$-\frac{V_d}{3}$	$+\frac{2V_d}{3}$	$-\frac{V_d}{6}$
1	0	1	$+\frac{V_d}{2}$	$-\frac{V_d}{2}$	$+\frac{V_d}{2}$	$+V_d$	$-V_d$	0	$+\frac{V_d}{3}$	$-\frac{2V_d}{3}$	$+\frac{V_d}{3}$	$+\frac{V_d}{6}$
0	0	0	$-\frac{V_d}{2}$	$-\frac{V_d}{2}$	$-\frac{V_d}{2}$	0	0	0	0	0	0	$-\frac{V_d}{2}$
1	1	1	$+\frac{V_d}{2}$	$+\frac{V_d}{2}$	$+\frac{V_d}{2}$	0	0	0	0	0	0	$+\frac{V_d}{2}$

Forma de onda do inversor ($V_d = 1 pu$)



$$V_{ao,1} = \frac{2}{\pi} V_d \quad V_{ao,h} = \frac{V_{ao,1}}{h} \quad \forall h = 1,3,5, \dots$$

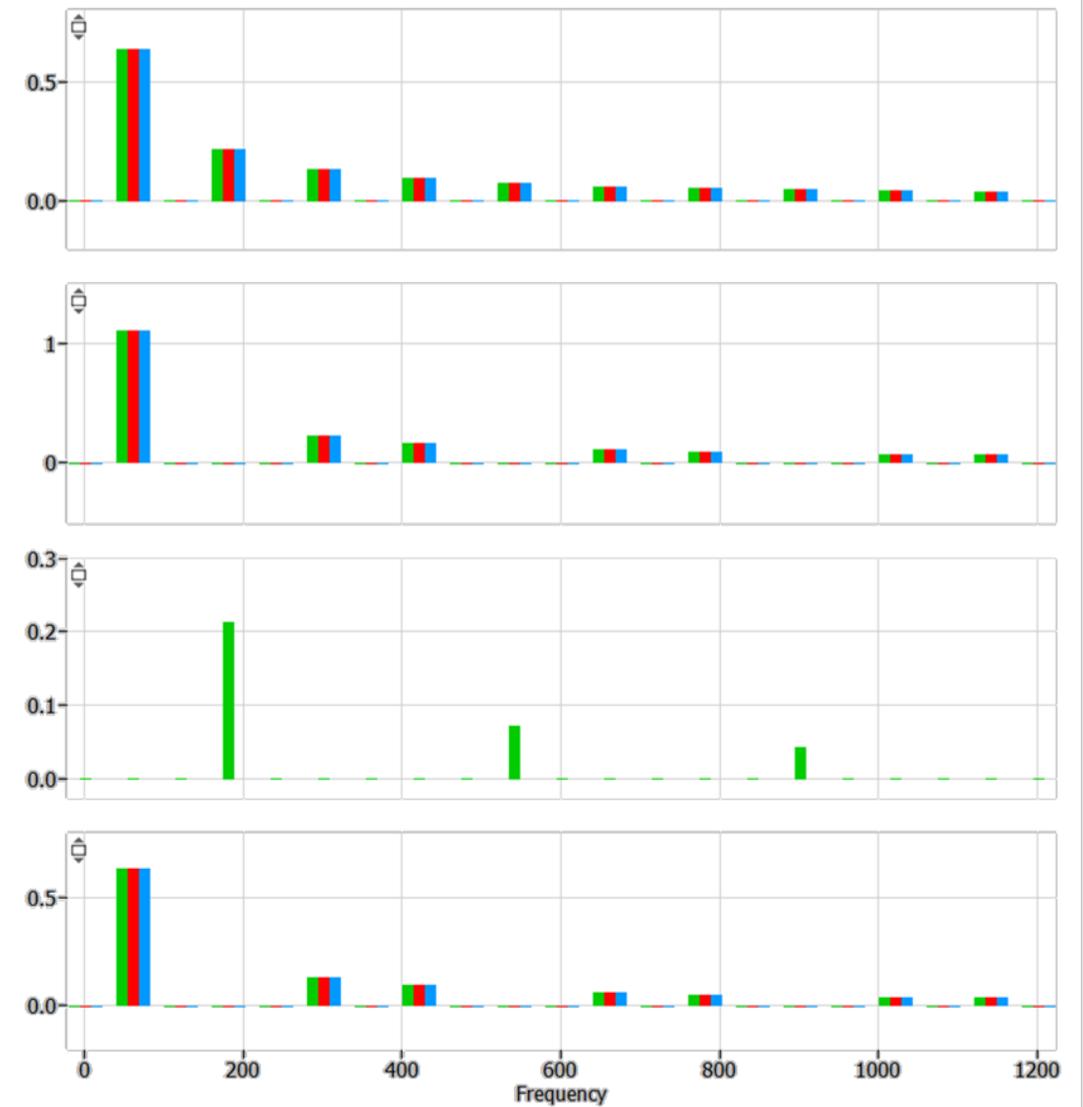
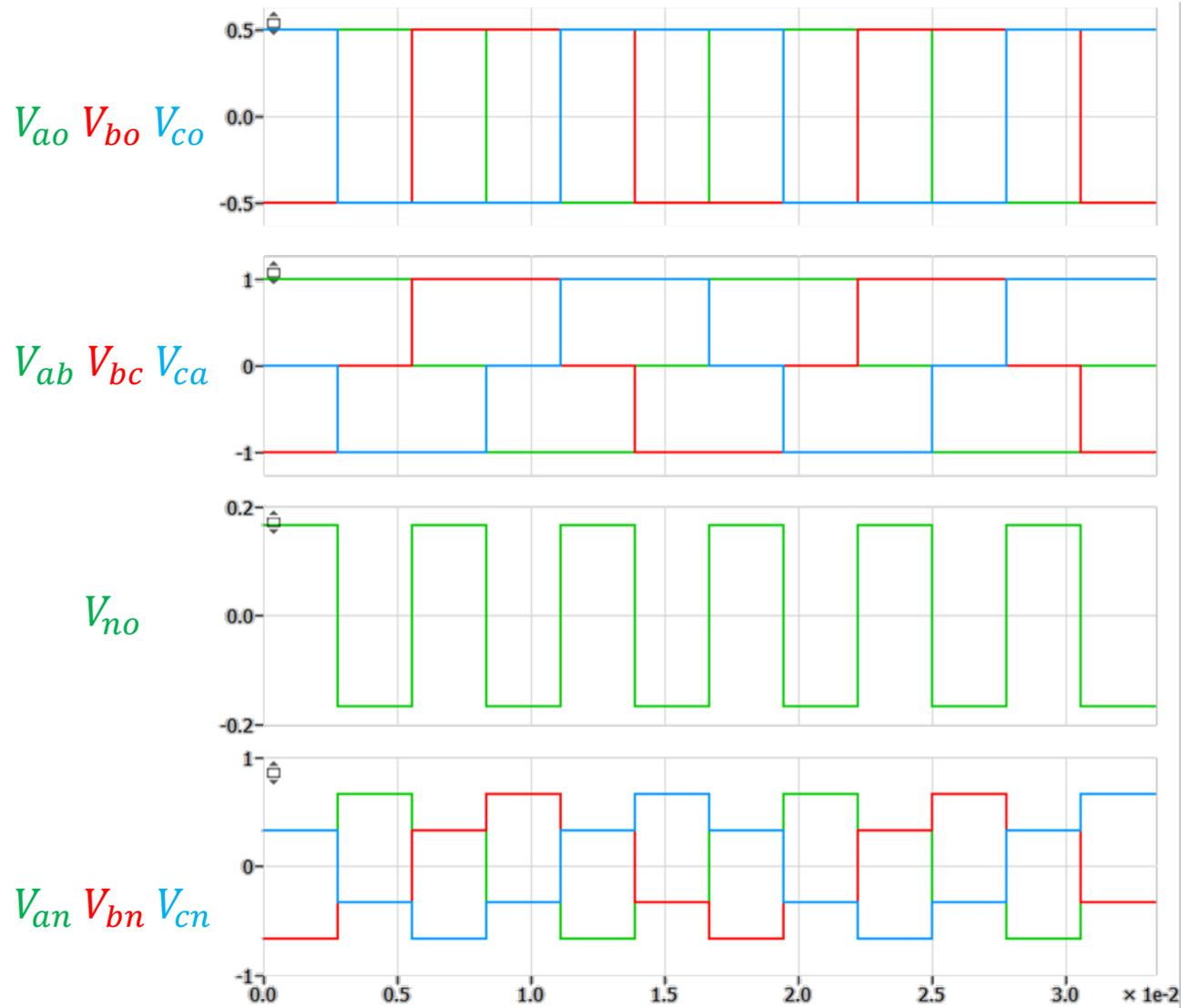
$$V_{ab,1} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} V_d \quad V_{ab,h} = \frac{V_{ab,1}}{h} \quad \forall h = 1,5,7,11,13 \dots$$

$$V_{no,1} = \frac{4 V_d}{\pi 6} = \frac{2 V_d}{\pi 3} \quad V_{no,h} = \frac{V_{no,1}}{h} \quad \forall h = 1,3,5, \dots$$

$$V_{an,1} = \frac{2}{\pi} V_d \quad V_{an,h} = \frac{V_{an,1}}{h} \quad \forall h = 1,5,7,11,13 \dots$$

"six - step"

Forma de onda do inversor ($V_d = 1 pu$)



Obrigado pela Atenção



Bons estudos!



Dúvidas: afcupertino@ieee.org



www.gesep.ufv.br



@GESEP



@gesep_vicosa



Gesep



Pesquise por:
“GESEP UFV”



EStimate - Sistemas
Fotovoltaicos

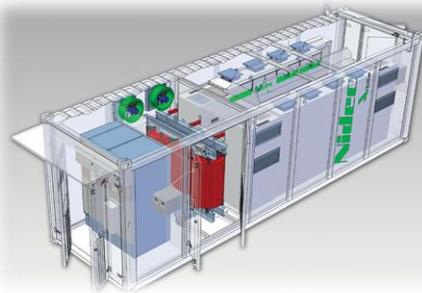


Pesquise por:
“EStimate”



Teoria de vetores espaciais

Prof. Allan Fagner Cupertino
afcupertino@ieee.org



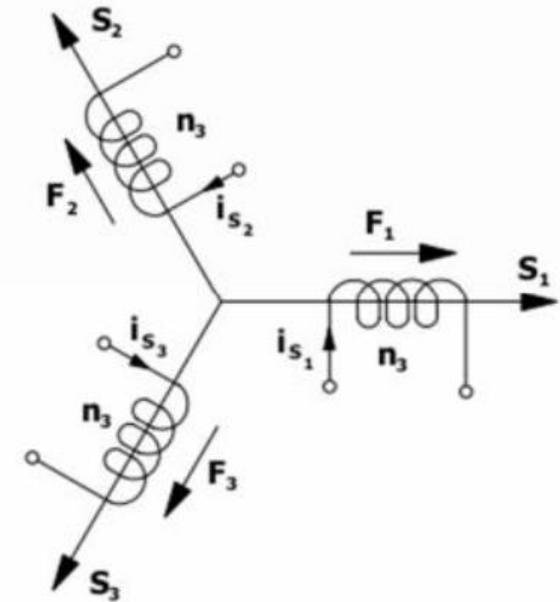
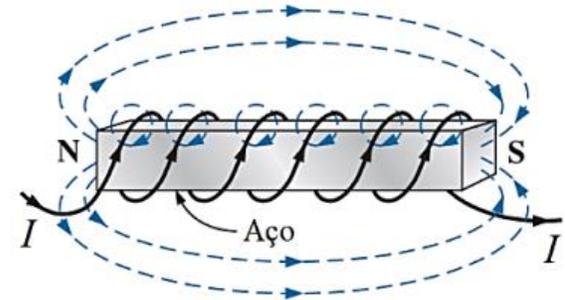
Teoria de vetores espaciais

- ❑ Teoria originada no estudo de máquinas elétricas;
- ❑ Aplicado no estudo de inversores e sistemas de potência;
- ❑ Baseada em uma observação simples;
- ❑ Atribuição de direção e sentido à corrente (Kovacs);
- ❑ “Fasores espaciais”.

Fontes:

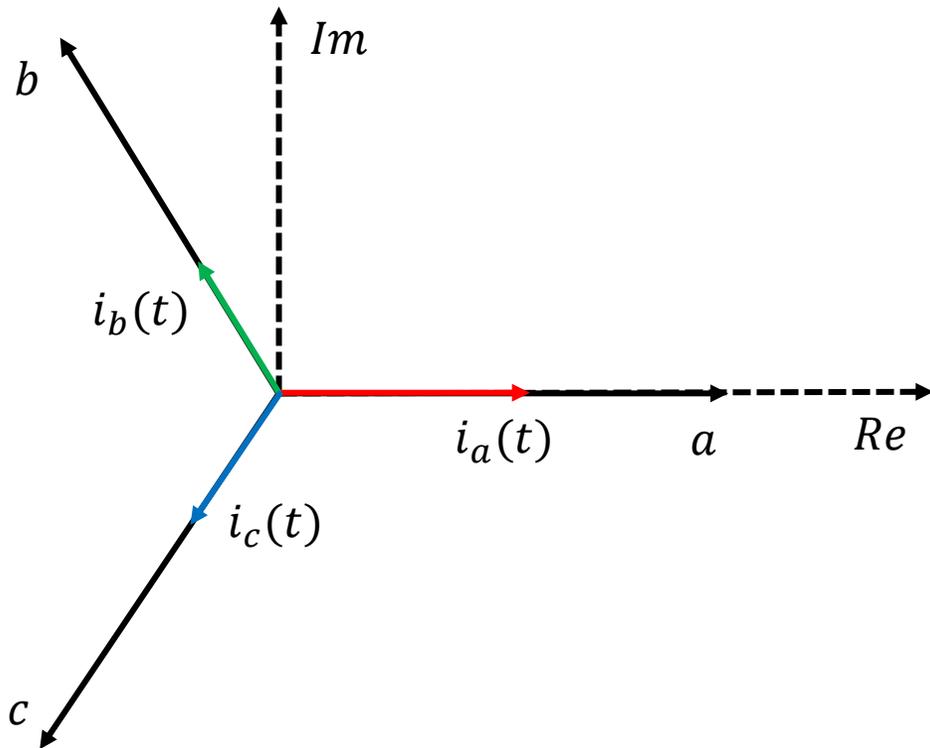
[1] Boylestad, R. L. . “Introdução a análise de circuitos”.

[2] Barbi, Ivo. “Teoria fundamental do motor de indução”.



Teoria de vetores espaciais

❑ Deslocamento espacial! Não confundir com fasores!



$$\vec{i} = [i_a(t) 1\angle 0^\circ + i_b(t) 1\angle 120^\circ + i_c(t) 1\angle 240^\circ]$$

❑ Exemplo: $i_a = 1 \text{ A}$ e $i_b = i_c = -0,5 \text{ A}$.

$$\vec{i} = [1 \times 1\angle 0^\circ - 0,5 \times 1\angle 120^\circ - 0,5 \times 1\angle 240^\circ]$$

$$\Rightarrow \vec{i} = 1,5\angle 0^\circ$$

Teoria de vetores espaciais – caso genérico

$$\vec{i} = k [i_a(t) 1\angle 0^\circ + i_b(t) 1\angle 120^\circ + i_c(t) 1\angle 240^\circ]$$

□ $k = \frac{2}{3}$ → conservação da força magnetomotriz;

□ $k = \frac{\sqrt{3}}{2}$ → conservação da potência;

□ Versão mais popular (caso genérico, tensão ou corrente):

$$\vec{f} = \frac{2}{3} [f_a(t) 1\angle 0^\circ + f_b(t) 1\angle 120^\circ + f_c(t) 1\angle 240^\circ]$$

Aplicação da teoria de vetores espaciais – inversor

$$\vec{v} = \frac{2}{3} [v_{an}(t) 1\angle 0^\circ + v_{bn}(t) 1\angle 120^\circ + v_{cn}(t) 1\angle 240^\circ]$$

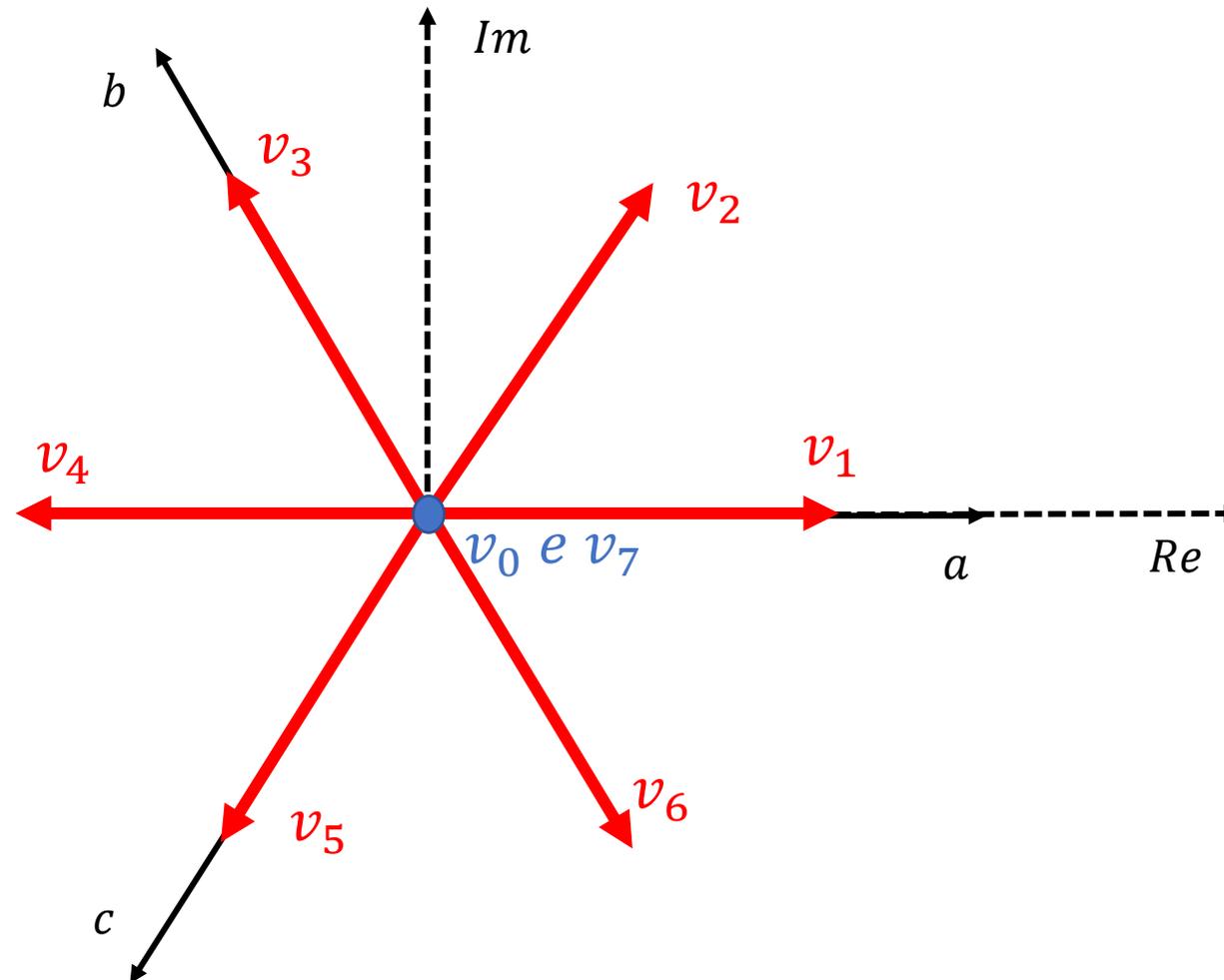
□ Exemplo: Estado $S_a = 1, S_b = S_c = 0$.

S_a	S_b	S_c	V_{an}	V_{bn}	V_{cn}
1	0	0	$+\frac{2V_d}{3}$	$-\frac{V_d}{3}$	$-\frac{V_d}{3}$

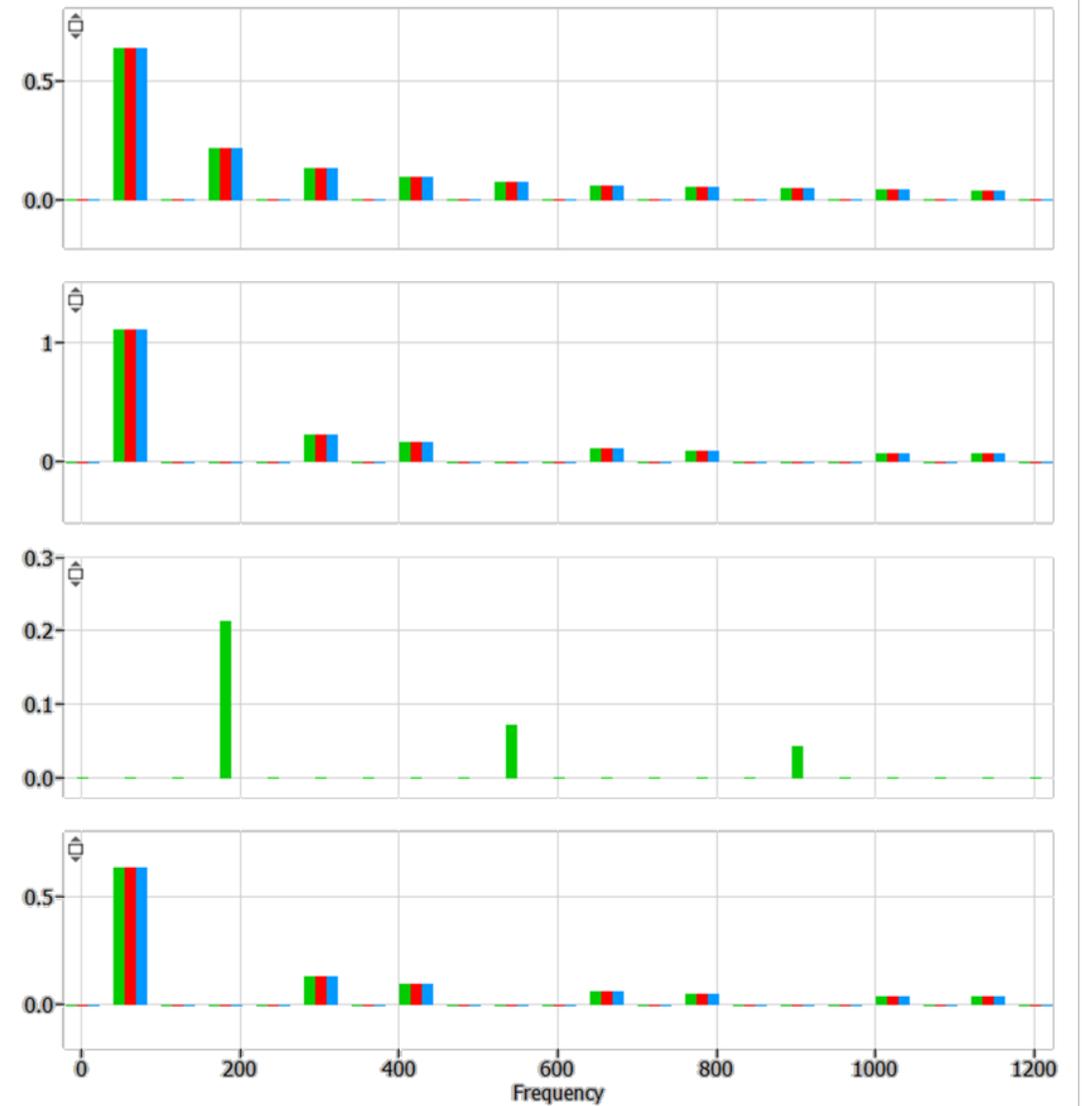
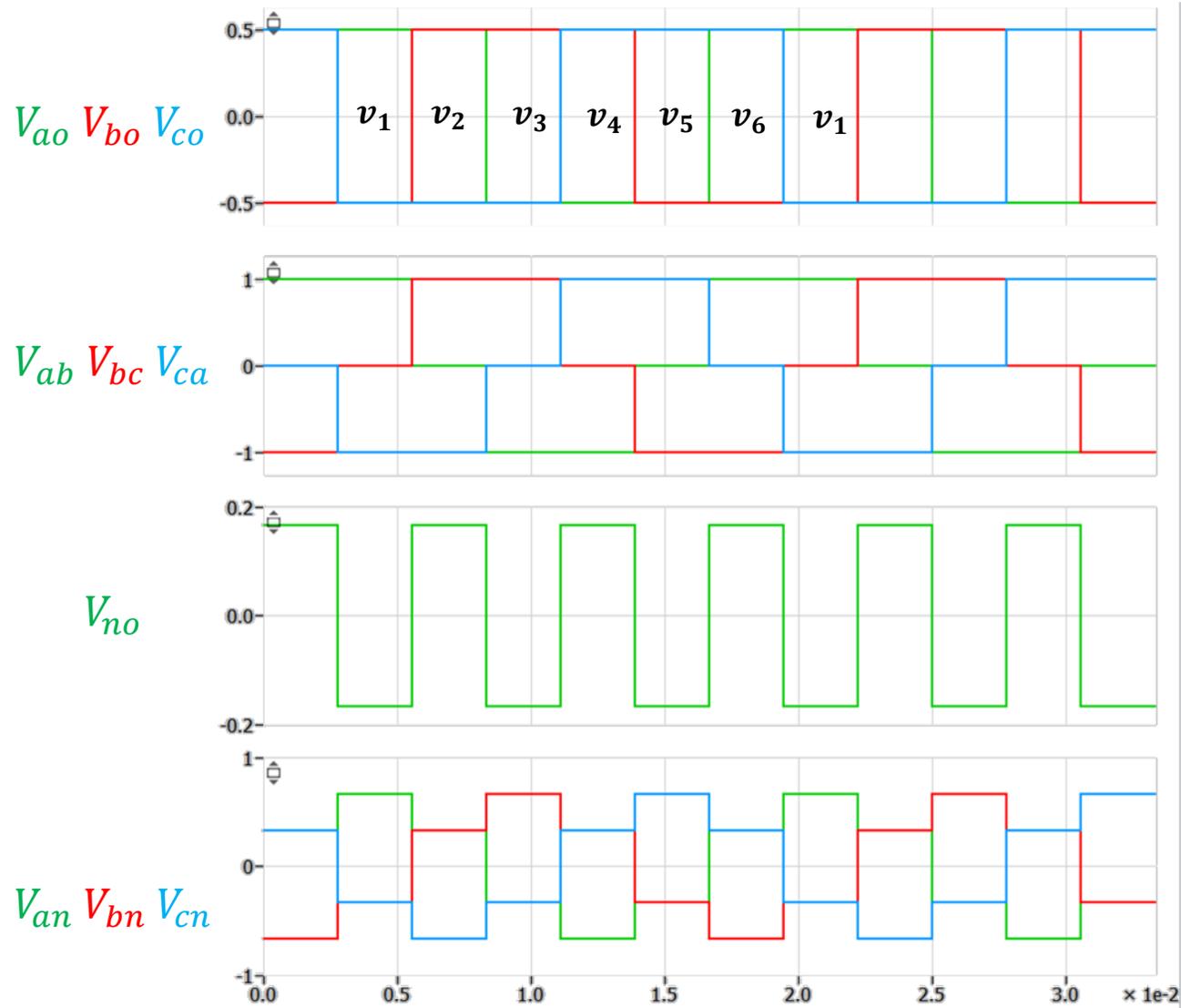
$$\vec{v}_1 = \frac{2}{3} \left[\frac{2V_d}{3} 1\angle 0 - \frac{V_d}{3} 1\angle 120 - \frac{V_d}{3} 1\angle 240^\circ \right] \Leftrightarrow \boxed{\vec{v}_1 = \frac{2}{3} V_d \angle 0^\circ}$$

Aplicação da teoria de vetores espaciais – inversor

□ Plano de tensões do inversor

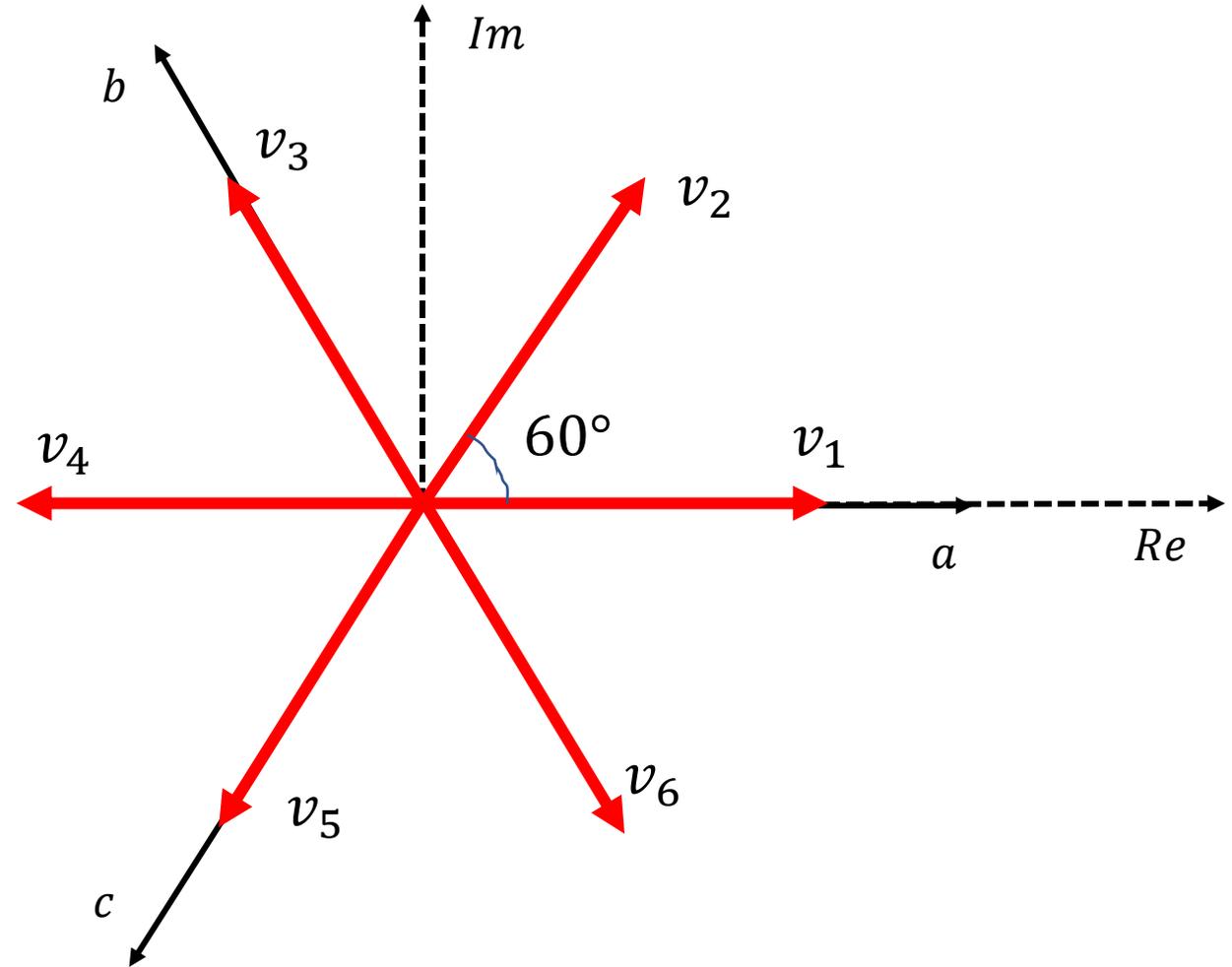


Forma de onda do inversor ($V_d = 1 pu$)



Conclusões

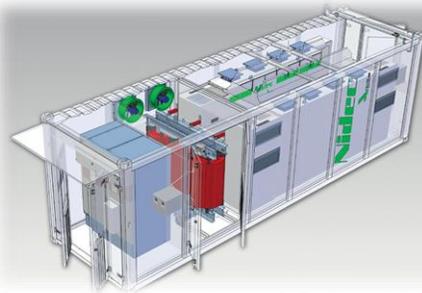
- ❑ Plano de tensões do inversor;
- ❑ Vetores ativos: $\frac{2}{3} v_d$;
- ❑ Vetores nulos: 0;
- ❑ Valor da tensão da fase: projeção;
- ❑ O inversor só consegue fazer isso!





Modulação PWM de inversores

Prof. Allan Fagner Cupertino
afcupertino@ieee.org



Introdução

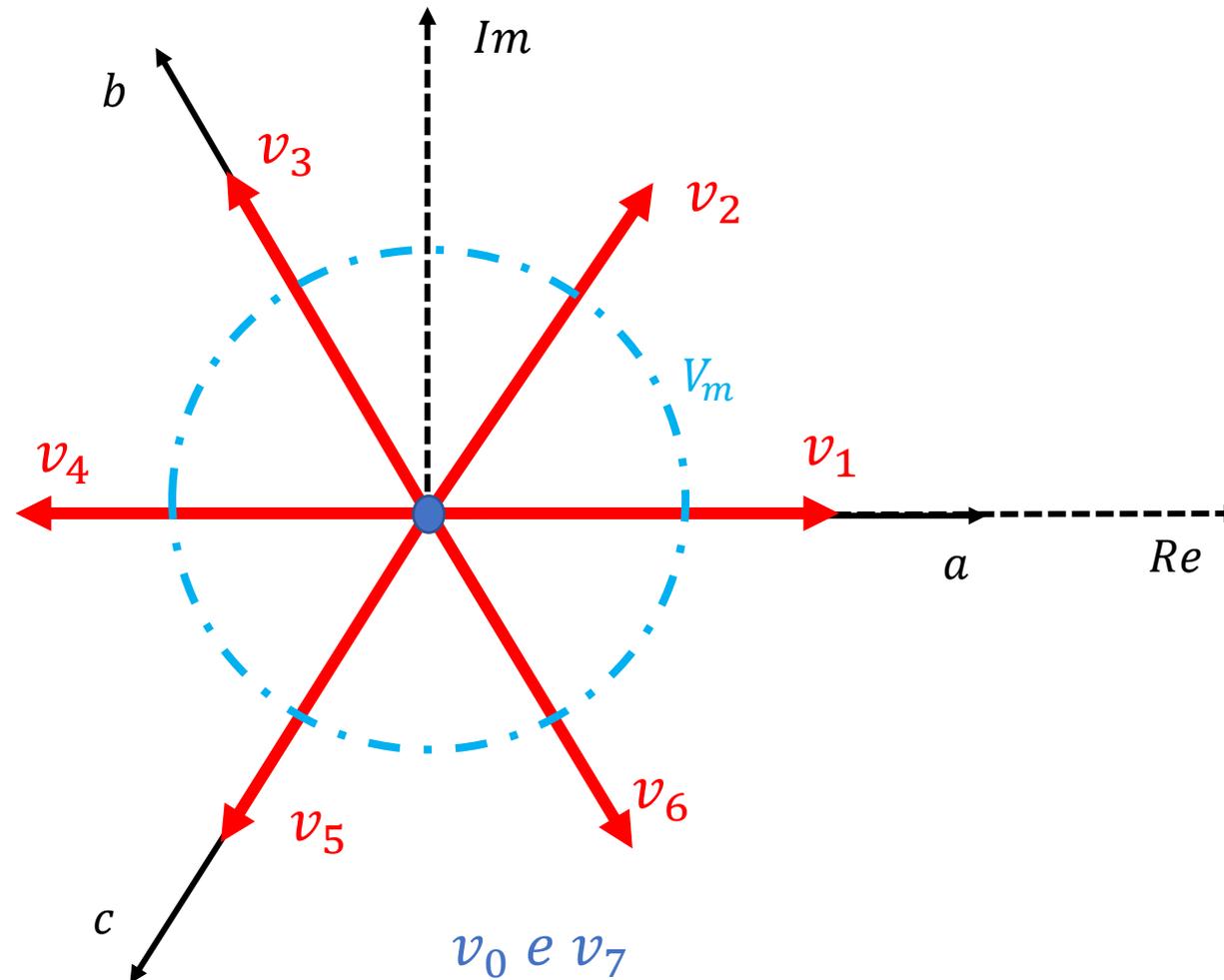
- ❑ Suponha que deseja-se sintetizar com o inversor tensões senoidais trifásicas equilibradas dadas por:

$$\begin{cases} v_a = V_m \cos(\omega t + \alpha) \\ v_b = V_m \cos(\omega t + \alpha - 120^\circ) \\ v_c = V_m \cos(\omega t + \alpha + 120^\circ) \end{cases}$$

- ❑ O vetor espacial será dado por $\vec{v} = V_m e^{j\omega t}$. (verifique)
- ❑ Qual a trajetória desta tensão no plano de tensões?

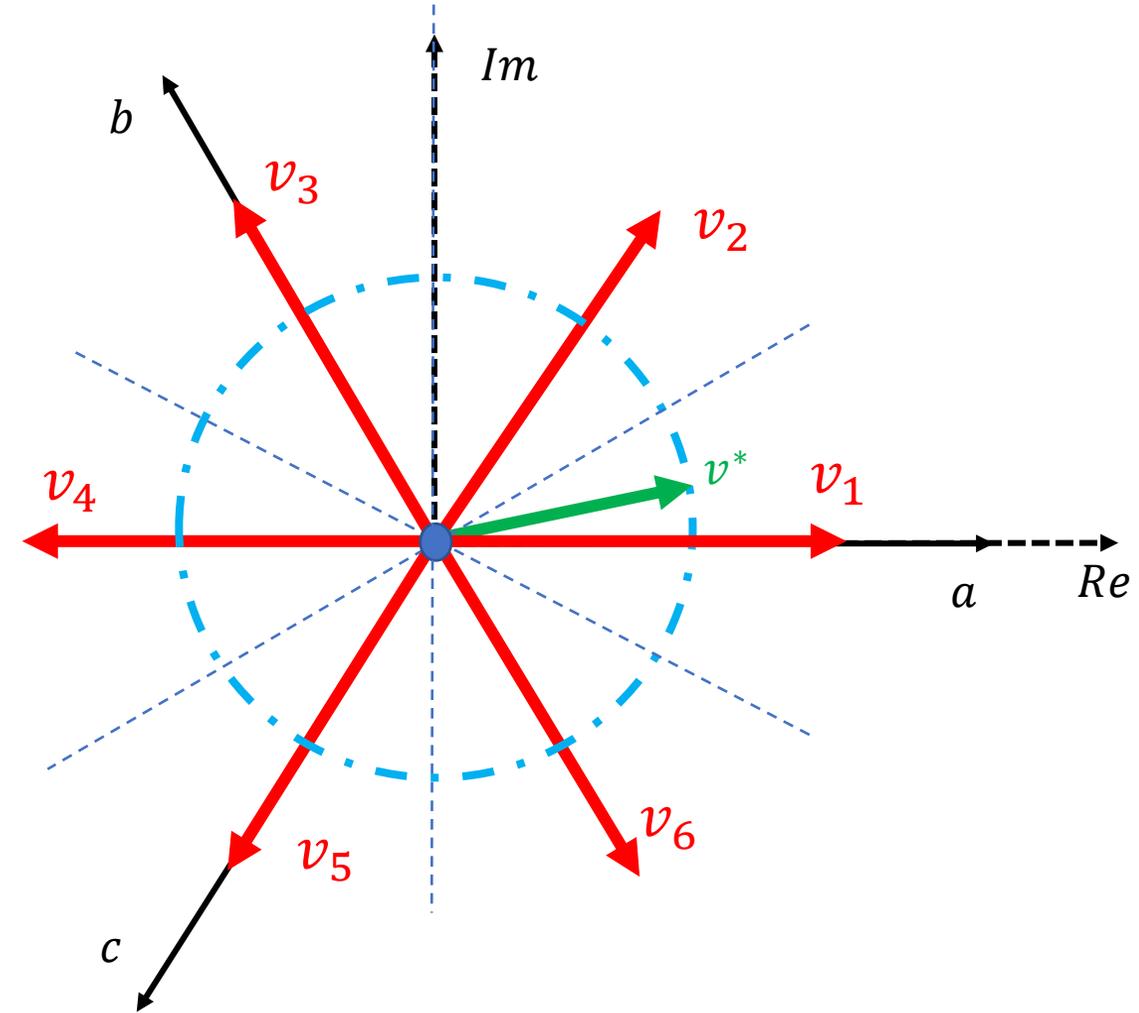
Aplicação da teoria de vetores espaciais – inversor

□ Plano de tensões do inversor



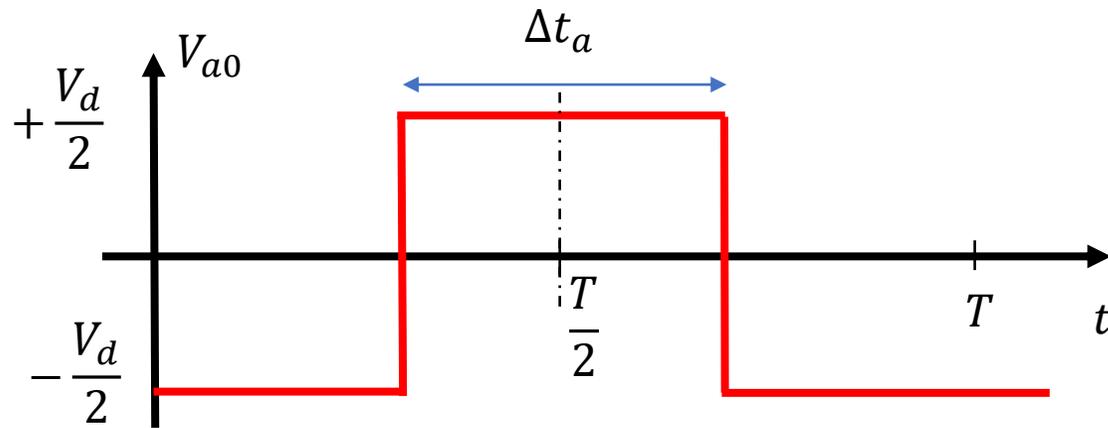
Princípio de operação – operação em onda quadrada

- ❑ Como sintetizar a tensão v^* ?
- ❑ Utilizar o vetor mais próximo;
- ❑ Cada vetor é aplicado por 60° ;
- ❑ Conversor A/D de baixa resolução;
- ❑ Resulta na tensão six-step!



Modulação de inversores dois níveis

❑ Como sintetizar a tensão v^* ?



$$\overline{v_{ao}} = \frac{1}{T} \int_0^T v_{ao}(t) dt = \frac{1}{T} \left(\frac{V_d}{2} \Delta t_a \right) - \frac{V_d}{2} (T - \Delta t_a)$$

$$\Leftrightarrow \boxed{\overline{v_{ao}} = \frac{1}{T} \frac{V_d}{2} (2\Delta t_a - T)}$$

❑ Testes de verificação:

➤ Se $\Delta t_a = 0 \rightarrow \overline{v_{ao}} = -\frac{V_d}{2}$;

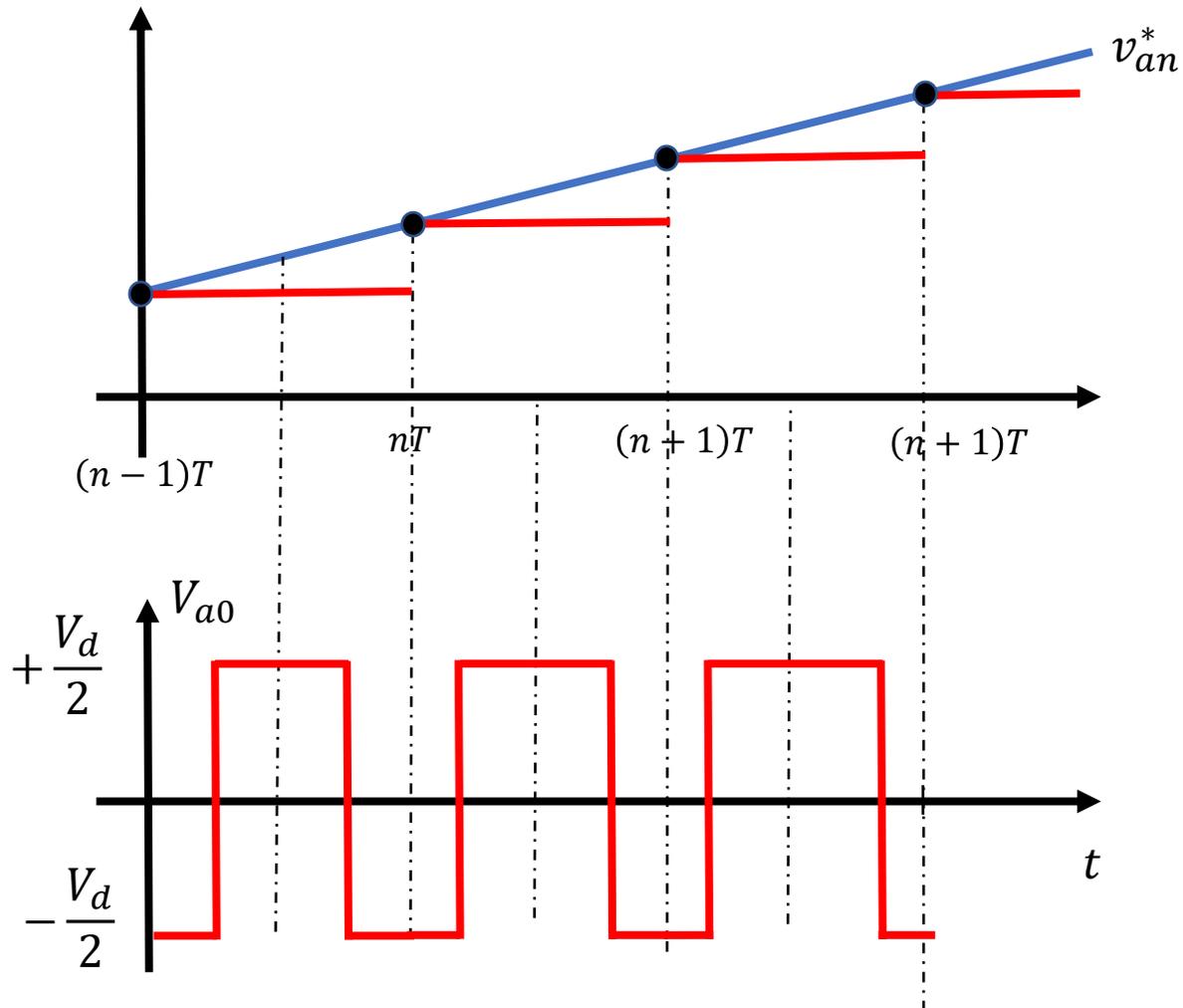
➤ Se $\Delta t_a = \frac{T}{2} \rightarrow \overline{v_{ao}} = 0$;

➤ Se $\Delta t_a = T \rightarrow \overline{v_{ao}} = +\frac{V_d}{2}$

❑ Conclusão: $0 \leq \Delta t_a \leq T \rightarrow -\frac{V_d}{2} \leq \overline{v_{ao}} \leq \frac{V_d}{2}$

Pode-se sintetizar, **na média**, qualquer tensão entre $-\frac{V_d}{2}$ e $+\frac{V_d}{2}$!!!

“Valor médio instantâneo”



Objetivo: $v_{an}^*(nT) \Rightarrow \overline{v_{ao}}$

$$v_{an}^*(nT) = \frac{1}{T} \frac{V_d}{2} (2\Delta t_a - T)$$

$$\Leftrightarrow \Delta t_a = \frac{T}{2} \left(\frac{v_{an}^*(nT)}{V_d/2} + 1 \right)$$

Note que a média da tensão v_{ao} em um período de comutação é igual ao valor de referência.

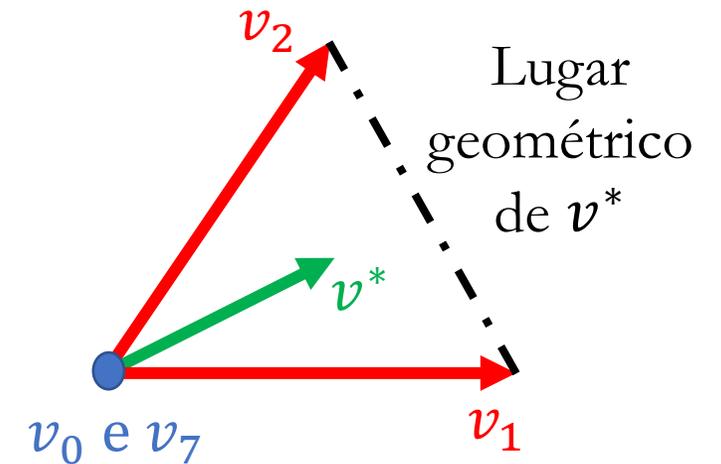
Modulação PWM (pulse-width modulation)

Modulação PWM no plano de tensões

$$v^* = \frac{2}{3} [v_{an}^*(t) 1\angle 0^\circ + v_{bn}^* 1\angle 120^\circ + v_{cn}^* 1\angle 240^\circ]$$

Se fizermos:

$$v^* = \frac{\Delta t_1 \vec{v}_1 + \Delta t_2 \vec{v}_2}{T} \quad \text{e} \quad \Delta t_1 + \Delta t_2 = T$$



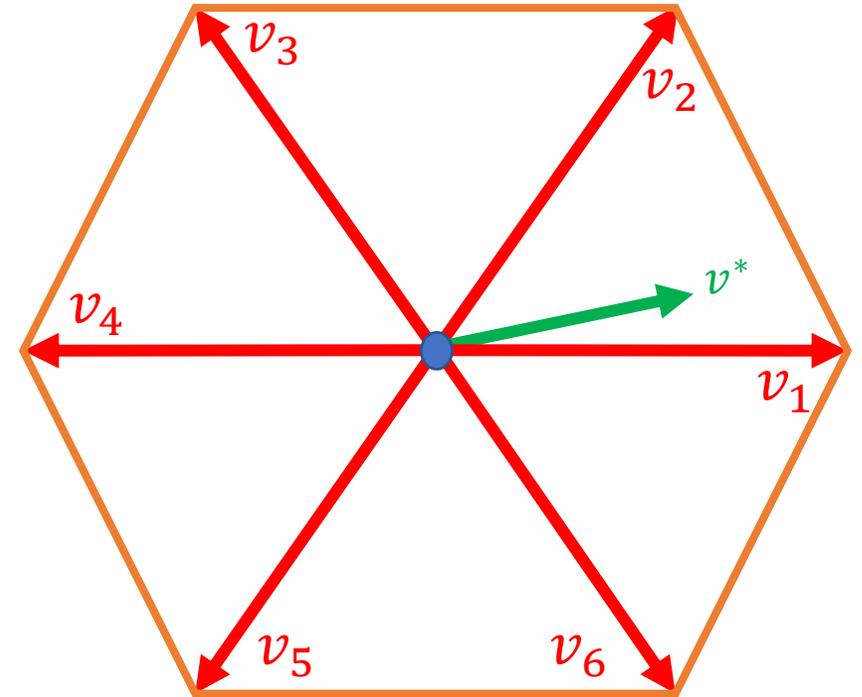
Teremos uma combinação linear interna legítima dos dois vetores.

Para sintetizar um v^* menor deve-se utilizar os vetores nulos!

$$v^* = \frac{\Delta t_1 \vec{v}_1 + \Delta t_2 \vec{v}_2 + \Delta t_{0,7} \vec{v}_{0,7}}{T} \quad \text{e} \quad \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_{0,7} = T$$

Qual o limite da tensão que pode ser obtida?

- ❑ Combinação interna legítima!
- ❑ Máxima tensão limitada por um hexágono regular;
- ❑ Triângulos internos são equiláteros!
- ❑ Qual o maior valor da amplitude de v^* ?



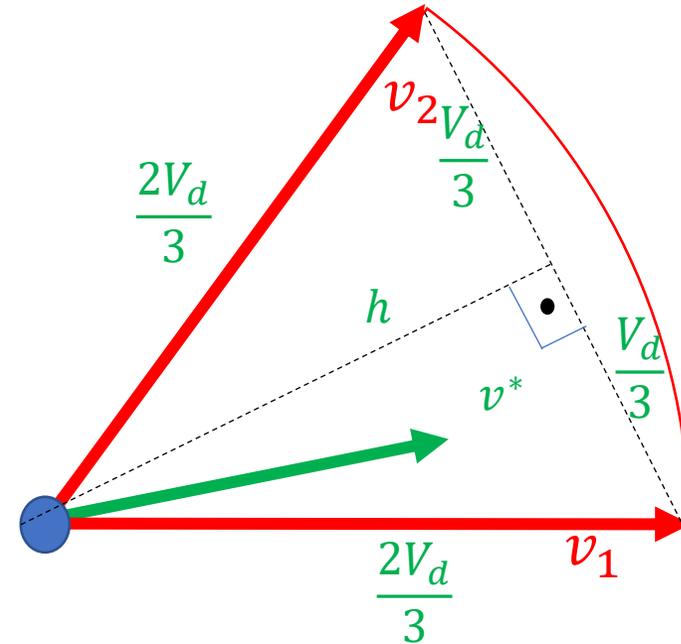
Qual o limite da tensão que pode ser obtida?

- Usando geometria, pode-se calcular a tensão máxima:

$$\max|v^*| = h = \sqrt{\left(\frac{2}{3}V_d\right)^2 - \left(\frac{2}{3}V_d\right)^2}$$

Portanto,

$$\max|v^*| = \frac{V_d}{\sqrt{3}}$$



Dilema interessante

□ Partindo-se da relação

$$\Delta t_a = \frac{T}{2} \left(\frac{v_{an}^*(nT)}{V_d/2} + 1 \right)$$

E assumindo máximo valor de $\Delta t_a = T$, podemos obter que

$$\max |v_{an}^*| = \frac{V_d}{2}.$$

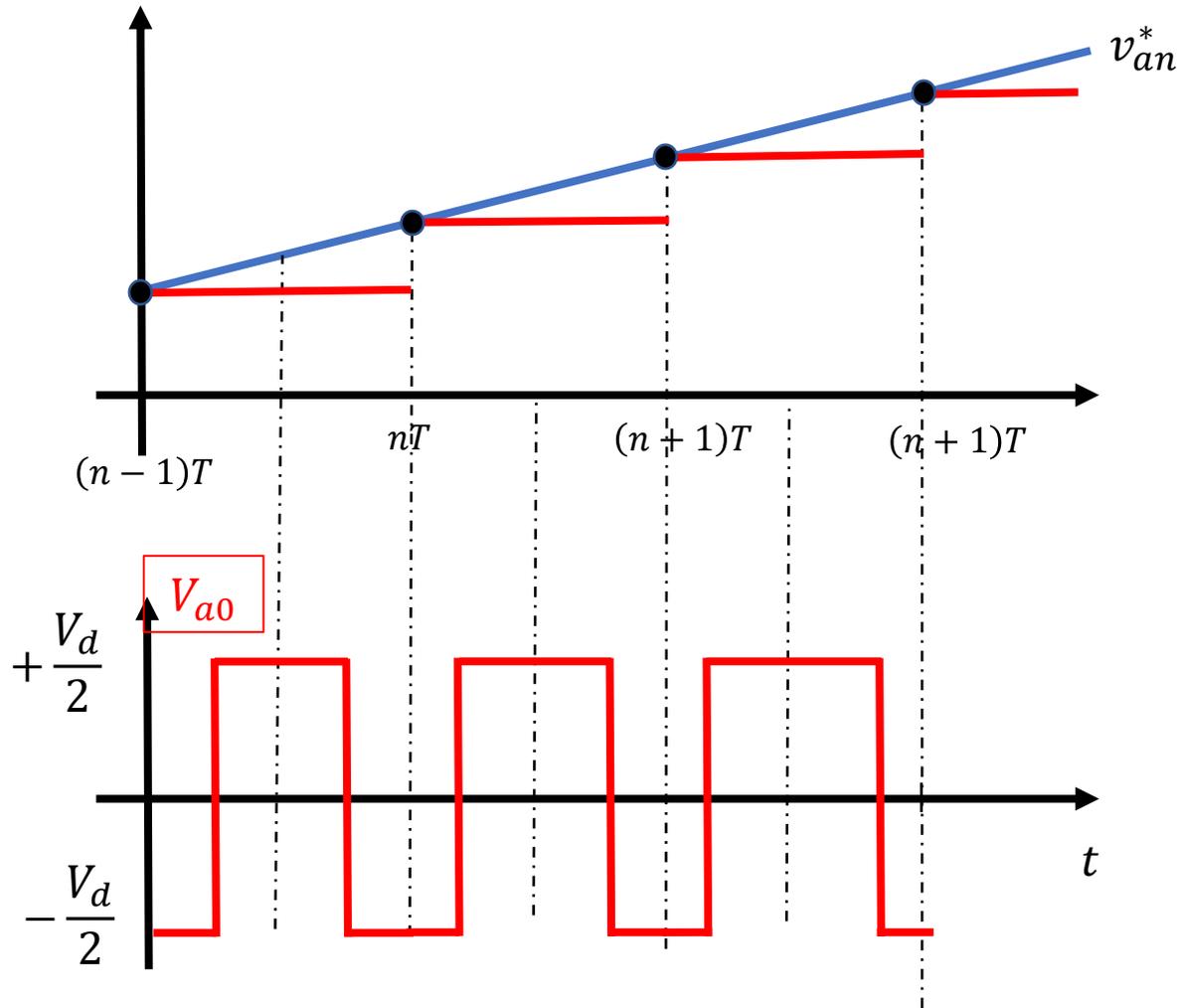
Note que no caso anterior obtemos que $\max |v^*| = \frac{V_d}{\sqrt{3}}$.

□ Dilema: Por que obtemos dois resultados diferentes?

Utilização do barramento CC

- ❑ Operação em onda quadrada: $v_{an,1} = \frac{2}{\pi} V_d = 0,637 V_d$;
- ❑ Limitação método vetorial: $v_{an,1} = \frac{V_d}{\sqrt{3}} = 0,577 V_d$;
- ❑ Limitação método alternativo (senoidal): $v_{an,1} = \frac{V_d}{2} = 0,5 V_d$
- ❑ Índice de modulação: $m = \frac{v_{an,1}}{v_{an,1,sixstep}}$.

Resolvendo o aparente dilema



Objetivo: $v_{an}^*(nT) \Rightarrow \overline{v_{ao}}$

$$v_{an}^*(nT) = \frac{1}{T} \frac{V_d}{2} (2\Delta t_a - T)$$

$$\Leftrightarrow \Delta t_a = \frac{T}{2} \left(\frac{v_{an}^*(nT)}{V_d/2} + 1 \right)$$

Assumiu-se $v_{no} = 0!!!$

Conclusão

- ❑ v_{ao} está limitado à metade do barramento CC! O mesmo não acontece com v_{an} ;
- ❑ A restrição $v_{an} = v_{ao}$ assume $v_{no} = 0$;
- ❑ Abordagem por equação é mais restritiva, o que limita a tensão de saída do inversor;
- ❑ Isto custa caro (15% da tensão de saída);
- ❑ Na abordagem vetorial não existe restrição;
- ❑ Pergunta: Qual o v_{no} que permite atingir o mesmo limite?
- ❑ Mistério por um longo tempo!

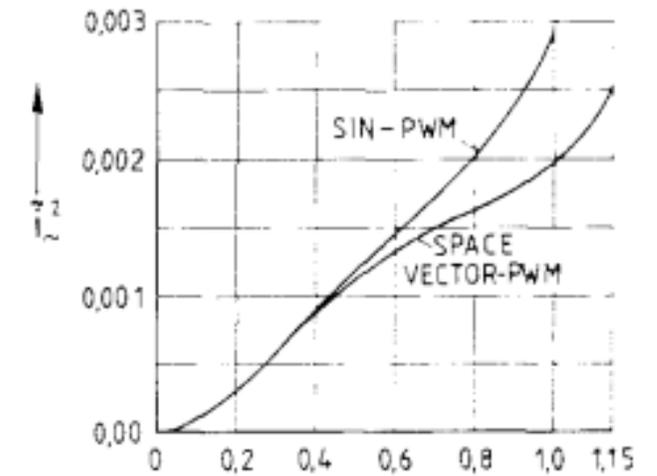
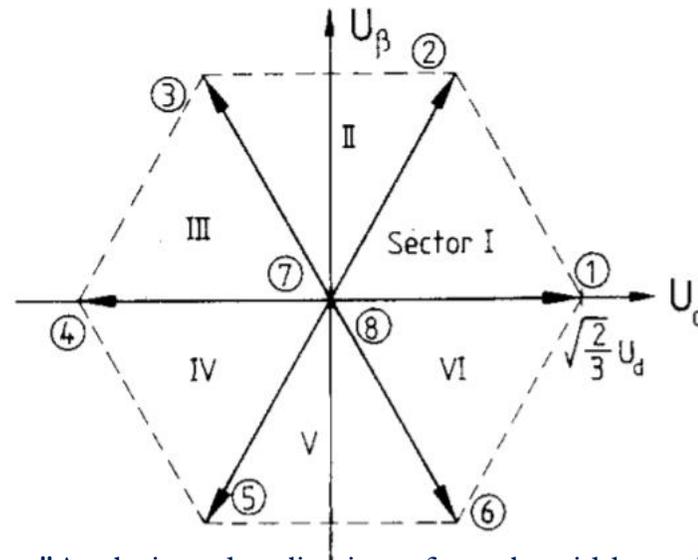
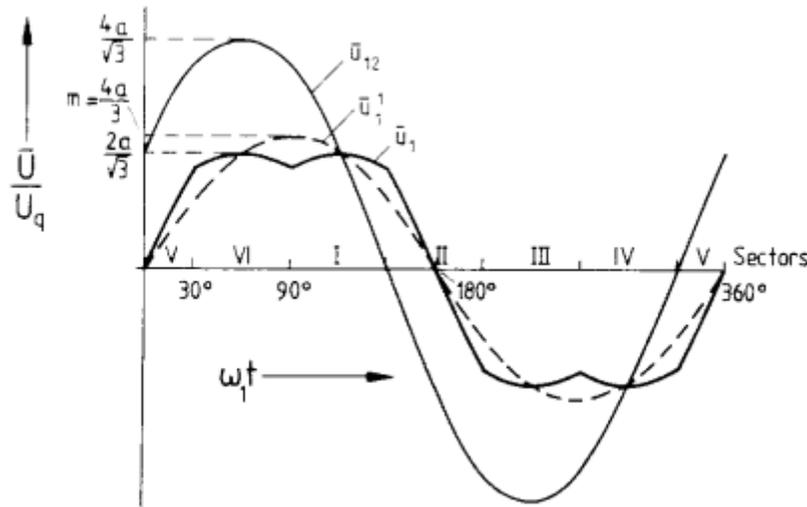
Artigo 1 – PWM vetorial

142

IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 24, NO. 1, JANUARY/FEBRUARY 1988

Analysis and Realization of a Pulsewidth Modulator Based on Voltage Space Vectors

HEINZ WILLI VAN DER BROECK, HANS-CHRISTOPH SKUDELNY, MEMBER, IEEE, AND GEORG VIKTOR STANKE



Fonte: H. W. van der Broeck, H. - Skudelny and G. V. Stanke, "Analysis and realization of a pulsewidth modulator based on voltage space vectors," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 24, no. 1, pp. 142-150, Jan.-Feb. 1988, doi: 10.1109/28.87265.

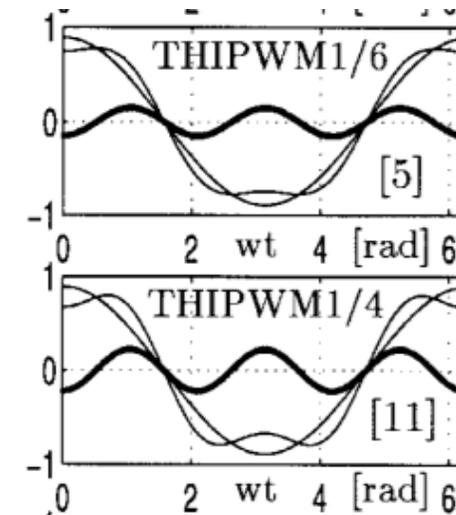
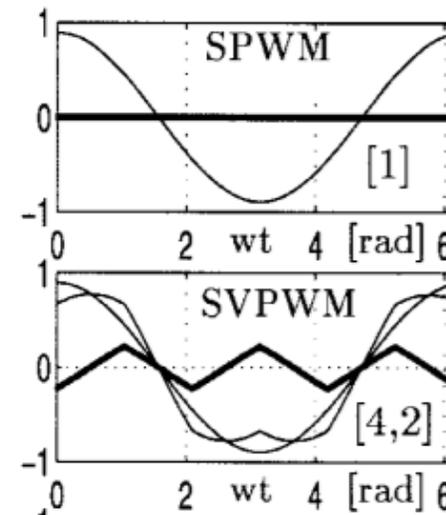
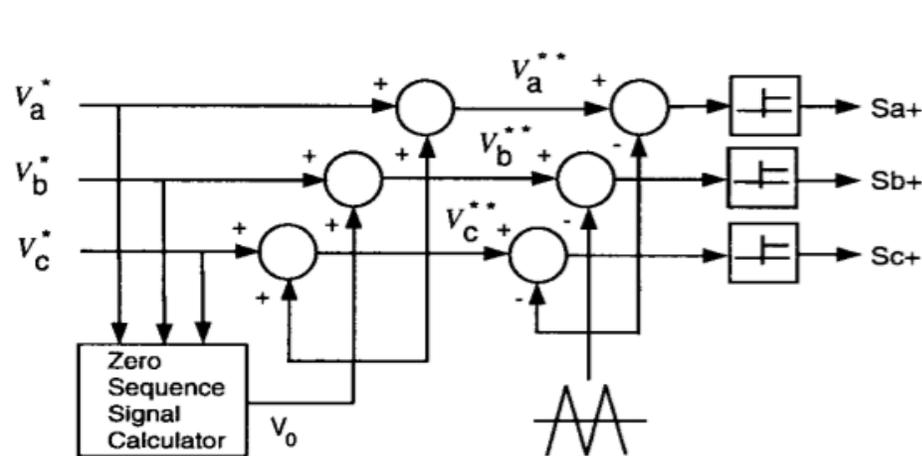
Artigo 2 – Correlação entre diferentes modulações

IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 14, NO. 1, JANUARY 1999

49

Simple Analytical and Graphical Methods for Carrier-Based PWM-VSI Drives

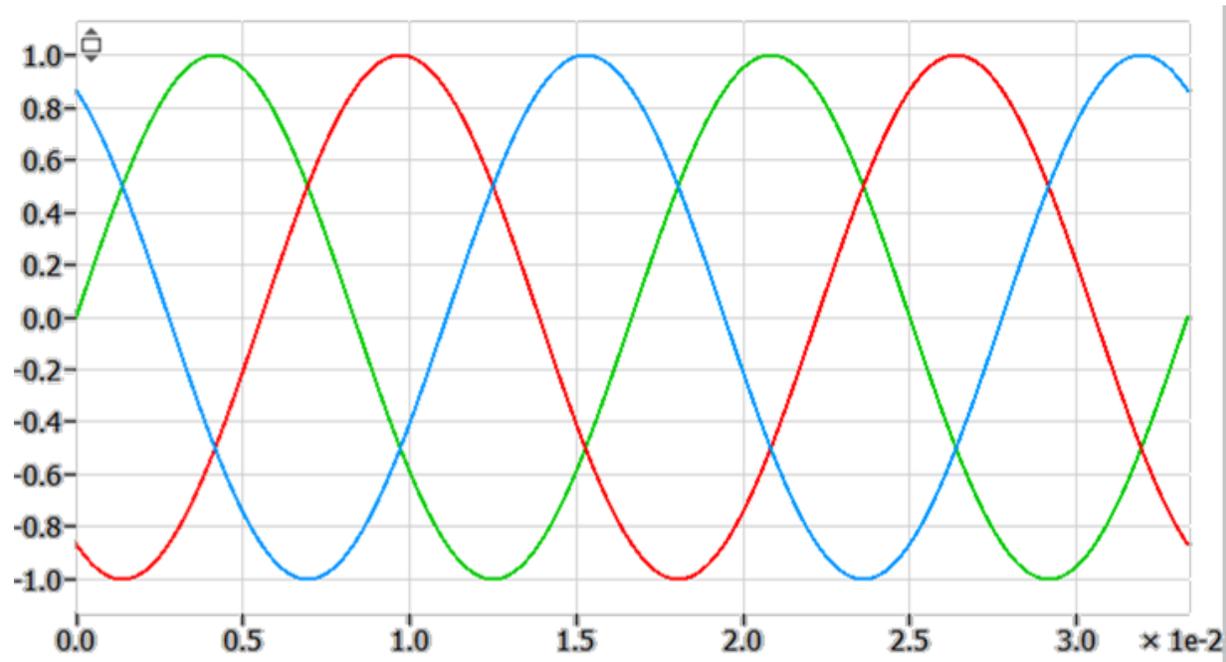
Ahmet M. Hava, *Student Member, IEEE*, Russel J. Kerkman, *Fellow, IEEE*, and Thomas A. Lipo, *Fellow, IEEE*



Fonte: A. M. Hava, R. J. Kerkman and T. A. Lipo, "Simple analytical and graphical methods for carrier-based PWM-VSI drives," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 14, no. 1, pp. 49-61, Jan. 1999, doi: 10.1109/63.737592.

Sequência zero – PWM vetorial

$$v_{no} = \frac{\min(|v_{an}^*|, |v_{bn}^*|, |v_{cn}^*|)}{2} \text{sign}(v_{an}^*, v_{bn}^*, v_{cn}^*)$$



Obrigado pela Atenção



Bons estudos!



Dúvidas: afcupertino@ieee.org



www.gesep.ufv.br



@GESEP



@gesep_vicosa



Gesep



Pesquise por:
“GESEP UFV”



EStimate - Sistemas
Fotovoltaicos



Pesquise por:
“EStimate”