

SPACE VECTOR PWM E SENO PWM EM SISTEMAS TRIFÁSICOS CONECTADOS

Rocha, C.X., Rocha, H.X., Viajante, G.P., Santos Jr., J.A.

Instituto Federal de Goiás, IFG, Itumbiara – GO

cxrocha@hotmail.com, hxrocha@hotmail.com, ghunterp@gmail.com, josemarjr@gmail.com

Resumo - O objetivo deste artigo é fazer uma comparação entre dois algoritmos para o chaveamento de inversores trifásicos. O SPWM (Pulse Width Modulation Senoidal) é comparado com o SVPWM (Pulse Width Modulation Vetorial) com o intuito de melhorar a qualidade das tensões geradas pelos conversores de tensão, minimizando as tensões harmônicas produzidas.

Palavras-Chave – SPWM, SVPWM, Harmônicos e Conversores de Tensão.

SPACE VECTOR PWM E SENO PWM IN A THREE PHASE CONNECTED SYSTEMS

Abstract - The aim of this article is to make a comparison between two algorithms for switching three-phase inverters. The SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation) is compared with the SVPWM (Space Vector Pulse Width Modulation) in order to improve the quality of the tensions generated by voltage converters, minimizing voltage harmonics produced.

Keywords - SPWM, SVPWM, Harmonics and Power Iverters.

I. INTRODUÇÃO

Com o intuito de diminuir o nível de tensão do link DC, minimizar a frequência de chaveamento dos conversores de tensão, reduzir o tamanho dos filtros L / LC / LCL tornando-os mais baratos, e principalmente melhorar a qualidades das tensões e correntes geradas, o estudo dos algoritmos de chaveamento de conversores são de fundamental importância. Diante desta perspectiva, novas topologias de conversores de tensão e novos algoritmos de chaveamento foram desenvolvidos ao longo dos anos, e ainda hoje são estudados pela comunidade científica [1] [2].

Neste capítulo detalharemos o algoritmo de chaveamento denominado Space Vector PWM (SVPWM). Este algoritmo é baseado na decomposição de um sistemas trifásicos em um sistema bifásico equivalente, com dois eixos ortogonais, sendo o eixo imaginário β e eixo real α .

A modulação SVPWM se tornou padrão em conversores de tensão, e ainda hoje, esforços importantes em pesquisas são dedicados no aperfeiçoamento deste algoritmo. A aplicação inicial do SVPWM para o uso em conversores trifásicos foram expandidas para novas aplicações, tais como conversores multi-nível e ressonantes.

II. CIRCUITO BÁSICO

Para este estudo, definimos o circuito de cargas da figura abaixo como base para a aplicação dos algoritmos estudados. Este circuito é composto dos seguintes módulos:

- Barramento DC;**
 - Conversor de tensão;**
 - Três resistores de precisão;**
 - Filtro L trifásico;**
 - Carga trifásica resistiva.**
- A. Barramento DC:** A estabilidade do barramento DC é de fundamental importância para a manutenção dos níveis de tensões senoidais geradas. A não estabilidade do barramento requer a implementação de um algoritmo de controle em malha fechada a fim de compensar a oscilações do mesmo.
- B. Conversor de tensão:** Para a geração de uma tensão senoidal na frequência desejada, foram montados três barramentos com duas chaves eletrônicas em série em cada, como mostrado na figura abaixo. As chaves de cada barramento, geralmente possuem um sistema de proteção, onde ambas não podem estar ligadas ao mesmo tempo, o que geraria um curto circuito no barramento DC. Normalmente tais chaves eletrônicas são transistores de potência, tais como MOSFET ou IGBT, e precisam de um circuito de disparo isolado.
- C. Três resistores de precisão:** No intuito de visualizar/analisar a tensão de fase gerada pelo conversor de tensão, incluiu-se ao circuito de cargas, três resistores exatamente iguais, de alta resistência ôhmica e de baixa potência. Com a interligação entre eles, criamos o ponto neutro, que pode ser utilizado como referência das tensões de fase geradas.
- D. Filtro L trifásico:** Montado a partir de três indutores, o filtro L é utilizado para a filtragem das correntes de alta frequência, o filtro L é bastante utilizado em circuitos de baixa potência, pois não é suscetível a instabilidades, e apresenta uma atenuação aceitável de 20 dB por década.
- E. Carga trifásica resistiva:** Composta de um banco de resistores de alta potência, a carga trifásica permite a circulação de altas frequências.



XIV CEEL - ISSN 2178-8308
03 a 07 de Outubro de 2016
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

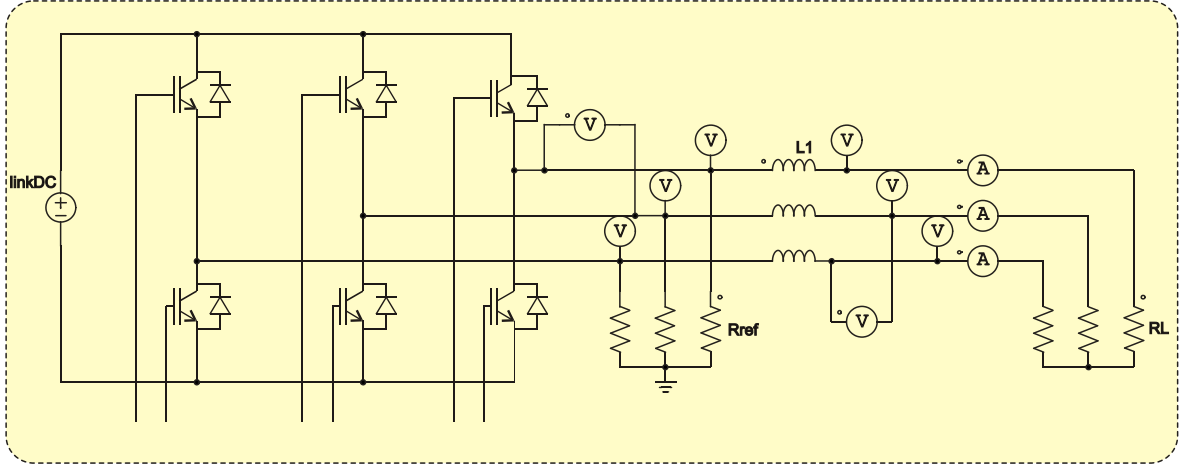


Fig. 1 Circuito básico pra simulação dos algoritmos de chaveamento

III. SISTEMAS SÍNCRONOS

Qualquer sistema trifásico ($v_a(t)$, $v_b(t)$ e $v_c(t)$) pode ser representado unicamente por um vetor rotacional v_s , onde $v_s = \frac{2}{3}[v_a(t) + a \cdot v_b(t) + a^2 \cdot v_c(t)]$, $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ e $a^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}}$.

Dado um sistema trifásico, a representação vetorial alcançada pelas transformadas $\alpha\beta$ [Clarke] é a seguinte:

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \\ v_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix}$$

Onde v_α e v_β formam um sistema ortogonal de 2 fases, representados no plano complexo por estas duas componentes, sendo v_β no eixo imaginário e v_α no eixo real ($v_s = v_\alpha + j \cdot v_\beta$). v_0 é nulo em sistemas trifásicos equilibrados, e não será considerado neste estudo.

Diante do exposto, temos que $|v_s| = \sqrt{v_\alpha^2 + v_\beta^2}$, $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{v_\beta}{v_\alpha}\right)$.

Desta forma, podemos concluir que cada componente vetorial $v_{s(\theta)}$ possui um correspondente na dupla v_α e v_β , que por sua vez representa uma única posição no sistema trifásico $v_{s(\theta)}$, $v_{s(\theta)}$ e $v_{s(\theta)}$. O inverso também é verdadeiro. Este é o principal conceito utilizado no algoritmo SVPWM.

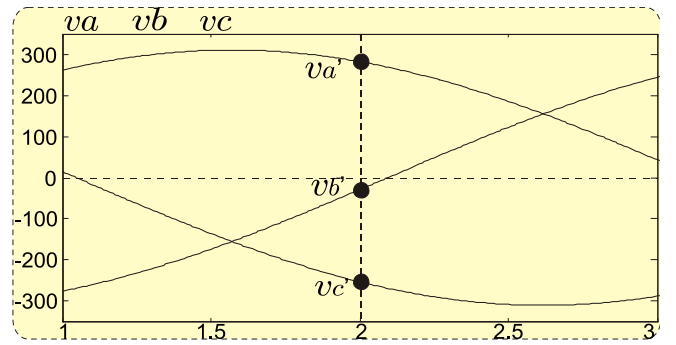


Fig. 2 Tensões v_a , v_b , v_c no domínio do tempo em $\theta = 2$

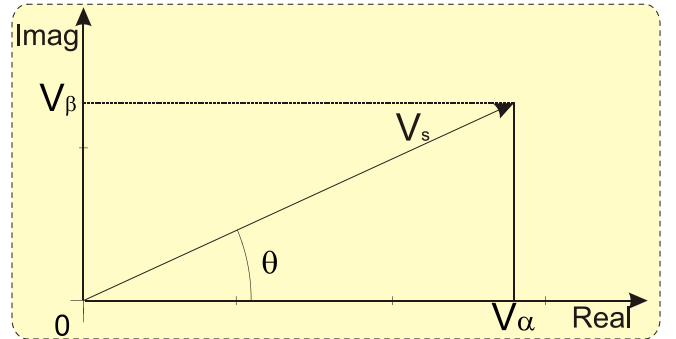


Fig. 3 Vetor V_s , representando V_α , V_β , V no eixo ortogonal $\alpha\beta$ (Real x Imaginário)

IV. NÍVEIS DE TENSÃO SVPWM

A Fig. 1 apresenta didaticamente o conversor de tensão com as suas seis chaves e uma carga trifásica. Fazendo uma análise inicial, podemos detalhar com simplicidade o funcionamento do algoritmo. Segue algumas considerações básicas: A Chave aberta igual a 0 , e chave fechada igual a 1 . Fazendo $Z_a = Z_b = Z_c$, temos que $Z||Z = Z/2$.

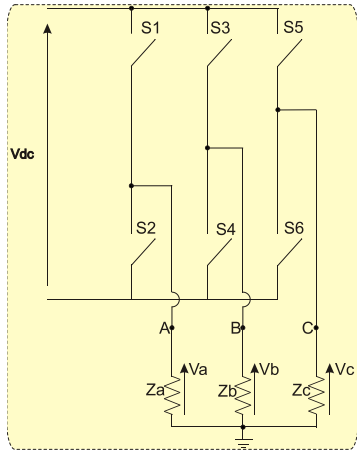


Fig. 4 Circuito simplificado para análise dos níveis de tensão aplicados na carga.

Aplicando a teoria do divisor das tensões nos circuitos apresentados na Fig. 4, encontramos os valores de V_a , V_b e V_c para todas as possibilidades de chaveamento do conversor. As combinações de chaveamentos '000' e '111' não foram apresentadas na Fig. 5, já que nestes casos o circuito esta aberto, seja na parte superior ou na parte inferior, o que resulta em V_a , V_b e V_c iguais a zero.

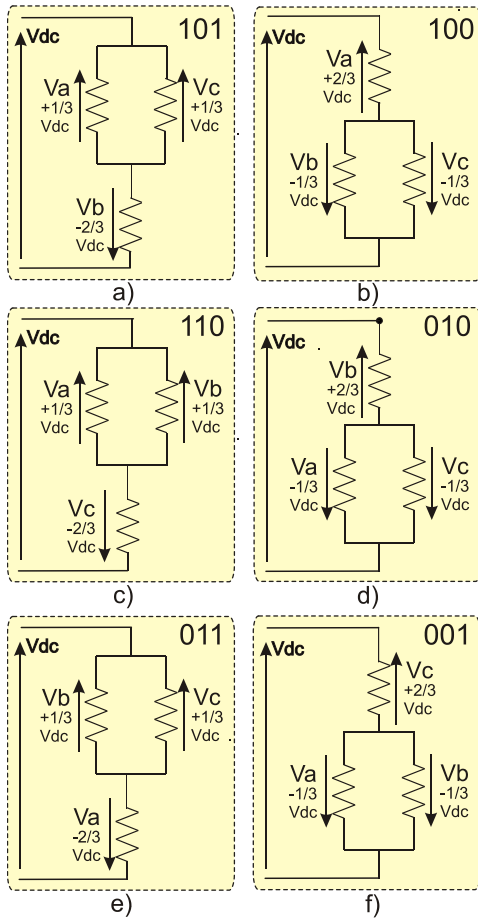


Fig. 5 Circuito de cargas resultante, em todas as combinações de chaveamento.

A Fig. 6 apresenta o gráfico de tensões V_a , V_b e V_c em função do tempo, quando aplicada uma sequencia de seis

combinações de chaveamento (101, 100, 110, 010, 011, 001, 000, 111). Este gráfico demonstra a grosso modo, a semelhança entre as tensões geradas e um sistema trifásico. Como mostrado na Tabela 1, as tensões aplicadas nas cargas Z_a , Z_b e Z_c assumem os valores de $-\frac{2}{3}V_{dc}$, $-\frac{1}{3}V_{dc}$, 0 , $+\frac{1}{3}V_{dc}$ e $+\frac{2}{3}V_{dc}$.

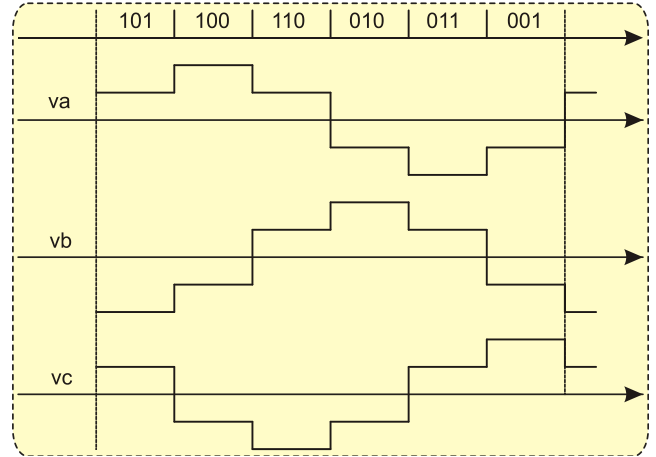


Fig. 6 Gráfico da tensão aplicada na carga de cada fase em todas as combinações de chaveamento.

Analisando o gráfico acima, podemos preencher a tabela abaixo, com os valores de V_a , V_b e V_c para combinação possível. As combinações '000' e '111' também foram incluídas na tabela.

Tabela 1. Níveis de tensões alcançado pelo SVPWM			
	V_a	V_b	V_c
$V_0(0,0,0)$	0	0	0
$V_1(1,0,1)$	$+\frac{1}{3}V_{dc}$	$-\frac{2}{3}V_{dc}$	$+\frac{1}{3}V_{dc}$
$V_2(1,0,0)$	$+\frac{2}{3}V_{dc}$	$-\frac{1}{3}V_{dc}$	$-\frac{1}{3}V_{dc}$
$V_3(1,1,0)$	$+\frac{1}{3}V_{dc}$	$+\frac{1}{3}V_{dc}$	$-\frac{2}{3}V_{dc}$
$V_4(0,1,0)$	$-\frac{1}{3}V_{dc}$	$+\frac{2}{3}V_{dc}$	$-\frac{1}{3}V_{dc}$
$V_5(0,1,1)$	$-\frac{2}{3}V_{dc}$	$+\frac{1}{3}V_{dc}$	$+\frac{1}{3}V_{dc}$
$V_6(0,0,1)$	$-\frac{1}{3}V_{dc}$	$-\frac{1}{3}V_{dc}$	$+\frac{2}{3}V_{dc}$
$V_7(1,1,1)$	0	0	0

V. GERANDO V_s , A PARTIR DE V_i E V_j

O vetor da tensão V_s no algoritmo SVPWM deve seguir um lugar geométrico circular, e cada posição deste lugar geométrico pode ser alcançado pela soma vetorial de dois níveis de tensão (v_α e v_β). Como mostrado na Fig. 7, estes níveis de tensão podem ser produzidos, fazendo-se a

combinação adequada no chaveamento do conversor de tensão.

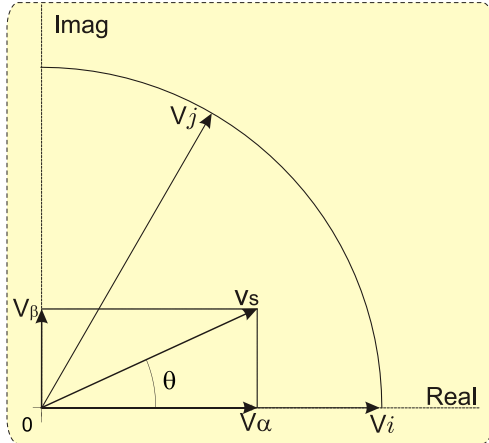


Fig. 7 Decomposição do vetor de tensão V_s em suas componentes real (V_α) e imaginária (V_β).

Como mostrado na Fig. 8, o plano complexo foi dividido em seis setores, onde em cada setor é ladeado por uma dupla de vetores de tensão (V_i e V_j). Cada combinação do chaveamento do conversor pode ser representado por um dos seis vetores mostrados na Fig. 8 ($V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6$). Controlando o tempo de chaveamento em cada combinação que leva a V_i e V_j , podemos alcançar praticamente todos os pontos do plano complexo, ou seja, podemos gerar praticamente todas as tensões V_s .

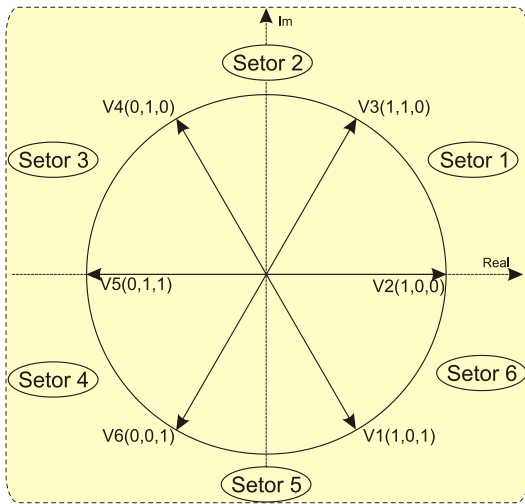


Fig. 8 Setores representados em sistema ortogonal

VI. CÁLCULO DE t_i, t_j E t_0

O vetor de tensão Space Vector deve seguir um lugar geométrico circular, e cada posição deste lugar geométrico pode ser alcançado pela combinação entre os dois níveis de tensão que vizinhos (V_i e V_j) e o vetor nulo [3].

Utilizando-se a equação $V_s t_s = V_i t_i + V_j t_j + V_0 t_0$, onde t_s é o tempo de permanência de V_s em determinado lugar geométrico, t_i e t_j são os tempos em que os vetores V_i e V_j são aplicados respectivamente, e t_0 é o tempo em que as

cargas ficaram sem tensão, e aplicando funções trigonométricas simples, podemos observar que a componente real e imaginária de V_s do **Setor 1** podem ser descritas pelas equações abaixo:

$$\text{Eixo Real}(V_\alpha): V_s \cos \theta t_s = \left(\frac{2}{3}V_{dc}\right)t_i + \left(\frac{1}{2}\frac{2}{3}V_{dc}\right)t_j$$

$$\text{Eixo Imag}(V_\beta): V_s \sin \theta t_s = 0 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\frac{2}{3}V_{dc}\right)t_j$$

$$\text{, temos } t_j = \frac{\sqrt{3}V_s \sin \theta t_s}{V_{dc}} \text{ e } t_i = \frac{3V_s t_s}{2V_{dc}} \left(\cos \theta - \frac{\sin \theta}{\sqrt{3}} \right)$$

Respectivamente, fazendo o mesmo com os outros setores, e considerando $V_x = V_s \cos \theta$, $V_y = V_s \sin \theta$ e $t_0 = t_s - t_i - t_j$, encontramos as equações para o cálculo dos valores de t_i e t_j , conforme tabela abaixo:

Setor	t_i	t_j
1	$t_i = \frac{3t_s}{2V_{dc}} \left(V_x - \frac{V_y}{\sqrt{3}} \right)$	$t_j = \frac{\sqrt{3}t_s V_y}{V_{dc}}$
2	$t_i = \frac{3t_s}{2V_{dc}} \left(V_x + \frac{V_y}{\sqrt{3}} \right)$	$t_j = \frac{\sqrt{3}t_s}{V_{dc}} \left(\frac{V_y}{2} - \frac{\sqrt{3}V_x}{2} \right)$
3	$t_i = \frac{\sqrt{3}t_s V_y}{V_{dc}}$	$t_j = \frac{\sqrt{3}t_s}{2V_{dc}} (-V_y - \sqrt{3}V_x)$
4	$t_i = \frac{3t_s}{2V_{dc}} \left(-V_x + \frac{V_y}{\sqrt{3}} \right)$	$t_j = -\frac{\sqrt{3}t_s V_y}{V_{dc}}$
5	$t_i = \frac{3t_s}{2V_{dc}} \left(-V_x - \frac{V_y}{\sqrt{3}} \right)$	$t_j = \frac{3t_s}{2V_{dc}} \left(V_x - \frac{V_y}{\sqrt{3}} \right)$
6	$t_i = -\frac{\sqrt{3}t_s V_y}{V_{dc}}$	$t_j = \frac{3t_s}{2V_{dc}} \left(V_x + \frac{V_y}{\sqrt{3}} \right)$

VII. SEQUENCIA DE CHAVEAMENTO

Após o cálculo dos valores de T_i, T_j e $T_{\{0,7\}}$ para o vetor de tensão $V_s = V_{max} \sin \theta$, podemos escolher ordem de aplicação das tensões V_i, V_j e 0.

Existem várias ordens possíveis de aplicações destas tensões, onde cada ordem em particular possui suas características peculiares. Algumas têm como objetivo aumentar a vida útil das chaves, minimizando quantidade de abertura e fechamento das mesmas, outras melhorar a qualidade da tensão gerada [4].

A combinação mais utilizada visa a redução da quantidade de acionamento das chaves dos conversores, ajustando a sequência de chaveamento de tal forma, que somente o estado de uma chave seja alterado de cada vez. Um exemplo de como isso pode ser feito, é mostrado na Fig. 9 abaixo, para a geração da tensão V_s no Setor 1. O status de cada chave é indicado no topo da figura.

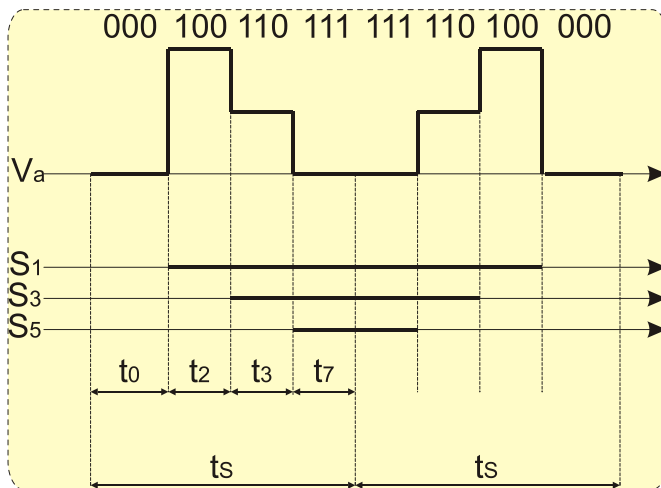


Fig. 9 Ordem de aplicação das tensões visando minimizar a abertura e fechamento das chaves eletrônicas.

VIII. ÍNDICE DE MODULAÇÃO

O índice de modulação também é um fator importante nos algoritmos de chaveamento de conversores. Analisando a Fig. 10, e aplicando regras trigonométricas básicas, verificamos que o máximo valor de pico por fase é de $\frac{V_{dc}}{\sqrt{3}}$.

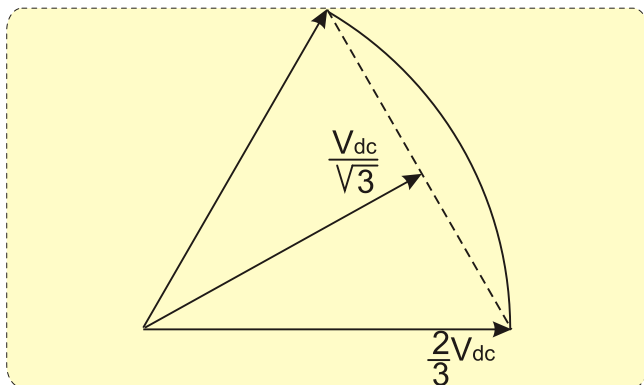


Fig. 10 Cálculo do máximo valor de modulação.

IX. SIMULAÇÕES

Para simulação do algoritmo, os valores do circuito da Fig. 1 foram definidos conforme a tabela abaixo:

Parâmetros do circuito para a simulação	
Barramento DC	310 Volts
L_1 (Filtro Passa-Baixa)	2000 μ H
R_{REF} (Resistor de Referência)	50 K Ω
R_L (Carga trifásica)	15 Ω
Índice de modulação	80 %
Frequência de chaveamento (f_{sw})	10 KHz

A Fig. 11 abaixo mostra as tensões geradas pelo conversor de frequência. Para que se possa visualizar mais nitidamente as formas de onda geradas, nesta simulação, eliminamos o filtro passa-baixa L, alteramos a frequência de chaveamento para 3 kHz, e apresentamos somente uma faixa do período da onda.

Visualmente podemos observar na Fig. 11 letra d) que foram geradas cinco níveis de tensões pelo conversor, o que nos permite alcançar resultados bem melhores do que os nos algoritmos que geram somente 3 níveis de tensão.

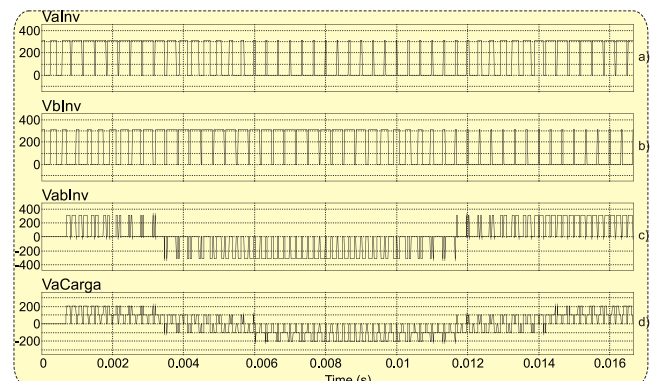


Fig. 11 Tensão no conversor de tensão gerada com $F_{sw} = 3 \text{ kHz}$. A) Tensão do inversor na fase A; b) Tensão no inversor na fase B; c) Tensão no inversor na linha AB; d) Tensão na carga da fase A.

A Fig. 12 apresenta as tensões trifásicas de linha na carga geradas pelo conversor de energia, após o filtro passa-baixa L, e utilizando o algoritmo SVPWM.

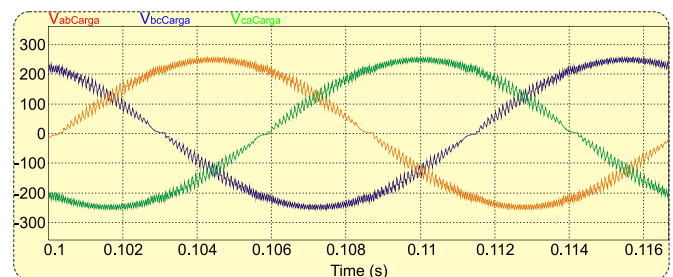


Fig. 12 Tensões geradas nas cargas das fases ABC pelo conversor de tensão, utilizando o algoritmo Space Vector PWM.

A Fig. 13 abaixo apresenta as componentes harmônicas existentes nas tensões geradas pelo SVPWM.

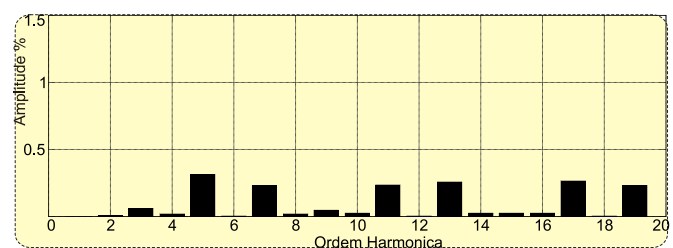


Fig. 13 Componentes harmônicas da tensão na carga, utilizando o algoritmo Space Vector PWM com $F_{sw} = 10 \text{ kHz}$.

X. COMPARAÇÕES COM PWM SENOIDAL

O algoritmo PWM senoidal é implementado comparando uma tensão de referência com uma onda triangular na frequência de chaveamento. Como podemos observar na Fig. 14 a), quando a tensão de referência for maior que a onda triangular, a chaves eletrônicas superiores do braço são fechadas, e as inferiores são aberta. Quando a tensão de

referencia for menor que a onda triangular, as chaves operam de forma inversa.

Os sinais de controle para o fechamento e abertura das chaves eletrônicas são apresentados na Fig. 14 b).

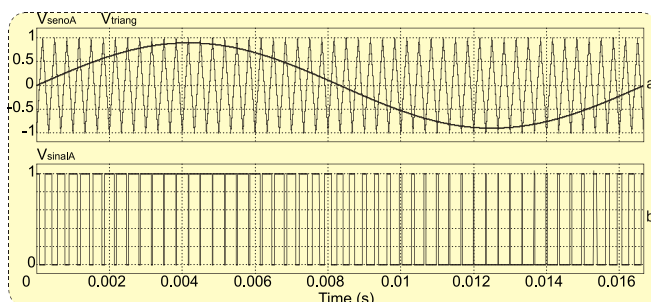


Fig. 14 a) Senoide de referência da fase A e onda triangular na frequência de chaveamento de 3 kHz. b) Sinal para acionamento da chave eletrônica.

A Fig. 15 abaixo mostra as tensões geradas pelo conversor de frequência, utilizando o algoritmo SPWM. Para que pudéssemos visualizar mais nitidamente as formas de onda geradas, nesta simulação, também eliminamos o filtro passa-baixa L, alteramos a frequência de chaveamento para 3 kHz, e apresentamos somente um faixa do período da onda.

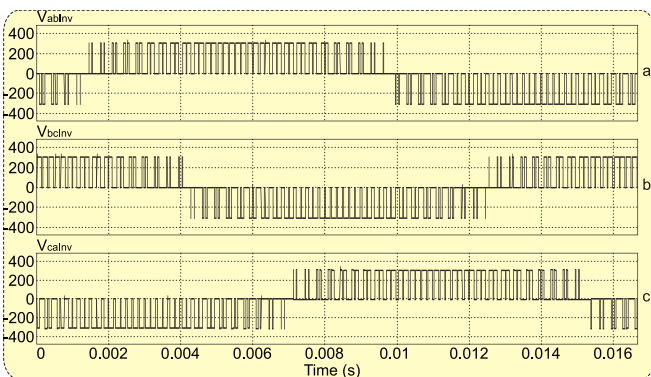


Fig. 15 Sinais para acionamento das chaves eletrônicas utilizando o algoritmo Seno PWM com $F_{SW} = 3 \text{ kHz}$ a) Tensão de saída do conversor na fase AB; b) Tensão de saída do conversor na fase BC; c) Tensão de saída do conversor na fase CA.

O gráfico da Fig. 16 representa a tensão trifásica gerada pelo conversor de energia, após o filtro passa-baixa L.

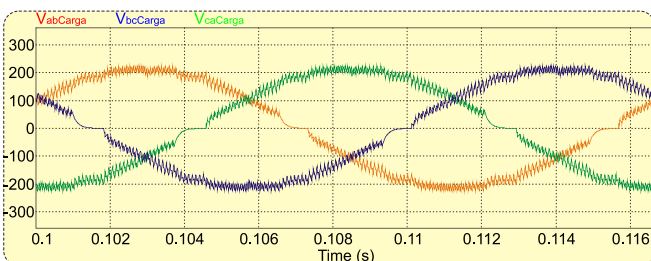


Fig. 16 Tensões nas fases ABC da carga geradas pelo conversor de tensão utilizando o algoritmo Seno PWM.

Na Fig. 17, apresentamos as componentes harmônicas geradas pelo conversor de tensão, utilizando o algoritmo Seno PWM a uma frequência de 10 kHz.

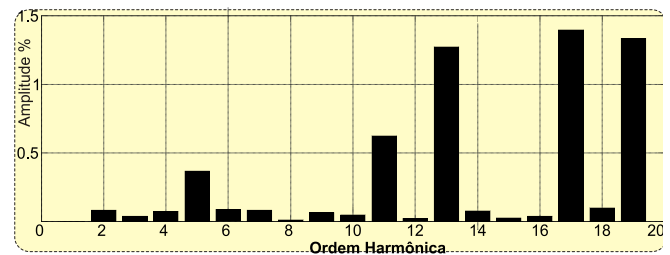


Fig. 17 Componentes harmônicas na tensão na carga (Seno PWM 10 kHz).

XI. CONCLUSÕES

Comparando visualmente as formas de onda geradas e principalmente o espectro de harmônicos gerados pelo SPWM e pelo SVPWM, podemos concluir que um das vantagens de se utilizar o algoritmo SVPWM para a geração de tensões senoidais, é a existência de uma menor distorção harmônica na tensão gerada, necessitando de um filtro menor, mais simples e mais barato, se comparado com o SPWM.

O valor de máximo alcançado pelo algoritmo também é de grande relevância, já que podemos utilizar barramentos DC com níveis de tensão mais baixos para gerar a mesma forma de onda. Como foi visto anteriormente, no algoritmo SVPWM pode alcançar um valor de pico por fase de $\frac{V_{dc}}{\sqrt{3}}$. No PWM senoidal, sabemos que o valor de máximo alcançado em cada fase é de $\frac{V_{dc}}{2}$. Assim, concluímos que Space Vector PWM gera um valor de pico 15% maior que o do PWM senoidal.

AGRADECIMENTOS (OPCIONAL)

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Goiás pelo apoio neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] R. C. Garcia e J. O. P. Pinto, "A new simplified SVPWM algorithm based on modified carrier signal," *SBA CONTROLE & AUTOMAÇÃO*, 2011.
- [2] S. Mukhopadhyay, S. K. Biswas e N. K. Deb, "A Simple Sector Independent Space Vector Modulation using DSP Processor," *International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS)*, pp. 297-304, 2012.
- [3] D. O. Neacsu, "Space Vector Modulation - An Introduction," em *The 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Denver, CO, 2001.
- [4] Q. Zeng, L. Chang e P. Song, "SVPWM-based Current Controller with Grid Harmonic Compensation for Three-phase Grid-connected VSI," em *35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference*, Aachen, Germany, 2004.
- [5] P. Sanjeevikumar, "Space Vector Pulse Width Modulation For Three Phase Voltage Source Inverter".

- [6] D. Rathnakumar, J. LakshmanaPerumal e T. Srinivasan, "A New Software Implementation of Space Vector PWM," em *SoutheastCon. Proceedings. IEEE*, Ft. Lauderdale, FL, 2005.

DADOS BIOGRÁFICOS

Cássio Xavier Rocha possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (1991), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (1998) e doutorando na mesma universidade. Atualmente é professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG). Possui projeto de pesquisa em andamento na UFU e IFG, tendo como objetivo principal a "Integração de Gerações de Energia Distribuída com a Rede Elétrica". Atualmente sua pesquisa está focada na sincronização de conversores de tensão trifásicos em redes elétricas instáveis (harmônicos, fases desbalanceadas, salto de fases e variações de frequências) e em projetos de filtros ativos de corrente.

Hugo Xavier Rocha possui graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica pela Universidade Federal de Uberlândia (1992) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (1997). Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia. Atualmente é professor do Instituto federal de educação, ciência e tecnologia de Goiás no campus de Itumbiara.

Ghunter Paulo Viajante possui graduação em Engenharia da Computação pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (2006). É mestre em Engenharia Elétrica e Computação pela Universidade Federal de Goiás (UFG-2009) e Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU-2013). Trabalha como professor efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. Tem experiência na área de Automação Industrial, Controle de Máquinas Elétricas e Fontes Alternativas de Energia. Atualmente participa do programa de Pós-Doutorado na Universidade Federal de Uberlândia.

Josemar Alves da Silva Junior possui graduação em Engenharia de Controle e Automação (Mecatrônica) pela Universidade Paulista (UNIP / 2006), especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás / 2009) e mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação pela Universidade Federal de Goiás (UFG / 2011). Atualmente é professor efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) e Doutorando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica e Controle e Automação, com ênfase em Telecomunicações, atuando principalmente nos seguintes temas: engenharia de controle e automação, automação de processos, controle de tráfego de redes de computadores, redes de computadores, redes sem fio e fontes alternativas de energia.