



مقایسه عملکرد تکنیک‌های کلید زنی SPWM و SVPWM در اینورتر سه فاز از لحاظ هارمونیک

عباس نوایی

گروه مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران
navaeabbas@gmail.com

دکتر حامد گرگین پور

گروه مهندسی برق، دانشکده فنی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران
ha.gorgin@gmail.com

چکیده

مبدل منبع ولتاژ (VSI)، عموماً برای تغذیه یک موتور القایی سه فاز با فرکانس و ولتاژ متغیر برای کاربردهای سرعت متغیر استفاده می‌شود. یک تکنیک مدولاسیون پهنای پالس مناسب برای به دست آوردن ولتاژ خروجی مورد نیاز در طرف خط اینورتر بکار گرفته می‌شود. روشهای مختلفی برای تولید شکل موج ولتاژ خروجی مبنی بر PWM وجود دارد که پرکاربردترین آنها PWM مبتنی بر حامل مثلثی (TCPWM) و PWM مبتنی بر بردار فضایی (SVPWM) می‌باشد. در روشهای TCPWM مانند PWM سینوسی - مثلثی (SPWM)، جهت تولید سیگنالهای PWM، سیگنالهای مدوله کننده مرجع سه فاز با حامل مثلثی مقایسه می‌شوند. در روشهای SVPWM، یک بردار ولتاژ مرجع گردان به عنوان مرجع ولتاژ به جای شکل موجهای مدوله کننده سه فاز بکار می‌رود. در مقایسه با تکنیک SPWM، تکنیک مدولاسیون بردار فضایی از ولتاژ باس DC بطور مؤثرتری استفاده می‌کند و اعوجاج هارمونیک کمتری ایجاد می‌کند و ولتاژ خروجی بیشتری تولید می‌کند. در این مقاله، ابتدا یک مدل برای PWM بردار فضایی ایجاد و توسط نرم افزار MATLAB/SIMULINK شبیه سازی می‌شود و سپس عملکرد آن با PWM سینوسی مقایسه می‌شود.

واژگان کلیدی: PWM، SVPWM، اینورتر سه فاز، اعوجاج هارمونیک کل

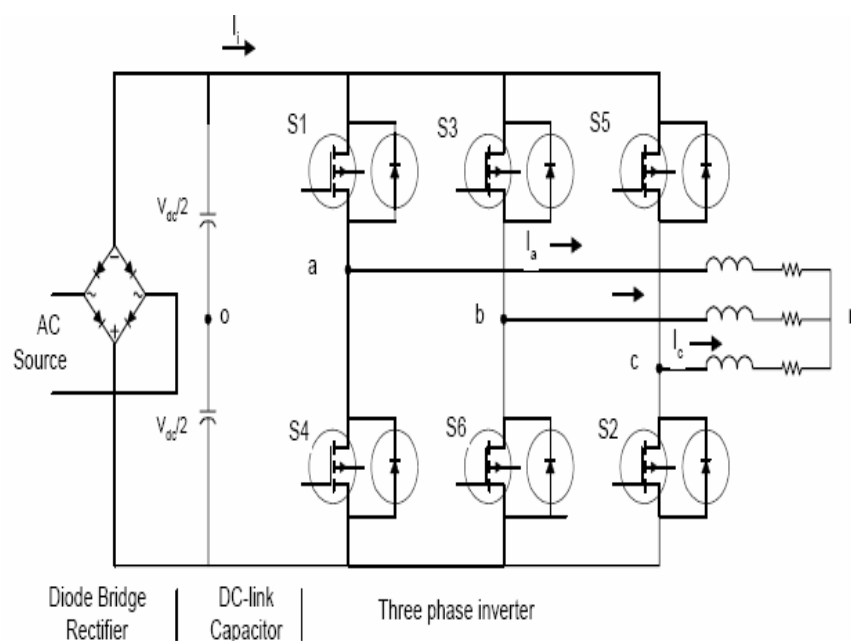
۱- مقدمه

امروزه عموماً برای تغذیه یک موتور القایی سه فاز با فرکانس و ولتاژ متغیر برای کاربرد های سرعت متغیر از درایو های سرعت متغیر استفاده می شود. درایوهای AC رایج تر از درایو های DC می باشند. درایوهای AC نیاز به منبع فرکانس متغیر و ولتاژ متغیر توان بالا دارند. تکنیک مدولاسیون پهنای پالس (PWM) برای دستیابی به ولتاژ متغیر و فرکانس متغیر در مبدل های AC-DC و DC-AC استفاده می شود. تکنیک PWM بطور وسیعی در کاربردهای مختلف مانند درایوهای سرعت متغیر (VSD)، منابع تغذیه بدون وقفه (UPS)، تغییردهنده های فرکانس استاتیکی (SFC) و ... استفاده می شوند.

اینورتر موج مربعی کلاسیک مورد استفاده در کاربردهای توان کم و متوسط، معایبی مانند تولید هارمونیک های مرتبه پایین در ولتاژ خروجی دارد. یک راه حل برای داشتن ولتاژ تقریباً بدون هارمونیک در مبدل های توان بالا، استفاده از تکنیک های کنترلی PWM می باشد. هدف از تکنیک های PWM تولید ولتاژ خروجی AC سینوسی می باشد که هر دو دامنه و فرکانس محدود شده اند. استراتژیهای سوئیچ زنی PWM نه فقط موضوعاتی مانند THD کمتر، استفاده مؤثر از ولتاژ باس DC و ... را بیان می کند بلکه همچنین موضوعاتی مانند کاهش تداخل امواج الکترومغناطیسی (EMI)، تلفات سوئیچ زنی و پخش بهتر طیف هارمونیک را مطرح می کنند. روشهای مختلفی برای تولید شکل موج ولتاژ خروجی مبنی بر PWM وجود دارد که پرکاربردترین آنها PWM مبتنی بر حامل مثلثی (TCPWM) و PWM مبتنی بر بردار فضایی (SVPWM) می باشد. در روشهای TCPWM مانند PWM سینوسی - مثلثی (SPWM) جهت تولید سیگنالهای PWM، سیگنالهای مدوله کننده مرجع سه فاز با حامل مثلثی مقایسه می شوند. فرکانس سیگنال حامل در مقایسه با سیگنال مدوله کننده خیلی بالا می باشد. اندازه و فرکانس مولفه اصلی در طرف خط، بوسیله اندازه و فرکانس سیگنال مدوله کننده تعیین می شود. در روشهای SVPWM، یک بردار ولتاژ مرجع گردان به عنوان مرجع ولتاژ به جای شکل موجهای مدوله کننده سه فاز بکار می رود. در این روش اندازه و فرکانس مولفه اصلی در طرف خط، بوسیله اندازه و فرکانس بردار ولتاژ مرجع کنترل می شود. مدولاسیون بردار فضایی از ولتاژ باس DC بطور مؤثرتری استفاده کرده و ولتاژ بیشتری نسبت به مدولاسیون پهنای پالس سینوسی تولید می کند و اعوجاج هارمونیک کمتری در اینورتر منبع ولتاژ سه فاز ایجاد می کند. در این مقاله ابتدا یک مدل برای PWM بردار فضایی ایجاد و توسط نرم افزار MATLAB/SIMULINK شبیه سازی می شود و عملکرد آن با PWM سینوسی مقایسه می شود.

۲- مدولاسیون پهنای پالس بردار فضایی

مدولاسیون پهنای پالس بردار فضایی (SVPWM) یک تکنیک پیشرفته تری برای تولید موج سینوسی می باشد و یک ولتاژ بالا با THD کمتر برای موتور فراهم می کند. هدف اصلی از هر تکنیک مدولاسیون، بدست آوردن خروجی متغیر با داشتن مولفه اصلی ماکزیمم و هارمونیک های مینیمم می باشد. روش مدولاسیون بردار فضایی بهترین تکنیک برای کاربرد درایو فرکانس متغیر می باشد. مدار یک مبدل منبع ولتاژ PWM سه فاز در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): مبدل منبع ولتاژ سه فاز

S1-S6، شش کلید ادوات الکترونیک قدرت می باشد که به وسیله سوئیچ کردن a و a'، b و b'، c و c' کنترل می شوند. هنگامی که یکی از سوئیچ های بالایی on می باشد یعنی هنگامی که a یا b یا c، ۱ می باشد سوئیچ متناظر پایینی off می باشد یعنی a'، b'، یا c' صفر می باشد. بنابراین حالت های on و off سوئیچ های بالایی S1، S3، S5 و S2، S4، S6 برای تعیین ولتاژ خروجی استفاده می شود. روش SVPWM روشی متفاوت از مدولاسیون PWM می باشد و مبتنی بر نمایش ولتاژ های بردار فضایی در صفحه $\alpha - \beta$ می باشد. مولفه هایی $\alpha - \beta$ ، مولفه های تبدیل کلارک می باشند. این نوع PWM اعوجاج هارمونیک کمتری در ولتاژ های خروجی و یا جریان های اعمال شده به فاز های یک موتور AC تولید می کند.

۳- مفهوم بردار فضایی

مفهوم بردار فضایی که از میدان گردان موتور القایی مشتق شده است برای مدوله کردن ولتاژ خروجی اینورتر استفاده می شود. در این تکنیک مدولاسیون، کمیت های سه فاز به کمیت های دو فاز معادل در قاب مرجع سنکرون یا مرجع ساکن تبدیل می شوند. از این مولفه دوفاز، اندازه بردار مرجع پیدا می شود و برای مدوله کردن خروجی اینورتر استفاده می شود. فرآیند بدست آوردن بردار فضای گردان در بخش زیر توضیح داده می شود.

با توجه به قاب مرجع ساکن، مولفه های ولتاژ سینوسی سه فاز بصورت رابطه زیر می باشد:

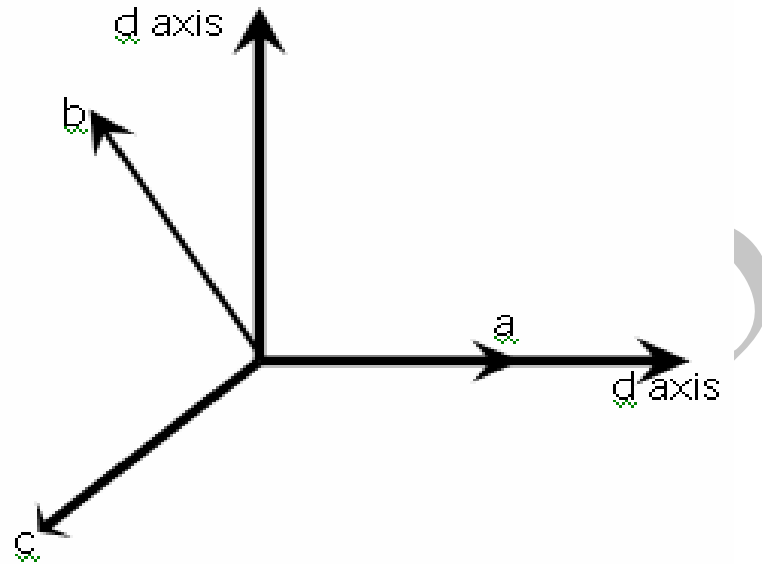
$$V_a = V_m \sin(\omega t) \quad (1)$$

$$V_b = V_m \sin(\omega t - 2\pi/3) \quad (2)$$

$$V_c = V_m \sin(\omega t + 2\pi/3) \quad (3)$$

هنگامی که ولتاژ سه فاز به ماشین AC اعمال می شود، یک شار چرخشی (گردان) در فاصله هوایی ماشین AC تولید می کند. این شار برآیند گردان بصورت یک بردار ولتاژ گردان نمایش داده می شود. اندازه و زاویه این بردار گردان همچنانکه در زیر توضیح داده خواهد شد، بوسیله تبدیل کلارک (قاب مرجع ساکن) بدست می آید. برای پیاده سازی PWM بردار فضایی

همچنانکه در شکل زیر نشان داده شده است معادلات ولتاژ در قاب مرجع سه فاز abc به قاب مرجع dq ساکن یا $\alpha\beta$ که شامل محور d (افقی) و q (عمودی) می باشد تبدیل می شوند.



شکل (۲): رابطه قاب مرجع سه فاز و قاب مرجع dq ساکن

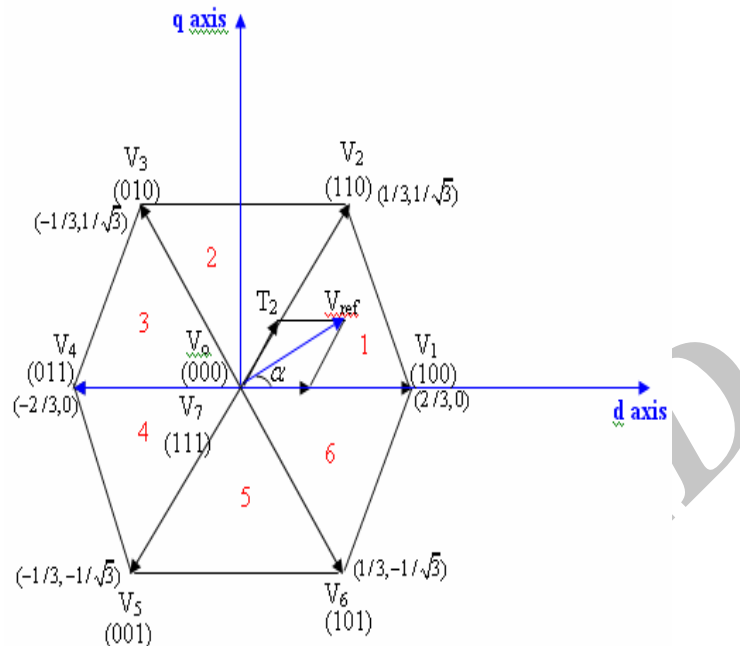
شکل (۲) رابطه بین این دو قاب مرجع بصورت معادله زیر می باشد:

$$[f_{dq0}] = k_s [f_{abc}] \quad (۴)$$

$$k_s = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (۵)$$

f می تواند یک متغیر ولتاژ یا جریان باشد.

۶ بردار غیر صفر و ۲ بردار صفر جهت مدولاسیون بردار فضایی برای اینورتر دو سطحی امکان پذیر است. ۶ بردار غیر صفر V_1-V_6 بصورت محورهای یک شش ضلعی نشان داده شده اند و توان تحویلی به بار را فراهم می کند. زاویه بین هر دو بردار غیر صفر مجاور هم ۶۰ درجه می باشد در ضمن ۲ بردار صفر V_0 و V_7 در مبدا می باشند و ولتاژ صفر به بار اعمال می کنند. ۸ بردار، بردارهای فضایی اصلی نامیده می شوند و بصورت V_0, V_1, \dots, V_7 نامگذاری می شوند. ضلع روبروی هر دو بردار مجاور یک سکتور می باشد که در مجموع ۶ سکتور ایجاد می شود هدف از تکنیک SVPWM، تقریب زدن بردار V_{ref} با استفاده از ۸ الگوی کلید زنی می باشد. شکل (۳) سکتورها و بردارهای کلید زنی را نشان می دهد.



شکل (۳): سکتورها و بردارهای کلید زنی

۴- حالت‌های کلید زنی

برای مد عملکرد ۱۸۰ درجه، ۶ حالت سوئیچ زنی وجود دارد و علاوه بر آن ۲ حالت دیگر که سوئیچ‌های سه فاز بازوی پایینی یا بالایی on وصل باشد. با توجه به اینکه همیشه سوئیچ‌های بالایی و پایینی بطور مکمل در حال کموتاسیون هستند کافی است که حالت هر سوئیچ بازوی بالایی یا پایینی نمایش داده شود. در بحث زیر حالت‌های سوئیچ‌های پل بالایی ارائه خواهد شد و حالت‌های پایینی مکمل آن است. ۸ الگوی کلیدزنی on و off برای سوئیچ‌های قدرت بالایی وجود دارد. یعنی سوئیچ on و صفر یعنی سوئیچ off می‌باشد. جدول (۱) جزئیات ولتاژهای خط و فاز برحسب ولتاژ dc ورودی برای هشت حالت کلیدزنی را نشان می‌دهد.

جدول (۱) - الگوهای کلید زنی و بردارهای خروجی

بردارهای ولتاژ	بردارهای سوئیچینگ			ولتاژ فاز			ولتاژ خط		
	A	B	C	V_{an}	V_{bn}	V_{cn}	V_{ab}	V_{bc}	V_{ca}
V_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V_1	1	0	0	2/3	-1/3	-1/3	1	0	-1
V_2	1	1	0	1/3	1/3	-2/3	0	1	-1
V_3	0	1	0	-1/3	2/3	-1/3	-1	1	0
V_4	0	1	1	-2/3	1/3	1/3	-1	0	1
V_4	0	0	1	-1/3	1/3	2/3	0	-1	1
V_5	1	0	1	1/3	-2/3	1/3	1	-1	0
V_6	1	1	1	0	0	0	0	0	0

۵- پیاده سازی نرم افزاری SVPWM

PWM بردار فضایی بصورت مراحل زیر پیاده سازی می شود:

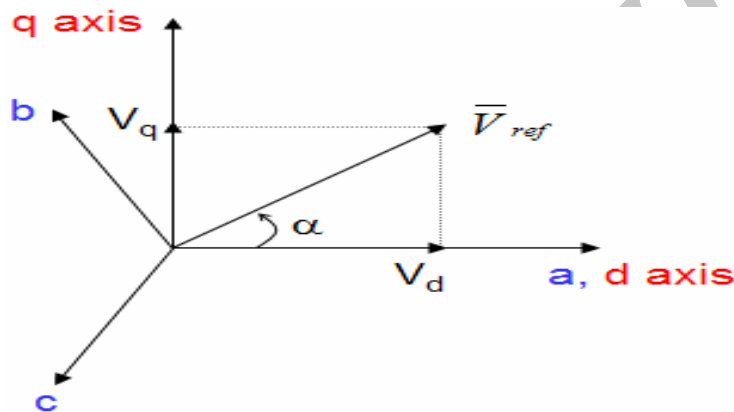
گام ۱: تعیین V_d ، V_q و V_{ref} و زاویه α

گام ۲: تعیین دوره زمانی T_0 ، T_1 و T_2

گام ۳: تعیین زمان سوئیچ زنی هر کلید (S_1 تا S_6).

۵-۱: تعیین V_d و V_q و V_{ref} و زاویه α :

در شکل (۴)، V_d ، V_q و V_{ref} و زاویه α به صورت زیر تعیین می شوند:



شکل (۴): بردار فضایی ولتاژ و مولفه های آن در صفحه dq

$$v_d = v_{an} - v_{bn} \cdot \cos 60 - v_{cn} \cdot \cos 60 = v_{an} - \frac{1}{2} v_{bn} - \frac{1}{2} v_{cn} \quad (۶)$$

$$v_q = 0 - v_{bn} \cdot \cos 30 - v_{cn} \cdot \cos 30 = v_{an} + \frac{\sqrt{3}}{2} v_{bn} - \frac{\sqrt{3}}{2} v_{cn} \quad (۷)$$

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{an} \\ v_{bn} \\ v_{cn} \end{bmatrix} \quad (۸)$$

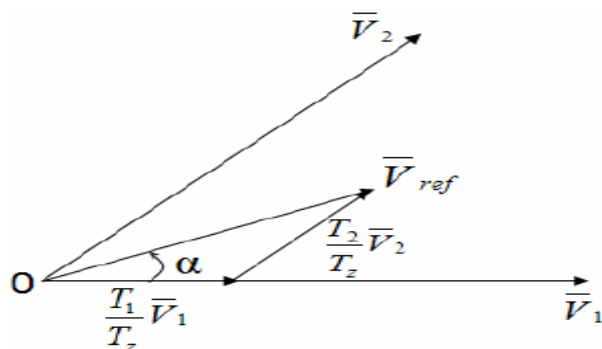
$$|\bar{V}_{ref}| = \sqrt{v_d^2 + v_q^2} \quad (۹)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{v_q}{v_d} \right) = \omega t = 2\pi f t \quad (۱۰)$$

۵-۲: تعیین دوره زمانی T_0 ، T_1 و T_2

۵-۲-۱: محاسبه زمان سوئیچ زنی در سکتور ۱

در شکل (۵) مدت زمان سوئیچینگ بصورت زیر محاسبه می شود:



شکل (۵): بردار مرجع بصورت ترکیبی از بردارهای مجاور در سکتور ۱

$$\int_0^{T_z} \bar{V}_{ref} dt = \int_0^{T_1} \bar{V}_1 dt + \int_{T_1}^{T_1+T_2} \bar{V}_2 dt + \int_{T_1+T_2}^{T_z} \bar{V}_0 dt \quad (11)$$

$$T_z \cdot \bar{V}_{ref} = (T_1 \cdot \bar{V}_1 + T_2 \cdot \bar{V}_2) \quad (12)$$

$$T_z \cdot |\bar{V}_{ref}| \cdot \begin{bmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{bmatrix} = T_1 \cdot \frac{2}{3} \cdot V_{dc} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + T_2 \cdot \frac{2}{3} \cdot V_{dc} \cdot \begin{bmatrix} \cos \frac{\pi}{3} \\ \sin \frac{\pi}{3} \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$T_1 = T_z \cdot \alpha \cdot \frac{\sin(\frac{\pi}{3} - \alpha)}{\sin(\frac{\pi}{3})} \quad (0 \leq \alpha \leq 60) \quad (14)$$

$$T_2 = T_z \cdot \alpha \cdot \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\frac{\pi}{3})} \quad (15)$$

$$T_0 = T_z - (T_1 + T_2) \quad \left(\text{where } T_z = \frac{1}{f_z}, \alpha = \frac{|\bar{V}_{ref}|}{\frac{2}{3} V_{dc}} \right) \quad (16)$$

۵-۲-۲: محاسبه زمان سوئیچ زنی در هر سکتور

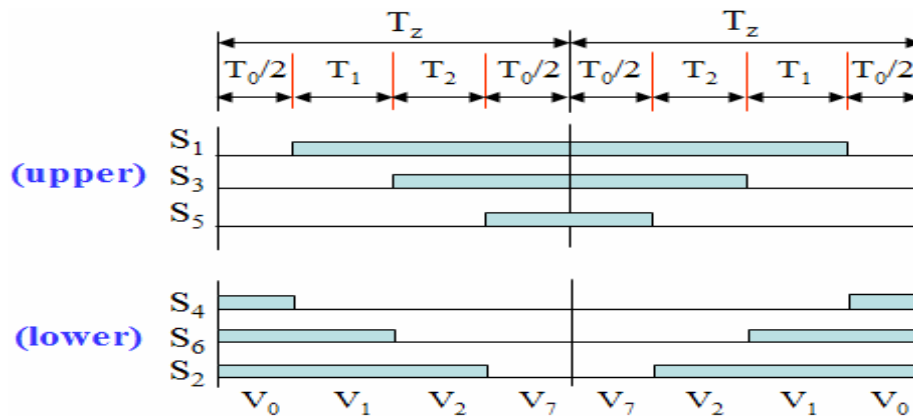
$$T_1 = \frac{\sqrt{3} T_z \cdot |\bar{V}_{ref}|}{V_{dc}} \cdot \sin\left(\frac{n}{3} \pi - \alpha\right) = \frac{\sqrt{3} T_z \cdot |\bar{V}_{ref}|}{V_{dc}} \left(\sin \frac{n}{3} \pi \cdot \cos \alpha - \cos \frac{n}{3} \pi \cdot \sin \alpha \right) \quad (17)$$

$$T_2 = \frac{\sqrt{3} T_z \cdot |\bar{V}_{ref}|}{V_{dc}} \cdot \sin\left(\alpha - \frac{n-1}{3} \pi\right) = \frac{\sqrt{3} T_z \cdot |\bar{V}_{ref}|}{V_{dc}} \left(-\cos \alpha \cdot \sin \frac{n-1}{3} \pi + \sin \alpha \cdot \cos \frac{n-1}{3} \pi \right) \quad (18)$$

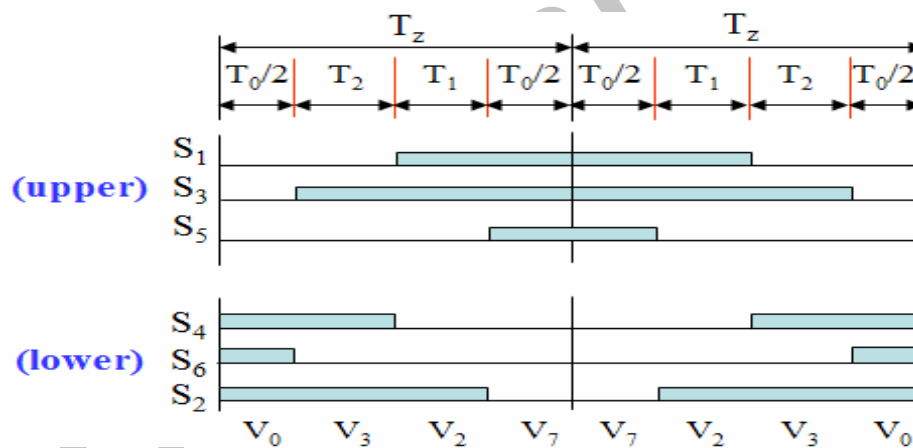
$$T_0 = T_z - (T_1 + T_2) \quad \left(\begin{array}{l} n = \text{sector 1 to 6} \\ 0 \leq \alpha \leq 60 \end{array} \right) \quad (19)$$

۳-۵: تعیین زمان سوئیچ زنی هر کلید (S1-S6)

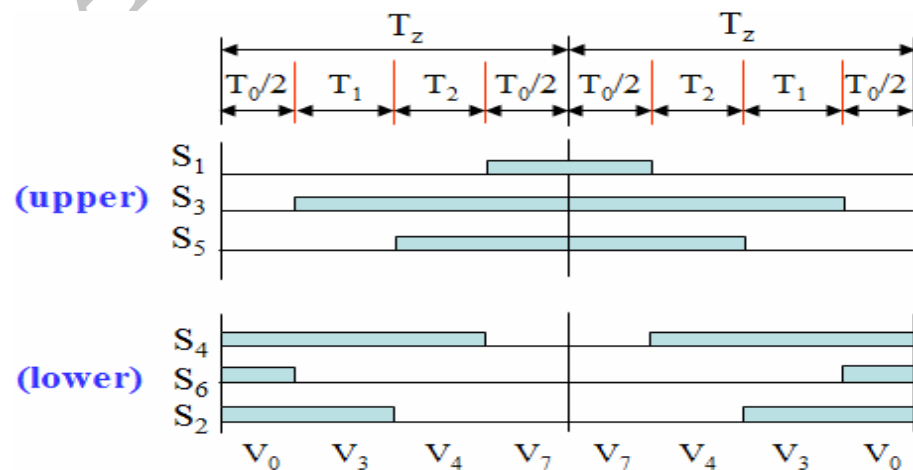
الگوهای سوئیچ زنی PWM بردار فضایی در هر سکتور در اشکال (۱۱-۶) نشان داده شده است.



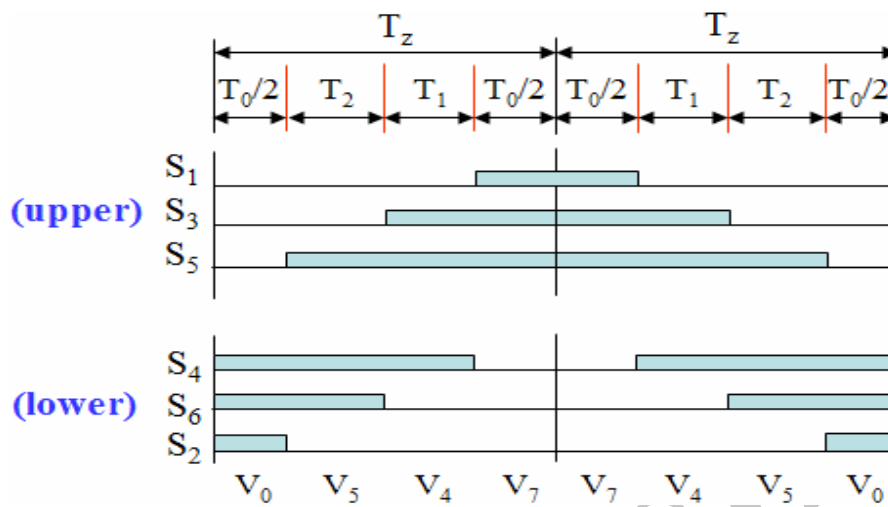
شکل (۶): الگوی سوئیچ زنی PWM بردار فضایی در سکتور ۱



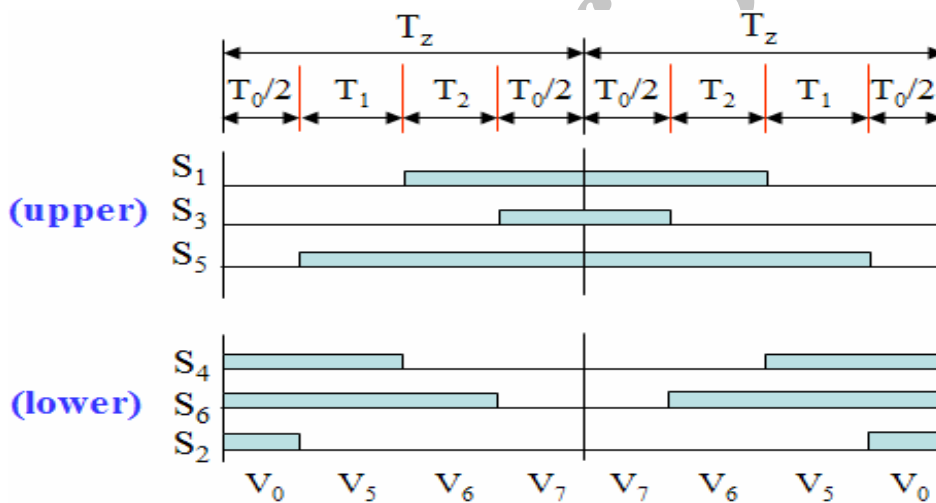
شکل (۷): الگوی سوئیچ زنی PWM بردار فضایی در سکتور ۲



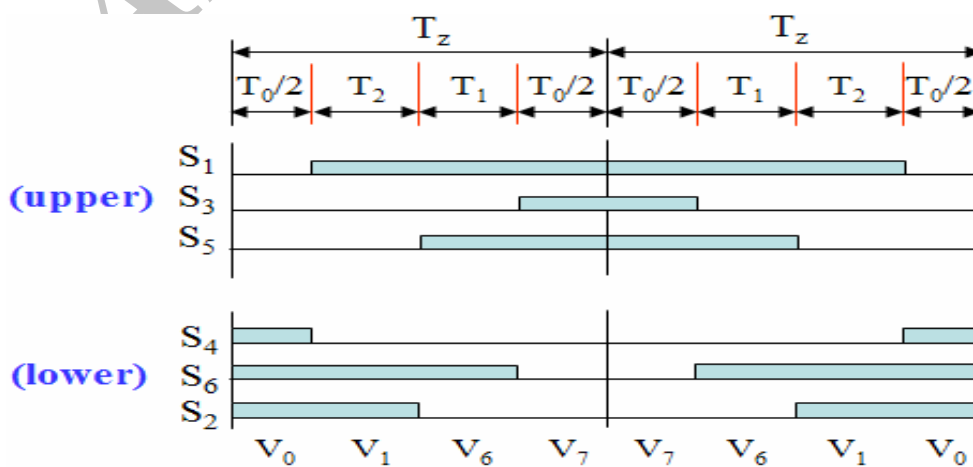
شکل (۸): الگوی سوئیچ زنی PWM بردار فضایی در سکتور ۳



شکل (۹): الگوی سوئیچ زنی PWM بردار فضایی در سکتور ۴



شکل (۱۰): الگوی سوئیچ زنی PWM بردار فضایی در سکتور ۵



شکل (۱۱): الگوی سوئیچ زنی PWM بردار فضایی در سکتور ۶

در جدول (۲) دوره زمانی T_0 ، T_1 و T_2 در ۶ سکتور به طور خلاصه لیست شده‌اند.

جدول (۲): محاسبه زمان سوئیچ زنی در هر سکتور

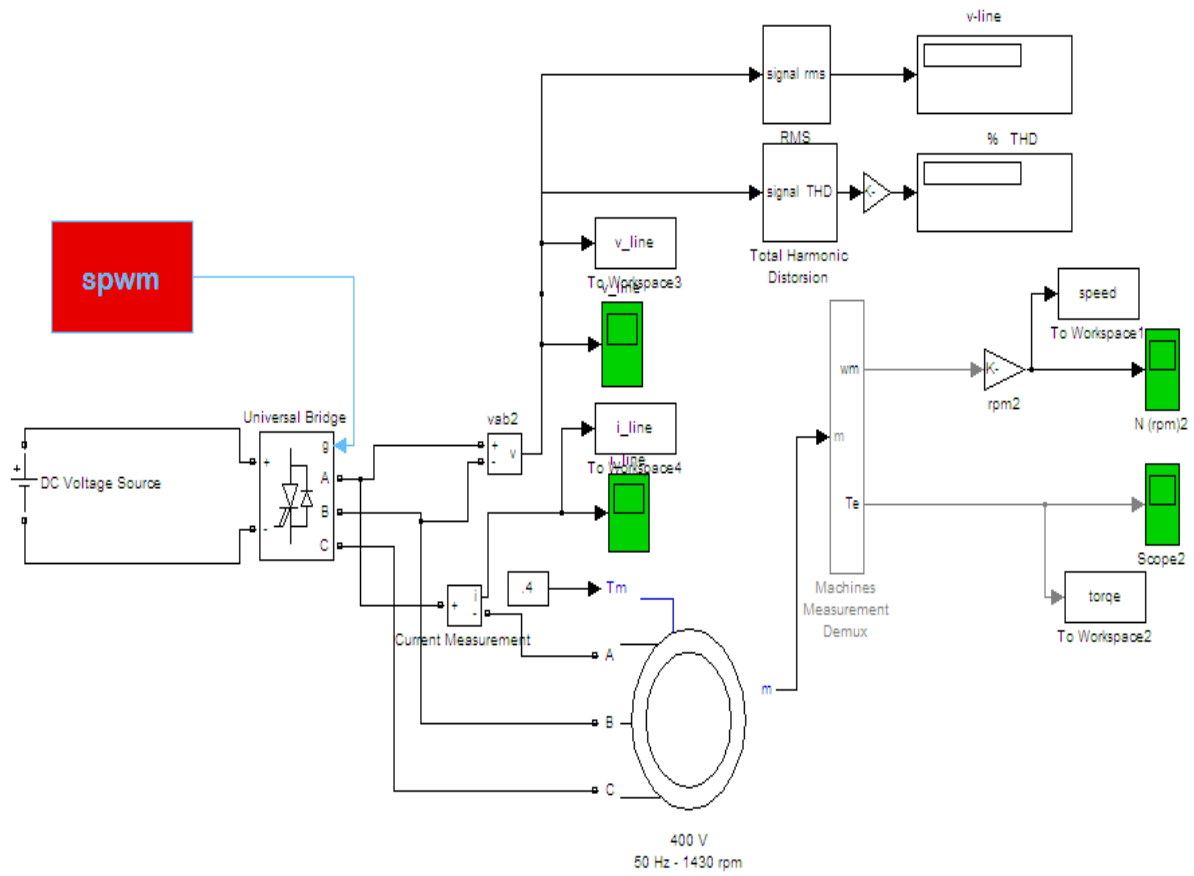
سکتور	سوئیچهای بالایی (S_1, S_3, S_5)	سوئیچهای پایینی (S_4, S_6, S_2)
1	$S_1 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$ $S_3 = T_2 + T_0 / 2$ $S_5 = T_0 / 2$	$S_4 = T_0 / 2$ $S_6 = T_1 + T_0 / 2$ $S_2 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$
2	$S_1 = T_1 + T_0 / 2$ $S_3 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$ $S_5 = T_0 / 2$	$S_4 = T_2 + T_0 / 2$ $S_6 = T_0 / 2$ $S_2 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$
3	$S_1 = T_0 / 2$ $S_3 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$ $S_5 = T_2 + T_0 / 2$	$S_4 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$ $S_6 = T_0 / 2$ $S_2 = T_1 + T_0 / 2$
4	$S_1 = T_0 / 2$ $S_3 = T_1 + T_0 / 2$ $S_5 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$	$S_4 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$ $S_6 = T_2 + T_0 / 2$ $S_2 = T_0 / 2$
5	$S_1 = T_2 + T_0 / 2$ $S_3 = T_0 / 2$ $S_5 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$	$S_4 = T_1 + T_0 / 2$ $S_6 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$ $S_2 = T_0 / 2$
6	$S_1 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$ $S_3 = T_0 / 2$ $S_5 = T_1 + T_0 / 2$	$S_4 = T_0 / 2$ $S_6 = T_1 + T_2 + T_0 / 2$ $S_2 = T_2 + T_0 / 2$

۶- شبیه‌سازی و نتایج تجربی

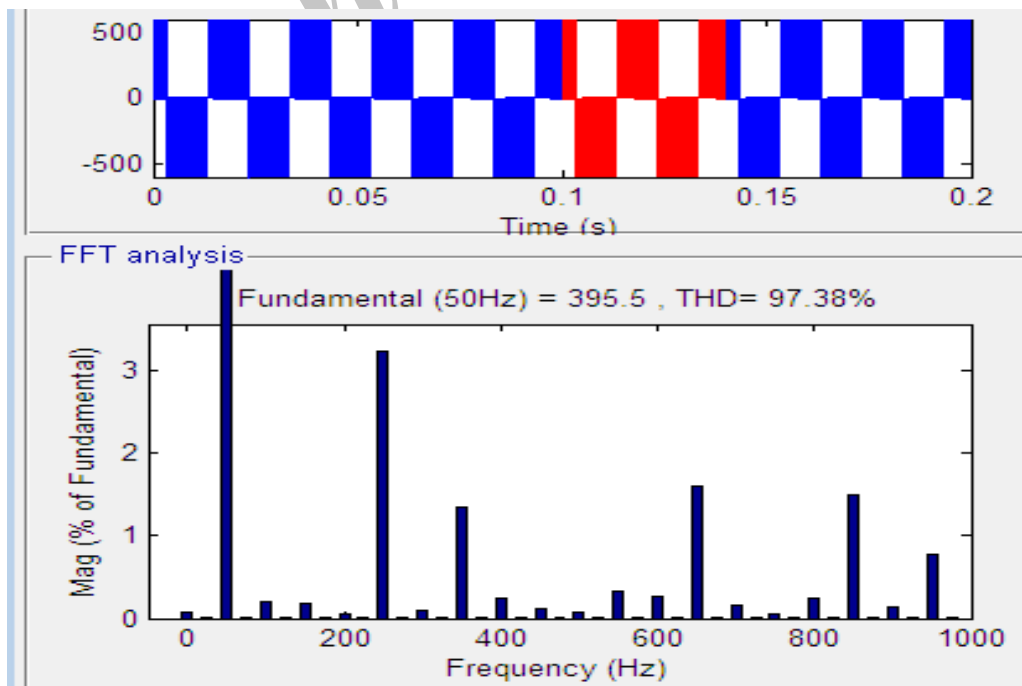
هدف اصلی هر تکنیک مدولاسیون، بدست آوردن ولتاژ متغیر برای داشتن مولفه اصلی ماکزیمم با حداقل هارمونیک‌ها می‌باشد. هدف از تکنیک‌های مدلاسیون پهنای پالس، افزایش ولتاژ خروجی اصلی و کاهش محتوای هارمونیک در مبدلهای منبع ولتاژ (VSI) سه فاز می‌باشد. در این مقاله تکنیک‌های SPWM و SVPWM و تکنیک سوئیچ زنی SVPWM نشان داده شده است. شبیه سازی توسط نرم افزار MATLAB/SIMULINK7 انجام شده است.

۶-۱: شبیه سازی SPWM

بلوک دیاگرام برای اینورتر SPWM که یک موتور القایی سه فاز را تغذیه می کند در شکل (۱۲) و همچنین ولتاژ خط و طیف هارمونیک آن برای شاخص مدولاسیون ۰٫۸ در شکل (۱۳) نشان داده شده است.

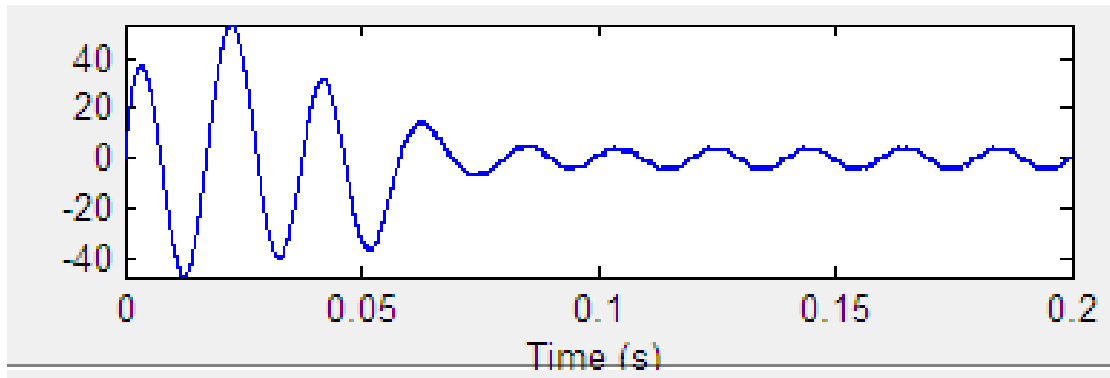


شکل (۱۲): مدار شبیه سازی سیستم مورد مطالعه با استفاده از مدولاسیون پهنای پالس سینوسی (SPWM)

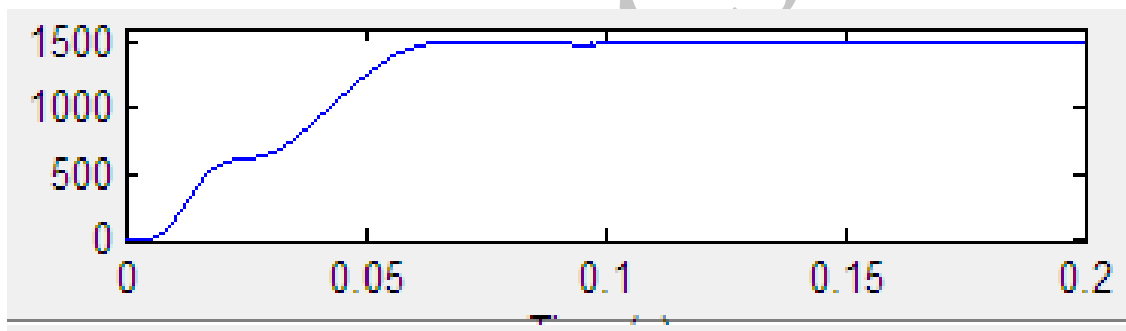


شکل (۱۳): ولتاژ خط و طیف هارمونیکی آن برای شاخص مدولاسیون ۰,۸ (SPWM)

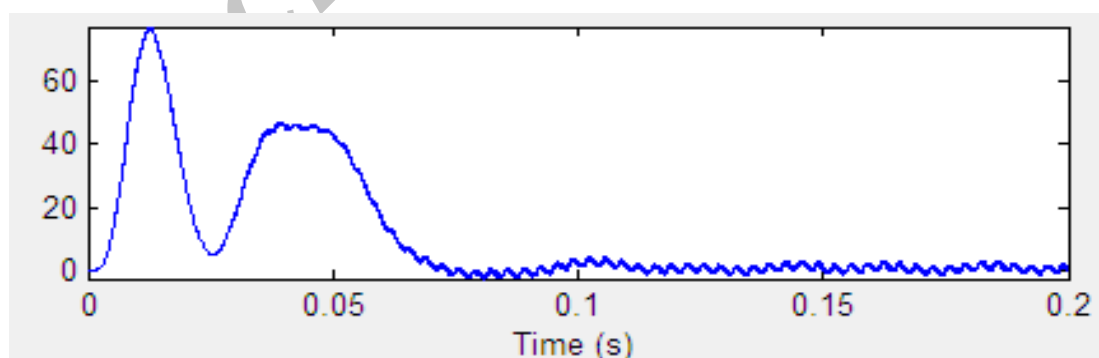
در اشکال (۱۴-۱۶) جریان خط، سرعت و گشتاور موتور برای شاخص مدولاسیون ۰,۸ (SPWM) بترتیب نشان داده شده است.



شکل (۱۴): جریان خط برای شاخص مدولاسیون ۰,۸ ($m=0.8$)



شکل (۱۵): سرعت برای شاخص مدولاسیون ۰,۸ ($m=0.8$)

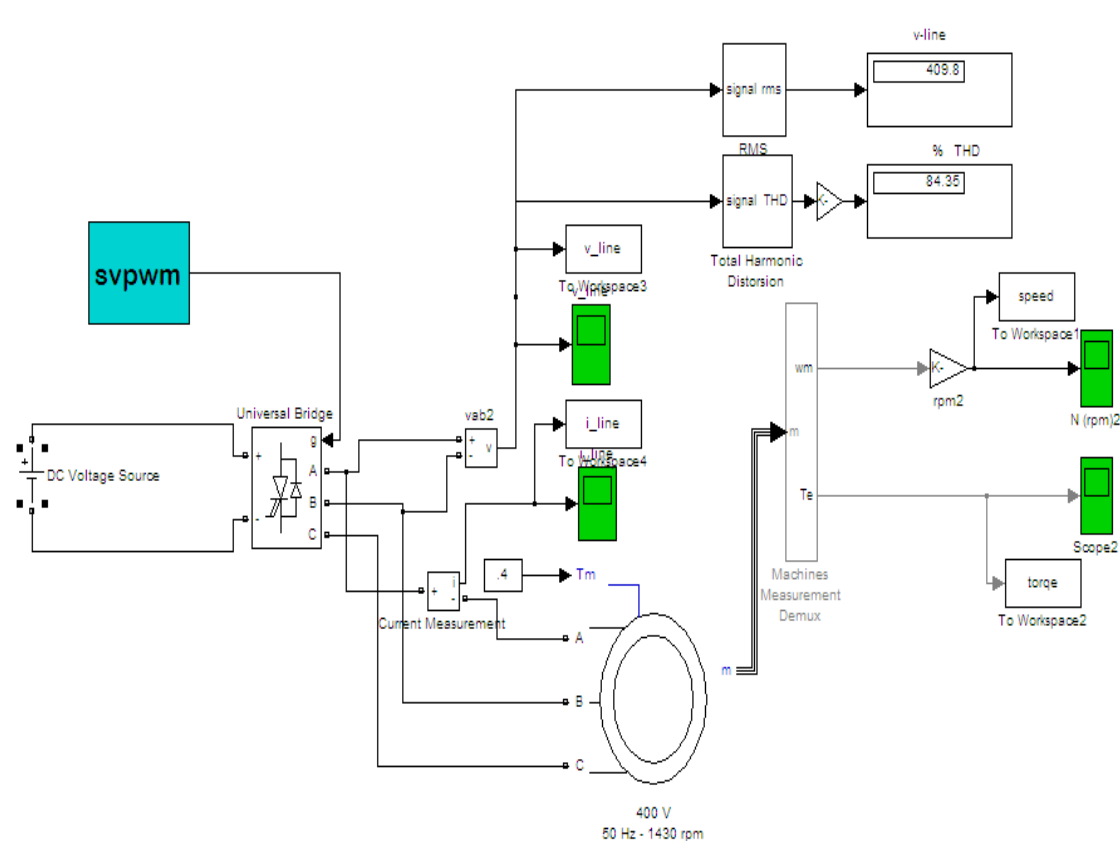


شکل (۱۶): گشتاور برای شاخص مدولاسیون ۰,۸ ($m=0.8$)

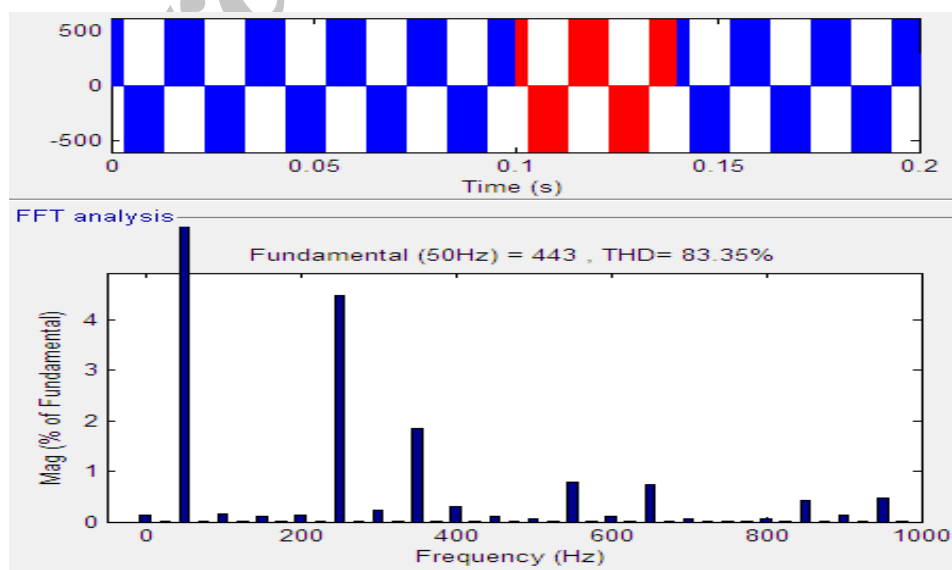
نهایتاً در جدول (۳) با تغییر مقدار m (شاخص مدولاسیون)، میزان TDH و ولتاژ تولید اینورتر با استفاده از هر دو روش SPWM و SVPWM مقایسه خواهند شد.

۲-۶: شبیه سازی SVPWM

بلوک دیگرام شبیه سازی موتور القایی با تغذیه توسط اینورتر SVPWM با مدولاسیون پهنای پالس بردار فضایی در شکل (۱۷) نشان داده شده است .

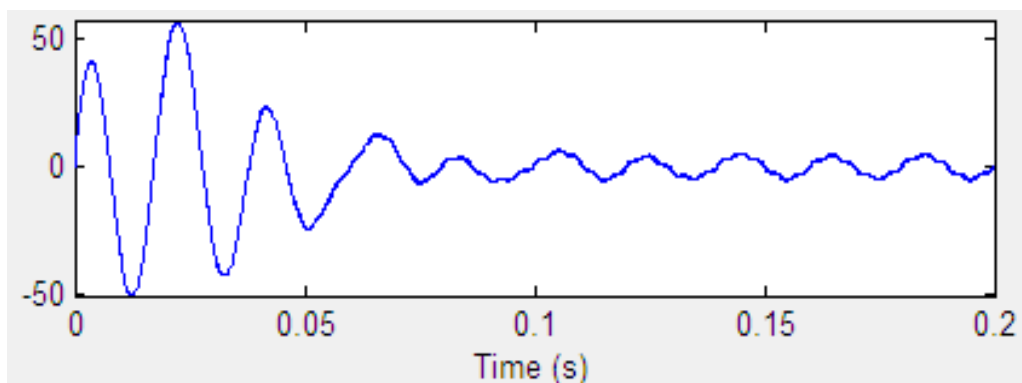


شکل (۱۷): مدار شبیه سازی سیستم مورد مطالعه با استفاده از مدولاسیون پهنای پالس بردار فضایی (SVPWM)

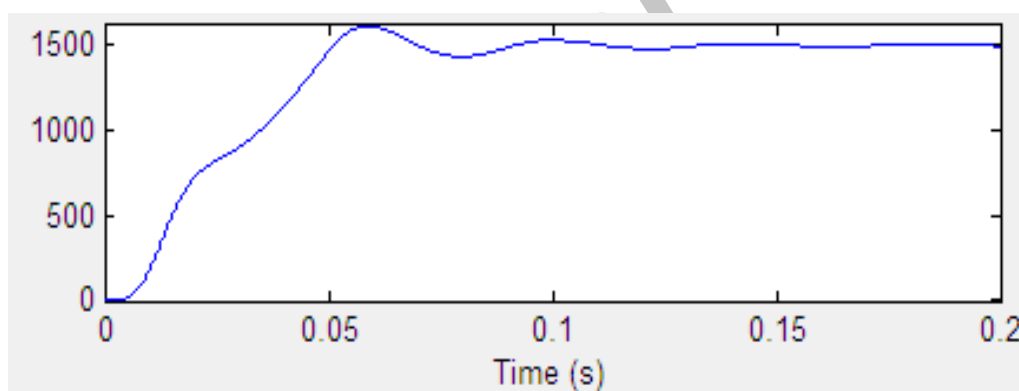


شکل (۱۸): ولتاژ خط و طیف هارمونیکی آن برای شاخص مدولاسیون ۰,۸ (SVPWM)

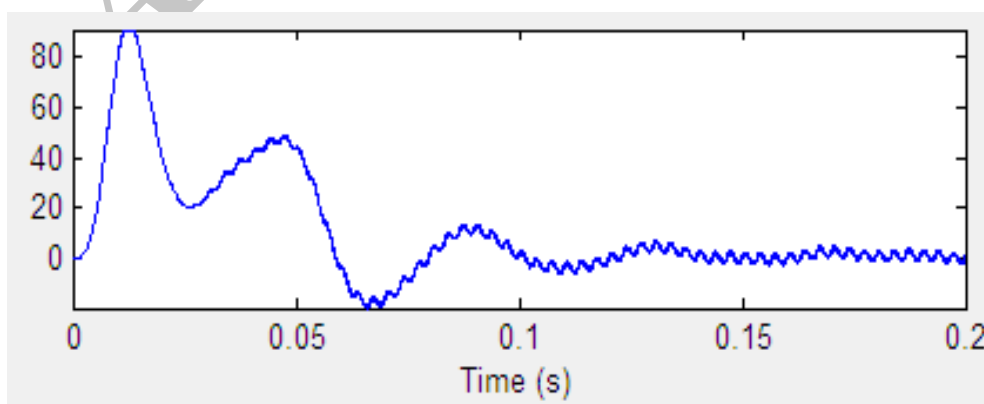
در اشکال (۱۹-۲۱) جریان خط، سرعت و گشتاور موتور برای شاخص مدولاسیون ۰,۸ (SVPWM) بترتیب نشان داده شده است.



شکل (۱۹): جریان خط برای شاخص مدولاسیون ۰,۸ ($m=0.8$)



شکل (۲۰): سرعت برای شاخص مدولاسیون ۰,۸ ($m=0.8$)



شکل (۲۱): گشتاور برای شاخص مدولاسیون ۰,۸ ($m=0.8$)

جدول (۳) مقایسه ولتاژهای خروجی و THD های تولید شده در اثر SPWM و SVPWM را به ازای شاخص‌های مدولاسیون مختلف نشان می‌دهد.

جدول(۳):مقایسه SPWM و SVPWM

شاخص مدولاسیون	SPWM		SVPWM	
	V	THD%	V	THD%
m				
1	520.7	68.15	567.8	57.41
.8	395.5	97.38	443	83.35
.6	313.2	119.45	318.1	115.64
.4	179.7	179.55	192.8	166.63

ازمقایسه نتایج شبیه سازی مشخص می‌شود PWM بردار فضایی، از ولتاژ باس **dc** بطور مؤثر تری استفاده کرده ، ولتاژ خروجی بیشتری تولید کرده و THD کمتری ایجاد می‌کند. به علت فرکانس ثابت استراتژیهای PWM مرسوم، چندین دسته هارمونیک اطراف فرکانس حامل وجود دارند. استراتژیهای SPWM و SVPWM از یک فرکانس حامل قابل تغییر برای انتشار پیوسته هارمونیک‌ها به یک ناحیه باند وسیع استفاده می‌کنند بطوریکه هارمونیک‌ها بطور زیادی کاهش می‌یابند. دامنه هارمونیک‌ها در حالت استفاده از تکنیک SVPWM کمتر از تکنیک SPWM می‌باشد.

۷- نتیجه گیری

تکنیک مدولاسیون بردار فضایی (svm) مهمترین تکنیک PWM برای مبدلهای منبع ولتاژ سه فاز جهت کنترل موتورهای القایی، موتورهای DC بدون جارویک ، موتورهای رلوکتانسی سوئیچ شده و موتورهای سنکرون مغناطیس دائم می‌باشند. در این مقاله یک آنالیز مقایسه‌ای SVPWM با SPWM معمولی برای اینورتر دو سطحه توسط نرم افزار MATLAB/SIMULINK انجام شد نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که ولتاژ مولفه اصلی تولیدی توسط اینورتر با SVPWM در مقایسه با SPWM ۱۵٪ بیشتر می‌باشد و کیفیت بهتر یعنی THD کمتر دارد. استراتژیهای SPWM و SVPWM از یک فرکانس حامل قابل تغییر برای انتشار پیوسته هارمونیک‌ها به یک ناحیه باند وسیع استفاده می‌کنند بطوریکه هارمونیک‌ها بطور زیادی کاهش می‌یابند.

مراجع

Zhenyu Yu, Arefeen Mohammed, Issa Panahi. 1997. A Review of Three PWM Techniques. Proceedings of the American Control Conference Albuquerque, New Mexico .pp. 257-261 .

D. G. Holmes and T. A. Lipo. 2003. Pulse Width Modulation for Power Converters: Principles and Practice . M.E. El-Hawary, Ed. New Jersey: IEEE Press, Wiley - Interscience. pp. 215-313 .

T. Erfidan, S. Urugun, Y. Karabag and B. Cakir. 2004 .New Software implementation of the Space Vector Modulation. Proceedings of IEEE Conference. pp.1113-۱۱۱۵ .

D. Rathnakumar, J. Lakshmana Perumal and T . Srinivasan. 2005. A New software implementation of space vector PWM. Proceedings of IEEE Southeast conference. pp.131-136 .

B. Hariram and N. S. Marimuthu. 2005. Space vector switching patterns for different applications- A comparative analysis. Proceedings of IEEE conference .pp. 1444-1449 .



Raed H. Ahmad, George G. Karady, Tracy D. Blake, Peter Pinewski. Comparison of Space Vector Modulation Techniques based on performance Indexes and Hardware Implementation. Electrical Engg. Department, Arizona State University .

Wajiha Shireen, Srinivas Vanapalli, Hrishikesh Nene .۲۰۰۶A DSP Based SVPWM Control for Utility Interactive Inverters used in Alternate Energy Systems .IEEE Transactions on Industrial Electronics .

B.K. Bose. 1986. Power electronics and ac drives. Prentice hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

Archive of SID