جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

چگونگی تولید دنبالههای سوئیچینگ مدولاتورهای اصلاح شده SPWM به کمک مدولاتورهای SVM در مبدلهای سه سطحی

مریم سعیدی‌فرد — دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان
علیرضا بخشایی — استادیار دانشکدهٔ برق، دانشکدهٔ برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

امروزه مبدلهای سوئیچینگ چند سطحی در کاربردهای بسیاری مانند درایوهای AC، منابع تغذیه AC و جبرانسازهای توان راکتیو بهکار گرفته می‌شوند. استراتژیهای سوئیچینگ در این مبدلها مانند مبدلهای دو سطحی متنوع بوده و با معیارهایی از قبیل میزان استفاده از ولتاژ باس DC، طیف هارمونیکی ولتاژ خروجی منتجه و عملکرد دینامیکی ارزیابی می‌شوند. تکنیکهای SPWM و SVM بهدلیل ویژگیهای خاص، کاربردهای زیادتری پیدا کردهاند. علیرغم وجود تحقیقات زیادی که ارتباط بین دو روش SPWM و SVM در مبدلهای دو سطحی را تبیین کردهاند، ارتباط بین این دو روش در مبدلهای چند سطحی بهدرستی شناخته نشده است. در این مقاله ارتباط بین این دو روش PWM در اینورترهای سه سطحی تحقیق و ارائه می‌شود. در پایان اعتبار نتایج بهدست آمده بهکمک شبیهسازی کامپیوتری آزمایش و بررسی می‌شود.

کلمات کلیدی: اینورتر منبع ولتاژ سه سطحی، مدولاسیون بردار فضایی.

SVM Switching Pattern Generators by Means of Modified SPWM Modulators in Three-Level Converters

M. Saeedifard and A. Bakhshai
Dept. of Elec. and Comp. Eng., Isfahan University of Technology

Abstract

Multilevel inverters have currently found applications in adjustable speed ac drives, traction systems and power system compensators. Several modulation techniques have been proposed for switching multilevel inverters. Switching techniques are evaluated basically by factors such as dc- link voltage utilization, output spectrum and dynamic performance. Among different PWM techniques, SPWM and SVM because of their very good switching performances and features have been widely used in analog and digital power converter control strategies, respectively. It was shown that there is an inherent relation between these two PWM schemes for two-level inverters. This paper extracts the relation between switching patterns generated by SVM and SPWM modulators for related three-level inverters. The validity of the analytical results are verified by simulation.

Key words: Three level voltage source converter, Space vector modulation.

جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

۱- مقدمه

مبدلهای چند سطحی که برای اولین بار در سال ۱۹۸۱ توسط Nabae و بهمنظور کاهش دامنه هارمونیکها و فرکانس سوئیچینگ اینورترهای سه فاز معرفی شدند، کاربردهای زیادی در سیستمهای قدرت با توان بالا از قبیل درایوهای قدرت AC، ادوات FACTS و جبران کنندههای توان راکتیو پیدا کردهاند [۱]. ولتاژ خروجی در این مبدلها از ترکیب چندین سطح ولتاژ که عموماً از منابع خازنی بهدست میآیند، ساخته میشود. استراتژیهای سوئیچینگ در مبدلهای چند سطحی نیز مانند مبدلهای دو سطحی متنوع بوده با معیارهایی از قبیل میزان استفاده از ولتاژ باس DC، طیف هارمونیکی ولتاژ خروجی منتجه و عملکرد دینامیکی ارزیابی میشوند. از میان روشهای سوئیچینگ، تکنیکهای SPWM و SVM بهدلیل ویژگیهای خاص کاربردهای زیادتری پیدا کردهاند [۲]. در روش SPWM که براساس استفاده از مدولاتورهای جداگانه در هر فاز استوار است، بهکمک یک موج مثلثی حامل، لحظات سوئیچینگ بازوهای مختلف اینورتر تعیین میشوند. این روش بهدلیل سادگی ساختار، خطی بودن مشخصه ورودی - خروجی و ایجاد طیف هارمونیکی مطلوب کاربردهای بسیار زیادی در سیستمهای آنالوگ پیدا کرده است. برخلاف SPWM، SVM روش مدولاسیونی مبتنی بر ولتاژهای خط میباشد. این روش عموماً بهعنوان یک روش مدولاسیون دیجیتال شناخته شده و بهدلیل دارا بودن مشخصاتی از قبیل خطی بودن مشخصه ورودی - خروجی و ایجاد طیف هارمونیکی مطلوب در کنار استفاده بهتر از ولتاژ باس DC و فرکانس سوئیچینگ کمتر، بهصورت گستردهای در مبدلهای قدرت امروزی بهکار گرفته میشود. مشخصات و ویژگیهای مشترک این دو روش PWM محققین را بهیافتن ارتباط بین این دو روش ترغیب کرده است نتایج این تحقیقات برروی مبدلهای دو سطحی نشان داده است که با وجود متفاوت بودن ماهیت این دو روش PWM، ارتباط نزدیکی بین آنها وجود دارود [۳]؛ هر چند ارتباط بین این دو روش در مبدلهای چند سطحی بهدرستی شناخته و تعبیین نشده است.

در این مقاله ابتدا روش مدولاسیون بردار فضایی برای اینورترهای دو سطحی و سه سطحی آورده [۴-۶] و سپس ارتباط بین دو روش SPWM و SVM در مبدلهای دو سطحی بهاختصار بیان میشود. در ادامه ارتباط بین این دو روش PWM در اینورترهای سه سطحی تحقیق و ارائه میشود. در پایان اعتبار نتایج بهدست آمده بهکمک شبیهسازی کامپیوتری آزمایش و بررسی میشود.

۲- مدولاسیون بردار فضایی جهت کنترل مبدلهای دو سطحی سه فاز

استراتژی مدولاسیون بردار فضایی براساس بازسازی بردار ولتاژ مرجع نمونهبرداری شده بهکمک بردارهای حالت سوئیچینگ یک اینورتر منبع ولتاژ سه فاز در طول یک پریود نمونهبرداری، استوار میباشد [۵]. در این روش در طول یک پریود نمونهبرداری، ولت – ثانیه بردار ولتاژ مرجع با جمع ولت - ثانیه بردارهای ولتاژ قابل دسترسی در خروجی اینورتر بهطور برداری مساوی قرار داده میشوند. بهعبارت دیگر:

$$V_{ref}T = \underline{V}_i t_i + \underline{V}_{i+1} t_{i+1} + V_0 t_0 \qquad (۱)$$

که در آن، T پریود نمونهبرداری، $\underline{V}_i$ و $\underline{V}_{i+1}$ دو نزدیکترین بردار سوئیچینگ غیر صفر بهبردار مرجع، t_i و t_{i+1} بهترتیب فاصلهٔ زمانی اعمال دو بردار غیر صفر $\underline{V}_i$ و $\underline{V}_{i+1}$ و t_0 مدت زمان اعمال بردار صفر $\underline{V}_0$ میباشند. زمان اعمال هر کدام از بردارهای ذکر شده از روابط زیر محاسبه میگردند:

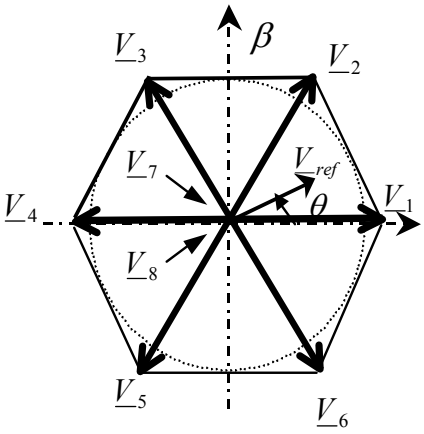
$$\begin{aligned} t_i &= mTSin(60-\theta) \\ t_{i+1} &= mTSin(\theta) \\ t_0 &= T - t_i - t_{i+1} \end{aligned} \qquad (۲)$$

در این روابط m اندیس مدولاسیون و برای یک اینورتر منبع ولتاژ بهصورت $m = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{|V_{ref}|}{E}$ تعریف میشود. V_{ref} دامنه ولتاژ مرجع، E ولتاژ طرف DC و θ زاویه بین بردار مرجع و نزدیکترین بردار حالت به آن در جهت عقربههای ساعت میباشد شکل (۱).

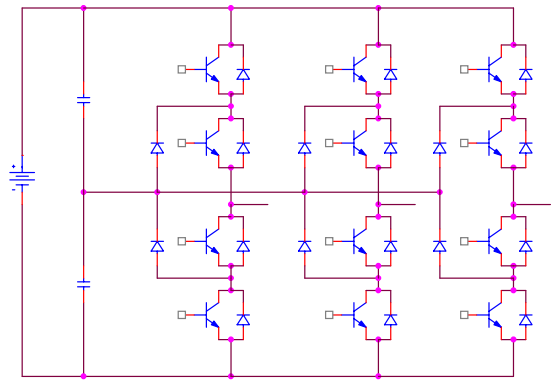
۳- مدولاسیون بردار فضایی جهت کنترل یک اینورتر منبع ولتاژ سه سطحی سه فاز DCMI

شکل (۲) ساختار عمومی یک اینورتر منبع ولتاژ سه سطحی سه فاز DCMI را نشان میدهد.

جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

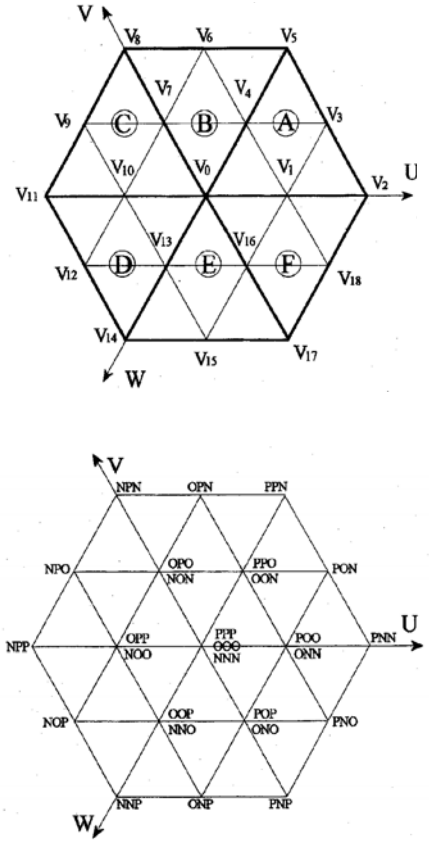


شکل ۱- نمایش بردارهای ولتاژ فضایی (بردارهای سوئیچینگ) و سکتورهای شش گانه در صفحه (αβ) برای یک اینورتر منبع ولتاژ سه فاز



شکل ۲- ساختار عمومی یک اینورتر منبع ولتاژ سه سطحی سهفاز DCMI

هر فاز این اینورتر شامل ۲ دیود کلمپ، ۴ سوئیچ و ۴ دیود هرزگرد میباشد. در هر فاز با روشن شدن دو سوئیچ بالایی، وسطی یا پایینی، خروجی میتواند بهسطح مثبت، صفر یا منفی متصل شود. از آنجا که در اینورتر سه سطحی، سه حالت متفاوت ولتاژ در ترمینال خروجی هر فاز وجود دارد، بنابراین این اینورتر دارای 3^3 یا ۲۷ حالت مجاز و متمایز سوئیچینگ میباشد. اگر تبدیل پارک به این ۲۷ حالت سوئیچینگ متمایز و مجاز موجود در یک اینورتر سه سطحی سه فاز که هر یک با یک بردار ثابت در چارچوب (abc) معرفی میگردند اعمال شود، نتیجه حاصل در صفحه (αβ)، ۱۸ بردار غیر صفر متمایز $(V_k, k=1,2,...,18)$ و یک بردار صفر (V_0) واقع در صفحه $(\alpha\beta)$ خواهد بود شکل (۴). این بردارها از نظر اندازه بهچهار دسته بردارهای ولتاژ صفر (V_0)، بردارهای ولتاژ کوچک $(v_1, v_4, v_7, v_{10}, v_{13}, v_{16})$ بردارهای ولتاژ متوسط $(v_3, v_6, v_9, v_{12}, v_{15}, v_{18})$ و بردارهای ولتاژ بزرگ $(v_2, v_5, v_8, v_{11}, v_{14}, v_{17})$ تقسیم میشوند شکل (۳).

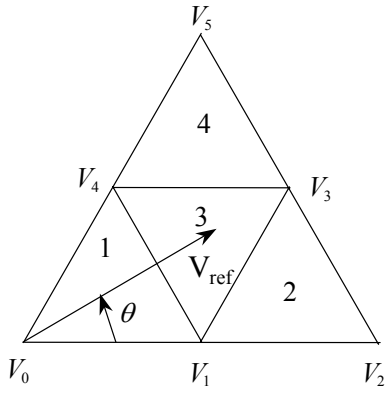


شکل ۳- بردارهای ولتاژ فضایی ولتاژ خط خروجی برای یک اینورتر سه سطحی سه فاز به همراه حالات مجاز سوئیچینگ

بردارهای ولتاژ کوچک دارای حالات تکراری میباشند و به دو زیر گروه کوچکتر تقسیم میشوند. یک گروه بهصورت $(v_{1N}, v_{4N}, v_{7N}, v_{10N}, v_{13N}, v_{16N})$ که بردارهای کوچک پایینی نامیده میشوند و دیگری بهصورت $(v_{1P}, v_{4P}, v_{7P}, v_{10P}, v_{13P}, v_{16P})$ میباشد که بردارهای کوچک بالایی نامیده میشوند [۶].

برای اعمال استراتژی مدولاسیون بردار فضایی در یک اینورتر سه سطحی مانند اینورتر دو سطحی، ابتدا باید معادلاتی که زمان اعمال هریک از بردارهای سوئیچینگ را بهدست میدهند،

استخراج کرد. بهخاطر تشابه روابط در سکتورهای ششگانه روابط موردنظر را در یک سکتور مورد بررسی قرار میدهیم. شکل (۴) سکتوری را که توسط بردارهای V_0، V_2 و V_5 تشکیل میشود، نشان میدهد. این مثلث بهچهار مثلث کوچکتر بهنامهای ۱، ۲، ۳ و ۴ تقسیم شده است.



شکل ۴- ساختار کلی سکتور (۱) جهت محاسبه زمانهای سوئیچینگ نزدیکترین سه بردار به بردار مرجع

روش SVM با اعمال سه نزدیکترین بردار سوئیچینگ بهبردار مرجع در طول یک پریود سوئیچینگ بهدست میآید. طول زمان اعمال هر یک از بردارها با روابط زیر محاسبه میشود:

$$t_0 = T_S[1-2m\sin(\theta+\frac{\pi}{3})]$$

$$t_1 = 2mT_S\sin(\frac{\pi}{3}-\theta)$$

$$t_4 = 2mT_S\sin(\theta)$$ (۳) مثلث شمارهٔ (۱)

$$t_1 = 2T_S[1-m\sin(\theta+\frac{\pi}{3})]$$

$$t_2 = T_S[2m\sin(\frac{\pi}{3}-\theta)-1]$$

$$t_3 = 2mT_S\sin(\theta)$$ (۴) مثلث شمارهٔ (۲)

$$t_1 = T_S[1-2m\sin(\theta)]$$

$$t_3 = T_S[2m\sin(\theta+\frac{\pi}{3})]$$

$$T_4 = T_S[2m\sin(\theta-\frac{\pi}{3})]$$ (۵) مثلث شمارهٔ (۳)

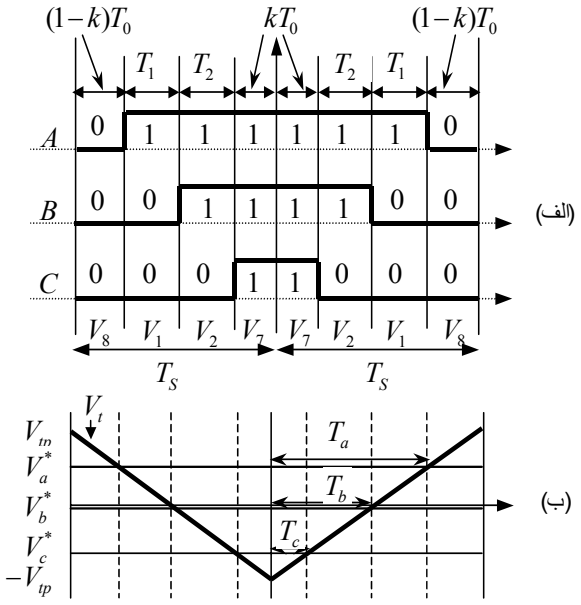
$$t_3 = 2m\sin(\theta+\frac{\pi}{3})$$

$$t_4 = 2T_S[1-m\sin(\theta+\frac{\pi}{3})]$$

$$t_5 = T_S[2m\sin(\theta)-1]$$ (۶) مثلث شمارهٔ (۴)

۴- ارتباط بین مدولاسیون بردار فضایی و مدولاسیون پهنای باند سینوسی در اینورترهای دو سطحی

برای یافتن ارتباط بین SPWM و SVM در مبدلهای دو سطحی، فرض کنید که در مدولاتور SPWM بهجای استفاده از موج مرجع سینوسی از ولتاژهای مرجع V_a^*، V_b^* و V_c^* که دنباله سوئیچینگ مطابق با دنباله سوئیچینگ روش SVM ایجاد میکند، استفاده شده است. یک پریود سوئیچینگ روش مدولاسیون بردار فضایی و نیز یک پریود موج مثلثی با سیگنالهای مرجع جدید و دنبالههای سوئیچینگ حاصل از آنها در سکتور اول در شکل (۵) نشان داده شدهاند. دورههای زمانی T_a، T_b، T_c و همچنین ولتاژهای V_a^*، V_b^* و V_c^* در شکل (۵) به صورت روابط (۷) و (۸) بیان میشوند.



شکل ۵- الف- نمودار زمانبندی بردارهای ولتاژ فضایی روش SVM ب- نمودار زمانبندی سیگنالهای گیت سوئیچهای اینورتر مبتنی بر SPWM

$$T_a = kT_0 + T_2 + T_1$$
$$T_b = kT_0 + T_2 \qquad 0 \le k \le 1$$
$$T_c = kT_0 \qquad (۷)$$

$$V^*_{a,b,c} = V_{a,b,c} + V_{ZS} \qquad (۸)$$

در این روابط ولتاژهای $V_{a,b,c}$ ولتاژهای سینوسی مرجع، V_{ZS} ولتاژ با توالی صفر اضافه شده به موج مرجع سینوسی و $V^*_{a,b,c}$ ولتاژهای مرجع جدید میباشند.

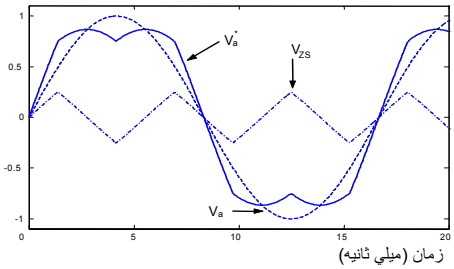
نیم پریود دوم مثلثی در شکل (۵) توسط رابطه زیر بیان میشود:

$$\frac{V_t}{V_{tp}} = (\frac{2}{T_S}t - 1) \qquad (0 \le t \le T)$$
$$V_{tp} = \frac{V_{DC}}{2} \qquad (۹)$$

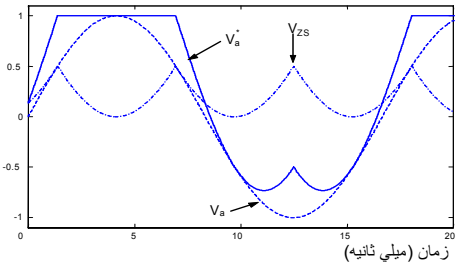
در این روابطه V_t و V_{tp} بهترتیب مقدار لحظهای و مقدار ماکزیمم موج مثلثی و V_{DC} ولتاژ باس DC اینورتر میباشد. با جایگذاری روابط (۷) و (۸) در رابطه (۹) و بازنویسی مجدد، ولتاژ توالی صفری که باید به ولتاژ مرجع سینوسی اضافه شود تا دنبالههای سوئیچینگ ناشی از SPWM با دنبالههای سوئیچینگ SVM در حالت سوئیچینگ متقارن یکسان شود بهصورت رابطه زیر بیان میگردد [۳]:

$$V_{ZS} = -\lfloor (1-2k) + kV_{\max} + (1-k)V_{\min} \rfloor \quad 0 \le k \le 1 \qquad (۱۰)$$

ولتاژهای $V_{\max}$ و $V_{\min}$ مقادیر ماکزیمم و مینیمم ولتاژهای مرجع سینوسی $V_{a,b,c}$ میباشند. به ازای هر مقدار k یک ولتاژ توالی صفر بهدست میآید که با اضافه کردن این ولتاژ با توالی صفر به موج سینوسی مرجع، دنباله سوئیچینگ و طیف هارمونیکی حاصل از روش SPWM با دنبالهٔ سوئیچینگ و طیف هارمونیکی حاصل از روش SVM که در آن بردارهای سوئیچینگ بهصورت شکل (۵- الف) اعمال میشوند، یکسان میباشد. شکل موج مرجع جدید و ولتاژ توالی صفر به ازای دو مقدار مختلف k در شکل (۶) نشان داده شدهاند. شکل (۷) نتایج شبیهسازی یکسان حاصل از دو روش PWM یک مبدل دو سطحی، برای $f_{sw} = 1/38\,kHz$ ، $m = 0/8$ و به ازای $k = 0/5$ نشان میدهد.

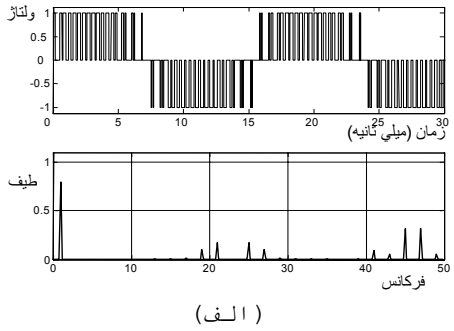


(الف)

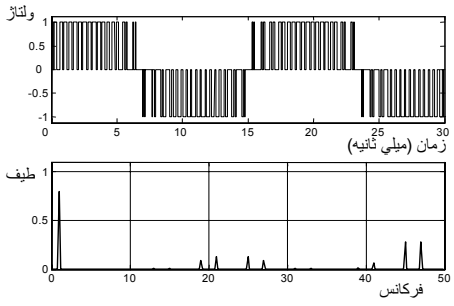


(ب)

شکل۶- شکل موجهای ولتاژ مرجع جدید، ولتاژ مرجع سینوسی و ولتاژ توالی صفر به ازای مقادیر مختلف k
الف) k=0 ب) k=0.5



(الـف)

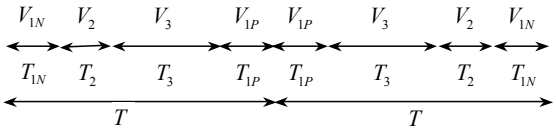


(ب)

شکل۷- طیف هارمونیکی به ازای k=0 .5
الف)روش SPWM ب)روش SVM

۵- استراتژی سوئیچینگ SVM با استفاده از حالات تکراری بردارهای ولتاژ کوچک

در روش SVM در اینورترهای دو سطحی تنها بردار دارای حالت تکراری، بردار صفر میباشد در حالیکه در روش SVM در اینورترهای سه سطحی، هر بردار ولتاژ کوچک دارای دو حالت تکراری و بردار ولتاژ صفر دارای سه حالت تکراری میباشد. با ترتیب سوئیچینگ متقارن، در SVM دو سطحی که دنباله سوئیچینگ معادل با دنباله SPWM اصلاح شده را به دست میدهد، مدت زمان اعمال بردار صفر به دو قسمت تقسیم شده و بردارهای V_7 و V_8 با دورههای زمانی kT_0 و $(1-k)T_0$ در ابتدا و انتهای هرسیکل اعمال میشوند. برای حفظ تقارن دنباله سوئیچینگ، در سیکل بعدی این ترتیب سوئیچینگ معکوس میشود. این روش در مورد اینورترهای چند سطحی و از جمله سه سطحی نیز قابل اجرا میباشد. اگر مطابق شکل (۴) انتهای بردار مرجع در مثلث شمارهٔ (۳) سکتور اول قرار گیرد، سه بردار V_1، V_2 و V_3 در بازسازی ولتاژ مرجع استفاده میشوند. از آنجا که بردار V_1 داری دو حالت تکراری سوئیچینگ میباشد، دنباله سوئیچینگ را میتوان بهصورت $N_{IN}V_2V_3V_{1P}$ در نظر گرفت. در این دنباله سوئیچینگ ترتیب اعمال بردارها بهگونهای انتخاب شده است که از هر حالت سوئیچینگ بهحالت دیگر تنها یک تغییر سوئیچ رخ دهد. همانند اینورتر دو سطحی به منظورکاهش THD، ترتیب سوئیچینگ در سیکل بعدی سوئیچینگ معکوس میشود. بنابراین دنبالههای سوئیچینگ برای دو پریود متوالی بهصورت $V_{1N}V_2V_3V_{1P}V_{1P}V_3V_2V_{IN}$ شکل (۸) اعمال میشوند. در شکل (۸)، $T_{1P}+T_{1N}=T_1$ میباشد.

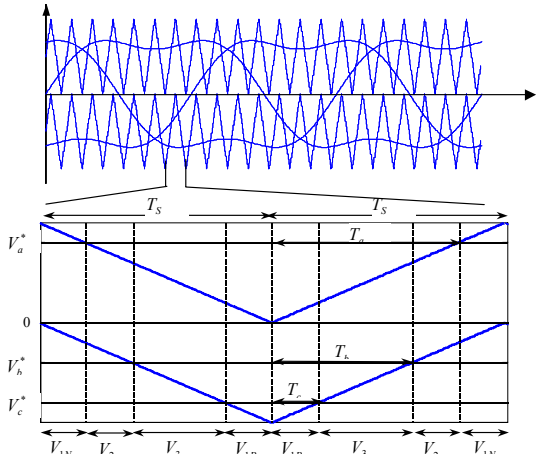


شکل ۸- دنباله سوئیچینگ روش SVM متقارن در دو پریود سوئیچینگ متوالی

۶- ارتباط بین مدولاسیون بردار فضایی و مدولاسیون پهنای باند سینوسی در اینورترهای سه سطحی

از بین روشهای شناخته شده مدولاسیون پهنای باند سینوسی برای مبدلهای چند سطحی، میتوان بهروش PD که کمترین THD را در ولتاژ خروجی اینورتر نتیجه میدهد، اشاره کرد [۷]. بنابراین برای یافتن ارتباط بین SPWM و SVM در اینورترهای سه سطحی، روش PD مبنا قرار داده شده است.

در شکل (۹) یک پریود از موج مثلثی بههمراه ولتاژهای سینوسی مرجع اصلاح شده V_a^*، V_b^* و V_c^* با فرض $V_a^*>V_b^*>V_c^*$ و دنبالههای سوئیچینگ حاصل از آنها در روش مدولاسیون سینوسی PD در سکتور اول و در مثلث شماره (۳) نشان داده شدهاند. دنبالههای سوئیچینگ حاصل از روش SVM مطرح شده نیز در شکل (۸) نشان داده شدهاند.



شکل ۹- دنباله سوئیچینگ حاصل از روش SPWM اینورتر سهسطحی

بهمنظور بهدست آوردن ارتباط بین این دو روش زمان اعمال بردارهای کوچک را در حالت کلی بهصورت روابط زیر در نظر میگیریم:

$$T_{1P}=kT_1$$
$$T_{1N}=(1-k)T_1 \qquad 0\le k\le 1$$
$$T_{1N}+T_{1P}=T_1 \qquad (۱۱)$$

معادلات مربوط به قسمتهای شیب مثبت موج مثلثی بالایی و پایینی و زمانهای T_a، T_b و T_c با روابط زیر بیان میشوند:

معادلهٔ قسمت شیب مثبت موج مثلثی بالایی:

$$v_t=\frac{V_t}{V_{DC}}=\frac{1}{T_S}t \qquad (۱۲)$$

معادلهٔ قسمت شیب مثبت موج:

$$v_t = \frac{V_t}{V_{DC}} = \frac{1}{T_S}t - 1$$
$$V_{tp} = \frac{V_{DC}}{2}$$

(۱۳)

$$\begin{cases} T_a = v_a T_S \\ T_b = (v_b + 1)T_S \\ T_c = (v_c + 1)T_S \end{cases}$$

(۱۴)

در این روابط V_t مقدار لحظهای موج مثلثی، V_{DC} ولتاژ باس DC اینورتر، v_t مقدار نرمالیزه شده موج مثلثی $(-1 \le v_t \le 1)$ و $v_{a,b,c}$ مقادیر نرمالیزه شده ولتاژهای فاز میباشند. با توجه به این نکته که در یک سیستم سه فاز متعادل $v_{\max} + v_{\min} + v_{mid} = 0$ میباشد و با فرض اینکه $v_{mid>0}$ و $v_{\max} - v_{\min} > 1$ (معادل با $(V_{\max} - V_{\min} > \frac{V_{DC}}{2})$) باشد، زمانهای T_{1P} و T_{1N} با روابط زیر محاسبه میشوند:

$$T_{1P} = \min(1 + v_{\min}, v_{mid})$$
$$T_{1N} = 1 - v_{\max} \qquad (۱۵)$$

بسته به مقادیر $v_{\max}$، $V_{\min}$ و v_{mid} پنج حالت وجود دارد:

حالت اول – اگر $1 + v_{\min} > v_{mid}$ باشد زمانهای T_{1P} و T_{1N} با روابط زیر محاسبه میشوند:

$$T_{1P} = v_{mid}$$
$$T_{1N} = 1 - v_{\max} \qquad (۱۶)$$

با اضافه کردن ولتاژ توالی صفر (V_{ZS}) به سیگنالهای مرجع زمانهای جدید T'_{1P} و T'_{1N} با روابط زیر محاسبه میشوند:

$$T'_{1P} = V_{mid} + V_{ZS} = kT_1$$
$$T'_{1N} = 1 - (V_{\max} + V_{ZS}) = (1-k)T_1$$
$$\Rightarrow V_{ZS} = -kv_{\max} - (k-1)v_{mid} + k \qquad (۱۷)$$

حالت دوم - اگر $v_{\max} - v_{\min} < 1$ و $v_{mid} < 0$ باشد زمانهای T_{1P} و T_{1N} با روابط زیر محاسبه میشوند:

$$T_{1P} = 1 + v_{\min}$$
$$T_{1N} = 1 - v_{\max} \qquad (۱۸)$$

با اضافه کردن ولتاژ توالی صفر (V_{ZS}) به سیگنالهای مرجع زمانهای جدید T'_{1P} و T'_{1N} با روابط زیر محاسبه میشوند:

$$T'_{1P} = v_{\max} + V_{ZS} = kT_1$$
$$T'_{1N} = -(v_{mid} + v_{ZS}) = (1-k)T_1$$
$$\Rightarrow V_{ZS} = -kv_{mid} - (1-k)v_{\max} \qquad (۱۹)$$

حالت سوم - اگر $v_{\max} - v_{\min} < 1$ (اندیسهای مدولاسیون پائین) و $v_{mid} > 0$ باشد زمانهای T_{1P} و T_{1N} با روابط زیر محاسبه میشوند:

$$T_{1P} = v_{mid}$$
$$T_{1N} = -v_{\min} \qquad (۲۰)$$

با اضافه کردن ولتاژ توالی صفر (V_{ZS}) بهسیگنالهای مرجع زمانهای جدید T'_{1P} و T'_{1N} با روابط زیر محاسبه میشوند:

$$T'_{1P} = v_{mid} = V_{ZS} = kT_1$$
$$T'_{1N} = -(v_{\min} + V_{ZS}) = (1-k)T_1$$
$$\Rightarrow V_{ZS} = -kv_{\min} - (1-k)v_{mid} \qquad (۲۱)$$

حالت چهارم - اگر $v_{\max} - v_{\min} > 1$ و $v_{mid} < 0$ و $1 - v_{\max} > -v_{mid}$ باشد زمانهای T_{1P} و T_{1N} با روابط زیر محاسبه میشوند:

$$T_{1P} = 1 + v_{\min}$$
$$T_{1N} = -v_{mid} \qquad (۲۲)$$

با اضافه کردن ولتاژ توالی صفر (V_{ZS}) به سیگنالهای مرجع زمانهای جدید T'_{1P} و T'_{1N} با روابط زیر محاسبه می‌شوند:

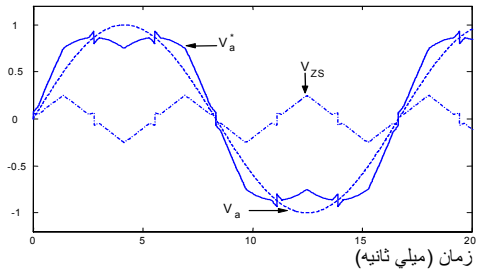
$$T'_{1P} = 1 + v_{\min} + V_{ZS} = kT_1$$
$$T'_{1N} = -(v_{mid} + V_{ZS}) = (1-k)T_1$$
$$\Rightarrow V_{ZS} = -kv_{mid} - (1-k)v_{\min} - (1-k) \qquad (۲۳)$$

حالت پنجم – در سایر شرایط ولتاژ توالی صفر با رابطة زیر محاسبه می شود:

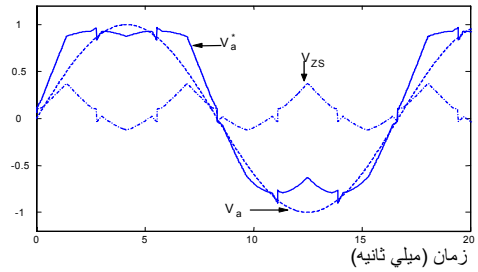
$$V_{ZS} = (2k-1) - kv_{\max} - (1-k)v_{\min} \qquad (۲۴)$$

۷- نتایج شبیه سازی

هر دو روش PWM پیشنهاد شده به کمک نرم افزار Matlab و Simulink شبیهسازی کامپیوتری شدهاند شکل (۱۰) ولتاژهای سینوسی مرجع، ولتاژ با توالی صفر و ولتاژ مرجع جدید را به ازای دو مقدار مختلف k نشان می‌دهد.

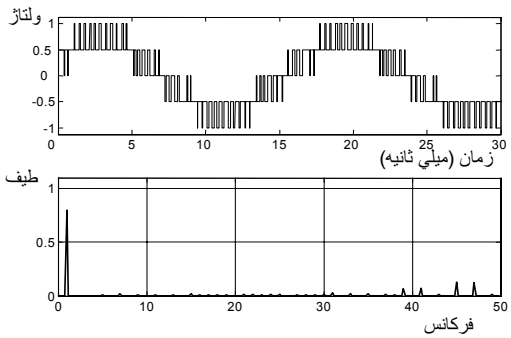


(الف)

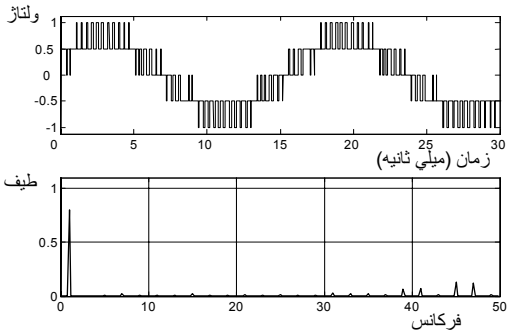


(ب)

شکل۱۰- شکل موجهای ولتاژ مرجع جدید (اصلاح شده)، ولتاژ مرجع سینوسی و ولتاژ توالی صفر برای k=0.5 و به ازای مقادیر مختلفm الف) k=0.75 ب) k=0.5



(الف)



(ب)

شکل۱۱- طیف هارمونیکی به ازایk=0.5
الف)روش SPWM ب)روش SVM

همچنین شکل موج ولتاژ خط و طیف هارمونیکی ولتاژ خروجی حاصل از هر دو روش بهازای $k = 0/5$ و $f_{sw} = 1/38kHz$ در شکل (۱۱) نشان داده شدهاند. با توجه به این شکلها و طیف هارمونیکی یکسان حاصل از هر دو روش PWM، اعتبار نتیجهگیری قسمت قبل تأیید می‌شود.

۸- نتیجه گیری

در این مقاله نشان داده شد، مدولاتورهای اصلاح شده PWM که با اضافه کردن یک ولتاژ توالی صفر به موج سینوسی مرجع بهدست می‌آیند، قادر خواهند بود همان دنباله سوئیچینگ حاصل از مدولاتورهای SVM را برای مبدلهای سه سطحی ایجاد کنند. استفاده از این مدولاتورهای اصلاح شده در سوئیچینگ اینورترهای سه سطحی، باعث می‌شود که خروجی اینورتر ویژگیهای مفید هر دو روش SPWM و SVM را دارا باشد. بهعبارت دیگر این مدولاتورهای اصلاح شده علاوه بر دارا بودن طیف هارمونیکی مطلوب و سادگی ساختار، از ولتاژ باس DC نیز به خوبی مدولاتورهای SVM استفاده می‌کنند و در موارد خاص

دارای فرکانس سوئیچینگ کمتری نسبت به مدولاتور SPWM می‌باشند. بعلاوه، این مدولاتورهای اصلاح شده، امکان پیادهسازی یک روش SVM با ترتیب سوئیچینگ متقارن را بهصورت آنالوگ فراهم می‌سازند. نتایج شبیهسازی اعتبار نتیجهگیریهای فوق را اثبات می‌کنند.

مراجع

[1] Hochgraf, C., Lasseter, R., Divan, D., and Lipo, T.A., "Comparison of Multilevel Inverters for Static VAR Compensation", in Conf. Rec. IEEE/IAS Ann. Mtg., pp. 921-928, 1994.

[2] Ivan, D.M., and Lipo, T.A., "PWM Techniques for Voltage Source Inverters", Tutorial Notes, Power Electronics Specialists Conf. , San Antonio, 1990.

[3] Lasko, V., "A hybrid PWM strategy combining modified space vector and triangle comparison methods", Power Electronics Specialists Conference, PESC Record, 27th Annual IEEE, Vol.2 , pp. 1872-1878, 1996.

[4] Eixas, P.F., Severo, M.A., and Garcia, P.D., "A Space Vector PWM Method for Three-Level Voltage Source Inverter", Fifth Annual IEEE Conf., Applied Power Electronics Conf. & Exposition, APEC Record, Vol.1, pp.549-555, 2000.

[5] Akhshai, A.R., Saligheh Rad, H.R., Joos, G., "Space vector modulation based on classification method in three-phase multi-level voltage source inverters", Industry Applications Conference,IAS/IEEE , Vol.1 , pp. 597-602, 2001.

[6] Ander Brocek, H.W., Skudelny, H.C., and Stank, G., "Analysis and Realization of a Pulse Width Modulator Based on Voltage Space Vector", in Conf. Rec. IEEE-IAS Ann. Mtg. pp.244-251, 1996.

[7] Gelidis, V.G., Calais, M., "Application specific harmonic performance evaluation of multicarrier PWM techniques ", Power Electronics Specialists Conference, PESC Record. 29th Annual IEEE, vol.1, pp.172 - 178,1998.