

# کاهش تعداد کلیدها و اصلاح روش کلیدزنی در مبدل چندسطحی

علی اکبر مطیع بیرجندی<sup>۱</sup> و سید احمد مامزاده شوشتری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>عضو هیات علمی دانشگاه شهید رجایی، Motiebirjandi@srttu.edu

<sup>۲</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد برق قدرت، Sa\_emamzadeh@yahoo.com

چکیده - در این مقاله با هدف کاهش تلفات کلیدزنی، ساختار چندسطحی جدیدی پیشنهاد شده که در مقایسه با سایر مبدل‌های مورد بررسی، دارای تعداد کلید کمتر بوده و در نتیجه از پیچیدگی کمتری برخوردار است. برای ایجاد توزیع همگن در استفاده از منابع  $dc$  نیز، ساختار چندسطحی دیگری ارائه شده که از الگوی کلیدزنی ویژه‌ای پیروی می‌نماید. هر دو ساختار پیشنهادی از نوع متقارن غیرماژولار هستند. راهبرد مدولاسیون در این مبدل‌ها نیز از نوع  $SPWM$  با بهره‌گیری از چند سیگنال کریر مثلثی است. تحلیل‌های لازم برای بررسی کارایی ساختارهای فوق با استفاده از  $MATLAB/Simulink$  صورت پذیرفته است.

کلید واژه- توزیع همگن استفاده از منابع  $dc$ ، جدول کلیدزنی نوین، مبدل چندسطحی غیرماژولار متقارن، مدولاسیون  $SPWM$  Multi-carrier

کاهش تعداد کلیدها طراحی و پیشنهاد شده‌اند. مبدل‌های غیرماژولار نیز دارای انواع پرکاربردی هستند که به عنوان مشهورترین آنها می‌توان ساختارهای NPC و Flying Capacitor را نام برد. از این گروه نیز نمونه‌های متعددی در مقالات پیشنهاد شده که در [۹] نمونه‌ای از آن آورده شده است. اما در کار انجام شده؛ دو ساختار پیشنهادی با هدف کاهش کلیدها در اولین طرح آمده و در ادامه‌ی نیز برای ایجاد توزیع همگن در به‌کارگیری منابع  $dc$ ، توپولوژی مداری دیگری طراحی و پیشنهاد شده است.

## ۲- ساختاری برای کاهش کلیدها

شکل ۱ مبدلی را نشان می‌دهد که به منظور کاهش تعداد کلیدها در [۸] آمده است. در این مبدل ویژگی‌های تعداد منابع  $m$ ، تعداد کلید  $S$ ، تعداد کلید روشن  $S_{on}$  برای ساختار  $n$  سطحی به شکل زیر بوده و محدودیت ایجاد سطوح نیز توسط رابطه‌ی (۴) بیان شده است:

$$m = (n - 1)/2 \quad (1)$$

$$S = (3n + 13)/4 \quad (2)$$

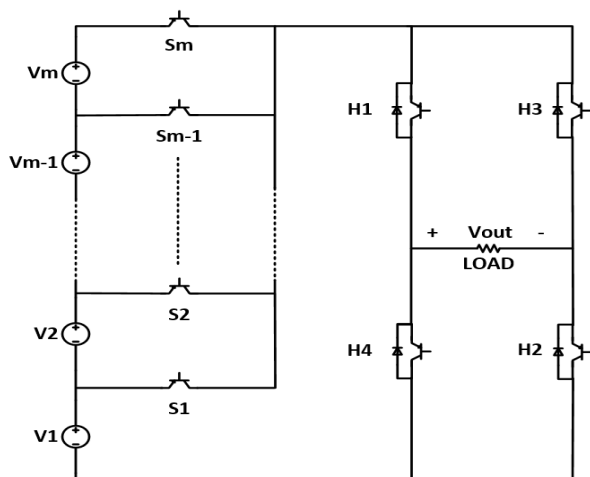
$$S_{on} = (3n + 5)/4 \quad (3)$$

$$n = 4m + 1 \quad (m = 1, 2, \dots) \quad (4)$$

این مبدل از نوع چندسطحی ماژولار بوده که قابلیت تقارن و عدم تقارن را داراست. در شکل ۲ نیز ساختار دیگری نشان داده شده که با هدف کاهش تعداد کلیدها در [۹] ارائه شده است. این ساختار در گروه مبدل‌های غیرماژولار متقارن دسته‌بندی شده و دارای ویژگی‌های زیر است:

## ۱- مقدمه

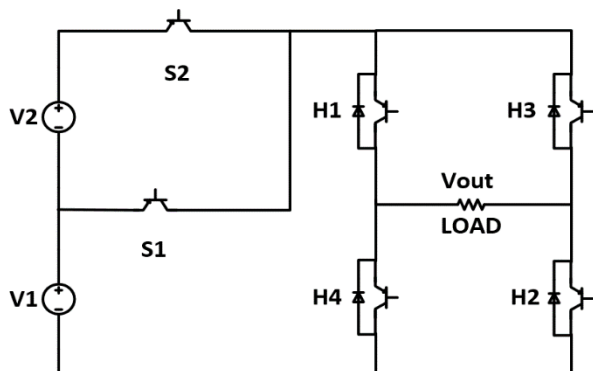
مبدل‌های چند سطحی به دلیل ایجاد ولتاژ نزدیک‌تر به سینوسی،  $THD$  کمتری در خروجی تولید می‌نمایند که این مزیت باعث شده تا ساختارهای چندسطحی به عنوان مبدل‌هایی مناسب جهت اتصال ریزشبه به شبکه، مورد توجه قرار گیرند [۱]. این مبدل‌ها دارای انواع مختلفی بوده و از دیدگاه‌های گوناگون قابل دسته‌بندی هستند. مبدل‌های چندسطحی از نظر ساختار به دو دسته‌ی ماژولار و غیرماژولار تقسیم شده و در هر دو دسته‌ی فوق امکان استفاده از چندین منبع  $dc$  وجود دارد که در صورت برابری اندازه‌ی ولتاژ در همه‌ی منابع، مبدل به عنوان متقارن شناخته شده و در غیر این صورت نامتقارن نامیده می‌شود. در [۲] ساختار کلی مبدل‌های چندسطحی ماژولار و تعدادی از واحدهای پایه‌ی رایج در آنها نشان داده شده است. از جمله‌ی معروف‌ترین ساختارهای ماژولار می‌توان به مبدل آبشاری تمام-پل یا CHB اشاره نمود. یک بررسی مقایسه‌ای بین CHB‌های متقارن و غیرمتقارن در [۳] و یک تحلیل نتایج با اعمال نوع ویژه‌ای از PWM در [۴] بر روی ساختار CHB هفت سطحی نامتقارن انجام شده است. در [۵] نیز یک ساختار CHB نامتقارن ۲۷ سطحی ارائه و تحلیل شده است. مطالعه‌ی ساختار CHB پنج سطحی متقارن با اعمال دو روش مدولاسیون نیز در [۶] صورت گرفته است. ساختارهای چند سطحی ماژولار متنوعی در مقالات پیشنهاد شده که [۷] و [۸] حاوی دو نمونه از آنها است. این ساختارها با استفاده از چند منبع و با هدف



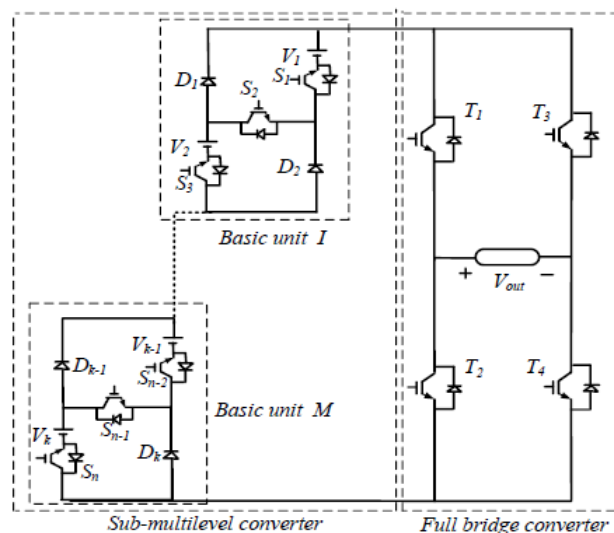
شکل ۳: ساختار پیشنهادی جهت کاهش تعداد کلیدها

پیشنهادی پنج سطحی در مقایسه با ساختار شکل ۱ تعداد کلید برابر داشته ولی در بخش سازندهی سطوح، نیاز به دیود ندارد. اما ساختار شکل ۲ از یک کلید بیشتر نسبت به مبدل پیشنهادی بهره می گیرد.

بر اساس جدول ۱ و مطابق شکل  $\Delta(a)$ ، برای ایجاد سطح صفر در ابتدای نیم سیکل مثبت، دو کلید H1 و H3 از بخش پل روشن می شوند. طبق شکل  $\Delta(b)$  نیز، سطح مثبت اول با اتصال منبع V1 از طریق کلیدهای S1، H1 و H2 در خروجی تولید می گردد. برای سطح مثبت دوم، با توجه به شکل  $\Delta(c)$ ، مجموع ولتاژ هر دو منبع DC توسط کلیدهای S2، H1 و H2 در خروجی ظاهر می شود. سطح مثبت سوم نیز همانند سطح مثبت اول و با همان منبع و کلیدها ساخته می شود. همان طور که در شکل  $\Delta(d)$  نشان داده شده، برای ایجاد خروجی صفر در انتهای نیم سیکل مثبت، کلیدهای H2 و H4 از بخش پل وصل می شوند. در نیم سیکل منفی، کلیدزنی در بخش سازندهی سطوح مطابق نیم سیکل مثبت است اما در بخش پل به جای دو کلید H1 و H3، کلیدهای H2 و H4 به کار گرفته می شوند. در شکل های  $\Delta(e)$  و  $\Delta(f)$  کلیدهای روشن و خاموش به ترتیب برای ایجاد سطوح منفی -V و -2V به نمایش درآمده است.



شکل ۴: مبدل پنج سطحی غیرماژولار متقارن برای کاهش کلیدها



شکل ۱: مبدل چندسطحی ماژولار [۸]

$$m = (n - 1)/2 \quad (5)$$

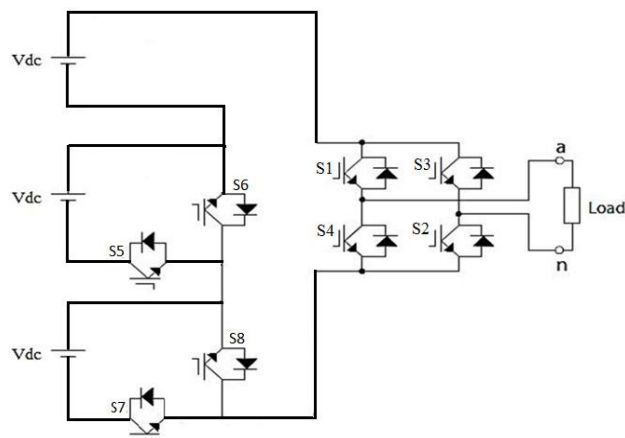
$$S = n + 1 \quad (6)$$

$$S_{on} = (n + 1)/2 \quad (7)$$

$$n = 2m + 1 \quad (m = 2, 3, \dots) \quad (8)$$

این ساختار در میان مقالات گوناگون بررسی شده، دارای کمترین تعداد کلید بوده و با استفاده از هشت کلید قادر به ایجاد ولتاژ خروجی با هفت سطح است.

شکل ۳ ساختار عمومی مبدل پیشنهادی با هدف کاهش تعداد کلیدها را نشان می دهد. این ساختار از دو بخش پل و سازندهی سطوح ولتاژ خروجی تشکیل شده و برای افزایش تعداد سطوح ولتاژ خروجی، به ازای هر دو سطح فقط یک منبع سری شده با یک کلید مورد نیاز است. برای بیان چگونگی عملکرد این مبدل، ساختار پنج سطحی آن در شکل ۴ و نحوه ی کلیدزنی مربوطه در جدول ۱ آورده شده است. این ساختار پیشنهادی با استفاده از شش کلید، ولتاژ خروجی با پنج سطح را ایجاد می نماید. مبدل



شکل ۲: مبدل چندسطحی پیشنهادی [۹]

جدول ۱: جدول کلیدزنی مبدل پنج سطحی پیشنهادی (کاهش کلید)

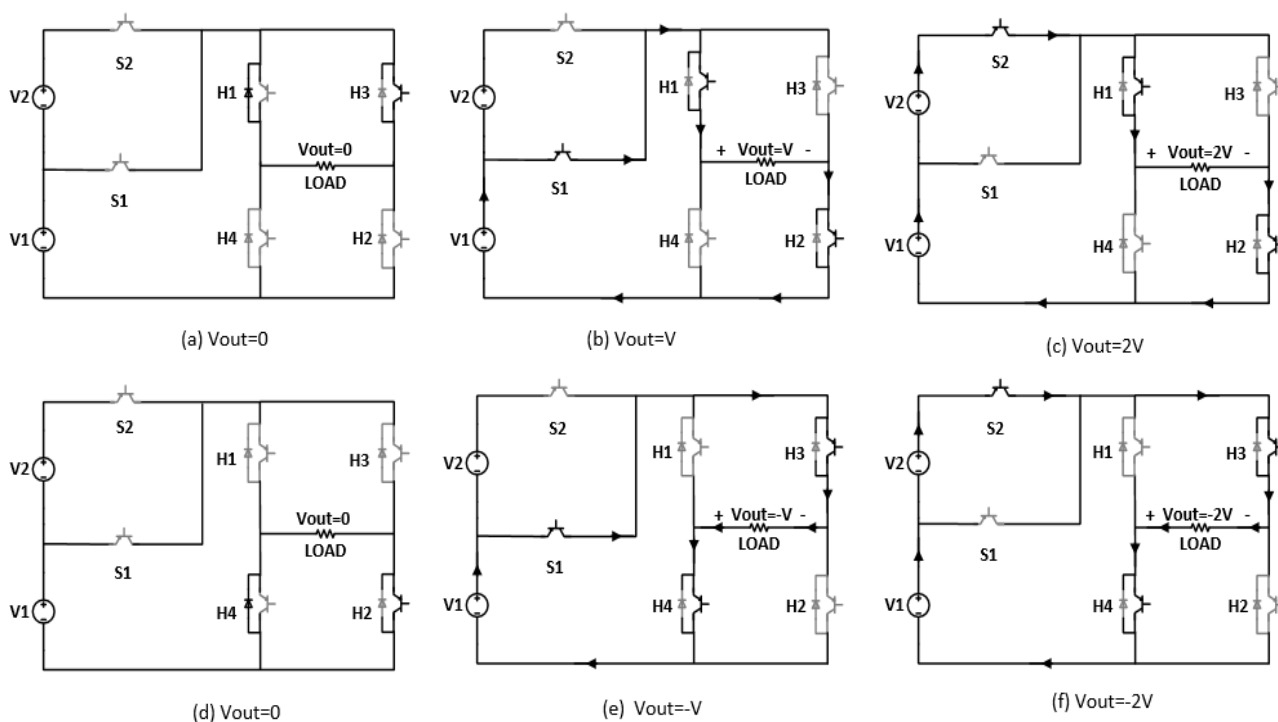
ولتاژ خروجی	$S1$	$S2$	$H1$	$H2$	$H3$	$H4$
0	0	0	1	0	1	0
$V1$	1	0	1	1	0	0
$V1+V2$	0	1	1	1	0	0
$V1$	1	0	1	1	0	0
0	0	0	0	1	0	1
$-V1$	1	0	0	0	1	1
$-(V1+V2)$	0	1	0	0	1	1
$-V1$	1	0	0	0	1	1
0	0	0	1	0	1	0

### ۳- ساختاری برای توزیع همگن به کارگیری منابع

برای حل این مشکل مدل عمومی پیشنهادی در شکل ۶ ارائه شده است. در شکل ۷ چگونگی کلیدزنی در ساختار ۷ سطحی این مدل بر اساس جدول ۲ و مسیر عبور جریان بار در ایجاد سطوح ولتاژ خروجی نشان داده شده است.

مطابق شکل ۷(a) و بر اساس جدول کلیدزنی اصلاح شده، ولتاژ صفر ابتدای نیم سیکل مثبت با وصل کلیدهای  $H1$  و  $H3$  حاصل می گردد. سطح اول ولتاژ در نیم سیکل مثبت طبق شکل ۷(b) با روشن شدن کلیدهای  $S0$ ،  $S1$ ،  $R2$ ،  $H1$  و  $H2$  که منبع  $V1$  را به بار متصل می نمایند، ایجاد شده است. برای تولید سطح دوم ولتاژ خروجی، مجموعه ی سری شده ی دو منبع  $V1$  و  $V2$  توسط کلیدهای  $S0$ ،  $S2$ ،  $R2$ ،  $H1$  و  $H2$  در شکل ۷(c) به بار وصل می گردد. سطح سوم پتانسیل یا ولتاژ بیشینه ی نیم سیکل مثبت همان طور که در شکل ۷(d) نشان داده شده، از اتصال مجموعه ی سری شده ی تمام منابع موجود یعنی  $V1$ ،  $V2$  و  $V3$  با روشن شدن کلیدهای  $S0$ ،  $S3$ ،  $H1$  و  $H2$  به دست آمده و به بار اعمال می شود. پس از این مراحل و برای ساختن سه سطح باقی مانده، در جدول ۲، ترتیبی اتخاذ شده که از منابع به شکل برابر بهره گیری شود. به این منظور برای ساخت سطح چهارم ولتاژ خروجی، دو منبع  $V2$  و  $V3$  که با هم سری شده اند از طریق روشن شدن کلیدهای  $S1$ ،  $S3$ ،  $R1$ ،  $H1$  و  $H2$  پتانسیل خروجی لازم را ساخته و مطابق شکل ۷(e) به بار تحویل می دهند. بر اساس شکل ۷(f) نیز سطح پنجم ولتاژ خروجی نیز با اتصال

در بسیاری از مبدل های چند سطحی از جمله ساختارهای ارائه شده در [۸]، [۹] و شکل ۳ که بیش از یک منبع dc دارند، استفاده از منابع همگن نیست. به عبارت دیگر، برای ایجاد سطوح یک تا  $n$  از منبع  $V1$  استفاده می شود، در صورتی از منبع  $Vm$  فقط یک بار برای تولید بالاترین سطح موج خروجی بهره گرفته می شود. به عنوان مثال در ساختار پنج سطحی شکل ۴ که بر اساس جدول ۱ کلیدزنی می گردد، در سطوح اول، دوم و سوم مربوط به نیم سیکل مثبت، منبع  $V1$  مشارکت داشته و منبع  $V2$  فقط در ایجاد سطح دوم یا همان ولتاژ ماکزیمم دخالت دارد.

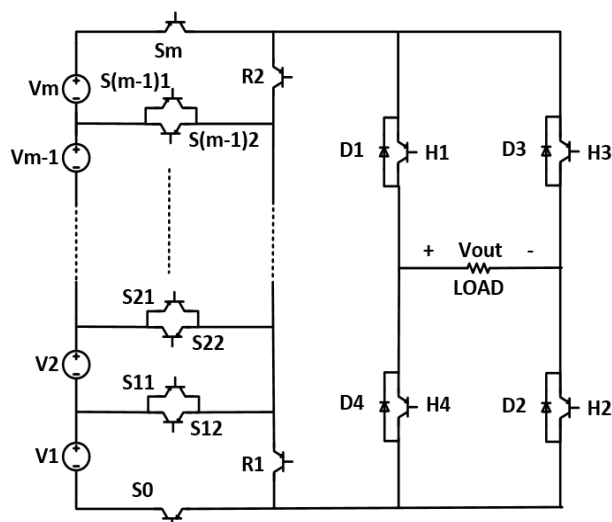


شکل ۵: چگونگی کار کلیدها بر اساس جدول ۱ و مسیر عبور جریان در سطوح مختلف ولتاژ ساختار پیشنهادی برای کاهش کلید

هر یک از سه منبع موجود در ساختار ۷ سطحی پیشنهادی، در ایجاد سه سطح مشارکت نموده است. قابل یادآوری است که در مقالات بررسی شده، نحوه‌ی کلیدزنی به‌صورتی است که منبع  $V1$  در ایجاد پنج سطح، منبع  $V2$  در تولید سه سطح و منبع  $V3$  فقط در ساخت سطح ولتاژ بیشینه مشارکت دارد.

#### ۴- مقایسه‌ی ساختارها

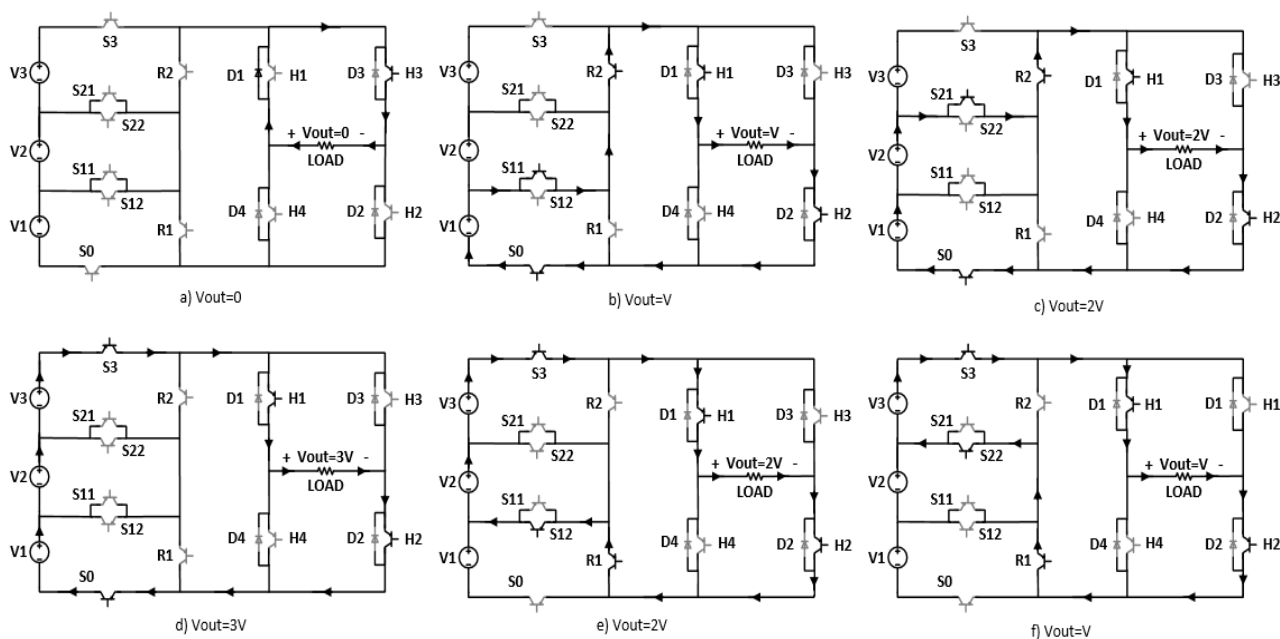
در این بخش، ساختارهای نشان داده شده در شکل ۱ از [۸]، شکل ۲ از [۹]، مبدل آبشاری تمام‌پل و مبدل‌های پیشنهادی با هم مقایسه شده‌اند. در این مقایسه که نتایج آن در جدول ۳ آمده است، تمامی ساختارها از منابعی با مقادیر مشابه و برابر با  $V$  برخوردار بوده و به عبارتی متقارن فرض شده‌اند. همچنین مقادیر عددی با فرض تعداد سطوح ولتاژ خروجی یا  $n$ ، برابر با ۹ نیز محاسبه شده و در جدول آورده شده است. در ردیف مربوط به محدودیت، سطوح ولتاژ قابل ایجاد توسط هر یک از ساختارها از طریق پارامتر  $m$  بیان شده است. مبدل [۸] قابلیت تولید خروجی ۵ سطحی به بالا را داشته ولی در سطوح دیگر فقط امکان تولید سطوح ۹، ۱۳ تا  $4m+1$  را دارد. مبدل [۹] و ساختارهای پیشنهادی برای کاهش کلید و کار همگن منابع نیز قابلیت ایجاد سطوح فرد از ۵ به بالا را دارند. در این جدول تنها ساختار آبشاری تمام-پل توانایی تولید سطوح فرد از ۳ به بالا را دارد. بر اساس این جدول، مبدل پیشنهادی برای کاهش کلید، دارای کمترین تعداد کلید در ساختار خود بوده و در زمان کار



شکل ۶: ساختار  $n$  سطحی مبدل غیرماژولار برای کاربرد همگن منابع  
منبع  $V3$  از طریق روشن شدن کلیدهای  $S2$ ،  $S3$ ،  $R1$ ،  $H1$  و  $H2$  به بار اعمال می‌شود. در آخرین مرحله‌ی نیم‌سیکل مثبت با هدایت کلیدهای  $H2$  و  $H4$  ولتاژ دو سر بار در خروجی برابر صفر می‌گردد.  
مطابق جدول ۲، جهت ایجاد سطوح پتانسیل مربوط به نیم‌سیکل منفی دقیقاً همان روند نیم‌سیکل مثبت در بخش سازنده‌ی سطوح ولتاژ در مبدل تکرار می‌شود، ولی در بخش پل به‌جای استفاده از کلیدهای  $H1$  و  $H2$  باید کلیدهای  $H3$  و  $H4$  به‌کار گرفته شوند.  
با ترتیب کلیدزنی بیان شده در بالا، جهت تولید سطوح پنج‌گانه-ی ولتاژ خروجی یعنی بدون در نظر گرفتن دو سطح ولتاژ صفر،

جدول ۲: جدول اصلاح شده برای کلیدزنی مبدل ۷ سطحی پیشنهادی جهت کاربرد همگن منابع

ولتاژ خروجی	$S0$	$S1$	$S2$	$S3$	$R1$	$R2$	$H1$	$H2$	$H3$	$H4$
0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
$V1$	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0
$V1 + V2$	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0
$V1 + V2 + V3$	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0
$V2 + V3$	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0
$V3$	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
$-V1$	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1
$-(V1 + V2)$	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1
$-(V1 + V2 + V3)$	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1
$-(V2 + V3)$	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1
$-V3$	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1
0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0



شکل ۷: چگونگی کار کلیدها بر اساس جدول ۲ و مسیر عبور جریان بار در سطوح مختلف ولتاژ خروجی ساختار پیشنهادی برای کار همگن منابع

بیشترین استرس ولتاژ در کلیدهای بخش سازندهی سطوح ولتاژ در مبدل‌های [۸] و [۹] مقداری ثابت و برابر با ولتاژ منبع یا  $V$  به دست آمده ولی در مبدل‌های پیشنهادی از رابطه‌ی (۹) که در زیر آمده، قابل محاسبه است.

$$S_{trmax} = (n - 1)/2 \quad (9)$$

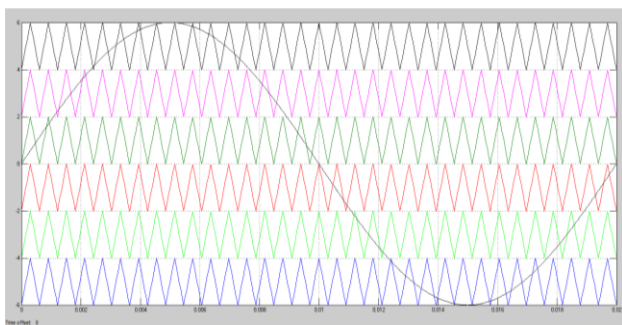
در شکل ۸ مشخصه‌های تعداد کلید لازم بر حسب تعداد سطوح ولتاژ خروجی در مبدل‌های بررسی شده و پیشنهادی نشان داده شده است. با توجه به محدودیت‌هایی که در مبدل‌های ارائه شده در [۸] و [۹] مطابق با جدول ۳ وجود دارد، محور افقی که تعداد

نیز کمترین تعداد کلید روشن را دارد، ولی ویژگی ایجاد گردش کاری متوازن در منابع را ندارد. در میان ساختارهایی که این قابلیت را دارند، مبدل ارائه شده در [۸] که در شکل ۱ آورده شده، دارای کمترین تعداد کلید است، اما علاوه بر داشتن دیود، در زمان کار نیز تعداد کلیدهای روشن بیشتری نسبت به مبدل پیشنهادی برای توزیع همگن استفاده از منابع دارد.

از نظر استرس ولتاژ بیشینه، همه‌ی ساختارها به جز آشاری تمام-پل یکسان هستند. در ساختارهای مورد بررسی بیشترین مقدار استرس ولتاژ در کلیدهای پل ظاهر شده است. همچنین

جدول ۳: مقایسه‌ی ساختاری مبدل‌های چندسطحی مورد بررسی و پیشنهادی

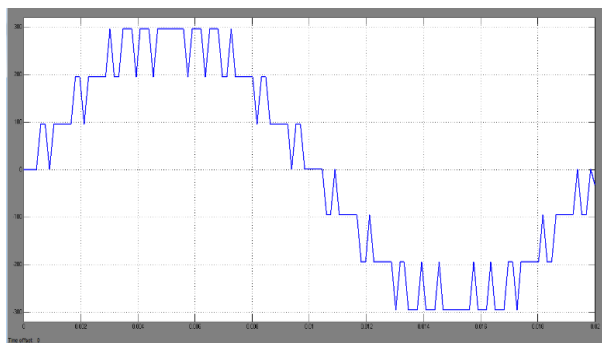
ساختار	مبدل [۸]	مبدل [۹]	آشاری تمام پل	کاهش کلید	کاربرد همگن منابع
تعداد سطوح	$n=9$	$n=9$	$n=9$	$n=9$	$n=9$
تعداد منبع	$(n-1)/2=4$	$(n-1)/2=4$	$(n-1)/2=4$	$(n-1)/2=4$	$(n-1)/2=4$
تعداد کلید	$(3n+13)/4=10$	$n+1=10$	$2n-2=16$	$(n+7)/2=8$	$(n+13)/2=11$
بیشترین کلید روشن	$(3n+5)/4=8$	$(n+1)/2=5$	$n-1=8$	3	5
تعداد دیود	$(n-1)/2=4$	0	0	0	0
استرس ولتاژ بیشینه (بخش پل)	$(n-1)V/2=4V$	$(n-1)V/2=4V$	$2(n-1)V=16V$	$(n-1)V/2=4V$	$(n-1)V/2=4V$
استرس ولتاژ بیشینه (سازندهی سطوح)	$V$	$V$	-----	$(n-3)V/2=3V$	$(n-3)V/2=3V$
محدودیت	$n=4m+1(m=1,2,...)$	$n=2m+1(m=2,3,...)$	$n=2m+1(m=1,2,...)$	$n=2m+1(m=2,3,...)$	$n=2m+1(m=2,3,...)$
گردش متوازن منابع	دارد	ندارد	دارد	ندارد	دارد



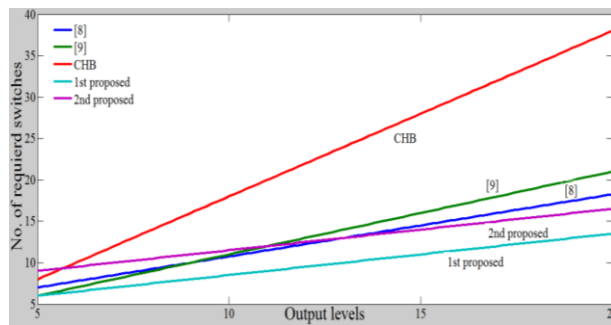
شکل ۹: موج مرجع سینوسی و سیگنال‌های کریر برای مبدل‌های پیشنهادی مرجع به کار گرفته شده در مبدل پیشنهادی برای کاهش کلید که در شکل ۹ به نمایش در آمده، اقدام شده و سایر مقادیر نیز یکسان در نظر گرفته شده است. در شکل ۱۱ ولتاژ خروجی مبدل ۷ سطحی پیشنهادی برای کاربرد همگن منابع نشان داده شده است.

## ۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله دو هدف در نظر گرفته شده است که اولی ارائه‌ی مبدلی با تعداد کلید کمتر و دومی اصلاح چگونگی به کارگیری منابع در مبدل چند سطحی مازولار است. جهت برآورده نمودن هدف کاهش تعداد کلید در مبدل‌های چندسطحی مازولار متقارن، ساختار پیشنهادی شکل ۴ ارائه شده است. بر اساس مقایسه‌ای که در جدول ۳ و با در نظر گرفتن ۹ سطح خروجی صورت پذیرفته، این مبدل علاوه بر داشتن کمترین تعداد کلید در ساختار خود، از کمترین تعداد کلید روشن در زمان کار نیز برخوردار است. در راستای رسیدن به هدف دوم نیز با توجه به این که، ساختار شکل ۴ و ساختارهای مشابه آن که در مقالات پیشنهاد شده است، دارای مشکل استفاده نامتقارن از منابع هستند، ساختار پیشنهادی شکل ۶ ارائه شده و با اصلاح جدول کلیدزنی مربوطه، سعی در رفع این نقیصه گردیده است. بر اساس نمودارهای شکل ۸، ساختار شکل ۶ از تعداد سطوح ۱۳ به بالا، از کمترین تعداد کلید برخوردار بوده و نیز قابلیت به کارگیری همگن منابع dc را داراست. بنابراین می‌توان بیان کرد که هر دو



شکل ۱۱: شکل موج ولتاژ خروجی مبدل پیشنهادی برای کار همگن منابع



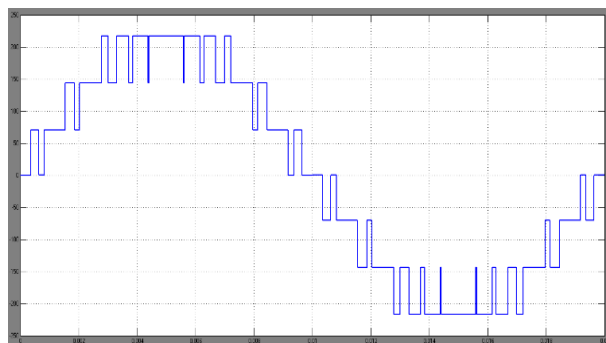
شکل ۸: نمودار تعداد کلید بر حسب تعداد سطوح ولتاژ خروجی سطوح خروجی را بیان می‌کند، از عدد پنج شروع شده است. بر اساس این نمودار مبدل‌های پیشنهادی برای کاهش کلید و کاربرد همگن منابع، از ۱۳ سطح به بالا دارای کمترین تعداد کلید در مقایسه با سایرین هستند.

## ۵- شبیه‌سازی

در شبیه‌سازی این مبدل برای مدولاسیون SPWM از سیگنال‌های کریر و مرجع نشان داده شده در شکل ۹ استفاده شده است. در این جا با توجه به داشتن هفت سطح در خروجی از شش موج کریر بهره گرفته شده که نتیجه‌ی مقایسه‌ی هر کریر با مرجع، برای کلیدزنی سطح ولتاژ خروجی متناظر آن به کار برده شده است. فرکانس مرجع برابر ۵۰Hz و فرکانس کریرها ۳۳ برابر مرجع یعنی ۱۶۵۰Hz در نظر گرفته شده است. اندازه‌ی ولتاژ هر یک از منابع dc برابر ۱۰۰ ولت بوده و بار اهمی خالص در خروجی این مبدل مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین دامنه‌ی هر سیگنال کریر یک ششم دامنه‌ی مرجع لحاظ شده و به عبارت دیگر ضریب مدولاسیون یا  $m_a$  برابر با یک فرض شده است. با اجرای کلیدزنی بر اساس SPWM با چند سیگنال کریر، ولتاژ خروجی نشان داده شده در شکل ۱۰ به دست آمده است.

## ۶- شبیه‌سازی مبدل پیشنهادی کاربرد همگن منابع

برای شبیه‌سازی این مبدل نیز با استفاده از سیگنال‌های کریر و



شکل ۱۰: شکل موج ولتاژ خروجی مبدل پیشنهادی برای کاهش کلید

هدف مقاله در ساختار شکل ۶ برآورده شده است.

## مراجع

- [۱] M. J. Mojibian, "An Optimized Variable-offset Modulation Technique for Three-phase Differential Multilevel Converters," presented at the PEDSTC, Tehran, Iran, 2015.
- [۲] J. Q. Suman Debnath, Behrooz Bahrani, Maryam Saeedifard, and Peter Barbosa, "Operation, Control, and Applications of the Modular Multilevel Converter: A Review," *IEEE Transactions* 2014.
- [۳] M. D. Krishna, "Comparative Study Of Hybrid And Cascaded H-Bridge Multilevel Inverters," *IJRET*, vol. 2, p. 6, 2013.
- [۴] M. J. Anuradha Singh, Suman Singh, "Analysis of THD and Output Voltage for Seven Level Asymmetrical Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter using LSCPWM Technique," *International Journal of Computer Applications*, vol. 112, p. 6, 2015.
- [۵] R. K. P. Kiruthika, "Multi-Carrier based 27-level Hybrid Multi-level Inverter Interface with PhotoVoltaic," *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, vol. 13, p. 9, 2015.
- [۶] A. Khodakarami, "Assessment of Five-Level Cascade Voltage Source Inverter Harmonics Using Two SPWM and SHEM Switching Method," *JNAS*, p. 6, 2013.
- [۷] A. Ajami, "A New Topology Of Multilevel Voltage Source Inverter To Minimize The Number Of Circuit Devices And Maximize The Number Of Output Voltage Levels," *JEET*, vol. 8, p. 9, 2013.
- [۸] R. C. B. Shirmard, D. Nazarpour, "A New Topology For Multilevel Inverter With Reduced Number Of Components," *IJTPE*, vol. 7, p. 6, 2015.
- [۹] C. R. Balamurugan, "Advanced References And Carriers Based Pwm In A Symmetrical Multilevel Inverter," *ELELIJ*, vol. 4, p. 17, 2015.