



بررسی مبدل زمان سه فاز به پنج فاز با استفاده از اتصال ترانسفورماتور مخصوص

علی بهادران*^۱، سید مجید کشاورز^۲

چکیده

اولین سیستم محرک موتور القایی پنج فاز در اواخر دهه ۱۹۷۰ برای کاربردهای درایو سرعت قابل تنظیم پیشنهاد شد. از آن زمان، تلاش های تحقیقاتی قابل توجهی برای شناسایی توسعه سیستم های محرک چند فازی که از نظر تجاری امکان پذیر است. از آنجا که تامین سه فاز از شبکه در دسترس است، نیاز به حذف یک سیستم تبدیل فاز استاتیک ایجاد کنید تا یک منبع چند فازی از منبع سه فاز موجود بدست آورید. بنابراین، این مقاله یک طرح اتصال ترانسفورماتور جدید برای تبدیل منبع تغذیه شبکه سه فاز به یک منبع ولتاژ ثابت و فرکانس ثابت پنج فاز ارائه می کند. اتصال ترانسفورماتور پیشنهادی پنج فاز خروجی می دهد و بنابراین، می تواند در برنامه هایی که نیاز به منبع تغذیه پنج فاز دارند استفاده شود. در حال حاضر، درایو موتور پنج فاز از نظر تجاری قابل دوام است. راه حل سیستم انتقال پنج فاز را می توان بیشتر به عنوان یک راه حل کارآمد برای انتقال قدرت فله مورد بررسی قرار داد. طرح اتصال با استفاده از شبیه سازی و رویکرد تجربی برای اثبات قابلیت اجرا توضیح داده می شود. هندسه ترانسفورماتور ساخته شده در این مقاله توضیح داده شده است.

کلمات کلیدی: پنج فاز، چند فاز، سه فاز، ترانسفورماتور، نسبت دور

۱_ مقدمه

سیستم های چند فازی M (بیش از سه فاز) به دلیل مزایای ذاتی خود در مقایسه با هم تایان سه فاز خود، اخیراً در کانون تحقیقات قرار گرفته اند. کاربرد سیستم های چند فازی در تولید برق [۱]-[۲]، انتقال [۳]-[۴]، و بهره برداری [۵]-[۶] بررسی شده است. تحقیق در مورد سیستم انتقال شش فاز به دلیل افزایش هزینه حق تقدم برای کربورهای انتقال، مسائل زیست محیطی و قوانین سختگیرانه مختلف صدور مجوز آغاز شد. خطوط انتقال شش فاز می توانند با ولتاژ فاز به فاز پایین تر و برج های کوچک تر و فشرده تر در مقایسه با یک خط سه فاز دو مداره استاندارد، ظرفیت توان یکسانی را فراهم کنند. هندسه برج های فشرده شش فاز نیز ممکن است به کاهش میدان های مغناطیسی کمک کند [۷]. تحقیقات روی ژنراتورهای چند فاز اخیراً آغاز شده است و تنها چند منبع در دسترس است [۸]-[۹]. کار حاضر در مورد تولید چند فازی، پیکربندی ژنراتور القایی شش فاز نامتقارن (دو مجموعه سیم پیچ استاتور با جابجایی ۳۰ فاز) را به عنوان راه حل برای استفاده در تولید انرژی های تجدیدپذیر بررسی کرده است.

^۱ نویسنده مسئول: کارشناسی، رشته مهندسی برق قدرت، دانشگاه فنی و حرفه ای پسران یاسوج، ایران، alibahadoran1011379@gmail.com

^۲ دپارتمان مهندسی برق و کامپیوتر، دانشکده پسران یاسوج، دانشگاه فنی و حرفه ای استان کهگیلویه و بویراحمد، ایران. Skeshavarz.tvu@ac.i

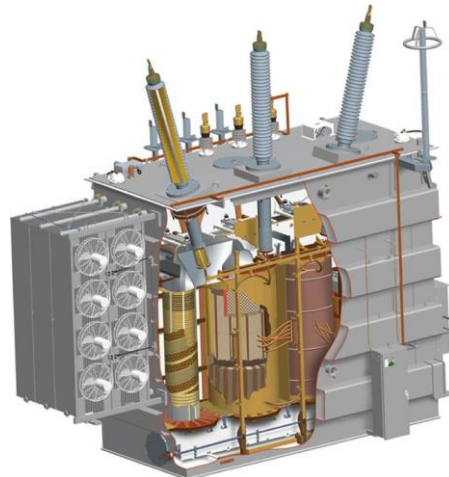
تا آنجا که به موتورهای چند فاز مربوط می شود، اولین پیشنهاد توسط وارد و هارر در سال ۱۹۶۹ ارائه شد [۱] و از آن زمان، این تحقیق تا پایان قرن گذشته کند و پیوسته بود. تحقیقات بر روی سیستم های محرک چند فازی در آغاز قرن حاضر به دلیل در دسترس بودن دستگاه های نیمه هادی ارزان قیمت و پردازنده های سیگنال دیجیتال شتاب بیشتری به دست آورده است. بررسی های دقیق در مورد وضعیت هنر در تحقیقات درایو چند فازی در [۱۰]-[۱۱] موجود است. در اینجا باید تاکید کرد که موتورهای چند فاز همیشه توسط مبدل های ac/dc/ac تامین می شوند. بنابراین، تمرکز تحقیق روی درایو الکتریکی چند فازی به مدل سازی و کنترل سیستم های تامین (یعنی اینورترها [۱۲]-[۱۳]) محدود می شود. تلاش کمی برای توسعه هر سیستم تبدیل استاتیکی برای تغییر شماره فاز از سه به پنج (که در آن ۳ و فرد است) انجام شده است. سناریو اکنون با این مقاله تغییر کرده است و یک سیستم تبدیل فاز جدید را پیشنهاد می کند که یک منبع سه فاز موجود را به یک منبع تغذیه پنج فاز خروجی تبدیل می کند.

۲- بررسی انواع ترانسفورماتور

ترانسفورماتور ماشینی است که انرژی الکتریکی را از یک سطحی به سطح دیگر تبدیل می کند. ترانسفورماتور به منظور کاهش و یا افزایش ولتاژ و یا جریان بکار می رود بنابراین می توان گفت ترانسفورماتور ماشینی است که باعث افزایش و یا کاهش جریان و یا ولتاژ شده و توان و فرکانس را تغییر نمی دهد. عملکرد ترانسفورماتور به گونه ای است که در اثر القای مغناطیسی بین سیم پیچ ها انرژی الکتریکی از مدار سیم پیچ اولیه به ثانویه انتقال می یابد؛ به طوری که نوع انرژی و مقدار آن دچار تغییر نمی شود، اما ولتاژ و جریان تغییر می کند [۱۴]. بنابراین با صرف نظر از تلفات ترانس روابط زیر را داریم:

$$\frac{V_2}{N_2} = \frac{V_1}{N_1} \quad I_2 = I_1 \frac{N_1}{N_2} \quad V_2 I_2 = V_1 I_1 \quad V_2 = P_1 P$$

اصول کار ترانس بر اساس القای متقابل سیم پیچ هاست.



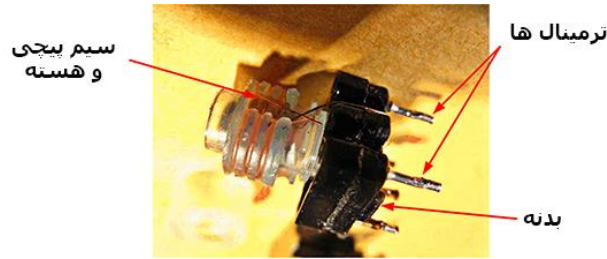
شکل ۱: شکل ترانسفورماتور

۲-۲ اجزای تشکیل دهنده یک ترانس

بنابراین با کاهش جریان می توان تلفات را به شدت کاهش داد. با افزایش ولتاژ در خطوط انتقال به همان نسبت جریان خطوط کاهش می یابد و به این ترتیب هزینه های انتقال انرژی نیز کاهش می یابد، البته با نزدیک شدن خطوط انتقال به مراکز مصرف برای بالا بردن ایمنی ولتاژ خطوط در چند مرحله و باز به وسیله ترانسفورماتورها کاهش می یابد تا به میزان استاندارد مصرف برسد. به این ترتیب بدون استفاده از ترانسفورماتورها امکان استفاده از منابع دور دست انرژی فراهم نمی آمد [۱۵].

ترانسفورماتورها یکی از پربازده ترین تجهیزات الکتریکی هستند به طوری که در برخی ترانسفورماتورهای بزرگ راندمان به ۹۹٫۷۵٪ نیز می رسد. امروزه از ترانسفورماتورها در اندازه ها و توان های مختلفی استفاده می شود. از یک ترانسفورماتور بند انگشتی که در یک

میکروفن قرار دارد تا ترانسفورماتورهای غول پیکر چند گیگا ولت- آمپری، همه این ترانسفورماتورها اصول کار یکسانی دارند اما در طراحی و ساخت متفاوت هستند [۱۶].



شکل ۲: اجزای ترانسفورماتور

۲-۳_ معادله عمومی EMF برای ترانسفورماتورها

اگر شار مغناطیسی را سینوسی در نظر بگیریم رابطه بین ولتاژ E ، فرکانس منبع f ، تعداد دور N ، سطح مقطع هسته A و ماکزیمم چگالی مغناطیسی B از رابطه عمومی EMF و به صورت زیر به دست می آید:

$$E = \frac{2\pi f N a B}{\sqrt{2}} = 4.44 f N a B$$

۲-۴_ مدار معادل یک ترانسفورماتور واقعی

در فرکانس ثابت این تلفات با مجذور شار هسته نسبت مستقیم دارند و از آنجایی که شار هسته نیز تقریباً با ولتاژ ورودی نسبت مستقیم دارد این تلفات را می توان به صورت مقاومتی موازی با مدار ترانسفورماتور نشان داد. این مقاومت همان RC است. [۱۷]

هسته ای با نفوذپذیری محدود نیازمند جریان I_M خواهد بود تا همچنان شار مغناطیسی را در هسته برقرار کند. بنابراین تغییرات در جریان مغناطیس کننده با تغییرات در شار مغناطیسی هم فاز خواهد بود و به دلیل اشباع پذیر بودن هسته، رابطه بین این دو خطی نخواهد بود. با این حال برای ساده کردن این تاثیرات در بیشتر مدارهای معادل این رابطه خطی در نظر گرفته می شود. [۱۸]

در منابع سینوسی شار مغناطیسی 90° درجه از ولتاژ القایی عقب تر خواهد بود، بنابراین این اثر را می توان با القاگر X_M در مدار نشان داد که به طور موازی با تلفات آهنی هسته RC و X_M را در برخی موارد با هم به صورت یک شاخه در نظر می گیرند و آن را شاخه مغناطیس کننده می نامند. [۱۹]

اگر سیم پیچ ثانویه ترانسفورماتور را مدار باز کنیم تمامی جریان عبوری از اولیه ترانسفورماتور جریان I خواهد بود که از شاخه مغناطیس کننده عبور خواهد کرد این جریان را جریان بی باری نیز می نامند. [۲۰]

مقاومت های موجود در طرف ثانویه یعنی R_S و X_S نیز باید به طرف اولیه منتقل شوند. این مقاومت ها در واقع معادل تلفات مسی و پراکندگی در طرف ثانویه هستند و به صورت سری با سیم پیچ ثانویه قرار می گیرند. مدار معادل حاصل را مدار معادل دقیق می نامند. اگر چه در این مدار معادل نیز از برخی ملاحظات پیچیده مانند ساخت انواع مختلف ترانسفورماتورها، به منظور رفع اهداف استفاده از آنها، در کاربردهای متفاوت می باشد. [۲۱]

۳_ انواع ترانسفورماتور

۳-۱_ انواع ترانسفورماتور از نظر نوع سیم پیچی

نوع اول: سیم پیچی روی یک هسته، اما سیم پیچ اولیه و ثانویه جداگانه در دو طرف هسته باشند.

نوع دوم: سیم پیچی ها روی یک هسته، اما سیم پیچ اولیه و ثانویه با هم و یک سیم پیچ هستند. (اتو ترانس)

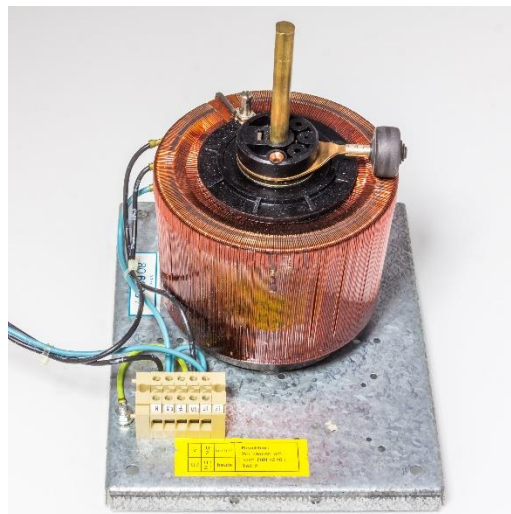
دو ترانسفورماتور ویژه و یا اتصال ترانسفورماتوری وجود دارد که غالباً برای استفاده در موتورهای مورد استفاده قرار می گیرد. عبارتند از:

(۱) اتوترانسفورماتور

(۲) اتصال اسکات یا T



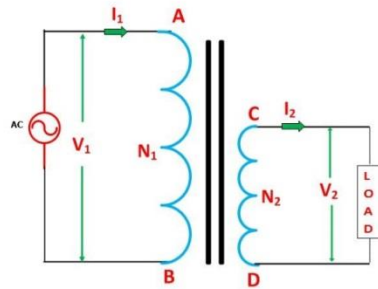
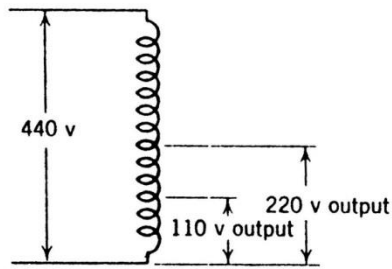
نمونه ای از اتوترانسفورماتور سه فاز



شکل ۳: نمونه ای از اتوترانسفورماتور سه فاز

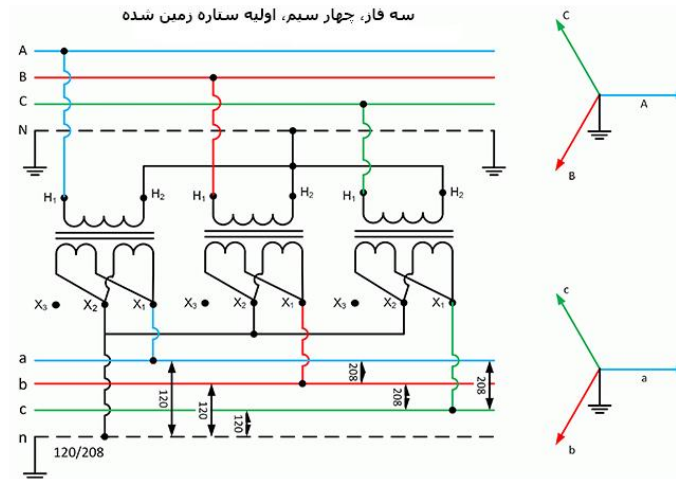
اتوترانسفورماتور

معمولاً به منظور تبدیل ولتاژ با نسبت کم و راه اندازی موتورهای القایی و هم چنین برای قدرت های بالا در سطح ولتاژ انتقال و ... مورد استفاده قرار می گیرد. ترانسفورماتورهای زمین به منظور ایجاد نقطه صفر و زمین کردن نقطه صفر استفاده می شود. [۲۲]
در اتو ترانسفورماتور از یک سیم پیچ به عنوان اولیه و ثانویه استفاده می شود. اتو ترانسفورماتور می تواند از نوع افزایشنده و یا کاهشنده باشد. از اتوترانسفورماتور عموماً برای کنترل سرعت نوع ویژه ای از موتورهای استفاده می شود. [۲۳]



مدار معادل اتوترانس

شماتیک سیم پیچی اتوترانسفورماتور، دو سیم پیچی
دیاگرام سیم بندی اتوترانسفورماتور سه فاز با ۴ سیم



شکل ۴: الف) شماتیک سیم پیچی اتوترانسفورماتور، دو سیم پیچی ب) دیاگرام سیم بندی اتوترانسفورماتور سه فاز با ۴ سیم

۲_۳ انواع ترانسفورماتور از نظر کاربرد

ترانس قدرت

از ترانس قدرت برای تبدیل سطح ولتاژ در نیروگاه ها و پست های فشار قوی استفاده می شود. برای مثال: کوره های ذوب آلومینیوم



ترانس توزیع داخلی

ترانس توزیع داخلی برای ایجاد نول جهت تشخیص خطای اتصال زمین و نامتعادلی مصرف بار فازها ترانس های توزیع در پست های زمینی و هوایی به منظور توزیع انرژی در سطح شهر و کارخانه ها استفاده می شود. [۲۴]

ترانس جریان CT

از ترانس جریان CT برای اندازه گیری جریان و حفاظت از مدار در برابر اضافه جریان یا اتصال کوتاه استفاده می گردد. [۲۵]

ترانس ولتاژ PT

اندازه گیری ولتاژ و حفاظت ولتاژ با ترانس ولتاژ PT انجام می شود. [۲۶]

ترانس ولتاژ CVT

ترانس ولتاژ CVT برای اندازه گیری و حفاظت ولتاژ استفاده می شود و براساس تقسیم ولتاژ خازنی کار می کند. از این نوع ترانس به منظور تبادل سیگنال های مخابراتی در خطوط فشار قوی استفاده می شود. [۲۶]



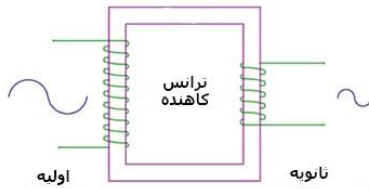
ترانسفورماتور توزیع



ترانسفورماتور اندازه گیری

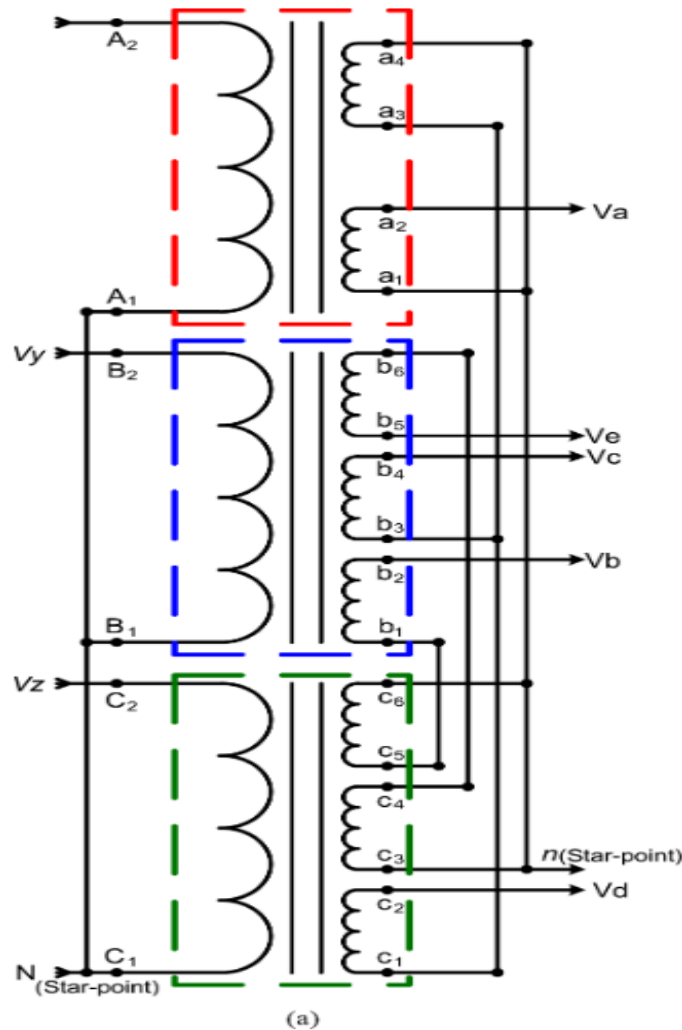


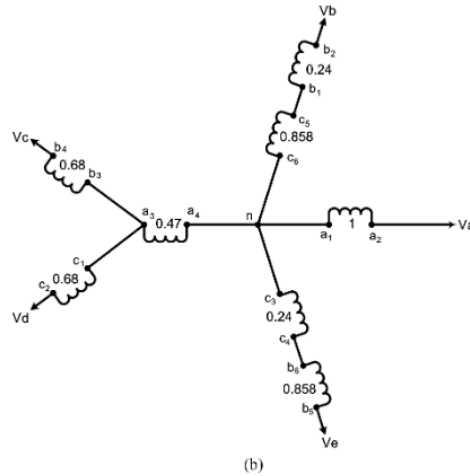
ترانسفورماتور قدرت



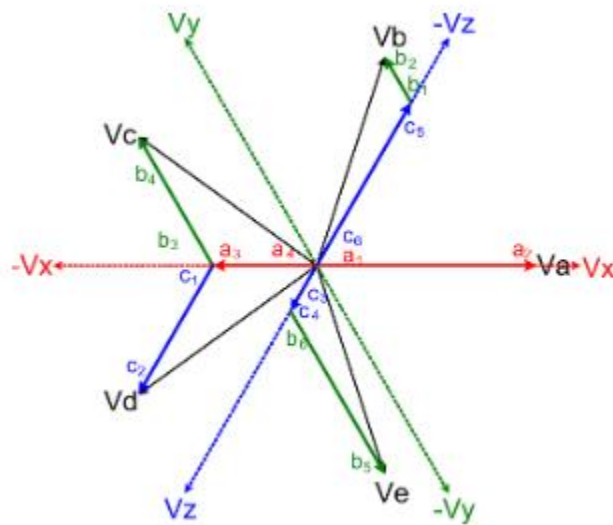
شکل ۵: انواع ترانسفورماتور

مشخص شده است که سیستم چند فازی، به ویژه یک سیستم ۶ فاز و ۱۲ فاز، ریبیل کمتری با فرکانس ریبیل بیشتر در یک سیستم یکسو کننده ac-dc ایجاد می کند. بنابراین، ترانسفورماتورهای ۶ و ۱۲ فاز برای تغذیه یک سیستم یکسو کننده چند پالس طراحی شده اند و این فناوری به بلوغ رسیده است. اخیراً یک سیستم ترانسفورماتور ۲۴ فاز و ۳۶ فاز برای تأمین سیستم یکسو کننده چند پالس [۳۴]-[۳۷] پیشنهاد شده است. دلیل انتخاب سیستم ۶، ۱۲ یا ۲۴ فازی این است که این اعداد مضرب سه هستند و طراحی این نوع سیستم ساده و سراسر است. با این حال، افزایش تعداد فازها قطعاً پیچیدگی سیستم را افزایش می دهد. تا جایی که نویسندگان می دانند هیچ یک از این طرح ها برای تعداد فازهای فرد مانند ۵، ۷، ۱۱ و غیره موجود نیست. [۲۷]





شکل ۶: (الف) ترتیبات سیم پیچ پیشنهادی ترانسفورماتور (ستاره-ستاره). (ب) اتصال سیم پیچ ترانسفورماتور پیشنهادی (ستاره).



شکل ۷. نمودار فازور اتصال ترانسفورماتور پیشنهادی (ستاره-ستاره).

روش معمول آزمایش موتور طراحی شده برای یک عدد است شرایط کار با منبع سینوسی خالص برای اطمینان از عملکرد مطلوب موتور [۲۸]. به طور معمول، آزمایش بدون بار، روتور مسدود شده و آزمایش های بار بر روی یک موتور برای تعیین پارامترهای آن انجام می شود. [۲۹] اگرچه منبع مورد استفاده برای درایو موتور چند فاز می تواند از یک اینورتر چند فاز می آید می تواند موج جریان بیشتری داشته باشد، روش های کنترلی برای کاهش اعوجاج جریان حتی کمتر از ۱٪ بر اساس کاربرد و نیاز وجود دارد. بنابراین، پارامترهای ماشین به دست آمده با استفاده از منبع مدوله شده با پهنای پالس (PWM) ممکن است مقدار واقعی دقیق را ارائه نکنند. [۳۰] بنابراین، یک سیستم تامین سینوسی خالص موجود از شبکه برق برای تغذیه موتور مورد نیاز است. این مقاله یک طرح اتصال ویژه ترانسفورماتور را برای به دست آوردن یک منبع تغذیه پنج فاز متعادل با ورودی به عنوان سه فاز متعادل پیشنهاد می کند. بلوک دیاگرام سیستم پیشنهادی در شکل

۱ نشان داده شده است. [۳۱] منبع تغذیه شبکه ولتاژ ثابت و فرکانس ثابت را می توان به منبع تغذیه خروجی پنج فاز ولتاژ ثابت و فرکانس ثابت تبدیل کرد. با این حال، خروجی ممکن است با قرار دادن اتوترانسفورماتور در سمت ورودی متغیر باشد. [۳۲]

تامین ورودی و خروجی را می توان به صورت زیر تنظیم کرد:

(۱) ستاره ورودی، ستاره خروجی.

(۲) ستاره ورودی، چند ضلعی خروجی.

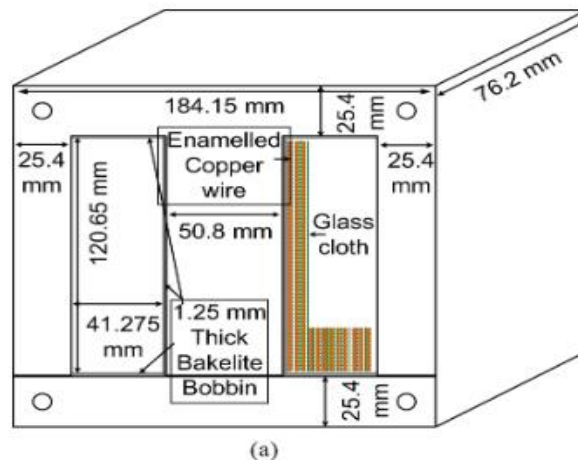
(۳) دلتا ورودی، ستاره خروجی.

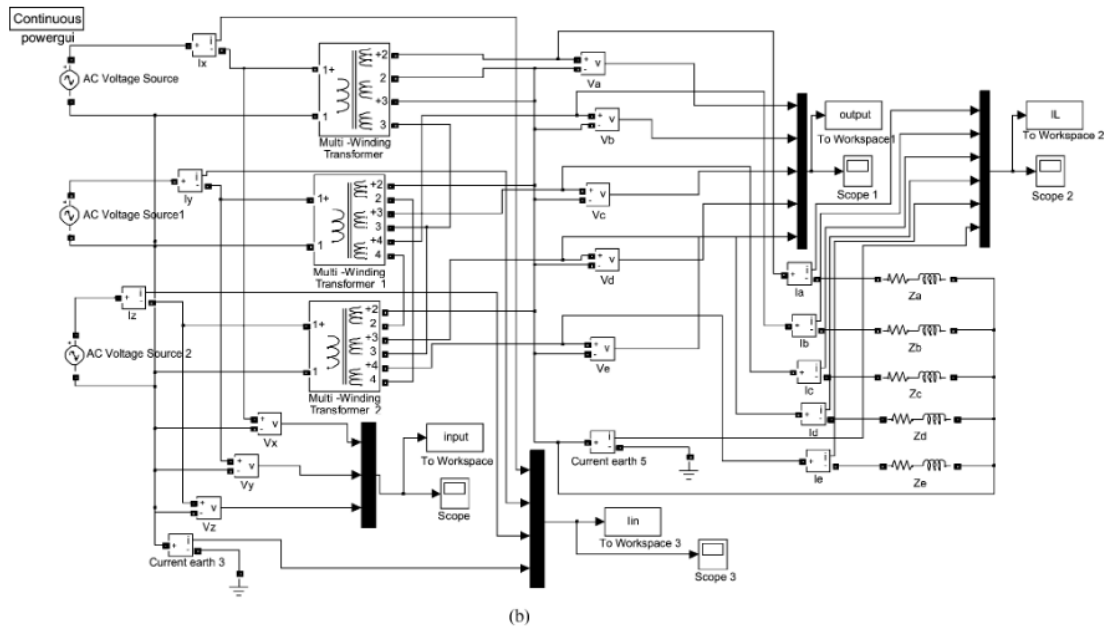
(۴) دلتای ورودی، چند ضلعی خروجی.

از آنجایی که ورودی یک سیستم سه فاز است، سیم پیچ ها متصل می شوند به روش معمول اتصال جانبی خروجی/ثانویه در بخش های فرعی زیر مورد بحث قرار گرفته است.

۴- سیم پیچی چیدمان برای خروجی ۵- P HASE STAR

سه هسته مجزا طراحی شده است که هر یک دارای یک سیم پیچ اولیه و سه سیم پیچ ثانویه است، به جز در یک هسته که فقط از دو سیم پیچ ثانویه استفاده می شود. شش پایانه اصلی به روشی مناسب به هم متصل شده اند که منجر به اتصالات ستاره و/یا مثلث می شود و ۱۶ پایانه ثانویه به شیوه ای متفاوت به هم متصل می شوند که منجر به خروجی ستاره یا چندضلعی می شود. [۳۴]. طرح اتصال سیم پیچ های ثانویه برای به دست آوردن خروجی ستاره در شکل ۸ و نمودار فازور مربوطه در شکل ۸ نشان داده شده است. ساخت فازهای خروجی با زوایای فاز مورد نیاز ۷۲ بین هر فاز با استفاده از استفاده به دست آمده است. [۳۵]





شکل ۸. (الف) هندسه ترانسفورماتور. (ب) مدل Matlab/Simulink تبدیل سه به پنج فاز.

نسبت چرخش مناسب، و معادلات فاز حاکم در (۱) - (۱۰) نشان داده شده است. نسبت چرخش در هر فاز متفاوت است. انتخاب نسبت دور کلید در ایجاد جابجایی فاز مورد نیاز در فازهای خروجی است. [۳۶]

فازهای ورودی با حروف "Y" "X" و "Z" و خروجی با حروف "D" "C" "B" "A" و "E" مشخص می شوند. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، فاز خروجی "A" در امتداد فاز ورودی "X" است. [۳۷] فاز خروجی "B" از مجموع فازور ولتاژ سیم پیچ " " و " " حاصل می شود، فاز خروجی "C" از مجموع فازور ولتاژهای سیم پیچ " " و " " به دست می آید. فاز خروجی "D" با افزودن فازور ولتاژهای سیم پیچ " " و " " به دست می آید و به طور مشابه فاز خروجی "E" از مجموع فازور ولتاژهای سیم پیچ " " و " " حاصل می شود. به این ترتیب پنج فاز به دست می آید. تبدیل از سه به پنج و بالعکس با استفاده از رابطه داده شده در (۱) - (۱۰) بیشتر به دست می آید. [۳۸]

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ V_d \\ V_e \end{bmatrix} = \frac{1}{\sin\left(\frac{\pi}{3}\right)} \times \begin{bmatrix} \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) & 0 & 0 \\ 0 & \sin\left(\frac{\pi}{15}\right) & -\sin\left(\frac{4\pi}{15}\right) \\ -\sin\left(\frac{2\pi}{15}\right) & \sin\left(\frac{\pi}{5}\right) & 0 \\ -\sin\left(\frac{2\pi}{15}\right) & 0 & \sin\left(\frac{\pi}{5}\right) \\ 0 & -\sin\left(\frac{4\pi}{15}\right) & \sin\left(\frac{\pi}{15}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$V_a = V_{\max} \sin(\omega t) \quad (2)$$

TABLE I
DESIGN OF THE PROPOSED TRANSFORMER

Primary	Secondary	Turn Ratio (N_p/N_s)	SWG
Phase-X	a_1a_2	1	17
	a_4a_3	0.47	15
Phase-Y	b_1b_2	0.68	17
	b_4b_3	0.858	17
	b_5b_6	0.24	17
Phase-Z	c_1c_2	0.68	17
	c_4c_3	0.858	17
	c_5c_6	0.24	17

$$V_b = V_{\max} \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{5}\right)$$

$$V_c = V_{\max} \sin\left(\omega t + \frac{4\pi}{5}\right)$$

$$V_d = V_{\max} \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{5}\right)$$

$$V_e = V_{\max} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{5}\right)$$

$$V_x = V_{\max} \sin(\omega t)$$

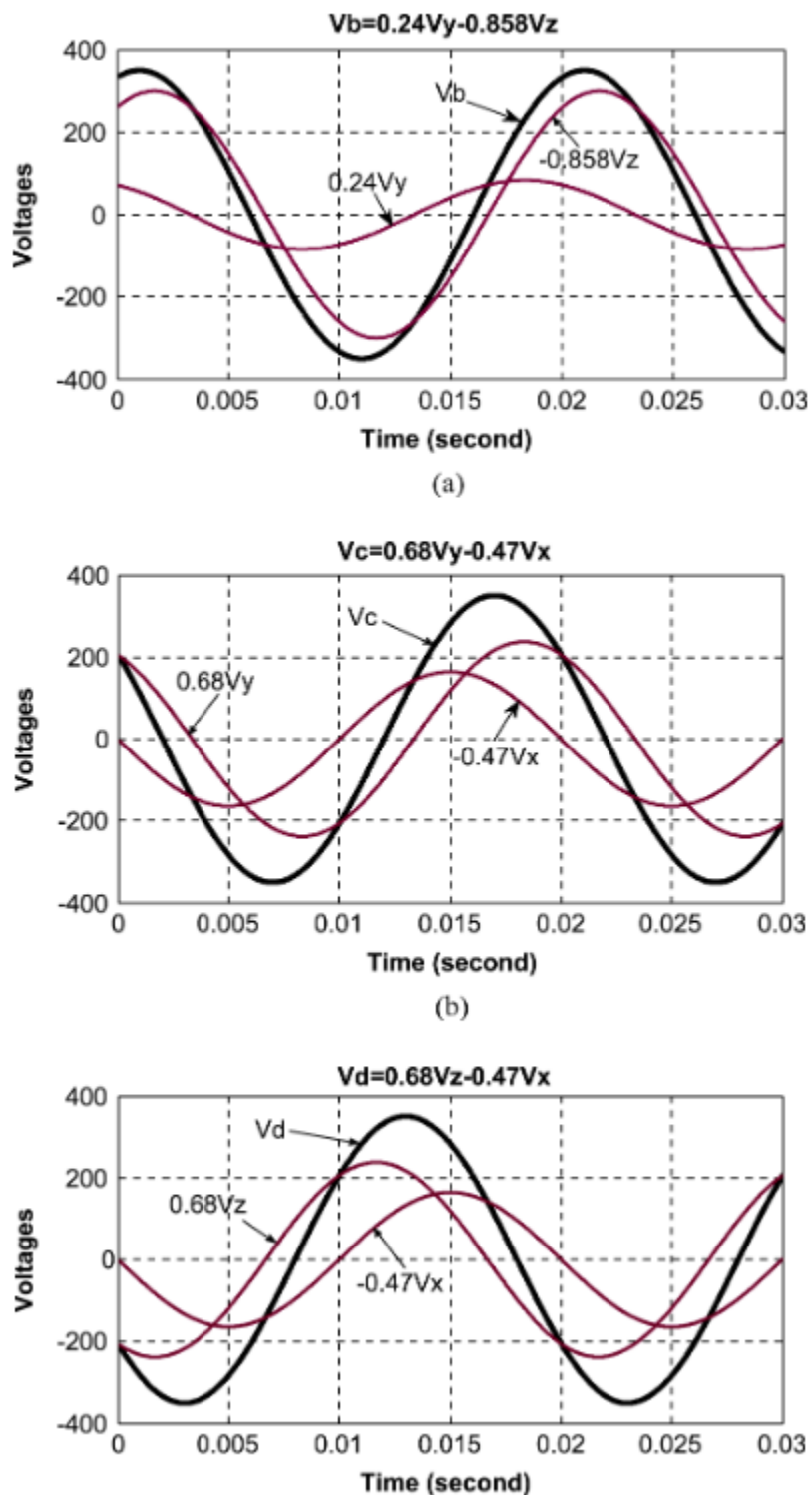
$$V_y = V_{\max} \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$V_z = V_{\max} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} = \frac{1}{\sin\left(\frac{2\pi}{5}\right)} * \begin{bmatrix} \sin\left(\frac{2\pi}{5}\right) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sin\left(\frac{2\pi}{15}\right) & \sin\left(\frac{4\pi}{15}\right) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin\left(\frac{4\pi}{15}\right) & \sin\left(\frac{2\pi}{15}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ V_d \\ V_e \end{bmatrix} \quad (10)$$

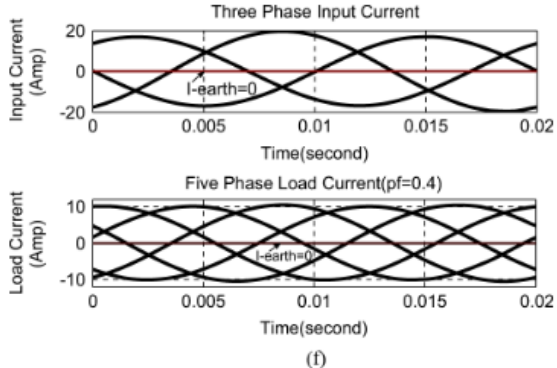
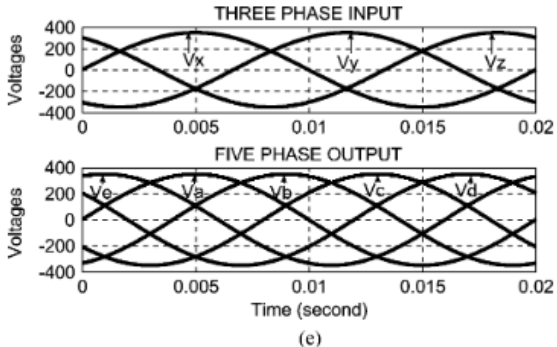
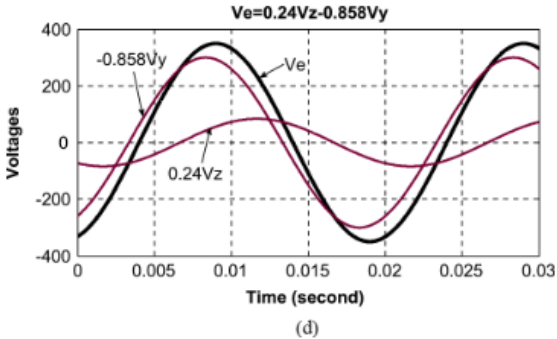
۵_ نتایج شبیه سازی

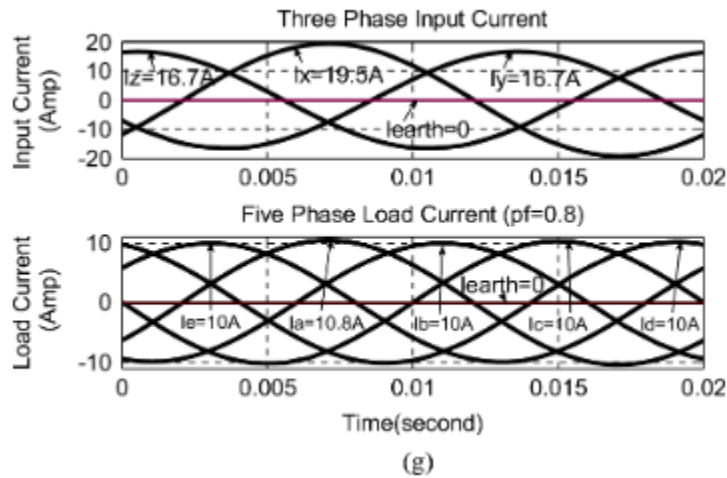
ترانسفورماتور طراحی شده ابتدا با استفاده از مجموعه بلوک های «sim- powersystem» نرم افزار Matlab/Simulink شبیه سازی می شود. بلوک های ترانسفورماتور داخلی برای شبیه سازی طراحی مفهومی استفاده می شوند. نسبت چرخش مناسب در کادر محاوره ای تنظیم شده و شبیه سازی اجرا می شود. نسبت چرخش در جدول ۱ نشان داده شده است. گنج سیم استاندارد (SWG) در جدول ۱ نشان داده شده است. شرح مختصری از طراحی برای نسبت دور، گنج سیم، و هندسه ترانسفورماتورها [شکل. ۸ (a)] در پیوست نشان داده شده است. مدل شبیه سازی در شکل ۸ (b) نشان داده شده است و شکل موج های ولتاژ ورودی و خروجی حاصل در شکل ۸ نشان داده شده است. به وضوح مشاهده می شود که خروجی یک منبع تغذیه پنج فاز متعادل برای ورودی سه فاز متعادل است. فازهای خروجی جداگانه نیز همراه با ولتاژ ورودی مربوطه نشان داده شده است.



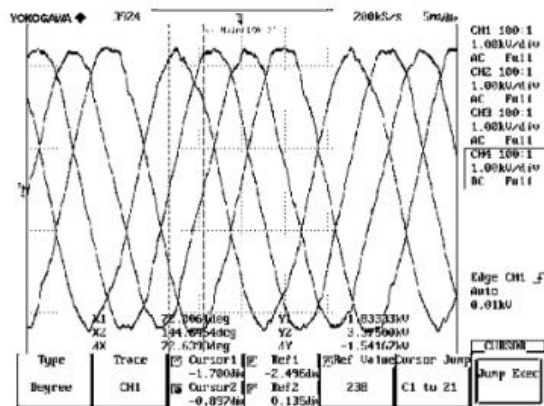
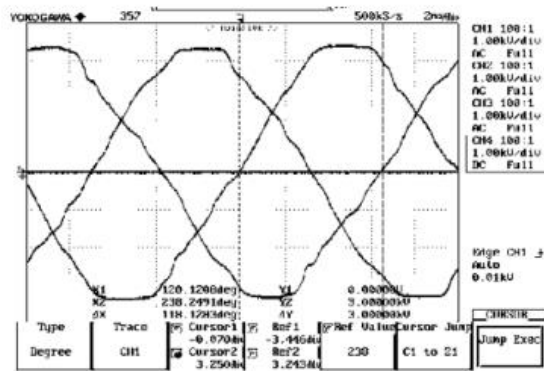
شکل ۹: (الف) فازهای Vy و Vz ورودی و شکل‌های موج ولتاژ فاز خروجی Vb . (ب) فازهای Vy و Vx ورودی و شکل موج ولتاژ فاز Vc خروجی. (ج) فازهای Vz و Vx ورودی و شکل موج ولتاژ فاز خروجی Vd

فاز Va نشان داده نمی شود زیرا (یعنی ورودی و خروجی فازها یکسان است). هنگامی که خنثی های دو طرف زمین شده بودند، جریان زمین جریان نداشت. جریان ورودی و خروجی با شکل موج جریان زمین نیز در شکل ۹ نشان داده شده است. از این نظر می توان گفت که ترانسفورماتور متصل به خط ورودی X، ۱۶.۷۷٪ (۱۶.۷/۱۹.۵) جریان بیشتری نسبت به دو ترانسفورماتور دیگر دارد. ترانسفورماتور (یا دو فاز). با توجه به این کارایی، مجموعه ترانسفورماتور کلی کمی کمتر از ترانسفورماتور سه فاز معمولی است.





شکل ۱۰: (d)-(g). (د) فازهای V_z و V_y ورودی و شکل‌های موج ولتاژ فاز خروجی V_e . (ه) شکل موج ولتاژ سه فاز و خروجی پنج فاز. (ف) ورودی سه فاز و خروجی پنج فاز شکل موج جریان بار

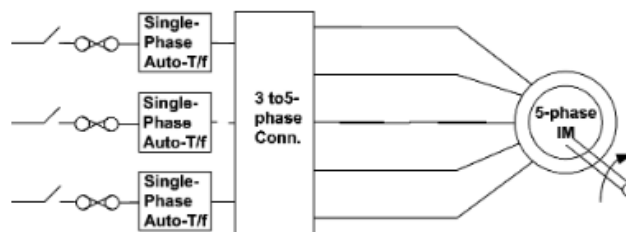


شکل ۱۱. (الف) شکل موج ولتاژ سه فاز ورودی ترانسفورماتور اولیه طراحی شده. (ب) شکل موج ولتاژ خروجی پنج فاز ثانویه ترانسفورماتور طراحی شده.

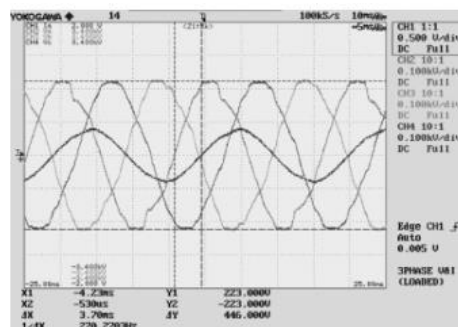
۶- نتایج تجربی

این بخش تنظیمات آزمایشی و نتایج بدست آمده با استفاده از سیستم تبدیل سه تا پنج فاز طراحی شده را تشریح می کند. سیستم تبدیل طراحی شده دارای نسبت ورودی:خروجی ۱:۱ است، بنابراین ولتاژ خروجی برابر با ولتاژ ورودی است. با این وجود، این نسبت را می توان برای مطابقت با نیازهای مرحله به مرحله یا مرحله به پایین تغییر داد. این را می توان با ضرب کردن ضریب بهره در نسبت های چرخشی به دست آورد.

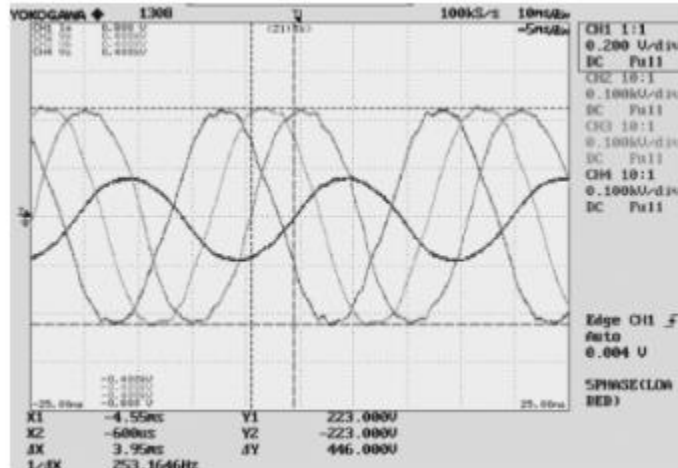
در طرح حاضر برای اهداف آزمایشی، از سه اتوترانسفورماتور تک فاز برای تامین فازهای ورودی اتصالات ترانسفورماتور استفاده شده است. ولتاژهای خروجی را می توان به سادگی با تغییر شیرهای اتوترانسفورماتور تنظیم کرد. برای خروجی متعادل، ورودی باید دارای ولتاژ متعادل باشد. هرگونه عدم تعادل در ورودی مستقیماً در فازهای خروجی منعکس می شود. شکل موج ولتاژ ورودی و خروجی تحت شرایط حالت پایدار بدون بار ثبت شده و در شکل ۱۲ نشان داده شده است. شکل موج ولتاژ ورودی و خروجی به وضوح اجرای موفقیت آمیز ترانسفورماتور طراحی شده را نشان می دهد. از آنجایی که کیفیت برق ورودی ضعیف است، همین امر در خروجی نیز منعکس می شود. رد خروجی ولتاژهای خروجی بدون بار را نشان می دهد. تنها چهار اثر به دلیل توانایی محدود اسیلوسکوپ نشان داده شده است. آزمایشات بیشتر در شرایط بار روی سیستم تبدیل طراحی شده با تغذیه یک موتور القایی پنج فاز انجام می شود. راه اندازی آزمایشی در شکل ۱۳ نشان داده شده است. راه اندازی مستقیم آنلاین برای یک موتور القایی پنج فاز انجام می شود که با استفاده از یک سیستم بار جریان گردابی بارگذاری می شود.



شکل ۱۲. نمودار مدار برای راه اندازی مستقیم آنلاین موتور پنج فاز.



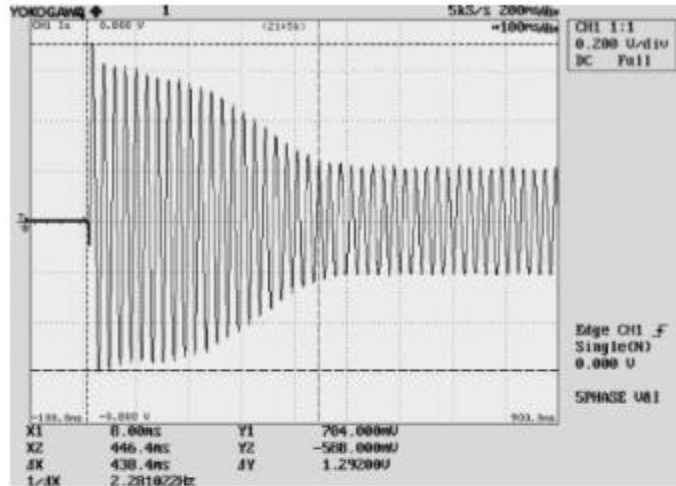
شکل ۱۳. ولتاژهای سمت ورودی (سه فاز) و شکل موج جریان.



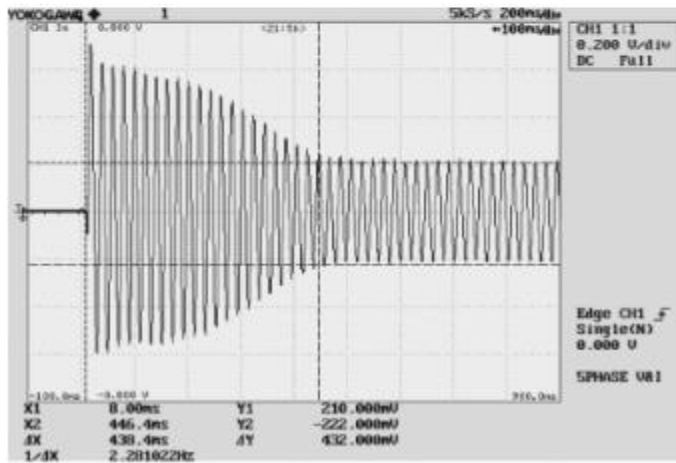
شکل ۱۴. ولتاژهای سمت خروجی (پنج فاز) و شکل موج جریان.

راه اندازی مستقیم آنالین برای یک موتور القایی پنج فاز انجام می شود که با استفاده از یک سیستم بار جریان گردابی بارگذاری می شود. جریان $0.5DC$ A به عنوان بار جریان گردابی بر روی ماشین القایی پنج فاز اعمال می شود. شکل موج های ورودی (سه فاز) و شکل موج های خروجی (پنج فاز) (ولتاژ و جریان) در شکل ها نشان داده شده است. ۸ و ۹ به ترتیب در حالت پایدار. ولتاژ اعمال شده به سمت ورودی ۴۴۶ ولت (پیک به پیک)، ضریب توان 0.3971 و جریان حالت پایدار به صورت 76 A (پیک به پیک) دیده می شود. شکل موج متناظر همان فاز "A" برابر با ولتاژ سمت ورودی ۴۴۶ (اوج به اوج) است، زیرا سیم پیچ ترانسفورماتور دارای نسبت ۱:۱ است. اکنون ضریب توان در سمت ثانویه کاهش می یابد و برابر با 0.324 است و جریان حالت پایدار به 3.3 A (پیک به پیک) کاهش می یابد. کاهش جریان حالت پایدار به دلیل افزایش تعداد فازهای خروجی است. بنابراین، یک بار دیگر ثابت می شود که سیستم های تبدیل طراحی شده به طور رضایت بخشی کار می کنند.

عملکرد گذرا ترانس سه تا پنج فاز با ثبت جریان گذرا هنگام تامین بار موتور القایی پنج فاز ارزیابی می شود. حداکثر جریان گذرا حداکثر به صورت 7.04 A ثبت می شود که در حالت پایدار به 4.22 A کاهش می یابد. همانطور که در شکل ۱۵ نشان داده شده است، زمان ته نشینی برابر با 438.4 میلی ثانیه ثبت شده است.



(a)



(b)

شکل ۱۵. (الف) جریان هجومی اولیه ترانسفورماتور سه تا پنج فاز که یک مقدار پیک را در شرایط گذرا نشان می دهد. (ب) جریان هجومی اولیه ترانسفورماتور سه تا پنج فاز که یک مقدار پیک را تحت شرایط حالت پایدار نشان می دهد.

۷_ نتیجه

این مقاله یک طرح اتصال ترانسفورماتور جدید برای تبدیل برق شبکه سه فاز به یک منبع خروجی پنج فاز پیشنهاد می کند. طرح اتصال و نمودار فازور به همراه نسبت چرخش نشان داده شده است. اجرای موفقیت آمیز طرح اتصال پیشنهادی با استفاده از شبیه سازی و آزمایش شرح داده شده است. یک موتور القایی پنج فاز تحت شرایط بارگذاری برای اثبات قابلیت حیات سیستم تبدیل استفاده می شود. انتظار می رود که طرح اتصال پیشنهادی می تواند در برنامه های کاربردی درایوها مورد استفاده قرار گیرد و همچنین ممکن است بیشتر مورد بررسی قرار گیرد تا در سیستم های انتقال قدرت چند فازی مورد استفاده قرار گیرد.

۸_ منابع

- [۱] E. E. Ward and H. Harer, "Preliminary investigation of an inverter-fed Δ -phase induction motor," Proc. Inst. Elect. Eng., vol. ۱۱۶, no. ۶, ۱۹۶۹.
- [۲] D. Basic, J. G. Zhu, and G. Boardman, "Transient performance study of brushless doubly fed twin stator generator," IEEE Trans. Energy Con-vers., vol. ۱۸, no. ۳, pp. ۴۰۰-۴۰۸, Jul. ۲۰۰۳.
- [۳] G. K. Singh, "Self excited induction generator research- a survey," Elect. Power Syst. Res., vol. ۶۹, pp. ۱۰۷-۱۱۴, ۲۰۰۴.
- [۴] O. Ojo and I. E. Davidson, "PWM-VSI inverter-assisted stand-alone dual stator winding induction generator," IEEE Trans Ind. Appl., vol. ۳۶, no. ۶, pp. ۱۶۰۴-۱۶۱۱, Nov./Dec. ۲۰۰۰.
- [۵] G. K. Singh, K. B. Yadav, and R. P. Saini, "Modelling and analysis of multiphase (six-phase) self-excited induction generator," in Proc. Eight Int. Conf. on Electric Machines and Systems, China, ۲۰۰۵, pp. ۱۹۳۲-۱۹۳۷.
- [۶] G. K. Singh, K. B. Yadav, and R. P. Sani, "Analysis of saturated multi- phase (six-phase) self excited induction generator," Int. J. Emerging Elect. Power Syst., Article ۵, vol. ۷, no. ۲, Sep. ۲۰۰۶.
- [۷] G. K. Singh, K. B. Yadav, and R. P. Sani, "Capacitive self-excitation in six-phase induction generator for small hydro power-an experimental investigation," presented at the IEEE Conf. Power Electronics, Drives and Energy Systems for Industrial Growth—۲۰۰۶ (PEDES-۲۰۰۶) Pa- perA-۲۰. (CD-ROM), New Delhi, India, Dec. ۱۲-۱۵, ۲۰۰۶.
- [۸] G. K. Singh, "Modelling and experimental analysis of a self excited six-phase induction generator for stand alone renewable energy gener- ation," Renew. Energy, vol. ۳۳, no. ۷, pp. ۱۶۰۵-۱۶۲, Jul. ۲۰۰۸.
- [۹] J. R. Stewart and D. D. Wilson, "High phase order transmission- a fea- sibility analysis Part-I-Steady state considerations," IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-۹۷, no. ۶, pp. ۲۳۰۰-۲۳۰۷, Nov. ۱۹۷۸.
- [۱۰] J. R. Stewart and D. D. Wilson, "High phase order transmission- a feasibility analysis Part-II-Over voltages and insulation requirements," IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-۹۷, no. ۶, pp. ۲۳۰۸-۲۳۱۷, Nov. ۱۹۷۸.
- [۱۱] J. R. Stewart, E. Kallaur, and J. S. Grant, "Economics of EHV high phase order transmission," IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS- ۱۰۳, no. ۱۱, pp. ۳۳۸۶-۳۳۹۲, Nov. ۱۹۸۴.
- [۱۲] S. N. Tewari, G. K. Singh, and A. B. Saroor, "Multiphase power transmission research-a survey," Elect. Power Syst. Res., vol. ۲۴, pp. ۲۰۷-۲۱۵, ۱۹۹۲.
- [۱۳] C. M. Portela and M. C. Tavares, "Six-phase transmission line-prop- agation characteristics and new three-phase representation," IEEE Trans. Power Del., vol. ۱۸, no. ۳, pp. ۱۴۷۰-۱۴۸۳, Jul. ۱۹۹۳.
- [۱۴] T. L. Landers, R. J. Richeda, E. Krizanskas, J. R. Stewart, and R. A. Brown, "High phase order economics: Constructing a new transmission line," IEEE Trans. Power Del., vol. ۱۳, no. ۴, pp. ۱۵۲۱-۱۵۲۶, Oct. ۱۹۹۸.
- [۱۵] J. M. Arroyo and A. J. Conejo, "Optimal response of power generators to energy, AGC, and reserve pool based markets," IEEE Power Eng. Rev., vol. ۲۲, no. ۴, pp. ۷۶-۷۷, Apr. ۲۰۰۲.
- [۱۶] M. A. Abbas, R. Chirsten, and T. M. Jahns, "Six-phase voltage source inverter driven induction motor," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. IA-۲۰, no. ۵, pp. ۱۲۵۱-۱۲۵۹, Sep./Oct. ۱۹۸۴
- [۱۷] K. N. Pavithran, R. Parimelalagan, and M. R. Krsihnamurthy, "Studies on inverter fed five-phase induction motor drive," IEEE Trans. Power Electron., vol. ۳, no. ۲, pp. ۲۲۴-۲۳۵, Apr. ۱۹۸۸.
- [۱۸] G. K. Singh, "Multi-phase induction machine drive research—a survey," Elect. Power Syst. Res., vol. ۶۱, pp. ۱۳۹-۱۴۷, ۲۰۰۲.
- [۱۹] M. Jones and E. Levi, "A literature survey of the state-of-the-art in multi-phase ac drives," in Proc. Int. UPEC, Stafford, U.K., ۲۰۰۲, pp. ۵۰۵-۵۱۰.
- [۲۰] R. Bojoi, F. Farina, F. Profumo, and A. Tenconi, "Dual-three phase induction machine drives control—A survey," Inst. Elect. Eng. Jpn. Trans. Ind. Appl., vol. ۱۲۶, no. ۴, pp. ۴۲۰-۴۲۹, ۲۰۰۶.
- [۲۱] E. Levi, R. Bojoi, F. Profumo, H. A. Toliyat, and S. Williamson, "Mul- tiphase induction motor drives- A technology status review," Inst. Eng. Technol. Electr. Power Appl., vol. ۱, no. ۴, pp. ۴۸۹-۵۱۶, Jul. ۲۰۰۷.
- [۲۲] E. Levi, "Multiphase electric machines for variable-speed applica- tions," IEEE Trans Ind. Electron., vol.

۵۵, no. ۵, pp. ۱۸۹۳-۱۹۰۹, May ۲۰۰۸.

[۲۳] A. Iqbal and E. Levi, "Space vector PWM techniques for sinusoidal output voltage generation with a five-phase voltage source inverter," *Elect. Power Components Syst.*, vol. ۳۴, no. ۲, ۲۰۰۶.

[۲۴] A. Iqbal and E. Levi, "Space vector modulation schemes for a five-phase voltage source inverter," presented at the Eur. Power Electron. Conf. EPE (CD-ROM.pdf), Dresden, Germany, ۲۰۰۵.

[۲۵] M. Jones, "A novel concept of a multi-phase multi-motor vector controlled drive system," Ph.D. dissertation, Liverpool John Moores Univ., Liverpool, U.K., ۲۰۰۵.

[۲۶] A. Iqbal, "Modelling and control of series-connected five-phase and six-phase two-motor drive," Ph.D. dissertation, Liverpool John Moores Univ., Liverpool, U.K., ۲۰۰۶.

[۲۷] H. M. Ryu, J. H. Kim, and S. K. Sul, "Analysis of multi-phase space vector pulse width modulation based on multiple d-q spaces concept," presented at the Int. Conf. Power Electronics and Motion Control IPESC (CD-ROM Paper ۲۱۸۳.pdf.), Xian, China, ۲۰۰۴.

[۲۸] O. Ojo and G. Dong, "Generalized discontinuous carrier-based PWM modulation scheme for multi-phase converter-machine systems," presented at the IEEE Ind. Appl. Soc. Annu. Meet. IAS (CD-ROM Paper no. ۳۸۳۳), Hong Kong, China, ۲۰۰۵.

[۲۹] D. Dujic, M. Jones, and E. Levi, "Generalised space vector PWM for sinusoidal output voltage generation with multiphase voltage source inverter," *Int. J. Ind. Elect. Drives*, vol. ۱, no. ۱, pp. ۱-۱۳, ۲۰۰۹.

[۳۰] M. J. Duran, F. Salas, and M. R. Arahal, "Bifurcation analysis of five-phase induction motor drives with third harmonic injection," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. ۵۵, no. ۵, pp. ۲۰۰۶-۲۰۱۴, May ۲۰۰۸

[۳۱] M. R. Arahal and M. J. Duran, "Pi tuning of five-phase drives with third harmonic injection," *Control Eng. Practice*, vol. ۱۷, pp. ۷۸۷-۷۹۷, Feb. ۲۰۰۹.

[۳۲] D. Dujic, M. Jones, and E. Levi, "Analysis of output current ripple rms in multiphase drives using space vector approach," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. ۲۴, no. ۸, pp. ۱۹۲۶-۱۹۳۸, Aug. ۲۰۰۹.

[۳۳] M. Correa, C. R. da Silva, H. Razik, C. B. Jacobina, and E. da Silva, "Independent voltage control for series-connected six-and three-phase induction machines," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. ۴۵, no. ۴, pp. ۱۲۸۶-۱۲۹۳, Jul./Aug. ۲۰۰۹.

[۳۴] S. Choi, B. S. Lee, and P. N. Enjeti, "New ۲۴-pulse diode rectifier systems for utility interface of high power ac motor drives," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. ۳۳, no. ۲, pp. ۵۳۱-۵۴۱, Mar./Apr. ۱۹۹۷.

[۳۵] V. Garg, B. Singh, and G. Bhuvaneswari, "A tapped star connected autotransformer based ۲۴-Pulse AC-DC converter for power quality improvement in induction motor drives," *Int. J. Emerging Electric Power Syst. Article ۲*, vol. ۷, no. ۴, ۲۰۰۶.

[۳۶] V. Garg, B. Singh, and G. Bhuvaneswari, "A ۲۴ pulse AC-DC converter employing a pulse doubling technique for vector controlled induction motor drives," *Inst. Electron. Telecommun. Eng. J. Res.*, vol. ۵۴, no. ۴, pp. ۳۱۴-۳۲۲, ۲۰۰۸.

[۳۷] B. Singh and S. Gairola, "An autotransformer based ۳۶ pulse controlled AC-DC converter," *Inst. Electron. Telecommun. Eng. J. Res.*, vol. ۵۴, no. ۴, pp. ۲۵۵-۲۶۲, ۲۰۰۸.

[۳۸] P. C. Krause, *Analysis of Electric Machinery*. New York: McGraw-Hill, ۱۹۸۶.

Investigating the three-phase to five-phase time converter using a special transformer connection

The first five-phase induction motor drive systems were proposed in the late ۱۹۷۰s for variable speed drive applications. Since then, considerable research efforts have been devoted to identifying the development of commercially feasible multiphase propulsion systems. Since the three-phase supply is available from the network, it is necessary to remove a static phase conversion system to obtain a multi-phase supply from the existing three-phase supply. Therefore, this paper presents a new transformer connection scheme to convert a three-phase network power supply into a five-phase constant voltage and constant frequency supply. The proposed transformer connection gives a five-phase output and therefore, can be used in applications that require a five-phase power supply. Currently, the five-phase motor drive is commercially viable. The five-phase transmission system solution can be further explored as an efficient solution for bulk power transmission. The connection scheme is explained using simulation and experimental approach to prove the feasibility. The geometry of the manufactured transformer is explained in this article.

Key words: five phase, multiple phase, three phase, transformer, turn ratio