



تغذیه درایو موتور BLDC با ضریب توان واحد با سیستم تامین توان هیبریدی خورشیدی و ذخیره‌ساز انرژی

سامان سکاکی باروقی

کارشناسی ارشد برق قدرت، دانشکده فنی و مهندسی، موسسه آموزش عالی سراج، ایران. (s.sakaki.b@gmail.com)

چکیده

این مقاله پژوهشی سعی در ارائه راه کاری جهت بهبود کیفیت توان سیستم هیبرید تغذیه درایو موتور BLDC به کمک مبدل های اصلاح گر ضریب توان و جلوگیری از تزریق جریان های غیر سینوسی به شبکه می باشد. سه منبع تامین توان خورشیدی و باتری و شبکه با ایجاد تعادل توان به تامین بار موتور BLDC پرداخته و قابلیت کار کرد سیستم های هیبریدی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این پژوهش، سناریوهای مختلفی برای مدیریت توان واحد تغذیه کننده موتور BLDC در نظر گرفته شده است. در این مقاله واحد خورشیدی به تزریق توان به لینک DC مشترک با اینورتر موتور BLDC می پردازد. موتور BLDC از طریق اینورتر منبع ولتاژی متصل به لینک DC مشترک تغذیه شده و به گونه ای کنترل می شود که موتور سرعت مطلوب را تعقیب نماید. بار در مراحل مختلف به صورت پله افزایش و یا کاهش می یابد. کمبود توان از شبکه بالادستی اخذ می شود، جریان کشیده شده از شبکه به کمک مبدل مناسب معرفی شده در ضریب توان واحد و سینوسی خواهد بود. در صورت تزریق توان بیش از مورد نیاز موتور الکتریکی، اضافه توان در یک واحد ذخیره ساز انرژی ذخیره می شود.

واژه های کلیدی: درایو موتور BLDC، ضریب توان واحد، سیستم تامین توان هیبریدی.

1. مقدمه

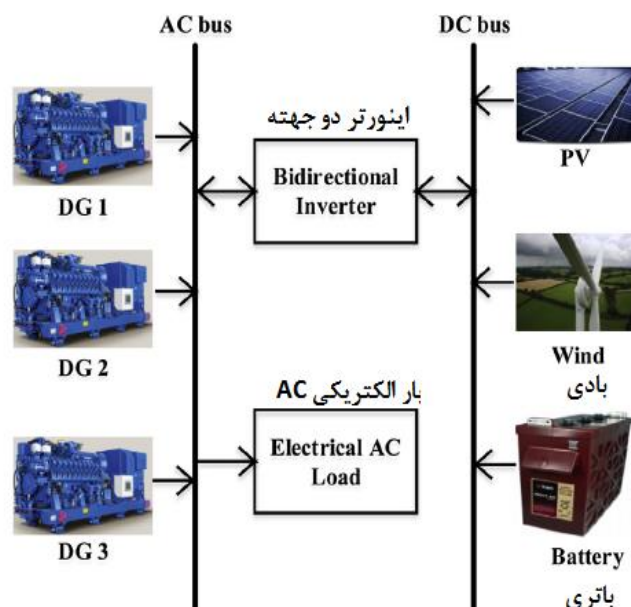
پیشرفت‌های اخیر در سیستم‌های قدرت مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر، چالش‌های جدیدی در طراحی سیستم‌های تبدیل توان dc-dc و DC-AC ایجاد کرده است. این سیستم‌ها منابع انرژی متنوع را از طریق مبدل‌های الکترونیک قدرت به یک باس DC یا AC مشترک متصل می‌کنند و انرژی مورد نیاز برای کاربردهای مختلف را تولید می‌کنند. دو ساختار عمده سیستم‌ها با باس مشترک معرفی شده است: ساختارهای معمول با مبدل‌های dc-ac مجزا برای هر منبع و سیستم‌های چنددرگاه برای کاربردهای خاص. همچنین، سیستم‌های هیبریدی می‌توانند به شبکه اصلی متصل شوند یا به‌طور مستقل عمل کنند. انرژی خورشیدی هم به‌عنوان منبع تجدیدپذیر مورد توجه قرار گرفته است. موتورهای DC آسان‌کننده کنترل هستند، ولی نیاز به تعمیرات دوره‌ای و مشکلاتی مانند جرقه‌زدن دارند. موتورهای DC بدون جاروبک (BLDC) جایگزین موتورهای DC می‌شوند و نوعی موتور سنکرون با آهنربای دائم هستند. این موتورها با ولتاژ DC کار می‌کنند و کموتاسیون جریانی آنها با سوئیچ‌های نیمه‌هادی انجام می‌شود. BLDC دارای مزیت‌هایی مانند پاسخ دینامیکی سریع، کارایی بالا، عمر عملکرد بلند، و عملکرد بدون نویز است. برای تبدیل انرژی AC به DC از پل دیودی و خازن استفاده می‌شود که می‌تواند هارمونیک‌های زیادی ایجاد کند. این هارمونیک‌ها مشکلاتی مانند اعوجاج ولتاژ و افت ولتاژ ایجاد می‌کنند. استفاده از مبدل‌های پیچیده‌تر در کاربردهای توان بالا راه‌حل مؤثری است [1].

نگرانی‌های بین‌المللی ناشی از مشکلات کیفیت توان و آلودگی‌های هارمونیک، مصرف‌کننده‌ها را به استفاده از مبدل‌های اصلاح ضریب توان همراه با موتور بدون جاروبک در بسیاری از کاربردهای توان پایین واداشته است. به علاوه استاندارد‌های جهانی کیفیت توان برای کاربردهای توان پایین، مانند IEC61000-3-2 بر میزان هارمونیک پایین و ضریب توان نزدیک به یک برای جریان در خطوط متناوب تأکید دارد. بنابراین استفاده از نوبولوتی‌های مبتنی بر PFC از اساسی‌ترین نیازمندی‌های موتورهای BLDC جهت اخذ توان از شبکه است. این مقاله سعی در ارائه راه‌کاری جهت تأمین کیفیت توان به کمک مبدل‌های اصلاح گر ضریب توان و جلوگیری از تزریق جریان‌های غیرسینوسی به شبکه می‌باشد. سه منبع تأمین توان خورشیدی و باتری و شبکه با ایجاد تعادل توان به تأمین بار موتور BLDC پرداخته و قابلیت کارکرد سیستم‌های هیبریدی را نشان می‌دهند.

2. مبانی نظری

2-1. سیستم‌های توان هیبریدی

افزایش نفوذ منابع تولید پراکنده و تبدیل شبکه‌های توزیع غیرفعال به فعال، ضرورت تجمع این منابع و بهبود مشارکت، رؤیت‌پذیری و ارتباط با شبکه برق را ایجاد می‌کند. سیستم الکتریکی مدرن باید انرژی مطمئن و باکیفیت بالا تأمین کند. ریزشک‌ها با به‌کارگیری منابع تجدیدپذیر مانند باد، خورشید و بیوماس قابلیت اطمینان و بهینه‌سازی انرژی را افزایش می‌دهند. بهینه‌سازی سیستم توزیع در حضور ریزشک‌ها، منافع اقتصادی و زیست‌محیطی را بهبود می‌بخشد [2]. برنامه‌ریزی دقیق برای شناسایی تقاضای انرژی و منابع موجود از الزامات طراحی سیستم‌های هیبریدی است. روش‌های مرتبط با طراحی ریزشک‌ها در حال توسعه هستند. ویل مداوم با تغییرات پرتوافکنی و دما به منبع غیرقابل کنترل تبدیل می‌شود. هماهنگی با PEMFC امکان کنترل نیروی خروجی سیستم هیبریدی را فراهم می‌کند. دو روش کنترلی UPC و FFC برای بهبود عملکرد و پایداری افزوده می‌شوند [3].



شکل 1. مدل HOMER برای سیستم انرژی هیبرید تجدید پذیر پیشنهادی (مخلف و همکاران، 2017)

مخلف و همکاران یک سیستم انرژی هیبرید تجدید پذیر مستقل (HRES) برای یک مرکز استراحتگاه در منطقه توریستی طراحی شده است. تحلیل با نرم افزار HOMER انجام شده و بار روزانه به ترتیب ۱۱۸۵ kW و ۱۳,۰۴۸ kW برآورده شده است. سیستم بهینه شامل PV، بادی، ژنراتور دیزلی و باتری است. ورودی‌های مدل شامل بار ساعتی، سرعت باد، دما و تابش خورشید می‌باشد. پارامترهای کنترلی سیستم هیبرید به گونه‌ای تنظیم و محاسبه می‌گردد که مینیمم هزینه، شارژ سیکل، کنترل قطع عملکرد دیزل، بهره‌برداری از چندین ژنراتور و دو نوع توربین بادی حاصل شود. بهترین سیستم بهینه‌سازی شده متشکل از یک PV ۷۰۰ kW، توربین بادی، ۲۴۰ باتری، ۳ واحد ژنراتور دیزلی و یک مبدل دو جهته ۶۰۰ kW می‌باشد [4].

2-2. پیشینه پژوهش

سینچ و همکارانش در سال 2016 در مقاله‌ای به مطالعه روشهای مختلف در زمینه اصلاح ضریب توان مبدلهای DC-AC نوع باک-بوست در موتورهای BLDC توان پایین پرداختند. در این پژوهش یک روش کنترلی پیشنهادی به منظور کنترل موتور BLDC ارائه داد که نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که روش پیشنهادی دارای عملکرد مناسبی در بهبود ضریب توان سیستم قدرت می‌باشد [5].

بست و همکاران^۱ در سال 2014، یک ساختار بدون پل پیشنهاد شده دادند. با توجه به پژوهش، در روش کنترلی پیشنهادی مقدار سرعت مرجع، وارد یک بلوک تولیدکننده ولتاژ شده و از این طریق مقدار ولتاژ DC مرجع تولید شده و در ادامه این ولتاژ با مقدار ولتاژ DC اندازه‌گیری شده مقایسه و سیگنال خطای ناشی از اختلاف این دو مقدار وارد یک رگولاتور ولتاژ شد و از طریق یک تولیدکننده PWM، پالس‌های کلید زنی مربوط به مبدل DC-AC تولید میشود. در این ساختار هم تصحیح ضریب توان و هم کاهش هارمونیک‌های جریان محقق شده است [6].

اسنچ و همکارانش در سال 2015 پژوهشی در یک مدار بهبود دهنده ضریب توان برای یک موتور BLDC ارائه کردند که از یک مبدل منبع جریان استفاده می‌کرد. نتایج شبیه سازی در این مقاله نیز نشان می‌دهد که کنترل کننده پیشنهادی هم

¹ Bist, Vashist, and Bhim Singh

سرعت را به خوبی کنترل می کند و هم ضریب توان را بهبود می دهد. همچنین در این مقاله نتایج شبیه سازی با نتایج آزمایشگاهی نیز مقایسه شد است که صحت عملکرد روش کنترلی را نشان می دهد [7].

بست و همکاران در سال 2015 مقاله ای را ارائه شد کردند که موتور BLDC با استفاد از یک مدار بهبوددهنده کیفیت توان که از نوع مبدل نوع کاک می باشد کنترل شد و نتایج نشان می دهد که مقدار ضریب توان شبکه بهبود می یابد و در محدود استاندارد IET قرار می گیرد. مطابق نتایج به دست آمد، روش پیشنهادی کنترلی ارائه شده در این مقاله توانسته است که میزان THD جریان را 12٪ کاهش دهد [8].

آلم و همکاران در سال 2014، مقاله ای با عنوان طراحی فیلتر پسیو بهینه برای استفاده موثر از کابل ها و ترانسفورماتورها در شرایط غیر سینوسی پیشنهاد نمودند. در این پژوهش یک پیکربندی سیستم هیبرید تطبیقی معرفی که از یک فیلتر پسیو سری و راکتور کنترل تریستوری (TCR) تشکیل شده است. این سیستم از یک مصرف کننده با بارهای سه فاز خطی و غیرخطی، کابل قدرت که انرژی را از PCC به سمت بار حمل می کنند و یک فیلتر پسیو هیبریدی متصل شده به باس بار تشکیل شده است. باید متذکر شد که در سیستم مورد مطالعه بعضی از بارهای خطی بصورت منفرد توسط بانک خازنی جبران سازی می شوند [9].

روش توزیع انرژی جدیدی بر مبنای یک مدل کنترل پیش گویناه (MPC) برای سیستم های فتوولتائیک (PV) / توربین بادی / هیدروژن / باتری هیبریدی ارائه می کند. منابع انرژی تجدیدپذیر، انرژی را به سیستم هیبریدی تزریق می کنند و باتری و سیستم هیدروژن به عنوان ابزار ذخیره سازی انرژی استفاده می شوند. «واحد هیدروژن» تخصیص داده شده مرکب از پیل سوختی، الکترولیزر و مخزن ذخیره سازی هیدروژن می باشد. برای نشان دادن عملیات صحیح انتقال انرژی مطلوب، یک روش ساده تر مبتنی بر کنترل حالت، به منظور مقایسه و تایید نتایج برای شبیه سازی های بلندمدت 25 ساله (طول عمر پیش بینی شده سیستم) با زمان نمونه یک ساعته، ارائه شده است [10].

مقاله پژوهشی با عنوان اندازه سیستم هیبریدی با استفاده از بهینه سازی طراحی Simulink متلب، به عنوان سلول سوختی باید قادر به تامین توان بدون وقفه به مدت یک سال باشد، انجام شد. این موضوع منجر به افزایش اندازه سیستم هیبریدی می شود که باید مورد توجه قرار گیرد؛ زیرا افزایش توان تولیدی لازم می دارد که توزیع انرژی باید برای جلوگیری از اضافه بار در ESS ها طراحی شود [11].

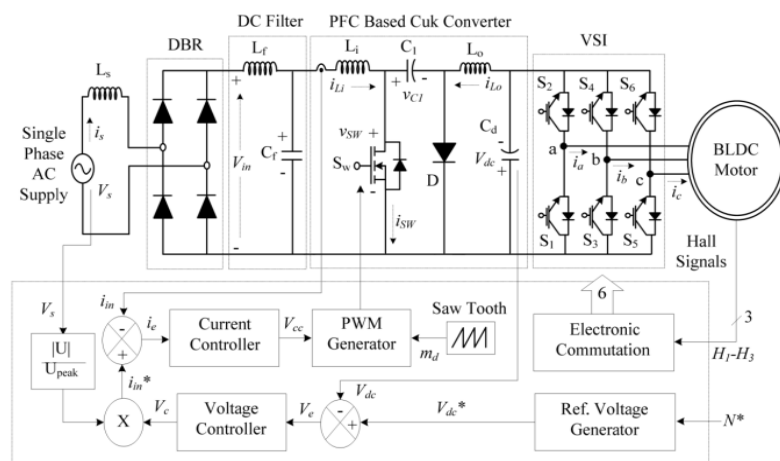
پژوهشی با ارائه مبدل DC-DC چند ورودی با قابلیت کارکرد در ساختارهای توپولوژیکی مختلف (Buck, Boost, Buck-boost) و تبادل توان دو جهته ارائه شده است. این ساختار دارای ولتاژ خروجی مثبت، بدون افزودن ترانسفورماتور می باشد. اگرچه این ساختار دو جهته است و از تعداد، المان های بسیار کمی استفاده می کند، ولی در هر زمان تنها یکی از منابع ورودی می تواند به مدار توان تحویل دهد که مساله تقسیم زمان (Time Sharing) برای ورودی ها پیش می آید. این مساله موجب ایجاد محدودیت در میزان توان انتقالی و ریپل وسیع جریان در ورودی خواهد شد [12].

3. روش پژوهش

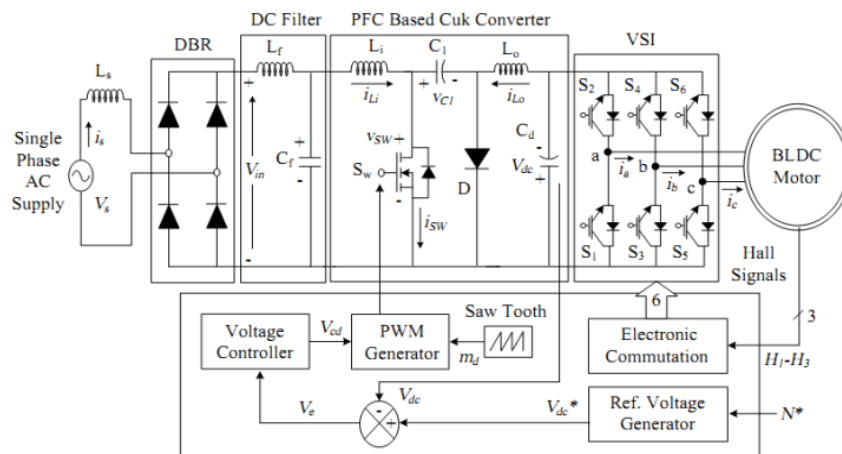
مبدل های رایج برای راه اندازی موتور BLDC اغلب از نوع یکسوساز پل دیودی است که دارای بازدهی خوبی هم نیستند و ضریب توان و میزان اعوجاج هارمونیک کل جریان ورودی نامناسبی دارد. هرچه میزان اعوجاج هارمونیک کل بیشتر باشد باعث بیشتر شدن تلفات و ایجاد اختلال در عملکرد مبدل و موتور می شود. از سوی دیگر ضریب توان پایین از طریق افزایش توان مازای باعث کاهش ظرفیت بار می شود. برای رفع این مشکل از مبدل اصلاح ضریب توان بهره گرفته میشود که میزان اعوجاج هارمونیک کل جریان را به شدت کاهش و مقدار ضریب توان را تا مقدار واحد افزایش میدهد. برای کاهش تنظیم ولتاژ خروجی مبدل یکسوساز کل، مبدل اصلاح کننده ضریب توان از یک کنترل کننده PI استفاده می کند که مقدار سطح ولتاژ لینک dc را تا حد مطلوبی حفظ می کند که باعث عملکرد مناسب مبدل تصحیح ضریب توان و در نتیجه بهبود کیفیت توان می شود.

3-1. مبدل تصحیح کننده ضریب توان

با توجه به شکل 2، مبدل Cuk با قابلیت تصحیح ضریب توان بر مبنای درایو موتور BLDC با اینورتر منبع ولتاژ را نشان میدهد که از یک ضریب جریان و یک روش تعقیب کننده ولتاژ لینک DC استفاده شد. به دلیل پیوسته بودن جریان سلفهای ورودی و خروجی و ولتاژ خازن لینک DC در یک دوره کلیدزنی به صورت پیوسته کار میکند. و شکل 3 در صورتی که جریانهای سلفها و ولتاژها خازن ها به صورت ناپیوسته باشد، در مد ناپیوسته کار خواهد کرد.



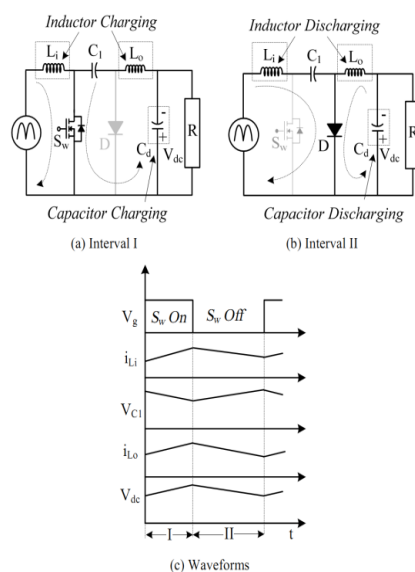
شکل 2- درایو موتور BLDC با استفاده از روش ضرب کننده جریان



شکل 3- درایو موتور BLDC با استفاده از روش تعقیب کننده ولتاژ

3-2. عملکرد پیوسته

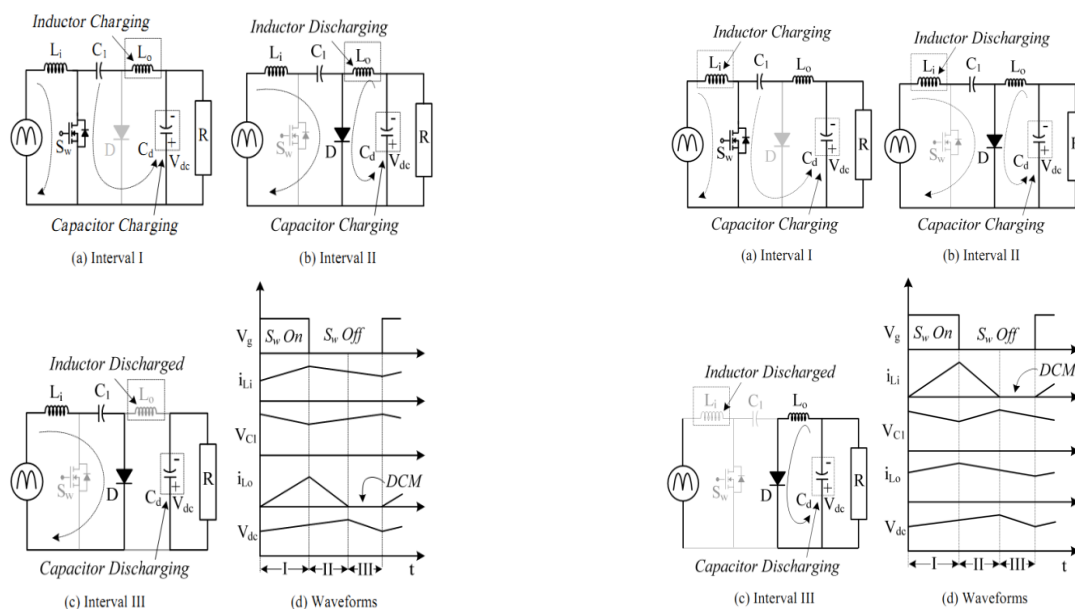
عملکرد پیوسته مبدل Cuk در مد CCM در شکل زیر در دو بازه متفاوت یک دوره کلیدزنی و با فرضیات کاری زیر انجام گرفته است:



شکل 4- عملکرد مبدل Cuk در عملکرد پیوسته در طول بازه‌های متفاوت یک دوره کلیدزنی و شکل موج‌های مرتبط با این مدار در این مقاله، عناصر نیمه هادی، خازن‌ها و سلف‌ها به صورت ایده آل در نظر گرفته شده است و همچنین ظرفیت خازن لینک DC و سلف متصل به شبکه بسیار بزرگ انتخاب شد.

3-3. مد عملکردی گسسته جریان سلف Li

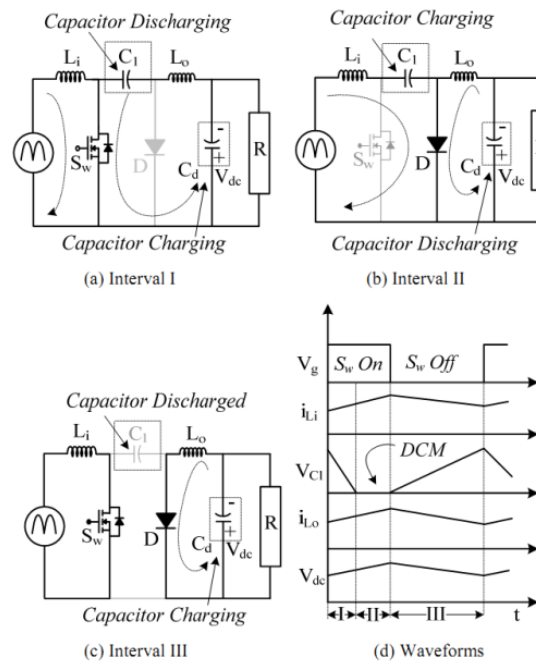
این بخش، جریان Li به صورت ناپیوسته در نظر گرفته و شکل 5 عملکرد مبدل Cuk و موج‌های مربوطه را نشان می‌دهد. عملکرد مبدل Cuk در مد ناپیوسته جریان Lo در اشکال 6 نشان داده شده است.



شکل 6- عملکرد مبدل در وضعیت عملکرد ناپیوسته جریان سلف خروجی Lo در طول وضعیت‌های مختلف عملکردی در یک دوره کلیدزنی و شکل موج‌های مرتبط با این وضعیت کاری

شکل 5- مدل عملکردی مبدل Cuk در عملکرد ناپیوسته Li در طول بازه‌های مختلف یک دوره کلیدزنی و شکل موج‌های مربوط به این مبدل

3-4. مد عملکرد ناپیوسته ولتاژ خازن C



شکل 7- عملکرد مبدل در وضعیت عملکرد ناپیوسته ولتاژ خازن C1 در طول وضعیت‌های مختلف عملکردی در یک دوره کلیدزنی و شکل موجهای مرتبط با این وضعیت کاری

3-5. نمونه طراحی مبدل با قابلیت تصحیح ضریب توان

یک مبدل با قابلیت تصحیح ضریب توان برای درایو موتور BLDC برای تامین سطح ولتاژ DC برای اینورتر منبع ولتاژی در این قسمت طراحی میشود. ولتاژ ورودی که به پل دیودی اعمال میشود به صورت زیر بیان میشود:

$$v_s(t) = V_m \sin(2\pi f_L t) = 220\sqrt{2}\sin(314t) \quad (1)$$

در رابطه بالا، V_m ولتاژ حداکثر ظاهر شده و f_L فرکانس خط یعنی 50 هرتز است. ولتاژ لحظه‌ای که بعد پل دیودی ظاهر میشود به صورت زیر بیان میشود:

$$V_{in}(t) = |V_m \sin(2\pi f_L t)| = |220\sqrt{2}\sin(314t)| \quad (2)$$

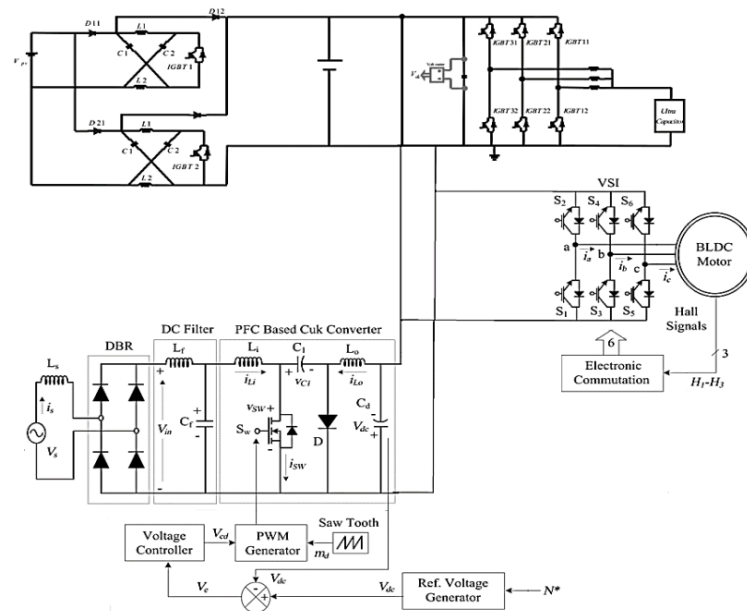
ولتاژ خروجی مبدل Cuk به کمک رابطه زیر بیان میشود:

$$V_{dc} = \frac{D}{(1-D)} V_{in}(t) \quad (3)$$

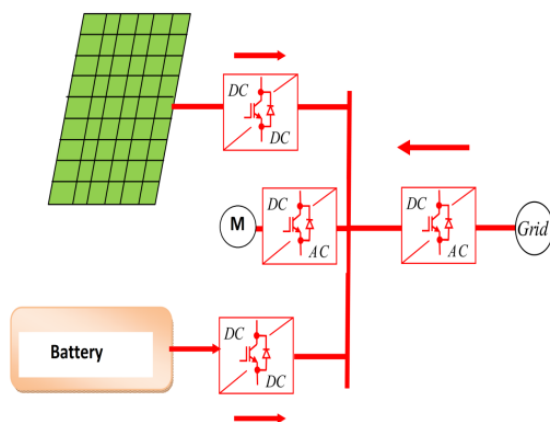
در این رابطه: D سیکل کاری مبدل است. سیکل کاری لحظه‌ای به ولتاژ ظاهر شده لحظه‌ای بعد پل دیودی $V_{in}(t)$ و ولتاژ لینک DC مورد نیاز V_{dc} است. در اینجا، سیکل کاری لحظه‌ای با کمک روابط 2 و 3 استخراج میشود. مبدل Cuk طراحی شده است تا در ولتاژ بین 40 تا 200 ولت کار کند. مبدل با ضریب توان تصحیح کننده در توان نامی 350 وات بایستی طراحی شود تا یک موتور با توان 250 وات را تامین کند. فرکانس کلیدزنی برابر 10 کیلوهرتز انتخاب میشود. حداقل توان و ولتاژ برابر 40 ولت و 70 وات تنظیم شده است.

4. ساختار هیبرید پیشنهادی

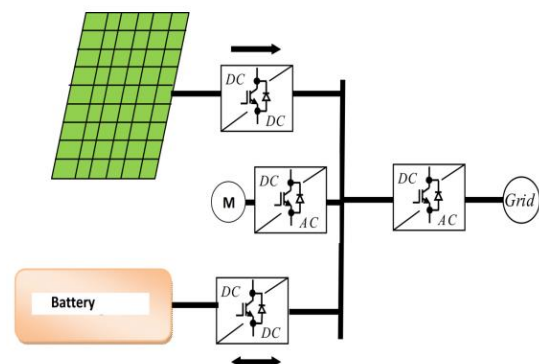
در این بخش، ساختار پیشنهادی معرفی میشود. در این ساختار، فتوولتائیک و باتری و شبکه به صورتی ترکیبی (هیبرید) به تامین توان بار و یا توان تزریقی به شبکه می‌پردازند. شماتیک مدار پیشنهادی در شکل‌های زیر ترسیم شده است.



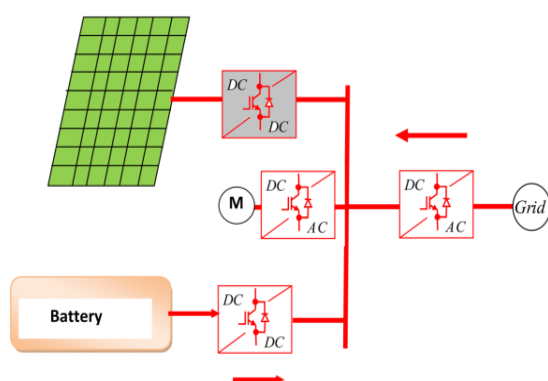
شکل 8. الف) - شماتیک مداری ساختار پیشنهادی



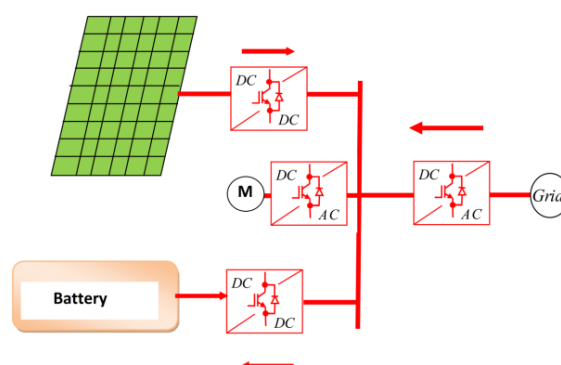
شکل 9- مد کاری اول برای ساختار هیبرید مورد مطالعه



شکل 8 ب) - شماتیک بلوکی ساختار پیشنهادی



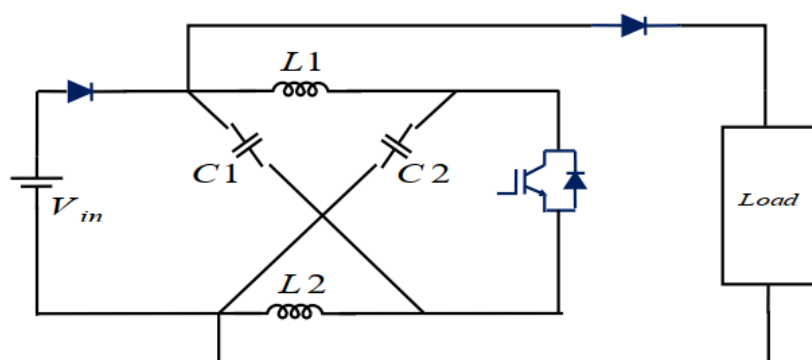
شکل 11- مد کاری سوم برای ساختار هیبرید مورد مطالعه



شکل 10- مد کاری دوم برای ساختار هیبرید مورد مطالعه

4-1. ساختار مبدل DC-DC واحد خورشیدی

عموماً سیستم‌های تولید توان مبتنی بر انرژی تجدیدپذیر به مبدل‌های DC-DC افزایش ولتاژ خروجی این منابع به سطوح ولتاژ بالا با هدف تامین ولتاژ لینک DC اینورترهای متصل به شبکه نیازمند هستند. علاوه بر این نکته، این سیستم‌ها به مبدل‌های DC-DC با بازده بالا و هزینه پایین نیز نیازمند می‌باشند. مبدل‌های افزایشنده متداول عموماً از نوع مبدل‌های غیرایزوله افزایشنده DC-DC می‌باشند.



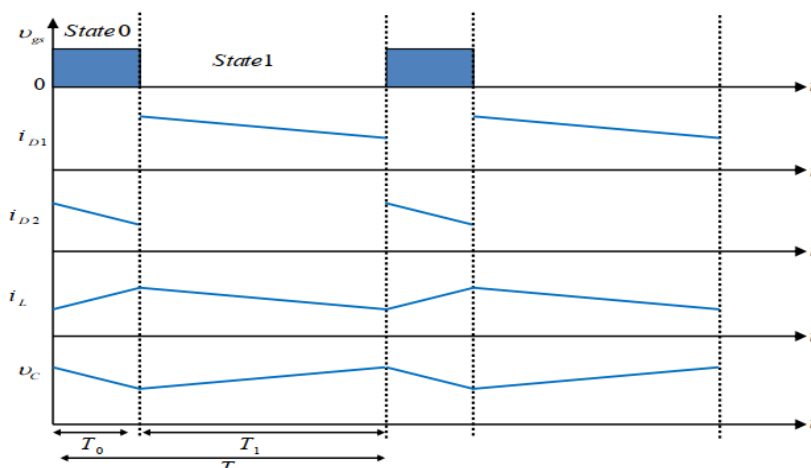
شکل 12- مبدل DC-DC مورد مطالعه

در تئوری، مبدل افزایشنده متداول قادر به افزایش ولتاژ بینهایت در نزدیکی مقدار سیکل کاری برابر یک می‌باشد. یک مبدل DC-DC مبتنی بر شبکه امپدانس با بهره ولتاژ بالا برای سیستم‌های خورشیدی در این مقاله به کار گرفته شده است که دارای بهره بالا برای نسبت تبدیل ولتاژ خروجی به ورودی می‌باشد.

مفهوم عملکرد مبدل پیشنهادی، با توجه به فرضیات زیر انجام می‌گیرد؛

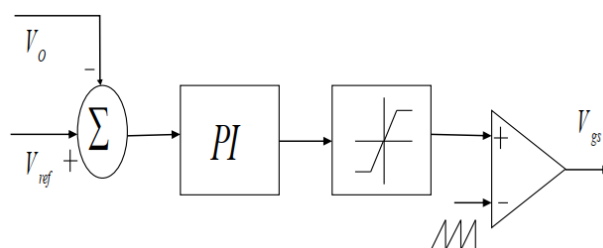
- تمامی عناصر ایده ال در نظر گرفته شدند.
 - مقادیر سلفهای $L_1 = L_2 = L$ و خازن ها $C_1 = C_2 = C$ فرض شده است.
 - جریان سلف‌ها و ولتاژ خازن‌ها به صورت خطی کاهش و افزایش می‌یابد.
- با توجه به شرایط تقارن شبکه امپدانس داریم:

$$\begin{aligned}
 i_{L1} &= i_{L2} = i_L \\
 i_{C1} &= i_{C2} = i_C \\
 v_{L1} &= v_{L2} = v_L \\
 v_{C1} &= v_{C2} = v_C
 \end{aligned}
 \quad (4)$$



شکل 13- شکل موج مورد انتظار مبدل DC-DC متصل به مزرعه خوشیدی مورد مطالعه

در این رابطه؛ v_{C1} ، v_{L1} ، i_{C2} ، i_{L2} ، i_{C1} ، i_{L1} ، به ترتیب جریان سلف‌های، $2L$ ، $1L$ ، جریان خازنها، ولتاژ سلف‌ها و ولتاژ خازن‌ها است.



شکل 14- کنترل ولتاژ مبدل DC-DC مورد مطالعه

2-4. تحلیل حالت دینامیکی

مبدل پیشنهادی در مدکاری پیوسته کار میکند و این مد به دو وضعیت تقسیم میشود: وضعیت صفر و وضعیت یک. روابط زیر از وضعیت صفر حاصل می شود:

$$v_L = v_C = L \frac{di_L}{dt} \quad (5)$$

$$V_o = v_L + v_C = L \frac{di_L}{dt} + v_C \quad (6)$$

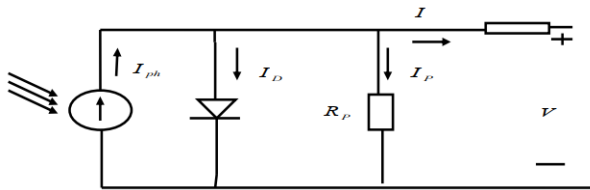
$$i_C = C \frac{dv_C}{dt} \approx i_L + I_o \quad (7)$$

وضعیت یک از معادلات زیر قابل استخراج است:

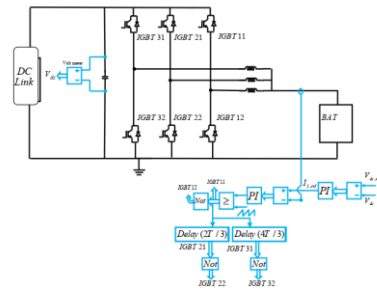
$$V_i = v_L + v_C = L \frac{di_L}{dt} + v_C \quad (8)$$

$$i_i = i_L + i_C = C \frac{dv_C}{dt} + i_L \quad (9)$$

در این مقاله، مورد انتظار است که ساختار مبدل DC-DC با اساس ساختار امیدانی برای جذب توان از واحد خورشیدی و تزریق آن به لینک DC بتواند حداکثر توان را نیز جذب نماید. مدل عملی با مقاومت موازی و سری استفاده شده است که این مدل رفتاری با دقت بهتری نسبت به سایر مدلها با سلول خورشیدی واقعی دارد. شکل 16 مدل یک سلول فتوولتاییک مورد استفاده نمایش داده شده است.



شکل 16- مدل سلول خورشیدی



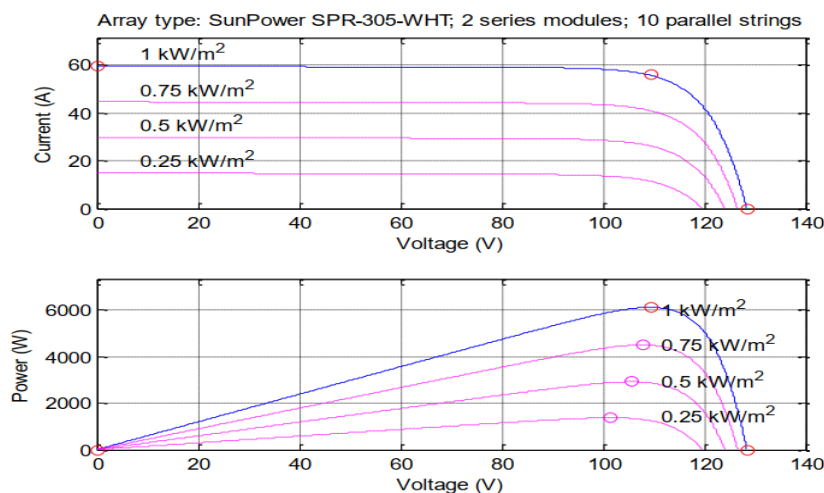
شکل 15- مبدل دوطرفه متصل به باتری

عملکرد الگوریتم MPPT مبتنی بر روش هدایت افزایشی است. طبق نمودار 17 نقطه کار، طبق شرایط زیر، ممکن است در یکی از سه ناحیه کار، باشد:

- اگر $\frac{dP}{dV} > 0 \Rightarrow \frac{\Delta I}{\Delta V} > \frac{I}{V}$ ، نقطه کار سمت چپ نقطه بهینه است. و ولتاژ باید، افزایش یابد یعنی:

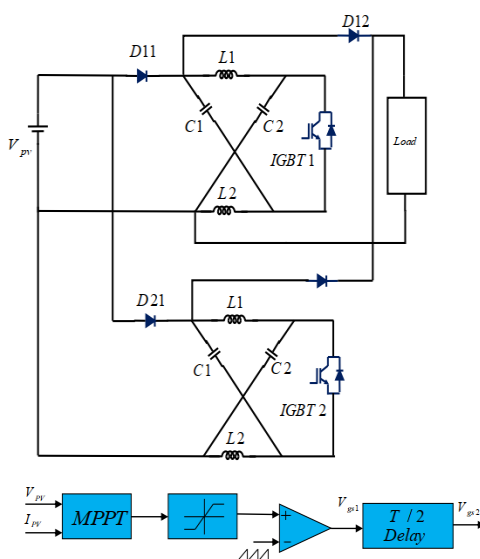
$$V(n) = V(n-1) + \Delta V$$
- اگر $\frac{dP}{dV} > 0 \Rightarrow \frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V}$ ، نقطه کار در نقطه بهینه است. و فرآیند ردیابی متوقف می شود.
- اگر $\frac{dP}{dV} < 0 \Rightarrow \frac{\Delta I}{\Delta V} < -\frac{I}{V}$ ، آنگاه نقطه کار سمت چپ نقطه بهینه است. و ولتاژ باید، کاهش یابد. یعنی

$$V(n) = V(n-1) - \Delta V$$



شکل 17- منحنی‌های (p-v) و (I-v) رای مازول به ازای دما ثابت و تابش متغیر

ماژول خورشیدی به کمک یک مبدل تشریح شده در بخش قبلی به اینورتر پیشنهادی متصل میگردد. این مبدل دارای بهره بالا بوده و توانایی کارکرد در سیکلهای کاری بسیار پایین دارد.

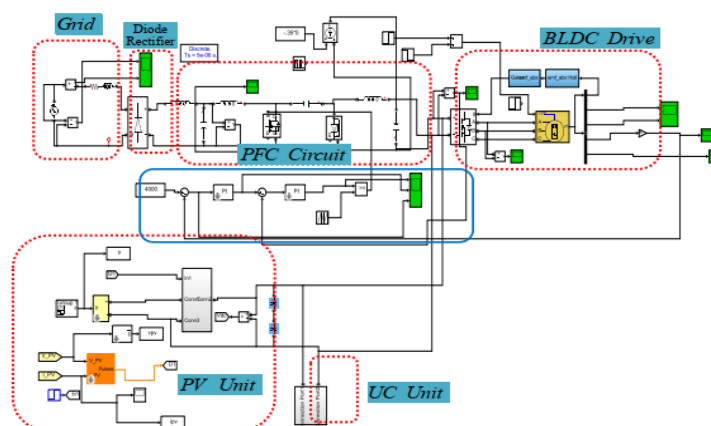


شکل ۱۸- بلوک دیاگرام مبدل DC-DC امپدانسی اینترلیود متصل به واحد خورشیدی

کنترل کننده های PI دو مُد کنترلی؛ کنترل تناسبی^۱ و کنترل انتگرالی^۲ دارند. در این مقاله نیز کنترلر PI برای اهداف - تنظیم ولتاژ لینک DC به کمک تنظیم توان اخذ شده از شبکه یا با استفاده از متعادل ساز توان ابرخازن و تنظیم سرعت خروجی موتور الکتریکی زیر استفاده شده است.

۵. شبیه سازی

در این مقاله، ابرخازن به عنوان واحد ذخیره ساز انرژی با قدرت دینامیکی بالا به شدت مورد توجه می باشد. برآورده ساختن بهبود ضریب توان برای موتورهای الکتریکی تغذیه شده با شبکه بالادستی یک امری اجتنابناپذیر است. نمای کلی از سیستم پیاده سازی شده در نرم افزار متلب/ سیمولینک در شکل ۱۹ ترسیم شده است.



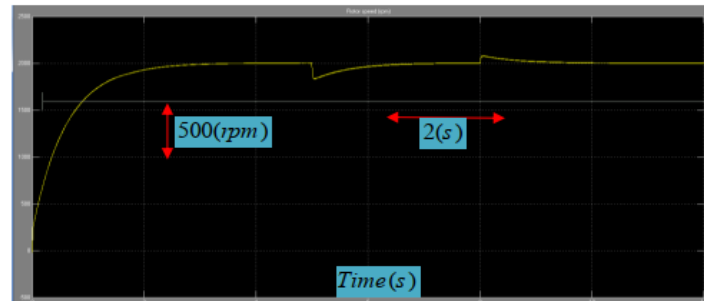
شکل ۱۹- ساختار پیاده سازی شده در نرم افزار متلب/ سیمولینک

^۱ Proportional Control

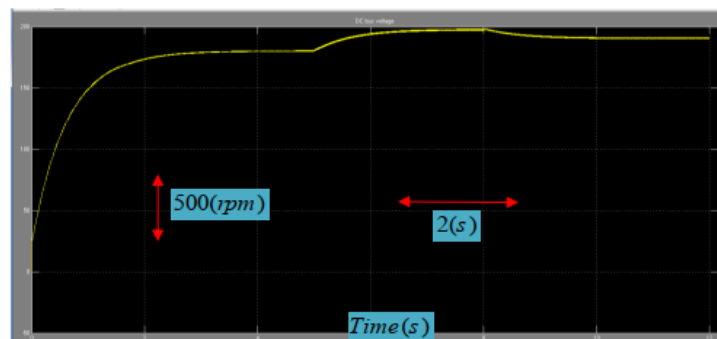
^۲ Integral Control

5-1. شبیه‌سازی توان پایین

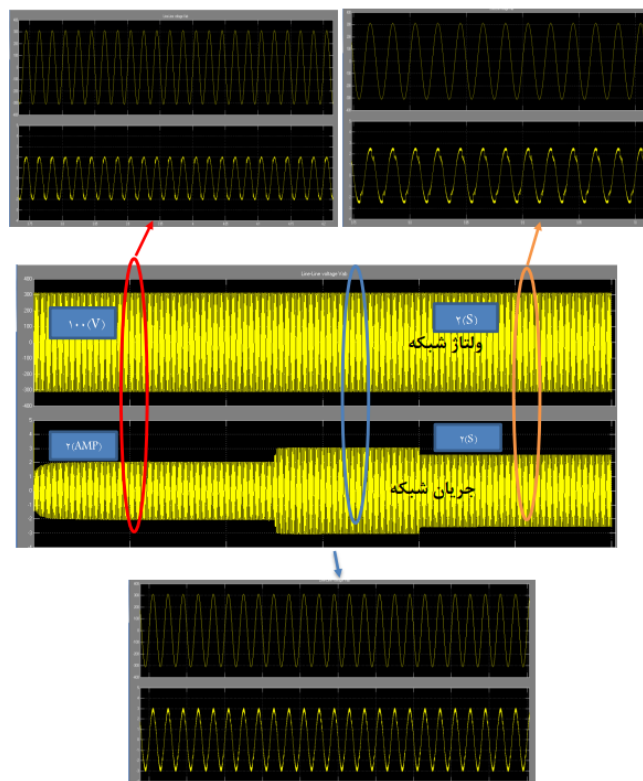
سرعت رفرنس موتور برابر 2000 دور بر دقیقه تنظیم شده است و در زمان‌های 5 و 8 گشتاور بار تغییر میکند.



شکل 20- سرعت موتور در طول بازه شبیه‌سازی در سناریوی اول



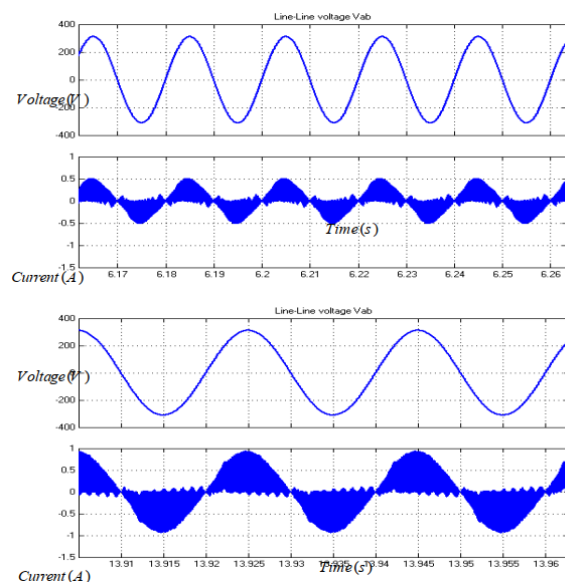
شکل 21- ولتاژ لینک DC در طول بازه شبیه‌سازی در سناریوی اول



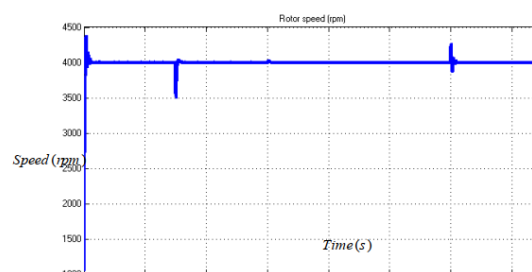
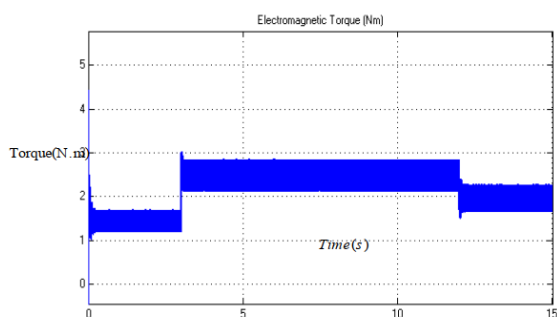
شکل 22- ولتاژ و جریان شبکه در طول بازه شبیه‌سازی در سناریوی اول

5-2. نتایج شبیه‌سازی سیستم هیبرید

در این بخش مقاله، نتایج شبیه‌سازی سیستم هیبریدی در حضور واحد خورشیدی، باتری و شبکه ارزیابی شده است. سرعت مرجع موتور روی مقدار 4000 دور بر دقیقه تنظیم شده است. گشتاور بار در طول شبیه‌سازی در بازه‌های مختلف تغییر میکند.

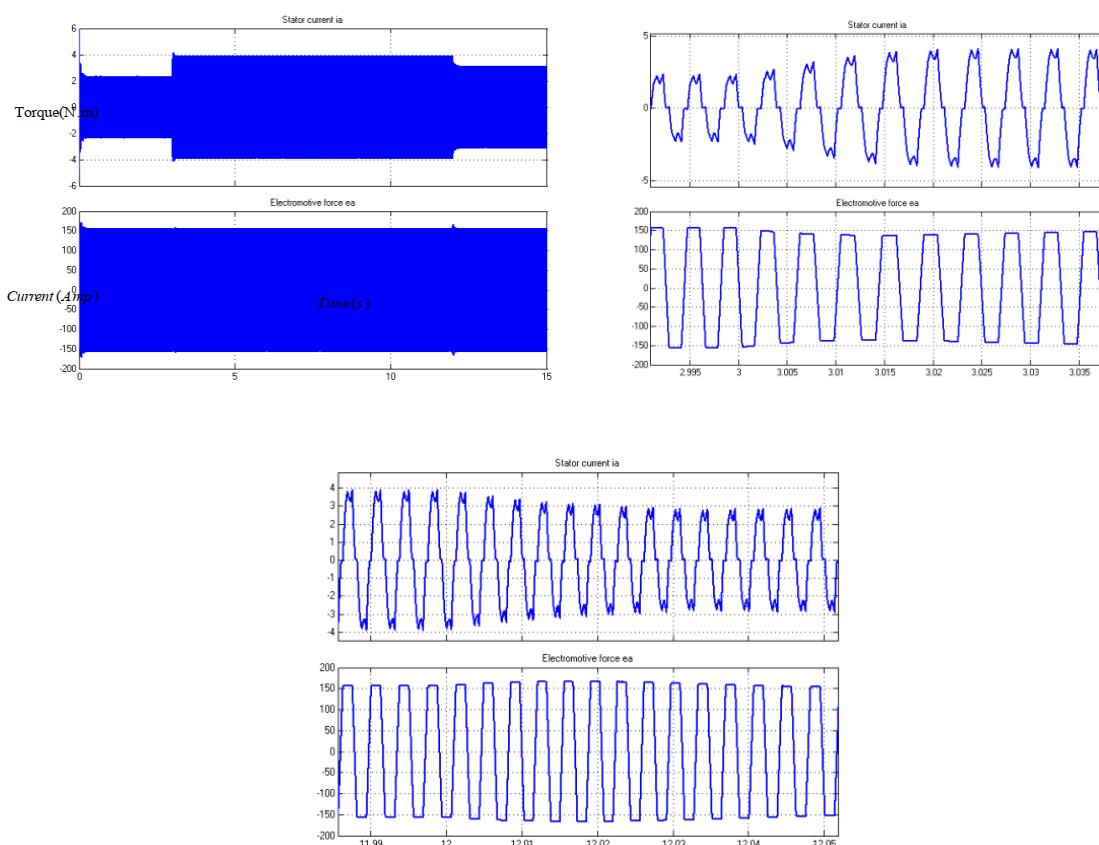


شکل 23- ولتاژ و جریان شبکه در طول بازه شبیه‌سازی در سناریوی دوم

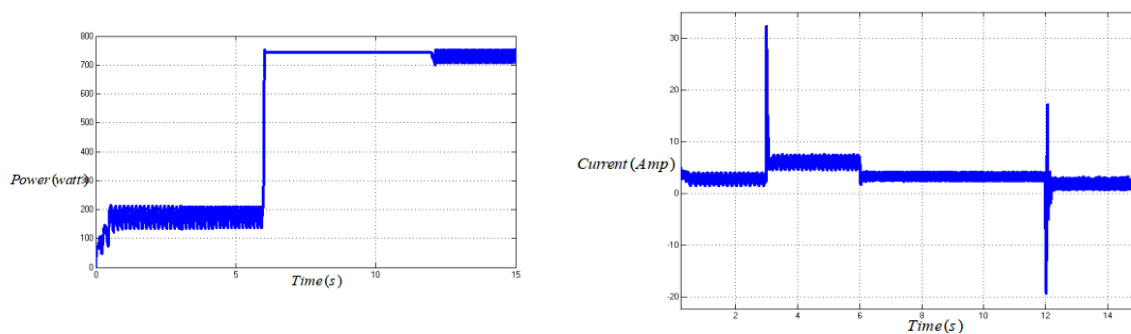


شکل 25- گشتاور موتور در طول بازه شبیه‌سازی در سناریوی دوم

شکل 24- سرعت موتور در طول بازه شبیه‌سازی در سناریوی دوم



شکل 26- شکل موج ولتاژ Back-EMF و جریان فازهای موتور BLDC در سناریوی دوم



شکل 28- توان اخذ شده از واحد خورشیدی در سناریوی دوم

شکل 27- جریان تبادلی باتری با لینک DC در سناریوی دوم

6. نتیجه گیری

امروزه، تمامی سیستم‌های مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر در شبکه‌های برق به دلیل توسعه تجهیزات نیمه‌هادی به کمک انواع مبدل الکترونیک قدرت میسر شده است. با ملاحظه کردن نوع کاربرد، ساختارهای مختلفی در مورد اتصال منابع انرژی تجدیدپذیر به مبدل‌های الکترونیک قدرت مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به سطح ولتاژ خروجی منابع انرژی تجدیدپذیر، این منابع ممکن است به کمک ادوات واسط دو مرحله‌ای یا تک مرحله‌ای به شبکه یا بار متصل شوند. از طرفی در سیستم‌های مدرن انرژی توسعه سیستم‌های DC که از منابع AC شبکه تغذیه می‌کنند، امری متداول است. اساساً این بارها

غیرخطی هستند. از جمله این بارهای غیرخطی، سیستم های درایو موتورهای الکتریکی است. ابتدایی ترین ساختار پیشنهادی برای این درایوها، ساختار مبتنی بر پل دیودی بود که از یک لینک DC و یک پل H سه فاز و یا تک فاز تشکیل یافته است. در این ساختارهای ممکن است جریان کشیده شده از شبکه دارای ضریب توان واحد نباشد. همچنین اعوجاج هارمونیک کل شکل موج ولتاژ خروجی در این ساختار بسیار بالاست. به همین دلیل، ساختار تجمیع شده با مبدل کیوک طراحی گردید که شامل یک مبدل کیوک و سیستم یکسوسازی متداول است. با این وجود، وابستگی به تغذیه از شبکه حتی در زمانهای پیک قیمت برق از معایب این سیستمها است. معایب ذکر شده در باعث شد تا سیستم هیبریدی در این پژوهش پیشنهاد شود. سیستم پیشنهادی در این مقاله توانسته بر چالش های بالا غلبه کند. با توجه به توان در دسترس از باتری و منبع خورشیدی، کمبود توان از شبکه اخذ میشود. در ضمن جریان کشیده شده از شبکه متناوب سیسنوسی با ضریب توان نزدیک به واحد است.

12. منابع

1. Xia, C.L., 2012. Permanent magnet brushless DC motor drives and controls. John Wiley & Sons.
2. Sakura, T. J., & Jaffe, W. (1989). Brushless DC motors: Electronic Communication and Control.
3. Toliyat, H.A. and Campbell, S.G. (2004). DSP-based electromechanical motion control. CRC press.
4. Hossain, M., Mekhilef, S. and Olatomiwa, L. (2017). Performance evaluation of a stand-alone PV-wind-diesel-battery hybrid system feasible for a large resort center in South China Sea, Malaysia. Sustainable cities and society, 28, pp.358-366.
5. Singh, B. and Bist, V. (2015). Power factor correction (PFC) converters feeding brushless DC motor drive. International Journal of Engineering, Science and Technology, 7(3), pp.65-75.
6. Bist, V. and Singh, B. (2013). An adjustable-speed PFC bridgeless buck-boost converter-fed BLDC motor drive. IEEE transactions on industrial electronics, 61(6), pp.2665-2677.
7. Singh, B. and Bist, V. (2015). A BL-CSC converter-fed BLDC motor drive with power factor correction. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 62(1), pp.172-183.
8. Bist, V. and Singh, B., 2014. PFC Cuk converter-fed BLDC motor drive. IEEE Transactions on Power Electronics, 30(2), pp.871-887.
9. Aleem, S.H.A., Balci, M.E., Zobaa, A.F. and Sakar, S., 2014, May. Optimal passive filter design for effective utilization of cables and transformers under non-sinusoidal conditions. In 2014 16th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP) (pp. 626-630). IEEE.
10. Torreglosa, J.P., García, P., Fernández, L.M. and Jurado, F. (2015). Energy dispatching based on predictive controller of an off-grid wind turbine/photovoltaic/hydrogen/battery hybrid system. Renewable Energy, 74, pp.326-336.
11. Song, Z., Zhang, X., Li, J., Hofmann, H., Ouyang, M. and Du, J. (2018). Component sizing optimization of plug-in hybrid electric vehicles with the hybrid energy storage system. Energy, 144, pp.393-403.
12. Khaligh, A., Cao, J. and Lee, Y.J. (2009). A multiple-input DC-DC converter topology. IEEE Transactions on power electronics, 24(3), pp.862-868.

Powering a BLDC motor drive with unity power factor with a hybrid solar power supply system and energy storage

Saman Sakaki Baroughi

Master of Science in Power Engineering, University of Technology and Engineering,
Seraj Institute of Higher Education, Iran, s.sakaki.b@gmail.com

Abstract— This research paper attempts to provide a solution to improve the power quality of the hybrid system feeding the BLDC motor drive using power factor correction converters and preventing the injection of non-sinusoidal currents into the grid. Three power sources, solar, battery, and grid, are used to supply the BLDC motor load by creating a power balance, and the performance of the hybrid systems is evaluated. In this research, various scenarios are considered for power management of the BLDC motor feeding unit. In this paper, the solar unit injects power into the common DC link with the BLDC motor inverter. The BLDC motor is fed through a voltage source inverter connected to the common DC link and is controlled in such a way that the motor follows the desired speed. The load is increased or decreased in steps in different stages. The power deficiency is taken from the upstream grid, the current drawn from the grid will be in unity power factor and sinusoidal with the help of a suitable converter introduced. If more power is injected than the electric motor requires, the excess power is stored in an energy storage unit.

Keywords: BLDC motor drive, unity power factor, hybrid power supply system.