

مدلسازی و کنترل یکپارچه سیستم فتوولتائیک جهت اتصال به شبکه

تک فاز با مدل کنترل پیش بین

رسول صداقت، امین کریمی زاده*

گروه برق قدرت، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی

بندرعباس - ایران

R61sedaghat@yahoo.com-Akarimizd@gmail.com

۱. مقدمه

طراحی سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه، به گونه‌ای است که همزمان و به طور متصل به شبکه برق سراسری عمل می‌نمایند. یکی از اجزاء اصلی سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه، مبدل‌ها هستند که برق DC تولیدی توسط سلول‌های خورشیدی را متناسب با ولتاژ و توان شبکه برق به AC تبدیل نموده و در هنگام عدم نیاز، به طور خودکار انتقال نیرو را قطع می‌نمایند. به طور کلی ارتباطی دو طرفه میان سلول‌های فتوولتائیک و شبکه وجود دارد. در [۱]، بر استراتژی مدیریت انرژی برای بهره برداری یک سیستم فتوولتائیک اکتیو متصل به شبکه در ریزشبه متمرکز شده است. باتری به عنوان منبع انرژی برای تثبیت و اجازه واحد سیستم فتوولتائیک اکتیو به اجرا در توان خروجی ثابت و پایدار، با نوسانات پیک کم در تقاضای الکتریسیته و برای ذخیره بیش از حد انرژی از آرایه فتوولتائیک استفاده شده است.

در [۲]، کنترل متمرکز در عملیات موازی اینورتر مولدهای تولید پراکنده در ریز شبکه را نشان داده شده است. سیستم کنترل نیز ادغام فیلتر کالمن با استخراج طیف هارمونیک جریان بار برنامه ریزی شده است. اینورتر سیستم تولید پراکنده می‌تواند جریان‌های بار هارمونیک را جبران کند.

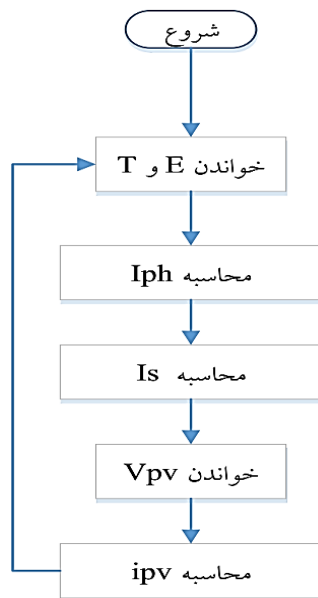
در [۳]، یک سیستم کنترل برای اینورتر سیستم تولید پراکنده در ریزشبه متصل به شبکه و در عملیات جزیره ای ارائه شده است. کنترل پیشنهادی برای اینورتر سیستم تولید پراکنده در الگوریتم توسعه یافته MPC برای حالت پایدار بر اساس مسئله حالت گذرا به منظور کاهش زمان محاسبه به طور کلی در نظر گرفته شده است.

چکیده — با توجه به هزینه بالای سیستم فتوولتائیک، بهره برداری از این سیستم جذابیت چندانی نداشته است در این راستا با اعمال مدل کنترلی مناسب برای مبدل سوئیچینگ گام مناسبی برای اتصال این منبع تولید پراکنده به شبکه ی توزیع به جهت کسب بیشترین راندمان برداشته می‌شود. یک راه حل موثر برای شبیه سازی و کنترل سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه تک فاز در این مقاله ارائه شده است که بر اساس پیکربندی یکپارچه است. رویکرد شامل مدل سلول فتوولتائیک و مدل برای مبدل های قدرت است که به بررسی فعل و انفعالات دینامیکی بین ردیاب ماکزیمم نقطه توان^۱ (MPPT)، تنظیم ولتاژ مازول PV و کنترل ولتاژ لینک DC می پردازد. در این مقاله شبیه سازی سیستم بر اساس مبدل یکپارچه زیر مازول PV متصل به شبکه با الگوریتم کنترل پیش بین ارائه شده که با توجه به تعداد قابل توجهی از زیرماژول PV و مبدل یکپارچه زیر مازول یک مسئله حیاتی است. مدل شبیه سازی با استفاده از تکنیک میانگین مبدل های توان در ترکیب با مدل PV ساده شده، که تعامل دینامیکی میان MPPT، تنظیم ولتاژ زیر مازول PV، ولتاژ dc لینک و شبکه بسته به تزریق جریان در شرایط مختلف سایه جزئی توسعه یافته و نشان داده شده است. نتایج شبیه سازی که در پایان ارائه شده است، عملکرد خوب و اثربخشی مدل و کنترل استراتژی پیشنهادی را در کاهش تلفات و برداشت انرژی بیشتر نسبت به مدل های متداول نشان می دهد.

واژه‌های کلیدی — سیستم فتوولتائیک؛ مبدل DC به AC؛ کنترل پیش

بین؛ ردیاب ماکزیمم نقطه توان.

¹ Maximum power point tracking
* نویسنده مسئول



شکل ۱: فلوجارت برای شبیه سازی زیر ماژول PV

که در آن مقادیر $i_{ph}(E, T)$ و $i_s(E, T)$ را می توان به ترتیب با (۲) و (۳)، محاسبه کرد.

$$i_{ph}(E, T) = \frac{E}{E_{STC}} I_{STC} (1 + \alpha_T \Delta T) \quad (2)$$

$$i_s(E, T) = \frac{i_{ph}(E, T)}{e^{\left[\frac{qV_{oc}(E, T)}{ak(T_{cs} + \Delta T)} - 1 \right]}} \quad (3)$$

فلوجارت برای شبیه سازی زیر ماژول PV در شکل (۱) نشان داده شده است. انحراف از نقطه توان ماکزیم (MPP) را می توان با توجه به تنوع تابش و دما پیش بینی کرد. ولتاژ سلول در MPP، به عنوان V_{MPPc} توسط (۴) محاسبه و I_{MPPc} جریان مربوطه در (۵) آورده شده است.

$$V_{MPPc}(E, T) = V_{MPP}^{STC} (1 + \beta_T \Delta T) (1 + \gamma_E \Delta E) \quad (4)$$

$$I_{MPPc}(E, T) = i_{ph}(E, T) - i_s(E, T) \left[e^{\frac{qV_{MPPc}(E, T)}{kAT_e}} - 1 \right] \quad (5)$$

پارامترهای α_T ، β_T و γ_E تعریف شده در نامگذاری، در مشخصات پنل های PV داده شده است. مدل متوسط از مبدل باک را می توان توسط (۶)، (۷) و (۸) هنگام عملکرد در حالت انتقال مستمر محاسبه کرد.

$$i_L = \frac{1}{L} \int (d_s v_{pv} - i_L R_L - V_o) dt \quad (6)$$

در [۴]، سیستم فتوولتائیک و سیستم باتری متصل به شبکه به منظور تبدیل انرژی خورشیدی با حداکثر نقطه توان آرایه فتوولتائیک برای تولید بیشترین توان تزریقی به شبکه مورد مطالعه قرار داده شده است. باتری را می توان شارژ یا دشارژ کرد برای حفظ توازن توان بین آرایه فتوولتائیک و توان درخواستی و در نتیجه بهبود پایداری کل سیستم را شاهد بود.

در [۵]، بسیاری از مدارهای مبدل های مختلف مورد بررسی قرار داده است که می توانند برای برنامه های کاربردی اینورتر سیستم فتوولتائیک استفاده شوند.

در [۶]، به مدل کنترل پیش بین 2 (MPC) که خانواده ای از کنترل است اشاره شده است که در آن استفاده مستقیم در یک مدل به طور جداگانه و آشکارا وجود دارد. روش های طراحی کنترل کننده بر اساس مفهوم مدل پیش بین پذیرش گسترده ای در کاربردهای صنعتی پیدا کرده است.

با توجه به هزینه بالا سیستم فتوولتائیک بهره برداری از این سیستم جذابیت چندانی نداشته است در این راستا با اعمال مدل کنترلی مناسب برای مبدل سوئیچینگ گام مناسبی برای اتصال این منبع تولید پراکنده به شبکه ی توزیع به جهت کسب بیشترین راندمان برداشته خواهد شد. بنابراین در این کار یک راه حل موثر برای مدلسازی و کنترل سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه تک فاز در این مقاله ارائه شده که بر اساس یک پیکربندی یکپارچه است. رویکرد شامل مدل سلول فتوولتائیک ساده و مدل برای مبدل های قدرت است که به بررسی فعل و انفعالات دینامیکی بین ردیابی حداکثر توان پنل خورشیدی توسط کنترل کننده پیش بین (MPC)، تنظیم ولتاژ ماژول PV و کنترل ولتاژ لینک DC می پردازد.

۲. مدلسازی سیستم فتوولتائیک

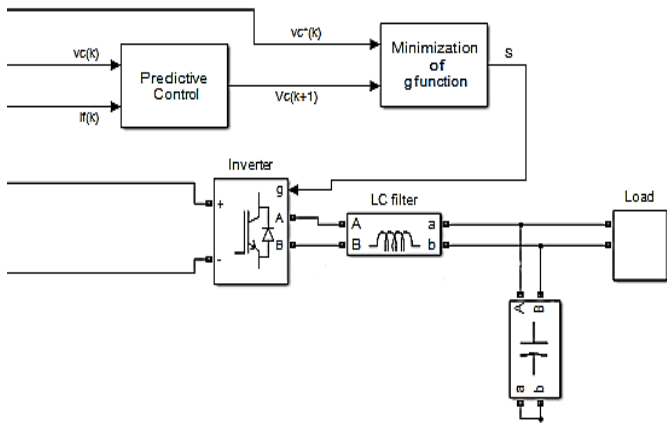
۱.۲. زیر ماژول های PV و مبدل یکپارچه

زیر ماژول متشکل از سلول های PV با استفاده از مدل ایده آل تک دیود مدل سازی شده است [۷]، [۸]. برای یک سلول PV واحد، تابع غیر خطی بین جریان خروجی سلول i_{pvc} و ولتاژ خروجی سلول v_{pvc} داده شده است:

$$i_{pvc}(E, T) = i_{ph}(E, T) - i_s(E, T) \left[e^{\frac{q v_{pvc}}{ak(T_{cs} + \Delta T)}} - 1 \right] \quad (1)$$

² Model Predictive control

دلیل پاسخ سریع دینامیکی مناسب برای کنترل این نوع از سیستم است. می توان آن را در انواع سیستم ها، قیود و حالات غیرخطی، موارد چند متغیره جهت کنترل و با اجرای آسان پیاده سازی و به راحتی گنجانند. رفتار مورد نظر به عنوان یک تابع هزینه از سیستم فرموله شده است که به حداقل برسد. در این کار محدودیت های مهم در اینورتر این است که فقط می تواند تنها هفت بردار خروجی ولتاژ مختلف داشته باشد. در این پروژه اینورتر به عنوان یک سیستم گسسته غیر خطی با تنها هفت بردار ولتاژ مختلف به عنوان خروجی در نظر گرفته شده، با این وجود، با استفاده از تکنیک های مدولاسیون مانند مدولاسیون عرض پالس، اینورتر می تواند به عنوان یک سیستم پیوسته مدل شود. در این طرح کنترل، مدل حلقه باز برای پیش بینی و انتخاب مطلوب استفاده شده که یک افق پیش بین برای بازخورد کنترل فراهم می کند [۶]. این به این معنی است که تنها عنصر اول از دنباله تحریک بهینه اعمال می شود و تمام بهینه سازی دوباره در زمان نمونه برداری محاسبه می شود. بلوک دیاگرام کنترل پیش بینی پیشنهادی برای یک اینورتر تکفاز با خروجی فیلتر LC در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳: بلوک دیاگرام کنترل پیش بین

مدل گسسته در واحد زمان از فیلتر در (۹) برای یک مدت نمونه T_s به دست آمده است. در اینجا اندازه گیری ولتاژ خروجی $v_c(k)$ و جریان فیلتر $i_f(k)$ برای پیش بینی با استفاده از (۹) استفاده می شود.

$$x(k+1) = A_q x(k) + B_q v_i(k) + B_{dq} i_o(k) \quad (9)$$

جاییکه:

$$A_q = e^{AT_s}, B_q = \int_0^{T_s} e^{A\tau} B d\tau, \text{ and } B_{dq} = \int_0^{T_s} e^{A\tau} B_d d\tau.$$

این معادلات به عنوان مدل پیش بینی در کنترل پیش بین پیشنهادی استفاده شده اند.

$$v_{pv} = \frac{1}{C_{pv}} \int (i_{pv} - d_s i_L) dt \quad (7)$$

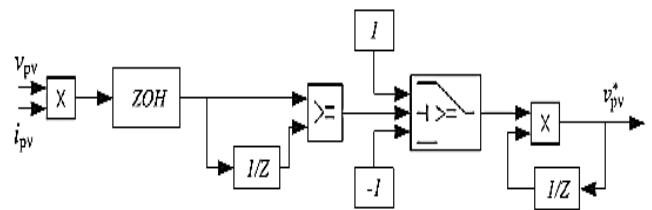
$$v_o = \frac{1}{C_o} \int (i_L - i_o) dt \quad (8)$$

در هر مبدل یکپارچه زیر ماژول، بلوک MPPT ولتاژ عملکرد بهینه زیر ماژول PV V_{MPP} را از طریق اختلال در زیر ماژول PV ولتاژ V_{PV} مرجع تعیین می کند.

در معماری مبدل یکپارچه زیرماژول، MPPT به طور مستقل برای هر زیر ماژول PV انجام می شود. رگولاسیون ولتاژ برای MPPT به دلیل مزایای متعدد آن بر روی اغتشاش مستقیم در سیکل وظیفه اجرا شده است. رگولاسیون ولتاژ سرعت ردیابی سریع تر را فراهم می کند که در [۹] و [۱۰] نشان داده شده است.

۲.۲. توزیع ردیابی حداکثر نقطه توان

برای برنامه های کاربردی مبدل یکپارچه زیر ماژول، یک مشکل عمده با P & O زیر ماژول PV جریان اشباع در سطح اتصال کوتاه جریان است که توسط تغییرات سریع در تابش ایجاد می شود. این نتایج در ناپایداری سیستم و تلفات MPP موقتی است. با استفاده از تنظیم ولتاژ، این مشکل را می توان با محدود کردن ولتاژ زیرماژول PV به ۷۰٪ تا ۸۲٪ از V_{oc} ، برای تمام تغییرات عملی تابش و درجه حرارت محدوده ولتاژ MPP حل کرد [۱۱]. ردیاب MPPT اجرا شده در شکل (۲) نشان داده شده است. ردیاب V_{PV} و I_{PV} ورودی توان مصرفی زیر ماژول PV را محاسبه می کند و منبع ولتاژ، ولتاژ را تنظیم می کند.



شکل ۲: MPPT اجرا شده

۳.۲. استفاده از کنترل پیش بین برای سوئیچینگ

مهمترین مزیت MPC آن است که امکان بهینه سازی بازه زمانی جاری را با در نظر گرفتن بازه زمانی آینده می دهد. این کار با بهینه سازی یک افق زمانی محدود اما اجرای آن تنها در تایم اسلات جاری انجام می گیرد. سیستم استفاده از MPC برای کنترل مبدل قدرت در این مقاله ارائه شده است. این به

جدول ۱: پارامترهای زیرماژول PV

مقدار	پارامترها
406327e-7 (A).4	is
1.43	a
1.3806503*10-23(J/K)	k
1.602176*10-19 (C)	q
298(K)	T
SunPowe SPR-305-WHT	Module type
54.7 (V)	V_{MPPc}
5.58(A)	I_{MPPc}
1	Number of series-connected modules per string
1	Number of parallel strings
5.96	Isc
64.2	Voc
96	Number of cells per module
Model parameters for 1 module	
0.037998	Rs
993.51	Rp
1.1753e-8	Isat
5.9602	Iph
1.3	Qd

جدول ۲: مشخصات مبدل باک

مقدار	پارامتر
5 (mH)	اندوکتانس، L
100 (mΩ)	القاگر ESR
100 (μF)	خازن ورودی Ci
64.2 (V)	ولتاژ ورودی، Vpv
5.96 (A)	جریان ورودی، Ipv
1080(HZ)	فرکانس سوئیچینگ، fsw

جدول ۳: پارامترهای کنترل کننده PID

Ki:-39.6797	Kp:-0.0113
KD:-2.1387× 10 ⁻⁵	

شکل (۴) مدل پیشنهادی از سیستم تحت مطالعه در محیط متلب سیمولینک را نشان می دهد. هر زیر ماژول از ۹۶ سلول تشکیل شده که توان پنل آن ۳۰۵ وات را فراهم می کند به غیر از زیر ماژول چهارم که از سه پنل ۳۰۵ وات تشکیل شده است.

برای مدل سازی الگوی سایه جزئی با در نظر گرفتن ۴ زیر ماژول مقادیر متفاوت تابش در نظر گرفته می شود، همانگونه که در شکل (۵) نشان داده شده است

مقدار ولتاژ خروجی در نمونه برداری آنی بعدی $v_c(K+1)$ برای همه بردارهای ولتاژ ممکن اینورتر تولید می شود.

به منظور به دست آوردن پیش بینی $v_c(K+1)$ از (۹)، تخمینی از جریان خروجی $i_o(k)$ (اندازه گیری نشده) با استفاده از تقریب ساده مشتق در (۱۰) مورد نیاز است.

$$i_o(k-1) = i_f(k-1) - \frac{C}{T_s} (v_c(k) - v_c(k-1)) \quad (10)$$

برای انتخاب v_i بهینه بردار ولتاژ توسط اینورتر پیش بینی به دست آمده برای $v_c(K+1)$ با استفاده از یک تابع هزینه g مقایسه شده است. بردار ولتاژ V_i این تابع را به حداقل می رساند و سپس متناظر با آن تغییر حالت سوئیچینگ انتخاب شده است که تابع هزینه را در لحظه نمونه برداری بعدی به حداقل می رساند.

تابع هزینه g در مختصات متعامد با بیان و رفتار مورد نظر از سیستم برای به حداقل رساندن خطا در ولتاژ خروجی انتخاب می کنیم:

$$g = (v_{ca}^* - v_{ca})^2 + (v_{cb}^* - v_{cb})^2 \quad (11)$$

که در آن v_{ca}^* و v_{cb}^* قسمت حقیقی و موهومی خروجی ولتاژ بردار مرجع v_c^* است، در حالی که v_{ca} و v_{cb} قسمت حقیقی و موهومی بردار پیش بینی خروجی ولتاژ $v_c(K+1)$ می باشد.

این تابع هزینه به منظور به دست آوردن کمترین خطای ولتاژ انتخاب می شود. با این حال، محدودیت های اضافی را می توان در این تابع در نظر گرفت، مانند محدودیت های جریان، کاهش فرکانس سوئیچینگ و شکل دهی طیف.

این استراتژی کنترل را می توان در مراحل زیر خلاصه شده است.

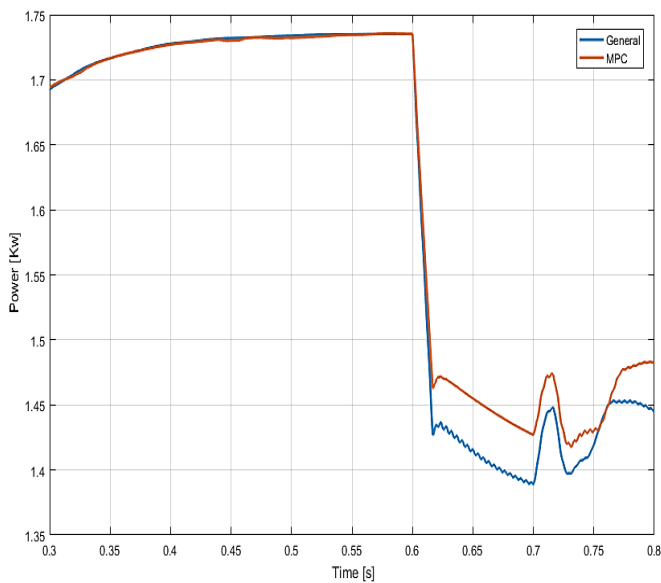
- تعریف یک تابع هزینه g .
- ساخت یک مدل از مبدل و حالات تعویض ممکن آن (سوئیچینگ).
- ساخت یک مدل از سیستم برای پیش بینی

۳. شبیه سازی سیستم

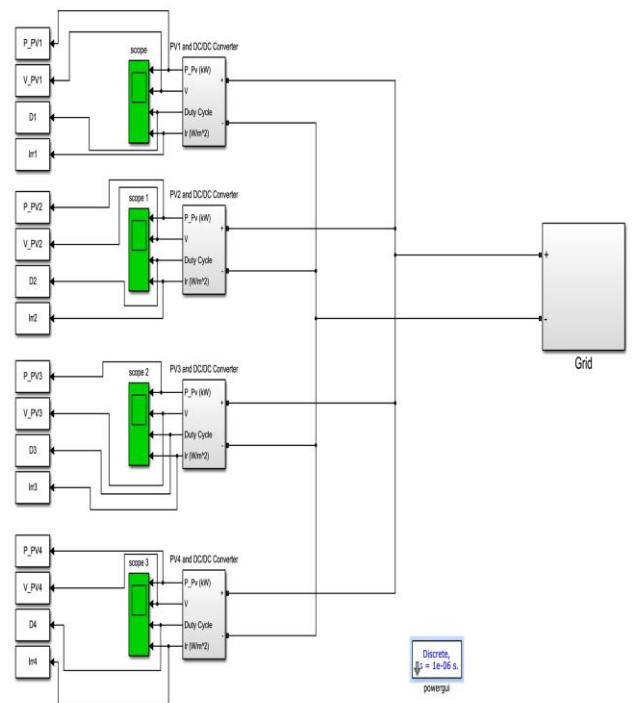
شبیه سازی به منظور بررسی اثربخشی مدل توسعه یافته، تجزیه و تحلیل بهره برداری از سیستم PV مبتنی بر مبدل یکپارچه زیر ماژول با استفاده از کنترل پیش بین جهت ارزیابی عملکرد PV تحت شرایط عدم تطابق انجام شده است. در این مطالعه، پارامترهای زیر ماژول PV در جدول (۱) داده شده است. مشخصات مبدل باک در جدول (۲) و پارامترهای کنترل کننده PID در جدول (۳) ارائه شده است. در این کار نتایج شبیه سازی مدل سوئیچینگ متداول و مدل پیشنهادی با هم مقایسه می شود.

هدف بررسی دقت مدل سازی و سرعت شبیه سازی روش پیشنهادی است. الگوی سایه جزئی، همانطور که در شکل (۵) نشان داده شده است، از پیش تعریف شده و در شبیه سازی سیستم مورد استفاده قرار گرفته می شود. زیرماژول های ۱، ۲، و ۳ تا حدی در سایه هستند در حالی که زیر ماژول ۴ تابش یکنواخت ۱۰۰۰ وات بر متر مربع دریافت می کنند. تابش در ماژول فرعی ۱ اول از ۱ به ۰٫۶ کیلو وات بر متر مربع کاهش می یابد و پس از آن به ۰٫۸ کیلو وات بر متر مربع افزایش می یابد، به ترتیب در ۰٫۶ و ۰٫۷ ثانیه اتفاق می افتد. به طور مشابه، برای زیر ماژول ۲، تابش ۰٫۸ به ۰٫۶ کیلو وات بر متر مربع کاهش و پس از آن به ۱ کیلو وات بر متر مربع افزایش می یابد. برای زیر ماژول ۳، کاهش تابش از ۱ به ۰٫۸ کیلو وات بر متر مربع و پس از آن به ۰٫۶ کیلو وات بر متر مربع کاهش می یابد. توان مجموع ماژول های ۱ تا ۴ از زمان ۰٫۳ تا ۰٫۸ برای دو حالت مختلف کنترل در شکل (۶) نشان داده شده است.

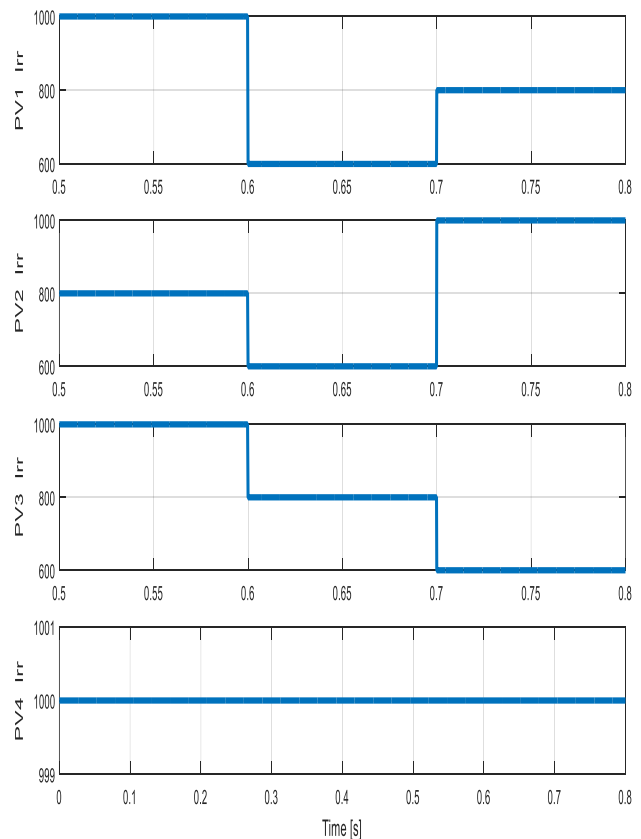
در این حالت به وضوح می توان مشاهده کرد که در زمان هایی که تغییرات ناگهانی در تابش به وجود آمده الگوریتم پیش بین با پیش بینی شرایط پیش از موعد توانسته که به عنوان مثال از افت توان در زمان ۰٫۶۲ ثانیه به ۱٫۴۲۵ کیلو وات جلوگیری کرده و افت توان حدوداً به ۱٫۴۷۵ کیلو وات رسیده است (این افت بدلیل سایه جزئی است) و از اتلاف حدود ۰٫۰۵ کیلو وات جلوگیری کرده است حدود ۵۰ وات در یک ثانیه و متعاقباً می توان این شرایط را از زمان ۰٫۶ تا ۰٫۸ مشاهده کرد. شایان ذکر است که توان تولیدی کل پنل ها حدود ۱٫۸۳ کیلو وات است.



شکل ۶: توان مجموع ماژول های ۱ تا ۴ برای سیستم متداول و کنترل با الگوریتم پیش بین

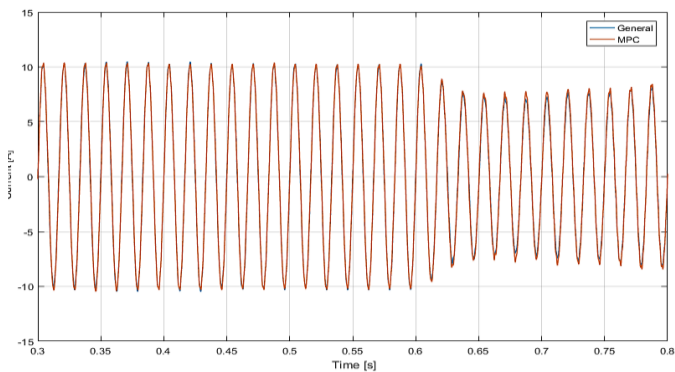


شکل ۴: مدل پیشنهادی از سیستم تحت مطالعه در محیط متلب سیمولینک



شکل ۵: شبیه سازی الگوی سایه جزئی؛ از بالا به پایین: زیر ماژول ۱، زیر ماژول ۲، زیر ماژول ۳، و زیر ماژول ۴

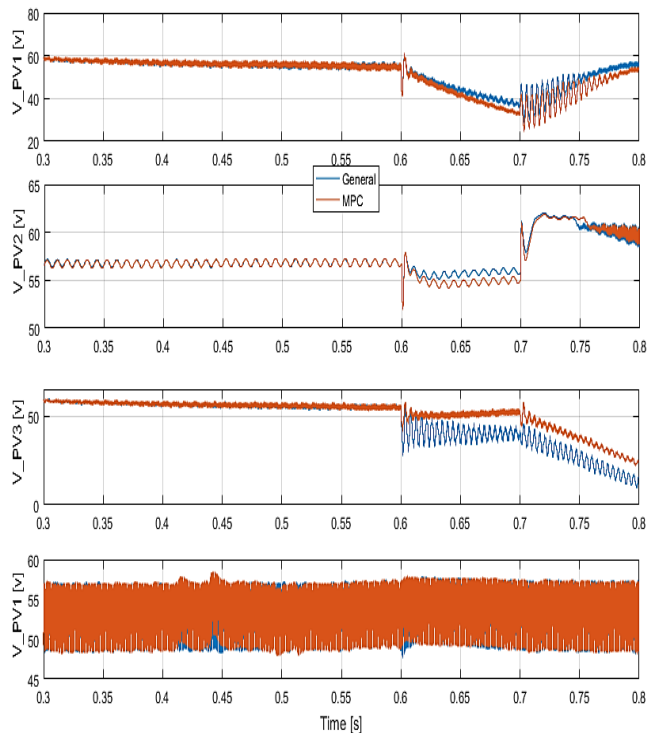
در شکل (۹) نیز تا حدودی جریان شبکه افزایش یافته است که اگر بخوبی در شکل دقت شود در زمان ۰,۶ تا ۰,۸ ثانیه این وضعیت بیشتر مشهود است.



شکل ۹: جریان سمت شبکه تکفاز برای دو حالت مختلف کنترل برای سیستم متداول و کنترل با الگوریتم پیش بین

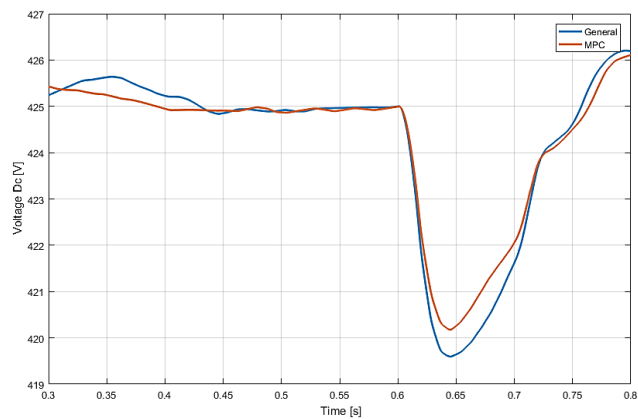
پس با مشاهده نتایجی که تا به اینجا نشان داده شده می توان نتیجه گرفت که الگوریتم کنترل پیش بین استفاده شده برای مبدل DC به AC توانسته که تا حدودی شرایط سیستم را بهبود داده و میزان توان استحصال شده و منتقل شده به شبکه را بهبود دهد.

شکل (۱۰) ولتاژ پنل های ۱ تا ۴ برای شرایط مختلف سیستم تحت سایه جزئی را با دو کنترل متداول و MPC نشان داده است.



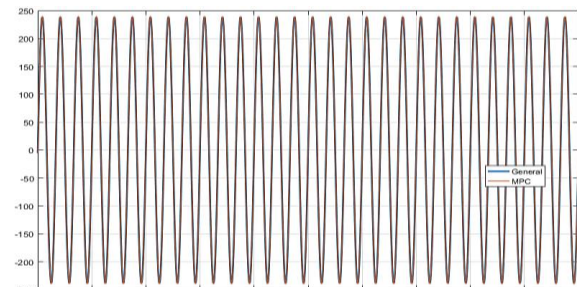
شکل ۱۰: ولتاژ پنل های ۱ تا ۴ برای شرایط مختلف سیستم تحت سایه جزئی را با دو کنترل متداول و MPC

ولتاژ DC لینک مازول های ۱ تا ۴ از زمان ۰,۳ تا ۰,۸ برای دو حالت مختلف کنترل در شکل (۷) نشان داده شده است.

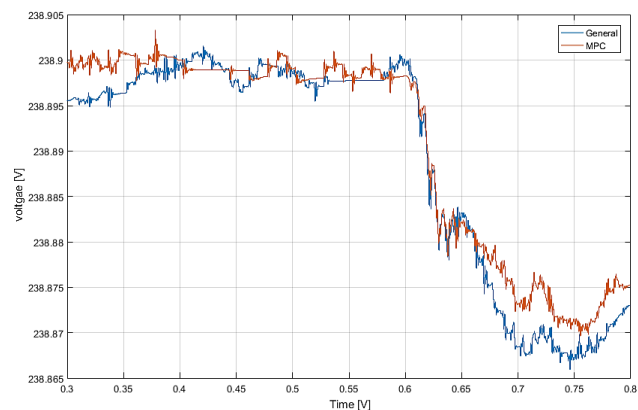


شکل ۷: ولتاژ DC لینک مازول های ۱ تا ۴ برای سیستم متداول و کنترل با الگوریتم پیش بین

ولتاژ سمت شبکه تکفاز برای دو حالت مختلف کنترل در شکل (۸) نشان داده شده است. در شکل های (۸) به خوبی می توان مشاهده کرد که پایداری ولتاژ تا حدودی بهبود یافته است و ولتاژ به ۲۴۰ ولت نزدیکتر است.



(الف)



(ب)

شکل ۸: ولتاژ سمت شبکه تکفاز برای دو حالت مختلف کنترل برای سیستم متداول و کنترل با الگوریتم پیش بین، الف) سینوسی ب) خطی

حالت پایدار را تجربه می کنند. هدف از مدل الگوریتم کنترل پیش بین MPC ردیابی سریع و کاهش تلفات جزئی عملیات سیستم مبدل یکپارچه زیر ماژول است که با مشاهده نتایجی که تا به اینجا نشان داده شد نتیجه می شود که الگوریتم کنترل پیش بین استفاده شده برای مبدل DC به AC توانسته که تا حدودی شرایط سیستم را بهبود داده و میزان توان استحصال و منتقل شده به شبکه را بهبود بخشد. نتایج به دست آمده در سطح قابل قبول بوده و با کاهش تلفات در زمان سایه جزئی همراه می باشد.

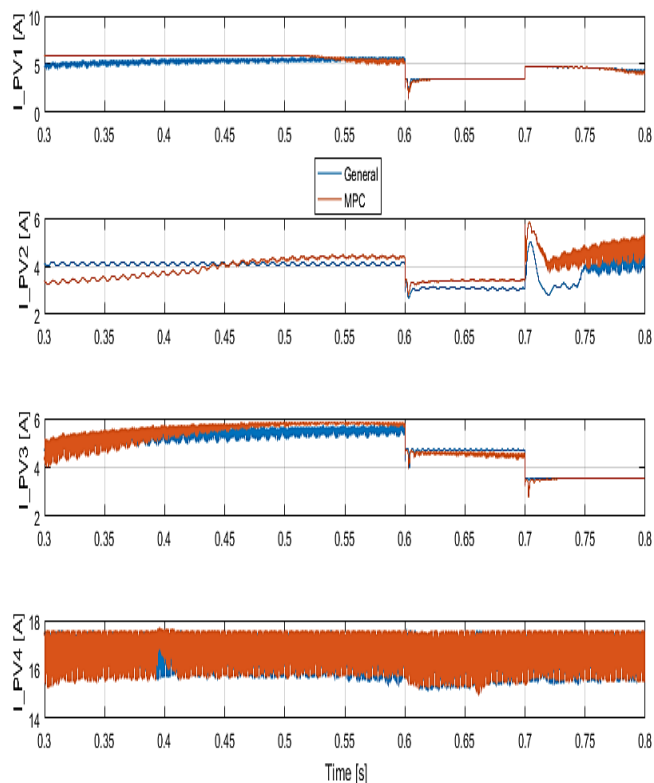
قدردانی

در پایان بر خود لازم می دانم از اساتید فرزانه و فرهیخته ای که در راه کسب علم و معرفت و همچنین کلیه همکارانم در شرکت مدیریت تولید برق خلیج فارس که در انجام این تحقیق بنده را یاری نمودند مراتب سپاس و قدردانی را بجا آورم.

منابع

- [1] A.Choudar, et al., "A local energy management of a hybrid pv-storage based distributed generation for microgrids," Energy Conversion and Management, no.90, pp. 21-33, 2015.
- [2] K.T.Tan,X.Y.Peng,P.L.So,Y.C.Chu, and M.Z.Q.Chen., "Centralized Control for Parallel Operation of Distributed Generation Inverters in Microgrids," IEEE Trans on, Smart Grid, vol. 3, no. 4, pp. 1977-1987, 2012.
- [3] K.T.Tan,P.L.So,Y.C.Chu, and M.Z.Q.Chen., "Coordinated Control and Energy Management of Distributed Generation Inverters in a Microgrid," IEEE Trans on, Power Del,vol. 28, no.2, pp.704-713, 2013.
- [4] B.K.Prusty and Dr S.M.Ali., "Modeling And Control of Grid-Connected Hybrid Photovoltaic / Battery Distributed Generation System," Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics, IJERT, vol.1, no.9, pp.1-10, 2012.
- [5] B.Ozpineci, "Modular Power Converters for PV Applications," Oak Ridge National Laboratory, 2012.
- [6] C. E. Garda, D.M. Preti, and M.Morari., "Model Predictive Control: Theory and Practice a Survey*," Automatica, vol.25, no.3, pp. 335-348, 1989.
- [7] W. Xiao, F. F. Edwin, G. Spagnuolo, and J. Jatskevich, "Efficient approaches for modeling and simulating photovoltaic power systems," IEEE J. Photovoltaics, vol. 3, no. 1, pp. 500-508, 2013.
- [8] Y. Mahmoud, W. Xiao, and H. H. Zeineldin, "A simple approach to modeling and simulation of photovoltaic modules," IEEE Trans. Sustain.Energy, vol. 3, no. 1, pp. 185-186, 2012.
- [9] E. Koutroulis, K. Kalaitzakis, and N. C. Voulgaris, "Development of a microcontroller-based, photovoltaic maximum power point tracking control system," IEEE Trans. Power Electron., vol. 16, no. 1, pp. 46-54, 2001.
- [10] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo, and M. Vitelli, "Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method," IEEE Trans. Power Electron., vol. 20, no. 4, pp. 963-973, 2005.
- [11] W. Xiao, N. Ozog, and W. G. Dunford, "Topology study of photovoltaic interface for maximum power point tracking," IEEE Trans. Ind. Electron.,vol. 54, no. 3, pp. 1696-1704, 2007.

و شکل (۱۱) جریان پل های ۱ تا ۴ برای شرایط مختلف سیستم تحت سایه جزئی را با دو کنترل متداول و MPC نشان داده است.



شکل ۱۱: جریان پل های ۱ تا ۴ برای شرایط مختلف سیستم تحت سایه جزئی را با دو کنترل متداول و MPC

نتیجه گیری

در این تحقیق با توجه به الگوی سایه جزئی، یک روش شبیه سازی کارآمد و سریع برای شبیه سازی سیستم های بر اساس مبدل یکپارچه زیر ماژول PV متصل به شبکه با الگوریتم کنترل پیش بین ارائه شده است. برای نشان دادن اثربخشی مدل پیشنهادی، چندین مورد شبیه سازی انجام گرفته و برای تحقق بخشیدن به پاسخ سیستم در شرایط مختلف سایه جزئی مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به نتایج شبیه سازی به وضوح می توان مشاهده کرد که در زمان هایی که تغییرات ناگهانی در تابش به وجود آمده الگوریتم پیش بین با پیش بینی شرایط پیش از موعد توانسته از افت توان ناشی از سایه جزئی جلوگیری نماید. همچنین پایداری ولتاژ تا حدودی بهبود یافته و ولتاژ به مقدار مرجع نزدیکتر شده است. با این نسخه MPP اختصاصی برای هر زیر ماژول، همیشه خروجی توان حداکثر ممکن است در حالی که جریان خروجی مبدل به دنبال جریان رشته حفظ می شود. در طول سایه جزئی، تمام زیر ماژول های یک مرحله گذرا قبل از قرارگیری در نقاط جدید