

طراحی و کنترل یک سیستم پمپ آب خورشیدی مستقل با یک مبدل بهره بالا

محمد دانشپایه¹، مصطفی شاهنظری²

¹ کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد، یزد، m2daneshpayeh@gmail.com

² استادیار، دانشگاه یزد، یزد، shahnazari@yazd.ac.ir

چکیده

یک سیستم پمپ آب خورشیدی از مجموعه پنل-های فتوولتائیک، سیستم کنترل، موتور الکتریکی و پمپ تشکیل شده است. میزان آب پمپاژ شده علاوه بر توان تجهیزات انتخاب شده به میزان تابش خورشید و کنترل بهینه سیستم بستگی دارد. برای کنترل بهینه و افزایش بهره‌وری سیستم لازم است مبدل و موتور الکتریکی متصل به پمپ به گونه‌ای کنترل شوند که علاوه بر استخراج حداکثر توان از آرایه خورشیدی، موتور الکتریکی نیز شرایط مورد نیاز بار را برآورده نماید. برخلاف موتورهای الکتریکی، پنل‌های فتوولتائیک ولتاژ پایین و جریان بالا دارند. برای رسیدن به ولتاژ نزدیک به ولتاژ نامی موتور باید تعداد بیشتری پنل وات پایین را سری کرد تا برای راهاندازی موتور مناسب باشند. این امر باعث افزایش هزینه و افزایش مساحت مورد نیاز میشود. در این مقاله یک سیستم پمپ آب خورشیدی مبتنی بر مبدل غیرایزوله با بهره بالا پیشنهاد شده و عملکرد آن با مبدل بوست مقایسه شده است. برای ردیابی نقطه توان ماکزیمم سیستم فتوولتائیک از روش هدایت افزایشی و برای کنترل موتور القایی از روش کنترل اسکالر استفاده شده است. سیستم پیشنهادی توانایی کار در تمام شرایط آب‌وهوایی را دارد، پایدار بوده و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است.

واژه های کلیدی

سیستم پمپ آب خورشیدی، سیستم فتوولتائیک، ردیابی نقطه توان حداکثر، کنترل اسکالر، موتور القایی

1- مقدمه

بحران جهانی انرژی در آینده نزدیک [1]، کاهش قیمت سلول‌های خورشیدی، ساخت قطعات الکترونیکی قدرتمند و ریزپردازنده‌ها [2]، باعث شده که پژوهشگران و صنعتگران به فناوری خورشیدی روی آورند. از جمله کاربردهای مختلف انرژی خورشیدی میتوان به سیستم پمپ آب خورشیدی اشاره کرد، که میتواند در مناطق مختلف و دورافتاده استفاده شود [3].

در دراز مدت یک سیستم فتوولتائیک که به درستی طراحی شده باشد در مقایسه با سیستمهای پمپاژ معمولی منجر به صرفهجویی در هزینهها میشود. با توجه به تابش متغیر خورشید، توان خروجی فتوولتائیک بر عملکرد پمپ تاثیر میگذارد و موجب تغییرات دینامیکی در عملکرد پمپ میشود. به منظور دستیابی به طرحی موفق و بهینه و به حداقل رساندن هزینهها باید ویژگیهای دینامیکی سیستم را در نظر گرفت [4و5].

انتخاب موتور نقش زیادی در بازده و قیمت سیستم پمپ آب خورشیدی دارد. یک موتور کارآمد، تعداد مازول های خورشیدی را کاهش داده و به واسطه آن هزینه سیستم را به طور چشمگیری کاهش میدهد. موتورهای DC عمدتاً در سیستم پمپ آب خورشیدی توان پایین استفاده میشوند [6]. این موتورها راندمان پایینی دارند و به دلیل وجود جاروبک و کموتاتور هزینه نگهداری بالایی دارند. در مقایسه با موتورهای DC سیستم پمپ آب خورشیدی مبتنی بر موتور القایی قابل اعتمادتر است و نیاز به تعمیر و نگهداری کمتری دارد. همچنین این موتوها بازده بهتری دارند و گشتاور بیشتری را ارائه میدهند [6و7]. با این حال، موتورهای BLDC، PMSM و موتوهای سوئیچ رلوکتانس نیز برای پمپاژ استفاده میشوند، اما به دلیل قیمت پایینتر و در دسترس بودن موتورهای القایی، عملکرد آنها تحت تاثیر قرار میگیرد [8].

در [9و10] از یک مبدل DC-DC و یک اینورتر برای سیستم پمپ آب خورشیدی استفاده شده است. روش کنترل اسکالر برای پیادهسازی ساده، آسان و مقرون به صرفه است. به غیر از کنترل اسکالر، میتوان از روش کنترل مستقیم گشتاور و کنترل برداری که کمی پیچیده هستند و نیاز به سنسورهای جریان اضافی دارند استفاده کرد [11]. در [12] یک راهحل تک مرحلهای برای سیستم پمپ خورشیدی ارائه شده است. که در آن یک اینورتر دوگانه، یک موتور القایی سیم پیچ انتها باز را تغذیه میکند. در [13] یک راهحل تک مرحلهای برای سیستم پمپاژ آب موتور القایی سه فاز خورشیدی ارائه شده است که دو اینورتر به منظور تولید ولتاژ خروجی سه سطحی برای درایو پمپ القایی استفاده میشود. در [14] از یک مبدل تقویت کننده دو قطبی DC-DC برای

جدول 1: پارامترهای پیل مورد استفاده

پارامتر	مقدار
توان , P_{mp} MPP	65 W
ولتاژ مدار باز, V_{oc}	21.8 V
ولتاژ , MPP V_{mp}	17.6V
جریان اتصال کوتاه, I_{sc}	4.11A
جریان , MPP I_{mp}	3.69 A
دمای عادی عملکرد سلول	$45 \pm 2^\circ C$

افزایش ولتاژ پیلها و یک اینورتر سه برای تبدیل ولتاژ DC به ولتاژ AC استفاده شده است. در [15] یک سیستم پمپ آب خورشیدی مبتنی بر موتور القایی که به صورت هوشمند به شبکه توزیع متصل شده است، ارائه شده است. برای انتقال توان از آرایه خورشیدی به موتور، از یک مبدل تقویت کننده DC-DC استفاده شده که به عنوان یک واحد اصلاح ضریب توان و یک دستگاه رابط شبکه محسوب می-شود.

در این مقاله یک سیستم پمپ آب خورشیدی کارآمد با بازده بالا با موتور القایی پیشنهاد شده است. این سیستم پمپ آب خورشیدی شامل دو مرحله تبدیل انرژی می باشد. شماتیک کلی سیستم پمپ آب مورد نظر در شکل 1 نشان داده شده است. این سیستم شامل یک آرایه فتوولتائیک و یک مبدل بهره بالا DC-DC است که حداکثر توان را از آرایه خورشیدی با کنترل نسبت وظیفه استخراج می-کند. برای بدست آوردن نقطه توان حداکثر از روش هدایت افزایشی (INC) استفاده شده است. از روش کنترل اسکالر برای درایو موتور و کنترل سرعت آن استفاده شده است.

2- طراحی سیستم پیشنهادی

بسته به فاکتورهای انرژی (حجم آب مورد نیاز در ارتفاع مورد نظر) باید پمپ مورد استفاده مشخص شود. پس از مشخص شدن توان موتور، سیستم پمپ آب خورشیدی باید طراحی و کنترل شود.

2-1- طراحی آرایه فتوولتائیک

یک موتور 25/0 اسب بخار برای سیستم پیشنهادی انتخاب شده است. اگر از تلفات پمپ و موتور القایی صرف نظر شود، توان آرایه خورشیدی باید تقریباً برابر توان موتور باشد. توان آرایه خورشیدی 195 وات در نظر گرفته شده است. در اینجا از سه پیل 65 وات استفاده شده

2-2- انتخاب ولتاژ لینک DC

ولتاژ باس لینک DC از رابطه (1) تخمین زده می-شود:

$$m \times \frac{V_{DC}}{2\sqrt{2}} = \frac{V_L - L}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

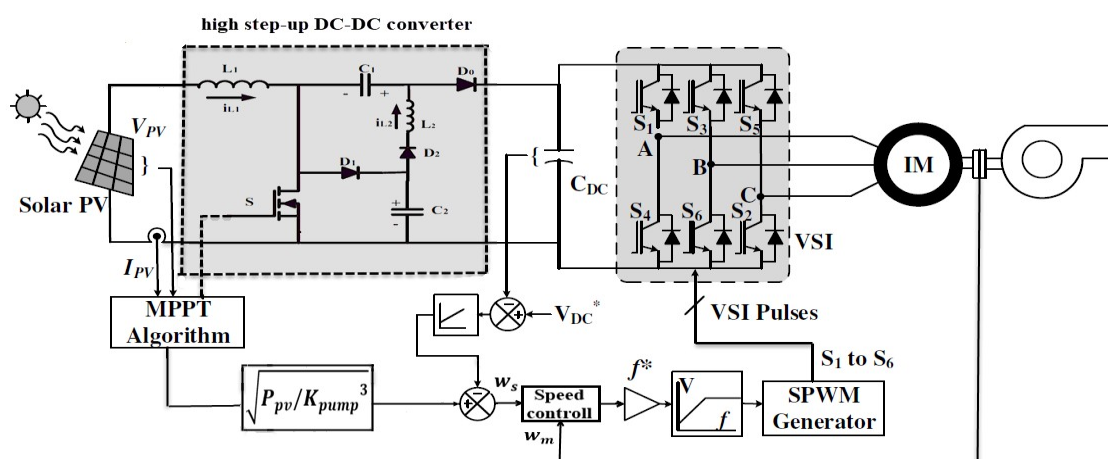
که m ضریب مدولاسیون و ولتاژ خط در ترمینال موتور است که در اینجا داریم:

$$V_{DC} = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times 120 = 195$$

زمانی که ضریب مدولاسیون یک باشد، ولتاژ لینک DC را 200 ولت انتخاب می کنیم [16].

2-3- طراحی مبدل موردنظر

به دلیل قابلیت و بازده کم مبدل های DC-DC معمولی ولتاژ آرایه فتوولتائیک باید نزدیک به لینک DC انتخاب شود. لذا استفاده از مبدلی با بهره بالا میتواند منجر به کاهش هزینه و فضای فیزیکی شود. در مبدل های ایزوله با تنظیم نسبت دور



است مشخصات پیل در جدول 1 آمده است. با توجه به اینکه جریان هر یک از پیلها از جریان نامی

شکل 1: بخشهای مختلف سیستم پمپ آب خورشیدی

موتور بیشتر است و نیاز به افزایش ولتاژ لینک DC است هر سه پیل به صورت سری به هم متصل شده است.

ترانسفورماتور ولتاژ خروجی و بهره ولتاژ افزایش مییابد. اما این مبدلها به دلیل تلفات

ترانسفورماتور و سلف ناشی راندمان پایینی دارند و قیمت افزایش مییابد. مبدل های غیرایزوله معمولی هم در عمل توانایی افزایش ولتاژ تا چند برابر را ندارند و معمولاً بهره پایینی دارند و باید از مبدل های

که:

(9)

$$\Delta V_c = \left(\frac{V_{in}}{1-d} \right) \times 10\% = \left(\frac{52.8}{1-0.58} \right) \times 0.1 = 12.57$$

که I_0 جریان خروجی و V_{in} ولتاژ ورودی است.

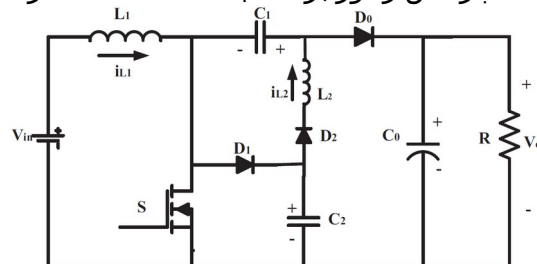
4-2- انتخاب خازن لینک DC

خازن لینک DC با استفاده از رابطه (10) بدست میآید که f_s فرکانس کاری، P_0 توان خروجی، V_0 ولتاژ خروجی و ΔV_0 رپل ولتاژ خروجی (رپل ولتاژ خروجی یک درصد ولتاژ خروجی در نظر گرفته شده است) است [19].

$$C_0 = \frac{P_0}{4\pi f_s V_0 \Delta V_0} = \frac{200}{4 \times \pi \times 50 \times 200 \times 2} = 800 \mu F \quad (10)$$

5-2- طراحی پمپ

برای پمپ انتخاب شده، ثابت پمپ که توان و سرعت سیستم را تحت تاثیر قرار میدهد از رابطه (11) بدست میآید. T_L گشتاور پمپ آب که برابر گشتاور موتور القایی در حالت کار دائمی و w_r سرعت چرخش رتور بر حسب rad/sec است. از آنجا



که گشتاور و سرعت نامی موتور 6184/0 N.m و rpm 2880 است. ثابت پمپ برابر است با [16]:

$$K_{pump} = \frac{T_L}{w_r^2} = \frac{0.6184}{(301.6)^2} = 6.7985 \times 10^{-6} \quad (11)$$

3- طرح کلی کنترل سیستم پیشنهادی

همانطور که گفته شد از یک روش دو مرحله‌ای تبدیل توان برای کنترل سیستم پمپ آب خورشیدی استفاده شده است. از روش کنترل اسکالر برای درایو موتور و از روش هدایت افزایشی برای ردیابی نقطه توان حداکثر آرایه خورشیدی استفاده شده است. کنترل اسکالر به دلیل محاسبات کمتر نسبت به روش کنترل برداری و کنترل مستقیم گشتاور ساده‌تر و پیاده‌سازی آن راحت‌تر است. ولتاژ و جریان آرایه‌ی خورشیدی برای محاسبات روش هدایت افزایشی اندازه‌گیری میشود. بر اساس تغییر توان نسبت وظیفه مبدل تغییر میکند. سرعت موتور از توان مازول خورشیدی و کنترل کننده PI محاسبه می‌شود. الگوریتم کنترل اسکالر، منطق سوئیچینگ را برای اینورتر منبع ولتاژ (VSI) با مدلاسیون پهنای پالس سینوسی تولید میکند.

بهره بالا که قابلیت افزایش ولتاژ تا چند برابر را داشته باشند استفاده کرد [17 و 18].

در اینجا از یک مبدل غیرایزوله بهره بالا برای بالا بردن ولتاژ در نسبت وظیفه پایین استفاده شده است. این مبدل ترکیبی از مبدل سبیک و بوست است. مزایای این مبدل بهره ولتاژ بالا، افت ولتاژ پایین، ولتاژ پایین قطعات نیمه هادی، اجزای کم و کنترل آسان است. مبدل موردنظر باید توان 200 وات را انتقال دهد و ولتاژ 53 ولت را به 200 ولت تبدیل کند. مدار الکتریکی مبدل موردنظر در شکل 2 نشان داده شده است. مبدل شامل یک سوئیچ اصلی S، سلف‌های L_1 و L_2 ، دیودهای D_1 ، D_2 و D_3 ، دو خازن C_1 و C_2 و یک خازن خروجی C_0 است. نسبت وظیفه از رابطی زیر بدست میآید [19].

(3)

$$d = \frac{V_0 - V_{in}}{V_0 + V_{in}} = \frac{200 - 52.8}{200 + 52.8} = 0.582$$

ولتاژ سوئیچ S و دیودهای D_0 و D_1 برابر با ولتاژ خازن C_1 است.

$$V_S = V_{D1} = V_{D0} = \frac{V_{in}}{1-d} = \frac{52.8}{1-0.58} = 125.7$$

(4)

شکل 2: دیگرام مدار مبدل موردنظر

ولتاژ دیود D_2 (V_{D2}) برابر است با اختلاف ولتاژ خروجی V_0 و ولتاژ خازن V_{C2} است.

$$V_{D2} = V_0 - V_{C2} = 200 - 125.7 = 74.3 \quad (5)$$

که V_S ولتاژ سوئیچینگ و V_{D0} و V_{D1} و V_{D2} ولتاژهای دیود هستند.

سلفهای L_1 و L_2 توسط رپلهای جریان ورودی $(\Delta i_1, \Delta i_2)$ طراحی میشود.

(6)

$$L_1 = \frac{V_{in} \times d}{f \times \Delta i_1} = \frac{52.8 \times 0.58}{31000 \times 5} = 196 \mu H$$

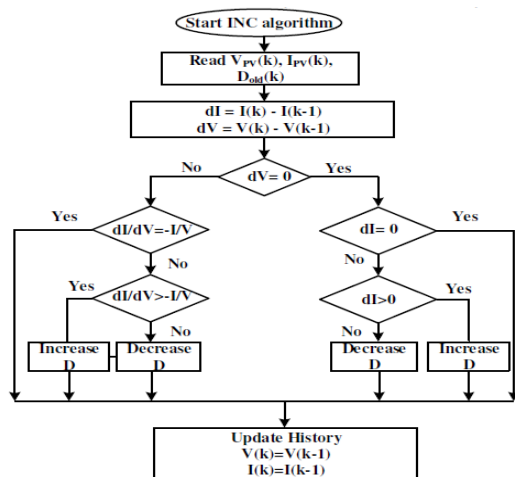
(7)

$$L_2 = \frac{V_{C2} \times (1-d)}{f \times \Delta i_2} = \frac{125.7 \times (1-0.58)}{31000 \times 7} = 243.3 \mu H$$

که f فرکانس سوئیچینگ و d نسبت وظیفه و V_{C2} ولتاژ خازن C_2 است. خازنهای C_1 و C_2 با استفاده از رپل ولتاژ برابر (ΔV_c) طراحی میشود، که ده درصد ولتاژ نامی ورودی است و از رابطه (8) بدست می‌آید:

(8)

$$C_1 = C_2 = \frac{I_0}{f \Delta V_c} = \frac{1.02}{31000 \times 12.57} = 2.59 \mu F$$



اگر ولتاژ لینک DC بالاتر از مقدار مرجع باشد، کنترل کننده PI باعث افزایش سرعت مرجع برای کنترل اسکالر میشود و بالعکس. خطای ولتاژ لینک DC از رابطه زیر بدست میآید:

$$V_{DCr} = V_{DC}^* - V_{DC} \quad (12)$$

خروجی کنترلکننده PI ولتاژ لینک DC از رابطه زیر بدست میآید:

$$w_{DCr(n)} = w_{DCr(n-1)} + K_p \{V_{DCr(n)} - V_{DCr(n-1)}\} + K_i V_{DCr(n)} \quad (13)$$

سرعت مرجع از توان پنل خورشیدی و از رابطه زیر محاسبه میشود:

$$w_p = \sqrt[3]{P_{PV} / K_{pump}} \quad (14)$$

شکل 3: فلوچارت روش هدایت افزایشی

که K_{pump} ثابت پمپ است. فرکانس مرجع موتور از رابطه زیر بدست میآید:

$$f^* = \frac{1}{2\pi} (w_p - w_{DCr})$$

(15)

یک کنترل دیگر روی موتور وجود دارد که اختلاف فرکانس مرجع و فرکانس واقعی موتور را به یک کنترلکننده داده که خروجی کنترلکننده فرکانس لغزش است و با فرکانس واقعی موتور جمع میشود. فرکانس بهدست آمده فرکانس سنکرون است که اینورتر باید موتور را در این فرکانس بچرخاند [16].

$$f = (f^* - f_m) * PI + f_m$$

(16)

3-1- روش هدایت افزایشی برای MPPT

در هر لحظه، نقطه کار به امپدانس بار متصل به ترمینال آرایه بستگی دارد. مبدل DC-DC برای ردیابی نقطه کار بر روی منحنی PV استفاده می-شود. الگوریتمهای متعددی برای ردیابی نقطه توان حداکثر وجود دارد. بیشترین استفاده را الگوریتم انحراف و مشاهده و هدایت افزایشی دارد که شامل تغییر گام در ولتاژ مرجع یا نسبت وظیفه به مبدل DC-DC و نظارت بر توان خروجی است.

سیستم با تغییر تابش با چندین مشکل مواجه می-شود. در اینجا از روش هدایت افزایشی برای ردیابی

نقطه توان حداکثر استفاده شده است. روش هدایت افزایشی با تغییرات تابش خورشیدی عملکرد دینامیکی بسیار بهتری دارد. ثابت زمانی مکانیکی موتور بسیار مهمتر از ثابت زمانی الکتریکی کل سیستم است. شکل 3 دیگرام روش هدایت افزایشی را نشان میدهد. روش هدایت افزایشی بر اساس شیب منحنی توان بر حسب ولتاژ آرایه عمل میکند. در سمت راست MPP، شیب منفی است در حالی که در سمت چپ شیب مثبت است. در نقطه-ای که حداکثر توان از آرایه منتقل میشود، شیب منحنی صفر است. با تغییر در تابش، I_{PV} به شدت تغییر میکند، در حالی که V_{PV} ثابت باقی میماند.

3-2- کنترل اسکالر (V/f) موتور القایی

کنترل اسکالر موتور القایی رایجترین روش کنترل موتور است. معمولاً موتورهای القایی برای فرکانس 50 هرتز طراحی میشوند. برای عملکرد با سرعت پایین، فرکانس باید کاهش یابد. کنترل فرکانس همراه با کنترل ولتاژ برای عملیات شار ثابت لازم است. ولتاژ باید متناسب با فرکانس باشد به طوری که اندازهی شار به صورت $\Psi_s = \frac{V}{\omega}$ ثابت

نگه داشته شود. موتورهای القایی معمولاً با اینورتر PWM سینوسی تغذیه میشوند. تنها پارامتر ورودی سرعت مرجع است. با صرفنظر از سرعت لغزش کوچک، سرعت موتور تقریباً برابر با سرعت مرجع است. با انتگرالگیری از سرعت مرجع، θ بدست می-آید که برای ولتاژ سینوسی سه فاز استفاده میشود که با موج دندان ارهای با فرکانس بالا مقایسه می-شود تا پالسهای سوئیچینگ برای VSI تولید شود. مرجع سرعت براساس طرح کنترل، همانطور که در بخش قبلی ذکر شده است، تخمین زده میشود.

$$\theta = \int \omega^* dt$$

(17)

ولتاژ سه فاز مرجع برابر است با:

$$V_a^* = m \times \sin(\theta)$$

(18)

$$V_b^* = m \times \sin(\theta - 120^\circ)$$

(19)

$$V_c^* = m \times \sin(\theta - 240^\circ)$$

(20)

که m ضریب مدولاسیون و برابر با $m = k_f \omega^*$

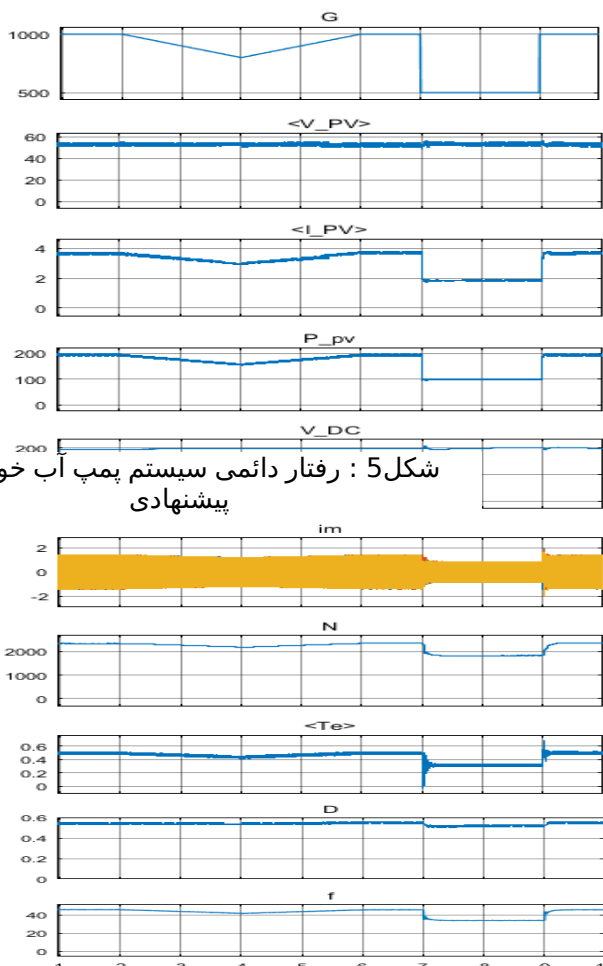
است.

4- نتایج شبیهسازی

سیستم پمپ آب خورشیدی پیشنهادی دو مرحله-ای با مبدل موردنظر در سیمولینک متلب شبیهسازی و مورد ارزیابی قرار گرفته است. به منظور عملکرد رضایت بخش سیستم در شرایط دینامیکی، تغییر تابش خورشیدی در شبیهسازی درنظر گرفته شده است.

شکل 4 پارامترهای مختلف سیستم پمپاژ پیشنهادی با مبدل موردنظر با تابش $w/m^2 1000$ را نشان میدهد. در همان ابتدا ردیابی نقطه توان حداکثر فعال است و با فرض اولیه نسبت وظیفه 58/0 شروع به کار کرده، زیاد شده و سرعت موتور افزایش مییابد. جریان آرایه از صفر شروع می شود و در انتها به جریان نامی میرسد. به دلیل وجود کنترل کننده PI ولتاژ لینک DC به ولتاژ مرجع میرسد. از شکل جریان تایید میشود که جریان موتور هرگز بیش از جریان نامی نمیشود. این عمل طول عمر موتور را بهبود میبخشد (ضرایب کنترل کننده PI برای مبدل موردنظر $k_p=1.9$ و $k_i=2.45$ است).

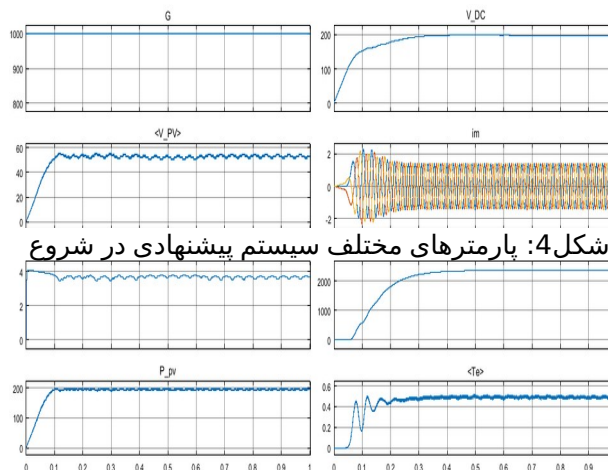
4-1- عملکرد پایدار و دینامیکی سیستم پیشنهادی رفتار دائمی سیستم پمپ آب خورشیدی پیشنهادی در شکل 5 نشان داده شده است. تغییرات شکل و رفتار سیستم بخاطر تغییر تابش خورشید است. از $t=1$ ثانیه تا $t=2$ تابش خورشیدی ثابت و $w/m^2 1000$ است. در $t=2$ ، یک کاهش در تابش خورشید به منظور آزمایش الگوریتم MPPT شبیه-



شکل 5: رفتار دائمی سیستم پمپ آب خورشیدی پیشنهادی

سازی شده است. ولتاژ آرایه با تغییر ناچیز مواجه میشود در حالیکه جریان آرایه متناسب با تابش خورشید تغییر میکند. علاوه بر این ولتاژ لینک DC بدون تغییر در ولتاژ مرجع 200 ولت ثابت نگه داشته میشود. سرعت و گشتاور موتور با کاهش توان آرایه کاهش مییابد و تا $t=4$ ثانیه ادامه مییابد، و از آن به بعد تابش خورشیدی افزایش مییابد. همانند رفتار

قبلی، جریان آرایه متناسب با تابش خورشیدی شروع به افزایش میکند، در حالی که ولتاژ زیاد تغییر نمیکند. در نتیجه، توان در دسترس از منبع خورشیدی با سرعت و گشتاور موتور به صورت رمپ افزایش مییابد. از $t=6$ ثانیه، سیستم در حالت پایدار با تابش خورشیدی $w/m^2 1000$ کار میکند. به دلیل کاهش تابش خورشیدی از $w/m^2 1000$ به $w/m^2 500$ در ثانیه $t=7$ ، جریان آرایه به سرعت کاهش مییابد. با این حال ولتاژ آرایه تغییر چندانی نمیکند. ولتاژ باس DC به صورت گذرا اندکی تغییر میکند، اما به سرعت به ولتاژ مرجع بازگردانده میشود (قابل توجه است



شکل 4: پارامترهای مختلف سیستم پیشنهادی در شروع

که در تابش 500، ولتاژ DC حتی با کاهش 50٪ در قدرت نامی حفظ میشود). به طور مشابه تابش خورشیدی در $t=9$ ثانیه به صورت ناگهانی افزایش مییابد. ولتاژ باس DC در مقدار مرجع ثابت نگه داشته میشود در حالی که هیچ تغییر قابل توجهی در ولتاژ PV وجود ندارد. سرعت موتور و گشتاور متناسب با توان دریافتی از منبع افزایش مییابد.

مشاهده میشود وقتی تابش خورشیدی تغییر میکند سیستم پایدار باقی میماند. این سیستم در تمام شرایط آب و هوایی توانایی کار کردن دارد و با کاهش تابش خورشید سرعت و گشتاور موتور کاهش مییابد و موتور پایداری خود را حفظ میکند. همچنین الگوریتم هدایت افزایشی هر لحظه نقطه توان حداکثر را ردیابی میکند و حداکثر توان را انتقال میدهد. با توجه به نتایج شبیهسازی مشاهده میشود رپل جریان و ولتاژ آرایه در سیستم پمپ آب خورشیدی پیشنهادی کم است. همچنین مبدل موردنظر در نسبت وظیفه کمتر قابلیت افزایش ولتاژ مشابه با مبدل بوست را دارد.

5- نتایج

سیستم پمپ آب خورشیدی هم با مبدل مورد نظر و هم با مبدل بوست طراحی و شبیهسازی شده است و نتایج آن با هم مقایسه شده است. با تغییر تابش خورشیدی سیستم پایداری خود را حفظ میکند. رپل جریان و ولتاژ آرایه در مبدل موردنظر نسبت به مبدل بوست کمتر است. در شکل 6 نشان داده شده است که رپل گشتاور موتور در سیستم با مبدل مورد نظر نسبت به رپل گشتاور با مبدل بوست، کمتر است. در شکل 7 مشاهده میشود نسبت وظیفه مبدل موردنظر در مقایسه با مبدل

بوست کمتر است و مبدل موردنظر در نسبت وظیفه کمتر قابلیت افزایش ولتاژ مشابه با مبدل بوست را دارد. شکل 8 ولتاژ سوئیچ در سیستم پیشنهادی با مبدل موردنظر و مبدل بوست را نشان میدهد که ولتاژ سوئیچ در سیستم پیشنهادی کمتر است (شکل قرمز مربوط به سیستم پیشنهادی است).

شکل 6: ریل گشتاور در سیستم پیشنهادی با مبدل موردنظر و مبدل بوست

شکل 7: نسبت وظیفه در سیستم پیشنهادی با مبدل موردنظر و مبدل بوست

شکل 8: ولتاژ سوئیچ در سیستم پیشنهادی با مبدل موردنظر و مبدل بوست

6- ضمیمه

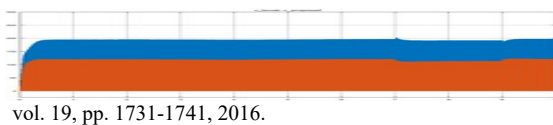
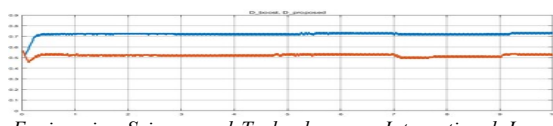
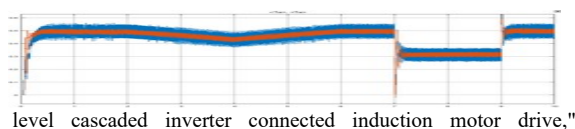
پارامترهای موتور:

پارامتر	مقدار	واحد
توان	5.186	w
ولتاژ نامی	120	volt
سرعت نامی	2880	rpm
گشتاور نامی	6/3	Nm
مقاومت سیم پیچی استاتور	1/10	ohm
اندوکتانس سیم پیچی استاتور و رتور	30	mH
مقاومت سیم پیچی رتور	612/7	ohm
تعداد جفت قطب	1	-

7- مراجع و منابع

- [1] C. Jain and B. Singh, "An adjustable DC link voltage-based control of multifunctional grid interfaced solar PV system," *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 5, pp. 651-660, 2016.
- [2] A. A. A. Radwan and Y. A.-R. I. Mohamed, "Power synchronization control for grid-connected current-source inverter-based photovoltaic systems," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 31, pp. 1023-1036, 2016.
- [3] A. K. Mishra and B. Singh, "A single stage solar PV array based water pumping system using SRM drive," in *2016 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, 2016, pp. 1-8.
- [4] M. M. Shebani and T. Iqbal, "Dynamic Modeling, Control, and Analysis of a Solar Water Pumping System for Libya," *Journal of Renewable Energy*, vol. 2017, 2017.
- [5] P. E. Campana, H. Li, and J. Yan, "Dynamic modelling of a PV pumping system with special consideration on water demand," *Applied energy*, vol. 112, pp. 635-645, 2013.
- [6] S. Chandel, M. N. Naik, and R. Chandel, "Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 49, pp. 1084-1099, 2015.
- [7] V. C. Sontake and V. R. Kalamkar, "Solar photovoltaic water pumping system-A comprehensive review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 59, pp. 1038-1067, 2016.

- [8] R. Antonello, M. Carraro, A. Costabeber, F. Tinazzi, and M. Zigliotto, "Energy-efficient autonomous solar water-pumping system for permanent-magnet synchronous motors," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 64, pp. 43-51, 2016.
- [9] F. Karbakhsh, M. Amiri, and H. A. Zarchi, "Two-switch flyback inverter employing a current sensorless MPPT and scalar control for low cost solar powered pumps," *IET Renewable Power Generation*, vol. 11, pp. 669-677, 2016.
- [10] Y. Yao, P. Bustamante, and R. Ramshaw, "Improvement of induction motor drive systems supplied by photovoltaic arrays with frequency control," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 9, pp. 256-262, 1994.
- [11] A. Achour, D. Rekioua, A. Mohammadi, Z. Mokrani, T. Rekioua, and S. Bacha, "Application of direct torque control to a photovoltaic pumping system with sliding-mode control optimization," *Electric Power Components and Systems*, vol. 44, pp. 172-184, 2016.
- [12] S. Jain, R. Karampuri, and V. Somasekhar, "An integrated control algorithm for a single-stage PV pumping system using an open-end winding induction motor," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 63, pp. 956-965, 2016.
- [13] C. Ramulu, P. Sanjeevikumar, R. Karampuri, S. Jain, A. H. Ertas, and V. Fedak, "A solar PV water pumping solution using a three-



- vol. 19, pp. 1731-1741, 2016.
- [14] J. V. M. Caracas, G. D. C. Farias, L. F. M. Teixeira, and L. A. D. S. Ribeiro, "Implementation of a high-efficiency, high-lifetime, and low-cost converter for an autonomous photovoltaic water pumping system," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 50, pp. 631-641, 2014.
- [15] U. Sharma, B. Singh, and S. Kumar, "Intelligent grid interfaced solar water pumping system," *IET Renewable Power Generation*, vol. 11, pp. 614-624, 2016.
- [16] B. Singh, U. Sharma, and S. Kumar, "Standalone photovoltaic water pumping system using induction motor drive with reduced sensors," *IEEE transactions on industry applications*, vol. 54, pp. 3645-3655, 2018.
- [17] Y.-S. Wong, J.-F. Chen, K.-B. Liu, and Y.-P. Hsieh, "A novel high step-up DC-DC converter with coupled inductor and switched clamp capacitor techniques for photovoltaic systems," *Energies*, vol. 10, p. 378, 2017.
- [18] M. del Rosario Rivera-Espinosa, A. Y. Alejandre-López, J. E. Pedraza-Barrón, P. M. García-Vite, and H. R. Robles-Campos, "A high step-up DC-DC converter with MPPT for PV application," in *2017 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)*, 2017, pp. 1-6.
- [19] S. Saravanan and N. R. Babu, "Analysis and implementation of high step-up DC-DC converter for PV based grid application," *Applied Energy*, vol. 190, pp. 64-72, 2017.