

طراحی و امکان سنجی زاویه بهینه نیروگاه ۲۰ کیلو واتی متصل به شبکه در شهر تهران جهت

دریافت حداکثر تابش خورشید با استفاده از نرم افزار PVsyst

آعلیرضا سیادتان، دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب

تهران، ایران

Siadatan@wtiau.ac.ir

احمد کریمی، دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه خاتم

تهران، ایران

karimi@irrea.ir

چکیده:

در این مقاله به ارائه روشی بهینه برای مطالعات فنی و امکان سنجی احداث نیروگاه فتوولتاییک متصل به شبکه با ظرفیت ۲۰ کیلو وات به منظور طراحی و زاویه بهینه با توجه به مختصات جغرافیایی محل احداث نیروگاه ارائه می شود، آرایه های PV و اینورتر یکی از تجهیزات اصلی در این زمینه هستند. انتخاب ظرفیت، چیدمان و زاویه مناسب سبب افزایش بهره وری راندمان نیروگاه از تابش انرژی خورشیدی و نیز کاهش هزینه و تلفات می گردد. ابتدا با توجه به موقعیت جغرافیایی محل احداث نیروگاه، آرایش آرایه های فتوولتاییک، جهت اشغال کمتر مساحت زمین و نیز رعایت کردن فاصله لازم بین آرایه های PV و نصب زاویه بهینه برای سهولت تعمیر و نگهداری، عدم سایه اندازی و زاویه بهینه PV ها برای دریافت حداکثر تابش خورشید انجام می شود.

کلید واژه: انرژی خورشیدی، زاویه بهینه، سیستم فتوولتاییک، PVsyst.

۲- مبانی فیزیکی و مدل ریاضی PV

سلول PV با مواد نیمه هادی ساخته شده است که می تواند تابش خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل کند. بر اساس نظریه الکترونیک اتصال نیمه هادی نوع p-n، می توان آن را با یک منبع جریان توصیف کرد. مدل مدار معادل سلول PV در شکل (۱) نشان داده شده است. این مدار شامل منبع ایده آل جریان I_{ph} موازی، دیود معکوس، مقاومت سری R_s و مقاومت موازی هر $[R_{sh}]$ است [4].

I_{ph} جریان تولیدی PV نسبت به تابش خورشید و درجه حرارت است. هرچه تابش قوی تر باشد، I_{ph} نیز بیشتر خواهد بود. کاراکتر خروجی یک سلول PV به شکل زیر توضیح داده شده است:

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(u + iR_s)}{AKT}\right) - 1 \right] - \frac{(u + iR_s)}{R_{sh}} \quad (1)$$

I_0 جریان اشباع معکوس سلول PV است که عمدتاً به دما بستگی دارد (مقدار آن 10^{-4} آمپر است)، q بار الکتریکی الکترون ($1.6 \times 10^{-19} C$) است، T درجه حرارت سلول PV است، K ثابت بولتزمن ($1.38 \times 10^{-23} J/K$) است، A ضریب ایده آلی است (۱/۲ برای Si-mono)، I جریان خروجی سلول PV، U

۱- مقدمه

سلول های خورشیدی یکی از امید بخش ترین منابع انرژی تجدید پذیر را ارائه می دهند. اگرچه سیستم های PV در مقایسه با منابع انرژی قدیمی به دلایل بهره وری پایین و هزینه ی بالا، با چالش های مهمی رو به رو هستند. علاوه بر این نمایش های PV غیر خطی هستند، و قدرت خروجی PV به دمای محیط سلول PV، تابش خورشید، عدم سایه اندازی و زاویه بهینه PV بستگی دارد. در شرایط تابشی یکنواخت خورشید و برای شرایط آب و هوایی یکسان قدرت خروجی PV نتیجه ی عملکرد ولتاژ پایانی آن است. معمولاً پنل های متعددی به چند مجموعه یا ترکیبات موازی متصل می شوند تا به بار مورد نیاز دست پیدا کنند [1].

قسمت اعظم انرژی فتوولتاییک به صورت سیستم های متصل به شبکه مورد استفاده قرار می گیرد. سیستم های متصل به شبکه فتوولتاییک در کنار سایر منابع تولید پراکنده به منزله نیروگاه های کوچک، انرژی الکتریکی را به شبکه تزریق می کنند. با توجه به بالا بودن هزینه اولیه ساخت نیروگاه های فتوولتاییک طراحی بهینه اجزای اصلی نیروگاه با در نظر گرفتن مسائل مالی، قابلیت اطمینان و استفاده بهینه از مساحت زمین نیروگاه امری ضروری است. در این مقاله به طراحی بهینه نیروگاه، انتخاب مدل آرایه PV، اینورتر و زاویه بهینه حداکثر توان (MPP) دریافتی از خورشید با استفاده از نرم افزار PVsyst مورد بررسی قرار می گیرد [1-2].

ولتاژ خروجی سلول PV، R_s و R_{sh} مقاومت های معادل مربوط به درجه حرارت هستند [1].

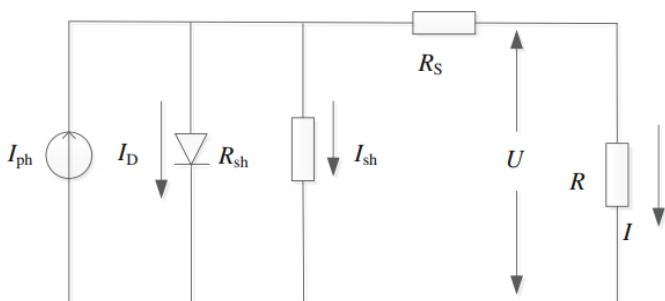
اگر چه رابطه (۱) به طور گسترده ای در تجزیه و تحلیل تئوری سلول های PV مورد استفاده قرار گرفته است، اما بیان پنج پارامتر از جمله I_{ph} ، I_0 ، R_{sh} ، R_s و A در معادله ظاهر می شوند، نه تنها مربوط به درجه حرارت و میزان اشباع است. اما تعیین آنها ایجاد دشواری و ناراحتی در برنامه مهندسی است، بنابراین ساده سازی زیر را انجام می دهیم.

- با توجه به اینکه R_{sh} بسیار بزرگ است و I_{sh} تاثیر کمی بر جریان معکوس دارد، بنابراین می توانیم ارزش

$$V + IR_s / R_{sh}$$

- جریان I_{ph} را برابر با I_{sc} تنظیم می کنیم، زیرا R بسیار کوچک است.

- تعریف شرایط مدار باز $U = U_{oc}$ ، $I = I_m$ و $U = U_m$ در MPP.



شکل ۱: مدل مدار معادل سلول PV

بنابراین معادله مشخصه خروجی سلول PV می تواند به صورت زیر بیان شود:

$$i = I_{sc} \left\{ 1 - C_1 \left[\exp\left(\frac{u}{C_2 U_{oc}}\right) - 1 \right] \right\} \quad (2)$$

که در آن C_1 و C_2 را می توان به عنوان توصیف کرد.

$$C_1 = \left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}}\right) \exp\left(-\frac{U_m}{C_2 U_{oc}}\right) \quad (3)$$

$$C_1 = \left(\frac{I_m}{I_{oc}} - 1\right) / \ln\left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}}\right) \quad (4)$$

که U_m ولتاژ MPP برای مدل PV است و ولتاژ مدار باز است. از آنجا که $u \in [0, U_{oc}]$ ، توان خروجی آرایه PV است:

$$p(u) = u I_{sc} \left\{ 1 - C_1 \left[\exp\left(\frac{u}{C_2 U_{oc}}\right) - 1 \right] \right\} \quad (5)$$

کارایی سلول های PV نه تنها به مقاومت داخلی شنت، بلکه به تابش، دمای آرایه و بار نیز بستگی دارد. در اینجا، $I_{sc,ref}$ ، $U_{oc,ref}$ ، U_m,ref و I_m,ref را به عنوان پارامترهای PV تحت شرایط استاندارد قرار می دهیم، به عنوان مثال تابش $S_{ref} = 1000$ W / m² و دمای وضعیت $T_{ref} = 25$ درجه سانتی گراد، سپس I_{sc} ، U_{oc} ، I_m و U_m را می توان با روابط زیر نشان داد [3].

$$I_{sc} = I_{sc,ref} \cdot \frac{S}{S_{ref}} (1 + a \cdot \Delta T) \quad (6)$$

$$U_{oc} = U_{oc,ref} \cdot \ln(e + b \cdot \Delta T) (1 - c \cdot \Delta T) \quad (7)$$

$$I_m = I_m,ref \cdot (1 + a \cdot \Delta T) \quad (8)$$

$$U_m = U_m,ref \cdot \ln(e + b \cdot \Delta T) (1 - c \cdot \Delta T) \quad (9)$$

جایی که $DT = (T - T_{ref})$ ، $DS = (S / S_{ref} - 1)$ و مقادیر معمول a ، b ، c را می توان به ترتیب با عنوان $0.025 / (W/m^2)$ ، $0.028 / (C)$ و 0.5 معرفی کرد. همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است، با تغییر حالت شرایط، ویژگی خروجی سلول PV نیز تغییر خواهد کرد.

۱-۲- انتخاب مدل ماژول

برند ماژول، با توجه به بررسی های به عمل آمده، JA Solar 270 w Poly و از یک شرکت کره ای انتخاب شده است. باید توجه داشت توان انتخاب شده پنل ها بنا به دلایلی نظیر کاهش قیمت برای هر وات ماژول، کاهش مساحت اشغال شده، سهولت تعمیر و نگهداری، کاهش اتصالات آرایه PV ها، کاهش وزن PV ها در روند انتخاب نیروگاه های بزرگ، معمولاً توان بالاتر از ۳۰۰ وات انتخاب می شود [8-15].

همچنین در شکل (۱) و (۲) به ترتیب منحنی مشخصه ولتاژ-جریان PV و ابعاد پنل انتخابی، برای این ماژول آورده شده است. جدول ۱: مشخصات فنی ماژول JA Solar 270 w Poly در

شرایط استاندارد

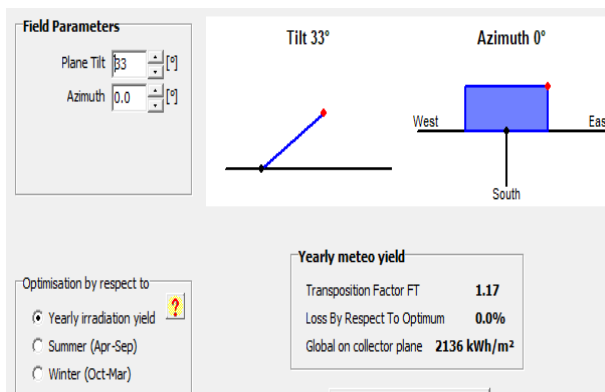
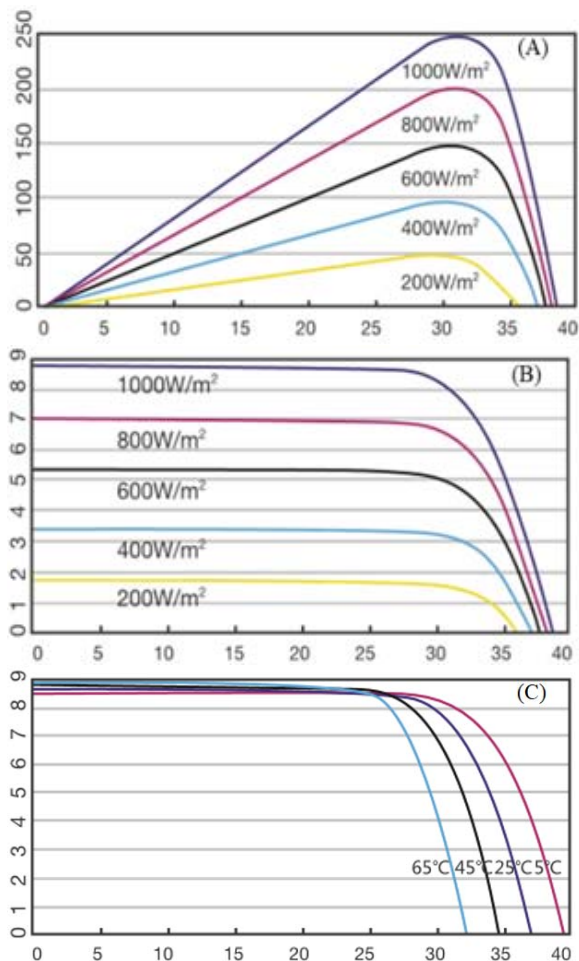
نوع ماژول	پلی کریستالی
توان در نقطه بیشینه (W)	۲۷۰
جریان اتصال کوتاه (A)	۹/۱۶
جریان در نقطه توان بیشینه (A)	۸/۶۳

۳۸/۳۰	ولتاژ مدار باز (V)
۳۱/۲۹	ولتاژ در نقطه بیشینه (V)
۱۸/۴۹	بازده (%)

شکل ۳: ابعاد ماژول انتخاب شده برحسب میلی‌متر

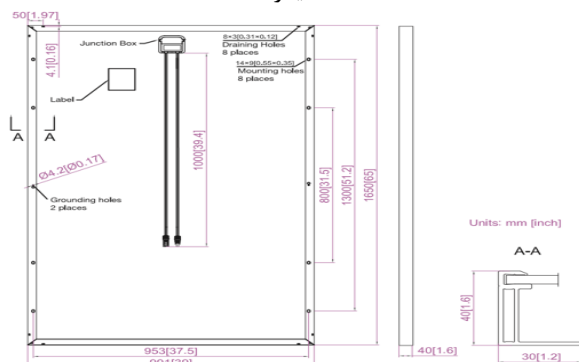
۲-۲- انتخاب زاویه بهینه آرایه

در این مقاله، پنل‌های فتوولتاییک برای شهر تهران، با عرض $۳۵/۴۴$ طول جغرافیایی $۵۱/۱۴$ و شیب بهینه نصب PV ها به کمک داده‌های نرم افزار PVSyst نتایج نشان داده شده در شهر تهران، با نصب زاویه ۳۳ درجه رو به جنوب باعث می‌شود میزان تابش دریافتی سالیانه از خورشید، ۸ درصد نسبت به تابش افقی افزایش یابد [5]. مقدار تابش خورشید از $۱۸۳۳/۱ \text{ kWh/m}^2$ با انتخاب زاویه بهینه به مقدار ۲۱۳۶ kWh/m^2 افزایش خواهد یافت با تغییر فصلی شیب پنل (4 بار در سال)، این افزایش به 11 درصد خواهد رسید که در این حالت تقریباً بیشترین میزان تابش ممکن جذب خواهد شد.



شکل ۴: انتخاب زاویه بهینه در جهت حداکثر انرژی دریافتی از خورشیدی

شکل ۲: منحنی (A) ولتاژ - توان، منحنی (B) ولتاژ - جریان، منحنی (C) تغییرات تابش خورشید در دمای 25 درجه سانتیگراد



تعداد شاخه‌های موازی - ۱

۳- انتخاب مدل اینورتر

برای یک نیروگاه ۲۰ KW می‌توان از اینورترهای با مدل‌های متفاوت استفاده کرد. یکی از شرکت‌های معتبر در طراحی و ساخت اینورترها شرکت SMA آلمان می‌باشد [10]. برای طراحی این نیروگاه می‌توان از یک مدل اینورتر Sunny Tripower با توجه به این برند نرم‌افزار Sunny Design به منظور شبیه‌سازی و آرایش String‌ها استفاده کرد.

در نهایت برای طراحی نیروگاه ۲۰ kw به چهار شاخه موازی با سطح ولتاژ یکسان مورد نیاز می باشد که بصورت زیر نمایش داده می شود.

String Voltage for input A : $19 \times 38/30 = 727/7 < 800$ ok

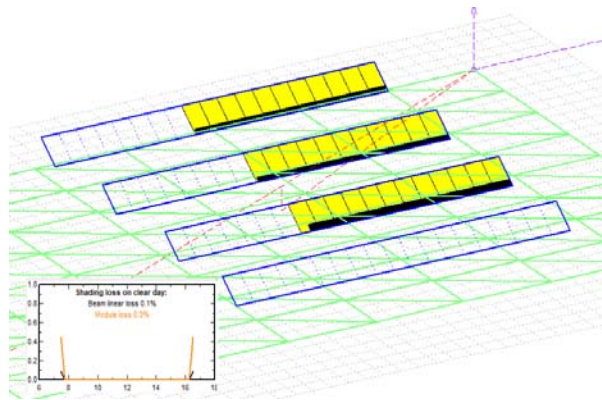
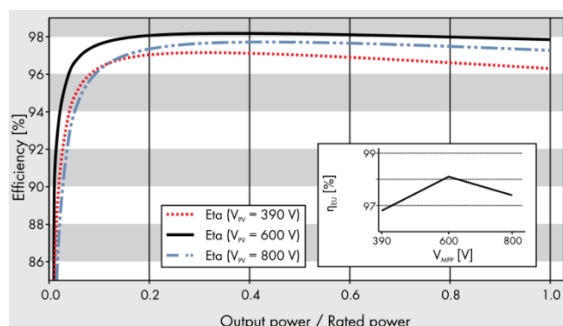
همانطو که مشاهده می شود، سطح ولتاژ شاخه های موازی انتخاب شده از لحاظ شرایط فنی نیز صحیح می باشد.

۳-۱- چیدمان آرایه های فتوولتاییک در نیروگاه

در این قسمت بعد از انتخاب تجهیزات نحوه قرار گرفتن از لحاظ عدم سایه اندازی مورد بررسی قرار می گیرد. همانطو که در شکل ۶ مشاهده می شود [7]. آرایش آرایه ها به اینورتر به صورت ۴ شاخه موازی ۱۹ تایی می باشد، با توجه به نقشه سه بعدی در نرم افزار PVsyst چیدمان پنل ها به صورت زیر می باشد [6].

جدول ۲: مشخصات فنی اینورتر Sunny Tripower 20000 در شرایط استاندارد

Max. DC power (cos $\phi = 1$)	20440 W
Max. input voltage	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	320 V to 800 V / 600 V
Min. input voltage / start input voltage	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	33 A / 33 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:3; B:3



شکل ۶: نحوه چیدمان پنل ها و مقدار سایه اندازی نیروگاه

شکل ۵: حالات انتخاب و چیدمان اینورترهای با سطح ولتاژ

استاندارد با برند شرکت SMA

در این قسمت با توجه به نوع ماژول و اینورتر انتخاب شده، باید نحوه ایجاد توان لازم را بررسی کرد.

- ✓ اینورتر: یک عدد ۲۰ کیلوواتی
- ✓ توان ماژول: 270 W
- ✓ تعداد ماژول: ۷۶ عدد
- ✓ تعداد String ها: ۴ عدد

تعداد ماژول های مورد نیاز:

$$N_{pv} = \frac{20\text{kw}}{270\text{w}} = 74/04 \approx 76$$

تعداد ماژول های موازی در هر رشته:

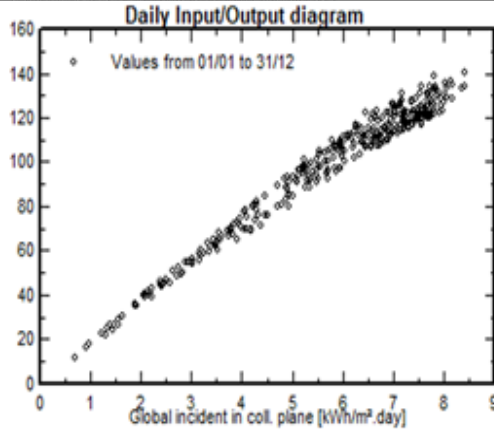
$$N_{st} = \frac{76}{4} = 19$$

ولتاژ تولید شده در هر شاخه موازی:

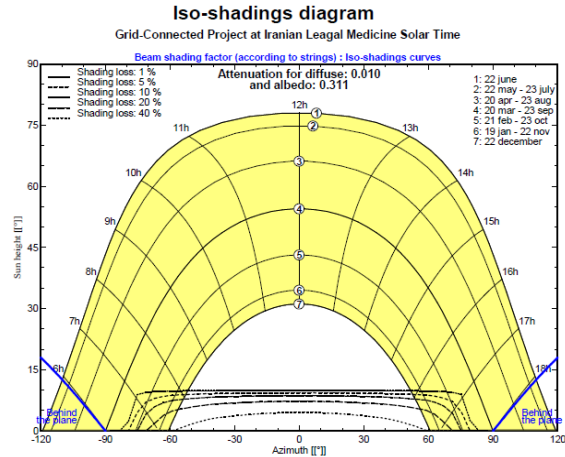
$$P_{vmax} = 19 \times 38/30 = 727/7 \text{ V}$$

۴- مطالعات فنی نیروگاه با استفاده از نرم افزار PVsyst

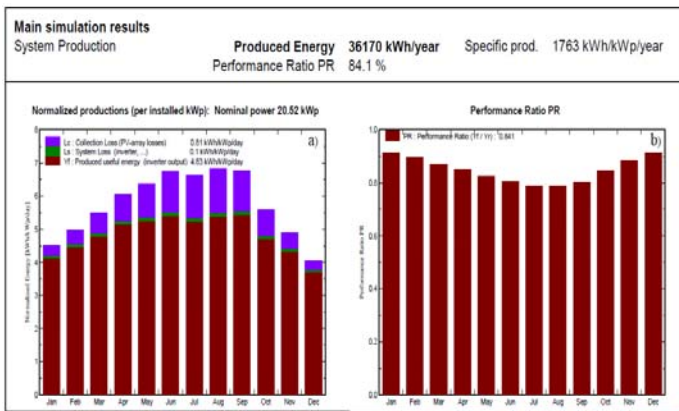
در این حالت، بعد از اعمال شرایط بهینه بدست آمده با نرم افزار مطالعات استخراج شده. که در نمودار زیر مشاهده می شود، مربوط به مقدار تولید و تزریق توان به شبکه می باشد که به دلیل افزایش میزان دریافت انرژی بر واحد مترمربع در زاویه نصب بهینه ۳۳ درجه شکل گرفته را نشان می دهد [11].



شکل ۷: مقدار تولید و تزریق توان به شبکه

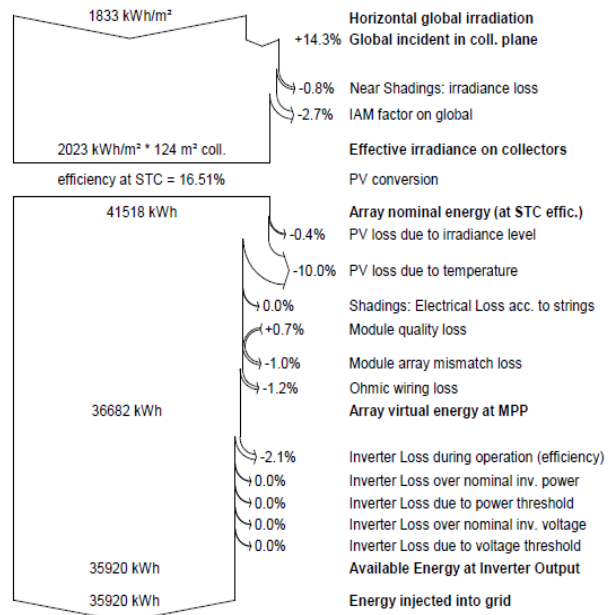


شکل ۹: نمودار تلفات سایه اندازی



شکل ۸: (a) نمودار ماهانه تلفات انرژی دریافتی و تجهیزات، (b) تولید توان نیروگاه در ماه های مختلف سال

در شکل (8-a) دو گروه تلفات به ازای انرژی تولید شده توسط PV ها در خروجی اینورتر در سیستم به صورت میانگین تلفات در طول یک ماه مشاهده می شود. که در ماه های گرم سال به دلیل گرمای محیط و تابش بیشتر خورشید این تلفات بیشتر است [14]. شکل (8-b) نشان دهنده ضریب عملکرد نیروگاه در طول یک سال می باشد که در این مقاله، میانگین راندمان سالانه آن به ۸۴ درصد رسیده است و در حالت کلی، بهترین حالت آن بین ۸۰ تا ۹۱ درصد می باشد که از تقسیم میزان انرژی تزریق شده به شبکه به میزان انرژی دریافتی از سوی PV ها به دست می آید [16].



شکل ۱۰: شماتیک تلفات کل نیروگاه از تابش خورشید تا تزریق انرژی به شبکه

شماتیک تلفات کل سیستم از زمان دریافت انرژی تابش خورشید در واحد سطح افق تا میزان تزریق کل انرژی به شبکه را در مدت یک سال نشان می دهد که ۱۰٪- بیشترین تلفات به علت راندمان پانل ها در شرایط استاندارد و درجه حرارت محیط می باشد [12-13]. دریافت انرژی مجموعه پانل ها ۴۱۵۱۸ کیلو وات ساعت در مجموعه نیروگاه بوده که پس از کسر تلفات سیستمی به ۳۵۹۲۰ کیلو وات ساعت در زمان تزریق به شبکه رسیده است.

در این مقاله، روشی اجرایی برای انتخاب بهینه طراحی نیروگاه فتوولتائیک با در نظر گرفتن شرایط تجهیزات آرایه ها نظیر ولتاژ و توان خروجی، و همچنین محدوده ولتاژ و جریان ورودی اینورتر پیشنهاد شد. از میان حالت های گوناگون موجود برای آرایش اینورتر های نیروگاه، آرایش انتخابی با در نظر گرفتن مواردی نظیر استفاده بهینه از مساحت زمین، کمترین هزینه و قابلیت اطمینان بالا انتخاب شده. بنابراین در آرایش آرایه های فتوولتائیک شیب بهینه پنل ها برای افزایش راندمان نیروگاه از پتانسیل انرژی خورشیدی موجود با استفاده از نرم افزار PVSyst محاسبه و در طراحی شد. همچنین این مزرعه در ۴ رشته با ۱۹ پنل با اشغال مساحتی در حدود 180 متر مربع طراحی و راندمان این سایت خورشیدی حدود ۸۴/۱٪ می باشد. همچنین تزریق سالانه توان به شبکه سراسری این نیروگاه با استفاده از شبیه سازی نرم افزار PVSyst معادل ۳۶/۱۷۰ مگا وات ساعت انرژی می باشد.

منابع

- [1] F. Katiraei et al., "Investigation of Solar PV Inverters Current Contributions during Faults on Distribution and Transmission Systems Interruption Capacity," Western Protective Relay Conference, Spokane, Outubro 2012
- [2] D. Bejmert e T. S. Sidhu, "Short-circuit Current Contribution from Large Scale PV Power Plant in the Context of Distribution Power System Protection," Present Problems of Power System Control, Wroclaw, vol. 2, p.85-96. Primavera 2012.
- [3] B. Palmintier et al, "On the Path to SunShot: Emerging Issues and Challenges in Integrating Solar with the Distribution System," Golden, National Renewable Energy Laboratory, Maio 2016.
- [4] C. Keles, B. B. Alagoz, M. Akcin, A. Kaygusuz, A. Karabiber, "A photovoltaic system model for MATLAB/Simulink simulation," in 4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, IEEE POWERENG'13, Istanbul, Turkey, 13-17 May 2013, pp.1643-1647.
- [5] Md. Habib Ullah, Tamzidul Hoque, Md Musaddaql Hasib, "Current status of renewable energy sector in bangladesh and a proposed grid connected hybrid renewable energy system," Intl. J. of Advanced Renewable Energy Research 2012, vol. 1, no. 11, pp.618-627.
- [6] Benela, R. Arulbel, and K. Jamuna. "Design of charging unit for EV's using solar power." Information Communication and Embedded Systems (ICICES), 2013 International Conference on. IEEE, 2013.
- [7] Huang, Pei-Hsing, Jenn-Kun Kuo, and Zong-Dain Wu. "Applying small wind turbines and a photovoltaic system to facilitate electrolysis hydrogen production." International Journal of Hydrogen Energy 41.20 (2016): 8514-8524.
- [8] Yadav, P. Kumar, N. Chandel, S.S., "Simulation and performance analysis of a 1kWp photovoltaic system using PVsyst", Computation of Power, Energy Information and Communication (ICCPEIC), 2015 International Conference on, On page(s):03580363.
- [9] S.Bouacha,A.Arab,N.Belhaouas,S.Semaoui,M.Haddadi, "Modeling and Simulation of 1MW Grid Connected Photovoltaic System", The 2nd International Conference on Power Electronics and their applications djelfa on 29-30 march 2015 Algeria.
- [10] Agência Nacional de Energia Elétrica. (2017, 20 Nov.). Matriz Energética Elétrica [Online]. Available: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>

[11] ANEEL, "Nota Técnica n 0056/2017", ANEEL, Brasília, Brasil, 2017.

[12] E.B.Pereira et al., Atlas Brasileiro de Energia Solar : Cenários e aplicações de energia solar ed.2. São José dos Campos: INPE,2017.

[13] A. Mermoud. PVsyst. (2017) [Online]. Available: <http://www.pvsyst.com/en/download>

[14] SKELION. Trimble, Inc., 2016 [DVD-ROM].

[15] Trimble Incorporation. Sketchup Make. (2017) [Online]. Available: <https://www.sketchup.com/download/make>

[16] G. Romani, "Impactos da tarifa de energia elétrica sobre a viabilidade de instalação de sistemas fotovoltaicos". Post-Grad thesis, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, Paraná, Brazil, 2015.