

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



PROPOSAL

پروپوزال

مركز آموزش
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی



مركز آموزش
روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی

کارگاه آنلاین
روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی



ISI
Scopus

مركز آموزش
آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترکیه های جستجو

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترکیه های جستجو

تحلیل خطای اتصال کوتاه زمین در یک سیستم خورشیدی و ارائه یک طرح حفاظتی ساده جهت تشخیص محل خطا

(مطالعه موردی: نیروگاه ۱۱۰ کیلوواتی الهیه)

مهدی علومی بایگی^۱، محمد مهدی عربشاهی^۱

۱- شرکت برق منطقهای خراسان

۲- دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده — با توجه به اهمیت استفاده از انرژی خورشیدی به عنوان یک انرژی تجدیدپذیر، کاربرد این انرژی در مصارف خانگی و نیروگاهی روز به روز در حال افزایش است. در رابطه با سیستمهای خورشیدی، نکتهای که کمتر به آن پرداخته شده، مباحث مربوط به حفاظت پنهانهای خورشیدی بوده است. در این مقاله با استفاده از استانداردهای موجود در زمینه سیستمهای خورشیدی و مشخصات پنهانهای خورشیدی، تحلیل کامل خطای اتصال کوتاه زمین ارائه شده است. در انتهای مقاله نیز با استفاده از تحلیل ارائه شده، طرح حفاظتی سادهای برای قطع جریان اتصال کوتاه و تشخیص محل خطا در نیروگاه خورشیدی الهیه، ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی — انرژی خورشیدی، خطای زمین، پنل خورشیدی، حفاظت اتصال کوتاه

برای طراحان، کارخانجات سازنده و سازمانهای استانداردسازی، چالشهایی را به همراه داشته است. این نیازها سبب شده که بسط و توسعه استانداردهای حفاظتی در زمینه تأسیسات سیستمهای خورشیدی مطرح و مدنظر قرار گیرد. در این زمینه مطابق با استاندارد IEC 62109-1 [۱]، حفاظت سیستمهای خورشیدی متفاوت با استاندارد تأسیسات الکتریکی میباشد. سیستمهای خورشیدی از دو بخش اصلی پنهانهای خورشیدی و اینورتر تشکیل میشوند. هر پنل خورشیدی شامل مجموعه‌ای از ماژولهای خورشیدی به صورت سری و موازی هستند که هر ماژول از سلولهای خورشیدی کوچک تشکیل شده است.

تولید برق با استفاده از انرژی خورشیدی یک فرآیند بسیار مطمئن میباشد، مادامی که به شکل مناسب و مطلوبی حفاظت گردد. امروزه فیوزها و تجهیزات حفاظتی امواج صاعقه و اضافه ولتاژ گذرای شبکه، اغلب مؤثرترین روشهای حفاظت تجهیزات الکتریکی در یک سیستم خورشیدی هستند.

در این مقاله با استفاده از استانداردهای موجود در زمینه سیستمهای خورشیدی و مشخصات پنهانهای خورشیدی، تحلیل کامل خطای اتصال کوتاه زمین ارائه شده است. در انتهای مقاله نیز با استفاده از تحلیل ارائه شده، طرح حفاظتی سادهای برای قطع جریان اتصال کوتاه و تشخیص محل خطا در نیروگاه خورشیدی الهیه، ارائه شده است.

۱. مقدمه

با افزایش هزینه انرژی سوختهای فسیلی و اثرات نامطلوب زیست محیطی آنان، تأکید و تمرکز بر روی انرژیهای تجدیدپذیر، مزیتهای مطلوبی را حاصل نموده و در همین راستا، نصب سیستمهای خورشیدی رشد سریعی را در سالهای اخیر تجربه نموده است. شرایط خاص مرتبط با پارامترهای جریان، ولتاژ و درجه حرارت محیط محل نصب این سیستمها،

اینورترهای خورشیدی، اغلب از ترانسفورماتور استفاده می‌شود که می‌تواند عایق گالوانیکی بین پنل‌های خورشیدی و شبکه ایجاد نماید.

۲. آنالیز خطای اتصال زمین در یک سیستم

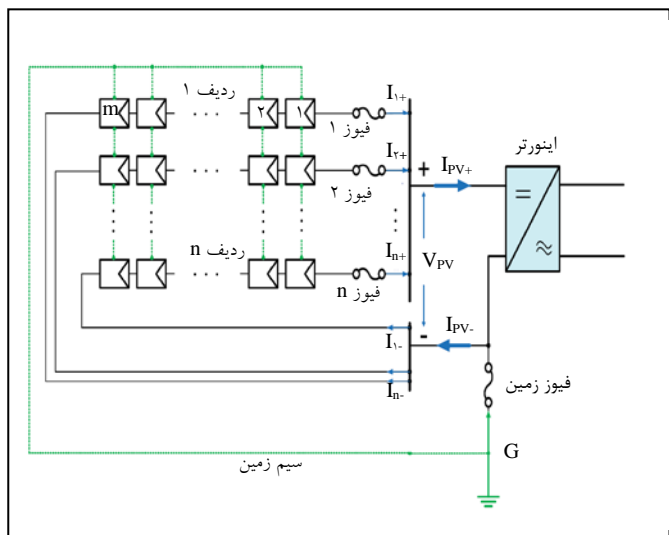
خورشیدی

اتصال زمین در صفحات خورشیدی، یک حادثه اتصال کوتاه الکتریکی است که زمین و یک یا تعداد بیشتری از هادی‌های حامل جریان را درگیر می‌کند. پس از بروز خطای زمین در صفحات خورشیدی بر اثر قوس‌هایی که در محل خطا ایجاد می‌شود، ایمنی افراد با مخاطره مواجه خواهد شد. اگر خطا و اتصالی بشکل مطلوب و مناسبی رفع نشود، قوس بوجود آمده ممکن است باعث آتشسوزی و تخریب تجهیزات شود.

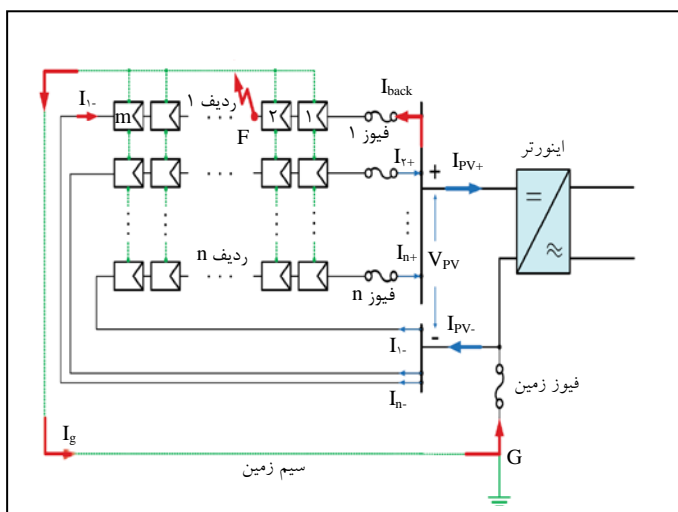
بخشهای اصلی یک سیستم خورشیدی متصل به شبکه، در شکل ۱ نشان داده شده است. این سیستم شامل تعدادی پنل خورشیدی، یک اینورتر، سیمکشی و تعدادی المان حفاظتی می‌باشد. جهت حفاظت در برابر جریان اتصال کوتاه، لازم است که محفظه پنل‌ها زمین شوند. بطور کلی بر اساس استاندارد و الزامات حفاظتی سیستم‌های خورشیدی، سیستم‌هایی که ولتاژ کاری آنها بالاتر از ۵۰ ولت باشد، باید توسط اتصال محکم و سخت زمین گردند. برای تحقق این امر، معمولاً باس منفی از طریق یک فیوز به زمین متصل می‌شود [۲].

آرایه خورشیدی نشان داده شده در شکل ۱، دارای n ردیف منظم پارالل شده و در هر ردیف دارای m پنل سری شده می‌باشد. تحت شرایط نرمال، هر یک از پنل‌های سری شده در قالب یک ردیف منظم، جریان تولید می‌کنند. اگر پنل‌ها از نظر الکتریکی همگی یکسان و مشابه باشند و در شرایط محیطی یکسانی کار کنند، جریان ردیف‌ها یکسان خواهد بود $(I_{1+} = I_{2+} = \dots = I_{n+})$. همچنین مجموع جریان جاری شده به خارج از پنل‌های خورشیدی (I_{pv+}) با جریان داخل شده به صفحات (I_{pv-}) برابر خواهد بود. در شرایط عادی جریان عبوری از سیم زمین برابر صفر است.

اکنون شکل ۲ را در نظر می‌گیریم که یک اتصال زمین در ردیف ۱ و پس از دومین پنل را نشان می‌دهد. این خطا می‌تواند بر اثر اتصال کوتاه بین هادی ردیف اول و بدنه پنل زمین شده رخ دهد. در اثر ایجاد این خطا عدم توازن الکتریکی و عدم تناسب جریان میان پنل‌ها بوجود می‌آید. در حالت کلی هر پنل خورشیدی، ردیف پنل یا آرایه خورشیدی، در هر شرایطی از جمله شرایط اتصال کوتاه، دارای یک مشخصه ولتاژ - جریان و یک نقطه قدرت ماکزیمم یکتا می‌باشد. ضمناً فرض شده است که فقط پنل‌های خورشیدی منبع جریان خطا هستند. دلیل این امر نیز این است که در سیستم



شکل ۱: آرایه خورشیدی تحت شرایط نرمال



شکل ۲: آرایه خورشیدی تحت شرایط اتصال کوتاه زمین

همانطور که در شکل ۲ مشخص است، پس از خطا در ردیف ۱، فقط دو پنل قابل بهره برداری باقی مانده اند و بقیه پنل‌ها بوسیله دو نقطه زمین F و G اتصال کوتاه شده‌اند، در نتیجه ردیف ۱ با سایر ردیف‌های نرمال به شکل قابل ملاحظه‌ای نامتجانس می‌گردد. ضمناً ولتاژ بهره‌برداری آرایه خورشیدی ممکن است حتی بزرگتر از ولتاژ مدار باز ردیف ۱ دچار خطا شده، گردد. بنابراین ممکن است ردیف ۱ در ربع چهارم منحنی عملکرد خود قرار گیرد و به عنوان بار عمل نماید. در این حالت ردیف ۱ دارای یک

۳. ارائه روشی برای تشخیص محل خطای زمین

استفاده از فیوز برای حفاظت اضافه جریان و حفاظت زمین، روش مطمئنی برای رفع خطای اتصال کوتاه است. بر مبنای استاندارد، اگر یک هادی زمین شده برای قطع مسیر جریان اتصال زمین باز شود، اینورتر متصل به شبکه که بوسیله پنلهای خورشیدی دچار خطا، تغذیه می‌گردد بایستی به طور اتوماتیک در زمینه تأمین قدرت شبکه، متوقف و قطع گردد [۳]. پس از قطع مبدل، تمامی پنلها به شرایط مدار باز میروند تا اینکه پرسنل تعمیراتی مشکل را حل نمایند.

هرچند که با روش استاندارد گفته شده میتوان جریان اتصال زمین را شناسایی و قطع نمود، اما تشخیص سریع محل وقوع خطا با این روش امکان پذیر نیست. برای تشخیص محل خطا میتوان در هر ردیف پنل از ترکیب موازی یک دیود با یک فیوز سری شده با مقاومت مطابق شکل ۴ استفاده نمود. علاوه بر این در طرح پیشنهادی از یک رله آنی اضافه جریان در کنار فیوز زمین استفاده شده است.

در حالت بهره‌برداری نرمال، جریان هر ردیف از طریق دیودها عبور نموده و وارد مبدل میشود. در این شرایط جریان قابل توجهی از فیوز موازی عبور نخواهد کرد. با وقوع جریان اتصال کوتاه، ابتدا رله آنی واقع در سیم زمین با تشخیص وقوع خطا، فرمان قطع اینورتر را صادر میکند. پس از قطع اینورتر در سناریوی بدترین شرایط اتصال کوتاه قرار داریم. با فرض وقوع جریان اتصال کوتاه زمین در ردیف ۱، همانطور که در تحلیل خطای زمین گفته شد، I_{back} از سمت ردیفهای سالم به سمت ردیف ۱ جاری میشود. وجود دیود سبب میشود که این جریان از فیوز موازی عبور نماید. بنابراین با انتخاب یک فیوز با رنج جریان پایین میتوان ردیف ۱ را از باس مثبت اینورتر قطع نمود. هرچند که باید توجه داشت جریان خطا همچنان از طریق سایر پنلهای ردیف ۱ که زیر نقطه اتصال قرار دارند، برقرار خواهد بود. مقدار جریان زمین بعد از قطع فیوز ۱ برابر با جریان اتصال کوتاه استاندارد هر پنل است. در نهایت فیوز زمین با قطع این جریان، خطای زمین را برطرف میکند. با توجه به آنچه توضیح داده شد، تنها، فیوز ردیف ۱ که دچار خطای اتصال کوتاه شده است، عمل میکند. بنابراین با استفاده از یک فیوز دارای نشانگر به راحتی میتوان محل خطا را تشخیص داد.

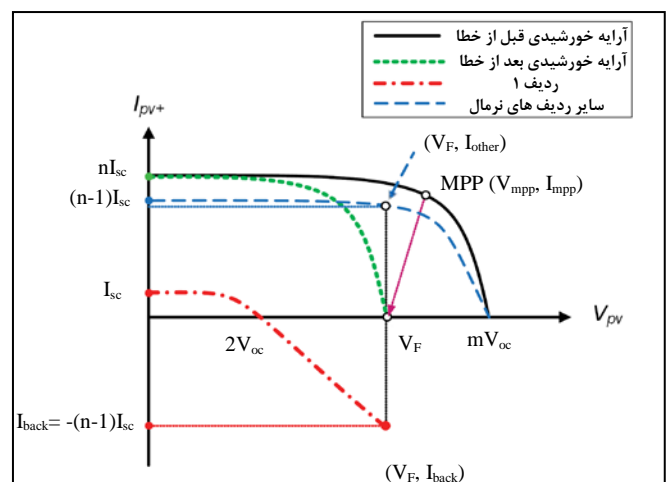
جریان منفی از سمت سایر ردیفهای نرمال خواهد بود. این جریان را با I_{back} نشان میدهم. جریان I_{back} بخشی از جریان اتصال کوتاه است. بخش دیگر جریان خطا از سمت پنلهای غیر قابل بهره‌برداری ردیف ۱ وارد نقطه F میشود. با توجه به اینکه این پنلها اتصال کوتاه شده‌اند، جریان آنها همان جریان اتصال کوتاه هر پنل تحت شرایط استاندارد خواهد بود ($I_{-1} = I_{sc}$). با توجه به موارد فوق جریان اتصال کوتاه زمین با استفاده از (۱) محاسبه میشود:

$$I_g = I_{sc} + I_{back} \quad (1)$$

در بدترین حالت از اتصال زمین، جریان اتصال کوتاه میتواند به بزرگی nI_{sc} باشد. در این حالت سایر ردیفهای نرمال دارای بیشترین جریان خود هستند که تمام این جریان وارد ردیف ۱ میشود. بنابراین با استفاده از (۱) میتوان بیشترین جریان اتصال کوتاه زمین را توسط (۲) محاسبه نمود.

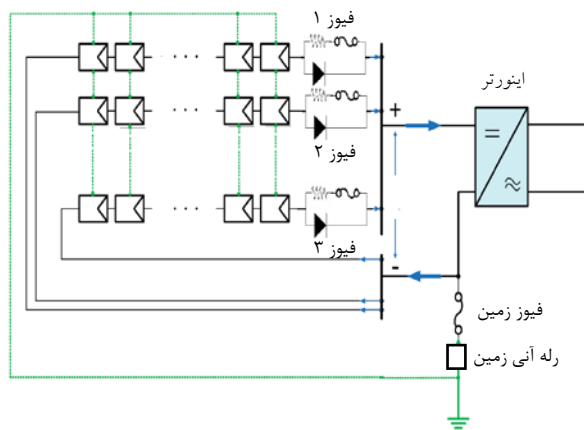
$$I_{g-max} = I_{sc} + (n-1)I_{sc} = nI_{sc} \quad (2)$$

سناریوی بدترین اتصال زمین میتواند به کمک مشخصه‌های ولتاژ - جریان در شکل ۳ آنالیز گردد که در این مشخصهها V_{oc} ولتاژ مدارباز یک پنل خورشیدی است. قبل از بروز خطا آرایه خورشیدی در نقطه توان ماکزیمم در حال کار کردن است. در لحظه اتصال زمین، ساختار آرایه و مشخصه ولتاژ - جریان به طور ناگهانی تغییر میکنند. در این حین ولتاژ بهره برداری به مقدار V_F تنزل میکند. چون V_F ولتاژ مدار باز صفحه دچار اتصالی میباشد، جریان تغذیه‌های وارد اینورتر نخواهد شد، هرچند که جریان در هر یک از ردیفها صفر نیست. برای سایر ردیفهای نرمال، نقطه عملکرد و بهره برداری در نقطه (V_F, I_{other}) میباشد.



شکل ۳: مشخصه ولتاژ - جریان در سناریوی بدترین اتصال کوتاه

بدترین خطای اتصال کوتاه قرار میگیرند. در این شرایط جریان I_{back} با مقدار حداکثر ۱۰.۸ آمپر از سمت آرایه‌های سالم وارد آرایه دچار خطا خواهد شد. به این ترتیب فیوز این آرایه عمل کرده و پس از آن با قطع فیوز زمین، خطا به طور کامل رفع میشود. لازم به ذکر است که پس از قطع فیوز آرایه دچار خطا شده، مقدار جریان زمین به ۵.۴ آمپر تنزل میکند. با توجه به منحنی قطع فیوز در شکل ۵ میتوان از یک فیوز ۱ آمپری به عنوان فیوز آرایه‌ها و یک فیوز ۱.۵ آمپری به عنوان فیوز زمین استفاده نمود. در این صورت پس از قطع سریع فیوز ردیف دچار خطا شده در زمان ۰.۰۱ ثانیه، جریان زمین پس از زمان کمتر از ۰.۱ ثانیه قطع میشود. ضمناً باید توجه نمود که مقدار مقاومت سری با فیوزهای ۱ تا ۳ به گونهای انتخاب شود که در شرایط کاری نرمال فیوز عمل نکند. جریان شرایط نرمال در فیوز، با تقسیم ولتاژ وصل دیود بر مقاومت حاصل میشود که این مقدار باید کمتر از ۱ آمپر باشد.



شکل ۴: استفاده از ترکیب فیوز و دیود جهت تشخیص محل خطا

۴. ارائه طرح حفاظتی خورشیدی در نیروگاه ۱۱۰

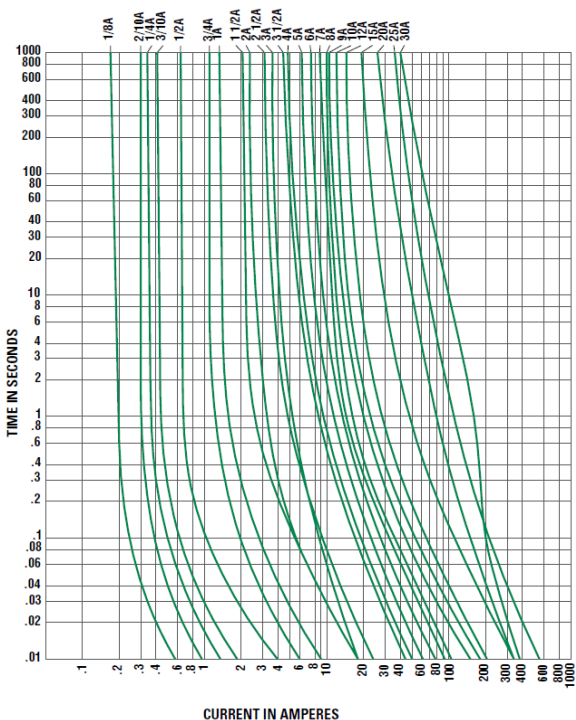
کیلوواتی الهیه

با استفاده از تحلیل انجام شده، در این بخش با در نظر گرفتن مشخصات نیروگاه ۱۱۰ کیلوواتی الهیه، طرح پیشنهادی برای تشخیص محل خطای زمین استفاده شده است. در طرح نیروگاه خورشیدی الهیه هر آرایه از ۱۲ پنل سری شده ۲۰۰ وات تشکیل شده است که هر ۳ آرایه به یک اینورتر، و از طریق آن به شبکه متصل میشود. مشخصات الکتریکی پنل خورشیدی استفاده شده در سیستم فوق تحت شرایط استاندارد در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات پنل خورشیدی تحت شرایط استاندارد

200 W	ماکزیم توان (P_{max})
40.08 V	ولتاژ ماکزیم توان (V_{mpp})
4.99 A	جریان ماکزیم توان (I_{mpp})
45.7 V	ولتاژ مدار باز (V_{oc})
5.42 A	جریان اتصال کوتاه (I_{sc})

با در نظر گرفتن سه آرایه متصل به یک اینورتر در نیروگاه الهیه، یک سیستم خورشیدی با $n=3$ و $m=12$ خواهیم داشت. با توجه به روابط قبلی مقدار بیشترین جریان عبوری از سیم زمین برابر با ۱۶.۲ آمپر است. با وقوع جریان اتصال کوتاه زمین، همانطور که گفته شد، با عملکرد رله آبی هر سه آرایه خورشیدی از اینورتر جدا شده و کل سیستم در شرایط



شکل ۵: مشخصه زمان ذوب فیوز بر حسب جریان عبوری

منابع

- [1] IEC 62109-1, Safety of Power Converters for Use in PV Power System, Part 1: General Requirement, First edition, 2010.

تحلیل خطای اتصال کوتاه زمین در یک سیستم خورشیدی و ارائه یک طرح حفاظتی ساده جهت تشخیص محل خطا
بیست و نهمین کنفرانس بین‌المللی برق - ۱۳۹۳ تهران، ایران

- [2] Early, Mark W, ed. National Electrical Code Handbook, Twelfth Edition, Quincy, 2011.
- [3] J. Wiles, "Series String OCPD Requirments for Grid-Direct Inverter Application", SolarPro Magazine, December/Januray 2009
- [4] J. Wiles, "Photovoltaic Power Systems Design and the 2005/2008/2011 National Electrical Code", Seminar sponsored by the Solar Education Center, March 7-8, 2011.

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



PROPOSAL
پروپوزال

پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

دکتره تهرانی

کارگاه آنلاین
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی



روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی

دکتره تهرانی

کارگاه آنلاین
روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی



ISI
Scopus

آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو

دکتره تهرانی

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو