

سیستم زمین و حفاظت در برابر اثرات
صاعقه
در سامانه های برق خورشیدی

GROUNDING SYSTEM
AND LIGHTNING
PROTECTION OF
PHOTOVOLTAIC
PLANTS

دکتر ایمان صادق خانی
(عضو هیأت علمی)
دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد)
مهندس محمد پرهام فر
مهندس عزت اله پرتوی شال

پیشگفتار

با توجه به توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در دهه گذشته و تعهدنامه‌های بین‌المللی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای و به دنبال آن برنامه‌های دولت برای توسعه این صنعت در ایران، کشور ما شاهد ترویج انواع نیروگاه‌های تجدیدپذیر در سال‌های گذشته بوده است. با توجه به شرایط تابش انرژی خورشیدی و دارا بودن بیش از ۳۰۰ روز آفتابی در اکثر نقاط کشور، نیروگاه‌های برق خورشیدی بیشترین توسعه در کشور را به خود اختصاص داده‌اند.

با توجه به توسعه سامانه‌های برق خورشیدی در مقیاس نیروگاهی و خانگی، آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های متفاوتی در سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) و شرکت‌های توزیع و برق منطقه‌ای استان‌ها تدوین شد. اما کماکان در برخی از مسائل مهم از جمله سیستم‌های زمین، حفاظت در برابر صاعقه و اضافه‌ولتاژهای گذرا اختلاف نظرهایی وجود دارد. بنابراین بر آن شدیم تا با مطالعه استانداردها و هندبوک‌های معتبر و استفاده از تجربیات عملی خود حاصل از همکاری با شرکت‌های داخلی و خارجی، دستاوردهای علمی و عملی کسب شده را برای توسعه و ترویج این صنعت با ارائه این کتاب در اختیار همکاران قرار دهیم.

در فصل اول این کتاب در ابتدا به مبانی سیستم‌های زمین پرداخته شده و در ادامه در مورد سیستم زمین در سامانه‌های برق خورشیدی و نحوه طراحی آن مطالب لازم ارائه شده است. فصل دوم کتاب به حفاظت در برابر صاعقه و اضافه‌ولتاژهای گذرا اختصاص یافته است که در آن نحوه محاسبات ارزیابی ریسک به عنوان پیش نیاز این بحث ارائه شده است. در فصل سوم نکات لازم در مورد ایزولاسیون سامانه برق خورشیدی، حفاظت در برابر برق‌گرفتگی و حفاظت در برابر اثرات حرارتی همچون حفاظت اضافه‌جریان ارائه شده است. در نهایت فصل چهارم به ارائه یک مثال در زمینه تشریح سیستم زمین یک نیروگاه ۱۰ مگاواتی و دو مثال در زمینه ارزیابی ریسک اختصاص یافته است.

از خدمات انتشارات ارکان دانش به مدیریت جناب آقای مهندس محمد ترابیان و پرسنل این انتشارات سرکارخانم نسرین مختاری مدیر داخلی انتشارات به خاطر هماهنگی امور چاپ و انتشار کتاب و بازخوانی متن نهایی و سرکارخانم فاطمه چلمغانی به خاطر تنظیمات و صفحه‌آرایی کتاب و سرکارخانم حمیده ختمی‌پناهی جهت طراحی جلد کتاب صمیمانه تشکر می‌نماییم.

بدیهی است با توجه به چاپ اول کتاب و اینکه برای اولین بار چنین موضوعی در قالب کتاب در ایران منتشر می‌شود، قطعاً از نظر استادان و خوانندگان محترم می‌توان برای تکمیل و توسعه آن بهره برد. بدین جهت تقاضا داریم پیشنهادات و انتقادات خود را به ایمیل‌های زیر ارسال نمایید.

sadeghkhan@pel.iaun.ac.ir
www.sadeghkhan.ir

دکتر ایمان صادق‌خانی

en.parhamfar@gmail.com
@sevenec : کانال تلگرامی

مهندس محمد پرهام‌فر

partoshal@yahoo.com

مهندس عزت‌اله پرتوی شال

ایمان صادق خانی، دانش آموخته مقطع دکتری تخصصی در رشته مهندسی برق گرایش سیستم‌های قدرت از دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۳۹۵ است. ایشان از سال ۱۳۹۱ به عنوان عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد مشغول به کار بوده و در حال حاضر استادیار دانشکده مهندسی برق این دانشگاه می‌باشد. زمینه تخصصی ایشان حفاظت منابع انرژی پراکنده و ریزشکده‌های AC و DC است که حاصل تحقیقات ایشان به صورت ۱۵ مقاله علمی -



پژوهشی در مجلات معتبر بین‌المللی به چاپ رسیده است. ایشان همچنین با بیست مجله معتبر بین‌المللی به عنوان داور همکاری داشته و به عنوان داور برگزیده مجله IEEE Transactions on Power Delivery در سال ۲۰۱۴ انتخاب شده است. تربیت بیش از ۲۷۰۰ دانشجو و چاپ ۲ جلد کتاب از دیگر سوابق علمی ایشان می‌باشد.

محمد پرهام فر، دانش آموخته مهندسی برق در گرایش قدرت است و دارای تحصیلات عالی در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد. تجربه وی در طول سالها طراحی سیستم‌های الکتریکی فشار ضعیف و متمرکز بر ساختمان‌های مسکونی و تجاری در کنار تسلط او بر اصول برنامه‌نویسی و مهندسی نرم‌افزار نهایتاً منجر به تهیه اولین نرم‌افزار کاربردی تاسیسات الکتریکی بومی در داخل کشور شده است. پس از سالها تجربه در زمینه تاسیسات الکتریکی وی فعالیت خود را در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر بخصوص نیروگاه‌های خورشیدی شروع نموده و با همکاری با شرکت‌های بین‌المللی و فعالیت در پروژه‌های مقیاس بزرگ یکی از فعالان این صنعت در کشور می‌باشد. در کنار توسعه نرم‌افزار و فعالیت در زمینه نیروگاه‌های خورشیدی او کلاسهای آموزشی متعددی را در سراسر کشور برای آشنایی مهندسين برق برگزار نموده است. انتخاب وی به عنوان شخصیت برگزیده نوآور نظام مهندسی استان اصفهان در سال ۱۳۹۲ و ارایه ۶ مقاله علمی و ۳ کتاب در حوزه تجدیدپذیر و سیستم زمین از دیگر افتخارات وی می‌باشد.



عزت‌اله پرتوی شال، ایشان دارای تحصیلات عالی در رشته مهندسی برق و نیز تعلیم دیده دوره سیستم‌های ارتینگ و حفاظت در برابر صاعقه، در شرکت OBO کشور آلمان می‌باشد. عمده فعالیت حرفه‌ای ایشان مشاوره، طراحی و تدریس سیستم‌های ارتینگ و حفاظت در برابر صاعقه بوده و مطالعه و تحقیق حالت‌های گذرا در سیستم‌های زمین و سازگاری میدان‌های مغناطیسی از حوزه‌های مورد علاقه نامبرده می‌باشد. در سوابق تجربی مهندس پرتوی بررسی و تست بیش از ۲۵۰۰ الکتروود زمین دیده می‌شود. نامبرده یکی از اعضای فعال در کارگروه‌های تدوین دستورالعمل‌های ارتینگ، همبندی، حفاظت در برابر صاعقه و SPD شورای مرکزی نظام مهندسی کشور بوده‌اند. عضویت در کمیته ارتینگ سندیکای صنعت برق، و نیز فعالیت به عنوان مشاور حفاظت فنی وزارت کار در رشته ایمنی برق در کارنامه حرفه‌ای ایشان دیده می‌شود.



فصل ۱: سیستم زمین سامانه‌های برق خورشیدی

۱-۱-۱	مبانی سیستم زمین	۱
۱-۱-۱-۱	تماس مستقیم	۴
۱-۱-۲	تماس غیر مستقیم	۵
۱-۱-۳	تعریف‌ها	۶
۱-۱-۴	دسته‌بندی اجزاء	۸
۱-۱-۵	انواع اتصالات	۱۰
۱-۱-۶	روش‌های نصب الکتروود زمین	۱۱
۱-۱-۶-۱	حلقه دفن شده	۱۱
۱-۱-۶-۲	الکتروود زمین میله‌ای	۱۲
۱-۱-۶-۳	الکتروود صفحه‌ای	۱۴
۱-۱-۷	اندازه‌گیری مقاومت خاک	۱۶
۱-۱-۸	طرح‌های استاندارد اتصال زمین	۱۸
۱-۱-۸-۱	سیستم‌های TT	۲۰
۱-۱-۸-۲	سیستم‌های TN (اتصال خنثی به زمین)	۲۱
۱-۱-۸-۳	پیکربندی‌های سیستم TN	۲۱
۱-۱-۸-۳-۱	سیستم TN-C	۲۱
۱-۱-۸-۳-۲	سیستم TN-S	۲۲
۱-۱-۸-۳-۳	سیستم TN-C-S	۲۳
۱-۱-۸-۴	سیستم‌های IT	۲۳
۲-۱	فرآیند ارزیابی سیستم زمین	۳۱
۲-۱-۱	گام‌های فرآیند ارزیابی سیستم زمین	۳۲
۳-۱	سیستم زمین در سامانه‌های برق خورشیدی	۳۵
۱-۳-۱	سامانه‌های برق خورشیدی مجهز به عایق گالوانیکی	۳۷
۱-۳-۱-۱	بدنه‌های هادی در سمت ماژول‌های خورشیدی (بالادست) عایق گالوانیکی	۳۷

- ۳۷.....IT سامانه مجهز به سیستم IT ۱-۱-۳-۱
- ۳۹.....TN سامانه‌های مجهز به سیستم TN ۲-۱-۳-۱
- ۴۱.....۲-۱-۳-۱ بدنه‌های هادی در سمت شبکه (پایین دست) عایق گالوانیکی
- ۴۳.....۲-۳-۱ سامانه‌های برق خورشیدی بدون عایق گالوانیکی
- ۴۵.....۴-۱ آرایش سیستم زمین و همبندی
- ۴۵.....۱-۴-۱ نکات کلی
- ۴۷.....۲-۴-۱ اندازه هادی همبندی
- ۴۸.....۴-۱-۳-۴-۱ الکتروود زمین مجزا
- ۴۸.....۴-۴-۱ همبندی به منظور هم‌پتانسیل کردن
- ۴۸.....۱-۴-۴-۱ نکات کلی
- ۴۹.....۲-۴-۴-۱ هادی‌های همبندی آرایه برق خورشیدی
- ۴۹.....۳-۴-۴-۱ ترمینال اتصال زمین عملیاتی آرایه برق خورشیدی
- ۵۰.....۴-۴-۴-۱ هادی زمین عملیاتی برای آرایه برق خورشیدی

فصل ۲: حفاظت در برابر صاعقه و اضافه ولتاژهای گذرا

- ۵۱.....۱-۲ مبانی حفاظت در برابر صاعقه
- ۵۳.....۱-۱-۲ مشخصه‌های موج صاعقه
- ۵۵.....۲-۱-۲ اضافه‌ولتاژ گذرا
- ۵۶.....۲-۲ فرآیند ارزیابی ریسک و حفاظت در برابر صاعقه
- ۵۶.....گام اول: شناسایی آسیب‌های احتمالی (نوع تجهیز)
- ۵۶.....۱-۲-۲ دسته‌بندی تجهیزات - دسته‌بندی اضافه‌ولتاژ
- ۵۸.....گام دوم: شناسایی اقدامات حفاظت در برابر صاعقه نصب شده
- ۵۸.....گام سوم: محاسبه ارزیابی ریسک (IEC 60364-7-712)
- ۶۴.....گام چهارم: انتخاب تمهیدات و ادوات حفاظتی
- ۶۵.....۲-۲-۲ انواع برقگیرهای حفاظتی - دسته‌بندی
- ۶۶.....۳-۲-۲ تعریف استاندارد برقگیر حفاظتی
- ۶۷.....۴-۲-۲ مشخصه‌های برقگیرهای حفاظتی
- ۶۸.....۵-۲-۲ استفاده از برقگیر حفاظتی

۳-۲	مسیریابی کابل‌های سامانه‌های برق خورشیدی.....	۷۵
۴-۲	اتصال زمین سامانه‌های برق خورشیدی.....	۷۵
۵-۲	سایه‌های اصلی بر سلول‌های خورشیدی.....	۷۸
۶-۲	حفاظت در برابر برخورد مستقیم صاعقه.....	۷۹
۶-۲-۱	ساختمان‌های بدون سیستم حفاظت صاعقه.....	۷۹
۶-۲-۲	ساختمان‌های مجهز به سیستم حفاظت صاعقه.....	۸۰
۷-۲	حفاظت در برابر برخورد غیرمستقیم صاعقه.....	۸۲
۷-۲-۱	حفاظت سمت DC.....	۸۳
۷-۲-۲	حفاظت سمت AC.....	۸۴
۸-۲	چند مثال.....	۸۶
	انواع حفاظت.....	۹۱
۹-۲	سامانه‌های برق خورشیدی مجهز به میکرواینورترها.....	۹۳
۱۰-۲	نکاتی در رابطه با مقررات مربوطه.....	۹۵
۱۱-۲	حفاظت سامانه‌های برق خورشیدی نصب شده بر روی زمین.....	۹۶
۱۱-۲-۱	سیستم پایانه هوایی و هادی‌های نزولی.....	۹۶
۱۱-۲-۲	سیستم اتصال به زمین.....	۹۸
۱۱-۲-۳	همبندی برای هم‌پتانسیل‌سازی صاعقه.....	۱۰۰
۱۱-۲-۴	ژنراتور خورشیدی و سیستم‌های حفاظت صاعقه خارجی.....	۱۰۱
۱۱-۲-۵	مسیریابی کابل در سامانه‌های برق خورشیدی.....	۱۰۲
۱۱-۲-۶	اقدامات حفاظت در برابر سرج برای سامانه‌های برق خورشیدی.....	۱۰۲
۱۱-۲-۷	توزیع جریان صاعقه.....	۱۰۴
۱۱-۲-۸	سامانه‌های برق خورشیدی مجهز به اینورترهای رشته غیر مرکزی.....	۱۰۵
۱۱-۲-۹	اقدامات حفاظت در برابر سرج برای سیستم‌های فناوری اطلاعات.....	۱۰۶
۱۲-۲	فرآیند کامل ارزیابی ریسک برای سامانه‌های برق خورشیدی.....	۱۰۸
۱۲-۲-۱	کاربرگ ارزیابی ریسک.....	۱۲۶
۱۳-۲	دیگر اضافه‌ولتاژهای گذرا.....	۱۳۱
۱۳-۲-۱	فرآیند ارزیابی.....	۱۳۲

فصل ۳: ایزولاسیون سامانه و حفاظت در برابر برق گرفتگی و اثرات حرارتی

- ۱-۳-۱- جداسازی سامانه برق خورشیدی از مدارهای خروجی AC اصلی..... ۱۳۴
- ۲-۳-۱- حفاظت در برابر برق گرفتگی..... ۱۳۵
- ۱-۲-۳- عایق‌بندی دوبل یا تقویت شده..... ۱۳۵
- ۲-۲-۳- ولتاژ خیلی پایین فراهم شده توسط سیستم‌های SELV یا PELV..... ۱۳۵
- ۳-۲-۳- دستورالعمل‌های ایمنی..... ۱۳۵
- ۳-۳-۱- حفاظت در برابر اثرات حرارتی..... ۱۳۷
- ۱-۳-۳- حفاظت در برابر اثرات خطاهای ناشی از خرابی عایق..... ۱۳۷
- ۱-۳-۱- نیازمندی‌های مرتبط با آشکارسازی و نشانگرهای خطا..... ۱۳۸
- ۱-۳-۱-۱- اندازه‌گیری مقاومت عایقی آرایه..... ۱۴۱
- ۲-۱-۳-۳- حفاظت با استفاده از سیستم پایش جریان باقیمانده..... ۱۴۲
- ۳-۱-۳-۳- ادوات قطع خطای زمین آرایه‌های برق خورشیدی با..... ۱۴۳
- ۴-۱-۳-۳- نشانگر خطای زمین..... ۱۴۵
- ۲-۳-۳- حفاظت در برابر اضافه‌جریان..... ۱۴۵
- ۱-۲-۳-۳- اصول مقدماتی..... ۱۴۶
- ۱-۱-۲-۳-۳- حفاظت در برابر اضافه‌جریان در سمت DC..... ۱۴۶
- ۱-۱-۲-۳-۳- حفاظت کابل..... ۱۴۶
- ۲-۱-۲-۳-۳- حفاظت رشته‌ها در برابر جریان معکوس..... ۱۴۸
- ۳-۱-۲-۳-۳- رفتار اینورتر..... ۱۴۹
- ۲-۱-۲-۳-۳- حفاظت در برابر اضافه‌جریان در سمت AC..... ۱۵۰
- ۲-۲-۳-۳- نیازمندی‌های حفاظت اضافه‌جریان..... ۱۵۲
- ۳-۲-۳-۳- نیازمندی حفاظت اضافه‌جریان رشته..... ۱۵۲
- ۴-۲-۳-۳- نیازمندی حفاظت اضافه‌جریان زیرآرایه..... ۱۵۲
- ۵-۲-۳-۳- طراحی حفاظت اضافه‌جریان..... ۱۵۳
- ۱-۲-۳-۳- حفاظت اضافه‌جریان رشته برق خورشیدی..... ۱۵۳
- ۲-۲-۳-۳- حفاظت اضافه‌جریان زیرآرایه برق خورشیدی..... ۱۵۵
- ۳-۲-۳-۳- حفاظت اضافه‌جریان آرایه برق خورشیدی..... ۱۵۵
- ۶-۲-۳-۳- حفاظت اضافه‌جریان در سامانه‌های برق خورشیدی متصل به باتری..... ۱۵۶

- ۱۵۶..... ۷-۲-۳-۳ محل حفاظت اضافه جریان
- ۱۵۹..... ۸-۲-۳-۳ انتخاب تابلوها و جعبه تقسیم
- ۱۵۹..... ۱-۸-۲-۳-۳ مسائل حرارتی
- ۱۶۰..... ۲-۸-۲-۳-۳ انتخاب درجه آلودگی تابلو و جعبه تقسیم

فصل ۴: مثال‌های کاربردی

- ۱۶۱..... ۱-۴ مثالی از سیستم زمین
- ۱۶۱..... ۱-۱-۴ سیستم زمین در یک نیروگاه کیلوواتی
- ۱۶۴..... ۲-۱-۴ سیستم زمین در نیروگاه‌های بزرگ (مگاواتی)
- ۱۶۵..... ۱-۲-۱-۴ تشریح سیستم زمین در یک نیروگاه ۱۰ مگاواتی
- ۱۷۵..... ۲-۴ مثال اول ارزیابی ریسک
- ۱۷۹..... ۳-۴ مثال دوم ارزیابی ریسک
- ۱۸۵..... مراجع