



افزایش کارایی در توزیع انرژی الکتریکی در شرکت فولاد مبارکه اصفهان: تکنیک‌ها، چالش‌ها و راه‌حل‌ها

غلام عباس عبدالمهدی صفی آبادی^۱

۱- کارشناسی مهندسی برق و کنترل، گرایش اتوماسیون و ابزار دقیق، دانشگاه علمی کاربردی مبارکه، اصفهان، ایران. ایمیل: Abdellahi.meghdad@gmail.com

وب سایت شرکت فولاد مبارکه اصفهان: www.msc.ir

چکیده

در این مقاله به بررسی جامع شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی و چالش‌های مرتبط با طراحی، بهره‌برداری و بهینه‌سازی آن‌ها پرداخته می‌شود. انرژی الکتریکی به‌عنوان یکی از نیازهای اساسی جوامع مدرن، باید به‌طور کارآمد و پایدار به مصرف‌کنندگان منتقل شود. طراحی شبکه‌های توزیع نه تنها باید پاسخگوی نیازهای روزافزون انرژی باشد، بلکه باید تلفات انرژی را به حداقل برساند و سازگاری با محیط زیست را نیز مدنظر داشته باشد. این مقاله به تشریح انواع شبکه‌های توزیع، از جمله شبکه‌های هوایی و زمینی، و تقسیم‌بندی آن‌ها بر اساس سطوح ولتاژ می‌پردازد. همچنین، چالش‌هایی همچون تلفات انرژی، هزینه‌های بالای ساخت و نگهداری، و مسائل زیست‌محیطی در طراحی شبکه‌های توزیع بررسی شده و راهکارهای نوآورانه نظیر استفاده از فناوری‌های هوشمند برای مدیریت و بهینه‌سازی شبکه‌ها پیشنهاد می‌شود. یکی از نوآوری‌های اصلی این تحقیق، استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای کاهش تلفات انرژی و بهبود بهره‌وری است. در بخش روش‌شناسی، رویکرد تحقیق بر پایه جمع‌آوری داده‌ها از منابع کتابخانه‌ای و میدانی و تحلیل آن‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری و شبیه‌سازی تبیین می‌شود. همچنین، انواع تجهیزات مورد نیاز شبکه‌های توزیع مانند ترانسفورماتورها، کابل‌ها، کلیدهای قدرت و سیستم‌های حفاظتی معرفی و عملکرد آن‌ها بررسی شده است. در نهایت، محاسبات مکانیکی مربوط به خطوط توزیع، شامل کشش سیم‌ها، فلش و اسپان، با هدف افزایش کارایی و ایمنی شبکه ارائه شده است. این مقاله به‌عنوان مرجعی جامع برای طراحان و بهره‌برداران شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی ارائه می‌شود و می‌تواند به بهبود عملکرد شبکه‌ها و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری کمک کند.

کلمات کلیدی: شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی، بهینه‌سازی تلفات انرژی، فناوری‌های هوشمند، طراحی و بهره‌برداری شبکه، محاسبات مکانیکی خطوط توزیع

Increasing efficiency in electrical energy distribution in Mobarakeh Steel Company of Isfahan: techniques, challenges and solutions

GholamAbas Abdellahi SafiAbad¹

1- Bachelor of Electrical and Control Engineering, Automation and Precision Instrumentation, Mobarake University of Applied Sciences, Isfahan, Iran. Abdellahi.meghdad@gmail.com

Website of Mobarake Steel Company of Isfahan: www.msc.ir

Abstract

This paper provides a comprehensive review of electrical energy distribution networks and the challenges associated with their design, operation, and optimization. Electrical energy, being one of the essential needs of modern societies, must be efficiently and reliably transmitted to consumers. The design of distribution networks should not only meet the growing energy demands but also minimize energy losses and ensure environmental sustainability. This paper explores different types of distribution networks, including overhead and underground systems, and categorizes them based on voltage levels. Moreover, challenges such as energy losses, high construction and maintenance costs, and environmental issues in the design of distribution networks are examined. Innovative solutions, such as the use of smart technologies for network management and optimization, are proposed. One of the key innovations of this study is the use of optimization algorithms to reduce energy losses and enhance efficiency. In the methodology section, the research approach is outlined, focusing on data collection from library and field sources, and data analysis using statistical software and simulation. Additionally, the essential equipment needed for distribution networks, such as transformers, cables, circuit breakers, and protection systems, are introduced and their functions are discussed. Finally, mechanical calculations related to distribution lines, including wire tension, sag, and span, are presented to improve network performance and safety. This paper serves as a comprehensive reference for designers and operators of electrical energy distribution networks and aims to contribute to the improvement of network performance and the reduction of operational costs.

Keywords: Electric energy distribution networks, Energy loss optimization, Smart technologies, Network design and operation, Mechanical calculations of distribution lines

۱- مقدمه

در دنیای امروز، انرژی الکتریکی به یکی از ارکان اساسی زندگی بشری تبدیل شده است. رشد روزافزون جمعیت و نیاز به انرژی در ابعاد مختلف، از صنایع و خدمات تا زندگی روزمره، ضرورت وجود شبکه‌های توزیع برق کارآمد و مؤثر را به وضوح نشان می‌دهد. شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی به عنوان واسطه‌ای بین تولیدکنندگان انرژی و مصرف‌کنندگان عمل کرده و به تأمین نیازهای روزافزون انرژی در جوامع کمک می‌کنند. این شبکه‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که علاوه بر تأمین انرژی، قادر به پاسخگویی به تغییرات ناگهانی در تقاضا و نیز به حداقل رساندن تلفات انرژی باشند. یکی از چالش‌های اصلی در طراحی شبکه‌های توزیع، تلفات انرژی است. تلفات ناشی از مقاومت هادی‌ها، اتصالات ضعیف و طراحی ناکافی، می‌تواند به کاهش کارایی و افزایش هزینه‌ها منجر شود. در این راستا، تحقیقات متعدد نشان داده‌اند که بهینه‌سازی ساختار و عملکرد این شبکه‌ها می‌تواند به طور قابل توجهی به کاهش تلفات انرژی و افزایش کارایی منجر شود. به علاوه، ایمنی شبکه‌های توزیع در برابر حوادث طبیعی و غیرمترقبه از دیگر عوامل حیاتی است. توسعه و نگهداری شبکه‌های توزیع باید به گونه‌ای انجام شود که علاوه بر تأمین نیاز انرژی، کمترین تأثیر را بر محیط زیست داشته باشد. این شامل استفاده از مواد سازگار با محیط زیست، کاهش آلودگی‌های ناشی از تولید و توزیع انرژی و همچنین طراحی شبکه‌هایی است که با هارمونی محیط زیست همخوانی داشته باشند. به همین دلیل، توجه به جنبه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی در طراحی شبکه‌های توزیع امری ضروری است. همچنین، پیشرفت‌های تکنولوژیکی در حوزه انرژی، از جمله استفاده از حسگرهای هوشمند و اینترنت اشیا (IoT)، این امکان را فراهم می‌کند که شبکه‌های توزیع به طور مؤثرتری مدیریت و کنترل شوند. این فناوری‌ها می‌توانند به جمع‌آوری و تحلیل داده‌های لحظه‌ای کمک کرده و در نتیجه به بهبود کیفیت خدمات و کاهش هزینه‌ها منجر شوند. با توجه به چالش‌های پیش‌رو و نیاز به بهبود مستمر در شبکه‌های توزیع، پژوهش در این حوزه اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. این تحقیقات می‌تواند به توسعه روش‌های نوآورانه و کارآمد برای طراحی و بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع انرژی کمک کند و به افزایش امنیت و کارایی آنها منجر شود [۱].

۲- مرور ادبیات

شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی به طور کلی به دو نوع اصلی تقسیم می‌شوند: شبکه‌های هوایی و شبکه‌های زمینی. شبکه‌های هوایی به دلیل هزینه‌های پایین‌تر و سادگی در نصب، بیشتر در مناطق روستایی و کمتر توسعه‌یافته مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع شبکه‌ها از هادی‌هایی که بر روی پایه‌های چوبییا فلزی نصب شده‌اند، تشکیل می‌شوند. شبکه‌های زمین‌بند دلیل مزایای زیست‌محیطی و کاهش خطرات ناشی از عوامل جوی، در مناطق شهری و پرجمعیت بیشتر رایج هستند. با این حال، هزینه نصب و نگهداری این نوع شبکه‌ها به مراتب بالاتر از شبکه‌های هوایی است. این دو نوع شبکه، بسته به شرایط جغرافیایی، اقتصادی و اجتماعی هر منطقه، مورد استفاده قرار می‌گیرند (صفحه ۵-۷).

بر اساس ولتاژ، شبکه‌های توزیع به چهار دسته اصلی تقسیم می‌شوند: ولتاژ پایین (تا ۱۰۰۰ ولت): عمدتاً برای مصارف خانگی و تجاری به کار می‌رود و شامل شبکه‌هایی است که انرژی را به مصرف‌کنندگان نهایی انتقال می‌دهند.

ولتاژ متوسط (۱۰۰۰ تا ۶۳ کیلوولت): این شبکه‌ها به منظور انتقال انرژی به مراکز مصرف بزرگ، نظیر کارخانه‌ها و مجتمع‌های تجاری طراحی شده‌اند.

ولتاژ بالا (بیش از ۶۳ کیلوولت): این شبکه‌ها برای انتقال انرژی در مسافت‌های طولانی مورد استفاده قرار می‌گیرند و معمولاً به زیرساخت‌های انتقال انرژی متصل هستند.

ولتاژ فوق‌العاده بالا: این نوع شبکه‌ها برای انتقال انرژی در مقیاس‌های بزرگتر و در مسافت‌های بسیار دور طراحی شده‌اند [۲].

چالش‌ها و نوآوری‌ها

پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که در طراحی شبکه‌های توزیع، چالش‌هایی مانند تلفات انرژی، هزینه‌های بالای ساخت و نگهداری، و مشکلات زیست‌محیطی وجود دارد. در حال حاضر، تلفات انرژی به عنوان یکی از بزرگ‌ترین معضلات در شبکه‌های توزیع شناخته می‌شود که می‌تواند به دلیل مقاومت هادی‌ها، اتصالات ناکافی و طراحی نادرست باشد. استفاده از فناوری‌های نوین مانند حسگرهای هوشمند و سیستم‌های مدیریت انرژی می‌تواند به بهینه‌سازی عملکرد شبکه‌ها کمک کند. این فناوری‌ها به اپراتورها این امکان را می‌دهند که به صورت لحظه‌ای وضعیت شبکه را بررسی و مدیریت کنند، و به کاهش تلفات انرژی و افزایش کارایی سیستم کمک می‌کنند. همچنین، بررسی اثرات زیست‌محیطی شبکه‌های توزیع و ارائه راهکارهایی برای کاهش این اثرات از دیگر ابعاد مهم تحقیقاتی به شمار می‌رود.

نوآوری

تحقیق حاضر با هدف شناسایی و بررسی چالش‌های موجود در طراحی و اجرای شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی و ارائه راهکارهایی برای بهبود عملکرد این شبکه‌ها انجام شده است. یکی از نوآوری‌های این تحقیق، استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی در طراحی شبکه‌های توزیع به منظور کاهش تلفات انرژی و افزایش بهره‌وری است. با استفاده از این الگوریتم‌ها، می‌توان به بهینه‌سازی بار شبکه و انتخاب بهینه نوع هادی‌ها و عایق‌ها پرداخت. این الگوریتم‌ها می‌توانند به اپراتورها کمک کنند تا با تحلیل داده‌های مصرف، به پیش‌بینی نیازهای آتی پرداخته و به صورت بهینه شبکه را مدیریت کنند. علاوه بر این، تحقیق به بررسی معیارهای انتخاب شبکه‌ها بر اساس شرایط مختلف، از جمله عوامل اقتصادی، زیست‌محیطی و زیبایی‌شناختی می‌پردازد. این موارد به اپراتورها کمک می‌کند تا تصمیمات بهتری در زمینه طراحی و بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع بگیرند. همچنین، ارائه راهکارهای عملی برای کاهش هزینه‌ها و بهبود کارایی شبکه‌ها از دیگر جنبه‌های نوآوری این تحقیق محسوب می‌شود.

۳- روش شناسی

۱- طراحی تحقیق

این تحقیق با هدف بررسی ساختار، عملکرد و چالش‌های موجود در شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی و همچنین ارائه راهکارهای نوآورانه برای بهبود کارایی این شبکه‌ها انجام شده است. از آنجایی که موضوع تحقیق شامل ابعاد فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی است، رویکرد تحقیق به صورت ترکیبی از روش‌های کمی و کیفی طراحی شده است. این رویکرد به ما این امکان را می‌دهد که به طور جامع‌تری به تحلیل داده‌ها و نتایج بپردازیم و ابعاد مختلف مسئله را بررسی کنیم.

۲- جمع‌آوری داده‌ها

برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، از چندین منبع و روش استفاده شده است:

هستند و کابل‌های بیضی کمتر رایج بوده و معمولاً در کاربردهای خاص به کار می‌روند.

عیاق کابل‌ها معمولاً از موادی مانند پلی‌وینیل کلراید و پلی‌اتیلنتشکیل شده است. هر یک از این مواد ویژگی‌های خاص خود را دارند. به دلیل مناسب بودن در دماهای معمولی کاربرد فراوانی دارد، اما در دماهای بالا یا محیط‌های مرطوب ممکن است عملکرد خوبی نداشته باشد. از سوی دیگر، پلی‌اتیلن به دلیل خواص خوب خود، به‌ویژه در فشارهای پایین، بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد و می‌تواند در شرایط مختلف عملکرد مناسبی داشته باشد.

کابل‌ها معمولاً شامل هادی، عیاق و لایه‌های حفاظتی هستند. هادی معمولاً از مس یا آلومینیوم ساخته می‌شود و عیاق آن نیز برای جلوگیری از تلفات انرژی و حفظ ایمنی طراحی شده است. در برخی موارد، از غلاف‌های اضافی برای محافظت در برابر خوردگی و آسیب‌های مکانیکی استفاده می‌شود. نصب صحیح کابل‌ها اهمیت زیادی دارد؛ برای اطمینان از عمر طولانی و عملکرد بهینه، باید به شرایط خواباندن کابل‌ها، عمق دفن و نوع لایه‌های زیرین دقت شود. همچنین، کابل‌ها باید در محیط‌هایی نصب شوند که از ورود رطوبت و آلودگی‌ها به آنها جلوگیری شود.

کابل‌ها باید به‌طور منظم مورد بررسی قرار گیرند تا از بروز مشکلات و نقص‌های احتمالی جلوگیری شود. در صورت نیاز به تعمیر یا تعویض، از روش‌هایی استفاده می‌شود که حداقل اختلال را در شبکه به وجود آورد. کاربرد کابل‌ها به‌طور گسترده‌ای در صنعت برق، ساختمان‌ها و سیستم‌های توزیع انرژی مشاهده می‌شود. هر نوع کابل با توجه به ویژگی‌های خود برای کاربردهای خاصی طراحی شده است، مانند کابل‌های فشار قوی برای انتقال انرژی در مسافت‌های طولانی یا کابل‌های فشار ضعیف برای تأمین انرژی به ساختمان‌ها. در نهایت، کابل‌ها از جمله اجزای کلیدی در شبکه‌های توزیع انرژی هستند و فهم عمیق از انواع، ویژگی‌ها و روش‌های نصب آنها برای بهینه‌سازی عملکرد و ایمنی این شبکه‌ها ضروری است [۳].

اشکال مختلف شبکه توزیع نیرو

شبکه‌های توزیع نیرو به عنوان یکی از اجزای حیاتی سیستم‌های قدرت، وظیفه انتقال و توزیع انرژی الکتریکی از مراکز تولید به مصرف‌کنندگان را بر عهده دارند. این شبکه‌ها به‌طور کلی به چهار نوع اصلی تقسیم می‌شوند که هر یک ویژگی‌ها و کاربردهای خاص خود را دارند.

۱- شبکه توزیع رینگ (Ring Distribution Network): در این نوع شبکه، کابل‌های توزیع به شکل حلقه‌ای طراحی شده‌اند. مزیت این ساختار این است که در صورت قطع یک بخش از شبکه، امکان تأمین برق از سمت دیگر حلقه وجود دارد و این موضوع موجب افزایش قابلیت اطمینان و کاهش زمان خاموشی می‌شود. این نوع شبکه به‌ویژه در مناطق شهری که نیاز به تأمین برق به‌طور مداوم وجود دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲- شبکه توزیع شعاعی (Radial Distribution Network): این نوع شبکه یکی از رایج‌ترین ساختارها در سیستم‌های توزیع انرژی است. در این سیستم، انرژی الکتریکی از یک یا چند منبع به سمت مصرف‌کنندگان به صورت شعاعی توزیع می‌شود. یکی از معایب این شبکه، آسیب‌پذیری در برابر قطع برق است، زیرا اگر یک خط توزیع قطع شود، تمامی مصرف‌کنندگان متصل به آن خط از برق محروم می‌شوند.

۳- شبکه توزیع ترکیبی (Mixed Distribution Network): این نوع شبکه شامل ترکیبی از ساختارهای رینگ و شعاعی است. به این ترتیب که در برخی نقاط شبکه از ساختار رینگ و در برخی دیگر از ساختار شعاعی

• **مطالعات کتابخانه‌ای:** این بخش شامل بررسی و تحلیل مقالات علمی، کتاب‌ها، پایان‌نامه‌ها و گزارش‌های فنی موجود در حوزه شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی است. این مطالعات پیشین به ما کمک می‌کند تا درک عمیق‌تری از چالش‌ها و نوآوری‌های موجود در این حوزه پیدا کنیم و وضعیت کنونی این شبکه‌ها را بهتر درک کنیم.

• **تحقیقات میدانی:** به‌منظور جمع‌آوری داده‌های عملیاتی و ارزیابی وضعیت کنونی شبکه‌های توزیع، بازدید از برخی تأسیسات توزیع و مصاحبه با مهندسان و مدیران شبکه انجام شده است. این مصاحبه‌ها به شناسایی چالش‌ها، نقاط قوت و ضعف موجود در شبکه‌ها کمک می‌کند و تجربیات عملی را به مباحث نظری اضافه می‌کند.

• **تحلیل داده‌های کمی:** اطلاعات مربوط به تلفات انرژی، هزینه‌ها و کارایی شبکه‌ها از طریق سیستم‌های مدیریت انرژی و پایش لحظه‌ای جمع‌آوری شده است. این داده‌ها به ما این امکان را می‌دهد تا با استفاده از روش‌های آماری و مدل‌سازی، به تحلیل وضعیت کنونی شبکه‌ها بپردازیم و نقاط بهبود را شناسایی کنیم.

۳- تحلیل داده‌ها

برای تحلیل داده‌ها، از تکنیک‌های آماری و مدل‌سازی استفاده می‌شود. داده‌های کمی جمع‌آوری‌شده با استفاده از نرم‌افزارهای آماری مانند SPSS و MATLAB مورد بررسی قرار می‌گیرند. تحلیل داده‌ها شامل بررسی همبستگی‌ها، تلفات انرژی و ارزیابی کارایی شبکه‌های توزیع است. همچنین، تحلیل کیفی داده‌های به‌دست‌آمده از مصاحبه‌ها و مشاهدات میدانی، به شناسایی چالش‌های کلیدی و راهکارهای بهبود کمک خواهد کرد.

۴- توسعه الگوریتم‌های بهینه‌سازی

در این تحقیق، الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای کاهش تلفات انرژی و افزایش کارایی شبکه‌های توزیع طراحی می‌شوند. این الگوریتم‌ها بر اساس داده‌های جمع‌آوری‌شده و شرایط خاص هر شبکه، به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که بتوانند بار شبکه را به‌صورت بهینه توزیع کنند و نقاط ضعف را شناسایی و اصلاح کنند. برای پیاده‌سازی و تست این الگوریتم‌ها، از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مانند MATLAB و Python استفاده خواهد شد.

۵- اعتبارسنجی نتایج

برای اعتبارسنجی نتایج به‌دست‌آمده، از روش‌های مختلفی استفاده خواهد شد. نتایج تحلیل‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی با داده‌های عملیاتی موجود مقایسه می‌شوند تا کارایی و دقت روش‌های پیشنهادی ارزیابی شود. علاوه بر این، نظرات و تجربیات متخصصان حوزه انرژی نیز به‌عنوان بخشی از اعتبارسنجی نتایج در نظر گرفته خواهد شد. این مرحله به تأیید صحت و قابلیت اجرایی راهکارهای ارائه‌شده کمک خواهد کرد.

کابل‌ها

کابل‌ها به‌عنوان یکی از اجزای اصلی شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی، نقش مهمی در انتقال و توزیع برق ایفا می‌کنند. این کابل‌ها بسته به نوع کاربرد، از مواد و ساختارهای مختلفی تشکیل می‌شوند. به‌طور کلی، کابل‌ها می‌توانند از نظر نوع عیاق، شکل و مقطع هادی به دسته‌های مختلفی تقسیم شوند. کابل‌ها بر اساس نوع عیاق و شکل مقطع هادی به سه گروه اصلی تقسیم می‌شوند: کابل‌های گرد، کابل‌های سکتوری و کابل‌های بیضی. کابل‌های گرد معمولاً برای ولتاژهای پایین و متوسط استفاده می‌شوند، در حالی که کابل‌های سکتوری برای انتقال قدرت در ولتاژهای بالا مناسب

جریان‌های اضافه، اضافه ولتاژها و سایر خطاهای شبکه طراحی شده‌اند. این سیستم‌ها از طریق رله‌های حفاظتی و بریکرها، در هنگام بروز خطا، شبکه را قطع کرده یا بخش معیوب را جدا می‌کنند و به این ترتیب از تجهیزات و مصرف‌کنندگان حفاظت می‌کنند. سیستم‌های زمین و ارتینگ نیز به منظور افزایش ایمنی شبکه‌های توزیع طراحی شده‌اند. این سیستم‌ها به هدایت جریان‌های اضافی و جلوگیری از برق‌گرفتگی یا آسیب به تجهیزات کمک می‌کنند. ارتینگ به‌ویژه در مواقع بروز خطا یا نشت جریان، اهمیت زیادی پیدا می‌کند و از آسیب‌های احتمالی جلوگیری می‌کند.

در نهایت، سیستم‌های مانیتورینگ و کنترلی نیز از دیگر تجهیزات مهم شبکه‌های توزیع هستند. این سیستم‌ها برای پایش لحظه‌ای وضعیت شبکه، جمع‌آوری داده‌های عملیاتی و کنترل از راه دور اجزای مختلف شبکه استفاده می‌شوند. استفاده از این تکنولوژی‌های مدرن به بهینه‌سازی عملکرد شبکه و کاهش تلفات انرژی کمک می‌کند و امکان مدیریت هوشمند شبکه را فراهم می‌سازد [۵].

تابلوه‌های الکتریکی

تابلوه‌های الکتریکی نقش اساسی در مدیریت، تقسیم، کنترل و حفاظت از انرژی الکتریکی در شبکه‌های توزیع دارند. این تابلوه‌ها مجموعه‌ای از تجهیزات الکتریکی مانند کلیدهای خودکار، فیوزها، دستگاه‌های اندازه‌گیری و کنترل و همچنین وسایل حفاظتی هستند که در محفظه‌ای قرار گرفته و برای مصرف‌کنندگان نهایی برق را تنظیم و توزیع می‌کنند. تابلوه‌های الکتریکی به دو دسته اصلی فشار قوی و فشار ضعیف تقسیم می‌شوند. در این بخش تمرکز ما بر تابلوه‌های فشار ضعیف است.

تابلوه‌های فشار ضعیف

تابلوه‌های فشار ضعیف پس از تبدیل ولتاژ فشار قوی به ولتاژ فشار ضعیف در پست‌های ترانسفورماتوری، وظیفه تقسیم انرژی الکتریکی را برای مصارف خانگی، تجاری و صنعتی بر عهده دارند. طراحی این تابلوه‌ها به دلیل تنوع در مصرف‌کننده‌ها، بسیار متنوع است. بسته به نیاز شبکه، تابلوه‌ها ممکن است شامل کلیدهای خودکار، فیوزهای متعدد و دستگاه‌های اندازه‌گیری باشند. این تجهیزات برای مدیریت، کنترل و حفاظت از مدارهای خروجی به کار می‌روند.

تابلوه‌های فشار ضعیف از مواد مختلفی مانند عایق، چدن یا ورقه‌های آهنی ساخته می‌شوند و ممکن است به صورت دیواری، توکار، روکار و یا ایستاده در فضای باز یا بسته نصب شوند. طراحی این تابلوه‌ها بسته به محل نصب و نوع کاربرد متفاوت است. برخی از تابلوه‌ها دارای درب‌هایی در جلو هستند که به دسته کلیدها، وسایل اندازه‌گیری و دکمه‌های فشاری مجهز شده‌اند. این طراحی به کاربران امکان می‌دهد که دسترسی راحتی به تجهیزات اصلی داشته باشند. در مواردی نیز ممکن است قسمت پشت تابلو باز یا بسته باشد.

ساختار داخلی تابلوه‌های فشار ضعیف

در داخل تابلوه‌ها، شین‌های مسی که جریان الکتریکی را حمل می‌کنند، بر روی مقره‌های اتکایی نصب شده‌اند. کلیدها از طریق هادی‌های مسی با مقاطع مناسب به شین‌ها متصل می‌شوند. سیم‌بندی تجهیزات اندازه‌گیری و کنترل نیز در داخل کانال‌های پلاستیکی یا در محفظه‌های پشت تابلو قرار می‌گیرند تا از تداخل و مشکلات فنی جلوگیری شود.

مجموعه دستگاه‌های مرتبط با راه‌اندازی الکتروموتورها و وسایل فرمان و تنظیم نیز می‌توانند در داخل این تابلوه‌ها نصب شوند. برای سهولت در تعمیر و تعویض قطعات، سیستم موزائیکی طراحی می‌شود که امکان جدا شدن راحت

استفاده می‌شود. این طراحی به منظور افزایش قابلیت اطمینان و کاهش تلفات انرژی در مقایسه با شبکه‌های توزیع صرفاً شعاعی صورت می‌گیرد.

۴- شبکه توزیع هوایی و زمینی (Aerial and Underground Distribution Networks):

شبکه‌های توزیع هوایی و زمینی طراحی می‌شوند. شبکه‌های هوایی معمولاً هزینه کمتری دارند و سریع‌تر نصب می‌شوند، اما در برابر شرایط جوی آسیب‌پذیرتر هستند. از سوی دیگر، شبکه‌های زمینی به دلیل محافظت در برابر عوامل محیطی و زیبایی‌شناسی در مناطق شهری بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به ویژگی‌های هر یک از این شبکه‌ها و نیازهای خاص مناطق مختلف، انتخاب نوع شبکه توزیع مناسب می‌تواند تأثیر زیادی بر کارایی و قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع انرژی الکتریکی داشته باشد. در نهایت، هدف از طراحی و توسعه شبکه‌های توزیع، تأمین انرژی پایدار و با کیفیت برای تمامی مصرف‌کنندگان است [۴].

تجهیزات مورد نیاز در شبکه توزیع

شبکه‌های توزیع نیرو برای عملکرد پایدار و ایمن، نیازمند استفاده از وسایل و تجهیزاتی هستند که به‌طور خاص برای انتقال و توزیع انرژی الکتریکی طراحی شده‌اند. این تجهیزات نقش اساسی در افزایش کارایی و ایمنی شبکه دارند و باعث می‌شوند تا انرژی الکتریکی به‌صورت بهینه به مصرف‌کنندگان نهایی برسد. یکی از مهم‌ترین تجهیزات در شبکه‌های توزیع نیرو، ترانسفورماتورها هستند. ترانسفورماتورها برای تغییر سطوح ولتاژ به کار می‌روند و از آن‌ها برای کاهش ولتاژ تولیدشده در نیروگاه‌ها به ولتاژ مناسب برای توزیع استفاده می‌شود. در شبکه‌های توزیع، ترانسفورماتورها برای توزیع به‌طور عمده برای انتقال انرژی به ولتاژهای پایین‌تر استفاده می‌شوند تا این انرژی برای مصارف خانگی و صنعتی مناسب باشد.

کابل‌ها و هادی‌ها نیز یکی دیگر از تجهیزات اصلی در شبکه‌های توزیع نیرو به حساب می‌آیند. این کابل‌ها وظیفه انتقال انرژی الکتریکی از ایستگاه‌های توزیع به مصرف‌کنندگان را بر عهده دارند. کابل‌ها و هادی‌ها بسته به شرایط محیطی و کاربرد، ممکن است هوایی یا زمینی نصب شوند و به‌منظور افزایش ایمنی از مواد عایق مقاوم در برابر شرایط جوی ساخته می‌شوند. هادی‌های مسی یا آلومینیومی به دلیل رسانایی بالا معمولاً در این نوع کابل‌ها به کار می‌روند. در کنار تجهیزات انتقال، کلیدهای قدرت یا سوئیچ‌گیرها برای کنترل جریان برق و محافظت از تجهیزات در برابر آسیب‌های ناشی از خطاهای الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این کلیدها قابلیت قطع و وصل مدارها را دارند و در هنگام بروز خطاهایی نظیر اتصال کوتاه یا اضافه بار، به‌طور خودکار مدار را قطع کرده و از آسیب دیدن تجهیزات جلوگیری می‌کنند.

مقره‌ها یا اینسولاتورها نیز بخش مهمی از تجهیزات شبکه توزیع هستند. این تجهیزات وظیفه ایزوله کردن هادی‌ها از پایه‌های فلزی یا دیگر اجزای شبکه را دارند و از موادی مانند سرامیک یا پلیمر ساخته می‌شوند. استفاده از مقره‌ها باعث می‌شود تا جریان الکتریکی به‌طور ایمن از هادی‌ها عبور کرده و به زمین یا تجهیزات دیگر نشت نکند. تابلوه‌های توزیع یکی دیگر از تجهیزات مهم شبکه‌های توزیع هستند که برای مدیریت و کنترل جریان برق در شبکه‌های توزیع به کار می‌روند. این تابلوه‌ها شامل مجموعه‌ای از کلیدهای قدرت، فیوزها و ترانسفورماتورها هستند که به‌عنوان نقطه کنترل برای توزیع برق در بخش‌های مختلف شبکه عمل می‌کنند.

یکی دیگر از تجهیزات ضروری در شبکه‌های توزیع، سیستم‌های حفاظتی هستند. این سیستم‌ها برای جلوگیری از آسیب‌های ناشی از

افزایش می‌یابد. محاسبه دقیق فلش برای جلوگیری از برخورد سیم‌ها با زمین یا سایر موانع ضروری است.

۳- اسپان (Span)

اسپان به فاصله افقی بین دو برج متوالی گفته می‌شود. اسپان‌ها به چند نوع اصلی تقسیم می‌شوند، از جمله اسپان معمولی، اسپان متوسط، و اسپان بحرانی. اسپان معمولی فاصله بین دو برج در یک خط انتقال است که در محاسبات اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرد. اسپان متوسط به‌عنوان میانگین طول اسپان‌های موجود در یک خط انتقال محاسبه می‌شود و اسپان بحرانی، طول اسپانی است که بیشترین تأثیر را از شرایط محیطی مانند طوفان و زمستان می‌گیرد.

۴- اسپان وزن (Vertical Span)

اسپان وزن یا اسپان قائم، فاصله افقی بین دو نقطه مینیمم منحنی سیم در اسپان‌های مجاور است. اسپان وزن تعیین‌کننده مقدار نیروی عمودی ناشی از وزن سیم و زنجیره مقررها است. این نیرو نباید از حداکثر نیروی مجاز برای برج‌ها و تجهیزات بیشتر شود. محاسبات اسپان وزن برای اطمینان از عدم تجاوز بار وارده به تجهیزات و جلوگیری از بروز مشکلات مکانیکی اهمیت دارد.

۵- اسپان بادگیر (Wind Span)

اسپان بادگیر، فاصله افقی بین نقاط وسط دو اسپان مجاور است که در برابر نیروی باد مقاومت می‌کند. نیروی باد وارد بر سیم و برج‌ها یکی از عوامل مهم در طراحی مکانیکی خطوط انتقال است. فشار باد بر سطح سیم‌ها و برج‌ها می‌تواند ناپایداری ایجاد کند، بنابراین اسپان باد باید به گونه‌ای طراحی شود که نیروهای افقی ناشی از باد، برج‌ها و تجهیزات را تحت فشار بیش از حد قرار ندهند.

۶- اسپان بحرانی (Critical Span)

اسپان بحرانی به اسپانی گفته می‌شود که تحت سخت‌ترین شرایط محیطی (مانند طوفان یا زمستان) بیشترین تنش را در سیم‌ها ایجاد می‌کند. برای اسپان‌های کوتاه‌تر از اسپان بحرانی، شرایط زمستان معمولاً بحرانی‌تر است، در حالی که برای اسپان‌های بلندتر، طوفان بیشترین فشار را وارد می‌کند. این اسپان به عنوان یک پارامتر کلیدی در طراحی برج‌ها و انتخاب تجهیزات مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۷- محاسبات منحنی سیم

منحنی سیم یا منحنی شنت، منحنی‌ای است که سیم بین دو نقطه نگهدارنده ایجاد می‌کند. منحنی سیم تحت شرایط محیطی و دماهای مختلف، اشکال متفاوتی به خود می‌گیرد. سه نوع منحنی اصلی در طراحی خطوط انتقال مورد استفاده قرار می‌گیرند:

- **منحنی گرم:** برای رعایت فاصله مجاز سیم‌ها از زمین در دماهای بالا.
- **منحنی سرد:** برای شرایط حداقل دما و کنترل انحراف سیم‌ها.
- **منحنی فاصله مجاز از زمین:** برای اطمینان از حفظ فاصله سیم‌ها از سطح زمین در شرایط فلش حداکثری.

۸- مقاومت کششی سیم

مقاومت کششی سیم به حداکثر نیرویی اشاره دارد که سیم قبل از پاره شدن می‌تواند تحمل کند. این پارامتر به طور مستقیم با جنس سیم، قطر آن و شرایط محیطی ارتباط دارد و در طراحی خطوط انتقال بسیار حائز اهمیت

وسایل از تابلو را فراهم می‌کند. همچنین طراحی مناسب تابلو به گونه‌ای است که سیم‌کشی داخل تابلو در دسترس باشد تا تعمیرات به سادگی انجام شود.

طراحی و اصول ایمنی در تابلوهای فشار ضعیف

برای طراحی تابلوهای فشار ضعیف، ابتدا باید ولتاژ ورودی، نوع جریان و فرکانس آن مشخص شود. سپس با در نظر گرفتن مشخصات الکتریکی مصرف‌کنندگان و ضریب همزمانی، توان مصرفی شبکه تعیین می‌شود. انتخاب کلیدها، وسایل حفاظتی و دستگاه‌های اندازه‌گیری با توجه به نیازهای شبکه و با استفاده از کاتالوگ‌های کارخانه‌های سازنده انجام می‌شود.

یکی دیگر از نکات مهم، انتخاب کابل‌های ورودی و خروجی تابلو و همچنین شین‌های حامل جریان است. شین‌ها از مواد مختلفی نظیر مس یا آلومینیوم ساخته می‌شوند و با مقاطع مختلف طراحی می‌شوند تا ظرفیت جریان مناسب را فراهم کنند. در تابلوهای تقسیم برای شبکه‌های سه‌فاز با قدرت کم، انشعابات از طریق ترمینال انجام می‌شود، در حالی که تابلوهای با قدرت بالا دارای چهار شین (سه‌فاز و نول) هستند.

سیستم حفاظتی و مدیریت حرارت در تابلوها

حفاظت از مدارها و افراد در برابر خطرات احتمالی و اتصال کوتاه از اصول حیاتی طراحی تابلوهای الکتریکی است. فیوزها و سیستم‌های حفاظتی برای جلوگیری از مشکلات ناشی از اضافه بار و اتصال کوتاه استفاده می‌شوند. همچنین، در تابلوهای بزرگ از سیستم حفاظت سیم نول بهره‌برداری می‌شود.

در نهایت، تابلوهای الکتریکی باید به گونه‌ای طراحی شوند که حرارت تولیدشده در داخل آن‌ها کنترل شود. استفاده از تهویه مناسب یا سیستم هواکش در تابلوهای بزرگ ضروری است، چرا که حرارت زیاد می‌تواند باعث کاهش جریان نامی وسایل الکتریکی شود و به تجهیزات آسیب برساند. برای اطمینان از ایمنی بیشتر، دسترسی به داخل تابلوها باید محدود به افراد مجاز باشد و برخی بخش‌ها نظیر فیوزها ممکن است از دسترسی آسان‌تری برخوردار باشند تا کاربران بتوانند فیوزهای سوخته را به‌راحتی تعویض کنند [۶].

محاسبات شبکه توزیع

محاسبات شبکه توزیع، یکی از بخش‌های کلیدی طراحی و بهره‌برداری از خطوط انتقال انرژی الکتریکی است. این محاسبات شامل پارامترهای مختلفی نظیر کشش سیم‌ها، فلش (Sag)، اسپان، و نیروهای وارد بر برج‌ها می‌باشد. در این بخش به برخی از مهم‌ترین این محاسبات و پارامترها پرداخته خواهد شد.

۱- کشش سیم (Tension)

کشش سیم به نیرویی اشاره دارد که باید در یک نقطه از سیم اعمال شود تا سیم در همان نقطه از پاره شدن جلوگیری کرده و شکل قبلی خود را حفظ کند. این نیرو در امتداد سیم و مماس بر آن اعمال می‌شود و واحد آن معمولاً کیلوگرم است. در محاسبات مکانیکی خطوط انتقال، کشش سیم یکی از مهم‌ترین عوامل است، زیرا مقدار نادرست آن می‌تواند منجر به آسیب‌های جدی در سیم‌ها و تجهیزات شود.

۲- فلش (Sag)

فلش به بزرگ‌ترین فاصله عمودی بین سیم و خطی که از نقاط اتصال سیم به برج‌ها می‌گذرد، اطلاق می‌شود. فلش تحت تأثیر عواملی مانند طول اسپان (فاصله بین دو برج مجاور)، دمای محیط و وزن سیم است. به‌طور کلی، هرچه فاصله بین دو برج بیشتر باشد یا وزن سیم سنگین‌تر شود، مقدار فلش

سازگار با محیط زیست، از جمله عوامل حیاتی در توسعه شبکه‌های توزیع است. توجه به جنبه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی در طراحی این شبکه‌ها می‌تواند تأثیر مثبتی بر کاهش آلودگی‌ها و حفظ منابع طبیعی داشته باشد. استفاده از فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا (IoT) و سیستم‌های مانیتورینگ لحظه‌ای نیز امکان مدیریت مؤثرتر شبکه‌ها را فراهم کرده و بهبود کیفیت خدمات و کاهش هزینه‌ها را به همراه دارد. در نهایت، تحقیقات بیشتر در این زمینه می‌تواند به توسعه روش‌های نوآورانه و کارآمدتری برای طراحی شبکه‌های توزیع انرژی منجر شود و در نتیجه افزایش امنیت، کارایی و پایداری این سیستم‌ها را تضمین کند.

مراجع

- [1] El-Sharkawi MA. Electric energy: an introduction. CRC press; 2008 Aug 5.
- [2] Sallam, A.A. and Malik, O.P., 2018. Electric distribution systems.
- [3] Ganguli SK, Kohli V. Power cable technology. CRC Press; 2016 Apr 27.
- [4] Trpovski A, Hamacher T. A comparative analysis of transmission system planning for overhead and underground power systems using AC and DC power flow. In 2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT-Europe) 2019 Sep 29 (pp. 1-5). IEEE.
- [5] Chowdhury A, Koval D. Power distribution system reliability: practical methods and applications. John Wiley & Sons; 2011 Apr 22.
- [6] Kussy F. Design fundamentals for low-voltage distribution and control. Routledge; 2017 Nov 22.

است. تجاوز از مقاومت کششی می‌تواند منجر به شکست سیم‌ها و قطع برق شود.

۹- پروفیل و پلان خطوط انتقال

در طراحی مکانیکی خطوط انتقال، دو مفهوم مهم پروفیل و پلان وجود دارد. پروفیل نشان‌دهنده وضعیت پستی و بلندی‌های زمین در مسیر خط است و به مهندسان کمک می‌کند تا بهترین نقاط برای نصب برج‌ها را انتخاب کنند. پلان نیز دید از بالای مسیر خط انتقال است که موقعیت برج‌ها و اجزای مختلف شبکه را نشان می‌دهد.

۱۰- طراحی برج‌های انتقال

برج‌ها یا پایه‌ها، وظیفه نگهداری سیم‌های هادی خط انتقال را بر عهده دارند و به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

- **برج‌های آویزی:** برای خطوط مستقیم با زاویه انحراف کم.
 - **برج‌های کششی:** برای مسیریابی با زاویه انحراف زیاد.
- برج‌های انتهایی:** برای انتهای خطوط انتقال که نیروهای کششی نامتقارن را تحمل می‌کنند.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی چالش‌ها و نوآوری‌های موجود در طراحی و بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی پرداخته شد. یکی از مهم‌ترین مسائل مورد بحث، تلفات انرژی ناشی از طراحی ناکافی و اتصالات ضعیف است که می‌تواند به کاهش کارایی و افزایش هزینه‌های سیستم منجر شود. بهینه‌سازی شبکه‌ها با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی، حسگرهای هوشمند و سیستم‌های مدیریت انرژی می‌تواند راه‌حل مؤثری برای کاهش تلفات و افزایش بهره‌وری باشد. علاوه بر این، بهبود ایمنی شبکه‌ها در برابر حوادث طبیعی و استفاده از مواد