ارائه الگوریتم حفاظتی برای الکتروپمپ های شناور در برابر اضافه ولتاژهای گذرای ناشی از برخورد غیرمستقیم صاعقه

فریدالدین صفایی[۱]، بهزاد برارزاده[۲]، میثم صلواتی[۳]، عباس سپاهی [۴]
[۱] کارشناس انرژی و تله‌متری، شرکت آب و فاضلاب استان مازندران، farid.safaii@semnan.ac.ir
[۲] مدیرعامل شرکت آب و فاضلاب استان مازندران، bararzadeh@abfa-mazandaran.ir
[۳] مدیر دفتر انرژی و تله‌متری، شرکت آب و فاضلاب استان مازندران، salavati@abfa-mazandaran.ir
[۴] مدیر امور شهرستان نکا، شرکت آب و فاضلاب استان مازندران، a.sepahi@abfa-mazandaran.ir

چکیده

انتقال امواج مخرب گذرا از شبکه فشار متوسط به شبکه فشار ضعیف از طریق ترانسفورماتورهای توزیع، اثرات مخربی بر تجهیزات شبکه‌های فشار ضعیف وارد می‌سازد. در این مقاله‌یک الگوریتم حفاظتی‌به‌منظور حفاظت از الکتروپمپ های شناور و تجهیزات الکترونیکی حساس تابلوهای صنعتی در برابر امواج گذارای صاعقه ارائه می گردد. یافته‌های تجربی از نصب ادوات حفاظتی امواج گذرای صاعقه در یک دوره ۵ ساله در شرکت آب و فاضلاب استان مازندران ارائه شده است. همچنین تأثیر پارامترهای مختلف مثل نحوه اتصال شبکه فشار متوسط به فشار ضعیف، رفتار فرکانس بالای الکتروپمپ شناور و مدل یونیزاسیون خاک شبکه زمین بر دامنه اضافه ولتاژهای گذرای صاعقه مورد بررسی قرار می‌گیرد. مدل‌سازی‌های و شبیه‌سازی برای یک شبکه فشار ضعیف نمونه در نرم‌افزار EMTP-RV انجام شد. نتایج شبیه‌سازی‌ها و یافته‌های تجربی نشان می‌دهد، حفاظت الکتروپمپ های شناور و تابلوهای راه‌انداز با تجهیزات الکترونیکی حساس در برابر امواج صاعقه ضروری است.

کلمات کلیدی

برقگیر فشار ضعیف، الکتروپمپ شناور، امواج گذرای صاعقه، حفاظت در برابر صاعقه

۱- مقدمه

افزایش ناگهانی ولتاژ و جریان بر اثر وقوع صاعقه و یا کلیدزنی در سیستم‌های الکتریکی، وقوع اتصال کوتاه در تأسیسات نیرو، افزایش ناگهانی برق شهری و تخلیه الکترواستاتیک می‌تولند به ادوات برقی و الکترونیکی آسیب برساند. اضافه ولتاژهای ناشی از صاعقه یکی از عوامل عمده مؤثر در عملکرد تأسیسات شرکت‌های آب و فاضلاب در زمان بروز بحران، می‌باشد [۱].کمتر پژوهشی تاکنون به بررسی اثر اضافه ولتاژهای گذرا بر روی تجهیزات الکتریکی فشار ضعیف تأسیسات الکتریکی آب‌رسانی پرداخته است [۲]. برای حفاظت از تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی حساس در برابر اضافه ولتاژهای گذرای ناشی از صاعقه و کلیدزنی، از برقگیر های فشار ضعیف استفاده می‌شود. اصول کارکرد حفاظت SPD[1] ها بر مبنای مشخصه غیرخطی ولتاژ و جریان مقاومت‌های داخلی آن می‌باشد [۳]. مرجع [۳] نقش اضافه ولتاژهای القایی در انتخاب SPD ها را بررسی کرده است و بیان می‌دارد اگر از تأثیر این نوع اضافه ولتاژها بر SPD ها نادیده گرفته شود، حتی اگر SPD ها در آن شبکه‌ها بر اساس رویه‌های توصیه‌شده در استانداردهای بین‌المللی انتخاب شده باشند، وضعیت حفاظتی سیستم نامطلوب است زیرا خطر از دست دادن شبکه‌های الکترونیکی حساس زیاد است و باید از آن جلوگیری کرد [۳، ۴]. تجربیات و مشاهدات میدانی نشان می‌دهد به علت محدودیت ارتفاع خطوط هوایی شبکه توزیع و وجود ساختمان‌ها و درختان در اطراف خطوط، احتمال برخورد مستقیم صاعقه به خط بسیار کم می‌باشد [۵] و اکثر ضربات صاعقه به زمین اطراف خطوط برخورد می‌کنند.. در این مقاله با تمرکز بر اضافه ولتاژهای ناشی از برخورد غیرمستقیم صاعقه (به زمین اطراف یا ساختمان‌های بلند) و درنتیجه ضربه‌های انتقالی از سمت فشار متوسط به فشار ضعیف از طریق ترانسفورماتور توزیع، تأثیر مقدار اضافه ولتاژهای صاعقه بر تجهیزات الکترونیکی حساس و الکتروپمپ‌های شناور

(ESP[2]) شبکه‌های آب و فاضلاب را مورد بررسی قرارگرفته و الگوریتم حفاظتی مناسب جهت نصب انواع برقگیر های فشار ارائه می‌گردد.

۲- بخش تعریف مشکل و چالش مورد بررسی

شهرهای شمالی ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی، از مناطق صاعقه خیز ایران محسوب می‌شوند. آسیب جدی برد تغذیه درایو کنترل دور الکتروموتور ۳۰ کیلوواتی ایستگاه پمپاژ "کهنه ده" و تخریب خازن‌های درایو کنترل دور ۱۵ کیلوواتی ایستگاه "کم کلا" بر اثر ضربات مخرب صاعقه، چند نمونه مشابه از آسیب دیدن تجهیزات حساس تأسیسات شرکت آب و فاضلاب استان مازندران بر اثر صاعقه در سال‌های اخیر می‌باشند. همچنین در آبان ماه سال ۱۳۹۷ مطابق شکل (۱)، یک دستگاه درایو کنترل دور سانترنو (SANTERNO) در تابلو راه‌انداز الکتروموتور شناور با توان نامی ۱۳۰ کیلووات، در چاه شماره ۹ شهر نکا، بر اثر امواج صاعقه دچار آسیب جدی شد. الکتروموتور چاه مذکور نیز در سال ۱۳۹۸ به علت ضعف عایقی (اتصال بدنه سیم‌پیچ‌ها) تعویض گردید. لذا با بررسی‌های صورت گرفته توسط کارشناسان دفتر انرژی و تله‌متری شرکت آب و فاضلاب ارائه یک دستورالعمل حفاظتی به‌منظور کاهش اثرات مخرب اضافه ولتاژ صاعقه در دستور کار قرار گرفت.

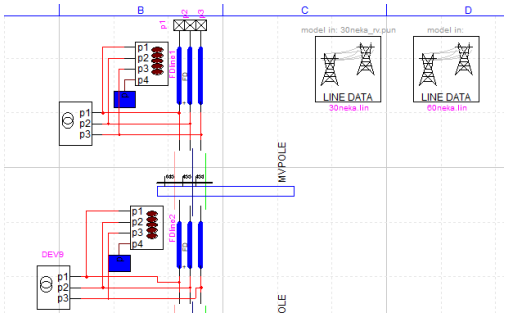
شکل (۱): درایو کنترل دور آسیب‌دیده بر اثر صاعقه

۲-۱- برقگیر حفاظتی سیستم فشار ضعیف

هرگاه صاعقه به ساختمان‌ها، زمین و درختان مجاور خطوط توزیع برخورد کند، اضافه ولتاژهای معروف به‌اضافه ولتاژهای القایی روی فازهای خط ظاهر می‌شوند [۴]. در برخورد غیرمستقیم صاعقه، ماکزیمم دامنه و شیب تغییرات اضافه ولتاژ القاشده در هادی فاز، به طرز قابل‌توجهی توسط پارامترهای صاعقه، تحت تأثیر قرار می‌گیرد. موج برگشتی ناشی از تخلیه صاعقه، عامل اصلی ایجاد ولتاژ القایی روی فاز می‌باشد[۴]. به تجهیزات حفاظت در مقابل برخورد غیرمستقیم صاعقه SPD گفته می‌شود. برای حفاظت از تجهیزات الکترونیکی حساس در برابر اضافه ولتاژها حتی اگر با کابل‌های زیرزمین تغذیه شوند استفاده از SPD توصیه می‌شود. جهت تست تجهیزات حفاظتی مورداستفاده قرار گرفت و در استاندارد IEC۶۱۶۴۳ (مربوط به برقگیر های حفاظتی) عنوان شد [۳].

۳- ارائه تجربیات و راه حل برای چالش و مشکل و دستاورد حاصله

به‌منظور کاهش اثرات مخرب صاعقه بر الکتروموتورهای شناور شرکت آب و فاضلاب استان مازندران از سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۲ بیش از ۱۵۰ دستگاه برقگیر حفاظتی کلاس یک و کلاس دو در تأسیسات الکتریکی حساس با راه‌اندازی درایو کنترل دور و سافت استارتر، نصب گردید. در این بخش با مدل‌سازی دقیق گذرای یک شبکه توزیع فشار متوسط و فشار ضعیف به بررسی نقش SPD نصب تأسیسات الکتروموتورهای شناور پرداخته شده است. برای مدل‌سازی خط نیز از مدل خط انتقال FD[3] وابسته به فرکانس و برای مدل‌سازی برقگیر شبکه‌های توزیع با یک قرص ZnO به طول ۰/۳۷ متر از مدل IEEE استفاده شده است. روش خط انتقال (TLM[4]) روشی است که برای مدل‌سازی دقیق الکترودهای زمین تحت فرکانس‌های بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد و اثر یونیزاسیون خاک نیز به‌خوبی مدل می‌شود. به‌منظور مدل‌سازی ترانسفورماتور قدرت از مدل فرکانس بالای ترانسفورماتور در [۵] استفاده شده است. برای مدل‌سازی برقگیر های فشار ضعیف (SPD) کلاس ۲ مطابق استاندارد IEC 61643، معمولاً از یک مقاومت غیرخطی با نمودار ولتاژ جریانی مشخص استفاده می‌کنند. جهت ارزیابی اثر غیرمستقیم صاعقه بر روی شبکه توزیع با استفاده از LIOV_Code در محیط برنامه‌نویسی JAVA صورت می‌پذیرد. برای تولید موج صاعقه از روش مونت کارلو استفاده می گردد [۳]. شکل (۲) بخشی از شبیه سازی در EMTP-RV را نشان می دهد. به عنوان نمونه با اعمال ضربه موج صاعقه ۴۵ کیلو آمپری در فاصله ۵۰ متری از خط، حداکثر دامنه ولتاژ القا شده پایه‌های شماره ۶۲ (ترانسفورماتور تغذیه‌کننده الکتروپمپ) برای برخورد موج صاعقه در فاصله‌ی ۵۰ متری از خط به ترتیب برابر با ۱۰۵ کیلوولت می‌باشد.



شکل (۲): شبکه شبیه سازی شده در نرم افزار.

شـکل(۳) مقدار دامنه اضـافه ولتاژ القایی انتقالی از ترانسـفورماتور بر تابلوی برق را نشـان می‌دهد. همان‌طور که در شـکل (۳) مشـاهده می‌کنید مقدار اضـــافه ولتاژهای القایی ۴۸۰۰ ولت می‌باشـــد که از مقدار حداکثر تعیین‌شـده در جدول (۲) آمده اسـت، بالاتر می‌باشـد لذا باید نصـب برقگیر حفاظتی کلاس ۱ بر روی تابلو بررسی گردد. شکل (۴) الگوریتم پیشنهادی نصب SPD در تاسیسات آب و فاضلاب را نشان می دهد.

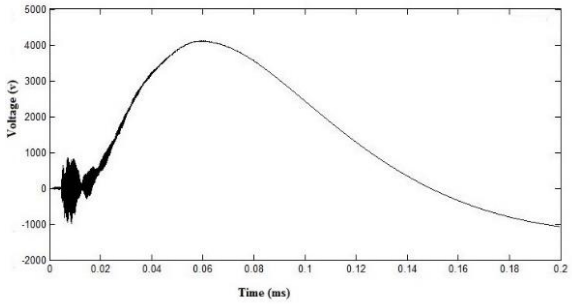
۴- نتیجه‌گیری

برای صیانت از تجهیزات الکتریکی و موتورهای شبکه آب‌رسانی آب و فاضلاب در برابر صاعقه، دو گام مهم حفاظت اولیه و ثانویه بایستی بکار گرفته شود. حفاظت اولیه در سمت اولیه ترانسفورماتور توزیع انجام می‌گردد و حفاظت ثانویه باید به‌صورت یک دستورالعمل مدون نصب SPD برای تابلو برق‌های دارای کنترل دور متغیر و سافت استارتر انجام گردد. در شرایط واقعی تأثیری که صاعقه بر روی تأسیسات مصرف‌کننده می‌گذارد فقط به نوع بار مصرفی بستگی ندارد، بلکه به نحوه سیم‌کشی، حضور دستگاه‌های حفاظتی و رفتار تصادفی بار نیز بستگی دارد. در این مقاله نشان داده شد که با توجه به گسترش روزافزون استفاده از تجهیزات الکترونیکی حساس، نصب SPD ها اجتناب‌ناپذیر است. بااین‌وجود، بررسی اضافه ولتاژهای ناشی از کلیدزنی و القای ناشی برخورد غیرمستقیم صاعقه و همچنین در نظر گرفتن پارامترهای اقتصادی، برای امکان‌سنجی نصب SPD ضروری است. برای محافظت تجهیزات برقی شبکه‌های آب و فاضلاب لزوم استفاده از SPD بر روی تابلوها و اطمینان حاصل کردن از عملکرد برقگیر فشارقوی و اتصالات زمین مناسب سیستم زمین ضروری است.

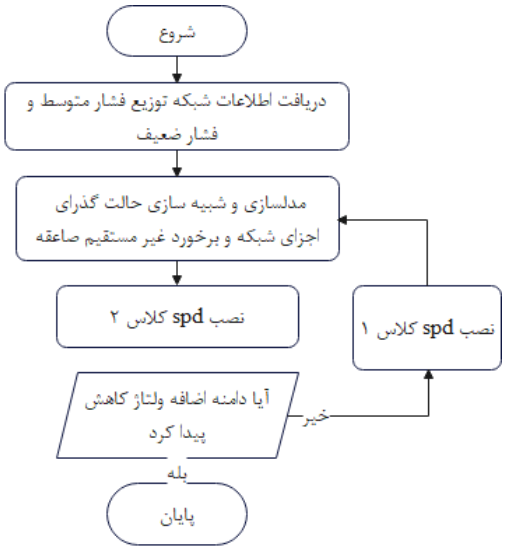
جدول (۲): استقامت عایقی تجهیزات LV مطابق استاندارد [۴]

حداکثر ولتاژ (kV)	نوع تجهیزات	کلاس ولتاژی
۶	تجهیزات نصب‌شده در تابلو توزیع شامل تجهیزات اندازه‌گیری، فیوزها و مدار اصلی	IV
۴	تجهیزات نصب‌شده ثابت و یا تجهیزات دائم کار برای مصارف صنعتی از قبیل: موتورها ، کوره‌ها	III
۲/۵	تجهیزات الکتریکی مورداستفاده روزمره	II
۱/۵	تجهیزات الکترونیکی حساس	I

[1] Surge Protection Device
[2] Electrical Submersible Pump



شکل (۳): اضافه ولتاژ در ورودی تابلو



شکل (۴) : فلوچارت انتخاب و نصب SPD

مراجع

[1] Y. Zheng, C. Gong, W. Hu and Z. Zhu, "Coordination of two-stage surge protective device in low-voltage system under mixed waves." The Journal of Engineering, vol. 13, pp. 1010-1014. 2017.
[2] J. Cao, Y. Du, Y. Ding, R. Qi and M. Chen, “Lightning protection with a differentiated configuration of arresters in a distribution network,” IEEE Transactions on Power Delivery, vol.38, no. 1, pp. 409-419, 2022
[3] C. A. Nucci, F. Rachidi, M. Ianoz and C. Mazzetti, “Lightning induced voltages on overhead lines”, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 35, No. 1, pp. 75-86, February 1993.
[4] IEC 61312-1: "Protection against lightning electromagnetic impulse," Part 1, 2014.
[5] F. Safaei and M. Niasati, "Calculation of UHV transformer insulation risk by extended Monte Carlo method," Electric Power Systems Research, Vol. 218, pp. 109219, 2023.

[3] Constant Parameter
[4] Transmission Line Model