اصلاح ولتاژ القائی در شبکه‌های توزیع هوائی

سید محمد حسن محرائیان
شرکت برق منطقه‌ای فارس

محمد حسین رهنورد
دانشگاه شیراز

چکیده :

القاء ولتاژ توسط خطوط فشارقوی در شبکه‌های توزیع هوائی پدیده‌ای است که هم به لحاظ بهره‌برداری و هم به لحاظ ایمنی ایجاد مزاحمت مینماید. این پدیده بعضاً منجر به بروز حوادث ناگوار و به جای ماندن خسارات جانی و مالی جبران ناپذیر میشود. در این مقاله یک روش ساده و کاربردی جهت کاهش میزان ولتاژ القائی در شبکه‌های توزیع هوائی پیشنهاد شده و نتایج حاصل از بکارگیری آن در یک نمونه خاص مورد ارزیابی قرار میگیرد.

شرح مقاله :

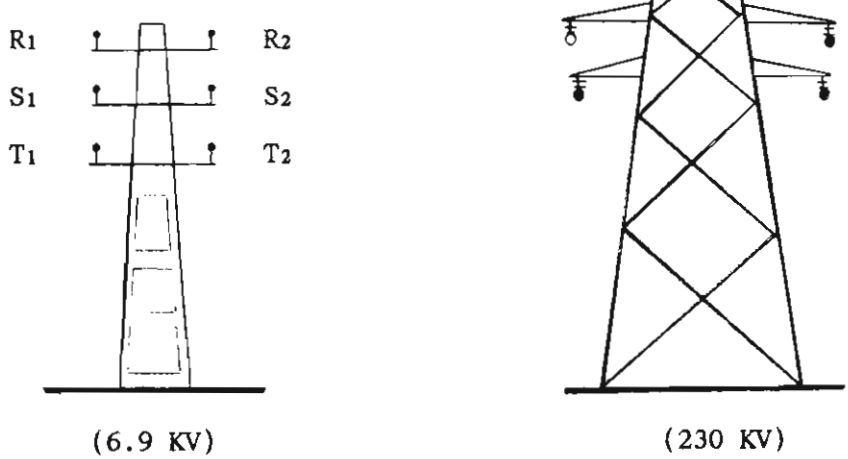
گسترش روزافزون زندگی شهری و توسعه شهرها موجب شده است که برخی از شبکه‌های انتقال انرژی که تا چندی قبل در حاشیه شهر قرار داشتند در محدوده شهر و حتی مناطق مسکونی قرار گرفته و زندگی شهروندان را با مخاطره و نگرانی مواجه سازند. بدیهی است در چنین وضعیتی اجتناب و پرهیز از احداث شبکه‌های توزیع هوائی در مجاورت خطوط فشار قوی در همه موارد امکانپذیر نخواهد بود ، هر چند که بعضی آنرا به عنوان یک ضرورت مسلم تشخیص داده و بر آن اصرار ورزند. از طرفی امروزه استفاده از شبکه‌های چند ولتاژه در عرصه تکنولوژی انتقال و توزیع انرژی امری است رایج و مألوف. بنابراین مطالعه پیرامون مسائل و

مشکلات این دسته از شبکه‌های توزیع هوائی گام مؤثری است در جهت دستیابی به روشهائی که بتوان با بکارگیری آنها خطرات ناشی از ولتاژ القائی را کاهش داد، و نهایتا" مشکلات بهره‌برداری را به میزان قابل توجهی بر طرف نمود.

تعیین استاندارد حریم برای شبکه‌های انتقال و توزیع به تنهائی پاسخگوی مشکلات نخواهد بود. چرا که رعایت همه اصول و ضوابط استاندارد در تمامی وضعیتها مقدور نمیباشد. همچنین بکارگیری دستورالعملهای ویژه در بهره‌برداری از این نوع شبکه‌ها و رعایت نکات ایمنی مربوطه نیز راه حل نهائی مسئله تلقی نمیشود. لذا در این مقاله ابتدا نتایج حاصل از مطالعه بر روی یک نمونه از این نوع شبکه‌ها ارائه و از لحاظ تئوری مورد بحث قرار گرفته و در پایان یک روش ساده برای اصلاح ولتاژ القائی در شبکه‌های توزیع هوائی پیشنهاد میشود.

۱- مطالعه یک شبکه نمونه :

مطالعه بر روی یک نمونه شبکه توزیع هوائی (6.9 KV) که در مجاورت شبکه انتقال (230 KV) احداث شده نشان میدهد که ولتاژ اعمالی در شبکه توزیع حاصل دو ولتاژ یکی القائی و دیگری خازنی است. منشاء ولتاژ القائی جریان شبکه انتقال ، و منشاء ولتاژ خازنی پتانسیل شبکه انتقال میباشد. همچنین میزان ولتاژ خازنی چندین برابر ولتاژ القائی است. وضعیت این شبکه در شکل (۱)



(6.9 KV) (230 KV)

شکل ۱ - وضعیت اولیه دو شبکه انتقال و توزیع

نمایش داده شده است. متوسط فاصله افقی سیمهای کناری دو شبکه ۹ متر ، متوسط فاصله عمودی فازهای وسط ۲۰ متر و طول مسیر مشترک آن دو برابر با ۶۰۰ متر میباشد. در یک نقطه ازاین مسیر نیز دو شبکه به صورت متقاطع قرار گرفته‌اند.

در ابتدا به منظور تعیین میزان ولتاژ اعمالی در فازهای مختلف دو مدار شبکه توزیع تستهای مختلفی انجام گرفت. در اولین مرحله بدون ایجاد هرگونه تغییری اندازه‌گیری ولتاژ انجام شد و سپس در چند مرحله مختلف با زمین کردن یک نقطه از یک یا چند هادی شبکه توزیع ، اندازه‌گیری ولتاژ مجددا" تکرار شد. لازم به یادآوری است که در کلیه مراحل آزمایش ورودی وخروجی شبکه توزیع ، قطع و تنها شبکه انتقال برقدار بود. نتایج حاصله در جدول (۱) درج گردیده است.

ردیف	وضعیت شبکه توزیع	ولتاژ اندازه‌گیری شده (ولت)							
		S_2T_2	R_2S_2	S_1R_2	R_1R_2	T_2	S_3	S_2	R_1
۱	اولیه (عادی)	۴۵۰	—	—	—	۲۲۰۰	۳۶۰۰	۳۵۰۰	۳۷۰۰
۲	فاز R_2 در یک نقطه زمین شد	۳۸۰	—	—	—	۱۶۵۰	۱۶۵۰	—	—
۳	فازهای R_2 و T_2 در یک نقطه زمین شد	—	—	—	—	—	۱۱۰۰	—	—
۴	فازهای R_2 و T_2 در دو نقطه زمین شد	—	—	—	—	—	۱۱۰۰	—	—
۵	فازهای R_1 و T_1 و R_2 و T_2 در یک نقطه زمین شد	—	—	—	—	—	۶۶۰	۶۶۰	—
۶	فازهای R_2 و S_2 و T_2 در یک نقطه زمین شد	—	—	—	—	—	—	۱۰۰۰	—
۷	فازهای T_1 و R_2 و S_2 و T_2 در یک نقطه زمین شد	—	—	—	—	—	—	۷۷۰	—
۸	فاز T_2 در یک نقطه زمین شد	—	۴۴۰	—	—	—	—	—	—
۹	فازهای S_1 و T_1 و S_2 و T_2 در یک نقطه زمین شد	—	—	—	۲۲۰	—	—	—	—
۱۰	فازهای R_1 و T_1 و S_2 و T_2 در یک نقطه زمین شد	—	—	۶۶۰	—	—	—	—	—

جدول ۱ - نتایج اندازه‌گیری ولتاژ در وضعیتهای مختلف شبکه توزیع

قبل از مطرح نمودن روش مورد نظر به تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از انجام تستهای اولیه میپردازیم.

۲- ارزیابی جدول (۱) :

اعداد مندرج در این جدول عبارتند از میزان ولتاژ اعمالی روی شبکه توزیع هوائی قبل از اجرای روش مورد نظر. با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده میتوان بصورت زیر نتیجه‌گیری نمود.

۲-۱- حداکثر و حداقل میزان ولتاژ فاز نسبت به زمین که ترکیبی است از ولتاژ القائی و خازنی بترتیب برابر است با ۳۷۰۰ و ۲۲۰۰ ولت (ردیف ۱ جدول).

۲-۲- نصب تنها یک سیم کارد در بالای هادیهای شبکه توزیع موجب کاهش ولتاژ فاز نسبت به زمین به میزان تقریبی ۵۵٪ خواهد شد (ردیف ۲ جدول).

۲-۳- نصب تنها یک سیم کارد در بالا و همچنین یک سیم کارد در پائین هادیهای شبکه توزیع موجب کاهش ولتاژ فاز نسبت به زمین به میزان تقریبی ۷۰٪ خواهد شد (ردیف ۳ جدول).

۲-۴- زمین کردن سیم یا سیمهای کارد در بیش از یک نقطه تاثیر قابل توجهی در کاهش میزان ولتاژ فاز نسبت به زمین ندارد (ردیف ۴ جدول).

۲-۵- افزایش تعداد سیم کارد در بالا و پائین هادیهای شبکه توزیع موجب کاهش بیشتر میزان ولتاژ فاز نسبت به زمین خواهد شد. به عنوان مثال در صورت استفاده از دو سیم کارد در بالا و دو سیم کارد در پائین هادیهای شبکه توزیع ، میزان کاهش ولتاژ فاز نسبت به زمین در مقایسه با حالتی که تنها یک سیم کارد در بالا و یک سیم کارد در پائین مورد استفاده قرار میگیرد (بند ۳-۲) ، حدود ۱۲٪ بیشتر است. به این ترتیب با کاربرد چهار سیم کارد جمعا" ۸۲٪ از ولتاژ فاز نسبت به زمین کاهش مییابد (ردیف ۵ جدول).

۶-۲- نصب یک شبکه کارد سه سیمه در حد فاصل دو شبکه و به موازات شبکه توزیع ، در کل موجب کاهش ولتاژ فاز نسبت به زمین به میزان تقریبی ۷۲٪ خواهد شد که نسبت به حالت قبل تاثیر کمتری رانشان میدهد. بنابراین روش نصب دو سیم کارد در بالا و دو سیم کارد در پائین شبکه توزیع تاثیر بیشتری در کاهش ولتاژ اعمالی دارد (ردیف ۶ و ۷ جدول).

۳- روش پیشنهادی :

قبل از انجام تستهای فوق‌الذکر بر اساس مطالعات تئوریک پیشنهاد شد که به منظور کاهش میزان ولتاژ اعمالی روی شبکه توزیع ، دو سیم کارد در بالا و دو سیم کارد در پائین هادیهای شبکه توزیع نصب و تست اندازه‌گیری ولتاژ انجام پذیرد. به خاطر حصول اطمینان اولیه از تاثیر طرح پیشنهادی تستهای ابتدائی انجام پذیرفت که نتایج این مرحله از تستها در جدول (۱) درج گردیده است. بررسی نتایج بدست آمده مؤثر بودن این روش را تائید نمود ، لذا پیشنهاد فوق به مورد اجرا گذاشته شد و سپس اندازه‌گیری ولتاژ صورت پذیرفت. نتایج حاصل از تست اندازه‌گیری ولتاژ در وضعیت جدید شبکه توزیع در جدول (۲) با وضعیت اولیه مورد مقایسه قرار گرفته است.

وضعیت شبکه توزیع	ولتاژ اندازه‌گیری شده (ولت)											
	R_2T_2	S_2T_2	R_2S_2	R_1T_1	S_1T_1	R_1S_1	T_2	S_2	R_2	T_1	S_1	R_1
اولیه	—	۴۵۰	—	—	—	—	۲۲۰۰	—	—	۳۶۰۰	۳۵۰۰	۳۷۰۰
جدید	۱۶۰	۱۱۰	۶۰	۲۲۰	۱۶۰	۱۱۰	۸۲۰	۱۰۰۰	۱۱۰۰	۷۰۰	۸۸۰	۹۳۰

جدول ۲ - مقایسه نتایج اندازه‌گیری ولتاژ در دو وضعیت اولیه و جدید

۴- ارزیابی جدول شماره دو :

اعداد مندرج در این جدول عبارتند از میزان ولتاژ اعمالی روی شبکه توزیع هوائی در وضعیت اولیه و جدید. با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده میتوان به صورت زیر نتیجه‌گیری نمود.

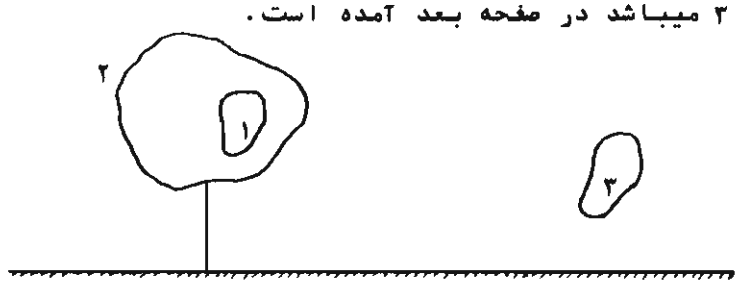
۴-۱- در صورت نصب دو سیم کارد دربالا و دو سیم کارد در پائین هادیهای شبکه توزیع ، ولتاژ اعمالی در فازهای مختلف دو مدار آن متناسب با کاهش ارتفاع آنها از سطح زمین و کاهش فاصله آنها از شبکه انتقال ، کاهش می‌یابد.

۴-۲- اجرای روش فوق موجب کاهش ولتاژ فاز نسبت به زمین به میزان تقریبی ۷۵٪ و کاهش ولتاژ خط به میزان تقریبی ۸۰٪ میشود. به عنوان مثال در مورد ولتاژ خط S2T2 نصب تنها یک سیم کارد در بالای هادیهای شبکه توزیع ولتاژ اعمالی را به میزان ۱۶٪ کاهش میدهد ، در حالی که نصب دو سیم کارد در بالا و دو سیم کارد در پائین موجب کاهش این ولتاژ به میزان ۷۶٪ میشود.

۴-۳- در یک مورد قبل از اندازه‌گیری ولتاژ یک فاز نسبت به زمین همان فاز زمین شد و پس از تخلیه الکتریکی مجددا" از زمین ایزوله گردید. میزان ولتاژ اندازه‌گیری شده نسبت به حالت شارژ کامل خط تفاوتی نداشت ، لذا میتوان نتیجه گرفت که عمل شارژ شبکه توزیع بسیار سریع صورت میگیرد.

۵- بحث تئوریک :

در توجیه تئوری بعضی از نتایج تستهای به عمل آمده میتوان گفت که حالت ایده آل SHIELDING موقعی رخ میدهد که یک هادی کامل ، شبکه توزیع را از شبکه انتقال مجزا نماید. استدلال این مطلب با مراجعه به شکل ۲ که شامل زمین و هادیهای ۱ و ۲ و ۳ میباشد در صفحه بعد آمده است.



شکل ۲ - شیلد الکترواستاتیک هادیهای ۱ و ۳ بوسیله زمین کردن هادی ۲

هادی ۱ درون هادی ۲ قرار گرفته و زمین شده است. روابط زیر بین بارهای روی هادیها و پتانسیلهای آنها (MULTY CAPACITOR SYSTEM) برقرار است.

$$q_1 = C_{11}.\phi_1 + C_{12}.\phi_1 + C_{13}(\phi_1-\phi_3) \qquad (1)$$

$$q_2 = C_{12}.\phi_1 - C_{23}.\phi_3 \qquad (2)$$

$$q_3 = C_{13}(\phi_3-\phi_1) + C_{23}.\phi_3 + C_{33}.\phi_3 \qquad (3)$$

در این روابط ϕ_i پتانسیل الکتریکی هادی iام نسبت به زمین ، q_i بار موجود روی هادی iام و C_{ij} خازن جزئی بین هادی iام و jام میباشند. این روابط بایستی در تمام حالات برقرار باشد. برای حالت خاص ($q_1 = 0$) هادی ۱ و ۲ هم پتانسیل میباشند ، چون باری درون هادی ۲ موجود نبوده ، پتانسیل هر دو برابر صفر است. لذا از روابط فوق نتیجه میشود که :

$$C_{13} = 0$$

بنابراین میتوان نوشت :

$$q_1 = (C_{11} + C_{12})\phi_1 \qquad (4)$$

$$q_2 = C_{12}.\phi_1 - C_{23}.\phi_3 \qquad (5)$$

$$q_3 = (C_{23} + C_{33})\phi_3 \qquad (6)$$

با توجه به اینکه $C_{13} = 0$ است ، زمین کردن هادی ۲ باعث شده که هادی ۱ از هادی ۳ SHIELD شود.

برای حالتی که با تغییرات زمانی همراه است نیز مطالب فوق صادق میباشد. البته در عمل برای شیلد کردن به جای هادی کامل به شکل فضای بسته ، از شبکه هادی استفاده میشود. از این پدیده که به سیستم " FARADAY CAGE " معروف شده است برای جلوگیری از صاعقه و برق گرفتگی که یک پدیده با تغییرات زمانی است نیز استفاده میشود [3 و 4] .

نتیجه :

استفاده از سیم کارد در بالا و پائین هادیهای آن دسته از شبکه‌های توزیع هوائی که بالاجبار در کنار خطوط انتقال با ولتاژ بالا احداث شده‌اند ، موجب کاهش ولتاژ اعمالی (اعم از خازنی و القائی) در شبکه توزیع خواهد شد. میزان کاهش ولتاژ به عوامل مختلفی از قبیل فاصله افقی و عمودی هادیهای دو شبکه ، وضعیت استقرار دو شبکه در قسمتی که با یکدیگر به صورت مجاور یا متقاطع قرار گرفته‌اند و همچنین سطح ولتاژ خط انتقال بستگی دارد ، بطوریکه مقدار تقریبی آن بیش از ۸۰٪ میباشد. بدیهی است انجام محاسبات دقیق در زمان طراحی این نوع شبکه‌های توزیع هوائی تاثیر بسزائی در تعیین بهترین و مناسبترین وضعیت مطلوب ، از لحاظ کمترین میزان اعمال ولتاژ توسط شبکه انتقال در شبکه توزیع خواهد داشت. همچنین انجام تحقیقات بیشتر و آزمایشات مشابه بر روی نمونه‌های مختلف میتواند در ارائه روشهای کاملتر و بهینه جهت تقلیل بیشتر میزان ولتاژ اعمالی مؤثر واقع شود.

قدردانی :

بدینوسیله از کلیه همکارانی که در مراحل مختلف انجام تستهای مربوطه به نوعی همکاری نموده‌اند بویژه گروه ایمنی و واحد طراحی توزیع تشکر و قدردانی مینماید.

منابع :

۱- مقاله بررسی یک حادثه منجر به فوت روی خط دو مداره - اولین کنفرانس ایمنی برق - تبریز - ۱۳۷۱

۲- گزارشات فنی طرح شبکه توزیع (6.9 KV) کارخانه سیمان فارس

3- PRINCIPLES & APPLICATION OF ELECTROMAGNETIC FIELDS BY PLONSEY AND COLLIN - McGRAW HILL - 1961 - PP.100-101

4- ELECTROMAGNETICS - JOHN D.KRAUS - 4TH EDITION - McGRAW HILL - 1992 - PP.93-103 , PP.211-214