سیم و کابل
صنعت
انجمن صنفی کارفرمایی تولیدکنندگان سیم و کابل ایران
شماره هفتاد و پنجم - تابستان ۱۳۹۸

آزمون الکتریکی روی کابل های با متراژ بالا

ترجمه: الهام علایی (کارشناس مهندسی فروش)

بررسی اجمالی

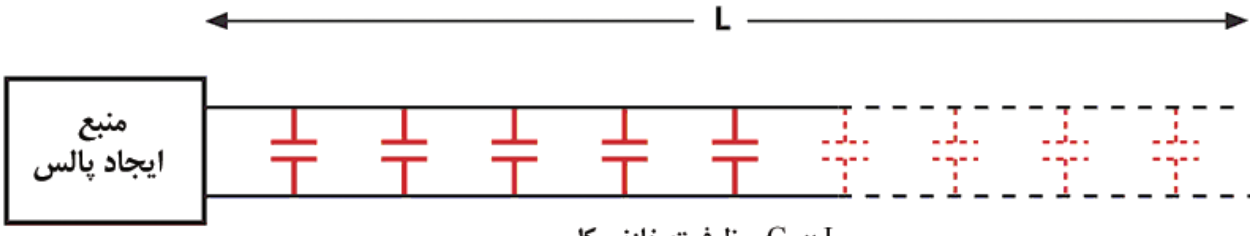
کابلهای مسی تمام جنبه‌های فنآوری مدرن را احاطه کرده و با وجود افزایش کاربردهای فیبرنوری در مخابرات، کماکان از هادی‌های مسی برای انتقال برق، کنترل الکتریکی و انتقال سیگنال‌های دیتا با هزینه اندک برای آینده‌ای قابل پیشی‌بینی، استفاده می‌شود. تا زمانی که صنعت، متقاضی کابل مسی برای اینگونه کاربردهاست، این کالاهای تولیدی، به آزمون‌هایی نیازمند هستند تا از عملکرد درست و مطابق با استانداردهای کیفیت، اطمینان حاصل گردد. در برخی کاربردها، قبل از اتمام عمر مفید محصول باید آزمون کهنگی بر روی کابل انجام گردد عدم انجام این آزمون ممکن است منجر به زیان‌های چشمگیر اقتصادی یا نتایج فاجعه‌بار شود.

فناوری پیشرفته و سهل‌الوصولی برای آزمون الکتریکی کابل‌ها و سیم‌های مهاردار با طول کمتر از سه متر وجود دارد. کابل‌هایی با طول بیش از ده‌ها، صدها و هزاران متر نیاز به تجهیزات و روش‌های آزمون و اپراتورهای جدید دارند تا بدون آسیب رساندن به تجهیزات یا ایجاد خطر ایمنی برای اپراتور بتوان به اطلاعات آزمونی دقیق دست یافت. این مقاله بر روی این موضوع متمرکز است.

تفاوت الکتریکی کابل‌های با متراژ بالا و متراژ کوتاه

تفاوت این نوع کابل‌ها در ظرفیت خازنی آنهاست. هادی‌های عایق شده واقع در کابل‌های چند رشته باعث افزایش خازنی بین هادی‌ها می‌شوند. این اثر اجتناب‌ناپذیر و معمول، نتیجه کنار هم قرارگیری هادی‌هایی است که با لایه نازکی از عایق از هم جدا شده‌اند. یک میدان الکتریکی بین هادی‌های موازی با هم بروز پیدا می‌کند. درست همانطوری که میدان الکتریکی بین یک صفحه خازن ایجاد می‌شود. اما در این مورد، به جای صفحات فلزی، رشته‌های بلند و نازک مس وجود دارند. با افزایش طول کابل، تاب سیم و وجود شیلد، ظرفیت خازنی نیز افزایش می‌یابد.

کابل شبکه اترنت زوجی با کیفیت بالا، دارای ظرفیت خازنی حدود ۱۷ پیکوفاراد در هر فوت است. باید توجه داشت که در صورت فقدان یک هسته آهنی یا هر ماده دیگری که شار مغناطیسی قرار گرفته و در مجاورت کابل متمرکز کرده باشد، اندوکتانس در مقایسه با ظرفیت خازنی تأثیر بسیار کمی بر انتقال سیگنال در طول کابل با متراژ بالا خواهد داشت.



ظرفیت خازنی کل = $C_L \times L$

ظرفیت خازنی در واحد طول = C_L

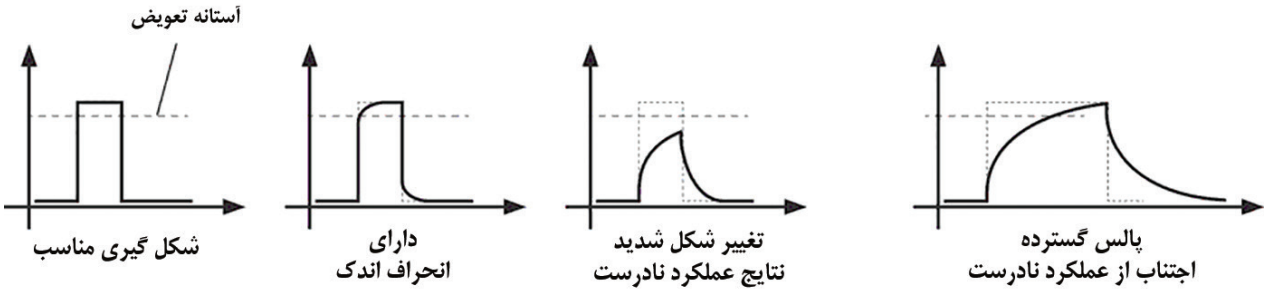
طول = L

شکل ۱. نمای ظرفیت خازنی کابل

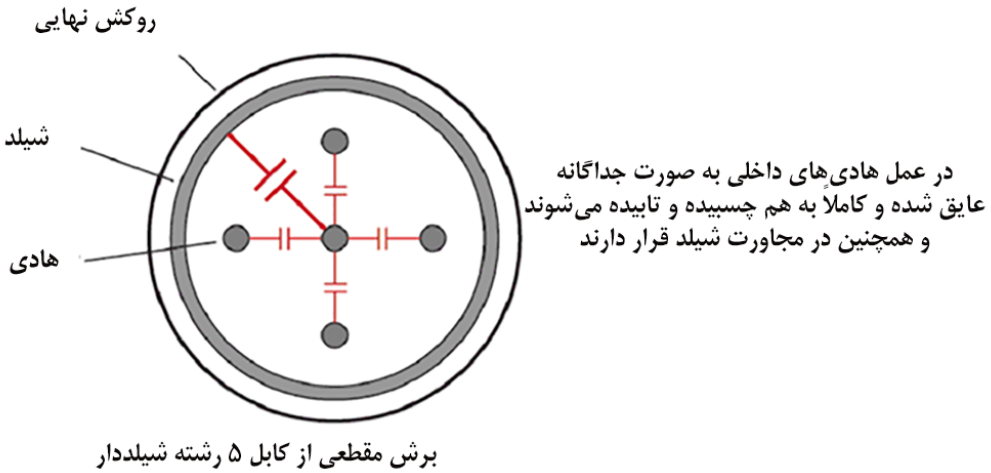
اثر افزایش ظرفیت خازنی بر مقدار مقاومت سیم

دریافت داده‌های مربوط به مقاومت سیم، معمولاً توسط اعمال پالس‌های DC کوتاه حاصل می‌گردد. امپدانس خروجی محرک در ترکیب با ظرفیت خازنی کابل، فیلتر پایین‌گذری را فراهم می‌کند که با ظرفیت خازنی کابل با اندازه کافی به شدت پالس اندازه‌گیری را دچار انحراف می‌کند و باعث بروز خطا می‌گردد.

اندازه‌گیری مقاومت سیم در ولتاژ پایین ثابت و معمولاً حدود ۱۰ ولت انجام می‌شود و امکان اندکی برای بالا بردن ولتاژ یا کاهش امپدانس خروجی برای شارژ سریع‌تر ظرفیت خازنی کابل وجود دارد. اما به راحتی امکان طولانی کردن پالس برای دستیابی به زمان کافی جهت آزمون ولتاژ پالس قبل از رسیدن مقدار اندازه‌گیری به آستانه سقوط وجود دارد. تصویر زیر نشان می‌دهد ظرفیت خازنی هنگامی که سه هادی یا بیشتر به طور موازی در طول کابل قرار گرفته باشند پیچیده‌تر می‌شود، مخصوصاً اگر یک شیلد فلزی نیز آنها را احاطه کرده باشد. در این مورد ظرفیت خازنی بین یک سیم و انبوهی از مس‌هایی که آنها را احاطه کردند می‌تواند بسیار بالاتر باشد و در نتیجه تأثیر اشاره شده بسیار شدیدتر گردد.



شکل ۲. پالس‌های آزمون منحرف شده توسط امپدانس خروجی و ظرفیت خازنی طبیعی کابل (پالس ۲ و ۳) می توانند منجر به عملکرد نادرست شوند (پالس ۳) مگر اینکه پالس آزمون تنظیم شود (پالس ۴).



شکل ۳. نمای ظرفیت خازنی پارازیتی در یک کابل چند رشته.

اثر افزایش ظرفیت خازنی بر مقدار اندازه‌گیری مقاومت عایقی

مقاومت ایده‌آل هادی مسی تابیده با سایز AWG ۲۲ و طول ۱۰ فوت، ۰/۱۶ اهم است. برای انتقال مناسب سیگنال، هر چه مقاومت پایین‌تر باشد بهتر است. اگرچه در مورد عایق سیم، عکس این موضوع صادق است، یعنی هرچه مقاومت عایقی آن بیشتر باشد بهتر است.

اندازه‌گیری مقاومت عایق‌های امروزی، دارای مقاومت ۱۰۰ مگا اهم یا بیشتر با ضخامت در حدود تنها ۶۴ صدم میلی‌متر، نسبت به اندازه‌گیری مقاومت مس، تجهیزات متفاوتی را مطالبه می‌کند. در حالی که برای اندازه‌گیری مقاومت هادی مسی به ولتاژ کمی در حدود ۱۰ ولت یا حتی کمتر نیاز است تا جریان به اندازه کافی برای عبور از آن داشته باشیم، برای عبور الکترونها از میان عایق با کیفیت مناسب، نیاز به صدها یا حتی هزاران ولت برق داریم تا یک جریان قابل اندازه‌گیری به دست آوریم. معمولاًبه تجهیزات مورد نیازکه برای این کار طراحی شده‌اند، تسترهای های‌پات (HighPotential) می‌گوییم.

نتایج اندازه‌گیری مقادیرمقاومت عایق معمولاً در حدود مگااهم و یا گیگااهم است و تمایل بر آن است که جریان نشتی از عایق را بر حسب میکروآمپر در یک ولتاژ خاص برای محاسبه این عدد پیدا کنیم یک آزمون اضافه نیز انجام می‌شود تا اطمینان حاصل شود عایق دچار شکست دی‌الکتریک در ولتاژ معین نشده است، که معمولاً این ولتاژ، بالاتر از ولتاژ مورد استفاده در سنجش جریان نشتی است. شکست دی‌الکتریک هنگامی اتفاق می‌افتد که عایق (دی‌الکتریک) یونیزه شود (معمولاً در یک سوراخ ریز در عایق) تا مسیر رسانایی را با مقاومت پایین در طول عایق شکل دهد. عایق‌هایی که دچار خرابی دی‌الکتریک می‌شوند نه تنها در آزمون رد می‌شوند، بلکه به کابل آسیب می‌زنند.

در مورد سنجش سیم مسی، با شروع از یک پالس ولتاژ بالا تصور بر آن بود که در صورت اندازه‌گیری جریان نشتی در ولتاژ بالا جواب مورد نظر حاصل خواهد شد اما در مدت زمانی اندک مشکلات ظاهر شد.

در ابتدا به علت ایمنی اپراتور هنگام استفاده از تجهیزات آزمون ولتاژ بالا، بیشینه جریان خروجی مجاز را به ۱/۵ میکرو آمپر محدود کردیم. در حقیقت در عمل ترجیح دادیم که محدوده بیشینه که جریان قطع نیز نامیده می‌شود حتی از این هم کمتر باشد. تصور کنید که در ولتاژ معمول آزمون یعنی هزار ولت دی سی، در عایق یک سوراخ سر باز کند، در این صورت جریان به سرعت بالا رفته و به محدوده جریان قطع می‌رسد که در یک و نیم میلی‌آمپر، یک و نیم وات برق را (1000V × 0.0015A) به یک کانال سوراخ فوق‌العاده ریز با سرعت رعد و برق متمرکز می‌کند. حرارتی که در کسری از ثانیه منجر به تخلیه الکتریکی می‌شود، می‌تواند باعث سوختگی سوراخ در عایق یا تبخیر مس در سطوح سیم‌ها شود که در نتیجه به کابل آسیب دائمی وارد آورد.

هر چه زمان افزایش ولتاژ کوتاه‌تر باشد، جریان هجومی مورد نیاز برای شارژ ظرفیت خازنی پارازیتی کابل، بزرگ‌تر خواهد بود. اگر شیب رو به بالا بسیار سریع باشد، قبل از اینکه به ولتاژ آزمون برسیم، از جریان قطع تجاوز خواهیم کرد و قبل از اینکه سنجش نشتی را بتوان انجام داد، سیستم آزمون ولتاژ را قطع می‌کند. این وضعیت با خرابی عایق که در آن نیز از جریان قطع تجاوز می‌شود، غیر قابل تشخیص است.

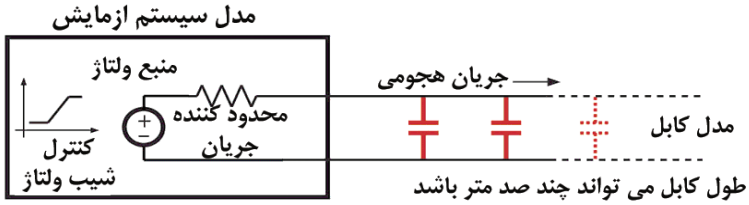
هر چه طول کابل بیشتر شود، ظرفیت خازنی آن نیز بیشتر می‌شود و این یعنی اینکه زمان افزایش را محدود می‌کند. بنابراین برای رسیدن به ولتاژ آزمون بدون تجاوز از جریان قطع، باید شیب ولتاژ را با احتیاط طبق طول کابل تنظیم کنیم؛ هر چه طول کابل بیشتر باشد افزایش شیب باید آهسته‌تر انجام گیرد.

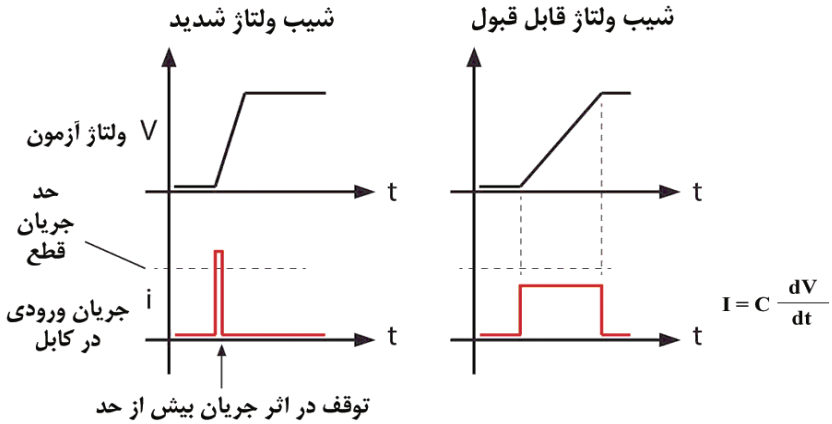
آزمون مقاومت عایق شیلد دار

در یک کابل چندرشته، یک آزمون خطی، ولتاژ بالا به یک سیم اعمال گردید در حالی که بقیه هادی‌ها ولتاژ صفر داشتند. این آزمون به صورت پله‌ای با سایر هادی‌ها با اعمال ولتاژ و سنجش نشتی پیش رفت. این کار احتمال شناسایی نقص عایقی در هر قسمتی از کابل را به حداکثر می‌رساند.

زمان کلی لازم برای انجام این آزمون مستقیماً به تعداد هادی‌ها بستگی دارد. در اکثرکابلهای مانند این کابل، ظرفیت خازنی بین هادی‌های دارای ولتاژ صفر، تقریباً یکسان است و در صورت نبودن نقص در عایق، مقاومت عایق برای هرکدام باید تقریباً یکسان باشد.

اگر شیلد، هادی‌ها را احاطه کرده باشد باید آن را نیز مورد آزمون قرار داد. ظرفیت خازنی شیلد می‌تواند مقدار بالاتری نسبت به هر یک از هادی‌ها داشته باشد و جریانی که هنگام بالا رفتن شیب برقرار می‌شود معمولاً قبل از اینکه به ولتاژ آزمون برسیم به ولتاژ قطع می‌رسد که به اشتباه یک نقص در شیلد را نشان می‌دهد. با اعمال ولتاژ به شیلد و سنجش نشتی آن نسبت به مجموع سایر





شکل ۴. برای رسیدن به ولتاژ آزمون بدون اینکه ابتدا به جریان قطع برسیم، باید با احتیاط بر اساس طول کابل، شیب ولتاژ را تنظیم کنیم، در نتیجه مطلوب است که جریان قطع را پایین نگه داریم. اگر چه این امر خود محدودیت دیگری ایجاد می‌کند که در اثر ظرفیت خازنی کابل است. جریانی که باید به کابل منتقل شود i و ولتاژ آزمون V است که تابعی از ظرفیت خازنی پارازیتی است و نسبت تغییر ولتاژ افزایشی dV/dt است:

$$i = C \frac{dv}{dt}$$

خط	HDR-64 B1	HDR-64 B2	مقدار	فعالسازی آزمون	نتایج آزمون	جریان مستقیم	ولتاژ مستقیم
۱	۱	۱	۰/۱ Ω	✓	⎓ ∿	< ۱ μA	۸۰۰ V
۲	۲	۲	۰/۱ Ω	✓	⎓ ∿	< ۱ μA	۸۰۰ V
۳	۳	۳	۰/۱ Ω	✓	⎓ ∿	< ۱ μA	۸۰۰ V
۴	۴	۴	۰/۱ Ω	✗	⎓ ∿		
۵	۵	۵	۰/۱ Ω	✓	⎓ ∿	< ۱ μA	۸۰۰ V
۶	۶	۶	۰/۱ Ω	✓	⎓ ∿	< ۱ μA	۸۰۰ V

شکل۵. نتایج آزمون های‌پات بعد از برنامه‌ریزی تستر برای نگاه داشتن ولتاژ شیلد روی صفر.

هادی‌ها، مقدار کمی به دست می‌آید، بنابراین، برنامه‌ریزی سیستم برای نگه داشتن ولتاژ شیلد روی صفر هنگام انجام آزمون، این مشکل را برطرف می‌سازد.

هدف از این آزمون یافتن نشتی در هادی‌ها و شیلد است و چون هادی مورد نظر در ولتاژ بالا در برابر شیلد دارای ولتاژ صفر مورد سنجش قرار گرفته است، بدون این که حتی نیاز باشد به خود شیلد ولتاژ اعمال کنیم به این امر دست یافته‌ایم.

احتمال وجود خطر در آزمون کابل با متراژ بالا در ولتاژ بالا

به دلیل حفظ نکات ایمنی بیشتر تجهیزات آزمون های‌پات، شدت جریان بیشینه را که توسط تجهیزات تولید می‌شود، هنگامی که یک مسیر کم مقاومت هنگام آزمون توسعه می‌یابد، محدود می‌کند، در نتیجه اگر اپراتور به طور غیر عمد با پین باز هنگام ولتاژ بالا تماس برقرار کند، شدت جریان به اندازه این خواهد بود که اپراتور را به خطر بیاندازد. اگرچه هنگام آزمون کارهای بلند باید انرژی ذخیره شده در کابل را نیز در نظر بگیریم:

$1/2\ CV^2$

با افزایش ولتاژ آزمون، انرژی ذخیره شده به اندازه مجذور ولتاژ افزایش می‌یابد. بنابراین کابلی که در ۱۰۰۰ ولت دی سی مورد آزمون قرار می‌گیرد در مقایسه با ۱۰ ولت دی سی، ده هزار برابر انرژی بیشتری ذخیره می‌کند. تماس غیرعمدی در انتهای کابل با متراژ بالا بسته به وضعیت‌های ممکن می‌تواند خطر مرگ به همراه داشته باشد. قسمت انتهایی کابل را باید با احتیاط باز کرد و به تمام کسانی که در نزدیکی هستند باید اطلاع داد که قصد انجام آزمون وجود دارد.

نتیجه‌گیری

وجود ظرفیت خازنی در کابل‌های طولانی تر از ۱۰ فوت یا ۳ متر ضرورت ایجاد می‌کند که زمان سنجش را افزایش دهیم تا بتوانیم مقاومت عایق و سیم کابل را با دقت اندازه بگیریم. جریان هجومی مورد تجربه در شروع آزمون عایق ولتاژ بالا، نیاز به شیب کنترل شده دارد تا از محدوده جریان ایمن یعنی ۱/۵میلی‌آمپر تجاوز نکند. یک شیب افزایشی آهسته در ولتاژ برای تطبیق با این نیاز، می‌تواند زمان آزمون را به طرز چشمگیری افزایش دهد.

به دلیل ظرفیت خازنی افزایش یافته هادی شیلدکه به خاطر جریان شارژ بالای اولیه منجر به سختی در رسیدن به ولتاژ آزمون روی شی می‌شود، آزمون عایق‌بندی که شامل شیلد می‌شود، ممکن است فقط محدود به سیم به شیلد شود و اعمال ولتاژ به شیلد به سیم بدون از دست دادن اطمینان به عایق شیلد حذف شود.

هنگام آزمون ولتاژ بالا به کابلهای با متراژ بالا باید دقت بسیار بالایی توسط تکنسین‌ها انجام شود تا از شوک الکتریکی هنگام آزمون پرهیز شود، زیرا به طور بالقوه جریان تخلیه مرگباری وجود دارد که می‌تواند بسیار بالاتر از جریان تولید شده توسط خود تستر باشد.

مدیریت محترم عامل کابل دورود
جناب آقای مهندس یاراحمدی

بدینوسیله درگذشت دخترگرامیتان را به شما و خانواده محترمتان تسلیت عرض نموده و از خداوند متعال برای آن مرحومه، علودرجات و برای سایر بازماندگان صبر و شکیبایی مسئلت داریم.

هیئت مدیره، دبیر و کارکنان انجمن صنفی کارفرمایی تولید کنندگان سیم و کابل ایران