

کورونای داخلی در پلی اتیلین

دکتر محمدقلی محمدی

مدرس مدعو دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مهندس علیرضا علویان مهر

فارغ التحصیل دوره کارشناسی ارشد قدرت دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

استفاده روزافزون از عایقهای خانوده پلی اتیلین مریزاسیون در صنایع گابلسازی و تهیه خازنهای فشار قوی الکتریکی مستلزم حل مسائل و مشکلات پیچیده‌ای بوده است که هم‌اکنون مساله روز تحقیق و بررسی بر روی این عایقها است. در بین این عایقها پلی اتیلین کاربرد وسیعتری ناشی از خواص الکتریکی و عایقی خوب خود یافته است، به‌ویژه در گابلسازی تحت فشار قوی تا ولتاژهای بالاتر از ۷۵۰ کیلوولت. یکی از پدیده‌های مهم در این‌گونه عایقها، پدیده تخلیه الکتریکی ناقص^۱ یا کورونای داخلی است که در حفره‌های^۲ مجوف و کوچک و میکروسکوپی عایق پدید می‌آید. این حفره‌ها که به‌هنگام تهیه عایق پلی اتیلین در آن باقی می‌مانند، موجب تلفات یونیزاسیون و نیز خرابی زودرس عایق می‌گردد. در مقاله حاضر بررسی کیفی و کمی این پدیده در عایق پلی اتیلین ارائه می‌گردد. بدین منظور با تعبیه حفره‌های معین و مشخص در قطعاتی از این عایق آنها را تحت فشار الکتریکی گذارده و شروع و گسترش کورونا در آنها مورد آزمایش قرار گرفته و مگانیزم آن در تابعیت از تغییرات هندسی و کمی حفره‌ها بررسی می‌شود.

Internal Corona in Polyethylene

M. G. Mohammadi, Ph. D.

&

A. R. Alavian-Mehr, M. Sc.

Elect. Eng. Dept. Amirkabir Univ. of Tech

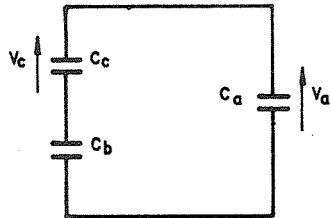
ABSTRACT

Every day increase in use of dielectrics, in cable industry, and production of high voltage capacitors, specially of polymerisation group, requires study and research for solving sophisticated problems. In the mean time the topics of these kinds are very common and interesting in academic research all over the world.

Among these dielectric materials, polyethylene has a large usage because of its good insulation properties in high voltage cable industry. But one of the important problems for these dielectrics is known as "Partial Discharge", or "Internal Corona" which is developed in small voids of solid dielectrics. The voids in these materials are produced when the material is manufactured and this in the material causes ionization losses and early deterioration.

This paper discusses the "Partial Discharges" both from quality and quantity point of view. The testing examination of several pieces of Polyethylene with specific voids in them were taken place under some precise measurements. The procedure for each experiment was such that the inception voltage of discharges were applied and increase of the results were taken. This experiment were repeated for all types of pieces with respect to diameter, depth, and number of voids and the results were observed and compared.

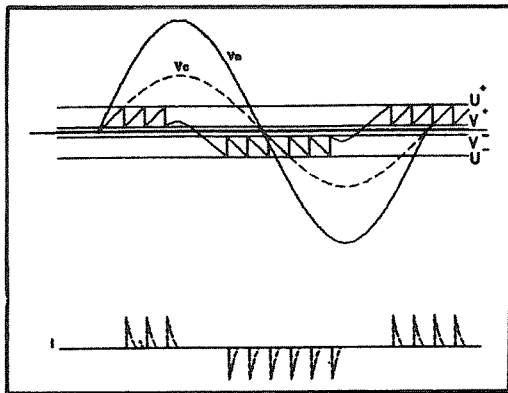
The measurements have been taken in two methods which are the "Wide-Band" and "Narrow-Band" Detection methods. For each of these methods appropriate circuits were designed and used.



شکل ۲- مدار معادل عایق و حفره مجوف

افزایش فشار الکتریکی عایق منجر به افزایش ولتاژ حفره شده و با رسیدن آن به فشار الکتریکی استقامت حفره، اولین تخلیه الکتریکی صورت می‌پذیرد. این فشار الکتریکی بستگی به ابعاد حفره، نوع و فشار گاز داخل حفره دارد. هرچه عمق حفره بیشتر باشد، فشار شروع تخلیه بیشتر می‌شود. از طرف دیگر هرچه فشار گاز در حفره افزایش یابد استقامت الکتریکی گاز حفره افزایش یافته و ولتاژ شروع تخلیه زیاد می‌گردد. بدیهی است که این امر بر روی این فرض بنا شده است که میدان داخلی حفره به‌سوی میدانی یکنواخت گرایش داشته باشد.

شکل (۳) شکل موجهای دو سر حفره و عایق را نشان می‌دهد. فشار الکتریکی عایق با V_a و فشار الکتریکی حفره را با V_c نشان داده‌ایم. در صورتی که فشار شکست حفره در نیمه‌پریود مثبت برابر U^+ و در پریود منفی برابر U^- باشد، موقعی که فشار الکتریکی حفره V_c به فشار الکتریکی شکست U^+ می‌رسد یکبار در حفره تخلیه رخ می‌دهد. U^- را می‌توان با استفاده از قانون پاشن^۳ معین نمود. ولتاژ حفره پس از تخلیه به مقدار V^+ نزول کرده و تخلیه خاموش می‌شود. افت ولتاژ در حفره در زمانی حدود چند نانوثانیه اتفاق می‌افتد به‌طوری‌که طیف فرکانس آن تا ناحیه ۱۰۰MHz وسعت دارد.



شکل ۳- کورونای داخلی در طول یک سیکل

پس از آن که یکبار تخلیه رخ داد، با بالا رفتن فشار الکتریکی عایق به‌سوی حداکثر خود، ولتاژ دو سر حفره مجدداً "افزایش می‌یابد. این ولتاژ ناشی از جمع آثار میدان الکتریکی اصلی و میدان ناشی از بارهای سطحی روی دیواره‌های حفره که از تخلیه قبلی باقی مانده است، می‌باشد. با رسیدن فشار الکتریکی دو سر حفره به U^+ ، تخلیه جدیدی رخ می‌دهد، و این پدیده چندین بار اتفاق می‌افتد تا آنکه فشار الکتریکی قرار گرفته روی عایق شروع به کاهش کند. در این صورت ولتاژ

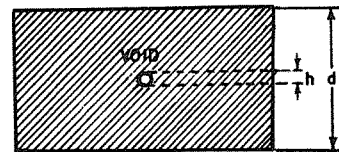
علیرغم پیشرفت تکنولوژی کابل‌سازی وجود حفره‌های مجوف در عایق‌های گروه پلی‌مریزاسیون حتمی است. این حفره‌ها که به‌هنگام تهیه عایق‌بندی حول‌هادی بر اثر باقی ماندن مولکولهای آب یا گاز در داخل آن تشکیل می‌شوند، پدیدآورنده مشکلاتی در بهره‌برداری عایق، تحت فشار قوی الکتریکی است. با قرار گرفتن عایق پلی‌اتیلن تحت فشار قوی الکتریکی، در تابعیت از افزایش این فشار و گذشت آن از فشار الکتریکی بحرانی، تخلیه الکتریکی ناقص در این حفره‌ها شروع شده و ادامه و تشدید آن منجر به وقوع فروپاشی الکتریکی یا حرارتی در عایق می‌شود. بدین دلیل رعایت توصیه‌های استانداردهای بین‌المللی، سازندگان چنین عایق‌هایی را موظف می‌سازد که حفاظت سیستمهای الکتریکی - عایقی را در قبال چنین تخلیه الکتریکی ناقص به‌عهده گیرند و در نگاه داشتن تلفات یونیزاسیون در حد تعیین شده به‌وسیله استانداردهای بین‌المللی کوشا باشند.

پدیده کورونای داخلی

وجود حفره‌های مجوف درون عایق‌های جامد باعث تخلیه الکتریکی ناقص یا کورونای داخلی در آنها می‌گردد، و در درازمدت اکسیده شدن و تنزل ارزش عایقی و در نهایت شکست کامل عایق را به‌همراه دارد. به‌طور کلی تخلیه الکتریکی ناقص در عایق‌هایی رخ می‌دهد که از مواد عایقی با فشار الکتریکی شکست پائین تشکیل شده باشند، به‌طوری که ماده ناهمگن فوق در شدت میدانی که پائین‌تر از فشار الکتریکی شکست عایق قرار گرفته است به‌سوی شکستی الکتریکی یا حرارتی سوق می‌یابد. علاوه بر آن عدد عایقی پاره‌ای از مواد تشکیل‌دهنده عایق معمولاً از عدد عایقی بقیه مواد عایق کمتر بوده و شدت میدانی که در آن، ماده با استقامت کم عایق به‌شکست می‌رسد از استقامت الکتریکی مجموعه عایق به‌مراتب کمتر است.

در شکل (۱) عایقی جامد که حاوی یک حفره است را نشان داده‌ایم. این عایق دارای مدار الکتریکی معادلی است که در شکل (۲) نمایش داده شده است. C_c نشانگر ظرفیت الکتریکی حفره یا قسمتی از حفره است که در آن تخلیه رخ می‌دهد. C_b ظرفیت عایق ارتباطی است که با حفره سری قرار می‌گیرد و C_b ظرفیت الکتریکی بقیه عایق می‌باشد. زمانی که عایق حاوی حفره تحت فشار الکتریکی قرار گیرد، مطابق شکل (۲) تقسیم پتانسیلی در اجزا داخلی عایق صورت می‌پذیرد به‌طوری‌که فشار الکتریکی دو سر حفره عبارت خواهد بود از:

$$V_c = \frac{C_b}{C_c + C_b} \cdot V_a \quad (1)$$



شکل ۱- عایق حاوی حفره

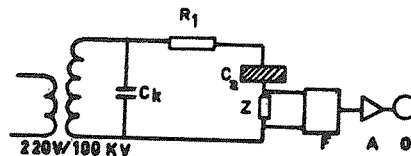
حفره باید به U^- برسد تا بتواند تخلیه‌ای در نیمه پریود منفی ایجاد گردد.

بدین ترتیب دو دسته پالسهای جریان ناشی از تخلیه‌های الکتریکی در یک حفره به وجود می‌آید. یک دسته در یک جهت به هنگام افزایش ولتاژ و یک دسته پالسهای جریان در جهت دیگر به موقع کاهش ولتاژ. پالسهای جریان بر روی قله‌های منحنی جریان خازنی عایق سوار شده و در حول و حوش آن قرار می‌گیرند. بدین نحو تلفات ناشی از کورونای داخلی و تلفاتی حقیقی است. در شکل (۳) پالسهای جریان ناشی از کورونای داخلی مشخص شده‌اند.

آشکارسازی کورونای داخلی

تخلیه الکتریکی ناقص پدیده‌های مختلفی را متاثر می‌سازد که می‌توانند جهت آشکارسازی مورد استفاده قرار گیرند، از جمله: پدیده‌های الکتریکی (پالسهای الکتریکی - تلفات)، تشعشعات الکترومغناطیسی، نور، حرارت، صدا، فشار گاز و تغییر و تبدیلهای شیمیایی ماده.

در میان روشهای فوق، آشکارسازی از طریق الکتریکی مناسبتر و دقیق‌تر از بقیه روشها می‌باشد. تخلیه الکتریکی در حفره یک عایق باعث ایجاد ایمپالسهای جریان در عایق می‌گردد (شکل ۳). در صورتی که پالسهای جریان را از یک امپدانس عبور دهیم، با تقویت پالس فوق می‌توان تخلیه الکتریکی ایجاد شده را آشکار نمود. مداری که برای اندازه‌گیری پالسهای کورونا در عایق تهیه شده در شکل (۴) نشان داده می‌شود.



شکل ۴- مدار اندازه‌گیری کورونای داخلی

این مدار از عناصر زیر تشکیل یافته است:

عایق یا کاپاسیته C_2 که تخلیه الکتریکی در آن بررسی می‌شود.
مقاومت R برای محافظت ترانسفورماتور فشار قوی در مقابل فروپاشی کامل عایق.

امپدانس Z یا امپدانس آشکارساز

فیلتر بالاگذر F ، جهت حذف جریان با فرکانس 50 Hz و جداسازی جریان کورونا با فرکانس بالا خازن کوپلینگ C_k که عبور فرکانسهای بالا ایمپالسهای جریان را ساده می‌کند.

تقویت کننده A

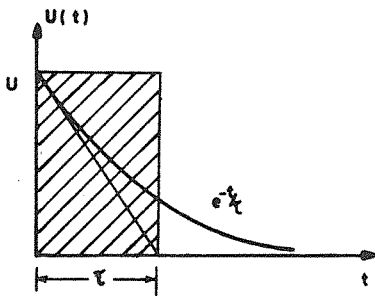
اسیلوسکوپ O

اندازه‌گیری کورونای داخلی به روش باند پهن و باند باریک^۴

اندازه‌گیری کورونای داخلی را می‌توان به کمک اسیلوسکوپ با باند پهن و یا به کمک یک دستگاه اندازه‌گیری از قبیل ولت‌متر و یا پل شرینگ انجام داد. که در این صورت پهنه پالسهای اندازه‌گیری شده همه پالسها نیست و بر حسب فرکانس قسمتی از کل پالسهای پدید آمده است (اندازه‌گیری با باند باریک).
در استانداردهای بین‌المللی مثلا " IEC پهنه باند (پهنای از

مجموع پالسها) چنین بیان می‌شود:

باند باریک یا اندازه‌گیری پالسهای پدید آمده با دستگاهی صاحب باند باریک عبارت است از Δf که کوچکتر است از میانگین فرکانس یا f_0 . (مثلا " $\Delta f = 9\text{ KHz}$ و $f_0 = 500\text{ KHz}$) - باند پهن یا اندازه‌گیری پالسهای پدید آمده با دستگاهی صاحب باند پهن عبارت است از Δf که حدودا " در تناسب با فرکانسهای منتهی الیه f_2 قرار می‌گیرد. (مثلا " $\Delta f = 300\text{ KHz}$ و $f_2 = 800\text{ KHz}$).
شکل پالس تخلیه الکتریکی ناقص در حفره (پالس ناشی از کورونا در حفره) و نحوه پدید آمدن آن در شکل (۵) نمایش داده شده‌اند. بدیهی است که مکانیزم تخلیه در این شکل تا حدودی ساده فرض شده است.



شکل ۵- پالس معادل کورونا

به منظور درک تغییرات پالس، پس از آشکارسازی، ابتدا این پالس را با یک پالس چهارگوش اشتباه می‌کنیم (شکل ۵). دامنه فشار الکتریکی پالس ورودی عبارت است از:

$$U \tau \delta(t)$$

به در آن:

$$\delta(t) : \text{برابر است با } 1 \text{ یا } 0$$

τ : زمان پالس

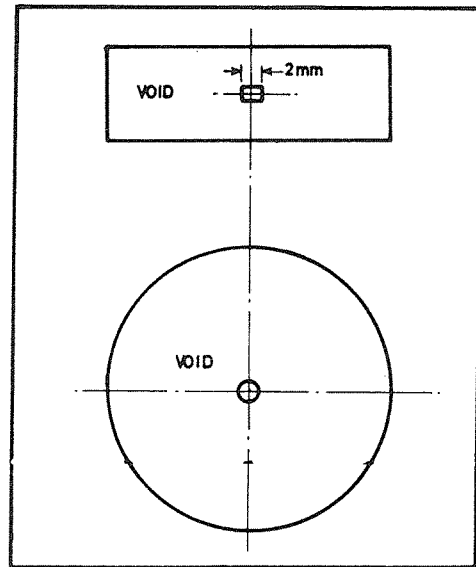
U : مقدار حداکثر فشار الکتریکی است.

پهنای باند که در آشکارسازی در پشت فیلتر به دست می‌آید $\omega_2 - \omega_1 = 2\pi\Delta f$ خواهد بود. با این فرض که پالس ورودی دارای پیشانی قائم است، تماس فرکانسها را حاوی است و از آنجا که علیرغم اندازه‌گیری در فضای محدود شده با قفس فاراد پالسهای اغتشاشی بر روی پالسهای ناشی از تخلیه الکتریکی (کورونای داخلی) سوار می‌شود، اندازه‌گیری با باند باریک دارای این جنبه ضعف است که نمی‌دانیم حذف پالسهای دو منتهی‌الیه و یا واقع شده در محدوده Δf چه مشخصاتی داشته و از چه نوع می‌باشند. بنابراین متناسب تصور کردن پالسهای اندازه‌گیری شده با تلفات وارده در این طریقه از اندازه‌گیریها همیشه صحیح نیست. به ویژه آنکه چنین پالسهای در ورودی با توجه به مقاومت‌های القایی دستگاه اندازه‌گیری و فیلترهای به کار گرفته شده در خروجی به شکل موج تناوبی میرا به دست می‌آید.

در اندازه‌گیری با باند پهن در بدترین حالات تلفات اندازه‌گیری شده مجموعه‌ای از پالسهای تخلیه الکتریکی و پالسهای اغتشاشی است که با توجه به نسبت این دو (در صورت دقیق بودن قفس فاراد) مقادیر به دست آمده با حداکثر تلفات، اختلاف ناچیزی را نشان می‌دهد.

آزمایشات تخلیه الکتریکی ناقص در پلی اتیلن

بر روی تعدادی نمونه پلی اتیلن طبق شکل (۶)، با عدد عایقی ۲/۳ و ضخامت ۴ میلی متر. که در آنها حفره های مشخص و معینی تعبیه شده است، تخلیه ناقص الکتریکی، چه از نظر کمی و چه از نظر کیفی، در آنها مورد بررسی قرار می گیرد. حفره های تعبیه شده در قطعات آزمایشی پلی اتیلن به قطر ۲ میلی متر و در عمقهای مختلف می باشند.



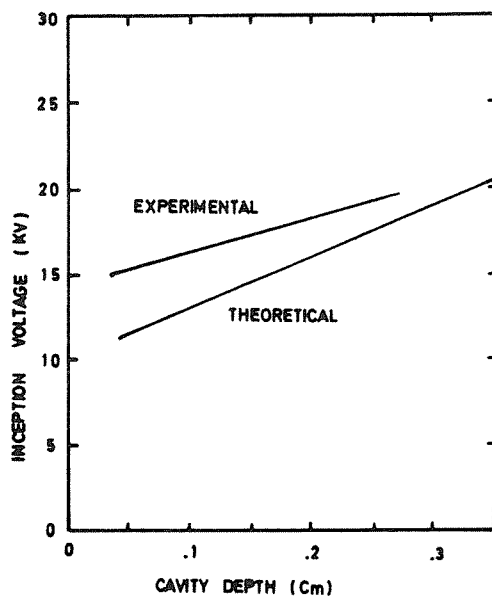
شکل ۶- شمای عایقهای پلی اتیلن مورد آزمایش

V_{inc} فشار الکتریکی شروع تخلیه V_{cbr} فشار الکتریکی شکست حفره است که با استفاده از منحنی پاشن برای گاز داخل حفره به دست می آید.

نتایج آزمایشات تجربی و محاسبات تئوریک در شکل (۷) نشان داده شده اند و تا حد قابل قبولی بهم نزدیک می باشند.

مقادیر به دست آمده نشانگر این واقعیتند که هرچه عمق حفره زیاد شود، فشار الکتریکی شروع تخلیه نیز رو به افزایش می گذارد. زیاد شدن فشار الکتریکی شروع تخلیه به دلیل افزایش استقامت الکتریکی حفره داخل عایق می باشد. به گونه ای که در فشار بالاتری منجر به شکست می گردد. جز این که دامنه تخلیه ایجاد شده در حفره های عمیق تر بزرگتر از دامنه تخلیه در حفره های با عمق کمتر می باشد. به عبارت دیگر افزایش عمق حفره منجر به افزایش دامنه تخلیه می گردد تا جایی که به شکست الکتریکی عایق منتهی می شود. در حالی که هرچه عمق حفره کوچکتر شود دامنه تخلیه کوچکتر خواهد شد، به طوری که در تخلیه های بسیار کوچک تشخیص آنها کار ساده ای نبود و در صورتی که مقدار آنها کمتر از حدود ۱۵ میکروکولمب باشد، از اهمیت خاصی نیز برخوردار نیست. بدیهی است که افزایش دامنه تخلیه الکتریکی در تابعیت از عمق حفره تا آنجا ادامه دارد که میدان داخل حفره میدانی یکنواخت باقی بماند. با افزایش عمق حفره و کوچک بودن قطر آن میدان الکتریکی ایجاد شده به سمت میدانی غیر یکنواخت سوق می یابد و بر اثر پدید آمدن بار الکتریکی فضائی، تخلیه الکتریکی قطع می شود تا آن که بار الکتریکی فضائی بر اثر شدت میدان به سمت قطبها رفته و تخلیه الکتریکی مجدداً آغاز شود.

از آنچه توضیح داده شد مسلم می شود که تحت یک فشار الکتریکی ثابت، با افزایش عمق حفره ها تعداد دفعات تخلیه کم می گردد. این پدیده در شکل (۸) نشان داده شده است.



شکل ۷- دیاگرام ولتاژ شروع کورونا در تابعیت از عمق حفره ها در پلی اتیلن

جهت جلوگیری از اغتشاشات خارجی مدار آزمایش کاملاً در قفس فاراد قرار گرفته و علاوه بر آن به منظور حذف تخلیه های الکتریکی بین دو الکترود در هوا، قطعات پلی اتیلن در روغن غوطه ور آزمایش شده اند.

فشار الکتریکی شروع کورونا

با توجه به مدار معادل شکل (۲)، C_c و C_b عبارتند از:

$$C_c = \frac{\epsilon_c A}{h}, \quad C_b = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d-h} \quad (2)$$

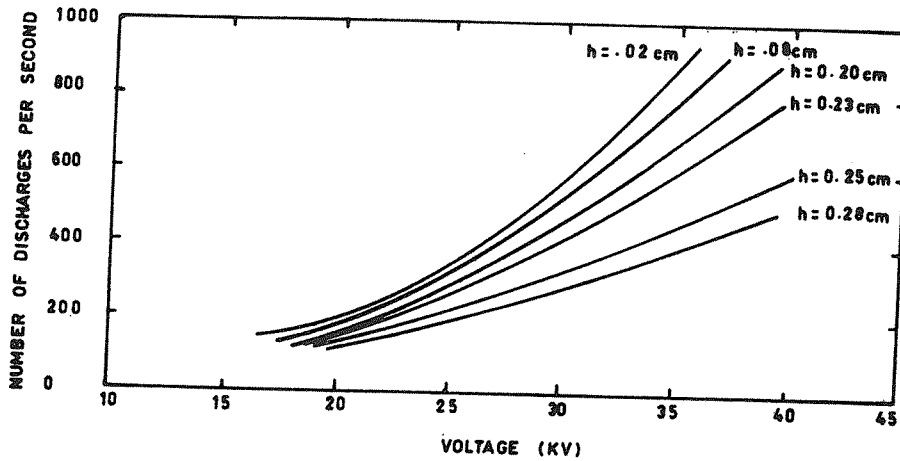
ϵ_0 عدد عایقی هوا یا خلاء و ϵ_c عدد عایقی گاز داخل حفره است که تقریباً برابر یک می باشد. h عمق حفره d ضخامت عایق و A سطح مقطع حفره مجوف داخل عایق است.

با قرار دادن روابط (۲) در رابطه (۱) فشار الکتریکی شکست حفره عبارت خواهد بود از:

$$V_c = \frac{\epsilon_r h}{(\epsilon_r - 1)h + d} \cdot V_a \quad (3)$$

فشار الکتریکی شروع تخلیه موقعی قابل حصول است که در آن، استقامت الکتریکی حفره در آستانه شکست قرار گیرد:

$$V_{inc} = \frac{(\epsilon_r - 1)h + d}{\epsilon_r h} \cdot V_{cbr} \quad (4)$$



شکل ۸- مقایسه تعداد تخلیه در پلی اتیلن حاوی یک حفره با عمقهای مختلف

تعداد حفرهها در عایق

تعداد حفرههای عایق در فشار الکتریکی شروع اثری ندارد. ولی با افزایش فشار الکتریکی تعداد تخلیه افزایش می‌یابد. پدیده فوق با توجه به فیزیک عایق بدیهی می‌گردد. موقعی که عایق یک حفره وجود داشته باشد، یک تخلیه تحت فشار الکتریکی شروع در آن ایجاد می‌گردد. حال با فرض آنکه تعداد حفرهها n برابر شود، با n تخلیه در فشار الکتریکی شروع مواجه خواهیم بود و قبل از آن تخلیه‌های به وقوع نمی‌پیوندد و این با توجه به مدار معادل عایق در شکل (۲) قابل تفسیر می‌باشد. در واقع هر المان عایق که حاوی یک حفره است می‌تواند جانشین C_a و C_b گردد و تقسیم پتانسیل در آن به همان صورتی است که در عایق صاحب یک حفره وجود دارد.

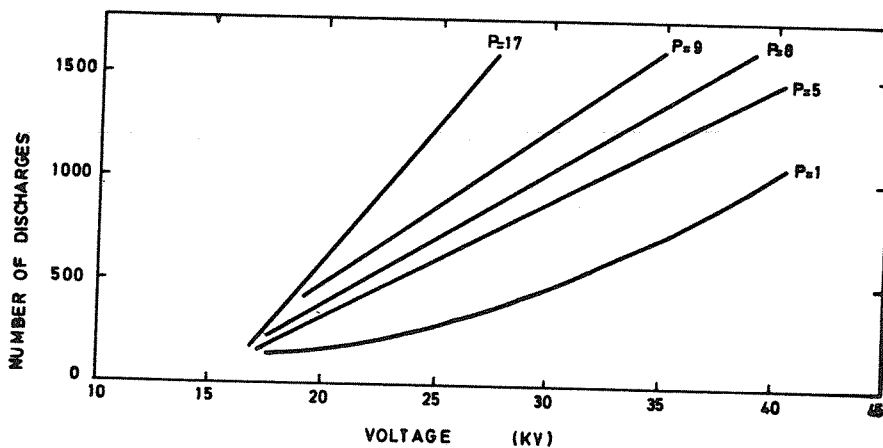
شکل (۹) منحنی‌های تعداد تخلیه الکتریکی را در تابعیت از ولتاژ عایق در عایقهای صاحب حفرههای متعدد نشان می‌دهد. مطابق این

شکل دیده می‌شود که با افزایش تعداد حفرهها، ولتاژ شروع تخلیه تفاوت محسوسی نکرده ولی با افزایش ولتاژ، تعداد تخلیه سریعاً زیاد می‌گردد. تغییر ظرفیت عایق در اثر کورونای داخلی

در اثر شکست الکتریکی در حفره مجوف تغییر در ظرفیت کل عایق پدید می‌آید. لذا بار الکتریکی در عایق بطور ناگهانی افزایش می‌یابد. ولی به خاطر فرکانس بالای تخلیه و مقاومت سلفی بزرگ مولد، بار الکتریکی اضافی نمی‌تواند از طریق مولد تامین گردد. بنابراین در دو سر منبع افت پتانسیلی به صورت موقت پدید می‌آید. در صورتی که ظرفیت عایق قبل از وقوع تخلیه برابر C_1 و پس از آن برابر C_2 باشد، با توجه به مدار معادل شکل (۲) داریم:

$$C_1 = C_a + \frac{C_c \cdot C_b}{C_c + C_b} \quad (5)$$

$$C_2 = C_a + C_b \quad (6)$$



شکل ۹- مقایسه تعداد تخلیه در پلی اتیلن با حفرههای متفاوت

همان‌طور که در اندازه‌گیری با باند باریک گفته شد تلفات ناشی از تخلیه را به‌توسط پل شرینگ نیز می‌توان اندازه‌گیری نمود، ولی به‌خاطر لختی و مقاومت سلفی پل مقادیر به‌دست آمده از پل همواره از مقادیر واقعی که توسط آشکار ساز با باند پهن به‌دست می‌آید کمتر می‌باشد.

تلفات کورونا

شکل (۱۰) تلفات کورونا ناشی از ایجاد تخلیه الکتریکی در حفره به‌عمق ۰/۰۲ سانتیمتر را در عایق پلی‌اتیلن از دو روش اندازه‌گیری باند پهن و باند باریک نشان می‌دهد. با این‌که مقادیر به‌دست آمده از روش پل شرینگ تقریبی است، معذالک می‌تواند معیاری برای اندازه‌گیری تخلیه ناقص الکتریکی باشد.

میزان تلفات کورونای داخلی در عایق با افزایش عمق حفره (در حالتی که کورونا به‌علت بار فضائی قطع نشود و یا زمان بین قطع و شروع مجدد کوتاه باشد) و تعداد حفره‌ها زیاد می‌شود. در حالتی که عایق یک حفره داشته باشد افزایش تلفات ناشی از عمیق شده حفره و افت ولتاژ زیاد و بالعکس تغییر زیاد ظرفیت عایق به‌نگام تخلیه می‌باشد.

اگر ولتاژ منبع برابر ΔU افت ولتاژ منبع داریم:

$$\Delta U = -U \frac{\Delta C}{C_a + C_b} \quad (7)$$

و اضافه بار الکتریکی ناشی از تخلیه عبارت است از:

$$\Delta Q = C_2 \Delta U \quad (8)$$

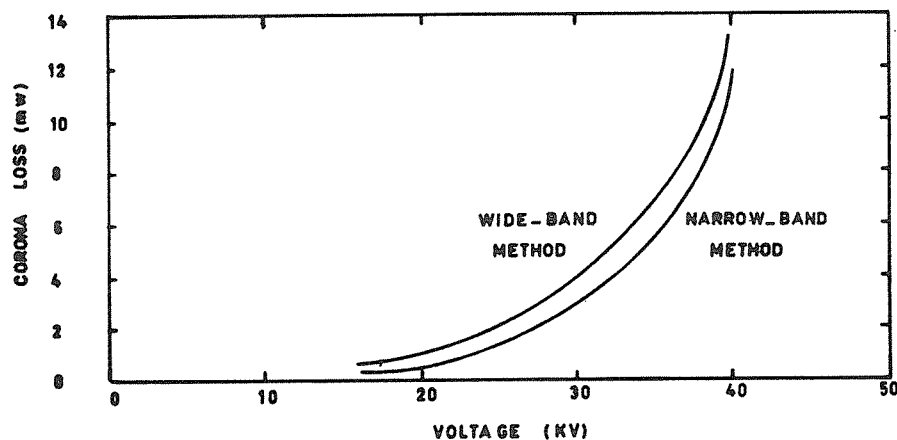
تلفات ناشی از تخلیه الکتریکی برابر است با:

$$P = U_i = U \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

$$= U \frac{C_2 \Delta U}{\Delta t} \quad (9)$$

در صورتی که در هر یک از حفره‌ها در واحد زمان n تخلیه صورت پذیرد و p حفره در عایق موجود باشد حداکثر تلفات ناشی از کورونا یا تخلیه داخلی عبارت خواهد بود از:

$$p = UC_2 \sum_1^n \sum_1^p \Delta U \quad (10)$$



شکل ۱۰- تلفات در پلی‌اتیلن حاوی یک حفره و عمق ۰/۰۲ سانتیمتر

عمیق شدن حفره‌ها فشار الکتریکی شروع تخلیه و دامنه پالسهای کورونا افزایش می‌یابد. این افزایش منوط به عدم ایجاد بار فضائی در حفره می‌باشد. پالسها در صورت شدت یافتن با اکسید شدن جداره حفره تلفات عایقی بزرگی را پدید آورده و عمر مفید عایق را به‌شدت کاهش می‌دهد.

با افزایش عمق حفره‌ها تلفات افزایش می‌یابد به‌نحوی که این تلفات با حجم حفره در ارتباط واقع می‌شود. این تلفات به‌ویژه در کابل‌های پلی‌اتیلن تحت فشار قوی از نظر اقتصادی پدید آورنده زیانهای غیرقابل جبرانی است.

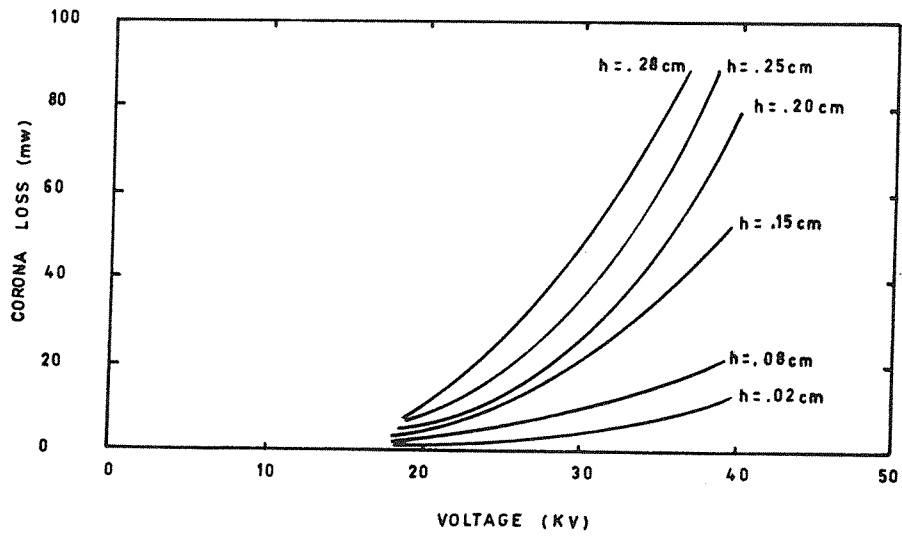
افزایش تعداد حفره‌ها در صورت ثابت نگاه داشتن حجم آنها تاثیری در فشار الکتریکی شروع کورونا نخواهد داشت، لیکن منجر به افزایش تلفات کورونا می‌گردد.

در عایق با حفره‌های متعدد با اینکه افت ولتاژ منبع به‌ازاء یک عمق ثابت تفاوت محسوسی ندارد، لیکن چون تعداد تخلیه در عایق حاوی حفره‌های بیشتر، زیادتر می‌باشد و از طرف دیگر تلفات حاصله بستگی مستقیم به‌تعداد تخلیه در عایق دارد، لذا تلفات در عایق بیشتر می‌گردد.

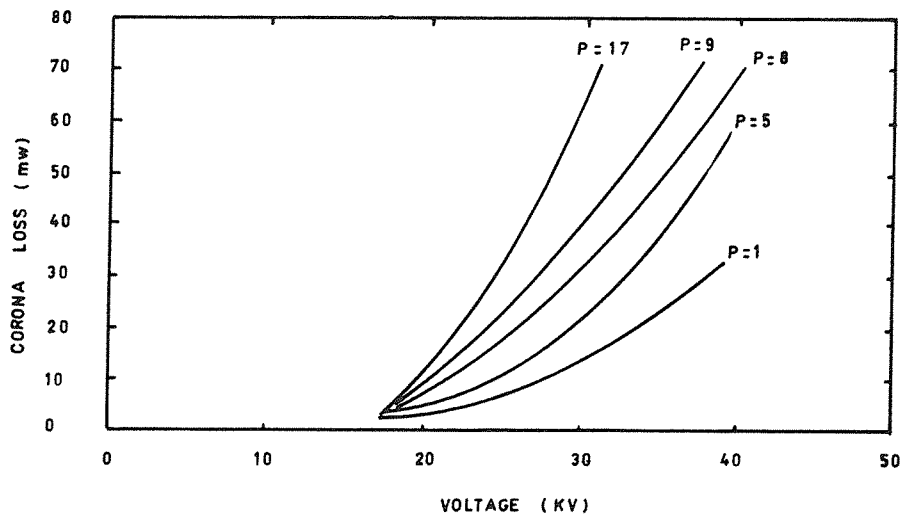
در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) مقایسه‌ای بین تلفات کورونا در عایق‌های با یک حفره تحت عمق‌های مختلف و عایق‌های با حفره‌های متعدد تحت یک عمق ثابت به‌عمل آمده است.

نتیجه:

در نمونه‌هایی از عایق پلی‌اتیلن حفره‌های مشخصی تعبیه شده و بر روی آنها تخلیه الکتریکی ناقص پدید آورده شد. نتایج تجربی نیز با مقادیر محاسبه شده مقایسه گردید. نتایج آزمایشها نشان می‌دهد که با



شکل ۱۱- مقایسه تلفات در پلی اتیلن با یک حفره از روش باند پهن



شکل ۱۲- مقایسه تلفات در پلی اتیلن حاوی حفره‌های متعدد از روش باند پهن

پاورقی

1. Partial Discharge
2. Voids
3. Paschen
4. Wide & Narrow Band Measurements
5. Inception Voltage

- ۱- علیرضا علویان مهر، "تذوق لیسانس"، دانشکده برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۶۸
- ۲- دکتر محمدقلی محمدی "اصول مهندسی فشار قوی الکتریکی" انتشارات دهخدا، ۱۳۵۲.
3. F. H. Kreuger: "Discharge Detectcion in High Voltage Equipm-ment" Temple Press Bouslés Ltd. London 1964
4. R. Bartnikas, G.I.D'Ombrian: "A Study of Corona Discharge Rate and Energy Loss in Spark Gaps" IEEE Trans. on Power App. and Sys. Vol PAS-84-No.9,Sept 1965, PP: 770-779
5. Christian J. Mayoux: "Partial Discharge Phenomena and the Effect of their Constituents on Polyethylene" IEEE Tran s. on Electrical Insulation, Vol EI-11, No 4, Dec 1964 PP: 139-149
6. T.H. Praehauser: "Locating Partial Discharge in High Voltage Equipment" Bulletin ASE, Bd. 63, 1972, PP. 893-905

