فصل ۱۱

آزمایشهای فشارقوی مرتبط با هماهنگی عایقی

کتاب "اضافه ولتاژ و هماهنگی عایقی در شبکه های قدرت" دکتر حسن نیلاتی - دکتر امید علامی

۱-۱۱ مقدمه

تجهیزات فشارقوی اجزای اصلی سیستم قدرت در بخشهای تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی می‌باشند. تجهیزاتی همانند ژنراتورها، ترانسفورماتورهای قدرت و اندازه گیری، کابلهای قدرت، خازنها و کلیدها علاوه بر نقش کلیدی در سیستم دارای قیمت بسیار زیاد و هزینه نصب و نگهداری بالایی هستند. عایق تجهیزات الکتریکی از بخشهای اساسی آنها می‌باشد به طوریکه عموما عمر مفید تجهیزات الکتریکی فشارقوی را با عمر عایقی آنها می-سنجند. وظیفه اصلی عایقهای الکتریکی، جداسازی قسمت تحت پتانسیل تجهیزات نسبت به قسمت زمین شده یا با پتانسیل متفاوت می‌باشد. عایق‌ها به مرور زمان در اثر تنش‌های الکتریکی و محیطی وارده، دچار تخریب یا تضعیف میشوند. لذا آزمایش‌های گوناگونی در مراحل ساخت، پس از ساخت، قبل و بعد از حمل به محل نصب، قبل از بهره‌برداری و در طول بهره‌برداری بر روی عایق تجهیزات الکتریکی به منظور کنترل کیفیت و حصول اطمینان از عملکرد صحیح آنها صورت می‌گیرد.

آزمایشات عایقی را می‌توان به دو دسته کلی آزمایش‌های عایقی مخرب[۸] و آزمایش‌های عایقی غیر مخرب[۸] تقسیم نمود. در آزمایش‌های عایقی مخرب، ولتاژ اعمالی جهت آزمایش، بیشتر از ولتاژ کار عادی تجهیز می‌باشد، که در حین فرآیند آزمایش، احتمال تخریب تجهیز نیز وجود دارد. ولی در آزمایش‌های غیر مخرب، ولتاژ و شدت میدان الکتریکی در حدود ولتاژ کار دائمی تجهیز مورد آزمایش می‌باشد. البته مبنای ولتاژ برای آزمایش عایقی مخرب به ولتاژ نامی دستگاه و نوع دستگاه بستگی دارد.

همچنین آزمایشهای مخرب و غیر مخرب تجهیزات علاوه بر ولتاژ و جریان، از جنبه‌های دیگر نیز انجام می‌شود.

۲-۱۱ مشخصات آزمایشهای عایقی براساس استانداردها

تجهیزات سیستم قدرت دارای بخش‌های عایقی مختص به خود می‌باشند که برای هرکدام از این تجهیزات آزمایش‌های مربوط به آن در استانداردهای گوناگون ارائه شده است. برای بررسی این آزمایش‌ها نیاز به آشنایی بعضی مفاهیم و آزمایش‌های مشترک می‌باشد که این بخش به معرفی آنها پرداخته است.

۱-۲-۱۱ انواع شکست در آزمایش‌های عایقی

۱- Destructive Insulation Test (DT)
۲- Non-Destructive Insulation Test (NDT)

الف) شکست مخرب[۸]

وقتی که عایق تحت آزمایش بر اثر تنشهای الکتریکی دچار تخریب و شکست الکتریکی کامل می‌شود و ولتاژ قابل تحمل در دو سر عایق به صفر می‌رسد، تخلیه مخرب در عایق ایجاد می‌گردد. این نوع تخلیه در کلیه عایق‌ها می‌تواند اتفاق بیافتد که در عایقهای مایع به جرقه[۸] و در عایقهای گاز به تخلیه الکتریکی[۸] و در عایقهای جامد به سوراخ شدگی[۸] معروف می‌باشد.

ب) شکست مخرب ناپایدار[۸]

تخلیه‌ای است که در عایق تحت آزمایش بصورت لحظه‌ای اتفاق می‌افتد و سبب تولید قوس الکتریکی و کاهش ولتاژ به مقدار صفر یا یک مقدار خیلی کم بصورت لحظه‌ای می‌گردد.

ج) شکست غیر مخرب[۸]

تخلیه‌ای که در عایق بدون کاهش ولتاژ به صفر یا یک مقدار خیلی کم اتفاق می‌افتد. این نوع تخلیه به تخلیه جزیی[۸] نیز معروف است.

۲-۲-۱۱ انواع عایق‌های تجهیزات فشارقوی

عایق‌ها از لحاظ استقامت در برابر آزمایش‌های فشارقوی به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند:

الف) عایق‌های غیر خود ترمیم[۸]

این عایق‌ها در اثر ایجاد یک تخلیه مخرب در هنگام آزمایش، کارایی خود را بطور کامل از دست می‌دهند و نمی‌توان دوباره از آنها استفاده نمود. لذا فقط برخی از آزمایش‌های فشارقوی روی اینگونه از عایق‌ها صورت می‌پذیرد. ازجمله این عایق‌ها عایق‌های چینی، شیشه‌ای و پلیمری می‌باشند که با قرار گرفتن در ولتاژی بیش از آستانه تحمل شان، دچار شکست کامل می‌شوند. لذا تعداد آزمایش‌هایی که روی اینگونه از عایق‌ها انجام می‌شود محدود می‌باشد و هیچگونه شکستی در آنها قابل قبول نمی‌باشد.

ب) عایق‌های خود ترمیم[۸]

عایق‌هایی که پس از ایجاد تخلیه الکتریکی در آنها دوباره به روند کار عادی خود باز می‌گردند به عایق‌های خود ترمیم معروف‌اند. در آزمایش اینگونه از عایق‌ها عامل محدود کننده آزمایش‌های عایقی، محدودیتهای موجود در

۱- Destructive discharge

۲- Sparkover

۳- Flashover

۴- Puncture

۵- Non-sustained destructive discharge

۱- Non- destructive discharge

۲- Partial discharge

۳- Non-self-restoring insulation

۴- Self-restoring insulation

انجام آزمایش می‌باشد. ولتاژ استقامت اینگونه از عایق‌ها با روش‌های آماری که در استانداردها مانند IEC۶۰۰۶۰ ارائه شده است، بدست می‌آید.

ج) عایق‌های ترکیبی

بعضی از تجهیزات الکتریکی همانند مقره‌های عبوری و ترانسفورماتورها شامل هر دو نوع عایق خود ترمیم و غیر خود ترمیم می‌باشند. در این تجهیزات نمی‌توان تعداد زیادی از آزمایشها را به دلیل وجود عایق‌های غیر خود ترمیم انجام داد و از طرفی هم با تعداد کم آزمایش نمی‌توان انتخاب مناسبی را برای عایق خود ترمیم داشت.

۳-۲-۱۱ انواع آزمایش‌های عایقی

۱-۳-۲-۱۱ آزمایش‌های تحت شرایط خشک

اینگونه آزمایش‌ها معمولا برای عایق‌های داخلی و در شرایط محیطی و کاری تجهیز مورد آزمایش، انجام می‌گیرد.

۲-۳-۲-۱۱ آزمایش‌های تحت شرایط مرطوب

در این آزمایش آب با ویژگی‌هایی که در جدول (۱۱-۱) ارائه شده است بصورت قطره بر روی تجهیز تحت آزمایش پاشیده می‌شود. این آزمایش برای تجهیزات با حداکثر ولتاژ نامی ۸۰۰ kV انجام می‌گیرد.

جدول (۱۱-۱). ویژگی آب مورد استفاده در آزمایش‌های تحت شرایط مرطوب

ویژگی	واحد	مقدار آزمایش (مقدار مجاز خطا)
دمای آب	درجه سانتی‌گراد	(±۱۵) دمای محیط
مقاومت ویژه الکتریکی آب	Ω.m	۱۰۰(±۱۵)
مدت زمان انجام آزمایش	ثانیه	۶۰

۳-۳-۲-۱۱ آزمایش‌های با ولتاژ مستقیم

ولتاژ مستقیم در این آزمایشها توسط یکسوسازها تولید می‌گردد که بایستی توان لازم جهت شارژ خازن‌های عایق تجهیز مورد آزمایش را داشته باشد. حداکثر مقدار مجاز ریپل ولتاژ مستقیم ۳٪ می‌باشد. در این آزمایش جریان عبوری از تجهیز اندازه‌گیری می‌گردد. این جریان دارای سه مولفه خازنی، دائمی مقاومتی و تخلیه جزئی می‌باشد. برای اندازه‌گیری این جریان‌ها، دستگاه اندازه‌گیری باید دارای رنج وسیعی باشد تا بتواند این جریان‌ها را بدرستی ثبت کند. انواع آزمایش‌های با ولتاژ مستقیم بصورت زیر دسته‌بندی می‌گردند.

- آزمایش ولتاژ استقامت

در این آزمایش، ابتدا ولتاژ با دامنه کم به تجهیز اعمال می‌گردد تا از اضافه ولتاژهای ناشی از کلیدزنی جلوگیری گردد، سپس این ولتاژ به آرامی افزایش می‌یابد. نرخ افزایش ولتاژ باید به حدی باشد تا دستگاه‌های اندازه‌گیری قادر به ثبت جریان باشند و همچنین عایق دچار تنش الکتریکی در حین افزایش ولتاژ نگردد. معمولا نرخ افزایش برابر ۲٪

ولتاژ نامی در ثانیه می‌باشد. مدت زمان آزمایش به نوع تجهیز (ظرفیت خازنی و مقاومتی عایق) بستگی دارد، ولی اگر زمانی در آزمایش اشاره نشد عموما یک دقیقه در نظر گرفته می‌شود.

- آزمایش ولتاژ تخلیه مخرب

در این آزمایش ولتاژ آنقدر افزایش می‌یابد تا تخلیه کامل در عایق اتفاق بیفتد و مقدار آن ولتاژ ثبت می‌گردد.

۴-۳-۲-۱۱ آزمایش‌های با ولتاژ متناوب

در این آزمایش معمولا مقدار فرکانس ولتاژ اعمالی بین ۴۵هرتز تا ۶۵ هرتز می‌باشد. منبع تولید این ولتاژ بایستی در جریان‌های نشتی بالا و تخلیه‌های غیر مخرب دچار افت ولتاژ نگردد. ویژگی کامل ترانسفورماتورهای تولید ولتاژ آزمایش در استاندارد IEC۶۰۰۶۰ ارائه شده است. آزمایش‌های با ولتاژ متناوب عبارتند از:

- آزمایش ولتاژ استقامت

نحوه انجام این آزمایش همانند آزمایش ولتاژ استقامت با ولتاژ مستقیم می‌باشد.

- آزمایش ولتاژ تخلیه مخرب

همانند ولتاژ مستقیم، ولتاژ به آرامی آنقدر افزایش می‌یابد تا تخلیه کامل در عایق اتفاق بیفتد و سپس ولتاژ مورد نظر ثبت می‌گردد.

۵-۳-۲-۱۱ آزمایش‌های با ولتاژ ضربه صاعقه

در این آزمایش دو نوع ولتاژ، ولتاژ ضربه صاعقه کامل و ولتاژ ضربه صاعقه بریده شده به تجهیز اعمال می‌گردد. ولتاژ ضربه صاعقه کامل شامل مدت زمان پیشانی موج ۱/۲ میکروثانیه و زمان پشت موج ۵۰ میکروثانیه می‌باشد. مقدار دامنه این ولتاژ بستگی به ولتاژ نامی تجهیز مورد آزمایش دارد که در استاندارد مربوط آن تجهیز بیان شده است. ولتاژ صاعقه بریده شده، ولتاژ صاعقه کاملی است که پس از ۲ تا ۵ میکروثانیه مقدار دامنه آن به صفر می‌رسد.
آزمایش ولتاژ استقامت برای ضربه صاعقه، به سه صورت زیر قابل انجام می‌باشد.

- آزمایش ولتاژ استقامت با روش الف

در این آزمایش ۳ ولتاژ ضربه صاعقه با پلاریته و دامنه برابر با ولتاژ استقامت ضربه نامی تجهیز به آن اعمال می‌گردد. در این حالت نباید در عایق هیچ شکستی اتفاق بیفتد.

- آزمایش ولتاژ استقامت با روش ب

در این آزمایش ۱۵ ضربه صاعقه با پلاریته و دامنه مشخص به تجهیز اعمال می‌گردد به شرطی که در عایق خود ترمیم آن حداقل ۲ شکست و در عایق غیر خود ترمیم هیچ شکستی اتفاق نیفتد.

- آزمایش ولتاژ استقامت با روش ج

کتاب الکترونیکی ولتاژ ها و هماهنگی عایقی در شبکه های قدرت - دکتر محسن پاشائی - دکتر احمد غلامی

در این آزمایش ۳ ضربه صاعقه با پلاریته و دامنه مشخص به تجهیز اعمال می‌گردد، اگر هیچ شکستی اتفاق نیفتد تجهیز آزمایش را به سلامت سپری کرده است. اگر بیش از یک شکست اتفاق بیفتد، تجهیز از لحاظ عایقی مورد تایید نمی‌باشد. ولی اگر یک شکست در عایق خود ترمیم اتفاق بیفتد، ۹ ضربه صاعقه اضافی به آن اعمال می‌کنند که در هیچکدام از این ۹ ضربه نبایستی شکستی اتفاق بیفتد تا تجهیز به سلامت از این آزمایش بیرون آید.
همچنین این آزمایش به صورت آماری نیز انجام می‌شود که جزییات آن در استاندارد IEC۶۰۰۶۰ ارائه شده است.

۱۱-۲-۳-۶ آزمایش با ولتاژ ضربه کلیدزنی

در این آزمایش مدت زمان پیشانی موج ولتاژ کلیدزنی ۲۵۰ میکروثانیه و مدت زمان پشت موج آن ۲۵۰۰ میکروثانیه می‌باشد. دامنه ولتاژ کلیدزنی به تجهیز مورد نظر بستگی دارد که در استاندارد مربوطه مشخص گردیده است. نحوه انجام آزمایش همانند آزمایش‌های با ولتاژ ضربه صاعقه می‌باشد.

۱۱-۳ آزمایش عایقی کلیدهای قدرت

کلیدهای قدرت در دو حالت کلی وضعیت تیغه باز و تیغه بسته مورد آزمایش عایقی قرار می‌گیرند. در هر کدام از این حالات، ولتاژ به یکی از کنتاکتهای کلید اعمال می‌شود و مابقی کنتاکتها به همراه قسمت بیرونی عایق کلید به سیستم زمین متصل می‌گردند.
اگر در کلید قدرت از شاخک یا حلقه برقگیر استفاده شده باشد، باید آنها را جدا نمود ولی اگر از حلقه کرونا جهت تعدیل توزیع پتانسیل استفاده شده باشد باید در طول آزمایش در محل خود باقی بماند.
برای آزمایش عایقی کلیدهای قدرت، سه نوع آزمایش صورت می‌گیرد، که به اختصار به آنها پرداخته می‌شود.

۱۱-۳-۱ آزمایش ولتاژ استقامت کوتاه مدت با فرکانس قدرت

این آزمایش برای تمامی کلیدهای قدرت انجام می‌گیرد که مقدار ولتاژ اعمالی به کلید در جدول (۱۱-۲) ارائه شده است. این ولتاژ به مدت یک دقیقه برای هر دو شرایط خشک و مرطوب (برای کلیدهای داخلی) به کلید اعمال می‌گردد. در فرآیند آزمایش هیچ شکستی نباید در عایق کلید اتفاق بیفتد. ولی در آزمایش شرایط مرطوب، عایق‌های خود ترمیم کلید می‌توانند تنها یکبار دچار شکست گردند که مشکلی را در فرآیند بهره‌برداری ایجاد نمی‌کند.

۱۱-۳-۲ آزمایش ولتاژ ضربه صاعقه

در این آزمایش بر اساس استاندارد IEC۶۰۰۶۰، ۱۵ ولتاژ ضربه با مقدار نامی به کلید اعمال می‌گردد که عایق‌های خود ترمیم مجاز به ۲ شکست و عایق‌های غیر خود ترمیم مجاز به شکستی نمی‌باشند. این روند با دو پلاریته مثبت و منفی برای تمامی کلیدها انجام می‌گیرد. همچنین در هنگام اعمال پلاریته معکوس به کلید بهتر است ابتدا سه ضربه با ۸۰٪ ولتاژ نامی به کلید اعمال گردد تا بار الکتریکی ذخیره شده در آن تخلیه گردد. دامنه این ولتاژ در جدول (۱۱-۲) ارائه شده است.

۱۱-۳-۳ آزمایش ولتاژ ضربه کلیدزنی

این آزمایش تنها برای کلیدهای با ولتاژ نامی بالاتر از ۲۴۵ کیلوولت انجام می‌گیرد. شکل موج ولتاژ اعمالی در این آزمایش براساس استاندارد می‌باشد که هم در شرایط خشک و هم در شرایط خیس (برای عایق‌های داخلی) با هر دو پلاریته مثبت و منفی انجام می‌گیرد. دامنه این ولتاژ نیز در جدول (۱۱-۲) آورده شده است.

جدول (۱۱-۲). سطوح عایقی نامی کلیدهای قدرت

مقدار موثر ولتاژ نامی (کیلوولت)	مقدار موثر ولتاژ استقامت نامی کوتاه مدت (کیلوولت)	مقدار حداکثر ولتاژ استقامت نامی کلیدزنی (کیلوولت)	مقدار حداکثر ولتاژ استقامت نامی ضربه صاعقه (کیلوولت)
۳/۶	۱۰	-	۲۰
			۴۰
۷/۲	۲۰	-	۴۰
			۶۰
۱۲	۲۸	-	۶۰
			۷۵
۲۴	۵۰	-	۹۵
			۱۲۵
۳۶	۷۰	-	۱۴۵
			۱۷۰
۷۲/۵	۱۴۰	-	۳۲۵
۱۴۵	۲۳۰		۵۵۰
	۲۷۵		۶۵۰
۲۴۵	۳۶۰	-	۸۵۰
	۳۹۵		۹۵۰
	۴۶۰		۱۰۵۰
۴۲۰	۵۲۰	۹۵۰	۱۳۰۰
		۱۰۵۰	۱۴۲۵

کتاب "اضافه ولتاژها و هماهنگی عایقی در شبکه های قدرت" دکتر محسن نیلاشی - دکتر احمد غلامی

۱۱-۴ آزمایش عایقی مقره‌ها

عایق مقره‌های فشارقوی عموما از جنس چینی، شیشه و کامپوزیت می‌باشند. در ادامه به بررسی انواع آزمایش‌های عایقی که بر روی مقره‌ها انجام می‌گیرد پرداخته شده است.

۱۱-۴-۱ آزمایش ولتاژ ضربه صاعقه

در این آزمایش ولتاژ شکست ۵۰٪ مطابق استاندارد IEC۶۰۰۶۰ انتخاب می‌شود. در این آزمایش چند بار ولتاژ با مقدار برابر V به مقره اعمال می‌گردد و اگر حداقل یک جرقه اتفاق بیفتد مقدار ولتاژ به اندازه ΔV افزایش می‌یابد و در غیر این صورت ولتاژ به همان اندازه کاهش می‌یابد. در نهایت مقدار ولتاژ جرقه ۵۰٪ پس از اعمال ضریب تصحیح

شرایط محیطی باید بزرگتر از ولتاژ اسقامت ضربه صاعقه استاندارد باشد تا مقره این آزمایش را به سلامت سپری کند.

۱۱-۴-۲ آزمایش ولتاژ اسقامت با فرکانس قدرت در شرایط مرطوب

این آزمایش براساس استاندارد IEC۶۰۰۶۰ انجام می‌گیرد که مقدار ولتاژ اعمالی پس از تصحیح شرایط محیطی، به مدت یک دقیقه به مقره اعمال می‌گردد. در طول آزمایش نباید هیچ سوراخ‌شدگی در مقره ایجاد گردد.

۱۱-۴-۳ آزمایش ولتاژ استقامت سوراخ شدگی

این آزمایش می‌تواند هم با ولتاژ فرکانس قدرت و هم با ولتاژ ضربه انجام گیرد. برای جلوگیری از ایجاد جرقه روی سطح مقره، مقره را در یک ظرف پر از یک ماده عایقی مناسب (مقاومت ویژه عایق بین $۱۰^{۶}$ تا $۱۰^{۸}$ $\Omega.m$) قرار می‌دهند. ولتاژ به آرامی افزایش می‌یابد تا سوراخ شدگی در مقره ایجاد گردد.

۱۱-۵ آزمایش عایقی مقره‌های عبوری

آزمایش عایقی مقره‌های عبوری در دمای محیط بین ۱۰ تا۴۰ درجه سانتی‌گراد انجام می‌گیرد. آزمایش عایقی مقره-های عبوری به پنج آزمایش ولتاژ استقامت فرکانس قدرت، ولتاژ استقامت ضربه صاعقه، ولتاژ استقامت کلیدزنی، اندازه‌گیری ضریب تلفات عایقی و اندازه‌گیری تخلیهٔ جزئی تقسیم می‌شوند.

۱۱-۵-۱ ولتاژ استقامت فرکانس قدرت

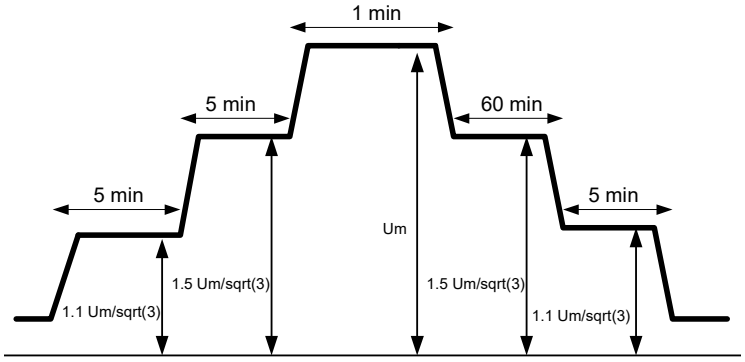
این آزمایش در شرایط خشک برای تمامی مقره های عبوری و در شرایط مرطوب برای مقره های عبوری بیرونی با ولتاژ نامی کمتر از ۲۴۵ کیلوولت انجام می‌گیرد. مقدار ولتاژ اعمالی در این آزمایش در جدول (۱۱-۳) ارائه شده و مدت زمان اعمال آزمایش نیز یک دقیقه می‌باشد. در طول آزمایش نباید هیچ تخلیه یا سوراخ‌شدگی اتفاق بیفتد. ولی اگر یک‌بار اتفاق افتاد، آزمایش دوباره انجام می‌شود و اگر این‌بار هیچ سوراخ‌شدگی اتفاق نیفتاد مقره عبوری سالم است. این آزمایش از نوع آزمایش رایج[۸] و آزمایش نوعی[۸] می‌باشد.

همچنین نوع دیگری از آزمایش با ولتاژ فرکانس قدرت وجود دارد که برای مقره های عبوری با ولتاژ نامی بیشتر از ۱۷۰ کیلوولت انجام می‌گیرد. نحوه اعمال ولتاژ در این آزمایش در شکل (۱۱-۱) نشان داده شده است. در طول انجام این آزمایش نباید هیچ تخلیه الکتریکی یا سوراخ‌شدگی در عایق اتفاق بیفتد. این آزمایش که از نوع آزمایش‌های نوعی می‌باشد به آزمایش با ولتاژ فرکانس قدرت طولانی مدت معروف است.

کتاب اضافه ولتاژها و هماهنگی عایقی در شبکه های قدرت - دکتر محسن نیاستی - دکتر احمد غلامی

۱-Routine test

۲-Type test



شکل (۱۱-۱). پروفیل ولتاژ برای آزمایش با ولتاژ فرکانس قدرت

۱۱-۵-۲ آزمایش ولتاژ استقامت ضربه صاعقه

این آزمایش برای تمامی مقره های عبوری انجام می‌گیرد که نحوه انجام بر اساس استاندارد IEC۶۰۰۶۰ می‌باشد. در این آزمایش ۱۵ ولتاژ ضربه با پلاریته مثبت و ۱۵ ولتاژ ضربه با پلاریته منفی اعمال می‌گردد. البته برای مقره های عبوری ترانسفورماتور با ولتاژ نامی بالاتر از ۷۲/۵ کیلوولت مراحل اعمال ضربه صاعقه بصورت زیر می‌باشد:

- ۱۵ ضربه صاعقه با پلاریته مثبت
- یک ضربه صاعقه با پلاریته منفی و دامنه ۱۱۰٪ ولتاژ BIL
- ۵ ضربه صاعقه بریده شده با پلاریته منفی و دامنه ۱۲۱٪ ولتاژ BIL
- ۱۴ ضربه صاعقه با پلاریته منفی و دامنه ۱۱۰٪ ولتاژ BIL

در طول فرآیند آزمایش نباید هیچ سوراخ‌شدگی اتفاق بیفتد و تعداد مجاز تخلیه الکتریکی در طول آزمایش برای هر پلاریته ۲ مورد می‌باشد. این آزمایش از نوع آزمایش نوعی می‌باشد ولی در آزمایش رایج نحوه اعمال ولتاژ متفاوت می‌باشد، که در استاندارد IEC۶۰۱۳۷ توضیح داده شده است.

۱۱-۵-۳ آزمایش ولتاژ استقامت کلیدزنی

این آزمایش در شرایط مرطوب تنها برای مقره های عبوری بیرونی و در شرایط خشک برای تمامی مقره های عبوری با ولتاژ نامی بالاتر از ۲۴۵ کیلوولت انجام می‌گیرد. دامنه ولتاژ آزمایش در جدول (۱۱-۳) مشخص شده است. در این آزمایش ۱۵ ضربه با پلاریته مثبت و ۱۵ ضربه با پلاریته منفی به مقره عبوری اعمال می‌گردد. در فرآیند آزمایش نباید هیچ سوراخ‌شدگی اتفاق بیفتد و حداکثر دو تخلیه الکتریکی مجاز به وقوع در هنگام آزمایش می‌باشد. این آزمایش نیز در فهرست آزمایش‌های نوعی می‌باشد.

جدول (۱۱-۳). سطوح عایقی مقره های عبوری

مقدار موثر حداکثر ولتاژ نامی تجهیز (کیلوولت)	مقدار حداکثر ولتاژ صاعقه نامی (کیلوولت)	حداکثر ولتاژ کلیدزنی نامی (کیلوولت)	مقدار موثر ولتاژ استقامت فرکانس قدرت (کیلوولت)			
			مقره عبوری ترانسفورماتور (شرایط خشک)	مقره عبوری GIS (شرایط	سایر مقره های عبوری (شرایط خشک)	سایر مقره های عبوری

کتاب "اضافه ولتاژها و هماهنگی عایقی در شبکه‌های قدرت" دکتر محسن نیاستی - دکتر حمید غلامی

۳/۶	۴۰	-	۱۱		خشک)	(شرایط مرطوب)
۷/۲	۶۰	-	۲۲		-	۱۰
۱۲	۷۵	-	۳۰		-	۲۰
۲۴	۱۲۵	-	۵۵		-	۲۸
۳۶	۱۷۰	-	۷۷		-	۵۰
۷۲/۵	۳۲۵	-	۱۵۵		-	۷۰
۱۴۵	۴۵۰ ۵۵۰	-	۲۰۵ ۲۵۵		-	۱۴۰ ۱۸۵ ۲۳۰
	۶۵۰		۳۰۵			۲۷۵
۲۴۵	۹۵۰	۶۵۰ ۷۵۰ ۸۵۰	۴۳۵		۴۳۵	۳۹۵
	۱۰۵۰	۷۵۰ ۸۵۰	۵۰۵		۴۶۰	۴۶۰
۴۲۰	۱۳۰۰	۱۰۵۰	۶۲۵		۵۹۵	۵۷۰
	۱۴۲۵	۱۰۵۰	۶۹۵		۶۵۰	۶۳۰
	۱۵۵۰	۱۱۷۵	۷۵۰		-	۶۸۰

۴-۵-۱۱ آزمایش اندازه‌گیری ضریب تلفات عایقی (tagδ)

این آزمایش با استفاده از پل شرینگ انجام می‌شود. حداکثر مقدار قابل قبول ضریب تلفات برای عایقهای مختلف مطابق جدول (۱۱-۴) می‌باشد.

جدول (۱۱-۴). حداکثر مقدار مجاز ضریب تلفات عایقی برای مقره های عبوری

نوع عایق مقره عبوری	حداکثر مقدار مجاز ضریب تلفات عایقی با ولتاژ ($۱/۰۵\times U_m/sqrt(3)$)
کاغذ آغشته در روغن	۰/۰۰۷
کاغذ آغشته در رزین	۰/۰۰۷
کاغذ پیچیده در رزین	۰/۰۱۵
نوار داخل گاز	۰/۰۰۵
گاز	۰/۰۰۵
رزین	۰/۰۱۵

۵-۵-۱۱ آزمایش اندازه‌گیری تخلیه جزئی

این آزمایش بر اساس استاندارد IEC۶۰۲۷۰ صورت می‌گیرد. این اندازه‌گیری در طول آزمایش ولتاژ استقامت فرکانس قدرت انجام می‌شود. حداکثر مقدار قابل قبول تخلیه جزئی نیز در جدول (۱۱-۵) آورده شده است.

کتاب "اضافه ولتاژ ها و هماهنگی عایقی در شبکه های قدرت" دکتر محسن نیستی - دکتر احمد غلامی

جدول (۱۱-۵). حداکثر مقدار مجاز تخلیه جزئی

نوع عایق مقره عبوری	حداکثر مقدار مجاز تخلیه جزئی با ولتاژ ($۱/۰۵\times U_m/\sqrt{3}$)
کاغذ آغشته در روغن	۵
کاغذ آغشته در رزین	۵
کاغذ پیچیده در رزین	۱۰۰
نوار داخل گاز	۵
گاز	۵
رزین	۵

۱۱-۶ آزمایش عایقی تجهیزات حفاظتی

بر روی تجهیزات حفاظتی دو آزمایش عایقی با ولتاژ ضربه و ولتاژ فرکانس قدرت انجام می‌گیرد. این آزمایش‌ها قبل از نصب تجهیز و در شرایط خشک یا دمای محیط بین ۱۵ تا ۳۵ درجه و رطوبت نسبی بین ۴۵٪ تا ۷۵٪ و فشار هوا بین ۸۰۰ تا ۱۰۶۰ میلی‌بار صورت می‌گیرد. آزمایش ضربه به جهت اطمینان از توانایی استقامت عایق جامد تجهیز حفاظتی در برابر ولتاژ ضربه احتمالی در حین بهره برداری و آزمایش ولتاژ فشار قوی با فرکانس قدرت برای ارزیابی عایق در مقابل اضافه ولتاژهای موقتی می‌باشد. این آزمایش‌ها از گروه آزمایش‌های نوعی می‌باشند که در ادامه به اختصار بررسی می‌گردند.

۱۱-۶-۱ آزمایش ولتاژ استقامت ضربه

در این آزمایش ۵ ولتاژ ضربه استاندارد بر اساس IEC۶۰۰۶۰ با پلاریته مثبت و منفی به تجهیز اعمال می‌گردد. مقدار حداکثر ولتاژ ضربه از جدول (۱۱-۶) بدست می‌آید. در حین فرآیند آزمایش نیز نباید هیچ شکستی در عایق تجهیز رخ دهد تا تجهیز به سلامت از آزمایش بیرون آید.

جدول (۱۱-۶). مقادیر نامی آزمایش ولتاژ صاعقه تجهیز حفاظتی

ولتاژ نامی تجهیز حفاظتی (ولت)	ولتاژ نامی ضربه صاعقه (ولت)
۵۰	۸۰۰
۱۰۰	۱۵۰۰
۱۵۰	۲۵۰۰
۳۰۰	۴۰۰۰
۶۰۰	۶۰۰۰
۱۰۰۰	۸۰۰۰

۱۱-۶-۲ آزمایش ولتاژ فشار قوی با فرکانس قدرت

کتاب "اضافه ولتاژ و هماهنگی عایقی در شبکه های قدرت" دکتر محسن نیابتی - دکتر احمد غلامی

دامنه این ولتاژ بر اساس ولتاژ نامی تجهیز حفاظتی در جدول (۱۱-۷) ارائه شده است. فرکانس این ولتاژ بین ۴۵ تا ۶۵ هرتز می‌باشد. همچنین می‌توان این آزمایش را با ولتاژ مستقیم با دامنه‌ی ۱/۴ برابر ولتاژ AC انجام داد. مدت زمان آزمایش یک دقیقه می‌باشد که در طول آزمایش نباید هیچ شکستی در عایق اتفاق بیفتد.

جدول (۱۱-۷). آزمایش ولتاژ AC

ولتاژ نامی عایقی (ولت)	ولتاژ آزمایش AC (کیلوولت)
تا ۶۳	۰/۵
۱۲۵	۲
۱۶۰	۲
۲۰۰	۲
۲۵۰	۲
۳۲۰	۲
۴۰۰	۲
۵۰۰	۲
۶۳۰	۲/۳
۸۰۰	۲/۶
۱۰۰۰	۳

کتاب "اضافه ولتاژ ها و هماهنگی عایقی در شبکه های قدرت" دکتر حسین میاسی - دکتر احمد غلامی

۱۱-۷ آزمایش عایقی ترانسفورماتورها

آزمایش‌های عایقی مورد نیاز برای ترانسفورماتورهای قدرت را می‌توان بصورت زیر دسته‌بندی نمود.

۱۱-۷-۱ آزمایش ولتاژ استقامت AC با منبع مجزا

یک منبع ولتاژ تکفاز با ولتاژی برابر آنچه در جدول (۱۱-۸) درج شده، به تک تک ترمینال‌های ترانسفورماتور (در حالیکه مابقی سیم‌پیچ‌ها، هسته و بدنه زمین شده‌اند) به مدت یک دقیقه اعمال می‌گردد. در طول آزمایش نباید هیچ کاهش ولتاژی اتفاق بیفتد.

۱۱-۷-۲ آزمایش ولتاژ AC القایی

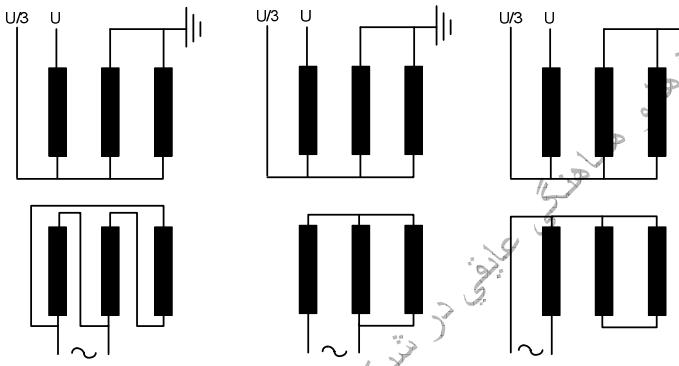
این آزمایش در فرکانس قدرت و با ولتاژ مشخص شده در جدول (۱۱-۸) به مدت یک دقیقه انجام می‌گیرد.
برای ترانسفورماتورهای با ولتاژ نامی بیشتر از ۷۲/۵ کیلوولت بعد از این آزمایش، آزمایش اندازه‌گیری تخلیه جزئی نیز انجام می‌گیرد. این آزمایش به دو صورت کوتاه مدت و بلند مدت و با توجه به نوع سیم‌پیچی ترانسفورماتور (یکنواخت و غیریکنواخت) انجام می‌گیرد.

۱۱-۷-۲-۱ آزمایش ولتاژ AC القایی کوتاه مدت برای ترانسفورماتور با سیم‌پیچی یکنواخت

این آزمایش بصورت فاز به فاز بین سیم‌پیچی‌های ترانسفورماتور انجام می‌گیرد. مدت زمان انجام آزمایش در قسمت قبل ذکر شده است که در طول این مدت نباید هیچ کاهش ولتاژی در ترانسفورماتور مشاهده شود.

۲-۲-۷-۱۱ آزمایش ولتاژ AC القایی کوتاه مدت برای ترانسفورماتور با سیم‌پیچی غیریکنواخت

در بعضی از ترانسفورماتورهای فشار قوی طرف ستاره زمین می‌گردد. بنابراین مرکز ستاره نیاز به عایق‌بندی همانند سر سیم‌پیچ‌های فشار قوی ندارد. یعنی طرف زمین شده ستاره با ولتاژ نامی کمتری عایق‌بندی می‌گردد. در شکل (۲-۱۱) روش‌های مختلف آزمایش ولتاژ القائی ترانسفورماتور سه فاز ستاره - مثلث بر اساس استاندارد IEC۶۰۰۷۶ نشان داده شده است. در حین این آزمایش نیز نباید هیچ کاهش ولتاژی مشاهده گردد تا ترانسفورماتور با موفقیت آزمایش را پشت سر بگذارد.



شکل (۱۱-۲). اتصالات مختلف ترانسفورماتور با سیم‌پیچی غیریکنواخت در آزمایش ولتاژ القایی

۳-۲-۷-۱۱ آزمایش ولتاژ AC القایی بلند مدت برای ترانسفورماتورهای با سیم‌پیچی یکنواخت و غیریکنواخت

این آزمایش به صورت فاز به فاز بر اساس استاندارد IEC۶۰۰۷۶ انجام می‌گیرد. دامنه ولتاژ اعمالی در این آزمایش در جدول (۱۱-۸) و نحوه اعمال ولتاژ نیز همانند شکل (۱۱-۱) می‌باشد. در طول آزمایش نیز نباید هیچ کاهش ولتاژی مشاهده گردد.

۳-۷-۱۱ آزمایش ولتاژ ضربه صاعقه

در این آزمایش ابتدا یک ضربه با ولتاژ بین ۵۰٪ تا ۷۵٪ ولتاژ نامی با مشخصات استاندارد به یک ترمینال ترانسفورماتور (در حالیکه مابقی ترمینال‌ها، بدنه و نوترال با یک امپدانس کم زمین شده‌اند) اعمال می‌گردد. سپس ۳ ضربه با ولتاژ نامی اعمال می‌شود که در هیچ‌کدام از این ضربات نباید شکستی در عایق ترانسفورماتور، سیم‌پیچی و مقره های عبوری رخ دهد.

۴-۷-۱۱ آزمایش ولتاژ ضربه صاعقه بریده شده

دامنه ولتاژ اعمالی در این آزمایش ۱/۱ برابر دامنه ولتاژ ضربه نامی می‌باشد. نحوه اعمال ولتاژ در این آزمایش به ترتیب زیر می‌باشد:

- یک ضربه کامل با ولتاژ کمتر از نامی
- یک ضربه کامل با ولتاژ نامی
- یک یا چند ضربه بریده شده یا ولتاژ کمتر از نامی
- دو ضربه بریده شده با ولتاژ نامی
- دو ضربه کامل با ولتاژ نامی

برای ارزیابی عایق در این آزمایش، بین نوسانات ولتاژ یا جریان در دو حالت ضربه صاعقه بریده با ولتاژ کمتر از نامی و برابر با ولتاژ نامی مقایسه صورت گیرد.

۱۱-۷-۵ آزمایش ولتاژ ضربه کلیدزنی

ولتاژ اعمالی در این آزمایش دارای زمان پیشانی موج ۱۰۰ تا ۲۵۰ میکروثانیه و زمان پشت موج ۵۰۰ تا ۲۵۰۰ میکروثانیه می‌باشد. ابتدا یک ولتاژ با دامنه بین ۵۰٪ تا ۷۵٪ ولتاژ نامی و سپس سه ولتاژ با دامنه نامی به یک فاز (در حالیکه دو فاز دیگر با یک مقاومت ۱۰ تا ۲۰ کیلو اهم زمین شده باشد) اعمال می‌گردد. زمانی عایق سالم در نظر گرفته می‌شود که افت ولتاژ ناگهانی یا ناپیوستگی در جریان اندازه‌گیری شده در نول مشاهده نگردد.

جدول (۱۱-۸). مقادیر نامی ولتاژ استقامت برای آزمایش عایقی ترانسفورماتور

مقدار موثر حداکثر ولتاژ نامی تجهیز (کیلوولت)	ولتاژ استقامت نامی با منبع جدا و AC القایی	پیک ولتاژ استقامت نامی صاعقه (کیلوولت)	پیک ولتاژ استقامت نامی کلیدزنی (کیلوولت)
۷۲/۵	۱۴۰	۳۵۰	-
۱۴۵	۱۸۵	۴۵۰	-
	۲۳۰	۵۵۰	
	۲۷۵	۶۵۰	
۲۴۵	۳۲۵	۶۵۰	۵۵۰
	۳۶۰	۷۵۰	۶۵۰
	۳۹۵	۸۵۰	۷۵۰
	۴۶۰	۹۵۰	۸۵۰
۴۲۰	۴۶۰	۱۰۵۰	۸۵۰
	۵۱۰	۱۱۷۵	۹۵۰
	۵۷۰	۱۳۰۰	۱۰۵۰

۱۱-۸ آزمایش عایقی کابلها

آزمایش‌های عایقی بر روی کابل‌های فشار قوی شامل آزمایش ولتاژ، آزمایش اندازه‌گیری مقاومت عایقی در دمای محیط، آزمایش اندازه‌گیری مقاومت عایقی در حداکثر دمای کاری هادی، آزمایش ولتاژ ۶۰ دقیقه و آزمایش ولتاژ ضربه می‌باشد.

۱۱-۸-۱ آزمایش ولتاژ استقامت

این آزمایش برای تمامی کابل‌ها با سطوح ولتاژی مختلف و به مدت ۵ دقیقه بین هادی اصلی و صفحه فلزی دور آن (محافظ مکانیکی یا الکترومغناطیسی) انجام می‌گیرد. مقدار ولتاژ اعمالی آزمایش تکفاز از رابطه (۱۱-۱) بدست می‌آید.

$$\begin{matrix} U_{test}(kv) = 2.5\ U_0 + 2 & 1(kv) \le U_0 \le 3(kv) \\ U_{test}(kv) = 3.5\ U_0 & 6(kv) \le U_0 \end{matrix} \qquad (۱۱-۱)$$

که در آن، U_0 ولتاژ نامی کابل می‌باشد. این مقدار ولتاژ برای آزمایش عایقی بین کابل‌ها در حالت سه هسته‌ای $\sqrt{۳}$ برابر می‌گردد. اگر این آزمایش با ولتاژ DC انجام شود مقدار ولتاژ اعمالی باید ۲/۴ برابر ولتاژ آزمایش در حالت AC باشد. در حین آزمایش نباید هیچ شکستی در عایق کابل اتفاق بیفتد.

۲-۸-۱۱ اندازه‌گیری مقاومت عایقی در دمای محیط

این آزمایش اولین آزمایش الکتریکی است که بر روی کابل انجام می‌شود. ابتدا ۱۰ تا ۱۵ متر از کابل انتخاب می‌گردد و تمام روکش آن بجز عایق اصلی جدا می‌گردد و کابل در آب با دمای محیط به مدت ۱ ساعت قرار می‌گیرد. سپس یک ولتاژ DC بین ۸۰ تا ۵۰۰ ولت به مدت ۱ تا ۵ دقیقه بین هادی و آب اعمال می‌گردد. در نهایت با بدست آوردن مقاومت R با استفاده از رابطه (۱۱-۲) مقدار مقاومت ویژه حجمی کابل محاسبه می‌گردد.

$$\rho = \frac{2\pi \times L \times R}{\ln \frac{D}{d}} \qquad (۱۱-۲)$$

ρ: مقاومت ویژه حجمی Ω.cm

R: مقاومت اندازه‌گیری شده عایق Ω

L: طول کابل cm

D: قطر خارجی عایق mm

d: قطر داخلی عایق mm

ضریب ثابت مقاومت عایقی نیز از رابطه (۱۱-۳) بدست می‌آید.

$$K_i\left(\frac{M\Omega}{km}\right) = 10^{-11} \times 0.367 \times \rho \qquad (۱۱-۳)$$

جهت ارزیابی عایق کابل با استفاده از نتایج بدست آمده، مقایسه‌ای با مقادیر نامی جدول (۱۱-۹) صورت می‌گیرد.

جدول (۱۱-۹). مشخصات نامی آزمایش عایقی کابل

نوع روکش کابل	PVC	EPR	XLPE
حداکثر دمای مجاز (C^o)	۷۰	۹۰	۹۰
مقاومت ویژه حجمی (۱ kV≤U_o≤۳ kV)			
دمای محیط (Ω.cm)	$۱۰^{۱۳}$	–	–
حداکثر دمای کاری هادی (Ω.cm)	$۱۰^{۱۰}$	$۱۰^{۱۲}$	$۱۰^{۱۲}$

کتاب اضافه و تکمیلی عایقی در شبکه های قدرت " دکتر محسن نیاکی - دکتر احمد غلامی

مقاومت ویژه حجمی (۶ kV≤U_o≤۳۰ kV)			
دمای محیط (Ω.cm)	$۱۰^{۱۴}$	-	-
حداکثر دمای کاری هادی (Ω.cm)	$۱۰^{۱۱}$	$۱۰^{۱۲}$	-
ضریب مقاومت عایقی (۱ kV≤U_o≤۳ kV)			
دمای محیط (MΩ.km)	۳۶/۷	-	-
حداکثر دمای کاری هادی (MΩ.km)	۰/۰۳۷	۳/۶۷	۳/۶۷
ضریب مقاومت عایقی (۶ kV≤U_o≤۳۰ kV)			
دمای محیط (MΩ.km)	۳۶۷	-	-
حداکثر دمای کاری هادی (MΩ.km)	۰/۳۷	۳/۶۷	-

۱۱-۸-۲ آزمایش اندازه‌گیری مقاومت عایقی در حداکثر دمای کاری هادی

در این آزمایش ۱۰ تا ۱۵ متر از کابل را در آب با دمایی برابر با حداکثر دمای کاری هادی به مدت حداقل ۱ ساعت قرار می‌دهند و سپس یک ولتاژ DC ۸۰ تا ۵۰۰ ولت به مدت ۱ تا ۵ دقیقه به هادی و آب اعمال می‌گردد. مقاومت ویژه حجمی با استفاده از رابطه مذکور و مقاومت اندازه‌گیری شده بدست می‌آید. در نهایت مقاومت ویژه حجمی و ضریب ثابت مقاومت عایقی جهت ارزیابی عایق کابل با مقادیر نامی مطابق جدول (۱۱-۹) مقایسه می‌گردد.

۱۱-۸-۳ آزمایش ولتاژ ۶۰ دقیقه

در این آزمایش نیز ۱۰ تا ۱۵ متر از کابل در آب با دمای محیط به مدت یک ساعت قرار می‌گیرد و ولتاژ AC برابر با $4U_0$ به آن اعمال می‌گردد. شرط کارکرد درست عایق کابل این است که هیچ شکستی در طول آزمایش رخ ندهد.

۱۱-۸-۴ آزمایش با ولتاژ ضربه

آزمایش ضربه بر روی کابل در دمایی برابر با ۵ تا ۱۰ درجه بیشتر از دمای هادی در شرایط نامی اعمال می‌گردد. ۱۰ ضربه با پیک مثبت و ۱۰ ضربه با پیک منفی به کابل اعمال می‌گردد که در هیچ‌کدام از این آزمایش‌ها نباید شکستی رخ دهد.

علاوه بر آزمایش‌های مذکور، پس از نصب کابل نیز آزمایش‌هایی به جهت ارزیابی عایق کابل و نصب درست آن انجام می‌گیرد. آزمایش‌های پس از نصب کابل به دو دسته به شرح زیر تقسیم می‌شوند.

۱۱-۸-۵ آزمایش ولتاژ DC غلاف بیرونی کابل

ولتاژ DC برابر با ۴ کیلوولت به ازای هر میلی‌متر ضخامت غلاف بیرونی بین هادی لایه زیرین غلاف و یک الکترود بیرونی متصل به غلاف اعمال می‌گردد. حداکثر ولتاژ در این آزمایش ۱۰ کیلوولت می‌باشد. غلاف بیرونی به مدت یک دقیقه تحت این ولتاژ قرار می‌گیرد که در طول این مدت نباید شکستی در آن رخ دهد.

کتاب "اضافه ولتاژها و حفاظت عایقی در شبکه های قدرت" دکتر محسن نیاسی دکتر احمد غلامی

۶-۸-۱۱ آزمایش عایقی کابل

این آزمایش به دو دسته زیر تقسیم می‌گردد.

آزمایش AC: آزمایش با ولتاژی برابر با ولتاژ فاز به فاز نامی سیستم به مدت ۵ دقیقه یا با ولتاژی برابر با ولتاژ فاز به زمین به مدت ۲۴ ساعت بین هادی و محافظ مکانیکی کابل اعمال می‌گردد. در طول این مدت نباید شکستی در عایق کابل اتفاق بیفتد.

آزمایش DC: این آزمایش با ولتاژی برابر با $4U_0$ به مدت ۱۵ دقیقه به عایق کابل اعمال می‌گردد که باید قادر به تحمل آن باشد.

۹-۱۱ آزمایش برقگیرها

آزمایش‌های عایقی برقگیر به منظور ارزیابی استقامت عایق بیرونی آن صورت می‌گیرد. میزان ولتاژ اعمالی در این آزمایش‌ها با در نظر گرفتن شرایط محیطی تعیین می‌گردد.

۱-۹-۱۱ آزمایش ولتاژ ضربه صاعقه

این آزمایش در شرایط خشک و بر اساس استاندارد IEC۶۰۰۶۰ انجام می‌گیرد. در این آزمایش ۱۵ ولتاژ ضربه با پلاریته مثبت و ۱۵ ولتاژ ضربه با پلاریته منفی به برقگیر اعمال می‌گردد. دامنه این ولتاژها ۱/۳ برابر ولتاژ حفاظت صاعقه برقگیر می‌باشد. در هر پلاریته نباید هیچ شکستی در عایق برقگیر رخ دهد و یا حداکثر دو تخلیه الکتریکی در اطراف محفظه برقگیر رخ داده باشد.

۲-۹-۱۱ آزمایش ولتاژ ضربه کلیدزنی

این آزمایش برای برقگیرهای با جریان نامی ۱۰ و ۲۰ کیلوآمپر و با ولتاژ نامی بزرگتر از ۲۰۰ کیلوولت براساس استاندارد IEC۶۰۰۶۰ و برای برقگیرهای بیرونی در شرایط مرطوب انجام می‌گیرد. در این آزمایش ۱۵ ولتاژ کلیدزنی با پلاریته مثبت و ۱۵ ولتاژ با پلاریته منفی به برقگیر اعمال می‌گردد که دامنه آن ۱/۲۵ برابر ولتاژ حفاظت کلیدزنی برقگیر می‌باشد. در هر پلاریته ولتاژ نباید هیچ شکستی رخ دهد و یا حداکثر ۲ جرقه اتفاق بیفتد.

۳-۹-۱۱ آزمایش ولتاژ فرکانس قدرت

این آزمایش برای برقگیرهای بیرونی در شرایط مرطوب و برای برقگیرهای درونی در شرایط خشک انجام می‌گیرد. برای برقگیرهای با جریان نامی ۱/۵، ۲/۵ و ۵ کیلوآمپر و برقگیرهای با کارکرد مکرر، دامنه ولتاژ اعمالی برابر ۰/۸۸ ولتاژ حفاظت صاعقه برقگیر و برای برقگیرهای با جریان نامی ۱۰ و ۲۰ کیلوآمپر ۱/۰۶ ولتاژ حفاظت کلیدزنی برقگیر به مدت یک دقیقه می‌باشد.

به طور کلی انواع آزمایشهای رایج برای تجهیزات الکتریکی مطابق جدول (۱۱-۱۰) می‌باشد.

جدول (۱۱-۱۰). انواع آزمایشهای رایج برای تجهیزات فشارقوی

نوع تجهیز	عنوان آزمایش

برقگیرها	- آزمایش جرقه فرکانس قدرت - آزمایش آلودگی - آزمایش ولتاژ پسماند - آزمایش ضربه جریان بالا (کوتاه مدت، بلند مدت و کار دائمی)
کابلها	- آزمایش ضریب تلفات - آزمایش تخلیه جزئی (PD) - آزمایش ولتاژ استقامت در فرکانس قدرت - آزمایش ولتاژ استقامت ضربه (صاعقه و کلیدزنی)
ترانسفورماتورها و ماشینهای دوار	- آزمایش اضافه ولتاژهای القایی - آزمایش تخلیه جزئی - آزمایش ولتاژ استقامت ضربه (صاعقه و کلیدزنی)
مقره‌های فشارقوی	- آزمایش فرکانس قدرت: الف- آزمایش جرقه خشک و مرطوب ب- ولتاژ استقامت خشک و مرطوب (یک دقیقه) - آزمایش ولتاژ ضربه (صاعقه و کلیدزنی): الف- آزمایش ولتاژ استقامت ضربه ب- آزمایش ولتاژ جرقه ضربه ج- آزمایش آلودگی
مقره‌های عبوری	- آزمایش ضریب تلفات عایقی - آزمایش تخلیه جزئی و تخلیه سطحی - آزمایش ولتاژ استقامت فرکانس قدرت مرطوب (یک دقیقه) - آزمایش تخلیه قابل مشاهده فرکانس قدرت - آزمایش ولتاژ ضربه: الف- آزمایش استقامت تمام موج ب- آزمایش استقامت موج بریده ج- آزمایش موج ضربه کلیدزنی
کلیدها	- آزمایش استقامت ولتاژ ضربه (خشک) - آزمایش استقامت یک دقیقه فرکانس قدرت (خشک) - آزمایش استقامت یک دقیقه فرکانس قدرت (مرطوب)

کتاب "اضافه ولتاژها و هماهنگی عایقی در پستهای قدرت" دکتر محسن نیاستی دکتر احمد غلامی

۱۰-۱۱ آزمایشهای رایج برای عایق تجهیزات

به طور کلی در میان انواع آزمایشهای عایقی مذکور، آزمایش استقامت دی الکتریک (HI-POT)[۸] و آزمایش مقاومت DC عایق رایجتر می‌باشند.

۱-۱۰-۱۱ استقامت دی الکتریک (HI-POT)

هدف از انجام آزمایش استقامت دی الکتریک یا HI-POT، تعیین استقامت عایقی عایق بین بخشهای فلزی تجهیزات (ترانسفورماتورها، کابلها،...) می‌باشد. در این آزمایش، یک ولتاژ بالاتر از ولتاژ نامی هادی، به هادیها و متعلقات تجهیز تحت تست اعمال می‌گردد و سپس میزان جریان نشتی جاری شده در عایق اندازه گیری می‌شود. در اینصورت اگر شکست الکتریکی اتفاق نیفتد و میزان جریان نشتی عبوری از عایق از مقدار معین کمتر باشد، عایق تجهیز دارای استقامت طبیعی خود می‌باشد ولی اگر جریان نشتی از مقدار مجاز بیشتر باشد، عایق دچار نقص بوده و

۱- High Potential

باید اقدامات مناسب انجام شود. به عبارت دیگر، با انجام آزمایش HI-POT (اندازه گیری میزان جریان نشتی)، احتمال وقوع شکست دی الکتریک در عایق هادیهای تجهیزات مورد بررسی قرار می‌گیرد.

لازم به ذکر است که در حالت کلی، تقریبا همه عایقها (حتی در ولتاژهای کمتر از ولتاژ نامی) دارای جریان نشتی جزئی می‌باشند. این جریان نشتی می‌تواند ناشی از عواملی مانند ظرفیت خازنی عایق، مقاومت عایق، پدیده کرونا و اثرات الکتروشیمیایی باشد. اما اگر عایق مورد آزمایش، آسیب دیده یا زدگی داشته باشد، مقدار جریان نشتی آن بسیار زیاد خواهد بود. افزایش جریان نشتی می‌تواند منجر به تخریب کامل عایق شود. از اینرو آزمایش دی الکتریک یکی از مناسبترین روشهای تشخیص آسیب دیدگی عایق تجهیزات در مراحل مختلف ساخت، حمل، نصب و بهره برداری می‌باشد.

با توجه به مشخصات تجهیز، آزمایش دی الکتریک می‌تواند به دو صورت تحت اعمال ولتاژ AC یا DC انجام شود. در جدول (۱۱-۱۱) مزایا و معایب این دو روش بیان شده است.

جدول (۱۱-۱۱). مقایسه آزمایش دی الکتریک به روش AC و DC

مزایای آزمایش HI-POT با ولتاژ DC	مزایای آزمایش HI-POT با ولتاژ AC
- قابلیت انجام با یک سطح جریان بسیار کوچک، مصرف توان کمتر و احتمال خطر کمتر برای کاربر. - دقت بیشتر در اندازه گیری جریان نشتی. - تنها روش قابل استفاده برای آزمایش برخی از تجهیزات و مدارات که در آنها از دیود، خازن و ... استفاده شده است.	- به علت تغییر متناوب پلاریته شکل موج اعمالی، نیازی به افزایش آهسته ولتاژ نیست. - پس از اتمام آزمایش نیازی به تخلیه الکتریکی تجهیز تحت آزمایش نمی‌باشد. - این آزمایش در هر دو پلاریته مثبت و منفی می‌تواند به عایق اعمال گردد.

روش انجام آزمایشهای HI-POT طبق استاندارد IEC به صورت زیر می‌باشد:

الف- آزمایش DC:

توسط دستگاه HI-POT یک ولتاژ DC معادل چهار برابر ولتاژ نامی فاز، به مدت ۱۵ دقیقه به تجهیز اعمال می‌گردد. در صورت سلامت کابل یا تجهیز مورد آزمایش، میزان حداکثر جریان نشتی نباید از ۵ میلی آمپر بیشتر شود (مقدار موثر: ۳/۵ میلی آمپر). ولتاژ فوق را باید به تدریج و در بازه دو دقیقه اعمال نمود.

ب- آزمایش AC:

آزمایش HI-POT به روش AC ، به دو صورت زیر انجام می‌گیرد:

۱- به مدت ۵ دقیقه ولتاژی معادل ولتاژ خط (فاز به فاز) بین یکی از هادی‌ها و سایر بخشهای فلزی یا هادیها اعمال می‌شود.

۲- ولتاژی برابر با ولتاژ نامی، به مدت ۲۴ ساعت و همانند شرایط بهره برداری به هادی اعمال می‌گردد.

۲-۱۰-۱۱ آزمایش اندازه گیری مقاومت عایقی یا آزمایش میگر

آزمایش مقاومت عایقی یا آزمایش میگر، برای تعیین مقاومت عایقی تجهیزات نسبت به زمین یا یکدیگر انجام می-گیرد. مقاومت عایقی معمولا برحسب مگا اهم اندازه گیری می‌شود. مقدار مقاومت عایقی با ولتاژ اعمالی تغییر می-کند. از اینرو مقایسه هر اندازه گیری باید در همان ولتاژ انجام گیرد.

۱۱-۱۱ سئوال و تمرین

۱- انواع آزمایشهای عایقی تجهیزات فشار قوی را بیان نمائید.

۲- نحوه اجرای آزمایش اندازه گیری مقاومت عایقی و آزمایش HI-POT عایق تجهیزات را توضیح دهید.

۳- آزمایشهای کارخانه‌ای (FAT) و آزمایشهای محل نصب (SAT) برای یک تجهیز فشارقوی مثل ترانسفورماتور را بیان نمائید.

کتاب "طراحی ولتاژ ها و هماهنگی عایقی در شبکه های قدرت" دکتر محسن نیاستی - دکتر احمد غلامی