

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

تقدیم به استاد بزرگوارم  
جناب آقای دکتر ابوالفضل واحدی



شرکت ملی نفت ایران  
روابط عمومی

راهنمای آزمایش ها و تعمیر و نگهداری  
ترانسفورماتورهای قدرت بر اساس استاندارد IEEE

تألیف و ترجمه:  
مهدی رضانی

۱۳۸۹

سرشناسه: رضانی، مهدی، ۱۳۴۹-  
عنوان و نام پدیدآور: راهنمای آزمایش ها و تعمیر و نگهداری ترانسفورماتورهای قدرت  
بر اساس استاندارد IEEE/تألیف و ترجمه مهدی رضانی.  
مشخصات نشر: تهران: شرکت ملی نفت ایران، روابط عمومی، ۱۳۸۹.  
مشخصات ظاهری: ۱۱۲ ص: مصور، جدول.  
شابک: 978-964-04-5856-3  
وضعیت فهرست نویسی: فیپا  
یادداشت: ص.ع. به انگلیسی: ... Mehdi Ramezani. Power transformers tests and maintenance guide ...  
یادداشت: کتابنامه: ص. ۱۱۰ - ۱۱۲.  
موضوع: ترانسفورماتورها  
موضوع: ترانسفورماتورها -- نگهداری و تعمیر  
شناسه افزوده: شرکت ملی نفت ایران، روابط عمومی  
رده بندی کنگره: ۱۳۸۹ /TK۲۵۵۱/۸۲ر  
رده بندی دیویی: ۶۲۱/۳۱۴  
شماره کتابشناسی ملی: ۲۰۹۲۶۷۹



## شرکت ملی نفت ایران مدیریت توسعه منابع انسانی

عنوان کتاب: راهنمای آزمایش ها و تعمیر و نگهداری ترانسفورماتورهای  
قدرت بر اساس استاندارد IEEE  
تألیف و ترجمه: مهدی رضانی  
ویراستار: فاطمه جوادی نیا آذری  
ناشر: روابط عمومی شرکت ملی نفت ایران، مطالعات، انتشارات، اطلاع رسانی  
ناظر: مدیریت توسعه منابع انسانی - آموزش مرکزی  
مجری طرح: گروه هنری طرح ساده  
تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه  
چاپ اول: ۱۳۸۹  
قیمت: ۳۲۰۰۰ ریال  
شابک: 978-964-04-5856-3

«کلیه حقوق چاپ و نشر محفوظ و متعلق به ناشر است»  
آدرس: تهران، خیابان طالقانی، ساختمان مرکزی شرکت ملی نفت  
صندوق پستی ۱۸۶۳-۱۵۸۷۵

۱. پیش گفتار مؤلف	
۲. مقدمه	۱
۳. فلوچارت عیب یابی ترانسفورماتور	۲
۴. ایمنی	۵
۴-۱. مقدمه	۵
۴-۲. ایمنی افراد	۵
۴-۳. ایمنی تجهیزات	۶
۵. آزمایش و تکنیک های آزمایش تجهیزات مختلف ترانسفورماتورها	۷
۵-۱. سیم پیچ ها	۷
۵-۲. مقره ها ( بوشینگ ها)	۴۳
۵-۳. روغن عایق ترانسفورماتور	۴۷
۵-۴. تپ چنجرها	۶۶
۵-۵. هسته	۷۴
۵-۶. تانک و تجهیزات جانبی	۷۸
۶. ضمائم	
ضمیمه الف اندازه گیری ضریب قدرت	۹۰
ضمیمه ب بوشینگ ها	۹۴
ضمیمه ج اندازه گیری دما با استفاده از اشعه مادون قرمز (IR)	۹۸
منابع	۱۰۲



## ۱- پیش گفتار مؤلف

نظر به گسترش روز افزون صنعت برق و اهمیت موضوع تعمیرات و نگهداری پیش گیرانه مخصوصا در صنایع عظیم همانند: نیروگاه ها، صنایع نفت و گاز، فولاد و... به کارگیری استانداردهای بین المللی که حاصل تجارب و تحقیقات بسیار ارزشمند متخصصین این امر می باشد موضوعی حیاتی و الزامی است.

ترانسفورماتورهای قدرت از تجهیزات گران قیمت و اساسی در سیستم های قدرت و تغذیه برق می باشند. خارج شدن یک ترانسفورماتور قدرت از سرویس باعث توقف خط تولید می گردد این توقف در صنایعی همانند نفت و یا نیروگاه ها باعث ایجاد میلیون ها تومان ضرر خواهد گردید. در صورت پوشیده ماندن ضعف های جزئی ترانسفورماتور، این ضعف ها به تدریج تشدید یافته به گونه ای که باعث توقف سرویس دهی می گردد. لذا آشکار کردن این عیبها و ضعف های جزئی و رفع آن ها با هزینه ناچیز باعث جلوگیری از صرف هزینه های هنگفت می گردد.

هر چند در این باب منابع متعددی منتشر گردیده ولی به لحاظ عدم موجود بودن ترجمه به زبان فارسی و یا عدم در دسترس بودن آن ها باعث به عدم به کارگیری این منابع ارزشمند در صنعت کشور گردیده است. این مرجع که حاصل سال ها تجربه و تحقیق و کنکاش در زمینه آزمایش های عیب یابی و تعمیرات و نگهداری ماشین های الکتریکی فشار قوی می باشد به منظور در اختیار قرار دادن بخشی از تجارب و تحقیقات شخصی این جانب و هم چنین موضوعات و مطالب مطروحه در منابع معتبر و بین المللی برق می باشد. امید است مطالب این کتاب مورد استفاده متخصصین و دست اندر کاران صنایع برق گردد. بی شک این کتاب خالی از نقص نمی باشد، لذا از کلیه اساتید، صاحب نظران، متخصصین و دانشجویان گرامی خواهشمند است نظرات و پیشنهادات خود را به آدرس e-mail: [mramezanie@gmail.com](mailto:mramezanie@gmail.com) فرمایند.

در خاتمه از مدیریت توسعه منابع انسانی شرکت ملی نفت ایران و اعضای محترم کمیته انتشارات که امکان نشر این اثر را فراهم آوردند سپاس گزاری نموده و برای همه دست اندر کاران انتشارات مطالب علمی آرزوی توفیق مینمایم.





## ۲- مقدمه

وضعیت و شرایط تجهیزات الکتریکی سیستم‌های قدرت از مهم‌ترین عوامل در کارکرد مناسب، پایدار و با ضریب اطمینان بالا می‌باشد.

در طی حمل و نقل، نصب و بهره‌برداری این امکان وجود دارد که این تجهیزات در معرض شرایطی قرار بگیرند که باعث آسیب رسیدن به آن‌ها گردیده و یا سبب کاهش طول عمر مفید و ضریب اطمینان آن‌ها گردد. یکی از اهداف اساسی تعمیرات پیش‌گیرانه و نگهداری، ردیابی ضعف‌ها در مراحل اولیه پیدایش آن‌ها و اقدام مناسب جهت برطرف کردن آن‌ها می‌باشد. ردیابی اشکالات و ضعف‌ها در سایت‌های صنعتی معمولاً با استفاده از اندازه‌گیری‌ها و آزمایش‌های خاص دوره‌ای صورت می‌گیرد. در این کتاب آزمایش‌ها و روش‌های عیب‌یابی استاندارد و رایج که جهت ترانسفورماتورهای قدرت در سایت‌های صنعتی صورت می‌گیرد بیان شده است. برای هر آزمایش قید شده در این راهنما تحلیل آن نیز بیان گردیده است که جهت راهنمایی بیشتر خواننده قید گردیده است. البته باید در نظر داشت که آزمایش‌های انجام شده در سایت تا حدی با آزمایش‌های انجام شده در کارخانه‌های صنعتی متفاوت می‌باشد ولی به هر صورت این آزمایش‌های بخشی از آزمایش‌های کارخانه‌های سازنده این تجهیزات می‌باشد. نتایج آزمایش‌هایی که در دوره گارانتی صورت می‌گیرد در صورتی که در شرایط یکسان با محیط مکانی سازنده باشد بایستی با نتایج کارخانه سازنده مطابقت داشته باشد. در صورتی که آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌ها پس از طی دوره گارانتی صورت گیرد نتایج حاصله با مقادیر کارخانه مقدراری تفاوت خواهد داشت. تحلیل این نتایج بایستی بر پایه مقایسه با ترانسفورماتورهایی که از نظر نوع طول عمر و شرایط کارکرد همانند باشند صورت گیرد. بعضی از مقادیر قید شده در این کتاب نتایج تجربیات مستمر می‌باشد. این مقادیر به صورت استاندارد موجود نبوده و در این رابطه نظرات متفاوتی وجود دارد. لزوم و پریودهای انجام آزمایش‌های قید شده در این کتاب وابسته به نوع، اندازه، عمر و تاریخچه وضعیت و سرویس دهی ترانسفورماتور می‌باشد. توصیه می‌شود که جهت تعمیرات پیش‌گیرانه و نگهداری ترانسفورماتورها یک برنامه زمان‌بندی بر اساس وضعیت آن‌ها و توصیه‌های سازنده تهیه شود و نتایج آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌ها جهت ایجاد یک بانک اطلاعاتی برای عیب‌یابی و ارزیابی ترانسفورماتورها به کار گرفته شود.

### ۳- فلوجارت آزمایش‌ها و بازرسی‌های عیب‌یابی و نگهداری ترانسفورماتورها، راکتورها و رگولاتورها

در این کتاب شرح آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌هایی که برای عیب‌یابی ترانسفورماتورهای روغنی در سایت‌ها انجام می‌گیرد بیان شده است. روش‌های قید شده در این راهنما برای تنظیم‌کننده‌های ولتاژ و راکتورهای شانت نیز قابل استفاده می‌باشد، آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌های قید شده در این راهنما به صورت تفکیک شده برای بخش‌های مختلف و تجهیزات جانبی ترانسفورماتور شرح داده شده است. برای شناسایی و طبقه‌بندی آسان‌تر تجهیزات مختلف ترانسفورماتورها و رگلاتورها و راکتورها و هم‌چنین روش‌های عیب‌یابی مورد استفاده برای هر یک از آن‌ها از جدول یک می‌توان استفاده کرد.

در این راهنما پس از تشریح هر روش آزمایش و یا اندازه‌گیری جهت برآورد وضعیت ترانسفورماتور و یا عیب‌یابی آن، نحوه تحلیل نتایج آزمایش قید گردیده است که جهت افزایش بینش و نتیجه‌گیری بهتر شخص انجام دهنده نسبت به نتایج این روش‌ها می‌باشد. باید توجه داشت که تحلیل بعضی از آزمایش‌ها بایستی با استفاده از نتایج آزمایش‌های پیشین همین ترانسفورماتور و یا ترانسفورماتورهای مشابه آن باشد تا بتوان نتیجه‌ای کامل و صحیح از آزمایش‌ها را استخراج نمود. هم‌چنین بایستی در نتیجه‌گیری از آزمایش‌ها بایستی معیارهای مطلوب بودن سازنده را برای تجهیزات تحت آزمایش به عنوان مرجع اصلی در نظر گرفته شود.

	ترانسفورماتور	راکتورها	رگولاتورها
سیم پیچ ها	مقاومت اهمی	*	*
	نسبت تبدیل / پلاریته / گروه برداری	*	*
	( جریان تحریک ) جریان بی باری	*	*
	امپدانس اتصال کوتاه	*	*
	مقاومت عایقی	*	*
	ظرفیت خازنی	*	*
	ضریب قدرت / ضریب تلفات	*	*
	ولتاژ القایی ( فرکانس بالا) تخلیه جزئی	*	*
بوشینگ ها	ظرفیت خازنی	*	*
	تلفات دی الکتریک	*	*
	ضریب قدرت / ضریب تلفات	*	*
	تخلیه جزئی	*	*
	(دما ) مادون قرمز	*	*
	سطح روغن	*	*
	بازرسی چشمی	*	*
روغن عایق	آب موجود در روغن	*	*
	کازهای محلول	*	*
	قدرت عایقی	*	*
	ذرات نامحلول در روغن	*	*
	تلفات دی الکتریک	*	*
	ضریب قدرت / ضریب تلفات	*	*
	کشش بین سطحی	*	*
	اسیدیته	*	*
	بازرسی چشمی	*	*
	رنگ	*	*
پایداری در مقابل اکسیداسیون	*	*	
ترانسفورماتور و رگولاتور ها و راکتورهای قدرت			

ادامه از صفحه قبل

	کنسرواتور		به صورت چشمی	*	*				
	سیستم هوای خنثی		به صورت چشمی	*	*				
			TCG	*	*				
			به صورت چشمی	*	*	*			
	کیج ها		کالیبراسیون	*	*				
			کارکرد صحیح	*	*				
	رله حفاظت افزایش فشار غیر مجاز		کالیبراسیون	*	*				
			جریان هوا	*	*				
	سیستم خنک کننده	رادیاتورها	بازرسی چشمی	*	*				
			نظافت	*	*	*			
		فن ها	چرخش	*	*				
			مدار کنترل	*	*				
			بازرسی چشمی	*	*				
	پمپ ها		چرخش	*	*				
			جریان ها	*	*				
			یاتاقان ها	*	*				
	فشار			*	*	*			
	بازرسی چشمی			*	*	*			
	دما ( مادون قرمز)			*	*	*			

#### ۴- ایمنی

##### ۴-۱ کلیات

رعایت ایمنی در آزمایشگاه‌های الکتریکی نه تنها جهت موارد انسانی بایستی در نظر گرفته شود بلکه باید جهت ایمنی تجهیزات آزمایش و نیز تجهیزات تحت آزمایش لحاظ گردد. موارد زیر برخی از اصول مهم رعایت ایمنی در آزمایش های الکتریکی را بیان کرده است.

از آن جایی که بیان جزییات در این راهنما امکان پذیر نمی باشد لذا برای دسترسی به اطلاعات کامل در رعایت ایمنی در آزمایش های الکتریکی می توان از استاندارد IEEE std 510-2000 استفاده کرد.

پیش از انجام هرگونه آزمایش، بایستی در طی یک جلسه برای کلیه افراد فعال در آزمایش‌ها فرآیند آزمایش مورد بحث و تشریح قرار گیرد تا کلیه افراد فهم کامل از فرآیند آزمایش‌ها را داشته باشند. در این جلسه بایستی موقعیت‌ها و موارد خطرناک را مورد تأکید قرار داد تا آزمایش‌ها و اندازه گیری‌ها با دقت مناسب و بدون هر گونه ریسکی صورت گیرد.

##### ۴-۲ ایمنی افراد

##### ۴-۲-۱ خطرها

آزمایش های عایقی در کارگاه های صنعتی بدون در نظر گرفتن موارد ایمنی و احتیاطات لازم باعث ایجاد خطرات می گردد. در هنگام آزمایش تجهیزات و مداراتی که بایستی تحت آزمایش قرار گیرند باید از منابع تغذیه نرمال خود جدا شوند. برای اطمینان از ایزوله شدن آن ها باید با استفاده از بازرسی چشمی و یا توسط ولت متر چک شده و سپس نقاط لازم سیستم اتصال زمین شوند. به پرسنل نیز تفهیم شود که معنی تجهیز بدون اتصال زمین، وجود برق و خطر در آن می باشد.

##### ۴-۲-۲ اتصالات زمین

استفاده و نحوه اتصالات زمین باید بر اساس راهنمای سازنده دستگاه و یا دستورالعمل‌های فرآیند آزمایش باشد. برای اطلاعات بیشتر به استاندارد ASTM 855-9 مراجعه شود [۴].

### ۳-۲-۴ احتیاط‌ها

هنگام انجام آزمایشات می‌باید احتیاطات لازم برای جلوگیری از برخورد با قسمت‌های برق دار ترانسفورماتور و هم‌چنین تجهیزات آزمایش در نظر گرفته شود. در این آزمایشات می‌توان از یک شخص که در یک موقعیت مناسب نسبت به مکان آزمایش ایستاده استفاده نمود و یا این‌که از یک سیستم برای بی‌برق کردن فوری تجهیز در مواقع خطر و یا نزدیک شدن اشخاص غیر مرتبط و بی‌اطلاع به مدار برق دار استفاده نمود.

### ۴-۲-۴ علامت‌های هشدار و موانع نزدیک شدن به خطر

ناحیه‌ای که در آن آزمایش انجام می‌شود می‌باید علامت دار بوده و توسط یک نوار که به راحتی مشهود می‌باشد مشخص شود.

### ۵-۲-۴ جو درون مخزن ترانسفورماتور

پیش از ورود به مخزن اصلی ترانسفورماتور لازم است از وضعیت جوی داخل تانک ترانسفورماتور برای تنفس کامل اطمینان حاصل کرد. این موضوع باید به استناد راهنمای سازنده ترانسفورماتور صورت گیرد.

### ۳-۴ ایمنی تجهیزات

#### ۱-۳-۴ پیامد فالت‌های غیر مترقبه تجهیزات تحت آزمایش

بعضی از آزمایش‌های خاص عایقی امکان ایجاد آتش و یا احتراق در اثر فالت‌های شدید را فراهم کند بنابراین تأکید می‌گردد پیش از انجام آزمایش، تجهیزات آتش‌نشانی مناسب در دسترس قرار گیرد.

### ۲-۳-۴ اضافه ولتاژ

در حین آزمایش ولتاژ فشار قوی امکان افزایش ولتاژ بیش از حد تعیین شده وجود دارد. برای جلوگیری از آسیب‌های ناشی از این موضوع می‌توان از دو گوی با فاصله هوایی از پیش تنظیم شده استفاده کرد. ولتاژ آرک در این گوی‌ها می‌باید کمی بیشتر از ولتاژ فشار قوی تعیین شده برای آزمایش باشد (برای اطلاعات بیشتر به استاندارد

IEEE std4-1990 (مراجعه شود). با قرار دادن یک مقاومت به صورت سری با گوی‌ها می‌توان از آرک به عنوان یک سیگنال هشدار استفاده کرد و یا با استفاده از یک مدار کمکی می‌توان در صورت افزایش غیر مجاز ولتاژ، فرمان تریپ را برای بریکر منبع تغذیه ولتاژ ارسال کرد [۲۰].

#### ۴-۳-۳ کلاسهای مختلف سیستم عایقی

هنگامی که یک ترانسفورماتور در بخش‌های مختلف خود دارای کلاسهای متفاوت سیستم عایقی باشد، برای اعمال ولتاژهای آزمایش عایقی لازم است کمترین کلاس موجود در سیستم عایقی ترانسفورماتور به عنوان مرجع مورد استفاده قرار گیرد و ولتاژ آزمایش بر آن مبنا تعیین گردد.

#### ۴-۳-۴ آزمایش تحت خلأ

هنگامی که ترانسفورماتور در شرایط خلأ قرار دارد به هیچ وجه نباید هیچ آزمایشی بر روی آن صورت گیرد. چرا که قدرت عایق سیستم در این شرایط بسیار کم می‌باشد.

#### ۴-۳-۵ برق گیر

در صورتی که ولتاژ آزمایش ترانسفورماتور در آزمایش‌های مختلف بیش از ولتاژ نامی ترانسفورماتور باشد لازم است برق گیرهای ترانسفورماتور پیش از برق دار کردن ترانسفورماتور از مدار خارج گردند. این عمل باعث جلوگیری از آسیب رسیدن به برق گیرها و هم چنین محدودیت ولتاژ اعمالی به علت عملکرد برق گیر در ولتاژهای بالا می‌گردد.

#### ۵- آزمایش‌ها و تکنیک‌های آزمایش برای تجهیزات مختلف ترانسفورماتورها [۲۵].

##### ۱-۵ سیم پیچ‌ها

به طور کلی بازرسی و آزمایش سیم پیچ‌ها برای بررسی وضعیت آن‌ها از لحاظ جابه جایی فیزیکی، ضعف اتصالات، قطع شدن اتصالات، اتصال حلقه سیم پیچ‌ها یا خراب شدن سیستم عایقی می‌باشد. در این بخش پارامترهایی که در آزمایش‌های سیم پیچ‌ها اندازه گیری می‌شوند و هم چنین معیارهای کیفی آن بیان می‌گردند. در آزمایش‌های

سیم پیچ‌ها لازم است پمپ‌های روغن ترانسفورماتور از مدار خارج شوند.

### ۵-۱-۱ مقاومت اهمی سیم پیچ‌ها

علت اندازه‌گیری مقاومت سیم پیچ ترانسفورماتور در سایت، بررسی شرایط غیر طبیعی سیم پیچ‌های ترانسفورماتور به دلیل عدم استحکام اتصالات، شکستگی هادی‌ها و مقاومت بالا در کنتاکت‌های تپ چنجر می‌باشد. تفسیر و تحلیل نتایج این آزمایش بر پایه مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده در فازهای مختلف می‌باشد با مقایسه مقاومت اهمی سیم پیچ‌های فشار ضعیف با یک دیگر و سیم پیچ‌های فشار قوی با یک دیگر و بررسی تفاوت‌های مقادیر اندازه‌گیری شده می‌توان وضعیت سیم پیچ‌های ترانسفورماتور را ارزیابی کرد. این مقایسه‌ها ممکن است با مرجع قرار دادن مقادیری که در کارخانه اندازه‌گیری شده صورت بگیرد. در صورتی که تفرانس مقادیر اندازه‌گیری شده کوچک‌تر ۵٪ باشد، مقادیر قابل قبول می‌باشد.

از آن جایی که آزمایش‌های صورت گرفته بر مبنای دمای محیط ۲۰ درجه سانتی‌گراد صورت می‌گیرد. لذا برای اصلاح مقادیر اندازه‌گیری شده در دماهای دیگر می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد (با افزایش دمای محیط در حین اندازه‌گیری مقاومت اهمی سیم پیچ‌ها افزایش می‌یابد).

$$R_s = R_m \frac{T_s + T_k}{T_m + T_k}$$

که در آن

$R_s$  = مقاومت در دمای مرجع (۲۰ درجه سانتی‌گراد)

$R_m$  = مقاومت اندازه‌گیری شده

$T_s$  = دمای مرجع (۲۰ درجه سانتی‌گراد)

$T_k$  = ۲۳۴.۵ °C (سیم پیچ از جنس مس)

$T_k$  = ۲۲۵ °C (سیم پیچ از جنس آلومینیوم)

$T_m$  = دمای محیط در حین اندازه‌گیری مقاومت

نکته: مقدار  $T_k$  برای آلیاژهای آلومینیوم تا مقدار ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد نیز می‌تواند باشد.



تعیین دمای سیم پیچ‌های ترانسفورماتور در هنگام اندازه‌گیری مقاومت آن‌ها بسیار با اهمیت می‌باشد. اما اندازه‌گیری دمای سیم پیچ‌ها در شرایط کارگاهی بسیار مشکل می‌باشد. مقداری از روش‌های رایج برای این موضوع در زیر آورده شده است.

**الف) قرار دادن یک ترمومتر در تماس با دیواره مخزن ترانسفورماتور.** این روش در صورتی که از بی‌برق کردن ترانسفورماتور زمان کوتاهی گذشته باشد عدد صحیحی را ارایه نمی‌دهد.

**ب) استفاده از نمایش دهنده دمای سیم پیچ‌ها که توسط کارخانه سازنده که بر روی ترانسفورماتور نصب شده است.** با استفاده از این روش می‌توان دمای سیم پیچ‌ها را تخمین زد.

**ج) برای ترانسفورماتورهایی که توسط نیتروژن پر شده و آب بندی گردیده‌اند** ترمومترهای دایم در چاهک‌هایی که جهت این منظور در نظر گرفته شده نصب می‌گردند. برای وارد کردن یک ترمومتر در تانک اصلی بایستی تانک اصلی را از حالت آب بندی خارج کرد و فشار مثبت نیتروژن را از دست داد. که متعاقب آن امکان ورود رطوبت و یا ذرات خارجی و آلودگی و یا هاری ایجاد می‌گردد. ترمومترهایی که جهت این امر استفاده می‌گردند بایستی از نوع جیوه‌ای باشند چرا که در صورت شکستن ته آن جیوه به داخل روغن و سیم پیچ‌ها نفوذ کرده و شرایط فالت را فراهم می‌کند. برای وارد کرده ترمومتر کالیبره آزمایش در چاهک ترمومترهای دایم این گونه از ترانسفورماتورها، بایستی ترمومتر دایم از موقعیت خود خارج گردد.

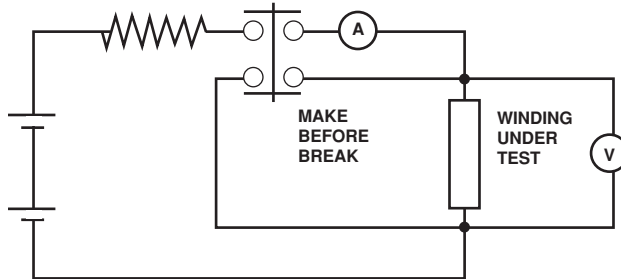
معمولاً سنسورهای مختلف دماهای متفاوتی را نمایش می‌دهند در صورتی که به مدت طولانی ترانسفورماتور خارج از سرویس باشد به گونه‌ای که دما در سرتاسر قسمت‌های مختلف ترانسفورماتور یکسان و یک نواخت شده باشد. مقدار متوسط دمای نشان داده شده توسط ترمومترهای مختلف نصب شده بر روی آن مقدار صحیح تری خواهد بود.

#### ۵-۱-۱-۱-۱ تکنیک اندازه‌گیری مقاومت اهمی هادی‌ها (سیم پیچ ترانسفورماتور)

مقاومت سیم پیچی ترانسفورماتور معمولاً با استفاده از تکنیک پل و تستون یا روش آمپر متر ولت متر و یا توسط میکرو اهم متر اندازه‌گیری می‌شود. معمولاً برای مقاومت‌های بالاتر از یک اهم از پل و تستون و برای مقاومت‌های زیر یک اهم از پل کلوین و یا میکرو اهم متر استفاده می‌شود.

### ۵-۱-۱-۱-۱ روش ولت متر آمپر متر

در بعضی موارد روش ولت متر آمپر متر از روش پل کارا تر می باشد. این روش بایستی برای ترانسفورماتورهای با جریان نامی بیش از یک آمپر مورد استفاده قرار گیرد. برای اندازه گیری در این روش از ولت مترهای و آمپر مترهای دیجیتال و با دقت بالا می توان استفاده کرد. در این روش، اندازه گیری با استفاده از تزریق جریان مستقیم به سیم پیچ ها و اندازه گیری ولتاژ صورت می گیرد. مدار شکل ۲ نحوه اتصالات را در این روش اندازه گیری مقاومت سیم پیچ ها نمایش می دهد. برای محاسبه مقدار مقاومت می باید ولتاژ و جریان هم زمان خوانده شود و با استفاده قانون اهم مقدار مقاومت به دست آید.



شکل ۲ - مدار اندازه گیری مقاومت سیم پیچی با استفاده از روش ولت متر- آمپر متر

در این روش معمولاً از یک باتری ۱۲ ولت به عنوان منبع ولتاژ استفاده می شود. استفاده از هر گونه منبع تغذیه الکترونیکی در صورتی که میزان ریپل ولتاژ آن کم تر از ۱٪ باشد نیز امکان پذیر می باشد.

به منظور به حداقل رساندن خطا در اندازه گیری لازم است موارد زیر در نظر گرفته شود. الف) وسایل اندازه گیری بایستی دارای رنجی باشند که مقدار خوانده شده در این آزمایش به مقدار حداکثر رنج آن نزدیک باشد و یا از ۷۰٪ حداکثر رنج آن بیشتر باشد. ب) پلاریته مغناطیسی هسته در طی کلیه اندازه گیریهای مقاومت اهمی یکسان باشد.

توجه: معکوس شدن پلاریته ولتاژ باعث تغییر در ثابت زمانی مدار مغناطیسی شده و سبب ایجاد خطا در اندازه گیری می گردد.

ج) سیمهای ولت متر بایستی مجزا از سیمهای حامل جریان باشند و تا حد ممکن به

ترمینال‌های سیم پیچ‌هایی که بایستی مقاومتشان اندازه‌گیری شوند باشند و این موضوع باعث جلوگیری از ورود خطا به مقادیر اندازه‌گیری در اثر مقاومت سیم‌های حامل جریان می‌گردد.

معمولاً سیم پیچ‌های ترانسفورماتورها دارای ثابت زمانی زیادی می‌باشند. خواندن مقادیر ولت متر و آمپر بایستی پس از ثابت شدن آن‌ها صورت گیرد. برای کاهش زمان ثابت شدن جریان از یک مقاومت کاملاً اهمی خارجی می‌توان استفاده کرد. این مقاومت به صورت سری با منبع ولتاژ DC قرار می‌گیرد. مقدار این مقاومت بایستی نسبت به مقدار مقاومت سیم پیچ ترانسفورماتور بزرگ‌تر باشد. برای جبران افت ولتاژ در اثر وارد کردن مقاومت اضافی بایستی ولتاژ منبع ولتاژ افزایش داده شود.

زمان مورد نیاز برای ثابت شدن جریان با مدار باز بودن سیم پیچ‌های دیگر کاهش می‌یابد.

معمولاً جریان‌های مورد استفاده در این آزمایش بایستی از ۱۵٪ جریان نامی بیشتر شود. این موضوع از گرم شدن سیم پیچ‌ها و هم چنین افزایش مقاومت آن‌ها جلوگیری می‌کند. مقدار مقاومت در هر سیم پیچ بایستی بیشتر از ۵٪ با مقدار مقاومت سیم پیچ‌های فازهای دیگر تفاوت داشته باشد.

توجه: در صورتی که جریان به صورت ناگهانی قطع شود باعث ایجاد ولتاژ زیاد در دو سر سیم پیچ می‌گردد. برای قطع جریان در این گونه مدارات بایستی از کلیدی که دارای قدرت عایقی مناسبی باشد استفاده نمود و پیش از قطع مدار بایستی دو سر سیم پیچ اتصال کوتاه شود تا از آسیب رسیدن به منبع ولتاژ و یا مقاومت سری جلوگیری شود.

برای جلوگیری از آسیب رسیدن به ولت متر بایستی پیش از وصل و یا قطع کردن جریان در مدار، ولت متر از مدار جدا باشد.

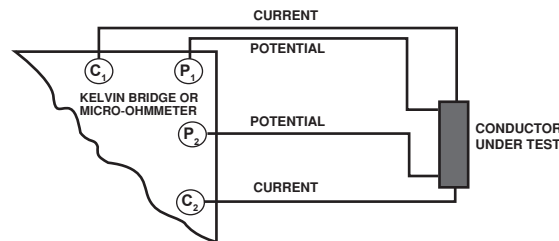
**۵-۱-۱-۲ روش پل و یا میکرواهم متر برای اندازه‌گیری مقاومت سیم پیچ**  
استفاده از مدار پل و میکرواهم متر برای اندازه‌گیری مقاومت اهمی آن یکسان می‌باشد. در این روش ۴ عدد سیم موجود می‌باشد که دو عدد آن‌ها مربوط به ولتاژ و دو عدد آن‌ها مربوط به جریان مدار اندازه‌گیری می‌باشد. هر چهار عدد سیم بایستی به

دو ترمینال انتهایی و ابتدایی سیم پیچ متصل گردند. باید توجه داشت که اتصال سیم‌ها به ترمینال‌ها بایستی کامل بوده و کلیه سیم‌ها مشابه باشند (از نظر جنس یا طول و سطح مقطع). هم چنین دقت شود که سیم‌های حامل جریان در بیرون از سیم‌های ولتاژ قرار گیرند. (به شکل ۳۲ مراجعه شود)

برای اندازه‌گیری مقاومت توسط روش پل بایستی مدار شامل مدار مقاومت‌های کمکی و مقاومت سیم پیچ به حالت تعادل درآید یعنی جریان صفر گردد و سپس با استفاده از رابطه مورد استفاده در تکنیک پل و مقدار مقاومت‌های کمکی مقاومت مجهول یعنی مقاومت سیم پیچی محاسبه شود.

(مطابق فرآیند در بخش ۵-۱-۱) از مقدار اصلاح شده مقاومت اندازه‌گیری شده (بر حسب دمای محیط) می‌توان جهت مقایسه با مقدار مقاومت اهمی به دست آمده در آزمایش‌های پیشین که در شرایط استاندارد اندازه‌گیری شده استفاده کرد تحلیل و نتایج این آزمایش بسیار وابسته به نوع هادی که مقاومت آن اندازه‌گیری شده می‌باشد. بعضی از هادی‌ها شامل چند رشته موازی بوده و قطع و یا عدم اتصال کامل یکی از هادی‌ها ممکن است در محدوده دقت شرایط اندازه‌گیری نباشد. در صورتی که قطعی در بیش از یک رشته اتفاق افتاده و یا در مقاومت مسیر افزایش مقاومت زیادی رخ داده باشد میکرو اهم متر یا پل کلونین می‌تواند آن را ردیابی نماید.

جهت ارزیابی و تحلیل مقادیر مقاومت اهمی اندازه‌گیری شده توصیه می‌شود که با مقاومت فازهای دیگر و یا با ترانسفورماتور و مشابه آن و یا با مقادیر اندازه‌گیری شده در دوره‌های قبلی مقایسه شوند (در سایت‌های صنعتی). در مقایسه صورت گرفته اختلاف مقادیر نبایستی بیش از ۰.۵٪ باشد.



شکل ۳- مدار اتصالات در اندازه‌گیری مقاومت اهمی

## ۵-۱-۲ آزمایش های نسبت تبدیل و (پلاریته) سیم پیچ ها

### ۵-۱-۲-۱ کلیات

نسبت حلقه های یک ترانسفورماتور عبارت است از: نسبت تعداد حلقه های سیم پیچ های فشار قوی به تعداد حلقه های سیم پیچ های فشار ضعیف یک فاز و نسبت ولتاژ یک ترانسفورماتور عبارت است از: نسبت ولتاژ مؤثر (rms) سمت فشار قوی به نسبت ولتاژ مؤثر (rms) سمت فشار ضعیف تحت شرایط بار گیری مشخص. در موارد عملی در شرایط مدار باز نسبت ولتاژ و نسبت حلقه های یک ترانسفورماتور یکسان در نظر گرفته می شود.

پلاریته یک ترانسفورماتور وابسته به نحوه اتصالات داخلی می باشد و در پلاک نامی ترانسفورماتور قید می گردد. پلاریته ترانسفورماتور هنگامی که ترانسفورماتور بایستی با یک یا چند ترانسفورماتور دیگر موازی شود از اهمیت برخوردار می گردد. نتایج آزمایش پلاریته و نسبت تبدیل مقادیر یکتا بوده و بایستی کاملاً با پلاک مشخصات ترانسفورماتور مطابقت داشته باشد.

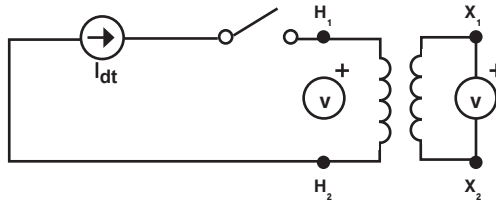
### ۵-۱-۲-۲ آزمایش پلاریته ترانسفورماتور

برای انجام آزمایش نسبت حلقه های ترانسفورماتور دستگاه های تجاری زیادی موجود می باشد. این دستگاه ها در صورتی که مطابق دستورالعمل راهنما که توسط سازنده ارائه می گردند به کار گرفته شوند به خوبی و با دقت نسبت حلقه ها و پلاریته ترانسفورماتور را مشخص می کند.

در صورتی که این گونه دستگاه ها در دسترس نباشند پلاریته ترانسفورماتور با استفاده از فرآیند ذکر شده در بخش ۵-۱-۲-۱ و ۵-۱-۲-۲ امکان پذیر می باشد.

### ۵-۱-۲-۱-۲ آزمایش پلاریته ترانسفورماتور با استفاده از ضربه القایی

آزمایش پلاریته توسط ضربه القایی را می توان با استفاده از دو عدد ولت متر DC و یک منبع جریان انجام داد. برای ایجاد ایمنی بیشتر ترجیحاً بایستی جریان به سمت ولتاژ فشار قوی تزریق گردد. شکل ۴ مدار این آزمایش را نشان می دهد.



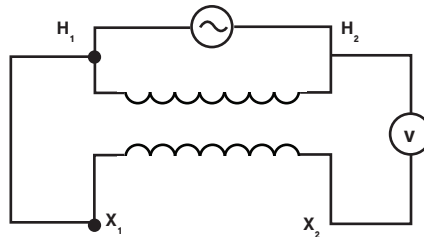
شکل ۴- مدار آزمایش پلاریته با استفاده از ضربه القایی

برای انجام این آزمایش یک ولت متر DC می‌باید بین ترمینال‌های به گونه ای بسته شود که ترمینال مثبت ولت متر به ترمینال متصل شود ولت متر DC دیگر بایستی به ترمینال‌های ( ترمینال به ترمینال مثبت وصل شود) ولت متر متصل شود. یک منبع با ولتاژ DC با دامنه کم مانند باتری بایستی به ترمینال‌های متصل گردد. اتصال این منبع ولتاژ باعث ایجاد یک جریان کم و حرکت قابل توجه عقربه ولت متر در ترمینال‌های پس از وصل کلید خواهد گردید. اتصال منبع ولتاژ DC بایستی به گونه ای باشد که ولت متر DC عدد مثبت را نمایش دهد. مقدار حرکت عقربه ولت متر حایز اهمیت نمی باشد. جهت بررسی جهت انحراف عقربه ولت متر DC متصل به ترمینال‌های، بایستی هنگامی که تحریک قطع می گردد (توسط کلید) جهت حرکت عقربه ولت متر در نظر گرفته شود. در صورتی که انحراف عقربه به سمت مثبت باشد. پلاریته مطابق علامت گذاری‌های مدار بوده می باشد در صورتی که انحراف عقربه به سمت منفی باشد پلاریته سیم پیچ‌ها بر خلاف مدار است. میزان انحراف عقربه اهمیتی در تعیین پلاریته ندارد.

#### ۵-۱-۲-۲- آزمایش پلاریته ترانسفورماتور با استفاده از اعمال ولتاژ متناوب

در صورتی که نسبت تبدیل ترانسفورماتور کوچک‌تر از ۳۰ باشد می‌توان پلاریته ترانسفورماتور را با استفاده یک منبع ولتاژ متناوب و یک ولت متر ac مطابق شکل ۵ انجام داد. ترانسفورماتور بایستی مطابق مدار شکل ۵ به مدار آزمایش متصل شود. یک ولتاژ متناوب با دامنه کم (چند ده ولت) توسط یک اتو ترانسفورماتور به مدار تغذیه شود و به ترمینال‌های  $H_1, H_2$  متصل شود.

در صورتی که ولت متر ac مقداری کم‌تر از ولتاژ اعمالی را نمایش دهد پلاریته مطابق مدار می‌باشد در صورتی که ولت متر مقداری بیشتر از ولتاژ اعمالی را نمایش دهد پلاریته بایستی به صورت معکوس علامت گذاری شکل می باشد.



شکل ۵- آزمایش پلاریته با استفاده از روش ac

### ۵-۱-۲-۳- آزمایش پلاریته ترانسفورماتورهای چند فازه

کلیه فازهای یک ترانسفورماتور چند فازه بایستی با توجه به ترمینال‌های مشخص شده پلاریته یکسان باشند. برای تعیین پلاریته این ترانسفورماتورها می‌توان از روش‌های ذکر شده در بخش‌های ۵-۱-۲-۱ و ۵-۲-۲-۱ و یا با استفاده از دستگاه‌های آزمایش تجاری موجود استفاده نمود.

### ۵-۱-۲-۳- دستگاه‌های اندازه‌گیری نسبت تبدیل ترانسفورماتور

برای اندازه‌گیری نسبت تبدیل ترانسفورماتور انواع دستگاه‌های تجاری که توسط شرکت‌های صنعتی ساخته می‌شوند در بازار موجود می‌باشد این دستگاه‌ها در صورتی که مطابق دستورالعمل راهنمای سازنده به کار گرفته

### ۵-۱-۲-۳- روش ولت متری

در این روش از دو ولت متر ac استفاده می‌شود. یکی از این ولت مترها با سمت فشار قوی و دیگری با سمت فشار ضعیف موازی می‌شوند. سپس سیم پیچی سمت فشار قوی توسط ولتاژی که بیش از ولتاژهای ولت متر نباشد تحریک می‌گردد. و سپس مقادیر ولتاژ در ولت متر خوانده شده و ثبت می‌گردد. در مرحله دوم آزمایش بایستی جای دو ولت متر عوض و مجدداً مقادیر خوانده شده و ثبت شوند. مقدار متوسط نسبت دو تبدیل به دست آمده بیان گر مقدار حقیقی نسبت تبدیل ترانسفورماتور می‌باشد. خواندن مقادیر نشان داده شده توسط ولت متر به صورت هم زمان از ملزومات این آزمایش می‌باشد.

دقت ولت متر به کار گرفته شده بایستی با توجه به مقدار  $0/5\%$  نسبت تبدیل ترانسفورماتور انتخاب شود.

## ۵-۱-۲-۳-۲ اندازه گیری نسبت تبدیل با استفاده از پل تعیین ضریب قدرت و ظرفیت خازنی

نسبت تبدیل را می توان با استفاده از پل تعیین ضریب قدرت و ظرفیت خازنی (این پل گاهی با نام پل ضریب پراکندگی نیز نامیده می شوند) اندازه گیری کرد. نتایج آزمایش نسبت تبدیل با استفاده از این روش به خوبی آزمایش با استفاده از ترانسفورماتورهای ولتاژ می باشد که در آن‌ها خطای تغییر فاز ولتاژ نیز وارد می‌گردد. علاوه بر آن توسط این دستگاه می توان ولتاژ با سطح بالا را به ترانسفورماتور اعمال نمود معمولاً این ولتاژ در حدود ۱۰ الی ۱۲ کیلو ولت می‌باشد. برای انجام این آزمایش توسط دستگاه پل دستگاه‌های مختلفی توسط سازندگان صنعتی ساخته شده است. دستورالعمل راهنمای این دستگاه‌ها روش دقیق انجام آزمایش را بیان کرده است.

## ۵-۱-۲-۴ تحلیل نتایج آزمایش نسبت تبدیل ترانسفورماتور

تولانس نسبت تبدیل در فازهای مختلف یک ترانسفورماتور بایستی کم تر از  $0/5\%$  در مقایسه با مقدار بیان شده در پلاک نامی ترانسفورماتور باشد. برای ترانسفورماتورهای سه فاز با اتصال ستاره این تولانس برای ولتاژ فاز به نوترال در نظر گرفته می شود. در صورتی که ولتاژ فاز به زمین به صورت مشخص قید نشده باشد با استفاده از تقسیم ولتاژ فاز به فاز بر می‌توان آن را تعیین نمود.

بعضاً مشاهده می‌شود نسبت تبدیل دو سیم پیچ‌های طرفین در ترانسفورماتور سه فاز با نسبت تبدیل قید شده در پلاک نامی متفاوت می‌باشد. در صورتی که این اختلاف کم تر از تولانس  $0/5\%$  درصد باشد قابل قبول بوده و دلیلی برای رد ترانسفورماتور نمی باشد. ندرتاً مشاهده می‌شود که نسبت تبدیل یک ترانسفورماتور سالم با مقدار قید شده در پلاک نامی آن متفاوت می‌باشد این موضوع هنگامی ممکن است اتفاق بیافتد که یک ترانسفورماتور بسیار بزرگ دارای یک سیم پیچی فشار ضعیف با تعداد دورهای کم باشد. در این حالت اندازه گیری بایستی در شرایطی صورت بگیرد که کلیه حلقه‌های سیم پیچ سمت فشار ضعیف در مدار باشند (با استفاده از تپ چنجر) چرا که ممکن است تعداد



حلقه‌های سمت فشار ضعیف کم تر از ۲۰۰ دور باشد (برای دقت ۰/۵٪ در نسبت تبدیل بایستی حداقل تعداد دور سیم پیچ‌ها ۲۰۰ دور باشد). برای اطلاعات بیشتر به استاندارد IEEE Std C57.90-1999 مراجعه شود [۲۵].

بایستی توجه داشت که در ترانسفورماتورهایی که تپ چنجر در سمت فشار ضعیف آن‌ها قرار داده شده است، ممکن است تعداد حلقه‌های بین هر دو تپ یکسان نباشند (به دلیل لزوم ایجاد شده در مسایل طراحی) در چنین حالتی تغییرات ولتاژ در تغییرات تپ‌های مقداری یکسان نخواهد بود. گرچه ممکن است مقادیر اندازه‌گیری شده در این تپ‌ها دقیقاً مطابق پلاک مشخصات ترانسفورماتور نباشد. ولی این نسبت تبدیل در کلید تپ‌ها و برای هر سه فاز بایستی یک سان باشند. (از تفرانس مجاز برخوردار باشند)

### ۳-۱-۵ جریان تحریک

#### ۱-۳-۱-۵ کلیات:

آزمایش جریان تحریک تک فاز در مکان یابی فالت‌ها، هم چون خرابی در ساختمان هسته مغناطیسی ترانسفورماتور، تغییر مکان سیم پیچ‌ها، اتصال حلقه و یا اشکال در سیستم تپ چنجر مناسب می‌باشد. این شرایط باعث تغییر در رولتانس مدار مغناطیسی ترانسفورماتور و در نتیجه افزایش جریان مورد نیاز جهت ایجاد فلوی مغناطیسی مطلوب می‌گردد.

### ۲-۳-۱-۵ روش‌های آزمایش

این آزمایش شامل اندازه‌گیری ساده جریان تک فاز در یک سمت ترانسفورماتور و معمولاً سمت فشار قوی بوده در حالی که دیگر سمت ترانسفورماتور مدار باز می‌باشد (در این حالت نوترال زمین می‌گردد). در ترانسفورماتورهای سه فاز ولتاژ تک فاز برای هر سیم پیچ به صورت جداگانه اعمال شده و جریان‌ها اندازه‌گیری و ثبت می‌گردند. این آزمایش بایستی با بالاترین ولتاژ ممکن صورت گرفته و از ولتاژ نامی ترانسفورماتور تجاوز نکند. در صورت امکان، سیستم آزمایش بایستی جریان‌های خازنی سیم پیچ‌ها با یک دیگر و با بدنه تانک و با هسته مغناطیسی را اندازه‌گیری کند. جهت مقایسه جریان‌های اندازه‌گیری شده در فازهای مختلف بایستی ولتاژ اعمالی و شرایط اتصالات برای کلیه فازهای یکسان در نظر گرفته شوند.

### ۵-۱-۳-۳ تحلیل نتایج آزمایش

روش معمول برای تحلیل نتایج آزمایش جریان تحریک، مقایسه نتایج آزمایش‌های قبلی و یا ترانسفورماتورهای تک فاز مشابه و یا در فازهای مختلف ترانسفورماتورهای سه فازه می‌باشند. در اکثریت ترانسفورماتورهای سه فازه جریان تحریک در سیم پیچ‌های طرفین ترانسفورماتور بیشتر از جریان سیم پیچ وسط می‌باشد. برای اندازه‌گیری جریان تحریک در ترانسفورماتورهای دارای تپ چنجر (OLTC) توصیه می‌شود که اندازه‌گیری‌ها در تپ‌های وسط و نوترال و تپ اول در دو جهت مثبت و منفی صورت می‌گیرد. نتایج گرفته شده در تپ‌های مختلف ممکن است متفاوت باشند اما هماهنگی آن‌ها در فازهای مختلف باید مشاهده شود. برای تحلیل مطلوب نتایج اندازه‌گیری‌ها بایستی فهم صحیحی از تغییر جریان تحریک به علت تغییر تپ موجود باشد.

### ۵-۱-۳-۴ تأثیر پسماند مغناطیسی در هسته

هسته ترانسفورماتور ممکن است به علت جدا شدن از شبکه برق و یا آزمایش اندازه‌گیری مقاومت DC سیم پیچ‌ها دارای پسماند مغناطیسی باشد. پسماند مغناطیسی سبب ایجاد جریان تحریک بیشتر از حالت طبیعی خواهد گردید.

در سایت‌های صنعتی برای تمایز افزایش جریان تحریک ناشی از فالت در ترانسفورماتور و یا پسماند مغناطیسی روش‌های متداولی موجود نمی‌باشد. ولی تجارب نشان داده است که گرچه معمولاً پسماند مغناطیسی در هسته ترانسفورماتور موجود می‌باشد ولی در بیشتر حالات باعث تغییرات قابل توجه در نتایج اندازه‌گیری‌ها نمی‌گردد.

در اکثر فالت‌ها و اشکالاتی که توسط فرآیند اندازه‌گیری جریان تحریک ردیابی می‌گردند اختلاف جریان تحریک اندازه‌گیری شده بین دو فاز می‌باید از ۱۰٪ بیشتر گردد. این مقایسه ممکن است با جریان‌های اندازه‌گیری شده در دوره‌های قبلی نیز انجام شود. اختلاف‌های کم‌تر در جریان فازهای مختلف ممکن است بیان‌گر فالت در هسته مغناطیسی نیز بوده و لازم است تحت بررسی دقیق قرار گیرد.

در صورتی که اختلاف قابل توجه در جریان‌ها مشاهده شود برای خارج کردن اثر پسماند مغناطیسی در نتایج اندازه‌گیری بایستی هسته مغناطیسی، مغناطیس زدایی شود. توصیه می‌شود برای جلوگیری از ایجاد پسماند مغناطیسی آزمایش اندازه‌گیری مقاومت اهمی DC پس از آزمایش جریان تحریک ترانسفورماتور صورت گیرد.

### ۵-۱-۳-۵ روش های مغناطیس زدایی هسته

دو روش برای مغناطیس زدایی هسته ترانسفورماتور وجود دارد. روش اول اعمال یک جریان متناوب با دامنه کم شونده به یکی از سیم پیچ های ترانسفورماتور می باشد. برای اکثر ترانسفورماتورهای قدرت که دارای ولتاژ بالا می باشند این آزمایش غیر عملی بوده و باعث ایجاد خطرات انسانی می گردد.

روش دیگری که دارای کارایی خوبی می باشد استفاده از اعمال جریان DC می باشد. پایه این روش بر مبنای خنثی کردن پسماند مغناطیسی هسته آهنی با استفاده از اعمال ولتاژ DC به یکی از سیم پیچ های ترانسفورماتور می باشد. ولتاژ DC اعمال شده به صورت متناوب پلاریته آن معکوس شده و دامنه آن کاهش می یابد است مقدار ولتاژ در هر تناوب به گونه ای انتخاب می شود که جریان مغناطیس زدا در هر تناوب نسبت به تناوب قبلی کمتر شود و سپس پلاریته عوض شده و فرآیند تکرار می گردد و آن قدر این مراحل تکرار می شود تا جریان به مقدار صفر برسد. در ترانسفورماتورهای سه فازه روش کاربردی این است که فرآیند برای فازی صورت گیرد که دارای بیشترین جریان تحریک باشد. تجربه نشان داده است که در اکثر موارد، این فرآیند جهت مغناطیس زدایی کل هسته کفایت می کند.

### ۵-۱-۴-۵ امپدانس اتصال کوتاه

#### ۵-۱-۴-۱-۵ کلیات

در بعضی موارد در سایت های صنعتی، امپدانس اتصال کوتاه ( $Z$ ٪) ترانسفورماتورهای قدرت اندازه گیری شده و با پلاک نامی یا نتایج ارایه شده توسط کارخانه سازنده مقایسه می شوند. این آزمایش برای ردیابی حرکت سیم پیچ ها که ممکن است در اثر آزمایش های کارخانه ای اتفاق افتاده باشد به کار گرفته می شود. حرکت سیم پیچ ها معمولاً به علت جریان های شدید فالت و یا آسیب های مکانیکی در اثر حمل و نقل و یا نصب اتفاق می افتد.

اندازه گیری امپدانس اتصال کوتاه معمولاً برای هر فاز به صورت جداگانه صورت می گیرد. تغییرات بیش از در امپدانس اتصال کوتاه بایستی مورد توجه و بررسی قرار گیرد. [۳۱]

### ۵-۱-۴-۲ روش و نحوه آزمایش

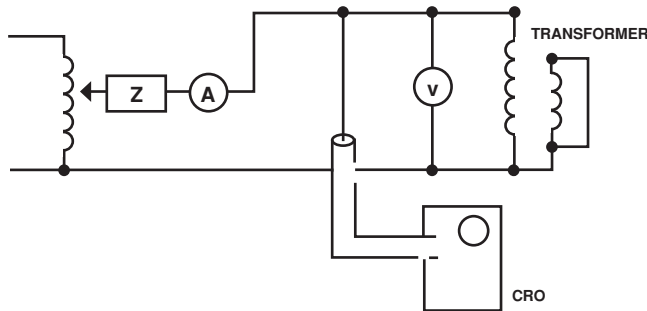
روش آزمایش: یک روش کارآ برای اندازه‌گیری امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتورها روش ولت متر- آمپر متر می‌باشد. این روش برای ترانسفورماتورهای تک فاز و سه فازه دارای کاربرد می‌باشد. در این روش از یک منبع تغذیه برای ایجاد جریان در امپدانس ترانسفورماتور استفاده می‌شود. جریان و ولتاژ امپدانس به صورت هم زمان اندازه‌گیری شده و نسبت ولتاژ به جریان امپدانس اتصال کوتاه می‌باشد.

آماده‌سازی: هادی‌های مورد استفاده برای اتصال کوتاه سیم پیچ‌های ترانسفورماتور بایستی از مقاومت کمی برخوردار باشند و سطح مقطع برابر یا بزرگ تر شماره AWG ۱ باشد. طول این هادی‌ها بایستی حتی المقدور کوتاه بوده و دور از مواد مغناطیسی قرار گیرند. اتصالات بایستی تمیز و محکم باشند. اعمال این موارد از اهمیت زیادی برخوردار بوده و سبب جلوگیری از ورود امپدانس‌های اضافی و تلفات و خطا در اندازه‌گیری‌ها می‌گردد. ابزارهای اندازه‌گیری بایستی توانایی اندازه‌گیری مقادیر مؤثر rms کامل شکل موج را دارا بوده و هم چنین از دقت حداقل ۰/۵٪ برخوردار باشند. منبع تغذیه بایستی ولتاژ و جریان با فرکانس نامی ترانسفورماتور را تأمین کند. برای این منظور می‌توان از یک اتو ترانسفورماتور ۰ تا ۲۸۰ ولت با جریان دهی حداقل ۱۰ آمپر استفاده کرد. برای ایجاد یک منبع ولتاژ با دامنه متغیر نمی‌توان از یک ژنراتور قابل حمل نیز استفاده کرد چرا که معمولاً شکل موج ولتاژ این ژنراتور کاملاً سینوسی نبوده و فرکانس آن‌ها نیز کاملاً پایدار و ثابت نمی‌باشد.

### ۵-۱-۴-۳ آزمایش امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتورهای تک فاز

برای انجام این آزمایش یکی از سیم پیچ‌های ترانسفورماتور (معمولاً سیم پیچی فشار ضعیف) توسط یک هادی با مقاومت کم اتصال کوتاه شده و ولتاژ با فرکانس نامی ترانسفورماتور به سیم پیچی دیگر اعمال می‌گردد. دامنه ولتاژ اعمالی به گونه‌ای تنظیم می‌شود که جریان حدود ۰/۵ تا ۱ درصد جریان نامی یا ۲ تا ۱۰ آمپر وابسته به توان نامی ترانسفورماتور تحت آزمایش ایجاد می‌گردد. بایستی جریان کشیده شده از منبع تا حدی باشد که مانع از ایجاد شکستگی شکل موج ولتاژ اعمالی به ترانسفورماتور گردد. جهت این موضوع بایستی از یک اسکوپ برای مشاهده شکل موج ولتاژ اعمالی استفاده کرد. ولتاژ اعمالی جهت آزمایش امپدانس اتصال کوتاه می‌تواند نسبت به ولتاژ

نامی خیلی کم باشد، بدون این که باعث ایجاد خطا در نتایج آزمایش گردد. نمای یک نمونه مدار آزمایش امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتور تک فاز در شکل ۶ آمده است.



شکل ۶- مدار اندازه گیری امپدانس اتصال کوتاه در ترانسفورماتورهای تک فاز

برای اندازه گیری صحیح، ولت متر بایستی مستقیماً به ترمینال های ترانسفورماتور متصل شود تا افت ولتاژ ناشی از سیم های رابط به منبع تغذیه در نتایج اندازه گیری خطا ایجاد نکند. رنج دستگاه های اندازه گیری بایستی به گونه ای انتخاب شود که مقدار قرائت شده توسط آن در نیمه دوم از رنج آن قرار گیرد.

امپدانس اتصال کوتاه ( $\%Z$ ) ترانسفورماتور تک فاز با استفاده از فرمول زیر قابل

محاسبه می باشد.

$$\%Z = (1/100) \cdot [(E_m / I_m) \cdot KVA_r / (KV_r)^2]$$

که در آن

$$E_m = \text{ولتاژ آزمایش}$$

$$I_m = \text{جریان}$$

$$KVA_r = \text{کیلو ولت آمپر نامی}$$

$$KV_r = \text{کیلو ولت نامی ترانسفورماتور}$$

#### ۵-۱-۴- آزمایش امپدانس اتو ترانسفورماتور

یک اتو ترانسفورماتور می تواند بدون تغییر اتصالات داخلی تحت آزمایش اندازه گیری امپدانس قرار گیرد. برای انجام این آزمایش بایستی سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور اتصال کوتاه شده و ولتاژ با فرکانس نامی به سمت فشار قوی اتو ترانسفورماتور اعمال شود و به دنبال آن پروسه ذکر شده جهت آزمایش امپدانس در ترانسفورماتورهای

تک فاز، بر روی اتوترانسفورماتور انجام شود.

#### ۵-۴-۱-۵ آزمایش امپدانس برای ترانسفورماتورهای سه فاز دو سیم پیچه

آزمایش امپدانس یک ترانسفورماتور سه فاز را می‌توان بدون در نظر گرفتن نحوه سربندی (ستاره یا مثلث یا ...) توسط یک منبع تغذیه تک فاز انجام داد. نقطه نوترال ترانسفورماتور در صورت وجود نیز در این آزمایش بلا استفاده می‌باشد. جهت انجام این آزمایش بایستی سه ترمینال سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور اتصال کوتاه شده و یک منبع ولتاژ قابل تنظیم با فرکانس به دو ترمینال سمت فشار قوی اعمال گردد. در این آزمایش سه مقدار به ازای انجام آزمایش بر روی جفت ترمینال‌ها با یک جریان یکسان به دست می‌آید (به عنوان مثال  $H_1, H_2, H_3, H_1, H_2, H_3$ ). با اندازه‌گیری مقادیر یاد شده امپدانس در هر (%Z) ترانسفورماتور سه فاز از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\%Z = (1/10) \cdot [(E_{12} + E_{23} + E_{31}) / I_m \cdot [KVA_{3r} / (KV_r)^2]]$$

که در آن

$$E_{12}, E_{23}, E_{31} = \text{ولتاژهای آزمایش}$$

$$I_m = \text{جریان آزمایش}$$

$$KVA_{3r} = \text{کیلو ولت آمپر نامی سه فاز}$$

$$KV_r = \text{ولتاژ نامی خط - خط ترانسفورماتور بر حسب کیلو ولت}$$

#### ۵-۴-۱-۶ آزمایش امپدانس در ترانسفورماتورهای سه سیم پیچ

جهت اندازه‌گیری امپدانس ترانسفورماتورهای سه سیم پیچه که سه فازه و یا تک فاز می‌باشند این آزمایش مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این آزمایش امپدانس یک جفت سیم پیچ در هر ساق اندازه‌گیری می‌شود. یعنی برای یک ترانسفورماتور سه سیم پیچ سه فاز سه مقدار برای هر سیم پیچ در هر ساق به دست آمده که قابل مقایسه می‌باشند. آزمایش اندازه‌گیری امپدانس برای ترانسفورماتورهای سه سیم پیچ طبق روش ترانسفورماتورهای دو سیم پیچ می‌باشد. با این تفاوت که سه مقدار منحصر بفرد برای هر سیم پیچ در هر ساق با استفاده از عبارات زیر به دست می‌آید.

$$Z_1 = (Z_{12} - Z_{23} - Z_{31})/2$$

$$Z_2 = (Z_{23} - Z_{31} - Z_{12})/2$$

$$Z_3 = (Z_{31} - Z_{12} - Z_{23})/2$$

که در آن  $Z_{12}$ ،  $Z_{23}$ ،  $Z_{31}$  امپدانس های اندازه گیری شده جفت سیم پیچ ها در هر ساق بوده و بر مبنای KVA یکسان تعیین می گردند.

### ۵-۱-۴-۷ آزمایش امپدانس در اتوترانسفورماتور با سیم پیچ سوم

آزمایش امپدانس در اتوترانسفورماتور با سیم پیچی سوم تک فاز با سه فازه نیز مطابق روش قید شده برای ترانسفورماتورهای سه سیم پیچی می باشد.

### ۵-۱-۴-۸ تحلیل و تفسیر نتایج آزمایش امپدانس

مشاهده تغییر در مقدار امپدانس اتصال کوتاه بیانگر حرکت سیم پیچ ها در داخل ترانسفورماتور می باشد. از آنجایی که خطای اندازه گیری کلی نمی تواند بیشتر از یک درصد باشد، استفاده از دستگاه های اندازه گیری با دقت ۰/۵٪ قابل قبول می باشند. حدود ۲٪ تفاوت، در مقدار امپدانس اتصال کوتاه فازهای مختلف قابل قبول می باشد. اما تفاوت بیشتر از ۳٪  $\pm$  قابل توجه و بررسی می باشد. به عنوان مثال تغییر و تفاوت امپدانس اتصال کوتاه به میزان ۵/۴٪ - ۰/۵٪ نسبت به فازهای دیگر بیانگر تغییر امپدانس اتصال کوتاه حدود ۸٪ نسبت به آنها می باشد. برای اطلاعات تکمیل جهت آزمایش امپدانس اتصال کوتاه به استاندارد IEEE Std C57.90-1999 مراجعه شود.

### ۵-۱-۵ مقاومت عایقی

#### ۵-۱-۵-۱ کلیات

اندازه گیری مقاومت عایقی معمولاً جهت بررسی خشک بودن (عاری بودن از رطوبت) تا حد قابل قبول عایق های سیم پیچ ها و هسته انجام می گیرد. آزمایش مقاومت عایقی هم چنین امکان ردیابی بعضی از عیوب پنهانی موجود در بوشینگ های (مقره های) ترانسفورماتور را ایجاد می کند. در تحلیل نتایج آزمایش مقاومت عایقی امکان مشاهده عدم تطابق نتایج آزمایش ها در

تجهیزات مختلف و در شرایط مختلف وجود دارد. لذا برای نتیجه‌گیری و تحلیل صحیح نتایج آزمایش، بایستی آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌های بر روی تجهیزات مشابه و در شرایط مشابه صورت گیرد.

با اعمال ولتاژ به یک سیستم عایقی جریانی که شامل سه جزء می‌باشد از منبع کشیده می‌شود این جریان‌ها به شرح زیر می‌باشد.

### الف) جریان شارژ خازنی

این جریان در اثر شارژ شدن خازن‌هایی ایجاد شده توسط هادی‌ها و عایق‌هایی که این هادی‌ها را در بر گرفته‌اند ایجاد می‌شود. البته ساختار و ابعاد فیزیکی مجموعه هادی و عایق آن تعیین‌کننده ظرفیت خازن مجموعه می‌باشد. هر چه ظرفیت خازنی بیشتر باشد جریان خازنی کشیده شده در لحظه وصل منبع ولتاژ بیشتر خواهد بود. مقدار این جریان در حالتی که ولتاژ منبع تغذیه dc باشد با گذشت زمان افت کرده و در بعضی از تجهیزات با شارژ کامل ظرفیت خازنی مقدار آن به صفر خواهد رسید.

### ب) جریان جذبی

این جریان در اثر تغییر موقعیت مولکولی در عایق در اثر وصل ولتاژ و ایجاد میدان الکتریکی در آن ایجاد می‌شود. تغییر موقعیت مولکولی باعث کشیده شدن جریان از منبع ولتاژ به مدت چندین ثانیه تا چندین دقیقه در ترانسفورماتورها می‌گردد و به صورت انرژی در ساختار عایقی ذخیره می‌شود.

### ج) جریان نشستی

این جریان فوراً به مقدار نهایی و پایدار خود می‌رسد. مقدار جریان نشستی عبارت است از حاصل تقسیم مقدار ولتاژ اعمالی به عایق به مقدار مقاومت اهمی عایق (مطابق با قانون اهم). یعنی هر چه مقاومت عایقی بیشتر باشد مقدار جریان نشستی کمتر بوده و بیانگر کیفیت بهتر مقاومت عایقی می‌باشد. در حالت ایده آل به منظور اندازه‌گیری دقیق مقاومت عایقی بایستی مقاومت عایقی پس از این که جریان شارژ خازنی و جریان جذبی مولکولی به صفر رسید اندازه‌گیری صورت گیرد. (مراجعه شود به ۵-۱-۲) اندازه‌گیری مقاومت عایقی در ترانسفورماتورها معمولاً با ولتاژ DC با دامنه تا مقدار ۵۰۰۰ ولت صورت می‌گیرد. آزمایش مقدار مقاومت عایقی با ولتاژ تا مقدار ۵۰۰۰ ولت



را می توان با استفاده دستگاههایی که با باتری یا ژنراتورهای دستی تغذیه می شوند انجام داد این دستگاه ها تا ولتاژ ۵۰۰۰ ولت را ایجاد کرده و ولتاژ آن ها در سه الی چهار رنج (مثلاً ۱۰۰ و ۵۰۰ و ۱۰۰۰ و ۵۰۰۰) قابل تنظیم بوده و مقدار مقاومت عایقی مستقیماً قابل خواندن می باشد.

آزمایش اندازه گیری مقاومت عایقی با ولتاژ بیشتر از ۵۰۰۰ ولت را می توان با مگا اهم مترهایی با ولتاژ بالاتر و یا دستگاه های آزمایش مقاومت عایقی با ولتاژهای بیش از ۵۰۰۰ ولت انجام داد. این دستگاه ها ممکن است به میکروآمپرتر مجهز باشند که برای محاسبه مقدار مقاومت عایقی با استفاده از قانون اهم می توان مقدار آن را به دست آورد. برای اندازه گیری مقاومت عایقی دستگاه های بسیار مجهز موجود می باشد. ولی به هر صورت برای اندازه گیری صحیح و دقیق مقاومت عایقی بایستی اتصالات کامل و سیستم گارد موجود باشد. هم چنین به کارگیری دستورالعمل های سازندگان دستگاه در به دست آوردن نتایج صحیح ضروری و لازم می باشد.

یکی از عوامل بسیار مهم در مقدار مقاومت عایقی، دمای عایق در حین آزمایش می باشد. مقاومت عایقی نسبت به دما بسیار حساس بوده و رابطه عکس با آن دارد. در بعضی از سیستم های عایقی افزایش دما به میزان  $10^{\circ}\text{C}$  سبب افت مقاومت عایقی به مقدار نصف مقدار اولیه خواهد شد. در اندازه گیری مقاومت عایق معمولاً دمای  $20^{\circ}\text{C}$  به عنوان مرجع در نظر گرفته شده و با استفاده از یک جدول و یا منحنی اصلاح، مقدار مقاومت عایقی در این دمای مرجع به دست می آید تا برای کاربردهای بعدی و یا مقایسه ها مورد استفاده قرار گیرد.

در این آزمایش تانک هسته بایستی زمین شده شده و سیم پیچ ها اتصال کوتاه گردند. سیم پیچی که تحت آزمایش نمی باشند بایستی زمین گردد. کلیه مقره ها بایستی کاملاً تمیز شده به گونه ای که آثاری ناشی از آلودگی ها و هم چنین رطوبت بر روی آن ها باقی نماند.

توجه: هیچ مقدار استاندارد برای قابل قبول بودن مقدار مقاومت عایقی موجود نمی باشد ولی به هر صورت مقدار به دست آمده جهت مقایسه مقادیر قبلی مقاومت عایقی بوده و روند تغییر تدریجی کیفیت و وضعیت عایق را بیان می کند.

### ۵-۱-۲-۵ آزمایش اندیس پلاریزاسیون

در آزمایش ترانسفورماتورهای بزرگ زمان طولانی جریان جذبی نیز ممکن است در نظر گرفته شود. آزمایش اندیس پلاریزاسیون، آزمایش اندازه‌گیری یک نسبت می‌باشد که برای پیش بینی کیفیت سیستم عایقی حتی در صورتی که جریان جذب پس از گذشت زمان طولانی به صفر نرسد به کار گرفته می‌شود. یکی از مهم ترین شاخصه های این آزمایش عدم حساسیت آن نسبت به دما می باشد چرا که عدد به دست آمده حاصل یک نسبت می باشد و در نتیجه نیازی به اصلاح مقدار به دست آمده در دمای مرجع نمی باشد.

آزمایش اندیس پلاریزاسیون آزمایش ارزیابی کیفیت عایق بوده که نیاز به صرف زمان ۱۰ دقیقه دارد. در این آزمایش مقاومت عایقی پس از یک دقیقه بعد از شروع آزمایش ثبت شده و مجدداً پس از گذشته ۱۰ دقیقه بعد از شروع آزمایش مقدار مقاومت عایقی ثبت می گردد. اندیس پلاریزاسیون نسبت حاصل از مقدار مقاومت عایقی در ۱۰ دقیقه به مقدار مقاومت عایقی در ۱ دقیقه می باشد.

بدون دیمانسیون  $PI: R_{10} / R_1$

که در آن

PI اندیس پلاریزاسیون و R مقاومت عایقی می باشد.

پس از قرایت مقادیر مقاومت عایقی بایستی ولتاژ اعمالی به صفر برگردانده شود و سیستم عایقی تخلیه گردد.

تفسیر آزمایش: برای ترانسفورماتورهای کوچک مقدار اندیس پلاریزاسیون برابر یا کمی بیشتر از ۱ می باشد. در ترانسفورماتورهای بزرگ تر اندیس پلاریزاسیون بین ۱/۱ تا ۱/۳ می باشد. مقدار بالای اندیش پلاریزاسیون بیانگر کیفیت خوب سیستم عایقی بوده و مقادیر کوچک تر از ۱ بیان گر نیاز فوری به تعمیر و نگهداری پیش گیرانه ترانسفورماتور می باشد.

در صورتی که مقدار اندیس پلاریزاسیون در محدوده مقادیر مطلوب برای سیستم عایق کاری نبوده و یا در مقایسه با مقادیر قبلی کم تر باشد نظافت و خشک کردن سیستم عایقی غالباً می تواند مقدار اندیس پلاریزاسیون را بهبود و به سطح مطلوب برساند.

**۵-۱-۵-۳ ایمنی**

جریان شارژ خازنی و جریان جذبی تولید شده توسط ولتاژ آزمایش قابل برگشت می‌باشند و وابسته به ولتاژی که در آن ولتاژ مدار قطع می‌گردد انرژی در نمونه آزمایش باقی مانده و بسیار خطرناک می‌باشد و بایستی حتماً تخلیه گردد. توصیه می‌شود که با اتصال کوتاه کردن نمونه آزمایش در مدت حداقل چهار برابر زمان آزمایش عمل تخلیه صورت گیرد. پیش از لمس هادی‌های لخت توسط دست بایستی با استفاده از اندازه گیری از عدم وجود ولتاژ اطمینان حاصل گردد. اندازه گیری مقاومت عایقی بایستی در هنگامی که کلیه سیم پیچی و هادی‌های مرتبط با سیم پیچ ها کاملاً در روغن غوطه ور هستند انجام و اصلاح مقدار مقاومت عایقی در دمای مرجع صورت گیرد. انجام آزمایش مقاومت عایقی در صورت وجود خلأ در محفظه تانک ترانسفورماتور به هیچ وجه مجاز نمی‌باشد.

**احتیاط:** انرژی ذخیره شده در نمونه ممکن است مرگ بار باشد و بایستی به صورت ایمن تخلیه گردد.

**۵-۱-۶-۱ ظرفیت خازنی، ضریب قدرت و ضریب تلفات****۵-۱-۶-۱-۱ ظرفیت خازنی**

تجهیزات الکتریکی مورد بحث در این کتاب بسیار شبیه یک خازن ساده می‌باشند. این تجهیزات مانند یک خازن ساده شامل دی الکتریک (عایق) بین دو الکترود (هادی‌ها) می‌باشد. میزان ظرفیت خازنی این تجهیزات وابسته به مشخصه مواد دی الکتریک و فرم قرار گرفتن هادی‌ها می‌باشد. در تجهیزات الکتریکی در صورتی که مشخصه مواد عایقی و یا فرم قرار گرفتن هادی‌ها تغییر کند ظرفیت خازنی اندازه‌گیری شده تغییر خواهد کرد. این تغییرات معمولاً ناشی از آسیب دیدن و یا ضعیف شدن و یا آلوده شدن سیستم عایقی می‌باشد.

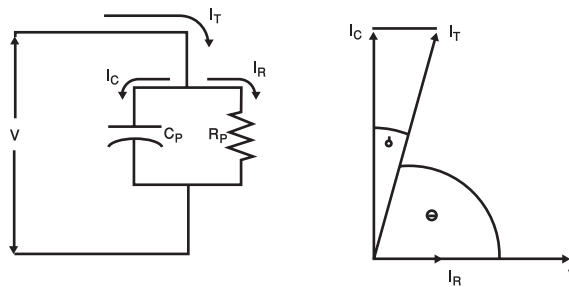
**۲-۱-۶-۵ ضریب قدرت و ضریب تلفات**

تلفات دی الکتریک در سیستم عایقی عبارت است از: توان تلف شده در عایق هنگامی که

به عایق ولتاژ متناوب اعمال می‌گردد. مقدار توان تلف شده در کلیه عایق‌ها در تجهیزات الکتریکی قابل اندازه‌گیری می‌باشند. مقدار کم توان تلف شده در عایق بیان‌گر کیفیت مطلوب عایق و مقدار زیاد توان تلف شده در آن بیان‌گر احتمال وجود اشکال و ضعف در عایق می‌باشد.

پیری طبیعی باعث افزایش میزان توان تلف شده (تلفات دی الکتریک) می‌گردد. آلودگی عایق‌ها توسط مدار شیمیایی، آب و کثیفی‌های دیگر نیز باعث افزایش توان تلف شده در عایق می‌گردد. هم‌چنین صدمات فیزیکی ناشی از تنش‌های الکتریکی و یا نیروهای تنشی (ارتعاشات و نیروهای الکترومغناطیسی) دیگر باعث افزایش در میزان توان تلف شده خواهد بود.

ضریب تلفات به صورت یک نسبت بدون دیمانسیون و بر حسب درصد بیان می‌گردد که نشان‌گر وضعیت کیفیت عایق می‌باشد. عبارت معمول برای این تلفات ضریب پراکندگی توان ( $\tan\Delta$ ) یا ضریب قدرت عایق می‌باشد. اعمال ولتاژ متناوب به عایق باعث جاری شدن جریان در عایق می‌شود (مطابق شکل ۷) این جریان شامل دو بخش می‌باشد که یک بخش آن مقاومتی و بخش دیگر آن خازنی می‌باشد که هر کدام از این جریان‌ها به صورت مجزا قابل اندازه‌گیری می‌باشند. به عبارت ساده ضریب پراکندگی توان عایق ( $\tan\Delta$ ) عبارت است از: نسبت جریان مقاومتی به نسبت جریان خازنی جاری در عایق و ضریب قدرت عایق عبارت است از: نسبت جریان مقاومتی به جریان کل جاری شده در عایق.



شکل ۷- دیاگرام برداری در آزمایش ضریب پراکندگی توان (ضریب توان تلف شده)

$$\begin{aligned} V &= \text{ولتاژ اعمالی} \\ I_T &= \text{جریان کل} \\ I_R &= \text{جریان مقاومتی} \\ I_C &= \text{جریان خازنی} \\ \tan\Delta &= I_R / I_C = \text{ضریب پراکندگی توان} \\ \text{ضریب قدرت} &= I_R / I_T \end{aligned}$$

### ۵-۱-۶-۳ کاربرد آزمایش

نتایج آزمایش تلفات دی الکتریک دارای چندین فایده می باشد. از نتایج انجام این آزمایش بر روی تجهیزات نو و تازه دریافت شده از سازنده می توان برای بررسی و ردیابی اشکالات ممکن در فرآیند ساخت تجهیز و یا حمل و نقل و همین مقادیر بنچارک (مقادیر مرجع اولیه) برای مقایسه‌های بعدی استفاده کرد.

انجام این آزمایش به صورت دوره ای در طول سرویس دهی تجهیز می تواند روند پیر شدن طبیعی عایق و با سرعت بیش از حد تضعیف سیستم عایقی را نشان دهد. آزمایش‌های عیب یابی بر روی تجهیزات ممکن است موقعیت فالت و یا دلیل آن را روشن نماید. آزمایش‌های تلفات و دی الکتریک هنگامی بهترین مزایا را در اختیار قرار می دهد که به صورت دوره ای در برنامه تعمیر و نگهداری در نظر گرفته شود.

### ۵-۱-۶-۴ تجهیزات آزمایش

تلفات دی الکتریک معمولاً توسط پل اندازه گیری تعیین می‌گردد که از آن نمونه می‌توان به پل شرینک اشاره کرد. تجهیزات اندازه گیری از این نمونه امکان اندازه گیری مقدار خازن و هم چنین ضریب تلفات عایق تحت آزمایش را نیز دارند. برای انجام این آزمایش علاوه بر پل اندازه گیری، نیاز به یک منبع ولتاژ و یک خازن استاندارد برای اندازه گیری ضریب تلفات می باشد. دستگاه‌های اندازه گیری قابل حمل که شامل پل، منبع تغذیه و خازن استاندارد و به صورت یک مجموعه می باشد برای آزمایش تجهیزات موجود در سایت توسط سازندگان مختلف ساخته شده است. این تجهیزات دارای ابعاد مختلف ولتاژهای مختلف و پروسه‌های کارکرد متفاوت می‌باشند. شخصی که انجام این گونه از آزمایش را بر عهده دارد بایستی کاملاً با پروسه انجام آزمایش و هم چنین نکات ایمنی این آزمایش‌ها آشنا باشد.

### ۵-۱-۶-۵ ولتاژ آزمایش

آزمایش تلفات دی الکتریک می‌تواند با هر ولتاژی که در محدوده ولتاژ نامی تجهیز الکتریکی باشد صورت گیرد. انجام آزمایش ضریب قدرت یا تلفات دی الکتریک با اعمال ولتاژ نامی تجهیزات الکتریکی فشار قوی در سایت امکان پذیر نمی باشد. جهت انجام آزمایش

به وسیله ابزار آزمایش قابل حمل، این تجهیزات از نظر ابعاد و وزن در سطح ولتاژ و جریان‌های محدود اما قابل قبول ساخته می‌شوند. به عبارت دیگر، اهمیت قابل حمل بودن این دستگاه‌ها باعث محدود کردن سطح ولتاژ و جریان دستگاه‌های آزمایش می‌گردد.

ولتاژ آزمایش تجهیزات در سایت‌های کارگاهی معمولاً در رنج ۱۰۰ ولت تا ۱۰ کیلوولت می‌باشد. آزمایش‌ها در سایت‌های کارگاهی معمولاً با ولتاژ نامی و تا ماکزیمم ۱۰ کیلوولت انجام می‌گیرد. برای انجام این آزمایش بایستی حتماً دستورالعمل‌های سازندگان تجهیزات و هم چنین استانداردهای آزمایش مد نظر و اجرا قرار گیرد.

### ۵-۶-۶ شرایط محیطی

ثبات شرایط محیطی برای آزمایش‌ها و مخصوصاً آزمایش‌های دوره‌ای مقایسه‌ای بسیار حایز اهمیت می‌باشد.

ضریب تلفات عایق نسبت به تغییرات دما حساس می‌باشد و لذا مقادیر اندازه‌گیری شده در ماه‌های مختلف بایستی با یک ضریب اصلاح گردند. این اصلاح امکان مقایسه صحیح نتایج چندین آزمایش را در ماه‌های مختلف فراهم می‌کند. دمای مرجع در آزمایش‌های عایقی معمولاً ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و ضرایب اصلاح را می‌توان از سازندگان این تجهیزات، شرکت‌های آزمایش‌کننده، سازندگان دستگاه‌های آزمایش و یا استانداردهای فنی استخراج نمود.

انجام آزمایش در ماه‌های بسیار پایین (دمای یخ زدگی) نبایستی صورت گیرد. چرا که تأثیر قابل ملاحظه‌ای در نتایج اندازه‌گیری داشته و حتی باعث خطا در تحلیل‌ها می‌گردد. یکی از دلایل با اهمیت انجام این آزمایش رديابی رطوبت عایق‌ها می‌باشد. از آن جایی که خاصیت الکتریکی یخ و آب بسیار متفاوت می‌باشند و امکان رديابی یخ در عایق‌ها بسیار مشکل و حتی غیر ممکن می‌باشد، لذا لزوم عدم انجام آزمایش عایقی در ماه‌های بسیار پایین که آب تبدیل به یخ می‌شود محرز می‌گردد.

عوامل محیطی دیگر هم چون رطوبت نسبی و آلودگی هوا در زمان انجام آزمایش بایستی ثبت گردند تا در آزمایش‌های بعدی و مقایسه‌ها در نظر گرفته شوند. مقدار بسیار کمی از بخار آب بر روی سطح خارجی عایق باعث افزایش مقدار جریان ناشی سطحی و هم چنین افزایش توان تلف شده در عایق می‌گردد. این عامل مخصوصاً در

تجهیزات فشار ضعیف که دارای فاصله خزش کوتاه جریان در پوشینگ‌ها می‌باشد قابل ملاحظه می‌باشد. به این دلیل آزمایشات عایقی در شرایط آب و هوایی با رطوبت بالا و آلوده بایستی دقت و ملاحظات لازم صورت گیرد به عبارت دیگر، ارزیابی و تحلیل نتایج و انجام آزمایشات دقیق عایقی، در این شرایط کاری بسیار سخت می‌باشد.

تعیین ضریب قدرت عایقی ترانسفورماتورها اطلاعات خوبی در رابطه با کیفیت عایق سیم پیچ‌ها و سیم پیچ‌ها با بدنه ترانسفورماتور و روغن عایق در اختیار قرار می‌دهد. این آزمایش هم چنین میزان خشک بودن مجموعه عایق ترانسفورماتور را ارزیابی می‌کند. با بررسی ضریب قدرت عایق، چگونگی شرایط کارکرد، آسیب‌های احتمالی ناشی از رطوبت، کربنیزه شدن عایق‌ها، آسیب دیدگی پوشینگ‌ها، آلوده شدن روغن توسط مواد و یا ذرات هادی و زمین شدن نامناسب هسته قابل ردیابی می‌باشد. هر چند ضریب قدرت برای بیشتر ترانسفورماتورهای کهنه قابل استفاده زیر ۰/۵٪ در در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد اما در این تجهیزات ضریب قدرت بین ۰/۵٪ تا ۱٪ در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد نیز ممکن است قابل قبول باشد ولی در مواردی که ضریب قدرت بیش از ۱٪ در ۲۰ درجه سانتی‌گراد باشد بایستی علل آن بررسی و جستجو شود.

#### ۵-۱-۶-۷ اندازه گیری ها

کلیه خازن‌های ایجاد شده در یک تجهیز الکتریکی دارای سیستم عایقی بایستی صورت مجزا تحت آزمایش و کنترل کیفی قرار گیرند. بررسی و وضعیت عایق قسمت‌های مختلف یک تجهیز الکتریکی از این لحاظ ارزشمند است که محدوده مکانی اشکالات ضعف‌ها کوچک‌تر شده و با صرف زمان و هزینه کمتری می‌توان آن‌ها را ردیابی و برطرف نمود.

#### ۵-۱-۶-۸ نحوه و روش آزمایش

- تجهیزات الکتریکی مورد آزمایش بایستی کاملاً از شبکه مجزا گردند (ایزوله شوند)
- بازرسی و بازدید چشمی تجهیز برای شناسایی و با ردیابی صدمات یا شرایط غیر طبیعی خارجی صورت گیرد.
- نوع سیستم بایستی تجهیز الکتریکی از لحاظ سادگی و یا پیچیده بودن مشخص

گردد (یک ترانسفورماتور سه فاز دارای یک سیستم عایقی پیچیده می‌باشد) تا نحوه اتصال مدار آزمایش و میزان ولتاژهای اعمالی تعیین گردد.

اندازه‌گیری‌های مورد نظر آزمایش بایستی بر طبق دستورالعمل‌ها و راهنماهای دستگاه و سازنده تجهیزات و هم چنین استانداردهای فنی صورت گیرد. در این آزمایش ممکن است نیاز به انجام آزمایش در حالات مختلف اتصالات سیم‌ها به ترمینال‌های ترانسفورماتور تحت آزمایش باشد.

- در فرم ثبت نتایج آزمایش بایستی کلیه مشخصات و اطلاعات درج شده بر روی پلاک مشخصات ترانسفورماتور تحت آزمایش درج شود.

**تفسیر:** با وجود این که مقادیر استاندارد برای تلفات مجاز عایقی برای بیشتر تجهیزات الکتریکی موجود نمی‌باشد اما این مقادیر برای ترانسفورماتورهای روغنی با عایق کاغذ موجود می‌باشد. به هر صورت بهترین روش، روش مقایسه‌ای می‌باشد. یعنی مقادیر اندازه‌گیری شده با دوره‌های پیشین و هم چنین تجهیزات کاملاً مشابه مقایسه گردد. در بعضی تجهیزات الکتریکی مقادیر نتایج آزمایشات تلفات دقیقی در راهنمای سازندگان تجهیزات درج می‌گردد که به عنوان مرجع می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد.

ضریب قدرت ترانسفورماتورها و رآکتورهایی که تازه با روغن عایق پر گردیده‌اند نبایستی در دمای در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد از ۰/۵٪ بیشتر باشد. در صورتی که این ضریب قدرت بیش از این مقدار باشد بایستی دلایل آن توسط تأمین کننده روغن روشن شود. در صورتی که علت زیاد بودن ضریب قدرت روغن عایق نو مواد ترکیبی آن باشد تعویض روغن با روغن با ضریب قدرت کم تر توصیه می‌گردد چرا که باعث تضعیف نتیجه‌گیری از این آزمایش‌ها می‌گردند. به هر صورت برق دار کردن یک ترانسفورماتور نو با ضریب قدرت بیش از ۰/۵٪ بدون بازرسی کامل داخلی و مشورت و یا فرآیندهای تعمیری و یا خشک کردن مجاز نمی‌باشد.

#### ۷-۱-۵ آزمایش ولتاژ القایی (induced voltage)

##### ۱-۷-۱-۵ کلیات

این آزمایش به ندرت در زمان نصب تجهیزات الکتریکی مانند ترانسفورماتورها انجام



می‌شود. از این آزمایش برای تعیین مناسب بودن شرایط این تجهیزات جهت سرویس دهی از لحاظ کیفیت عایقی و میزان تخلیه جزئی (در صورت وجود) مورد استفاده قرار می‌گیرد. این آزمایش هم چنین ممکن است برای ترانسفورماتورها و یا رگولاتورهایی که جهت تغییرات اساسی و یا اصلاحات ساختاری در نظر گرفته شده اند مورد استفاده قرار بگیرد.

آزمایش ولتاژ القایی معمولاً جهت ترانسفورماتورها با ولتاژ خیلی زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد اما به هر صورت برای ترانسفورماتورهای دیگر نیز ممکن است مورد استفاده قرار بگیرد. اولین عواملی که در انجام این آزمایش بررسی می‌گردد عوامل زمان و هزینه این آزمایش می‌باشد. از دلایل دیگر عدم انجام این آزمایش بر روی ترانسفورماتورهای با کلاس ولتاژی پایین، عدم وجود تنش‌های ولتاژی در آنها می‌باشد. آزمایش‌های عیب‌یابی ممکن است در سایت صورت گیرد و از آن جایی که نمی‌توان کلیه تجهیزات مجاور تجهیزات تحت آزمایش را بی‌برق کرد و از طرفی برق دار بودن تجهیزات مجاور باعث سخت‌تر شدن تحلیل آزمایش‌ها می‌شود (به دلیل تخلیه‌های جزئی ناشی از تجهیزات مجاور و یا ولتاژهای رادیویی مؤثر (RIV) ) لذا بایستی با توجه به این موارد و هم چنین هزینه‌های انجام این آزمایش، لزوم و یا عدم لزوم انجام آن بررسی گردد.

اشکالات جزئی در تعمیرات و یا نصب ترانسفورماتورها امکان ایجاد صدمات جدی پس از برق دار نمودن آنها را فراهم می‌کند. یکی از دلایل انجام آزمایش ولتاژ القایی، برق‌دار شدن ترانسفورماتور با ولتاژ بالاتر از ولتاژ نامی در این آزمایش می‌باشد. این کار باعث فعال کردن منابع تخلیه جزئی، اندازه‌گیری و تعیین مکان آنها می‌باشد. برای انجام این آزمایش نیاز به اعمال ولتاژ بالاتر از ولتاژ نامی با فرکانس بالاتر از فرکانس نامی می‌باشد. فرکانس بالاتر جهت جلوگیری از به اشباع رفتن هسته مغناطیسی ترانسفورماتور می‌باشد.

ایجاد این ولتاژ با استفاده از یک مجموعه موتور-ژنراتور می‌باشد. فرکانس ولتاژ تولیدی بایستی بین ۱۸۰ تا ۴۰۰ هرتز می‌باشد و با استفاده از یک اتو ترانسفورماتور متغیر می‌توان سطح ولتاژ را تنظیم نمود. ترانسفورماتور تحت آزمایش به صورت یک بار خازنی در مدار ژنراتور می‌باشد لذا برای کاهش بار یا جریان کشیده شده از ژنراتور می‌توان از یک سلف (راکتور) جبران ساز استفاده کرد. علاوه بر این ایجاد یک

بار پس فاز برای ژنراتور به وسیله موازی کردن یک سلف (راکتور) با موضوع آزمایش باعث جلوگیری از خطر خود تحریکی آرمیچر می‌گردد. (Armature reaction) این روش معمولاً برای سیستم‌های سه فازه مورد استفاده می‌گیرد اما برای سیستم‌های تک فاز نیز ممکن است مورد استفاده قرار گیرد. ابزار اندازه‌گیری لازم در این آزمایش ضریب قدرت متر، PD متر با پهنای باند فرکانسی زیاد یا RIV متر با فرکانس ثابت و فرکانس متر می‌باشد. اطلاعات بیشتر در رابطه با وسایل اندازه‌گیری در استاندارد IEEE std c57.12.90- 1999 و IEEE std c57.113- 2002 آمده است [۲۵ و ۳۰].

روش دیگر انجام این آزمایش بر پایه رزونانس سری می‌باشد. در این روش هر فاز ترانسفورماتور به صورت جداگانه و تک به تک تحت آزمایش قرار می‌گیرد. در این تکنیک از یک راکتور (سلف) قابل تنظیم که بین ترانسفورماتور قابل تنظیم (به عنوان تنظیم کننده ولتاژ تغذیه) و سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور تحت آزمایش سری قرار می‌گیرد استفاده می‌شود. از آن جایی که ترانسفورماتورهای بزرگ به صورت یک بار خازنی در فرکانس آزمایش ولتاژ القایی ظاهر می‌شوند لذا بایستی راکتور به گونه‌ای تنظیم شود که پدیده رزونانس اتفاق بیافتد. با افزایش ولتاژ روی راکتور قابل تنظیم، ولتاژ ترانسفورماتور موضوع آزمایش افزایش می‌یابد و به وسیله تنظیم ولتاژ خروجی ژنراتور، ولتاژ مورد نیاز آزمایش ترانسفورماتور حاصل خواهد شد. در صورتی که ترانسفورماتور تحت آزمایش به اندازه کافی ظرفیت خازنی نداشته باشد می‌توان با استفاده از سری کردن یک خازن در سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور ظرفیت لازم جهت رزونانس ایجاد نمود.

#### ۵-۱-۷-۲ آزمایش‌های مقدماتی

آزمایش‌های فشار ضعیف (مقاومت عایقی، ضریب قدرت، نسبت تبدیل، روغن دی الکتریک و غیره) برای اطمینان از مناسب بودن شرایط سیستم عایق ترانسفورماتور جهت برق دار نمودن آن به کار گرفته می‌شوند.

برای آزمایش روغن ترانسفورماتور بایستی نمونه‌گیری از روغن مطابق روش‌های گفته شده پیشین (به استاندارد ASTM 2001-D923 مراجعه شود) صورت گیرد. گازهای محلول در روغن بایستی آنالیز گردیده و نوع و مقدار آنها مشخص شده و مناسب

بودن کیفیت روغن از این لحاظ مورد تأیید قرار گیرد. آزمایش تعیین میزان رطوبت در روغن بایستی نشان دهد که مقدار رطوبت در روغن بیش از حد مجاز نمی باشد و آزمایش نسبت تبدیل برای تأیید وضعیت مطلوب انشعابات تپ چنجر و عدم وجود اتصال حلقه در سیم پیچ های ترانسفورماتور بایستی صورت گیرد [۳].

تفسیر نتایج آزمایش: به جدول ۱ مراجعه شود.

### ۵-۱-۷-۳ احتیاطات خاص پیش از انجام آزمایش

برای جلوگیری از تخلیه های کرونا در هوا جهت آماده شدن برای آزمایش کلیه پوشینگ های سمت فشار قوی ترانسفورماتور بایستی این پوشینگ ها توسط رینگ های کرونا مناسب حفاظت گردند. برای جلوگیری از کرونا به زمین بایستی کلیه لبه های تیز در بالای تانک و نزدیک به آن توسط پوشاننده های نیمه هادی (لاستیک های لوله ای) غیر مسطح و یا رینگ های فلزی مانع کرونا، که به صورت فلزی به تانک متصل گردیده اند حفاظت گردند.

ترانسفورماتور بهره برداری شده	ترانسفورماتور نو	آزمایش
> ۲٪	> ۰/۵٪	ضریب قدرت
> ۰/۵٪	> ۰/۵٪	کل گازهای محلول در روغن
> ۱۵ PPM	> ۱۰ PPM	میزان رطوبت موجود در روغن
۰/۵٪ حداکثر ترانس مجاز با پلاک مشخصات	۰/۵٪ حداکثر ترانس مجاز با پلاک مشخصات	نسبت تبدیل

جدول ۱- شاخصه های آزمایش های عیب یابی ترانسفورماتور

کلیه پوشینگ های ترانسفورماتور بایستی کاملاً تمیز شده و خشک گردند و دقیقاً پیش از انجام آزمایش بایستی مجدداً کاملاً خشک شوند. هیچ شیء هادی و نیمه هادی نبایستی بدون آن که زمین گردند، نزدیک و یا روی ترانسفورماتور قرار گیرند چرا که باعث ایجاد تخلیه الکتریکی می گردند. بنابراین این اشیا یا بایستی کاملاً از ترانسفورماتور تحت آزمایش دور گردند و یا به طور مناسب زمین شوند. کلیه اتصالات و مسیرهای جریان الکتریکی بایستی کاملاً محکم شوند چرا که وجود هر گونه لقی در اتصالات و جرقه های

ناشی از آن در میزان تخلیه‌های جزئی اندازه‌گیری شده درون ترانسفورماتور مؤثر خواهد بود و باعث خطا در تحلیل و نتایج آزمایش می‌گردد.

برق‌گیرهای ترانسفورماتور در صورت وجود بایستی از مدار خارج شوند (باز شوند) تا از محدودیت ولتاژ آزمایش و خراب شدن آن‌ها جلوگیری شود.

### ۵-۱-۷-۴ پیش‌آزمایش اندازه‌گیری ضریب قدرت

بعد از اتصال تجهیزات آزمایش به ترانسفورماتور تحت آزمایش، بایستی ابتدا یک پیش‌آزمایش تعیین ضریب قدرت بار صورت گیرد تا از جبران‌سازی سلفی مدار برای جلوگیری از خازنی شدن بار ژنراتور و محافظت از ایجاد ولتاژ زیاد خطرناک (over voltage) ژنراتور به علت خود تحریکی ژنراتور گردد. برای انجام این پیش‌آزمایش بایستی بوشینگ‌های ترمینال‌های سمت فشار قوی ترانسفورماتور تحت آزمایش، موقتاً به فاصله هوایی جرقه‌زنی مجهز گردند تا در ولتاژ ۵۰٪ ولتاژ نامی ترانسفورماتور، تخلیه الکتریکی از مسیر برق گیر اتفاق بیافتد. در این پیش‌آزمایش ولتاژ بایستی بیش از ۳۰٪ ولتاژ نامی شود و یا حداکثر به ولتاژی برسد که امکان انجام صحیح آزمایش اندازه‌گیری ضریب قدرت فراهم شود. باید توجه کرد که ژنراتور بایستی امکان تغذیه بار کمی خازنی را داشته باشد در صورتی که بار کشیده شده از مرز توانایی تأمین بار خازنی ژنراتور بیشتر شود باعث ناپایداری ژنراتور و افزایش سرعت شدید آن خواهد شد. برای اطمینان از ایمنی فرآیند آزمایش بایستی جبران‌سازی سلفی کمی بیش از میزان مورد نیاز فراهم شده و به گونه‌ای باشد که مرزهای باردهی ژنراتور رعایت شده و از عمل کرد سیستم‌های حفاظت جلوگیری شود. استفاده کننده از این سیستم بایستی مطلقاً از عدم خارج شدن از مدار سیستم به علت عملکرد حفاظت‌ها و یا خروج از مرز توانایی باردهی ژنراتور مطمئن باشد. از موارد حایز اهمیت در انجام این آزمایش در نظر گرفتن یک ترانسفورماتور افزاینده به گونه‌ای که ولتاژ خروجی آن تا حد ممکن نزدیک به ولتاژ آزمایش باشد. این موضوع باعث اطمینان به انتقال توان ماکزیمم از ژنراتور به ترانسفورماتور تحت آزمایش می‌گردد.

بعد از انجام پیش‌آزمایش و اطمینان از جبران‌سازی صحیح توان راکتیو سیستم، فاصله هوایی تخلیه الکتریکی را می‌توان از سیستم جدا کرد و ولتاژ مورد نظر را به ترانسفورماتور اعمال کرد.

### ۵-۱-۷-۵ آزمایش ولتاژ القایی

این آزمایش بایستی در یک روز که هوا تمیز می‌باشد انجام شود. کلیه نویزهای محیطی هم چون جرثقیل‌های در حال کار و وسایل نقلیه موتوری بایستی از محل دور و یا خاموش گردند تا نتایج و تحلیل آزمایشات به صورت صحیح باشد. سطح ولتاژ اعمالی و طول زمان آزمایش‌هایی که در سایت صورت می‌گیرد بایستی با مذاکره و بحث تعیین شود. این مقادیر ممکن از میزان مقادیر در نظر گرفته شده برای ترانسفورماتورهای نو تا میزان مقادیر حداقل که وابسته به عمر و تاریخچه سرویس دهی ترانسفورماتور می‌باشد، تغییر کند.

بعد از اتصال و کالیبراسیون مجموعه دستگاه‌های آزمایش متصل به ترانسفورماتور تحت آزمایش، ولتاژ بایستی به تدریج به ولتاژ نهایی آزمایش برسد. تجهیزات اندازه‌گیری بایستی مداوماً تحت نظر بوده و مقادیر PD یا RIV در یک دوره ۵ دقیقه ای ثبت گردند. نقاط پیک مشاهده شده برای این مقادیر بایستی مورد توجه قرار گیرند. خواندن نامنظم مقادیر ممکن است باعث برداشت ناصحیح شده و یا سبب اقدام به خاتمه آزمایش بدون لزوم گردد.

در صورتی که مقادیر PD یا RIV افزایش مداوم داشته باشد بایستی آزمایش آن قدر ادامه پیدا کند تا سطح مقادیر پایدار شده و یا این که به سمت کاهش متمایل گردد. تحلیل: میزان PD بیشتر از ۵۰۰ پیکوکولن یا RIV بالاتر از ۱۰۰ میکروولت بیان‌گر اشکال محتمل در ترانسفورماتور می‌باشد.

### ۵-۱-۸ ردیابی تخلیه جزئی

#### ۵-۱-۸-۱ کلیات

PD (اغلب با نام کرونا شناخته شده است) هنگامی در یک سیستم عایق موجود می‌آید که یک شکست محلی، جزئی و غیر دائم در عایق سبب توزیع مجدد بارها در درون سیستم عایق می‌گردد. این شکست عایقی در یک مکان جزئی رخ داده و باعث ایجاد یک مسیر دائم جریان نمی‌گردد. معمولاً پدیده PD در نواحی از سیستم عایقی که دارای حباب‌های هوا و یا گازها و یا مواد خارجی هم چون آب و یا مکان‌هایی که آسیب دیده‌اند ایجاد می‌شود. این نوع تخلیه باعث تضعیف تدریجی سیستم عایقی گردیده و نهایتاً سبب آسیب دیدگی ناگهانی و غیر منتظره ترانسفورماتور می‌گردد.

پدیده تخلیه جزئی، پالس‌های جریان با دامنه کم و در زمان کوتاه ایجاد می‌کند. معمولاً از دو تکنیک متفاوت برای ردیابی و اندازه‌گیری این پالس‌ها استفاده می‌شود. یکی از تکنیک‌ها عبارت است از: اندازه‌گیری توسط اندازه‌گیر نویزهای رادیویی می‌باشد. مقادیر اندازه‌گیری شده در حد میکرو ولت بوده و به عنوان سیگنال‌های RIV شناخته می‌شوند. روش دوم اندازه‌گیری توسط ردیاب PD می‌باشد. در این روش سیگنال‌ها بر حسب پیکوکولومب اندازه‌گیری می‌شود.

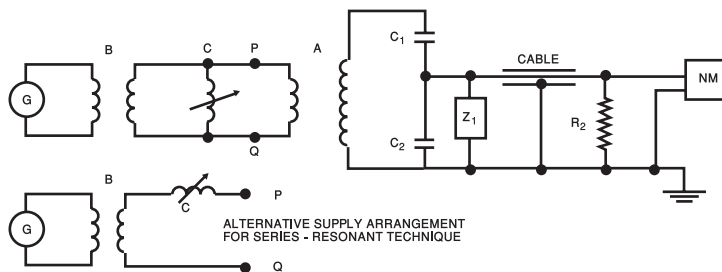
سیگنال‌های PD و RIV را می‌توان به صورت پالس‌های کوچک (با دامنه کم) و فرکانس بالا که بر روی موجهای ولتاژ فشار قوی سوار شده‌اند تصور کرد. برای انجام یک آزمایش موفقیت آمیز جهت ردیابی این پالس‌ها بایستی کلیه مواردی که جهت برآورد دقیق آن‌ها نیاز می‌باشد را رعایت کرد. جهت این امر بایستی کلیه اشیایی که در معرض و یا نزدیک ولتاژ فشار قوی می‌باشند زمین شده و قطعات فلزی که دارای لبه تیز و یا گوشه می‌باشند (مانند پیچ‌ها و لبه‌های تانک ترانسفورماتور) توسط مواد هادی که دارای سطح صاف هندسی می‌باشند پوشیده شوند. محل اتصال هادی‌ها در مسیر جریان بایستی کاملاً تمیز و محکم و ایمنی گردند.

#### ۵-۱-۸-۲ ولتاژهای رادیو مؤثر (RIV)

سیگنال‌های RIV معمولاً از انشعاب خازنی بوشینگ ترانسفورماتور (بوشینگ نوع کندانسوری یا خازنی) مطابق شکل ۸ به دست می‌آیند. اندوکتانس متغیر با خازن ایجاد شده توسط تپ بوشینگ با زمین و در فرکانس اندازه‌گیری نویز رادیویی تنظیم می‌گردد. هنگام تنظیم بایستی کابل کوکسیال با امپدانس مناسب در مدار قرار گرفته باشد. هدف از تنظیم مدار به حداقل رسانیدن اثر تقسیم ظرفیت خازنی در تپ بوشینگ در فرآیند آزمایش می‌باشد و نبایستی تصور گردد که کابل کوکسیال در نظر گرفته شده برای یک آزمایش در کلیه آزمایش‌ها مطلوب می‌باشد چرا که مجموعه آزمایش بایستی برای هر آزمایش جداگانه تنظیم گردد. رایج‌ترین ابزار جهت کالیبراسیون، اعمال سیگنال فرکانس رادیویی با دامنه مشخص مساوی با فرکانس دستگاه‌های اندازه‌گیری به ترمینال فشار قوی می‌باشد سپس این سیگنال توسط سیستم اندازه‌گیری شده و کالیبراسیون صورت می‌گیرد.

کالیبراسیون دستگاه اندازه‌گیری به صورت مجزا، بایستی مطابق دستورالعمل سازنده

دستگاه اندازه‌گیری صورت گیرد. برای این آزمایش از فرکانس‌های موج متوسط در رنج ۰/۸۵ تا ۱/۱۵ مگا هرتز استفاده می‌شود. اما در صورت وجود فرکانس‌های رادیویی اضافی در محیط آزمایش می‌توان از فرکانس‌های دیگر نیز استفاده کرد. پیش از برقرارد کردن سیستم آزمایش بایستی مدارات کاملاً کالیبره شده باشند. منبع ولتاژ فشار قوی باید در ولتاژ صفر یا ولتاژ کم روشن شده و به تدریج به ولتاژ مورد نظر در این آزمایش رسانیده شود. مقادیر اندازه‌گیری شده بایستی در طی افزایش ولتاژ تحت نظر باشد و ثبت گردد. نویزهای اندازه‌گیری شده در ولتاژهای کم نمایش‌گر نویزهای محیطی و خارجی می‌باشند. در صورتی که نویزهای محیطی و یا خارجی قابل حذف کردن نباشند بایستی حساسیت سیستم به گونه‌ای تنظیم شود که این نویزها در اندازه‌گیری وارد نشوند. در عمل یک اپراتور با تجربه در این آزمایش می‌تواند نویزهای محیطی و یا خارجی را از نویزهای اصلی شناسایی و جداسازی کند. تحلیل نتایج آزمایش RIV نیاز به یک مجموعه افراد مجرب در آزمایش RIV و هم چنین آشنا با نوع تجهیز تحت آزمایش می‌باشد. از آن جایی که این آزمایش در یک باند باریک فرکانسی انجام می‌گیرد و امکان ایجاد رزونانس در نمونه آزمایش ایجاد می‌گردد. بهترین راه تحلیل نتایج این آزمایش استفاده از نتایج اندازه‌گیری‌های پیشین تجهیز تحت آزمایش و یا تجهیزاتی مشابه با آن می‌باشد. این اندازه‌گیری‌ها می‌تواند از آزمایش‌های دوره‌ای پیشین و یا آزمایش‌های کارخانه‌ای به دست آمده باشد.



شکل ۸ - اندازه‌گیری RIV با استفاده از تپ بوشینگ

A = ترانسفورماتور تحت آزمایش

C2 = تپ خازن بوشینگ فشار قوی

B = ترانسفورماتور کمکی افزاینده

Z1 = اندوکتانس متغیر

=R1 مقاومت	=C (سلف) راکتور متغیر
=CABLE کابل شیلد دار	=G ژنراتور تغذیه
=NM دستگاه اندازه‌گیری نویز رادیویی	=C1 خازن بوشینگ فشار قوی

### ۵-۱-۸-۳ تخلیه جزئی (PD)

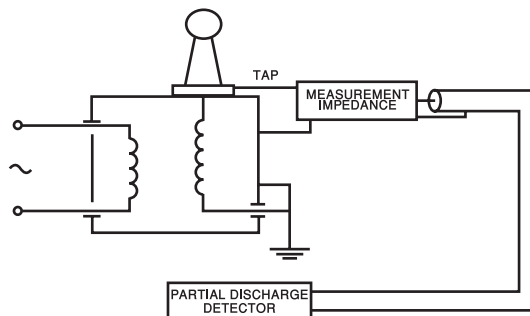
همانند اندازه‌گیری RIV، سیگنال‌های PD نیز بایستی با استفاده از تپ بوشینگ خازنی اندازه‌گیری شوند. یک نمونه مدار آزمایش PD در شکل ۹ آمده است. امپدانس اندازه‌گیری  $Z_m$  معمولاً مختلط بوده (مقاومتی و سلفی) و جهت فیلتر کردن سیگنال‌های با فرکانس‌های مختلف که در آزمایش ایجاد می‌گردد می‌باشد.

حساسیت مدار وابسته به ظرفیت خازن کوپل شده، ظرفیت خازنی ترانسفورماتور تحت آزمایش و خازن‌های اضافی ناشی از مدار آزمایش می‌باشد. لذا برای انجام هر آزمایش، سیستم اندازه‌گیری بایستی مجدداً کالیبره گردد تا نتایج صحیح استخراج شود. بنابراین دلیل به همراه دستگاه‌های اندازه‌گیری تجاری یک دستگاه پالس ژنراتور نیز جهت کالیبراسیون ارایه می‌گردد. روش معمول برای کالیبراسیون، تزریق مقدار مشخصی از بار به ترمینال فشار قوی ترانسفورماتور و تنظیم حساسیت سیستم اندازه‌گیری PD برای خواندن مطلوب می‌باشد. در عمل این کار با استفاده از اعمال ولتاژ پالس فشار قوی به سمت فشار قوی ترانسفورماتور از طریق یک خازن با ظرفیت کم (PD ۱۰۰) صورت گیرد.

بنا به دلایل قید شده فوق سیستم اندازه‌گیری بایستی کالیبره گردد. در صورتی که جهت کالیبراسیون از خازن با ولتاژ پایین استفاده شود مدار بایستی پیش از برق دار شدن کالیبره گردد و سپس خازن از مدار جدا شده و آزمایش صورت گیرد. برای انجام دقیق کالیبراسیون سیستم اندازه‌گیری PD بایستی از دستورالعمل راهنمای سیستم آزمایش استفاده شود.

برای انجام آزمایش PD معمولاً منبع تغذیه فشار قوی در ولتاژ صفر یا خیلی پایین روشن شده و به تدریج به ولتاژ مورد نظر رسانیده می‌شود. در طی افزایش ولتاژ، نمایش دهنده PD بایستی تحت نظر بوده و مقادیر آن ثبت گردد.





شکل ۹- مدار اندازه‌گیری تخلیه جزئی با استفاده از تپ بوشینگ

وجود نویز در ولتاژهای پایین بر روی نمایش دهنده PD بیانگر نویزهای محیطی و یا ناشی از دستگاه‌های جانبی می‌باشد. در صورتی که این نویزها قابل حذف یا مرتفع کردن نباشد. بایستی حساسیت سیستم به گونه‌ای تنظیم شود که این نویزها در مقادیر اندازه‌گیری وارد نشود. در عمل یک اپراتور با تجربه می‌تواند این نویزهای خارجی را شناسایی و از نتایج اندازه‌گیری خارج نماید.

معمولاً سیگنال‌های PD در ولتاژهای پایین ظاهر نمی‌گردند این سیگنال‌ها به صورت ناگهانی در طی افزایش ولتاژ و در یک ولتاژ مشخص به نام ولتاژ آغاز تخلیه جزئی ظاهر گردند. به محض این که ولتاژ بیشتر از ولتاژ آغاز تخلیه جزئی گردد، پالس‌های بیشتری از تخلیه جزئی ظاهر گردیده و نیز دامنه آن‌ها افزایش خواهد یافت. در این هنگام با کاهش ولتاژ ممکن است اثر هیستریزیس اتفاق بیافتد یعنی حتی با کم‌تر شدن ولتاژ از ولتاژ آغاز تخلیه جزئی باز هم پالس‌های تخلیه جزئی موجود باشد. هنگامی این پالس‌ها از بین خواهد رفت که ولتاژ به تعداد قابل توجهی کم‌تر از ولتاژ آغاز تخلیه جزئی گردد. ولتاژی که در این فرآیند هیستریزیس، پالس‌های PD در آن ناپدید می‌گردد را ولتاژ خاموشی تخلیه جزئی می‌گویند.

برای تحلیل نتایج آزمایش PD نیاز به تجربه و آشنایی کلی با این آزمایش و هم‌چنین با تجهیزاتی که این آزمایش بر روی آن می‌شود می‌باشد. بعضی از انواع سیگنال‌های تخلیه جزئی به راحتی شناسایی می‌شود و لذا مشاهده این موارد جهت رفع اشکال در مدار اندازه‌گیری مفید می‌باشد. مخصوصاً سیگنال‌های مشابه PD که هم فاز با ولتاژ اعمالی می‌باشند احتمالاً ناشی از اتصال ناکامل و نامحکم در مسیر جریان هستند.

این اشکال بایستی بیش از انجام آزمایش برطرف گردد. نمایش غیر متقارن بر روی نمایش دهنده PD بیانگر تخلیه جزئی در هوا می‌باشد. این پدیده ناشی از نقاط تیز در هادی‌های مدار و یا مدار زمین می‌باشد.

این منابع تخلیه جزئی معمولاً با بازرسی چشمی و یا با کمک تجهیزات ردیاب اولتراسونیک قابل شناسایی می‌باشند. جهت دسترسی به اطلاعات بیشتر جهت کالیبراسیون و اندازه‌گیری و هم چنین تحلیل نتایج آزمایش تخلیه جزئی می‌توان از استاندارد IEEE std C57-113-2002 استفاده کرد [۳۰].

#### ۵-۱-۸-۴ تکنیک صوتی

تکنیک صوتی برای ردیابی PD در ترانسفورماتورها برای چندین سال مورد استفاده بوده است. این روش دارای حساسیت خوبی نسبت به بعضی از انواع منابع PD بوده و امکان مکان‌یابی PD را در بعضی موقعیت‌ها را فراهم می‌کند.

از مزایای تکنیک صوتی برای ردیابی تخلیه جزئی استفاده از آن در زمان برق دار بودن ترانسفورماتور و هم چنین غیر حساس بودن آن نسبت به نویزهای خارجی و محیطی در صورت به کارگیری صحیح و مناسب آن می‌باشد. اما حساسیت این روش نسبت به تخلیه‌های جزئی در لایه‌های عمیق درون ساختار سیستم عایقی مانند نواحی درونی سیم پیچ‌های ترانسفورماتور کم می‌باشد.

سیگنال‌های صوتی معمولاً با استفاده از یک ترانسدیوسر که به دیواره ترانسفورماتور نصب می‌شود اندازه‌گیری می‌شوند. چگونگی نصب ترانسدیوسر از موارد حایز اهمیت می‌باشد چرا که انعکاسات صوتی ناشی از برخورد صوت با سطوح جانبی متعلقات ترانسفورماتور و ترانسدیوسر می‌تواند باعث کاهش سطح سیگنال‌های منتقل شده گردد. تجهیزات مورد نیاز برای ردیابی تخلیه جزئی توسط تکنیک صوتی شامل یک منبع ولتاژ فشار قوی (در صورتی که ترانسفورماتور برق دار نباشد)، یک ترانسدیوسر اولتراسونیک و یک نمایش دهنده که در مجموع یک بسته ردیاب را تشکیل می‌دهند می‌باشد. جهت اندازه‌گیری PD دستگاه‌های آزمایش تجاری، صنعتی که توسط سازندگان مختلف ساخته می‌شود به کار گرفته می‌شود که شامل کلیه این تجهیزات می‌باشد.

در بعضی از ترانسفورهای خاص و پر قدرت ترانسدیوسر نصب شده بر روی ترانسفورماتور هنگام خرید آن موجود می‌باشد. برای به کارگیری این ترانسدیوسرها از

تقویت کننده و یا یک اسیلوسکوپ می توان استفاده کرد. در این روش معمولاً برای ردیابی تخلیه جزیی از ترانسدیوسر های اولتراسونیک پیزوالکتریک در محدوده فرکانسی ۲۰ الی ۲۰۰ کیلو هرتز استفاده می شود.

چگونگی فرآیند و نتایج آزمایش PD بسیار وابسته به تجهیز تحت آزمایش و میزان اهمیت مدنظر در این آزمایش می باشد. ممکن است جهت تصمیم گیری در رابطه با آزمایش کامل و دقیق PD نیاز به بررسی وجود یا عدم وجود PD در یک بخش از ترانسفورماتور با استفاده از یک دستگاه پر تابل و ساده دارای ترانسدیوسر/ ردیاب صوتی باشد. به عبارت دیگر وجود اشکال احتمالی در یک تجهیز بزرگ و گران قیمت ممکن است لزوم و توجیه یک آزمایش دقیق و همه جانبه PD به روش تکنیک صوتی و با در نظر داشتن رفتار امواج صوتی در مایعات و گازها و جامدات در بخش های مختلف تجهیز را ارایه کند.

## ۲-۵ پوشینگ ها

### ۲-۵-۱ کلیات

پوشینگ ها از نظر ساختمانی به صورت های مختلف ساخته می شوند و از اجزا بسیار مهم در ترانسفورماتورها می باشند. این عناصر نسبت به قیمت یک ترانسفورماتور نسبتاً ارزان می باشند. اما نقص و ضعف در پوشینگ ها ممکن است باعث تخریب اساسی ترانسفورماتور گردد. بنابراین پوشینگ ها بایستی به صورت دوره ای تحت بازرسی قرار گیرند. در صورت مشاهده اشکال و یا نقص در آنها باید با در نظر گرفتن اهمیت ضعف و اشکال تعمیر و یا تعویض گردند. گرچه پوشینگ ها از نظر ساختاری در انواع مختلف ساخته می شوند ولی روش بازرسی و عیب یابی آنها در اکثر موارد یکسان می باشد. این روش ها به شرح زیر می باشند.

### ۲-۲-۵ بازرسی فیزیکی (چشمی)

بعضی از بازرسی های فیزیکی را می توان در حین برق دار بودن ترانسفورماتور انجام داد. با استفاده از دوربین می توان بعضی از اشکالات هم چون ترک، شکستگی، نشستی از واشرهای پلاستیکی و سطح روغن موجود در پوشینگ را مشاهده کرد. در

زمان بازرسی مناسب است که به دمای محیط و بار کشیده شده از ترانسفورماتور توجه شود و مقادیر آن‌ها ثبت گردد.

بازرسی فیزیکی دقیق‌تر را هنگامی که ترانسفورماتور بی برق می‌باشد می‌توان انجام داد. علاوه بر موارد ذکر شده فوق در هنگام بی‌برقی می‌توان توسط بازرسی چشمی نزدیک‌تر ترک‌های مویی، ضعف اتصالات سیمانی و آلودگی سطحی را نیز بازرسی و تشخیص داد. در صورتی که ناحیه چینی بوشینگ شکسته شده باشد علت شکستگی بایستی بررسی و مشخص گردد. پدیدگی سطح چینی از موارد مهم نمی‌باشد. از بین رفتن لعاب چینی باعث حوادث سریع متعاقب آن نمی‌گردد چرا که چینی‌های مورد استفاده در سیستم‌های الکتریکی دارای خلل و فرج نبوده و رطوبت جذب نمی‌کنند. در صورت مشاهده و ترکی که به سمت داخل بوشینگ امتداد دارد (از یک منطقه روی سطح و یا از نواحی فوقانی و تحتانی بوشینگ) بایستی بازرسی به صورت دقیق‌تر صورت گیرد. این گونه ترک‌ها ممکن است کاملاً به ناحیه درونی بوشینگ سرایت کرده و سبب فالت ناگهانی شوند. در چنین مواردی بوشینگ بایستی تعویض شود چرا که تعمیر اساسی بوشینگ در سایت‌های صنعتی امکان پذیر نمی‌باشد.

### ۵-۲-۳ سطح روغن بوشینگ

سطح روغن موجود در بوشینگ بایستی توسط دریچه شیشه‌ای و یا گیج روغن بازرسی می‌شود. جهت بررسی دقیق سطح روغن باید دمای سطح در نظر گرفته شود. اشتباه معمول در این مورد اضافه کردن روغن داخل بوشینگ در دماهای پایین برای رسانیدن سطح روغن به سطح نرمال می‌باشد. سطح روغن هنگامی می‌بایستی در سطح نرمال قرار گیرد که دمای محیط ۲۰ درجه سانتی‌گراد باشد.

اضافه کردن روغن در دمای پایین محیط باعث پر شدن بیش از حد و اضافه شدن روغن در زمان افزایش دما یا تابستان می‌گردد. در صورتی که امکان پذیر باشد بایستی وضعیت روغن از لحاظ واکنشی شدن و یا کثیف شدن از طریق دریچه شیشه‌ای بوشینگ بررسی گردد.

### ۵-۲-۴ ظرفیت خازنی، ضریب قدرت و ضریب تلفات بوشینگ

در بازرسی‌ها و آزمایش‌های بوشینگ‌ها بایستی ظرفیت خازنی و ضریب قدرت (یا

ضریب پراکندگی) خازن‌های  $C_1$  و  $C_2$  اندازه‌گیری شوند. اتصال کوتاه شدن خازن‌ها در بعضی از نواحی درون بوشینگ باعث افزایش ظرفیت خازنی بوشینگ می‌گردد. وجود رطوبت یا دیگر آلودگی‌ها در ساختار عایقی بوشینگ‌ها باعث افزایش ضریب قدرت (ضریب پراکندگی) بوشینگ می‌گردد. در آزمایش ضریب قدرت (ضریب پراکندگی) اعمال اصلاح دمای محیط در اندازه‌گیری‌ها الزامی می‌باشد. در زمان انجام آزمایش‌ها بر روی خازن  $C_2$  بایستی توجه کرد که ولتاژ اعمالی بیش از ولتاژ قابل تحمل تپ بوشینگ نگردد. بایستی توجه کرد که ضریب قدرت خازن  $C_1$  و خازن  $C_2$  ممکن است به مقدار قابل توجهی با یک دیگر متفاوت باشند. ظرفیت خازن  $C_2$  معمولاً از ۱۰ برابر ظرفیت خازن  $C_1$  بزرگ‌تر نمی‌باشد پیش از انجام آزمایش ضریب قدرت بوشینگ بایستی آلودگی‌ها و رطوبت سطح بوشینگ کاملاً تمیز شده تا نتایج اندازه‌گیری دارای دقت مناسبی باشد. آزمایش حلقه‌ی داغ برای ارزیابی یک ناحیه خاص از سیستم عایقی بوشینگ در ناحیه بین چینی بالای بوشینگ و هادی مرکزی حامل جریان بسیار مفید می‌باشد. این آزمایش به وسیله برق دار کردن یک یا چند الکتروود (به شکل حلقوی و معمولاً از جنس نیمه هادی) در محیط خارجی بوشینگ و زمینی کردن هادی مرکزی انجام می‌گیرد این آزمایش برای ردیابی ترک‌های روی چینی بوشینگ، ضعیف سیستم عایقی در بخش فوقانی بوشینگ، سطح پایین روغن یا رزین و وجود حباب‌های هوا در آن می‌گردد.

محدوده‌ی ضریب قدرت مجاز توسط سازنده ارائه گردیده و یا بر روی پلاک آن ثبت می‌گردد. نتایج آزمایش‌های ضریب قدرت در سایت‌های صنعتی بایستی با مقادیر قید شده در پلاک مشخصات مقایسه شود.

بوشینگ‌هایی که در طی چند سال متوالی در ضریب قدرت آن‌ها افزایش مستمر مشاهده می‌شود بایستی تحت بازرسی دقیق‌تر و حتی از سرویس خارج گردند. در عمل در صورتی که ضریب قدرت بوشینگ‌های از نوع خازنی بیش از ۱٪ افزایش یابند بایستی تحت بازرسی تخصصی و رفع عیب قرار گیرند.

## ۵-۲-۵ تخلیه جزئی (PD)

### ۵-۲-۵-۱ کلیات

پدیده تخلیه جزئی طولانی مدت و مداوم در سیستم عایقی بوشینگ‌ها، باعث ضعف تدریجی قدرت عایقی بوشینگ و در نتیجه وقوع فالت ناگهانی می‌گردد. وجود کرونا توسط اندازه‌گیری RI یا PD ردیابی می‌گردد این اندازه‌گیری‌ها با استفاده از ولتاژ فشار قوی نامی فاز به زمین و یا بیشتر (به عنوان مثال : ۱۳۰٪-۱۵۰٪) صورت می‌گیرد. این اندازه‌گیری‌ها را می‌توان در آزمایش ولتاژ القایی بر روی ترانسفورماتور انجام داد. امکان تفکیک سیگنال‌های ناشی از تخلیه جزئی در اندازه‌گیری‌ها از ناحیه تجهیزات درون تانک ترانسفورماتور و یا بوشینگ‌ها میسر نمی‌باشد. بنا به همین دلیل در صورت نیاز به اندازه‌گیری RIV یا PD ترجیحاً بایستی بوشینگ‌ها از ترانسفورماتور جدا شده و هر کدام به صورت جداگانه آزمایش شوند. برای آزمایش تخلیه جزئی بوشینگ‌ها، آن‌ها در یک محفظه مخصوص قرار گرفته و توسط ولتاژ فشار قوی تحت آزمایش قرار می‌گیرند.

### ۵-۲-۵-۲ وسایل مورد نیاز جهت انجام آزمایش

برای انجام آزمایش تخلیه جزئی بر روی بوشینگ‌ها به تنهایی، نیاز به منبع ولتاژ فشار قوی، رادیاب PD یا دستگاه اندازه‌گیری نويز رادیویی و یک خازن کوپل برای کوپل شدن تجهیزات اندازه‌گیری به باس ولتاژ قوی و یک سیستم کالیبراسیون می‌باشد. منبع ولتاژ فشار قوی ممکن است یک ترانسفورماتور و یا یک مدار رزنانس سری بدون تخلیه جزئی باشد. هدف از استفاده خازن کوپلاژ جداسازی پالس‌های PD با دامنه کوتاه از باس فشار قوی و انتقال آن به دستگاه اندازه‌گیری PD می‌باشد. ولتاژ نامی خازن مورد استفاده بایستی با ولتاژ آزمایش همخوانی داشته و فاقد سیگنال‌های تخلیه جزئی باشد. مقدار ظرفیت این خازن برای دریافت نتایج رضایت بخش  $pF1000$  می‌باشد.

سیگنال‌های PD را می‌توان به وسیله دستگاه اندازه‌گیری PD و یا دستگاه اندازه‌گیری نويز رادیویی اندازه‌گیری کرد. این دستگاه به صورت تجاری در بازار موجود می‌باشند. دستگاه اندازه‌گیری PD به همراه یک صفحه نمایش اسیلوسکوپي که سیگنال‌های PD بر روی آن نمایش داده می‌شود ارایه می‌گردد. اسیلو سکوپ علاوه بر نمایش

سیگنال‌های تخلیه جزئی می‌تواند موقعیت سیگنال‌ها نسبت به شکل موج ولتاژ فشار قوی اعمالی را نمایش دهد. در بررسی‌های دقیق موقعیت سیگنال‌ها نسبت به شکل موج ولتاژ آزمایش جهت تحلیل نتایج مفید می‌باشد. دستگاه اندازه‌گیری نويز رادیویی، سیگنال‌های شبه ضربه تخلیه الکتریکی در یک باند باریک فرکانسی رديابی و اندازه‌گیری می‌کند. توسط این دستگاه سیگنال‌های رادیویی با ولتاژ حدود چند میکروولت دریافت و اندازه‌گیری می‌شود. فرکانس مورد استفاده در این دستگاه تقریباً یک مگا هرتز می‌باشد اما در صورت وجود فرکانس‌های نويز ناشی از محیط اندازه‌گیری (به عنوان مثال فرکانس رادیویی AM) می‌توان از فرکانس‌های دیگر نیز استفاده کرد. پهنای باند فرکانسی مورد استفاده معمولاً ۹ کیلو هرتز می‌باشد [۲۷ و ۲۸].

### ۵-۳ سیال‌های عایق (روغن‌های معدنی مورد استفاده جهت ترانسفورمرها) ۵-۳-۱ کلیات

روغن‌های معدنی به عنوان یک سیال عایق در اکثر تجهیزات الکتریکی قدرت مورد استفاده قرار می‌گیرند. این سیالات علاوه بر این که دارای خاصیت عایقی می‌باشند در بعضی موارد به عنوان واسط انتقال حرارت ایجاد شده ناشی از تلفات تجهیزات قدرت نیز عمل می‌کنند. آزمایش‌هایی که جهت این سیالات در نظر گرفته می‌شود برای تعیین شاخص‌ها کیفی، وضعیت ضعف و پیری روغن‌ها در سرویس و هم چنین عیب‌یابی ترانسفورماتور در بعضی از شرایط می‌باشد [۲۹ و ۱]. تکنیک نمونه‌گیری در این آزمایش‌ها (مراجعه شود به استاندارد ASTM D923-2001) بایستی به گونه‌ای باشد که نمونه گرفته شده دارای کلیه شرایط و وضعیت کیفی روغن تجهیز الکتریکی باشد و از آن جایی که امکان نفوذ آلودگی‌های محیطی رطوبت و گرد و غبار به مجرای شیر نمونه‌گیری روغن وجود دارد، بایستی پیش از نمونه‌گیری مقداری از روغن خارج شده از شیر نمونه‌گیری روغن، بیرون ریخته شود تا آلودگی‌های جمع شده در مسیر روغن تمیز گردد. هنگام نمونه‌گیری بایستی دقت شود تا فشار مثبت در محفظهٔ تانک ترانسفورماتور موجود باشد. عدم وجود فشار مثبت باعث ورود حباب هوا به درون تانک و نفوذ آن بین حلقه‌های ترانسفورماتور شده و سبب بروز فالت زودرس می‌گردد.

برای انجام کلیه آزمایش‌های روغن نیاز به مقدار کافی نمونه روغن می‌باشد این مقدار حدود یک لیتر می‌باشد. برای کسب اطلاعات کافی در رابطه با ظروف نمونه‌گیری و فرآیند نمونه‌گیری به استانداردهای ASTM D923-2001 می‌توان رجوع کرد. مقدار نمونه روغن مورد نیاز جهت انجام بعضی از آزمایش‌ها در جدول زیر بیان شده است.

نوع آزمایش	استاندارد	حجم سیال مورد نیاز (میلی لیتر)
اسیدپته	ASTM D974-2002	۲۰
رنگ (در سایت)	ASTM D1524-2003	۱۰
عایقی	ASTM D877-2002	۷۵
عایقی	ASTM D1816-97a	۵۰۰
گازهای محلول	ASTM D3612-2002	۵۰
کشش سطحی	ASTM D 971-2002	۲۰
کشش سطحی	ASTM D2285-200	۱۵
شمارش ذرات	N/A	۱۰۰
ضریب قدرت	ASTM D 924-2003b	۲۵۰
پلی کلراید بی فنیل	ASTM D 4059-2005	۱۰
لجن	ASTM D 1698-2003	۵۰
مقدار آب	ASTM D 1522-2003	۵۰
چشمی	ASTM D1524-2003	۱۰
وزن مخصوص	ASTM D 1298-2003	۱۲۵
رنگ (آزمایشگاه)	ASTM D 1500-2001	۱۲۵
حجم کل		۱۴۰۰

جدول ۲- حداقل حجم مورد نیاز نمونه روغن برای آزمایش‌ها

مقادیر قید شده در جدول فوق معمولاً برای آزمایش‌های ذکر شده کافی می‌باشد. اما به هر صورت بایستی پیش از انجام نمونه‌گیری جهت تعیین حجم نمونه روغن مورد



نیاز با آزمایشگاه مربوطه مشورت شود.

نمونه روغن گرفته شده بایستی توسط ظرف تمیز و خشک شیشه ای به آزمایشگاه منتقل شود. این نمونه بایستی در مدت طولانی در معرض نور مستقیم و یا رطوبت زیاد هوا محیط قرار بگیرد. بعضی از مقادیر حجم روغن نمونه که در بخش ۶,۳ آمده اند مقادیر استاندارد نیستند اما این مقادیر حاصل تجارب عملی و مکرر می باشند و به صورت رایج مورد استفاده قرار می گیرند.

روغن های عایق در سرویس با توجه به ارزیابی وضعیت و مشخصات آن به چهار کلاس زیر طبقه بندی می گردند.

گروه I: روغن هایی که دارای شرایط رضایت بخش جهت تداوم کاربری می باشند.  
گروه II: روغن هایی که جهت استفاده بعدی بایستی احیاء گردند (تصفیه و گاززدایی و اسید زدایی و.....)

گروه III: روغن های دارای شرایط نامناسب (این روغن ها بایستی یا به کارخانه سازنده فروخته شود (جهت احیا در کارخانه) و یا در صورت عدم صرفه اقتصادی دور ریخته شود)

گروه IV: روغن های دارای شرایط بسیار نامناسب که از نظر فنی قابل استفاده مجدد نبوده و بایستی دور ریخته شود. کلیه آزمایش ها بایستی حداقل سالیانه انجام گرفته در صورتی که تجهیز دارای موقعیت مهم و خاص باشد آزمایش ها بایستی در پریودهای کوتاه تر تکرار شود.

### ۵-۳-۲ اسیددینه و عدد خنثی سازی (neutralization)

این آزمایش جهت تعیین میزان اسیددینه روغن در سرویس مورد استفاده قرار می گیرد این آزمایش جهت برآورد تغییر وضعیت روغن عایق در شرایطی که امکان اکسیداسیون روغن وجود دارد به کار گرفته می شود میزان اسیددینه روغن توسط معیار عدد خنثی سازی اندازه گیری می شود. عدد خنثی سازی عبارت است از: مقدار میلی گرم هیدروکسید پتاسیم که برای خنثی سازی حالت اسیدی یک گرم روغن نیاز باشد. روغن های معدنی مورد استفاده در ترانسفورمرها دارای مقدار ناچیزی خاصیت اسیدی می باشند اما با افزایش زمان سرویس دهی عدد خنثی سازی نیز افزایش می یابد. یک روغن مستعمل دارای NN بالا بوده که بیان گر اکسید شدن روغن و یا آلوده شدن آن توسط موارد

آلوده کننده ای هم چون وارنیش، رنگ و یا مواد دیگر می باشند. وجود خاصیت اسیدی در روغن امکان لجنی بودن روغن را نیز نشان می‌دهد. بین NN و تمایل خوردگی فلز توسط روغن در تجهیزات الکتریکی قدرت نبایستی ارتباط مستقیم وجود داشته باشد.

اسیدهای آلی باعث ایجاد صدمه و خسارت به سیستم عایق کاری تجهیز الکتریکی گردیده و در صورت وجود رطوبت باعث اکسیداسیون فلزات می‌گردند. وقوع این پدیده ها معمولاً نیاز به گذشت زمان زیاد دارد. عدد بالا NN نشان گر وجود اشکال در تجهیزات الکتریکی نمی‌باشد اما بیان‌گر تهدیدی بالقوه برای تجهیزات الکتریکی داخل روغن می‌باشد. مقادیر تجربی برای NN جهت تعیین امکان کاربری و یا عدم امکان کاربری روغن، در استاندارد ASTM D974-2002 آمده است ماکزیمم مقادیر توصیه شده برای NN و روغن‌هایی با شرایط مختلف در جدول ۳ آمده است [۷].

نوع روغن	کلاس ولتاژ (کیلوولت)	عدد اسیدی (ماکزیمم میلی گرم KOH\ گرم روغن)
روغن نو و تازه دریافت شده از پالایشگاه	$69 >$	۰/۰۳
روغن در سرویس گروه I	$69 <$	۰/۲
	۲۸۸-۶۹	۰/۲
	$345 >$	۰/۱
روغن در سرویس گروه II		۰/۲
روغن در سرویس گروه III		۰/۵

جدول ۳- مقادیر پیشنهادی برای روغن های در سرویس با توجه به کلاس ولتاژی

### ۳-۳-۵ رنگ

این آزمایش جهت تعیین رنگ روغن عایق در حال سرویس دهی به کار گرفته می شود.

این آزمایش بایستی برای تعیین تغییر رنگ نسبی روغن به کار گرفته شود. رنگ روغن توسط یک مقدار عددی (و هم چنین توصیف رنگ) و برپایه مقایسه با سری رنگ های استاندارد بیان می شود. تغییر رنگ روغن بایستی به عنوان یک ملاک مستقیم جهت تخصیص یک مشکل خاص به روغن استفاده شود. تغییر رنگ سریع عدد رنگ روغن همراه با تغییر شرایط کار کرد تجهیز بیان گر وجود اشکال در ترانسفورماتور می باشد. عدد رنگ بالا روغن بیان گر کیفیت نامناسب روغن و یا آلوده بودن آن و یا هر دو این حالات می باشد. مقادیر تجربی جهت برآورد کیفیت روغن، با استفاده از عدد رنگ روغن، در استاندارد ASTM D1500-2001 آمده است. انجام این آزمایش مطابق استاندارد ASTM D1524-2003 و به صورت بصری انجام می شود [۹ و ۱۰].

عدد رنگ	رنگ در استاندارد ASTM	شرایط روغن
۰-۰/۵	روشن	روغن نو
۰/۵-۱	زرد تیره	روغن خوب
۱-۲/۵	زرد	روغن در سرویس
۲/۵-۴	زرد روشن	روغن در شرایط بحرانی
۴-۵/۵	نارنجی	شرایط بد
۵/۵-۷	قهوه ای	شرایط بسیار بد
۷-۸	قهوه ای تیره	(a) شرایط خیلی خیلی بد (روغن دور ریختنی)

جدول ۴- شرایط نسبی روغن بر اساس رنگ

a: جهت تأیید قطعی نتیجه آزمایش، آزمایش مجدداً صورت گیرد.

### ۵-۳-۴ آزمایش قدرت عایقی

این آزمایش جهت تعیین ولتاژ شکست عایقی روغن در سرویس به کار برده می شود. دو روش رایج جهت تعیین ولتاژ شکست عایقی روغن وجود دارد. مطابق استاندارد ASTM D1816-97 برای تجهیزات با ولتاژ بالاتر از ۲۳۰ کیلوولت و روغن فیلتر شده،

گازدایی شده، رطوبت زدایی شده و پیش از پر شدن تجهیز توسط این روغن، آزمایش بایستی با استفاده الکترودهای کروی شکل نوع VDE انجام شود. مطابق استاندارد ASTM D877-2002 روغن عایق انواع تجهیزات بایستی توسط الکترودهای مسطح تحت آزمایش قدرت عایقی قرار گیرد. بنا به همین دلیل در بخش ۴،۳،۶ تأیید بر آزمایش با استفاده از استاندارد اخیر می‌باشد.

وجود مواد آلوده کننده در روغن و از دست رفتن خواص روغن باعث کاهش قدرت عایقی آن می‌گردد. ولتاژ شکست عایقی روغن عایق بیان‌گر میزان توانایی تحمل تنش ولتاژی روغن بدون ایجاد فالت می‌باشد. قدرت عایقی بالا بیان‌گر عدم وجود مواد آلوده کننده در روغن نمی‌باشد. بین ولتاژ شکست عایقی روغن و وقوع فالت در ترانسفورماتور هم بستگی شفاف‌ی وجود ندارد به عبارت دیگر نمی‌توان گفت که در یک ولتاژ شکست عایقی مشخص روغن وقوع فالت در ترانسفورماتور قطعی می‌باشد. در استانداردهای ASTM D877-2002 و ASTM D1816-97 مقادیر مجاز ولتاژ شکست عایقی روغن‌های عایق در تجهیزات الکتریکی که به صورت تجربی به دست آمده بیان شده است:

این آزمایش در محل کارگاه صنعتی (سایت) قابل انجام می‌باشد اما در آزمایشگاه قابل کنترل تر و با دقت بیشتری همراه می‌باشد. پیش از انجام آزمایش نمونه بایستی به صورت بصری تحت بازرسی قرار گیرد تا از عدم وجود (حباب‌های هوا یا قطرات آب که ممکن است در اثر تکان‌های ناشی از انتقال نمونه به آزمایشگاه به داخل آن راه یافته اطمینان حاصل شود. با توجه به امکانات در دسترس از یکی از استانداردهای ASTM D1816-97 یا ASTM D877-2002 برای تعیین ولتاژ شکست عایق می‌توان استفاده شود از استاندارد IEEE 637-1999 نیز می‌توان به عنوان راهنما استفاده نمود [۲] و [۳] و [۲۱].

استاندارد ASTM D877-2002

کلاس تجهیز الکتریکی حاوی روغن (KV)	مینیمم ولتاژ شکست عایقی
> ۶۹	۲۶
۶۹- ۲۸۸	۲۶
۲۸۸	۲۶

استاندارد ASTM D1816-97 (برای فاصله هوایی ۰/۰۴۰ اینچ)

کلاس تجهیز الکتریکی حاوی روغن (KV)	مینیمم ولتاژ شکست عایقی
> ۶۹	۲۳
۶۹- ۲۸۸	۲۶
۲۸۸	۲۶

### ۵-۳-۵ گازهای محلول در روغن

این آزمایش برای تعیین مقدار گازهای محلول در روغن‌های در سرویس به کار گرفته می‌شود. این آزمایش برای تعیین مقدار و نوع گازهای خاص متصاعد شده در ترانسفورماتورهای روغنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نوع و مقدار گازهای تولید شده در روغن این ترانسفورماتورها بیان کننده نوع خطا (Fault) در ترانسفورماتور می باشد. آرک، PD (تخلیه جزئی) جرقه های با انرژی کم، اضافه بار شدید و افزایش شدید دما در بعضی نقاط سیستم عایقی سیم پیچ‌ها بعضی از مکانیزم هایی هستند که باعث تجزیه شیمیایی مواد عایقی و تولید گازهای محلول قابل احتراق و غیرقابل احتراق در روغن می‌گردند. کارکرد نرمال ترانسفورماتور نیز ممکن است باعث تولید این گازها گردد اما مقدار آن در مقایسه با گازهای متصاعد شده در اثر خطاهای شدید ناچیز می‌باشد.

مقادیر بحرانی برای گازهای متصاعد شده و حل شده در روغن ترانسفورماتور که به صورت تجربی به دست آمده‌اند در منابع فنی موجود می‌باشند. در صورت وجود این مقادیر حجم گازهای موجود در روغن بایستی از در سرویس قرار دادن ترانسفورماتور جلوگیری شود. اما این مقادیر لزوماً بیان گر فالت قریب الوقوع در ترانسفورماتور نمی‌باشند. برای تحلیل دلایل احتمالی متصاعد شدن گاز از روغن روش‌های عیب‌یابی استاندارد موجود می باشد [۱۶ و ۲۹].

توجه، نمونه روغن گرفته شده بایستی توسط یک ظرف تمیز، بدون رطوبت و کاملاً قابل آب بندی جهت ایزولاسیون در مقابل رطوبت هوای محیط نگهداری شود. بایستی دقت نمود که پس از نمونه گیری و پیش از بستن درب ظرف نمونه گیری کلیه گازهای آزاد از

ظرف خارج گردند. برای اطلاعات بیشتر به استاندارد ASTM D3613-98 مراجعه شود [۱۶].  
آزمایش روغن بایستی در محیطی آزمایشگاهی صورت گرفته و بر اساس استاندارد  
ASTM D3612-2002 نتایج آزمایش استخراج گردد پس از تعیین مقادیر گازهای محلول  
در روغن نمونه با استفاده از این فرآیند، بایستی از روش‌های عیب‌یابی ذکر شده، برای  
تحلیل نتایج استفاده شود [۱۶].

بدون در دسترس بودن سوابق وضعیت گازهای محلول در یک ترانسفورماتور  
تعیین وضعیت عادی و غیرعادی کارکرد برای ترانسفورماتور کاری مشکل می‌باشد. در  
رابطه با شرایط کارکرد عادی ترانسفورماتورها با توجه به میزان گازهای موجود در  
روغن آن‌ها اختلاف نظرات قابل توجهی وجود دارد.

### ۵-۳-۶ کشش سطحی (IFT)

این آزمایش جهت تعیین کشش بین مولکولی روغن مستعمل ترانسفورماتور در و  
آب به کار گرفته می‌شود. توسط این آزمایش نیروی جاذبه بین مولکولی بین دو ملکول  
غیرمشابه که مجاور یک دیگر قرار گرفته‌اند اندازه‌گیری می‌شود.

این آزمایش تعیین کننده مقدار متوسط مولکول‌های دوقطبی کثافات محلول در  
روغن می‌باشد. رابطه بین پارامترهای IFT و NN به این صورت می‌باشد که با افزایش  
NN روغن، IFT روغن کاهش می‌یابد. IFT بیان گر طول عمر مفید باقیمانده روغن می‌باشد  
کوچک بودن IFT بیان گر وجود اشکال در تجهیز نمی‌باشد اما بیان گر تهدید در عمل کرد  
آتی آن می‌باشد. جهت ارزیابی وضعیت کیفی ترانسفورماتور، مقادیری تجربی برای این  
پارامتر روغن وجود دارد، استانداردهای ASTM D971-2002 و ASTM D 2285-2000  
در این باره بحث نموده است این آزمایش در محیط کار و هم چنین محیط آزمایشگاهی  
قابل انجام می‌باشد. اما برای انجام آزمایش دقیق تر بایستی فرآیند آزمایش با استفاده  
از استاندارد ASTM D971-2002 و در محیط آزمایشگاهی، آزمایش صورت گیرد. از  
استاندارد IEEE Std نیز راهنمای این آزمایش می‌باشد.

حداقل مقدارهای توصیه شده جهت IFT روغن در شرایط مختلف در جدول زیر  
آمده است [۱۳ و ۵].

نوع روغن	کلاس ولتاژ (KV)	حداقل نیروی کشش مجاورت مولکولی (دین/ سانتی متر)
روغن عایق نو و یا استفاده نشده		۴۰
روغن نو در تجهیز استفاده نشده		۳۵
روغن نو که در تجهیز ریخته شده ولی هنوز تجهیز برق دار نگردیده است		۳۵
روغن تحت سرویس دهی	۶۹	۲۴
	۲۸۸-۶۹	۲۶
	۳۴۵<	۳۰
روغنی که بایستی احیا گردد و یا این که تعویض شود- گروه II		۲۴
روغنی که بایستی احیا گردد و یا این که تعویض شود- گروه III		۱۶

جدول ۵- مقادیر پیش نهادی IFT برای روغن های عایق در سرویس و در کلاس های مختلف ولتاژی

### ۵-۳-۷ شمارش ذرات موجود روغن

این آزمایش جهت تعیین مقدار، اندازه و تا حدودی نوع ذرات اضافی موجود در روغن تحت سرویس مورد استفاده قرار می گیرد. این آزمایش ممکن است برای تعیین میزان آلودگی روغن با یک ماده خاص مورد استفاده قرار می گیرد. حجم ذرات اضافی در روغن متناسب با ولتاژ شکست عایقی بوده و بر روی ضریب قدرت روغن مؤثر می باشد، نوع ذرات و هم چنین مقدار آن روغن بر روی این شاخص ها تأثیر گذار می باشد. وجود ذرات فلزی زیاد در روغن بیان گر ضعف بیرینگها در پمپ های خنک کن روغن می باشد. برای این آزمایش مقادیر و تجربی جهت تعیین حدود شرایط کار کردی عادی و یا غیرعادی وجود ندارد.

**توجه:** نمونه روغن بایستی در شرایط رطوبت کوچک تر از ۵۰٪ و با استفاده از ظرف تمیز و خشک گرفته شود تا از ورود ذرات آلوده شده و رطوبت موجود در هوا به صرف جلوگیری شود.

پس از نمونه گیری روغن در یک ظرف تمیز و با ظرفیت ۵۰ الی ۱۰۰ میلی لیتر، نمونه بایستی جهت آنالیز به آزمایشگاه منتقل شود. این آزمایش در محیط کار قابل انجام نمی‌باشد. جهت شمارش تعداد ذرات موجود در نمونه و همگن نمودن نمونه می‌توان از یک اشعه تفرق محوری استفاده کرد. استفاده از این نمونه دستگاه‌ها بایستی کاملاً مطابق دستورالعمل سازنده باشد تا ارزیابی با دقت هر چه بیشتر صورت گیرد.

در صورتی که نیاز به تشخیص و جداسازی نوع ذرات موجود در روغن باشد استفاده از شمارنده ذرات ترجیح داده می‌شود. استفاده از میکروسکوپ نوری نیز در تشخیص ذرات کمک می‌کند. برای بررسی نوع عناصر تشکیل دهنده ذرات غوطه‌ور در روغن، می‌توان از روش‌ها و آزمایش‌های تکمیلی استفاده کرد. برای تشخیص فلزی بودن و یا مغناطیسی بودن ذرات آزمایش‌های خاص دیگری مورد استفاده قرار می‌گیرد که بر پایه روش‌های فروگرافی می‌باشد.

**تفسیر آزمایش شمارش ذرات موجود در روغن عایق:** در این آزمایش ذرات در رنج ۳ الی ۱۵۰ میکرومتر در ۱۰ میلی لیتر ( $10ml / 150-3 \mu m$ ) شمرده می‌شود. با استفاده از جدول زیر میزان آلودگی روغن برحسب تعداد ذرات موجود در روغن تعیین می‌گردد.

وضعیت روغن	تعداد ذرات در ۱۰ میلی لیتر روغن
طبیعی	< ۱۵۰۰
مرزی	۵۰۰-۱۵۰۰
آلوده	> ۵۰۰

#### توجه:

در بعضی از استانداردها اهمیت تعداد ذرات در روغن و یا نوع آن‌ها را نسبت به تعداد و نوع ذرات در دوره قبلی نمونه برداری ارزیابی می‌کنند. در صورتی که سابقه ضعف بیش از حد بیرینگ‌ها پمپ‌های خنک کننده موجود باشد تغییرات در میزان ذرات فلزی موجود در روغن ترانسفورماتور با اهمیت می‌باشد. عقیده این استانداردها بر این است که با توجه به نشست ذرات بزرگ فلزی، سلولزی و مسی در ته تانک و عدم



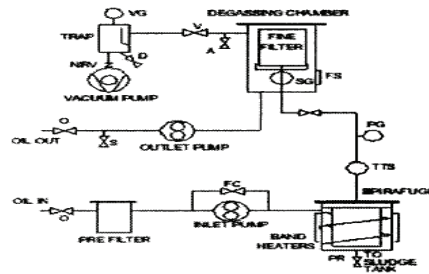
امکان برآورد میزان این ذرات در آزمایش ها، نمی توان با توجه به تعداد ذرات موجود در روغن وجود مشکل در ترانسفورماتور را تشخیص داد.

### ۵-۳-۸ ضریب قدرت روغن

توسط این آزمایش ضریب قدرت روغن های مستعمل و یا جدید تعیین می گردد. این آزمایش برای تعیین میزان توان تلف شده دی الکتریکی روغن هنگامی که روغن در یک میدان الکتریکی متناوب قرار می گیرد استفاده می شود. توان تلف شده در روغن به صورت گرما آزاد می شود. ضریب قدرت در این آزمایش عبارت است از: نسبت توان تلف شده برحسب وات به حاصل ضرب جریان مؤثر در ولتاژ مؤثر اعمالی برحسب ولت آمپر که در این آزمایش ولتاژ اعمالی و جریان به صورت سینوسی می باشند. ضریب قدرت کم نشان گر تلفات دی الکتریک کم می باشد. روغن های آلوده و یا با کیفیت پایین که در آزمایش ها و استانداردهای دیگر از نظر الکتریکی و شیمیایی تأیید می گردند توسط این آزمایش کیفیت، پایین آنها تشخیص داده می شود. مقادیر استاندارد که تأیید کننده کیفیت روغن در این آزمایش می باشد در استاندارد ASTM D 1524-2003 قید گردیده است.

انجام این آزمایش در سایت به خوبی آزمایشگاه قابل انجام می باشد پیش از انجام آزمایش بایستی دقت شود که حباب های هوای ناشی از حمل و نقل در آن موجود نباشد و پس از ته نشین شدن ذرات معلق در آن با استفاده از استاندارد (b) ASTM D 924-2003 بایستی آزمایش انجام شود. برای انجام این آزمایش در سایت بایستی از دستورالعمل سازندگان تجهیزات آزمایش استفاده کرد. درصد ضریب قدرت مطابق فرآیند ذکر شده در استاندارد ذکر شده تعیین گردیده و سپس برای دمای ۲۰ درجه سانتی گراد اصلاح می گردد. در آزمایشگاه این آزمایش معمولاً در دماهای ۲۵ و ۱۰۰ درجه سانتی گراد صورت می گیرد [۴، ۱۰].

**تحلیل:** ماکزیمم درصد ضریب قدرت برای روغن های نو و در سرویس در جدول ۶ آمده است.



OIL FILTRATION &amp; VACUUM DEHYDRATION PLANT

نوع روغن	کلاس ولتاژ (KV)	درصد ضریب قدرت در ۲۵ درجه سانتی گراد	درصد ضریب قدرت در ۲۵ درجه سانتی گراد
روغن نو		۰/۳	۰/۰۵
روغن نو در تجهیز نو	>۶۹	۱/۵	۰/۱۵
	۶۹-۲۸۸	۱	۰/۱
روغن نو پس از ریختن در تجهیز و پیش از برقرار کردن آن	>۶۹		۱
	۶۹-۲۸۸		۰/۵
	≥۳۴۵		۰/۵
روغن در سرویس گروه I	>۶۹		۰/۵
	۶۹-۲۸۸		۰/۵
	≥۳۴۵		۰/۵
روغن در سرویس گروه II	>۶۹		۰/۵
	۶۹-۲۸۸		۰/۵
	≥۳۴۵		۰/۳
روغن در سرویس گروه III	>۶۹		۱/۰
	۶۹-۲۸۸		۰/۷
	≥۳۴۵		۰/۳

جدول ۶- ماکزیم درصد ضریب قدرت پیش نهادی برای روغن های نو و در سرویس

مقادیر مرزی ذکر شده برای ضریب قدرت روغن ترانسفورماتور که در جدول فوق آمده

است بر پایه این درک به کار گرفته شده است که افزایش ضریب قدرت با افزایش میزان آب موجود و یا مواد زاید دیگر دو قطبی در آن ارتباط مستقیم دارد. اکثر روغن‌های عایق الکتریکی در سرویس در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد ضریب قدرت کوچک تر ۰/۲٪ دارند. زیاد بودن ضریب قدرت (بزرگ تر از ۰/۵٪ در ۲۵ درجه سانتی‌گراد) مسئله‌ای مهم می‌باشد چرا که در این حالت امکان جمع شدن کثیفی‌ها در یک ناحیه پر تنش الکتریکی و نفوذ آن‌ها به داخل سیم پیچ‌ها ایجاد می‌گردد. این امر باعث مشکل شدن تمیز کردن سیم پیچ‌ها از مواد زاید گردیده و هم چنین باعث ایجاد خطا در تحلیل آزمایش ضریب قدرت سیم پیچ‌ها به علت تغییر میزان نفوذ آب به سیم پیچ‌ها می‌گردد (توسط آزمایش ضریب قدرت سیستم عایقی سیم پیچ‌ها تغییرات میزان رطوبت جذب شده در سیم پیچ‌ها به دلیل این پدیده به خوبی مشهود نمی‌گردند).

ضریب قدرت روغن بسیار بالا (بزرگ تر ۱٪ در ۲۵ درجه سانتی‌گراد) ممکن است در اثر وجود آب آزاد که می‌تواند برای برق‌دار کردن ترانسفورماتور خطرناک باشد اتفاق بیافتد. در این موارد دلیل بایستی حتماً شناسایی و مرتفع گردد. اکسید شدن روغن، آب آزاد، ذرات خیس، آلودگی‌ها و ناسازگاری مواد در ترانسفورماتور همگی عوامل بالا بودن ضریب قدرت روغن می‌باشند. برای اطلاعات بیشتر به استاندارد IEEE C57.106,2002 مراجعه شود [۲۹].

### ۵-۳-۹ آزمایش تعیین میزان پلی کلراید بی فنیل (PCB)

تعیین میزان PCB در روغن عایق تحت سرویس دهی توسط این آزمایش صورت می‌گیرد. مقدار مجاز PCB در روغن‌های عایق در بعضی از کشورها تعیین شده است به همین دلیل برآورد میزان PCB موجود در تجهیزات قدرت بسیار با اهمیت می‌باشد. مقدار کم PCB (کوچک از ۵۰ ppm) معمولاً خطر بسیار کمی را همراه دارد و با این مشخصه روغن در کلاس بدون آلودگی رده بندی می‌گردد. مقدار متوسط PCB (بزرگ تر از ۵۰ ppm) و کوچکتر از ۵۰۰ ppm در روغن باعث قرار گرفتن روغن در کلاس آلودگی رده بندی می‌شود. برای مقدار PCB بیشتر از ۵۰۰ ppm سیال را مانند PCB خالص در نظر می‌گیرند و دارنده تحت همین کلاس بندی مجازات می‌گردد. از آن جایی که در اکثر قوانین کشورها برای افزایش میزان PCB موجود در روغن‌های

عایق مجازات در نظر گرفته شده است لذا بایستی همواره میزان PCB موجود در این سیالات تحت نظر باشد. در بعضی از کشورها حتی مقدار مجاز PCB در روغن‌های عایق را کم تر از ۵۰ ppm مشخص کرده‌اند.

آزمایش PCB را می‌توان در سایت به خوبی و با دقت آزمایشگاه انجام داد. برای انجام این آزمایش در آزمایشگاه، استاندارد ASTM D4059-2005 بایستی مرجع قرار گیرد. برای انجام آزمایش PCB در سایت صنعتی کیت‌های نمایش دهنده مختلفی موجود می‌باشد. این کیت‌ها دارای زمان اعتبار و مصرف می‌باشند که پیش از انجام آزمایش این تاریخ بایستی بررسی شود. در این نوع از آزمایش‌ها تنها میزان تمرکز وجود PCB به صورت غیر عددی نمایش داده می‌شود. برای انجام این آزمایش‌ها الزامی است که دستورالعمل راهنمای سازنده دقیقاً به کار گرفته شود. در این نوع از آزمایش کمیت نمایش دهنده نسبت به کلیه ترکیبات کلراید دار حساس می‌باشد لذا آزمایش کننده بایستی اطلاع کامل در رابطه با ترکیب شیمیایی روغن مصرفی تحت آزمایش داشته باشد. تحلیل آزمایش: قوانین مربوط به PCB در نواحی و کشورهای مختلف متفاوت می‌باشد. لذا برای تحلیل نتایج آزمایش‌ها بایستی با منابع قانونی مرتبط با این موضوع مشورت نمود [۱۷].

### ۵-۳-۱۰ آزمایش لجن

این آزمایش برای تعیین پنتان نامحلول در روغن عایق تحت سرویس دهی به کار گرفته می‌شود. این آزمایش تنها در صورتی صورت می‌گیرد که یا  $0.15 \text{ mg KOH/g} > \text{NN}$  باشد. لجن یک ماده رزینی پلیمری بوده که به صورت جزئی هادی الکتریکی و جاذب رطوبت بوده و عایق در مقابل انتقال حرارت می‌باشد.

در صورت وجود آب در ترانسفورماتور، آب توسط لجن جذب می‌شود. وجود لجن محلول نمایش دهنده خراب شدن روغن و یا وجود آلودگی در آن و یا هر دو می‌باشد. وجود لجن محلول در روغن هشدار در رابطه با شکل‌گیری رسوب در روغن ترانسفورماتور می‌باشد این آزمایش معمولاً برای روغن‌های تحت سرویس دهی در ترانسفورماتور انجام می‌گیرند. بعضی از آزمایش‌های خاص که ادامه این آزمایش بوده و در استاندارد ASTM D 1698-2003 آمده، جهت بررسی شروع و یا عدم شروع لجنی شدن روغن می‌باشد. نتیجه این آزمایش اراییه یک شماره برای تعیین میزان لجنی بودن روغن می‌باشد. این شماره

تعیین‌کننده راهکار مناسب برای نگهداری ترانسفورماتور می‌باشد. در صورتی که روغن شروع به لجنی شدن نکرده باشد و یا کمی لجنی باشد، روغن ترانسفورماتور را می‌توان با فیلتر کردن احیاء کرده و طول عمر ترانسفورماتور را افزایش داد. در صورتی که لجنی شدن روغنی پیشرفت کرده به طوری که ایجاد رسوب کرده باشد به فرآیند تعمیرات و نگهداری کامل‌تری نیاز می‌باشد. این فرآیند شامل خارج کردن ترانسفورماتور از سرویس، شستشوی داخلی و سیستم عایقی آن، شستشوی تانک ترانسفورماتور و سیستم خنک‌کن آن می‌باشد. این کار الزامی بوده چرا که لجن یا رسوب آن و رطوبت گیر افتاده در سیستم خنک‌کاری باعث کاهش کارایی سیستم خنک‌کننده می‌گردد. هم‌چنین احتمال قرارگیری لجن مرطوب در نواحی حساس ترانسفورماتور که تحت تنش شدید الکتریکی می‌باشد وجود دارد. قرارگیری لجن در این مکان باعث بروز فالت‌های زودرس و یا کاهش انتقال حرارت می‌گردد [۱۱].

برای انجام این آزمایش یک نمونه روغن به حجم حدود ۵۰ میلی لیتر لازم می‌باشد. دو میلی لیتر از نمونه بایستی در یک شیشه کوچک ریخته شود. بهترین ابعاد شیشه  $10 \times 1/8$  سانتی متر می‌باشد. ده میلی لیتر از  $n$ -پنتان را درون شیشه ریخته و درب آن محکم بسته شده و شیشه تکان داده شود. نمونه بایستی به مدت ۲۴ ساعت در یک اتاق تاریک نگهداری شود. پس از آن محلول بایستی به دقت از لحاظ وجود ردهای از لجن مشاهده شود این بررسی بایستی با استفاده از کج کردن شیشه به گونه ای که حباب هوا در داخل روغن به سمت پایین شیشه حرکت کند و باعث آشفتگی روغن شود صورت می‌گیرد.

در صورت وجود لجن در روغن معمولاً به صورت یک توده جرم تیره و یا ابری در ته شیشه دیده می‌شود. اکثر لجن‌ها به صورت توده ژلاتینی و یا ذرات ریز می‌باشند. در صورتی که ذرات جامد ریز در لحظه آغاز آشفتگی در سیال نمونه در ته شیشه دیده شود جواب آزمایش مثبت بوده و در غیر این صورت جواب آزمایش منفی می‌باشد. نتیجه آزمایش به صورت الف) غیرلجنی ب) لجن سبک ج) لجن سنگین ثبت می‌گردد.

تحلیل آزمایش: جدول زیر بیان گر عملکرد لازم با توجه به درجه لجنی بودن روغن می باشد.

سطح لجن محلول/رسوب در نمونه	عملکرد لازم
بدون لجن	هیچ عملی نیاز نمی باشد و بایستی ترانسفورماتور تحت بازدیدهای دوره ای قرار گیرد
لجن سبک	احیا ترانسفورماتور
لجن سنگین	روغن بایستی دور ریخته شود و کل تانک در ترانسفورماتور توسط روغن فلاشینگ شده (شستشو شود) و روغن جدید احیا شده درون ترانسفورماتور ریخته شود.

### ۵-۳-۱۱ بازدید چشمی

این بازدید جهت بررسی وجود آب آزاد یا رسوبات هم چون ذرات فلزی، لجن، حلال، کربن، فیبرها، آلودگی ها و غیره در روغن تحت سرویس دهی صورت می گیرد که متعاقب آن آنالیز این موارد انجام می شود. در صورتی که آلودگی های نامحلول در روغن موجود باشد با استفاده از فیلتر کردن روغن و شناسایی آلودگی های به جا مانده اطلاعات بسیار مفیدی در رابطه با شرایط ترانسفورماتور به دست خواهد آمد. نهایتاً برای تکمیل این بازدید نیاز به به کارگیری آزمایش های دیگر و نیز استانداردهای هم چون ASTM D1500-2001 می باشد تا اشکال نهفته در ترانسفورماتور ردیابی گردد. این بازدید برای تخمین رنگ و شرایط نمونه روغن در سایت های صنعتی در نظر گرفته شده است. برای اطلاعات بیشتر به استاندارد ASTM D1524-84 مراجعه شود.

**تحلیل:** بررسی چشمی روغن جهت تطابق با استاندارد رنگ ASTM و بررسی وجود رسوب در آن صورت می گیرد. روغن بایستی کاملاً براق، روشن و شفاف باشد. مشاهده تیرگی و ذرات مواد جامد عایقی، محصولات خوردگی فلزات و یا دیگر مواد معلق و هم چنین تغییر غیرطبیعی رنگ در روغن بایستی توسط امکانات آزمایشگاهی بررسی و آنالیز گردیده تا عیب یابی صحیح صورت گیرد [۸ و ۹].

### ۵-۳-۱۲ آب موجود در روغن

همیشه در هر ترانسفورماتور مقداری رطوبت موجود می‌باشد. علاوه بر این از آن جایی که کاغذ سیستم عایقی بسیار جاذب آب می‌باشد، اکثر رطوبت موجود در روغن توسط کاغذ عایق جذب خواهد شد.

قدرت عایقی کاغذ همانند روغن بسیار حساس به میزان رطوبت موجود در آن می‌باشد. بنابراین اطلاع و کنترل میزان آب جذب شده توسط کاغذ بسیار مهم می‌باشد. یک روش تخمین مقدار رطوبت موجود در کاغذ توسط اندازه‌گیری مقدار رطوبت موجود در روغن می‌باشد.

توزیع آب در عایق‌های جامد و مایع وابسته به تغییرات بار و در نتیجه تغییرات دما می‌باشد. بنابراین میزان وجود آب در روغن که برحسب ppm (part per million) بیان می‌شود اطلاعات کافی در رابطه با میزان رطوبت سیستم عایقی را در اختیار نمی‌گذارد. بیان میزان اشباع نسبی عایق در بازه گسترده بارها، اطلاعات مناسب تری را در اختیار قرار میدهد. حتی با استفاده از درصد اشباع عایق توسط رطوبت برای ارزیابی رطوبت سیستم عایقی باز هم خطا وجود خواهد داشت چرا که آب هیچ‌گاه به حالت پایدار در سیستم عایقی مایع و جامد نخواهد رسید. خطای اندازه‌گیری ممکن است مثبت یا منفی باشد این خطا ممکن است تحت تأثیر حالت گذاری کوتاه مدت در سطوح عایقی جامد/مایع اتفاق بیافتد و یا تحت تأثیر حالت گذرای بلند مدت در درون سیستم عایقی ضخیم تر باشد. اطلاعات دقیق‌تر در رابطه با مقدار رطوبت موجود در روغن و کاغذ را می‌توان با استفاده از شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به دست آورد. پس از اندازه‌گیری مقدار رطوبت روغن در آزمایشگاه درصد اشباع آب در روغن در دماهای مختلف را از منحنی شکل ۱۰ می‌توان تعیین کرد. باید توجه کرد که درصد اشباع روغن ترانسفورماتور در حداقل دمای ممکن به هره- برداری از ترانسفورماتور نبایستی به ۳۰٪ و یا کوچک تر از آن برسد. هنگامی که میزان رطوبت روغن برای یک دمای مشخص تعیین گردید، رطوبت موجود در کاغذ با استفاده شکل ۱۱ برآورد می‌گردد. بعضی از تحلیل‌های کلی در رابطه با درصد اشباع آب در روغن و درصد رطوبت در وزن کاغذ عایق به ترتیب در جداول ۷ و ۸ نمایش داده شده‌اند.

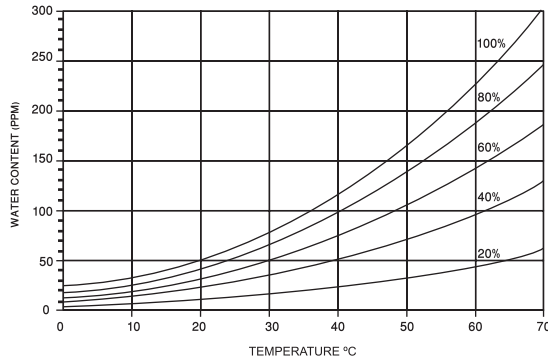
وضعیت روغن	درصد اشباع آب در روغن
عایق خشک	۵-۰
کمی خیس مقادیر کم تر بیان گر نسبتاً خشک بودن عایق و مقادیر بیشتر بیان گر نسبتاً خیس بودن عایق	۲۰-۶
خیس	۳۰-۲۱
خیلی خیس	۳۰<

جدول ۷- راهنمای ارزیابی درصد آب موجود در روغن

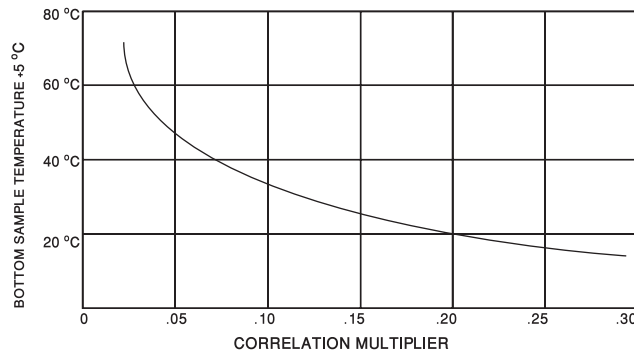
وضعیت	درصد رطوبت در وزن خشک کاغذ
کاغذ خشک	۲-۰
کاغذ خیس	۴-۲
کاغذ بسیار خیس	۴/۵>

جدول ۸- راهنمای ارزیابی رطوبت در وزن خشک کاغذ





شکل ۱۰- منحنی اشباع آب در روغن معدنی



شکل ۱۱- درصد رطوبت موجود در وزن خشک عایق کاغذی

برای تعیین درصد رطوبت در وزن خشک کاغذ سلولزی عایق بایستی مراحل زیر صورت گیرد:

- ۱- تعیین ppm آب در روغن
- ۲- تعیین دما در سطح پایینی نمونه روغن
- ۳- افزایش ۵ درجه سانتی گراد به بند ۲
- ۴- تعیین ضریب تطابق در منحنی و بند ۳
- ۵- ضرب ppm آب در ضریب تطابق برای به دست آوردن درصد رطوبت در وزن خشک کاغذ سلولزی عایق

### ۵-۳-۱۳ وزن مخصوص

این آزمایش چگالی نسبی روغن ترانسفورماتور که نسبت وزن یک حجم معین از روغن به وزن همان حجم آب در دمای یکسان (۱۵/۶ درجه سانتی گراد) را تعیین می‌کند. مقدار وزن مخصوص روغن‌های عایق در میزان انتقال حرارت توسط آن‌ها مؤثر می‌باشد. هم چنین برای ارزیابی کارایی روغن در بعضی کاربردهای خاص تعیین وزن مخصوص روغن لازم می‌باشد. در آب هوای سرد امکان تشکیل یخ در روغن وجود دارد بنابراین ماکزیمم وزن مخصوص روغن دی الکتریک بایستی به میزانی باشد که از شناور شدن یخ در روغن جلوگیری شود. رنج وزن مخصوص روغن دی الکتریک ۰/۸۴-۰/۹۱ (مراجعه شود به استاندارد ASTM D3487-2000) می‌باشد. وزن مخصوص آب ۱/۰ و وزن مخصوص یخ حدود ۰/۹۱ می‌باشد بنابراین وزن مخصوص روغن دی الکتریک از آب و یخ کم تر می‌باشد و لذا باعث ته‌نشین شدن یخ و آب موجود در روغن می‌گردد. این آزمایش هم چنین برای تعیین نوع روغن‌های اسکارل و سیلیکون و معدنی بسیار سودمند می‌باشد چرا که وزن مخصوص این روغن‌ها بسیار با یک دیگر متفاوت می‌باشند استفاده از استاندارد ASTM D 1298-2003 برای این آزمایش توصیه می‌گردند [۷ و ۱۴].

### ۵-۴ تپ چنجرها

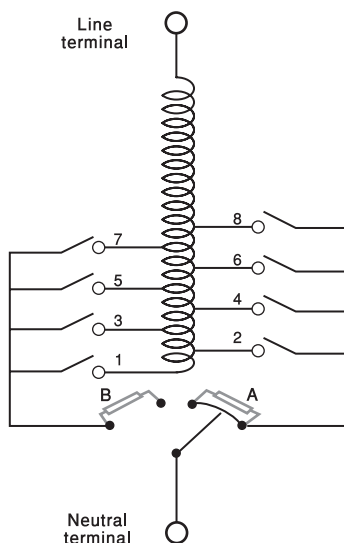
#### ۵-۴-۱ کلیات

جهت تغییر نسبت تبدیل یک ترانسفورماتور تا حدود  $\pm 5\%$  ولتاژ نامی آن از تپ چنجر استفاده می‌شود. تپ چنجرها در ترانسفورماتورهای قدرت دو نوع می‌باشند که یک نوع برای تعویض در حالت بی‌برقی (NLTC) و نوع دیگری آن جهت تعویض تپ در حالت زیر بار و برق دار می‌باشد (OLTC). ساختمان تپ چنجر NLTC که برای کارکرد در حالت بدون برق می‌باشد به گونه‌ای است که تنها در حالتی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که ترانسفورماتور بی‌برق باشد. در صورتی تپ ترانسفورماتور در حالت برق دار توسط این نوع از تپ چنجر تغییر داده شود، باعث ایجاد آسیب به تجهیز و یا جراحت و حتی از دست رفتن جان شخص می‌گردد. این تپ چنجر معمولاً در سمت فشار قوی ترانسفورماتور نصب می‌گردد. تپ چنجرهای تحت بار به گونه‌ای طراحی شده اند که امکان تعویض تپ ترانسفورماتور در حالت برق‌دار و یا باردار می‌باشد.

این تپ چنجرها وابسته به نیازهای استفاده کنند و قیمت و قابلیت دستیابی آن ممکن است در سمت فشار قوی و یا فشار ضعیف ترانسفورماتور نصب گردد.

### ۵-۴-۲ فرآیند بازرسی تپ چنجرهای تحت بار (OLTCs)

در سیکل کار همه تپ چنجرهای تحت بار (OLTCs) در هنگام تعویض انشعاب و انتقال مسیر جریان از یک تپ به تپ مجاور دیگر بایستی دو انشعاب به مجاور یک دیگر متصل گردند و پس از اتصال، مسیر جریان از تپ قبلی جدا شده و تپ جدید تنها مسیر جریان بار خواهد بود. مدار شکل زیر بیانگر نحوه تعویض تپ ترانسفورماتور می باشد.



شکل ۱۲- مدار تپ چنجر تحت بار

در یک OLTC برای جلوگیری کنترل و محدودسازی جریان گردش اتصال کوتاه ناشی از اتصال دو تپ مجاور یک دیگر این اتصال توسط یک امپدانس صورت می گیرد. در طراحی های قدیمی از راکتور یا سلف به عنوان امپدانس استفاده می گردید اما در طراحی های جدید از مقاومت اهمی استفاده می شود. در حین انتقال جریان از یک انشعاب به انشعاب دیگر جریان گردش بین دو انشعاب توسط یک سویچ انتقال قطع می گردد. این سویچ می تواند به صورت یک کلید جرکه در روغن و یا جرکه در خلأ در نظر گرفته شود.

تجهیزاتی که جهت قطع و از هم گسیختن جریان به کار می‌رود بایستی تحت آزمایش، بازرسی و تعمیرات و نگهداری‌های دوره‌ای قرار گیرند. پیروی این عملیات وابسته به میزان در سرویس بودن تجهیز و مشخصات و مقدار عملکرد آن می‌باشد بهترین پیروی این عملیات طبق دستورالعمل سازنده می‌باشد مگر این که تجارب پیشین لزوم افزایش تعداد بازرسی‌ها و تعمیرات و نگهداری را بیان کند. اولین بازرسی تپ چنجر بایستی در پایان سال نخست بهره برداری از ترانسفورماتور صورت گیرد. بازدید بعدی بایستی بر اساس نتایج به دست آمده از بازرسی نخست (پس از پایان سال اول بهره برداری) صورت گیرد. به هر صورت زمان دوره‌های بازرسی نبایستی بیش از پنج سال باشد. OLTCها ممکن است به صورت یک مجموعه مجزا در نظر گرفته شوند که یا به ترانسفورماتور جوش و یا پیچ شوند و یا درون تانک ترانسفورماتور قرار گیرند. معمولاً تپ چنجرهای دارای امپدانس انتقال راکتوری خواه با دیورتر سویچ جرقه‌ای در روغن و یا دیورتر سویچ خلاً به صورت یک مجموعه مجزا ساخته می‌شوند. تپ چنجرهای دارای امپدانس انتقال مقاومتی گاهی به صورت مجزا و گاهی در درون تانک اصلی ترانسفورماتور قرار می‌گیرند. تپ چنجرهایی که در تانک اصلی ترانسفورماتور قرار می‌گیرند دارای دو جز اصلی می‌باشند. جز اول یک محفظه سیلندری عایق می‌باشد که شامل دیورتر سویچ و مقاومت‌های حین انتقال تپ می‌باشد. این محفظه کاملاً آب بندی بوده به نحوی که روغن داخل این محفظه امکان مخلوط شدن با روغن داخل تانک اصلی را ندارد. زیر تانک آب بندی شده دیورتر سویچ، انتخاب گر انشعاب و سویچ انتخاب انشعاب قرار گرفته است. از آن جایی که هیچ گونه جرقه‌ای در این تجهیزات رخ نمی‌دهد لذا این عناصر ممکن است در درون روغن اصلی ترانسفورماتور قرار گیرند. از آن جایی که این تجهیزات در درون روغن تانک اصلی می‌باشند، بازرسی کنتاکت‌های آن‌ها بدون تخلیه روغن تانک اصلی ممکن نمی‌باشد. اما برای بازرسی دیورتر سویچ در درون تانک سیلندری نیاز به تخلیه روغن تانک اصلی نمی‌باشد.

OLTC هایی که در یک مجموعه مجزا می‌باشند در حالی که ترانسفورماتور در سرویس باشد می‌توانند با استفاده از اسکرن مادون قرمز تحت بازرسی قرار گیرد (مراجعه شود به ضمیمه C) در حالت طبیعی دمای این مجموعه مجزا بایستی چند درجه سلسیوس کمتر از دمای تانک اصلی باشد. نزدیک شدن دمای ایندو به یک دیگر و یا بیشتر شدن دمای OLTC از دمای تانک اصلی نمایانگر اشکال داخلی در OLTC

می باشد. پیش از باز کردن مجموعه OLTC بایستی ناحیه خارجی OLTC بازرسی گردد. مواردی که در بازرسی خارجی بایستی مد نظر قرار گیرد شامل سالم بودن رنگ، نشستی، آب بندی روغن، شیر فشارشکن و نمایش گر سطح روغن می باشد.

پس از بی برق کردن ترانسفورماتور برای بازرسی داخلی OLTC مخزن OLTC بایستی از روغن تخلیه شود. پس از باز کردن در پوش مخزن OLTC بایستی واشر آب بندی درب آن چک شود در صورت مشاهده هرگونه خرابی یا ضعیف بایستی تعویض گردد. تجهیزات واقع در کف مخزن بایستی از لحاظ وجود ذرات و خرده های فلزی و یا غیرفلزی چک شود وجود هر گونه از این ذرات یا تکه ها بیان گر ضعف و یا غیرنرمال بودن شرایط عمل کرد سوییچ می باشد. هم چنین سطوح لغزشی بایستی تحت بازرسی قرار گیرند و از سالم بودن آنها اطمینان حاصل شود.

#### ۳-۴-۵ فرآیند بازرسی برای OLTC ها ( ON Load Tap Changers )

جهت عملیات تعمیرات پیش گیرانه و نگهداری LTC ترانسفورماتور بایستی با استفاده از راهنمای سازنده موارد زیر را انجام داد:

الف) بازرسی و نگهداری تپ چنجر تحت بار از نوع مقاومتی یا راکتانس که در یک مخزن جداگانه واقع شده اند.

- ۱- عمل کرد صحیح کلیدهای فرمان
- ۲- توقف صحیح روی موقعیت مطلوب OLTC
- ۳- استحکام اتصالات
- ۴- بررسی علامت های وجود رطوبت هم چون زنگ زدگی یا قطرات آب
- ۵- بررسی فواصل مکانیکی مطابق مشخصات ارائه شده توسط سازنده
- ۶- بررسی کار کرد صحیح و وضعیت انتخاب گر انشعابات، تعویض کننده انشعابات و کلیدهای تغییر وضعیت تحت جرعه
- ۷- بررسی مکانیزم محرک سیستم تغییر انشعابات
- ۸- بررسی شمارنده تعداد تغییر انشعاب
- ۹- بررسی کارکرد صحیح نمایش گر و هماهنگی آن با مکانیزم عملکرد وضعیت انشعابات
- ۱۰- بررسی کارکرد صحیح لیمیت سوییچ
- ۱۱- بررسی سالم بودن وضعیت مکانیکی تجهیزات متعلقه

- ۱۲- بررسی کارکرد صحیح اهرم دستی و اینترلاک‌های آن
- ۱۳- بررسی وضعیت فیزیکی انتخاب‌گر انشعابات
- ۱۴- درگیر نبودن محور شافت انتقال حرکت
- ۱۵- پس از پر کردن مخزن OLTC توسط روغن، با استفاده از اهرم دستی بر روی کلیه انشعابات حرکت شود از صحت و هماهنگی کلیه تجهیزات اطمینان به عمل آورده شود.
- ۱۶- بررسی ولتاژ شکست روغن مخزن OLTC و در نهایت روغن مخزن OLTC، بایستی با روغن کاملاً تمیز و جدید جایگزین فلاشینگ گردد تا رسوبات کربنیزه شده از مخزن OLTC و متعلقات آن خارج شود.
- (ب) بازرسی و نگهداری تپ چنجر تحت بار از نوع راکتانس (نوع خلأ) که در یک روغن مخزن جداگانه قرار گرفته است.
- برای این موضوع بایستی کلیه مواد قید شده در بند فوق انجام شده و موارد زیر نیز دنبال آن انجام شود.

- ۱- بررسی وضعیت خوردگی کنتاکت‌های قطع جرقه و وجود خلأ
- ۲- بررسی کارکرد صحیح سیستم مونیورنینگ خلأ
- ۳- بررسی هماهنگی عملکرد مخزن خلأ و مکانیزم انتخاب انشعاب
- در این سیستم بایستی مقدار بسیار کم کربن موجود می‌باشد، قدرت عایقی روغن نیز بایستی آزمایش شود (طبق بخش ۵-۳-۴). معمولاً در صورتی که عملکرد تپ چنجرهای خلأ درست باشد، کربن بسیار کمی بوجود خواهد آمد. برای پر کردن نمودن OLTC به وسیله روغن بایستی مطابق دستورالعمل سازنده رفتار شود. اکثر OLTC های از نوع خلأ بایستی در شرایط خلأ و با استفاده از روغن گازدایی شده پر شوند.

#### ۴-۴-۵ فرآیند بازرسی کلی تپ چنجرهای در حالت بی برق (NLTC)

تپ چنجرهای در حالت بی برق در سمت سیم پیچی فشار قوی ترانسفورماتور نصب می‌شود و منظور از آن ایجاد نسبت تبدیل مناسب برای موقعیت‌های مختلف افت و یا افزایش ولتاژی دایم می‌باشد. از آن جایی که این تجهیز همانند یک کلید می‌باشد لذا آزمایش‌ها و بازرسی‌های محدودی برای اطمینان از صحت عمل کرد آن انجام می‌گیرد. بدی عمل کرد این سیستم توسط متصاعد شدن گازهای قابل اشتغال زیاد از روغن آشکار می‌گردد. این گازها بیان‌گر وجود فلز داغ در روغن و بدون اثری از عناصر کاغذ

سلولز در این گازها می‌باشد.

سیستم تپ چنجر نوع حالت بی برق در درون تانک اصلی ترانسفورماتور قرار می‌گیرد. بنابراین برای بازرسی آن لازم است که روغن تانک اصلی به مقداری که تپ چنجر مشاهده شود تخلیه گردد.

بازرسی‌های عیب‌یابی معمولاً شامل موارد تنظیم بودن کنتاکت‌ها تنظیم بودن فشار کنتاکت‌ها و بازرسی چشمی می‌باشد آزمایش‌های تپ چنجر از نوع حالت بی‌برق در حالت ترانسفورماتور بی برق صورت می‌گیرد بازرسی‌های عیب‌یابی برای این نوع تپ چنجر به شرح زیر می‌باشد.

### الف- تنظیم فیزیکی

بعد از بررسی کارکرد صحیح سیستم محرک تپ چنجر بایستی صحت موقعیت کنتاکت‌های آن بررسی گردد. این کار توسط آزمایش نسبت تبدیل انجام می‌شود. این بررسی امکان ارزیابی تنظیم فیزیکی مناسب کنتاکت‌های تپ چنجر را بدون وارد شدن به مخزن ترانسفورماتور فراهم می‌کند. عدم تنظیم فیزیکی کنتاکت‌های تپ چنجر باعث افزایش دمای کنتاکت‌ها شده و در نهایت باعث فالت در ترانسفورماتور می‌گردد این آزمایش معمولاً اولین آزمایش است که بر روی تپ چنجر صورت می‌گیرد.

دستگاه آزمایش نسبت تبدیل ترانسفورماتور به سمت فشار قوی ترانسفورماتور متصل شده و ولتاژ فازهای سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور اندازه‌گیری می‌شود. بعد از تنظیمات دستگاه و قرار دادن تپ چنجر بر روی تپ نول ترانسفورماتور دسته محرک تپ چنجر در یک جهت خاص چرخانیده شده تا این که از نقطه نول ترانسفورماتور جدا شود. موقعیت دسته محرک بایستی علامت زده شود سپس بایستی دسته محرک تپ چنجر در خلاف جهت چرخانیده شده تا این که تپ چنجر به نقطه نول برسد و حرکت دسته ادامه داده شود تا مجدداً از آن جدا شود. موقعیت جدید نیز بایستی بر روی صفحه انتخاب‌گر (Selector) علامت‌زده شود. سپس دسته محرک به موقعیت ON بایستی برگردانیده نشود. موقعیت نهایی دسته محرک باید دقیقاً بین دو علامت زده شده باشد. هرگونه انحراف نشان‌گر عدم تنظیم فیزیکی تپ چنجر بوده و پیش از برق دار شدن ترانسفورماتور بایستی برطرف گردد. فرآیند ذکر شده فوق برای کلیه تپ‌ها بایستی اجرا گردد.

### ب- فشار کنتاكت

بعضی از تکنیک‌های بیان شده در بخش ۵-۱-۱ را می‌توان جهت اندازه‌گیری مقاومت اهمی کنتاكت‌های تپ چنجر استفاده کرد. مقادیر مقاومت‌های اندازه‌گیری شده بایستی مطابق مقادیر ارایه شده توسط سازنده ترانسفورماتور اصلاح گردند. هرگونه انحراف از مقادیر ارایه شده توسط کارخانه (افزایش مقاومت) بیان‌گر عدم فشار مناسب کنتاكت‌ها می‌باشد. علاوه بر این در صورتی که ترانسفورماتور دارای OLTC نیز باشد بایستی برای مقایسه مقادیر مقاومت‌ها OLTC در موقعیت نوترال قرار گیرد. در ترانسفورماتور تک فاز یا اتصال ستاره سه فاز هر فازی که دارای مقاومت بیشتری باشد دارای کنتاكت با فشار کم‌تر از حد مطلوب می‌باشد. در ترانسفورماتورهای با اتصال مثلث در صورتی که مقاومت بین دو بوشینگ بیشتر از حد تعیین شده باشد بیان‌گر وجود کنتاكت ضعیف می‌باشد. اندازه‌گیری‌ها بایستی بر روی کلیه تپ‌ها در حالت بی‌برق صورت گیرد.

در صورتی که هر یک از مقادیر اندازه‌گیری غیرطبیعی باشند، روغن ترانسفورماتور بایستی تخلیه شده و تپ چنجر از ترانسفورماتور جدا شده و آزمایش‌ها مجدداً صورت گیرند تا کاملاً تأیید کننده موردهای مشکوک در تپ چنجر گردند و سپس ترانسفورماتور تحت تعمیر قرار گیرد.

### ج - بازرسی چشمی

جهت بررسی اشکالات عدم تنظیم فیزیکی کنتاكت‌ها و فشار کنتاكت‌ها تپ چنجر نیاز به بازرسی چشمی آن می‌باشد. این بازرسی در آخرین مرحله پس از تخلیه روغن تانک ترانسفورماتور صورت می‌گیرد. در صورتی که از لحاظ دسترسی مکانی و دید موانع وجود داشته باشد بایستی از ابزار کمی برای این منظور استفاده کرد. به عنوان مثال از یک نمایش‌گر فیبرنوری قابل انعطاف برای دیدن کنتاكت‌های تپ چنجر استفاده کرده زمان بازدید از تپ چنجر بایستی علامت‌هایی که ناشی از سوختن یا مسیرهای سوختگی و جرقه می‌باشد مورد توجه قرار گیرد. هرگونه خرابی و یا ضعف در تپ چنجر پیش از نصب مجدد آن بایستی برطرف گردد.



### ۵-۴-۵ تنظیم کننده ولتاژ (Voltage Regulator)

یک تنظیم کننده ولتاژ وسیله‌ای است که ولتاژ را در یک حد از پیش مشخص شده و بدون توجه به نوسانات بار در محدوده مجاز، تنظیم می‌کند. تجهیزات این وسیله شامل یک اتو ترانسفورمر دارای چندین تپ، یک تپ چنجر تحت بار و یک سیستم کنترل می‌باشد. تعمیرات و نگهداری این وسیله معمولاً در دو حالت صورت می‌گیرد یکی در حالت بی برقی و دیگری در حالت برق دار .

#### جزئیات این بازرسی ها و عملیات به شرح زیر می باشند:

**الف- حالت برق دار:** هنگامی که تنظیم کننده ولتاژ در مدار می‌باشد بازرسی‌های

زیر صورت می‌گیرد.

۴- بررسی سطح روغن با استفاده از گیج نصب شده بر روی دستگاه

۵- کارکرد سیستم کنترل را می‌توان با قرار دادن سیستم کنترل در حالت دستی و فرمان دادن به آن جهت افزایش ولتاژ و سپس قرار دادن سیستم کنترل در حالت اتومات می‌توان انجام داد پس از قرار دادن سیستم کنترل در حالت اتومات و طی زمان تأخیر برنامه ریزی شده ، بایستی ولتاژ به سطح از پیش تعیین شده و به صورت اتومات برگردد. معمولاً بایستی سیستم به تپ اولیه خود برگردد مگر این که در طی این مدت ولتاژ ورودی تغییر داده باشد برای بررسی وضعیت کاهش ولتاژ، بایستی فرآیند فوق مجدداً تکرار شود با این تفاوت که در حالت دستی ولتاژ کاهش داده می‌شود.

۳- دمای تنظیم کننده ولتاژ بایستی به وسیله ترمومتر سطح فوقانی روغن و ترمومتر سیم پیچی (در صورت وجود) و یا با استفاده از تکنیک مادون قرمز بررسی شود (به ضمیمه C مراجعه شود) کلیه مقادیر اندازه‌گیری شده بایستی در فازهای مختلف بایستی با یک دیگر مقایسه شوند.

۴- در صورتی که احتمال نشت آب به داخل دستگاه وجود داشته باشد رطوبت موجود در روغن و قدرت عایقی دستگاه بایستی آزمایش شود.

**ب- حالت بی برقی:** بعد از بی‌برق شدن دستگاه تنظیم کننده ولتاژ اندازه گیری‌های زیر بایستی صورت گیرد:

۱- مقاومت عایقی سیم پیچ ها

۲- ضریب قدرت سیستم عایقی

۳- نسبت تبدیل سیم پیچ‌ها

۴- ولتاژ شکست عایقی روغن

بازرسی چشمی بوشینگ‌ها از لحاظ وجود ترک یا نشت روغن نیز بایستی صورت گیرد. این بازرسی در زمان برق‌دار بودن دستگاه مشکل می‌باشد.

در صورتی که نیاز به خارج کردن مجموعه داخلی سیم پیچ‌ها و قطعات از تانک دستگاه باشد موارد زیر نیز بایستی بررسی گردند:

۱- استحکام کلیه اتصالات

۲- بررسی سالم بودن کنتاکت‌ها مطابق دستورالعمل راهنمای سازنده

۳- برای خارج کردن مجموعه تجهیزات از درون تانک بایستی مطابق دستورالعمل راهنمای سازنده رفتار شود.

## ۵-۵ هسته

### ۵-۵-۱ کلیات

هسته ترانسفورماتور یا از نوع زرهی بوده و یا از نوع هسته ای می‌باشند. سیم پیچ‌ها در ترانسفورماتور از نوع هسته‌ای به صورت سیلندری پیچیده شده و حول ساق‌های هسته قرار می‌گیرند. در نوع هسته زرهی: هسته به صورت یک فرم زرهی سیم پیچ‌ها را در بر می‌گیرد. در هر دو شکل هسته، هسته از تانک و دیگر تجهیزات زمین شده، عایق می‌باشد. یک نقطه از هسته ترانسفورماتور جهت جلوگیری از افزایش ولتاژ آن در حین کار زمین می‌گردد. در صورتی که یک نقطه دیگر از هسته ترانسفورماتور به هر علتی زمین شود، یک جریان گردشی که متناسب با عکس مقدار مقاومت مسیر می‌باشد در هسته مغناطیسی ایجاد می‌شود. در صورتی که این فالت در ترانسفورماتور اتفاق بیافتد باعث آسیب جدی به هسته می‌گردد. حرارت ایجاد شده در اثر فالت جریان گردشی در هسته مغناطیسی، باعث تولید مقدار زیادی گاز اتیلن می‌گردد و در صورتی که فالت بسیار شدید باشد مقداری گاز استیلن نیز از روغن ترانس متصاعد خواهد گردید. برای اطمینان از عدم وجود فالت زمین ناخواسته در هسته ترانسفورماتور، مقاومت عایقی هسته بایستی به صورت دوره‌ای اندازه‌گیری شده تا از صحت سیستم عایقی آن اطمینان حاصل گردد.

### ۵-۲-۵ مقاومت عایقی هسته ترانسفورماتور و زمین شدن ناخواسته آن

مقاومت عایقی هسته نسبت به زمین بایستی به صورت دوره‌ای اندازه‌گیری گردد. نتایج اندازه‌گیری از این لحاظ حایز اهمیت می‌باشند. که روند تغییرات آن (کم شدن مقاومت عایقی هسته) بیان‌گر ضعف سیستم عایقی هسته ترانسفورماتور می‌باشد. این آزمایش هم چنین بایستی پیش از قرار دادن ترانسفورماتور در سرویس و یا پس از انجام اصلاحات و یا تعمیرات که ممکن است باعث تأثیر منفی بر روی سیستم عایقی هسته گردند صورت گیرد. البته انجام این آزمایش در زمان‌های دیگر نیز در صورت لزوم می‌تواند صورت گیرد.

از این آزمایش علاوه بر اندازه‌گیری مقاومت عایقی هسته، جهت ردیابی زمین شدگی ناخواسته در هسته ترانسفورماتور نیز ممکن است استفاده شود. تنها روشی که برای آزمایش زمین شدگی ناخواسته هسته ترانسفورماتور صورت می‌گیرد، بی‌برق کردن ترانسفورماتور و انجام آزمایش اندازه‌گیری مقاومت هسته به تنهایی، نسبت به زمین می‌باشد. این آزمایش تنها در صورتی صحیح خواهد بود که نوار زمین هسته از زمین جدا شده و سپس آزمایش اندازه‌گیری مقاومت هسته نسبت به زمین صورت گیرد. در هسته نوع زرهی، نوار زمین معمولاً به راحتی در دسترس نمی‌باشد. در این حالت بایستی از سازنده یا یک مشاور حرفه‌ای مشورت گرفته شود. بعضی از تجهیزات دارای تعداد هسته مغناطیسی بیشتر از یکی بوده و یا هسته آن‌ها به دو واحد مجزا تقسیم شده است تماس این هسته‌ها می‌توانند به صورت یکجا تحت آزمایش اندازه‌گیری مقاومت نسبت به زمین قرار گیرند اما در صورتی که که زمینی شدگی ناخواسته در این هسته‌ها اتفاق افتاده باشد بایستی کلیه نوارهای زمینی آن‌ها جدا گردیده و هر هسته به صورت جداگانه تحت آزمایش قرار گیرد.

این آزمایش پیش از در سرویس قرار دادن ترانسفورماتور و یا پس از اصلاحات و تعمیرات قابل اجرا می‌باشد. در زمان‌های دیگر با استفاده از آزمایش گاز کار موتوگرافی می‌توان بررسی وضعیت مقاومت هسته به زمین را انجام داد.

**فرآیند آزمایش:** برای آزمایش مقاومت عایقی و زمین شدگی ناخواسته هسته ترانسفورماتورها ولتاژ اعمالی نبایستی بیش از ۱۰۰۰ ولت شود. مراحل زیر برای انجام آزمایش لازم می‌باشد.

الف) نوار زمین هسته ترانسفورماتور بایستی مکان یابی شود در ترانسفورماتورهای

جدید از نوع هسته درون، ممکن است اتصال زمین هسته از طریق یک بوشینگ کوچک از ترانسفورماتور بیرون آورده شود و لذا نیازی به باز کردن درب ترانسفورماتور نمی‌باشد. (ب) نوار زمین هسته بایستی از ناحیه اتصال زمین که ممکن است بدنه تانک و یا جای دیگر باشد جدا گردد.

احتیاط: بایستی دقت کرد که کلیه متعلقات فلزی هم چون نوار فلزی، پیچ، مهره و ابزار در مکان مناسبی قرار داده شوند به گونه ای از احتمال سقوط آن‌ها در سیم پیچ‌ها جلوگیری شود.

ج) آزمایش اندازه‌گیری مقاومت بایستی بین نوار زمین و زمین صورت گیرد تا در صورت وجود زمین شدگی ناخواسته وضعیت و مقاومت آن مشخص گردد. مقادیر مقاومت کوچک تر از ۱۰ مگا اهم بایستی با رنج کوچک تر مقاومت اندازه‌گیری شود تا مقدار اندازه‌گیری شده با دقت بیشتر اندازه‌گیری شود.

د) دمای هسته بایستی تخمین زده شود تا مطابق آن مقدار مقاومت اصلاح گردد. تحلیل آزمایش: برای تحلیل نتایج آزمایش به جدول ۹ مراجعه شود.

نوع ترانسفورماتور	مقاومت عایقی هسته	وضعیت عایقی
نو	$< 1000$ مگا اهم	خوب
ترانسفورماتور در سرویس	$< 100$ مگا اهم	خوب
	$10-100$ مگا اهم	ضعف سیستم عایقی هسته
	$< 10$ مگا اهم	باعث ایجاد و جریان گردش شده و بایستی بررسی و رفع عیب گردد

جدول ۹- رنج مقاومت عایقی برای شرایط مختلف سیستم عایقی هسته ترانسفورماتور

### ۵-۳ تعیین مکان زمین شدگی هسته:

در ترانسفورماتورهای قدرت هسته مغناطیسی توسط یک اتصال فلزی زمین می‌گردد. اما به علت‌های مختلف امکان زمین شدن ناخواسته نواحی دیگر این هسته

وجود دارد. در صورت رخ دادن این موضوع بایستی سریعاً مکان زمین شده پیدا گردیده و اشکال برطرف شود.

ردیابی و برطرف کردن این فالت در سایت ، وابسته به شرایط و امکانات موجود در آن می باشد. پیدا کردن فالت با استفاده از بازرسی چشمی در صورتی میسر می باشد که فالت در قسمت بالای هسته در ترانسفورماتورهای نوع هسته ای (Core-form) باشد در غیر این صورت تعیین مکان فالت و رفع آن بسیار مشکل می باشد.

در ترانسفورماتورهای با هسته زرهی (shell-form) نوار فلزی اتصال زمین معمولاً به راحتی در دسترس نمی باشد و از آن جایی که یافتن فالت منوط به در دسترس بودن این نوار می باشد لذا برای دریافت راهنمایی بایستی با کارخانه سازنده مشاوره نمود. برای پیدا کردن مکان زمینی شدگی هسته در اثر فالت بایستی پروسه زیر صورت گیرد:

الف) طی پیدا نمودن نوار زمین هسته مغناطیسی ترانسفورماتور

ب) جدا کردن نوار زمینی از قسمت اتصال به زمین که ممکن است بدنه و یا نقاط دیگر زمین شده باشد.

ج) یک باطری ۱۲ ولتی یا منبع تغذیه DC ایزوله شده به دو طرف ترانسفورماتور به گونه ای که کل هسته ترانسفورماتور در مدار آن قرار گیرد متصل شود.

د) ترمینال منفی یک ولت متر DC به یک نقطه تانک فلزی که کاملاً زمین شده است متصل گردد.

۵- با استفاده از اتصال ترمینال مثبت ولت متر به هسته مغناطیسی ترانسفورماتور بایستی از یک سمت هسته اندازه گیری ولتاژ شروع شود. پس از اتصال ترمینال مثبت ولت متر به هسته بایستی ولت متر یک مقدار ولتاژ را نمایش دهد. در صورت عدم وجود ولتاژ بایستی اندازه گیری از سمت دیگر ترانس آغاز شود. اندازه گیری بایستی در یک جهت ادامه یابد. مقادیر ولتاژ نمایش داده شده به تدریج بایستی کم می شود تا وقتی که مقدار صفر توسط ولت متر نمایش داده شود. آن منطقه محل زمین شدگی ترانس در اثر نقص عایقی می باشد.

**تحلیل آزمایش:** نقطه صفر ولتاژ، محل زمین شدگی ناخواسته هسته می باشد. در این وضعیت امکان پیدا کردن محل زمین شدگی با استفاده از بازرسی فیزیکی و چشمی وجود دارد که به تبع آن رفع اشکال نیز مقدور می باشد. در غیر این صورت بایستی مکان نوار زمین هسته مغناطیسی به محل اشکال انتقال داده شود. گرچه انتقال نوار اشکال را به صورت اساسی مرتفع نمی کند اما به هر صورت باعث کاهش جریان

گردشی و جلوگیری از آسیب رساندن به ترانسفورماتور می‌گردد. در حالتی که هسته ترانس به صورت خارجی به تانک اتصال زمین شده باشد، جریان گردشی ناشی از اتصال زمین ناخواسته هسته را می‌توان با استفاده از یک مقاومت محدود کرد. این کار هم چنین امکان مونیتورینگ هسته ترانسفورماتور را در حالت برق دار فراهم می‌کند. برای این کار، بایستی ولتاژ دو سر مقاومت اندازه‌گیری شود. پیش از انجام این تکنیک حتماً بایستی با سازنده ترانسفورماتور مشورت شود.

## ۵-۶ تانکها و تجهیزات جانبی

### ۵-۶-۱ کلیات

اکثراً تجهیزات الکتریکی در درون محفظه و یا یک پوشش فلزی قرار دارند که نقش حفاظت کننده مکانیکی و نیز نگهدارنده سیال عایق را به عهده دارد. در ترانسفورماتور تانک این نقش را به عهده دارد که همراه با آن تعدادی بوشینگ، بستها و دیگر تجهیزات جانبی نیز وجود دارد. نوع و تعداد این تجهیزات وابسته به اندازه، کلاس ولتاژ و مورد بهره برداری آن می‌باشد. تجهیزات جانبی امکانات زیر را فراهم می‌کنند:

۱- نمایش‌گر چشمی و وضعیت داخلی ترانسفورماتور

۲- هشدار دهنده در وضعیت‌های غیرطبیعی

۳- بهبود دهنده کارکرد ترانسفورماتور

### ۵-۶-۲ کنسرواتورها

کنسرواتورها مخازنی هستند که معمولاً بالاتر از سطح فوقانی تانک ترانسفورماتور قرار می‌گیرند. ته کنسرواتور بالاتر از سطح فوقانی تانک اصلی بوده و توسط یک لوله به تانک متصل می‌گردد. این وضعیت باعث ایجاد یک فشار مثبت در درون تانک نسبت به فشار اتمسفر می‌گردد و در نتیجه مانع از نفوذ رطوبت و آلودگی موجود در هوای خارج از تانک به درون تانک می‌شوند. معمولاً یک شیر در مسیر لوله اتصال به تانک از کنسرواتور و هم چنین یک نمایش‌گر سطح روغن بر روی کنسرواتور موجود می‌باشد. منظور از استفاده از کنسرواتور ایجاد یک مخزن برای حالتی است که دمای ترانسفورماتور و روغن آن افزایش یافته و به تبع آن حجم روغن آن در درون تانک افزایش یابد، میزان حجم افزوده روغن به داخل کنسرواتور منتقل شده و در

صورتی که دمای ترانسفورماتور کاهش یابد و یا نشت روغن وجود داشته باشد روغن از طریق کنسرواتور به تانک تغذیه می‌شود. اصولاً سه نوع سیستم کنسرواتور برای ترانسفورماتور وجود دارد. قدیمی‌ترین نوع آن تنفس آزاد می‌باشد. در این نوع سطح روغن با افزایش و کاهش دمای روغن، کاهش و افزایش یافته و روغن مستقیماً با هوای محیط در تماس می‌باشد. بعضی از کنسرواتورهای تنفس آزاد به خشک کننده و یا تمیز کننده هوای محیط که با روغن در تماس می‌باشند مجهز می‌باشند. دو نوع دیگر کنسرواتور از تماس روغن با هوای محیط جلوگیری می‌کنند. جدیدترین نوع کنسرواتور از یک سلول هوایی (که نام دیگر آن بادکنک است) استفاده میکنند که به صورت یک بالون داخل کنسرواتور را در بر گرفته است. وقتی که سطح روغن در کنسرواتور افزایش و یا کاهش می‌یابد به ترتیب هوا از توسط بالن از داخل کنسرواتور به بیرون و یا درون داده می‌شود. نوع قدیمی‌تر کنسرواتور توسط یک دیافراگم مجهز شده که با افزایش و یا کاهش حجم روغن داخل تانک پرده دیافراگم قوس به دخل و یا خارج پیدا می‌کند.

#### در بازرسی‌های کنسرواتور بایستی فرآیند زیر در نظر گرفته شود:

سطح روغن نمایش داده شده توسط نمایشگر سطح روغن کنسرواتور بایستی ثبت گردد. سطح ثبت شده بایستی نسبت به موقعیت علامت ۲۵ درجه سانتی گراد ثبت گردد. هم چنین دمای روغن در سطح فوقانی تانک نیز بایستی ثبت گردد. این دما برای اصلاح سطح ثبت شده روغن در کنسرواتور مورد استفاده قرار می‌گیرد. سطح اصلاح شده روغن با توجه به دما بایستی معادل سطح روغن در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد باشد. **تحلیل:** در صورتی که سطح ثبت شده و اصلاح شده طبیعی باشد نیاز به هیچ گونه عمل کرد اضافی نمی‌باشد. در صورتی که سطح بالاتر یا پایین‌تر از حد طبیعی باشد بایستی مجدداً مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده، بررسی گردند. در نهایت نتیجه‌گیری بر اساس مقادیر نهایی صورت گیرد. نتایج نهایی بیانگر لزوم کاستن و یا افزودن روغن به ترانسفورماتور می‌باشد که بایستی طبق دستورالعمل سازنده ترانسفورماتور باشد. علاوه بر این بایستی پیش از هر اقدامی علت را جستجو و مرتفع نمود. سطح روغن در صورت عدم وجود نشتی بایستی ثابت باقی بماند.

#### ۵-۶-۳ سیستم خنک کننده

ترانسفورماتورهای بزرگ قدرت به انواع مختلف سیستم‌های خنک کننده مجهز می‌گردند. این سیستم‌ها ترکیبی از رادیاتورها، پمپ‌ها و فن‌ها می‌باشند.

### ۵-۶-۳-۱ سیستم کنترل فن‌ها

فن‌های خنک‌کننده به گونه‌ای طراحی می‌گردند که هم به صورت فرمان دستی و هم به صورت فرمان اتوماتیک به کار می‌افتند. فرمان اتوماتیک برای فن معمولاً وابسته به میزان بارگیری و یا برقدار شدن ترانسفورماتور و یا هر دوی آن‌ها می‌باشد. در صورتی که ترانسفورماتور دارای یک ظرفیت نامی باشد، سیستم خنک‌کننده بایستی هنگامی که ترانسفورماتور برقدار می‌شود به مدار بیاید چرا که این ترانسفورماتور تنها حالتی که سیستم خنک‌کننده در مدار باشند می‌توانند بار نامی را ارایه دهند و در غیر این صورت شدیداً افزایش دما خواهند داشت. ترانسفورماتورهای دارای سه ظرفیت بارنامی می‌تواند بدون سیستم خنک‌کننده و توسط دو مرحله در مدار آمدن سیستم‌های خنک‌کننده سه ظرفیت را ارایه دهند. این سه حالت خنک‌کنندگی به ترتیب توسط دمای روغن یا بار ترانسفورماتور و یا دمای سیم پیچ در مدار قرار می‌گیرند.

#### بازرسی سیستم خنک‌کننده بایستی طبق فرآیند زیر صورت گیرد:

**فرآیند:** به منظور تعیین نحوه و چگونگی فرآیند بازرسی و آزمایش سیستم خنک‌کننده ترانسفورماتور نوع آن بایستی مشخص گردد. راه اندازی دستی پمپ‌های پرسرعت سیستم خنک‌کننده در بعضی شرایط و در بعضی از ترانسفورماتورهای قدرت ممکن باعث ایجاد اشکال شود. لذا در این مورد بایستی مطابق دستورالعمل راهنمای سازنده رفتار کرد.

**کنترل دستی:** این حالت از سیستم فرمان بایستی به صورت کوتاه مدت صورت گیرد تا اطمینان از صحت مدارات و وجود برق ایجاد گردد. در این حالت بایستی روشن شدن فن‌های خنک‌کننده بررسی شود. پمپ‌های روغن نیز بایستی با مشاهده گیک‌های نشان دهنده جریان روغن بازرسی گردند. دستورالعمل راهنمای سازنده به عنوان راهنمای اصلی فرآیند بایستی در نظر گرفته شود.

**کنترل کننده دما:** سنسور درجه حرارت بایستی از چاهک خود در بدنه ترانس خارج گردیده و سیستم کنترل در حالت اتومات قرار داده شود. با استفاده از سیستم کالیبراسیون دستگاه کنترلر حرارت درجه حرارت ترمومتر بایستی به تدریج افزایش داده شود و عمل کرد سیستم اتومات خنک‌کن متناسب با دماهای ایجاد شده بررسی گردد.



**کنترلر بار:** ابتدا بایستی جریان ترانسفورماتور جریان نصب شده جهت این امر بررسی شود تا از صحت مدار آن اطمینان کامل فراهم شود. پس از اتصال کوتاه کردن خروجی ترانسفورماتور جریان (در صورت برقرار نمودن ترانسفورماتور) سیم‌های ترانسفورماتور جریان بایستی از مدار کنترل جدا شود. سپس بایستی جریان به مدار کنترل تزریق شود و مقدار آن تغییر داده شود و مطابق مدار کنترل، فرمان‌های داده شده به قسمت‌های مختلف سیستم کنترل و بررسی شود.

**تحلیل:** هرگونه عمل کرد ناصحیح سیستم خنک کننده بایستی کاملاً اصلاح گردد تا ترانسفورماتور کارآیی مناسب را ارایه نماید.

**احتیاط:** هنگام کار با ترانسفورماتورهای جریان برقدار بایستی دقت کامل به عمل آورده شود. زیرا که در صورت باز بودن مدار CT امکان ایجاد حوادث مخرب بدون هشدار برای CT فراهم می‌گردد.

#### ۵-۶-۳-۲ چرخش فن‌های خنک کننده

فن‌های خنک کننده جهت به حرکت در آوردن هوا در کانال‌های رادیاتورها و انتقال حرارت از روغن عایق ترانسفورماتور به محیط تعبیه گردیده‌اند. چرخش پره‌های فن‌های سیستم خنک کننده بایستی از این لحاظ بررسی شوند که از جهت حرکت صحیح هدایت هوا به رادیاتور اطمینان حاصل شود. برای راحتی کار می‌توان جهت چرخش فن‌ها را دقیقاً پس از استارت و یا پس از فرمان خاموش شدن که فن‌ها دارای سرعت کم تری می‌باشند مشاهده کرد.

**احتیاط:** هنگام بررسی حرکت فن بایستی ایمنی کامل از جهت برخورد با پره فن‌ها رعایت شود.

#### ۵-۶-۳-۳ بازرسی چشمی فن‌های خنک کن

فن خنک کن جهت افزایش میزان انتقال حرارت ناشی از تلفات ترانسفورماتورها به محیط طراحی و به کار گرفته می‌شوند. با فرض این که طراحی فن‌های به صورت صحیح صورت گرفته است ولی بایستی سرعت آن‌ها، عدم بسته بودن مسیر هوای

عبوری، محافظ‌ها و پره‌ها بازرسی گردند. بررسی سرعت فن‌ها را می‌توان با دیگر فن‌ها انجام داد. البته تا کومتر نیز قابل استفاده بوده ولی معمولاً به ندرت استفاده می‌شود.

**تحلیل:** جریان ناکافی هوا باعث کاهش کارایی سیستم خنک کننده شده و سبب افزایش دماهای ترانسفورماتور و به دنبال آن آسیب به آن می‌گردد. کلیه فن‌هایی که دارای سرعت طراحی شده نمی‌باشند بایستی جایگزین گردند کلیه محدودیت‌های مسیر هوا به درون رادیاتورهای بایستی مرتفع گردند پره‌های فن‌ها و نیز محافظ‌های فن‌ها در صورت معیوب بودن اصلاح و یا تعویض گردند.

**۵-۶-۴ مبدل‌ها (heat exchangers) در سیستم خنک کننده ترانسفورماتور**  
اصولاً دو نوع از مبدل‌های حرارتی جهت خارج حرارت ایجاد شده از ترانسفورماتور مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### الف) خنک کننده با آب

این نوع از مبدل حرارتی شامل یک مجموعه از لوله‌های نصب شده در درون یک مخزن می‌باشند که در روغن عایق ترانسفورماتور غوطه‌ور می‌باشد. آب خنک در این لوله پمپ شده در حرارت موجود در روغن عایق توسط این آب خنک جذب گردیده و سپس از محیط خارج می‌گردد.

### ب) خنک کننده روغن-آب

این سیستم در بعضی از ترانسفورماتورهای قدیمی نیروگاه‌ها به کار گرفته می‌شود. **ج) خنک کننده با حرکت هوای اجباری و حرکت روغن اجباری (forced-air, forced-oil cooler)**

این نوع از مبدل‌ها در ابتدا در نیروگاه‌ها و ترانسفورماتورهای با ولتاژ بسیار بالا و بزرگ به کار گرفته می‌شدند. سمت ورودی و خروجی لوله‌ها در یک طرف مبدل بوده و در طرف دیگر مبدل، فن نصب می‌شود. در این مبدل‌ها از لوله‌های کوچک و معمولاً عمودی که توسط فن‌های نازک در بر گرفته شده‌اند استفاده می‌شوند. به علت نزدیکی فن‌ها به یک دیگر این نوع از مبدل راندمان بسیار بالایی دارد اما احتمال مسدود شدن این لوله‌ها به وسیله رسوبات و یا مواد دیگر زیاد می‌باشد. کاهش میزان جریان هوای

خنک کننده نیز تأثیر قابل توجهی بر روی کارایی مبدل دارد. مابقی ترانسفورماتورها همگی به رادیاتور مجهز می‌باشند. این نوع سیستم خنک کننده از چندین لوله دراز، پهن و تخت تو خالی که بین دو لوله که هدر نامیده می‌شوند تشکیل گردیده است. به صورت طبیعی روغن عایق گرم به هدر فوقانی جریان پیدا کرده و پس از سرد شدن در طی حرکت در رادیاتور به هدر پایین منتقل و وارد تانک اصلی ترانسفورماتور می‌گردد.

برای بازرسی و نگهداری سیستم خنک کننده بایستی دقیقاً نوع و مشخصات آن با استفاده از راهنماهای موجود و راهنمای سازنده شناسایی شده و با این اطلاعات روش مناسب در نظر گرفته شود.

### سیستم خنک کننده با آب

در این سیستم مقدار جریان آب بایستی بررسی شود تا از کارایی کامل سیستم خنک کننده اطمینان حاصل شود. مقدار ناکافی جریان آب و یا مقدار زیاده از حد جریان آب باعث کاهش کارایی این نوع از سیستم خنک کننده می‌شود. در این سیستم بایستی نمونه‌گیری در فواصل زمانی کوتاه‌تر نسبت به سیستم‌های دیگر صورت گیرد (هفتگی) چرا که در صورت وجود نشت آب به روغن در حداقل زمان ممکن بایستی این نشت مرتفع گردیده و آب نشت کرده به روغن از روغن جدا شود.

**تحلیل:** در این سیستم تنظیم کننده فشار و یا عملکرد پمپ آب (یا هر دو) بایستی تنظیم گردیده تا میزان مطلوب جریان آب برای ایجاد ماکزیم راندمان مبدل فراهم گردد. در صورت مشاهده هر مقدار آب در نمونه روغن بایستی سریعاً ترانسفورماتور از سرویس خارج شده تا این که نشتی آب مرتفع شده روغن آغشته به آب تصفیه گردد.

### سیستم خنک کننده هوا

در این سیستم بایستی بازرسی چشمی در سرتاسر سیستم خنک کننده صورت گیرد. برای بازرسی از لحاظ گیر کردن مواد خارجی با استفاده از یک منبع نور که از طرف مقابل به درون مبدل تابانیده می‌شود. می‌توان این بازرسی را انجام داد. هم چنین سطوح فین‌ها بایستی از نظر چسبیدن مواد آلوده کننده به آن‌ها بازرسی گردد.

چرا که چسبیدن مواد آلوده کننده به این سطوح باعث کاهش انتقال حرارت می‌گردد. برای بررسی وضعیت مکش هوا از درون مبدل و توسط فن بایستی از یک کاغذ با وزن استاندارد استفاده کرد. این کاغذ بایستی توسط نیروی هوای مکش شده در قسمت مکش هوا به مبدل جذب گردد.

برای اندازه گیری دقیق تر میزان جریان هوا می توان از یک آنومتر و اندازه‌گیری جریان هوا در نقاط مختلف خنک کننده و مقایسهٔ مقادیر به دست آمده با یک نمونه همانند استفاده کرد.

### رادیاتورها

در این سیستم معمولاً در مقدار جریان هوا به علت فاصله زیاد بین لوله‌ها اشکالی ایجاد نمی‌شود.

**تحلیل:** بایستی دقت لازم جهت برطرف کردن هرگونه گیرکردگی بین فن‌ها لوله‌های سیستم‌های خنک شونده با هوا و یا رادیاتورها صورت گیرد. علاوه بر این بایستی هر گونه آلودگی چسبیده به سطوح فن‌ها، لوله‌ها و رادیاتورها جهت جلوگیری از کاهش میزان انتقال حرارت و یا کاهش راندمان برطرف گردد.

احتیاط: هنگام کارکردن در مجاورت و یا نزدیکی فن‌ها بایستی احتیاط کامل جهت ایمنی در مقابل برخورد با پره‌های فن‌ها به عمل آید.

### ۵-۶-۵ پمپ‌های سیستم خنک کننده

ترانسفورماتورهای بزرگ معمولاً جهت افزایش راندمان سیستم خنک کن به پمپ‌های روغن مجهز می‌گردند. این پمپ‌ها توسط موتورهای تک فاز و یا سه فاز با ولتاژ ۲۳۰ الی ۴۸۰ ولت به حرکت در می‌آیند. موتورها و ظرفیت پمپ‌ها بسته به مشخصات ترانسفورماتور و طراحی متفاوت می‌باشند. اکثریت پمپ‌ها دارای بیرینگ تراست از نوع اسلیو (Sleeve Bearing) یا نوع توپی یا غلطی می‌باشند. روغن ترانسفورماتورها از درون موتور پمپ و سیم پیچ‌های آن گذشته و باعث خنک‌کنندگی موتور نیز گردند.

### ۵-۶-۱-۵ بیرینگ‌های پمپ‌های خنک‌کننده

ضعف بیرینگ‌ها در پمپ باعث ایجاد اشکال در پمپ می‌گردد. در اکثر تجهیزات تنها راه بازرسی ضعف بیرینگ‌های پمپ‌ها، باز کردن پمپ و بازدید چشمی بیرینگ‌ها می‌باشد. لرزش‌ها و یا سروصدای غیرطبیعی پمپ در حین کار بیان‌گر نیاز به بازرسی پمپ می‌باشد. اما این روش در تجهیزات حساس مطلوب نمی‌باشد. یکی از روش‌های که برای بازرسی ضعف بیرینگ‌ها در سیستم‌های خنک‌کننده جدید در نظر گرفته شده استفاده از تکنیک فیبرنوری می‌باشد. در این تکنیک دیگر نیازی به باز کردن پمپ برای بازرسی وضعیت بیرینگ‌ها آن نمی‌باشد.

پس از باز کردن پمپ از سیستم میزان لقی انتهای شافت بایستی اندازه‌گیری شود. هم‌چنین پره و مکان جاگیری پره از لحاظ سالم بودن و عدم وجود ایراد در آن بایستی بررسی گردد.

**تحلیل:** در صورت وجود ضعف زیاد در بیرینگ‌ها که توسط میزان لقی انتهای شافت مشخص می‌گردد بایستی از دستورالعمل راهنمای سازنده جهت ارزیابی دقیق و اقدامات لازم استفاده کرد. هرگونه ضعف در پروانه یا مکان قرارگیری پروانه پمپ بیان‌گر ضعف بیش از حد بیرینگ تراست پمپ می‌باشد.

**احتیاط‌ها:** برای باز کردن پمپ سیستم خنک‌کننده روغن ترانسفورماتور نیاز به اطلاعات کامل در رابطه با مدار گردش روغن در سیستم خنک‌کننده می‌باشد. جهت این امر بایستی ترانسفورماتور و پمپ بی‌برق شوند روغن سیستم خنک‌کننده مدار روغن ورودی به پمپ بایستی مسدود گردیده و روغن باقی‌مانده در پمپ موردنظر بایستی پیش از باز کردن پمپ تخلیه گردد. توصیه می‌شود که در پوش‌های مناسبی جهت در لوله‌هایی که پمپ از آن جدا گردیده در نظر گرفته شود. پمپ‌ها به هیچ وجه نبایستی بدون غوطه‌وری کامل در روغن عایق راه اندازی شوند.

### ۵-۶-۲ اشکالات الکتریکی در پمپ‌های سیستم خنک‌کننده

از آن جایی که روغن موجود در تانک اصلی ترانسفورماتور در داخل موتورهای پمپ‌های سیستم خنک‌کننده نیز جاری می‌شود لذا اشکال الکتریکی در موتور پمپ‌ها باعث متصاعد شدن گاز از روغن گردیده و هنگام گاز کار موتوگرافی روغن ترانسفورماتور این موضوع آشکار می‌شود که البته دلیل متصاعد شدن گاز در این آزمایش آشکار نمی‌باشند.

به صورت دوره‌ای و یا پس از مشخص شدن میزان غیرنرمال گازهای قابل اشتعال در روغن ترانسفورماتورها، جریان الکتریکی در یک از فازهای موتورهای پمپ‌های در حال کار بایستی به دقت اندازه‌گیری شوند.

**تحلیل:** نامتعادلی زیاد جریان در فازهای مختلف در صورتی که بیش از ۱۵ الی ۲۰ درصد باشد نشان‌گر وجود اشکال در موتور الکتریکی پمپ می‌باشد. جریان موتورهای مختلف نیز بایستی با یک دیگر مقایسه شوند. اختلاف زیاد جریان در موتورهای مختلف نمایش‌گر وجود مانع و مسدود بودن مسیر پمپ می‌باشد که بایستی مرتفع گردد.

### ۵-۶-۳ چرخش پمپ‌های سیستم خنک‌کن روغن

این عیب‌ها در بیشتر تجهیزات از نوع سانتریفوژ بوده و پمپ کردن این پمپ‌ها بسته به جهت چرخش آن‌ها نمی‌باشد این پمپ‌ها بایستی به صورت دستی روشن و خاموش شوند و عملکرد هر یک با استفاده از گیج‌های جریان روغن در زمان روشن بودن پمپ مشاهده شود. میزان جریان روغن بایستی پیش از روشن شدن پمپ به عنوان یک مرجع در نظر قرار گیرد.

**تحلیل:** پمپ‌هایی که در جهت عکس طراحی، چرخیده شوند جریان سیال ایجاد شده توسط آن‌ها کم‌تر از جریان سیال در حالت نرمال چرخش پمپ می‌باشد. در صورتی که گیج جریان سیال مقدار کم‌تر از نرمال را نشان دهد و موتور پمپ سه فاز باشد نشان دهنده عکس بودن جهت چرخش پمپ می‌باشد و لذا با جابجا کردن جای دو فاز می‌توان جهت چرخش پمپ را به حالت اصلی تبدیل نمود. در حالت اصلی چرخش، میزان جریان سیال پمپ شده به مراتب بیش از حالت عکس جهت چرخش می‌باشد.

### ۵-۶-۶ رلهٔ ردیاب گاز در روغن ترانسفورماتور

معمولاً تنها ترانسفورماتورهایی که دارای کنسرواتور می‌باشند به رلهٔ ردیاب گاز در روغن مجهز می‌شوند. رلهٔ ردیاب گاز، وجود گازهای آزاد متصاعد شده از روغن را ردیابی می‌کند. هنگامی که گاز از روغن متصاعد شده و به صورت آزاد رها می‌شود به معنی این است که روغن ترانسفورماتور به حالت اشباع از گازهای محلول در آمده است. نشئت هوا به درون ترانسفورماتور که معمولاً در شرایط آب و هوایی بسیار سرد اتفاق

می افتد نیز توسط رلهٔ ردياب گاز قابل ثبت می‌باشد.

گازهای متصاعد شده و انباشته شده در تانک ترانسفورماتور هنگامی گيج فشار عدد بالای صفر را نمایش دهد بایستی بر اساس دستورالعمل سازنده آنالیز گردد. هم چنین گازهای محلول در روغن نیز بایستی تحت آنالیز و بررسی قرار گیرد تا در صورت نیاز اقدام به تعمیرات پیش گیرانه و یا اصلاحی نمود.

اخیراً تجهیزاتی برای ترانسفورماتورها ساخته و نصب شده که به صورت محدود گازهای موجود در روغن را به صورت on line آنالیز می‌کند.

هدف از این تجهیزات ایجاد یک علامت هشدار برای هنگامی که گازهای تولید شده و محلول در روغن بیش از حد شود می‌باشد. زمانی که این هشدار ایجاد گردید بایستی آزمایشات کامل گاز محلول در روغن صورت گیرد.

#### ۵-۶-۷ رلهٔ افزایش فشار گاز

رله‌های افزایش فشار گاز ناگهانی در درون تانک دو نوع می‌باشند. معمول‌ترین آن در زیر روغن نصب می‌شود. نوع دیگر آن در فضای گاز نصب می‌گردد. آرک (جرقه) داخلی در تجهیزات قدرت که با روغن پر شده‌اند باعث ایجاد فشار گاز بسیار زیاد می‌گردد به گونه‌ای که می‌تواند صدمات شدیدی برای تجهیز و یا افراد و ایجاد رلهٔ فشار گاز ناگهانی با فعال نمودن سریع سیستم حفاظت مانع از ایجاد صدمات شدید به تجهیزات و یا افراد می‌گردد برای تنظیم، تعمیر و یا جای‌گزینی این سیستم بایستی توصیه‌های سازنده ترانسفورماتور کاملاً رعایت شود.

#### ۵-۶-۸ گيج جریان روغن

کلیهٔ پمپ‌های خنک‌کننده تجهیزات قدرت، بایستی به گيج جریان روغن مجهز شدند. هدف از استفاده از این وسیله این است که مشخص شود آیا جریان روغن به داخل پمپ وجود دارد و یا خیر این گيج برای نمایش سرعت و یا شرایط پمپ مورد استفاده نمی‌باشد. پس از اطمینان از روشن بودن پمپ‌های سیستم خنک‌کن، گيج جریان روغن بایستی از لحاظ نشان دادن جریان روغن مشاهده شود. سپس پمپ بایستی موقتاً خاموش شده و گيج باید عدم عبور جریان روغن را نمایش دهد.

**تحلیل:** در صورتی که پمپ روشن باشد ولی جریان روغن توسط گيج نشان داده

نشود امکان اشکال در سیستم فرستنده سیگنال برای گیج وجود دارد. در صورتی که پمپ خاموش شود ولی گیج جریان، وجود جریان روغن را نمایش دهد امکان گیر بودن گیج در قسمت نشان داده شده و یا اشکال در واحد فرستنده سیگنال جریان وجود دارد. لذا واحد فرستنده و یا گیج بایستی تعویض گردند. در هنگامی که پمپ خاموش می‌شود در یک فاصله کوتاه گیج مقداری جریان را نمایش خواهد داد. که این امر طبیعی و ناشی از ممان حرکت سیال می‌باشد.

احتیاط: فقدان جریان روغن در پمپ‌های روغن در طی سرویس دهی بیان‌گر ایراد در خود پمپ روغن می‌باشد و بایستی سریعاً رفع اشکال گردد.

### ۵-۶-۹ بازرسی چشمی گیج‌های سطح روغن

اطلاع از سطح روغن موجود در تانک ترانسفورماتور از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. اکثر تانک‌های ترانسفورماتورها به گیج نمایش دهنده سطح روغن که در ۲۵ درجه سانتی‌گراد نرمالیزه گردیده مجهز می‌باشند. متناسب با افزایش و یا کاهش دمای روغن ترانسفورماتور سطح روغن آن مطابق با آن افزایش و یا کاهش خواهد داشت. ممکن است در پلاک مشخصات ترانسفورماتور مقدار افزایش سطح روغن به ازاء هر ۱۰ درجه سانتی‌گراد افزایش و یا کاهش دمای روغن قید گردیده باشد. گیج‌های معمول از نوع شناور بوده و با یک دو آلارم مجهز می‌باشد. یکی از این کنتاکت‌های در زمان پایین بودن سطح روغن فعال (بسته و یا باز) شده و فعال شدن دیگری در صورت تعبیه شدن بیان‌گر بالا بودن سطح روغن تانک ترانسفورماتور می‌باشد.

این گیج‌ها هیچ‌گاه نبایستی کالیبره مجدد گردند و در صورت عدم کالیبره بودن بایستی تعویض کامل صورت گیرد.

احتیاط‌ها: مناسب بودن سطح روغن در کلیه شرایط کارکرد و دماهای ترانسفورماتور لازم و ضروری می‌باشد. عدم تنظیم سطح روغن باعث کاهش کارایی سیستم خنک کننده شده و پیامد آن آسیب شدید به ترانسفورماتور خواهد بود.



### ۵-۶-۱۰ کالیبره کردن چشمی گیج‌های فشار

فشار داخلی ترانسفورماتور قدرت ناشی از دمای روغن و گازهای متصاعد شده از آن می‌باشد. این فشار توسط گیج‌های فشار اندازه‌گیری می‌شوند. گیج‌های فشار ترانسفورماتور بایستی به صورت دوره‌ای و بر اساس منابع و استانداردها کالیبره گردند، در تپ چنجر تحت بار (LTC) و یا تنظیم‌کننده‌های ولتاژ، تانک روغن بایستی دارای یک فشار مثبت نسبت به تانک ترانسفورماتورها باشند.

در صورتی که تپ چنجر (LTC) از نوع خلأ باشد. هیچ‌گونه فشار مثبتی نبایستی در آن ایجاد گردد. در مخزن تپ چنجر تحت بار، مخزن روغن کاملاً آب بندی شده و با هر تعویض تپ مقداری گاز از روغن متصاعد شده و افزایش فشار را در داخل مخزن در پی خواهد داشت. این سیستم به یک شیر رها کننده فشار مجهز بوده که در فشار 3 psi باز شده و در فشار 1 psi مجدداً بسته می‌شود. این شرایط باعث جلوگیری از نفوذ رطوبت به داخل مجموعه تپ چنجر می‌گردد.

**احتیاط:** فشار زیاد در این سیستم بیانگر شرایط نامناسب و وجود فالت در تپ چنجر بوده و بایستی فوراً بازرسی و رفع عیب گردد.

### ۵-۶-۱۱ گیج‌های دما

گیج‌های دمای روغن و دمای منطقه داغ برای کارکرد مناسب ترانسفورماتور حایز اهمیت می‌باشند. این گیج‌ها نه تنها دما را نمایش می‌دهند بلکه باعث فعال شدن فن‌ها و سیستم خنک‌کن توسط میکروسوییچها که قابل تنظیم برای دماهای مختلف می‌باشند می‌گردند. این گیج‌ها بایستی به صورت دوره‌ای و در آزمایشگاه کالیبره گردند.

### الف) کالیبراسیون گیج دمای سطح فوقانی روغن

این گیج بایستی از موقعیت خود در ترانسفورماتور جدا شده و توسط یک مرجع کالیبره و یک حمام روغن داغ با دمای قابل کنترل کالیبره گردد. کالیبراسیون بایستی در چندین دما صورت گیرد.

### ب) کالیبراسیون گیج دمای نقطهٔ داغ سیم پیچ‌ها

این گیج بر پایه جریان ترانسفورماتور و دمای سطح فوقانی روغن ترانسفورماتور دمای منطقه داغ سیم پیچ‌ها شبیه سازی و نمایش می‌دهد. با استفاده از دستورالعمل راهنمای سازنده دستگاه بایستی این شرایط در محیط آزمایشگاه برای این سیستم مشابه سازی شده و کالیبره گردد.

### ضمیمهٔ الف:

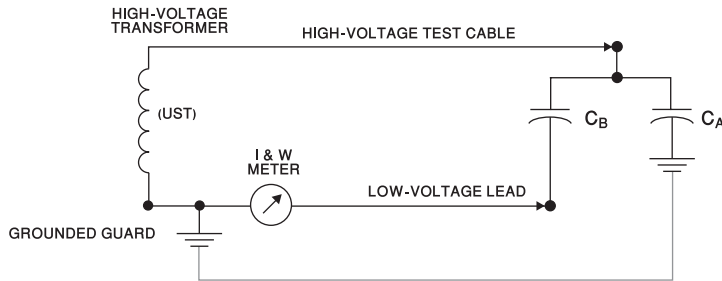
#### اندازه گیری ضریب قدرت

##### الف-۱ کلیات

دستگاه‌های آزمایش ضریب قدرت که به صورت تجاری- صنعتی در بازار موجود می‌باشند به گونه‌ای طراحی گردیده‌اند که با استفاده از آن‌ها می‌توان به راحتی سیستم‌های عایقی پیچیده را در حالت‌های مختلف آزمایش کرد. حالت‌هایی که در این دستگاه‌ها تعریف شده‌اند عبارت‌اند از: آزمایش تجهیزات زمین نشده (UST)، تجهیزات زمین شده (GST) و تجهیزات زمین شده همراه با گارد می‌باشند. این موضوع آزمایش قسمت‌های مختلف یک سیستم عایقی پیچیده را امکان پذیر می‌سازد.

##### الف-۲ آزمایش تجهیزات زمین نشده (UST)

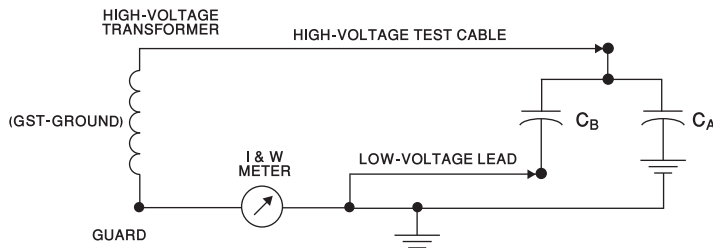
حالت UST برای اندازه‌گیری و ارزیابی سیستم عایقی بین دو ترمینالی می‌باشد که زمین نشده‌اند و یا امکان جدا شدن از زمین را دارند. در حالت UST جریان جاری شده در سیستم عایقی بین ترمینال‌های تحت ولتاژ تجهیز تحت تست اندازه گیری شده و جریان جاری شده به زمین اندازه‌گیری نمی‌شود این حالت در شکل الف-۱- الف نمایش داده شده است.



الف: آزمایش یک پوشینگ کندانسوری دارای تپ در حالت UST (روش آزمایش تجهیز بدون اتصال به زمین) که تنها  $C_B$  آزمایش می‌شود.

### الف-۳ آزمایش تجهیزات زمین شده GST

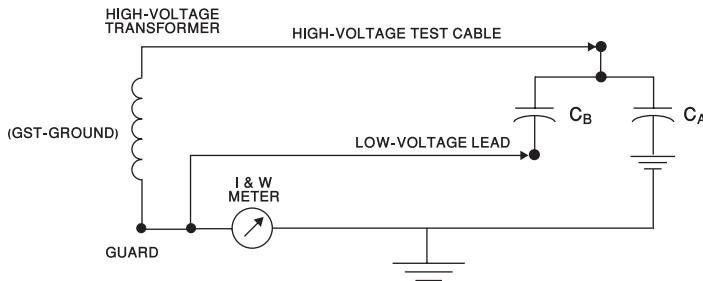
آزمایش در حالت GST، آزمایش سیستم عایقی بین یک ترمینال زمین شده و یک ترمینال زمین نشده در یک تجهیز الکتریکی می‌باشد. در حالت GST کل جریان جاری شده به زمین اندازه‌گیری می‌گردد. این حالت در شکل الف-۱-ب نمایش داده شده است.



ب: آزمایش پوشینگ کندانسوری دارای تپ در حالت GST

### الف-۴ آزمایش تجهیزات زمین شده همراه با گارد

حالت GST - گارد این امکان را فراهم می‌کنند تا جریان‌های ناخواسته از مسیر اندازه‌گیری خارج شوند و امکان آزمایش بخشی کوچکی از سیستم عایقی را به صورت مجزا فراهم می‌کند. در این روش تنها جریان وارد شده به زمین اندازه‌گیری می‌شود این حالت اندازه‌گیری در شکل الف.۱.ج نمایش داده شده است.



ج: آزمایش بوشینگ کندانسوری دارای تپ در حالت اتصال به گارد در این حالت تنها خازن CA آزمایش می‌شود.

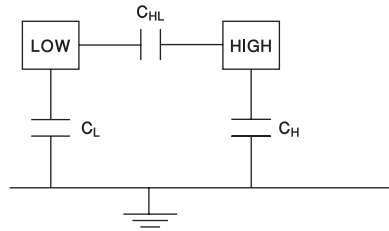
### الف-۵ سیستم‌های عایقی ساده و پیچیده

#### الف-۵-۱ سیستم‌های عایقی ساده

یک سیستم عایقی ساده شامل دو ترمینال که توسط عایق جدا گردیده اند می‌باشد. این سیستم شبیه یک خازن می‌باشد یک مثال برای یک سیستم عایقی ساده بوشینگی می‌باشد که از یک هادی که از وسط آن گذشته و یک فلنچ که محل اتصال آن به بدنه تجهیز می‌باشد تشکیل شده است. فلنچ و هادی، دو الکترود این سیستم عایقی ساده می‌باشد.

#### الف-۵-۲ سیستم عایقی پیچیده

یک سیستم عایقی پیچیده شامل سه یا بیشتر ترمینال بوده که توسط عایق از یک دیگر جدا گردیده‌اند. یک سیستم عایقی با سه ترمینال را می‌توان به صورت یک شبکه سه خازنی و یک سیستم عایقی چهار ترمینال را می‌توان به صورت شبکه ۶ خازنی بیان کرد (مراجعه شود به شکل الف . ۲) ترانسفورماتورهای دو سیم پیچ و بریکرهای فشارقوی به صورت یک سیستم عایقی پیچیده می‌باشند.



ترانسفورماتور دو سیم پیچه

### تانک و هسته

حالت آزمایش	ناحیه تحت ولتاژ	ناحیه زمین شده	ناحیه متصل به گارد	UST	خازن تحت اندازه-گیری
GST	سیم پیچ فشار قوی	-	قسمت فشار ضعیف	-	CH
GST	قسمت پیچ فشار ضعیف	-	قسمت فشار قوی	-	CL
آزمایش بعدی جهت CHL					
UST	سیم پیچ فشار قوی	-	-	قسمت فشار ضعیف	CHL
UST	سیم پیچ فشار ضعیف	-	-	قسمت فشار قوی	CHL

### ترانسفورماتور سه سیم پیچه

حالت آزمایش	ناحیه تحت ولتاژ	زمین	گارد	UST	خازن تحت اندازه-گیری
GST	سیم پیچ فشار قوی	-	سیم پیچ فشار ضعیف / سیم پیچ ثالثیه	-	CH

GST	سیم پیچ فشار ضعیف	-	سیم پیچ ثالثیه / سیم پیچ فشار قوی	-	CL
GST	سیم پیچ ثانیه	-	سیم پیچ فشار قوی / سیم پیچ فشار ضعیف	-	CT

### آزمایش سیستم عایقی بین سیم پیچ‌ها

UST	سیم پیچ فشار قوی	سیم پیچ ثالثیه	-	سیم پیچ فشار ضعیف	CHL
UST	سیم پیچ فشار ضعیف	سیم پیچ فشار قوی	-	سیم پیچ ثالثیه	CLT
UST	سیم پیچ ثانیه	سیم پیچ فشار ضعیف	-	سیم پیچ فشار قوی	CHT

## ضمیمهٔ ب

### بوشینگ‌ها

بوشینگ‌ها به طور کلی دو دسته‌های زیر طبقه‌بندی می‌گردد:

#### ب-۱ نوع کندانسوری

ب-۱-۱ عایق این بوشینگ کاغذ اشباع شده از روغن بوده که لایه‌هایی از جنس هادی در بین این سیستم عایقی قرار داده شده است.

ب-۱-۲ عایق این نوع بوشینگ از نوع کاغذ مستحکم شده با رزین بوده که لایه‌هایی از جنس هادی در بین این سیستم عایقی قرار داده شده است.

#### ب-۲ نوع غیرکندانسوری

ب-۲-۱ هسته بوشینگ از جنس یک پارچهٔ جامد و لایه‌های بعدی تشکیل شده از دو بخش عایق و مایع می‌باشد.

ب-۲-۲ بوشینگ از جنس همگن و یک پارچه جامد و عایق و می باشد (به عنوان مثال در حین جامد)

## ب-۲-۳ پوشینگ پر شده توسط گاز

برای پوشینگ‌هایی که در محیط‌هایی سرباز مورد استفاده قرار می‌گیرد. عایق اولیه در یک محیط غیرقابل نفوذ هوا قرار می‌گیرد که معمولاً از جنس چینی می‌باشد. ناحیه بین عایق اولیه و ناحیه غیرقابل نفوذ و هوا معمولاً توسط روغن عایق یا دیگر ترکیبات مانند پلاستیک و یا فوم پر می‌شود. پوشینگ‌ها هم چنین ممکن است از گازهایی چون هم چون SF6 به عنوان عایق واسط بین هادی مرکزی و سطح خارجی غیرقابل نفوذ هوا پر شوند.

طبقه بندی پوشینگ‌ها هم چنین ممکن است بر اساس مجهز بودن و یا نبودن به تپ پتانسیل (تپ آزمایش ضریب قدرت) صورت گیرد.

## توجه: تپ پتانسیل را تپ خازن یا تپ ولتاژ نیز گویند

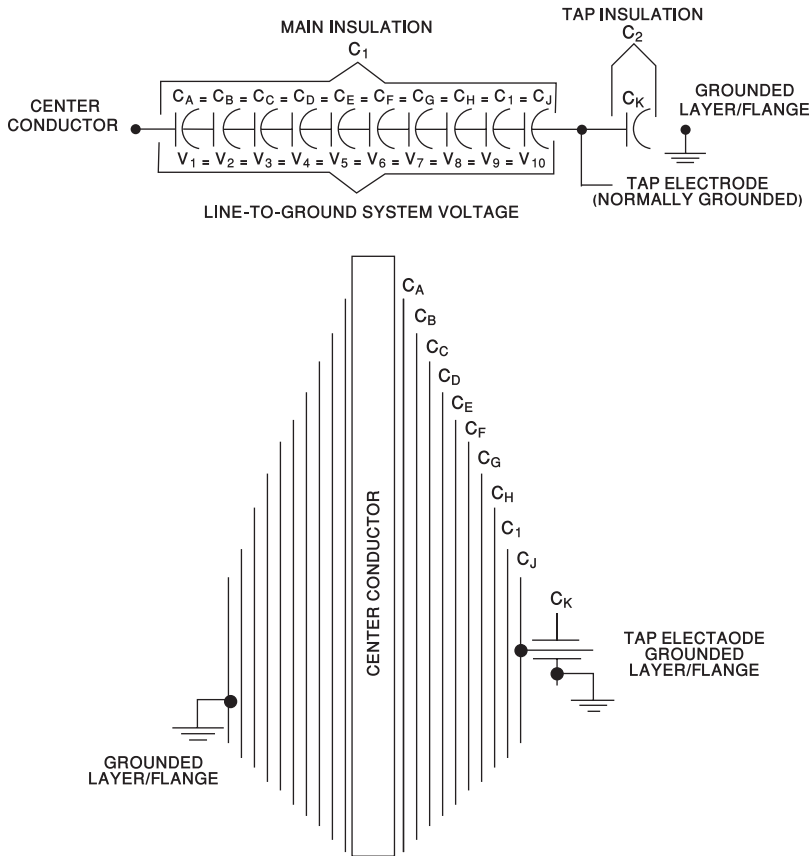
پوشینگ‌های فاقد تپ پتانسیل یا تپ ضریب قدرت، تجهیزاتی دو ترمیناله بوده که آزمایش (هادی مرکزی به فلنچ) به روش GST صورت می‌گیرد. در صورتی که این پوشینگ ها بر روی ترانسفورماتور نصب شوند اندازه گیری به روش GST کلیه قسمت‌هایی را که تحت ولتاژ و زمین قرار می‌گیرند در بر می‌گیرد (مانند عایق سیم پیچ و روغن و هسته)

پوشینگ‌های کندانسوری از یک مجموعه خازن هم محور با محوریت هادی خروجی از درون ترانسفورماتور تشکیل گردیده است که سرهای انتهایی و ابتدایی این مجموعه خازن به ترتیب به فلنچ متصل به بدنه ترانسفورماتور و هادی مرکزی پوشینگ متصل می‌باشد. تپ پوشینگ هادی می‌باشد که به یکی از صفحات هادی هم محور درون پوشینگ متصل می‌باشد. این هادی کاملاً عایق بندی شده و از پوشینگ برای انجام آزمایش‌ها خارج می‌گردد. در این حالت پوشینگ دارای سه ترمینال می‌باشد. تپ خارج شده از پوشینگ دارای بخشی از ولتاژ موجود بین هادی پوشینگ و زمین می‌باشد (حالت مقسم ولتاژ) در ترانسفورماتورهای با ولتاژ بالاتر از این تپ گاهی برای رله‌ها و یا مقاصد دیگر استفاده می‌شود. در این سیستم تپ پتانسیل هم چنین می‌تواند جهت ترمینال آزمایش ضریب قدرت عایق اصلی پوشینگ C1 به کار گرفته شود (مراجعه شود به شکل ۱.B)

معمولاً پوشینگ‌های مدرن با ولتاژ بیش از ۶۹ کیلو ولت دارای تپ پتانسیل می‌باشند.

( به ندرت دیده می‌شود که پوشینگ‌های با ولتاژ نامی ۶۹ کیلو ولت نیز به تپ پتانسیل مجهز باشند). در طراحی تپ ضریب قدرت نزدیک‌ترین لایه هادی در عایق درونی پوشینگ توسط یک هادی نوار پیچی شده به یک پوشینگ کوچک متصل شده و بر روی فلنچ اصلی پوشینگ نصب می‌شود. این انشعاب خارج شده از پوشینگ اصلی توسط یک سر پوش پیچی به فلنچ اصلی متصل به زمین ارتباط داده می‌شود. هنگامی که این سر پوش برداشته شود از تپ به صورت یک ترمینال با ولتاژ کم برای اندازه‌گیری وضعیت عایقی پوشینگ اصلی (C1) به روش UST استفاده می‌شود. (یعنی مقاومت عایقی بین هادی اصلی درون پوشینگ و نزدیک‌ترین هادی در پوشینگ به فلنچ متصل به بدنه ترانسفورماتور)





شکل ۱.۸- ساختار یک نمونه بوشینگ نوع کندانسوری

**توجه:**

- ۱- خازن‌های هم ظرفیت CA تا CJ باعث ایجاد توزیع ولتاژ یک نواخت از هادی مرکزی تحت ولتاژ تا فلنچ، در عایق بوشینگ می‌گردد.
- ۲- تپ خارج شده از بوشینگ معمولاً زمین می‌گردد مگر در حالاتی که طراحی آن برای مقاصد خاص و یا تغذیه الکتریکی بعضی از سیستم‌های حفاظتی باشد.
- برای بوشینگ‌های دارای تپ ولتاژ، ظرفیت C<sub>۲</sub> خیلی بزرگ تر از ظرفیت C<sub>۱</sub> می‌باشد.
- برای بوشینگ‌های دارای تپ ضریب قدرت ظرفیت‌های C<sub>۱</sub> و C<sub>۲</sub> تقریباً یک سان می‌باشد.

## ضمیمه ج

### اندازه‌گیری دما با استفاده از اشعه مادون قرمز (IR)

#### ج-۱ کلیات

با استفاده از اشعه مادون قرمز می‌توان به صورت غیر تماسی و به صورت مطلوبی دماهای غیر طبیعی را در تجهیزات الکتریکی ردیابی کرد. استفاده از تشعشعات مادون قرمز برای اندازه‌گیری دما بر این اساس می‌باشد که با افزایش دما میزان تشعشعات مادون قرمز افزایش می‌یابد. بنابراین سیستم ردیاب مادون قرمز حرارت را در طیف مادون قرمز مشاهده می‌کند. این طیف همانند رنگ‌های قابل رویت توسط انسان برای دستگاه ردیاب قابل مشاهده می‌باشد.

#### ج-۲ اندازه‌گیری با استفاده از اشعه مادون قرمز

تجهیزات اندازه‌گیری دما با استفاده از اشعه مادون قرمز، حرارت غیر طبیعی که ناشی از فالت در درون تجهیزات می‌باشد را ردیابی می‌کند. دماهای غیر طبیعی در تجهیزات قدرت در اثر افزایش مقاومت الکتریکی به سبب وجود ضعف در اتصالات، پیری و فرسودگی سیستم و ناتنظیمی تجهیزات مکانیکی ایجاد می‌گردد. تشعشع انرژی مادون قرمز با افزایش دما، افزایش خواهد داشت. دستگاه‌های اندازه‌گیری اشعه مادون قرمز، انرژی تشعشع شده ناشی از اشعه مادون قرمز در ناحیه مد نظر را جمع‌آوری کرده و به صورت کیفی و یا کمی نمایش می‌دهند.

در این ضمیمه پارامترهایی که بایستی در فرآیند اندازه‌گیری مادون قرمز به عنوان برنامه تعمیر و نگهداری تجهیزات الکتریکی درک شود بیان می‌گردد.

هر شیئی از خود انرژی تشعشع می‌کند. مقدار انرژی تشعشع شده از هر شیئی بستگی به دمای آن و ظرفیت تشعشع و سطح آن دارد. ظرفیت تشعشع پارامتری است که بیانگر میزان قابلیت خروج تشعشعات از یک سطح می‌باشد. این مقدار بین ۰/۰ تا ۱/۰ تغییر می‌کند که عدد یک مربوط به تشعشع کامل سطح شیئی بوده و عدد ۰/۰ مربوط به اشیایی است که منعکس‌کننده کامل می‌باشند. ظرفیت تشعشع مساوی با یک منهای ظرفیت انعکاس آن شیئی می‌باشد.

به عنوان مثال در صورتی که یک شیئی دارای ظرفیت تشعشع ۰/۹ باشد، ۹۰٪ انرژی

مادون قرمز موجود در آن کاملاً تشعشع گردیده و ۱۰٪ از انرژی مادون قرمز نواحی دیگر توسط آن منعکس می‌گردد.

سیستم اندازه‌گیری مادون قرمز توانایی تشخیص بین انرژی تشعشع شده توسط یک شی و انرژی منعکس شده توسط سطح آن را ندارد در حالی که برای فرآیند بازرسی و تعمیرات و نگهداری موضوع انرژی تشعشع شده توسط شی حایز اهمیت می‌باشد، نه انرژی منعکس شده توسط آن چرا که تنها میزان انرژی تشعشع شده بیان گر دمای شی یا ناحیه مد نظر می‌باشد. در بعضی از سیستم های اندازه گیری امکان افزایش دقت برای اندازه گیری تنها انرژی تشعشع شده (نه انرژی منعکس شده) وجود دارد. در این دستگاه‌ها اپراتور با وارد کردن مقدار تخمینی ضریب تشعشع شی، مقدار انرژی منعکس شده محاسبه شده و با توجه به آن مقدار انرژی تشعشع شده از جسم یا ناحیه مد نظر تعیین می‌گردد. باید دانست که میزان انرژی منعکس شده ناشی از منابع انرژی دیگر به صورت مستقیم باعث ایجاد خطا در اندازه‌گیری انرژی تابش شده توسط شی مد نظر می‌گردد. در بعضی از دستگاه‌های اندازه‌گیری امکان وارد کردن دمای اشیا مجاور شی مد نظر امکان پذیر می‌باشد و در بعضی دیگر از دستگاه‌ها دمای محیط به عنوان دمای اشیا مجاور در نظر گرفته می‌شود. بهترین روش تعیین مقدار ضریب تشعشع در اشیا مد نظر روش تجربی می‌باشد که با استفاده از جمع‌آوری اطلاعات و نتایج آزمایش‌ها می‌توان به آن دست یافت. در بعضی از موارد ضریب تشعشع توسط سازندگان دستگاه‌ها در اختیار قرار می‌گیرد. به صورت یک قاعده کلی می‌توان گفت که اکثریت اشیا رنگ شده، کثیف و خورده شده دارای ضریب تشعشع بالا می‌باشند (۰/۷-۰/۹). خوردگی شدید سطوح علی رغم این که دارای ضریب تشعشع بالا می‌باشند ولی می‌توانند باعث تشکیل یک لایه عایق گردیده و نقاط داغ را پنهان نمایند. برای اشیا رنگ شده با پوشش براق ضریب تشعشع IR نسبت به سطوح رنگ شده غیر براق بیشتر می‌باشد. اما به عنوان یک قاعده کلی رنگ باعث جلوگیری از تشعشع IR نمی‌گردد. فلزات براق معمولاً دارای ضریب تشعشع پایین می‌باشند.

شکل هندسی سیستم جاذب انرژی IR در دستگاه اندازه گیری از اهمیت قابل توجهی برخوردار می‌باشد چرا که این شکل هندسی در جذب تشعشعات ناشی از منابع تشعشع و انعکاسات تشعشعات مؤثر می‌باشد. اما به هر صورت در اندازه گیری بایستی به منابع انرژی IR مجاور سیستم اندازه‌گیری توجه داشت و در محاسبات مد نظر قرار داد. در

هنگام اندازه‌گیری دما توسط IR و در محیط سر باز، بایستی انعکاسات تشعشعات مادون قرمز ناشی از نور خورشید از اندازه‌گیری حذف گردد. انرژی مادون قرمز ناشی از نور خورشید را بایستی با افزایش دمای ناشی از تابش خورشید اشتباه کرد. برای حذف تأثیر انرژی IR منعکس شده از نور خورشید می‌توان سیستم اندازه‌گیری را به میزان ۹۰ درجه تغییر زاویه داد.

اندازه‌گیری انرژی IR در اشیا گرد و یا سیلندری سخت می‌باشد. وابسته به چگونگی سطح شی مد نظر، اندازه‌گیری دقیق دما تنها در یک جزء کوچک شی میسر می‌باشد. این اثر هنگامی که با استفاده از سیستم اندازه‌گیری تصویری انجام می‌شود کاملاً روشن می‌باشد. اما در سیستم اندازه‌گیری نقطه‌ای (SPOT) و یا اسکن خطی امکان تصور تأثیر هندسی شی در زمان اندازه‌گیری بسیار مشکل می‌باشد. در این روش یکی از روش‌های عملی ارزش مند برای اندازه‌گیری دما، اندازه‌گیری دما در موقعیت‌های مکانی مختلف می‌باشد این عمل باعث کاهش خطا در نتایج اندازه‌گیری می‌گردد.

ماکزیموم فاصله بین دستگاه‌های اندازه‌گیری IR و شی مورد آزمایش وابسته به فرم قرار گیری تجهیزات آزمایش و ابعاد و اندازه شی می‌باشد.

در سیستم اندازه‌گیری اسپات رادیومتر (SPOT RADIOMETER) ناحیه ای که تحت اندازه‌گیری قرار می‌گیرد نسبتاً بزرگ می‌باشد. برای اندازه‌گیری دقیق و جلوگیری از تأثیر دما اشیا مجاور بایستی توصیه‌های سازندگان تجهیزات آزمایش رعایت شود.

دستگاه‌های اندازه‌گیری IR به صورت تصویرگر (IMAGER) و اسکن خطی (LINE SCAN) نواحی نسبتاً کوچکی را در محدوده دید خود دارند. این نواحی نسبتاً کوچک همانند سیستم اسپات رادیومتر در این سیستم‌های دیده می‌شوند. اما تنها تفاوت آن‌ها کوچک بودن محدوده دید دستگاه‌ها می‌باشد. گرچه محدوده دید این دستگاه‌ها کوچک می‌باشد ولی در بعضی از این دستگاه‌ها امکان دیدن چندین ناحیه در یک زمان وجود دارد که از این موضوع نیز می‌توان به نحو مطلوب جهت افزایش دقت اندازه‌گیری بهره برداری نمود. به عنوان مثال گرچه یک شی نازک و یا کوچک هم چون هادی اتصال بوشینگ به سیم پیچ‌های ترانسفورماتور را می‌توان با استفاده از سیستم اندازه‌گیری تصویری مادون قرمز مشاهده کرد اما نمی‌توان بدون مشاهده تصویر با تعداد المان در سطح (پیکسل) کافی به طور دقیق به نتایج آزمایش اطمینان نمود. این موضوع همانند فاصله بین شی و دستگاه از اهمیت برخوردار می‌باشد.

جدول زیر بیانگر عملیات لازم در مقابل نتایج به دست آمده ناشی از آزمایش اندازه گیری با استفاده از اشعه مادون قرمز ترانسفورماتورهای قدرت می باشد.

عمل کرد لازم	افزایش دما نسبت به دمای محیط مجاور (درجه سانتی گراد)
تحت نظر قرار گرفتن ترانسفورماتور و اجرای برنامه تعمیرات و نگهداری دوره‌ای و احتمال کم آسیب فیزیکی	۰-۱۰
بازرسی فیزیکی و انجام تعمیر در آینده نزدیک	۱۱-۳۹
تعمیر در اسرع وقت، دمونتاز و بازرسی از جهت وجود ضعف در ترانسفورماتور	۴۰-۷۵
مشکل بحرانی و انجام تعمیر فوری	>۷۶

**منابع:**

1. ASTM D 117-2002, Guide to Test Methods and Specifications for Electrical Insulating Oils of Petroleum Origin.1
2. ASTM D 877-2002, Test Method for Dielectric Breakdown Voltage of Insulating Liquids Using Disk Electrodes.
3. ASTM D 923-2001, Test Method for Sampling Electrical Insulating Liquids.
4. ASTM D 924-2003(b), Test Method for Dissipation Factor (or Power Factor) and Relative Permittivity (Dielectric Constant) of Electrical Insulating Liquids.
5. ASTM D 971-2002, Test Method for Interfacial Tension of Oil against Water by the Ring Method.
6. ASTM D 974-2002, Test Method for Neutralization Number by Color-Indicator Titration.
7. ASTM D 1298-2003 , Practice for Density, Relative Density (Specific Gravity), or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method.
8. ASTM D 1500-2001, Test Method for ASTM Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale).
9. ASTM D 1524-2003, Method for Visual Examination of Used Electrical Insulating Oils of Petroleum Origin in the Field.
10. ASTM D 1533-2005, Test Method for Water in Insulating Liquids (Karl Fischer Method).
11. ASTM D 1698-2003, Sediment and Soluble Sludge in Service-Aged Insulating Oils.
12. ASTM D 1816-97a, Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage of Insulating Oils of Petroleum Origin Using VDE Electrodes.
13. ASTM D 2285-2000 (Reapproved 2006), Test Method for Interfacial Tension of Electrical Insulating Oils of Petroleum Origin against Water by the Drop-Weight Method.
14. ASTM D 3487-2000 (Reapproved 2006), Specification for Mineral Insulating Oil Used in Electrical Apparatus.
15. ASTM D 3612-2002, Test Method for Analysis of Gases Dissolved in Electrical Insulating Oil by Gas Chromatography.
16. ASTM D 3613-98, Test Methods of Sampling Electrical Insulating Oils for Gas Analysis and Determination of Water Content.
17. ASTM D 4059-2005, Test Method for Analysis of Polychlorinated Biphenyls in Insulating Liquids by Gas Chromatography.
18. ASTM F 855-97, Specification for Temporary Grounding Systems to be used on De-Energized Power Lines and Equipment.
19. IEEE Std 4-2000, IEEE Standard Techniques for High-Voltage Testing.
20. IEEE Std 510-2000, IEEE Recommended Practices for Safety in High-Voltage and High-Power Testing (ANSI).
21. IEEE Std 637-1999, IEEE Guide for the Reclamation of Insulating Oil and Criteria for Its Use (ANSI).

22. IEEE Std C57.12.00-2000, IEEE Standard General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers (ANSI).
23. IEEE Std C57.12.80-2002, IEEE Standard Terminology for Power and Distribution Transformers (ANSI).
24. IEEE Std C57.12.90-1999, IEEE Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating
25. IEEE Std 62-2001 IEEE GUIDE FOR DIAGNOSTIC FIELD TESTING OF ELECTRIC POWER APPARATUS
26. IEEE Std C57.19.00-2002, IEEE General Requirements and Test Procedures for Outdoor Power Apparatus Bushings (ANSI).
27. IEEE Std C57.19.100-2002, IEEE Guide for Application of Power Apparatus Bushings.
28. IEEE Std C57.104-2002, IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers (ANSI).
29. IEEE Std C57.106-2002, IEEE Guide for Acceptance and Maintenance of Insulating Oil in Equipment (ANSI).
30. IEEE Std C57.113-2002, IEEE Guide for Partial Discharge Measurement in Liquid-Filled Power Transformers and Shunt Reactors.
31. Transformers and IEEE Guide for Short-Circuit Testing of Distribution and Power Transformers (ANSI).



National Iranian Oil Company  
Human Resource Management

## **Power Transformers Tests and Maintenance Guide Based on IEEE Standard**

by  
**Mehdi Ramezani**

**2010**