

دانشگاه سمنان

موضوع سمینار:

عیب یابی و تخمین عمر ترانسفورماتور
بواسطه روغن عایق

استاد: دکتر محسن نیاستی

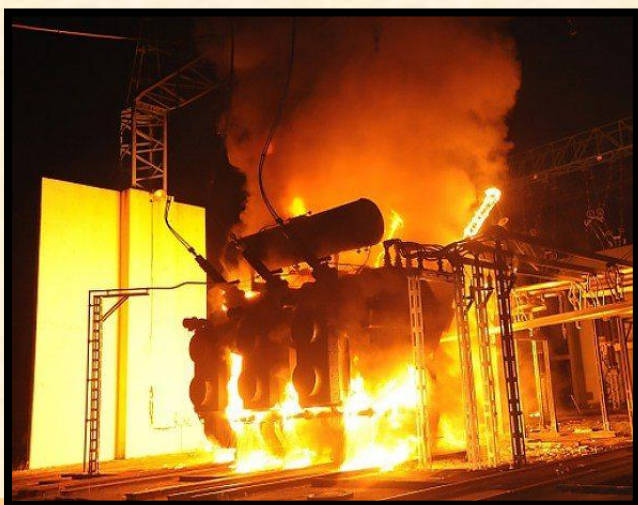
نگارش: رضا صمدی

بهار ۱۳۹۸



روغن ترانسفورماتور

- روغن یکی از عایق‌های مهم صنعت برق است که به‌طور متداول در تجهیزات مختلفی از جمله ترانسفورماتورهای قدرت، ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری، بوشینگها، خازن‌های فشارقوی و ... به کار می‌رود. بهره‌برداری مناسب از این تجهیزات نیازمند شناخت کافی از اجزا و مواد مختلف آن است و روغن نیز از این موضوع مستثنا نیست.
- با شناخت دقیق و همچنین سرویس و نگهداری مناسب می‌توان تا حد زیادی از بروز حادثه جلوگیری نمود.
- روغن در ترانسفورماتور را می‌توان همانند خون در انسان در نظر گرفت!!



استانداردها و عایق‌های ترانسفورماتور روغنی

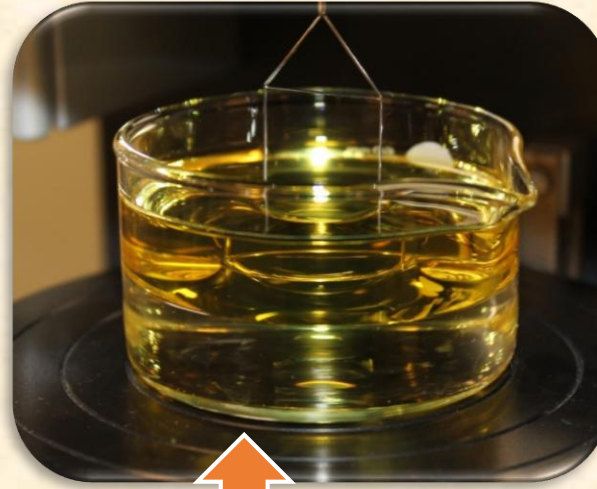


چوب و تخته فشرده

کاغذ

IEC60641

IEC60641
IEC60554



روغن

روغن نو : IEC60296
نصب و راه اندازی ترانسفورماتور: IEC60422
کنترل کیفیت روغن درحین بهره برداری: IEC60422
تحلیل گازهای روغن(گاز کروماتوگرافی): IEC60599
عمرسنجی ترانسفورماتور: IEC62874

استاندارد بین المللی برق IEC

استاندارد ایران INSO

استاندارد آلمان VDE

استاندارد انگلیس BS

استاندارد آمریکا ASTM

استانداردها

وظایف روغن ترانسفورماتور

• عایق نمودن سیم‌پیچ‌ها نسبت به هم و نسبت به بدنه

• انتقال حرارت تولیدشده از سیم‌پیچ‌ها و خنک نگه‌داشتن ترانسفورماتور

• آشکار نمودن عیوب ترانسفورماتور

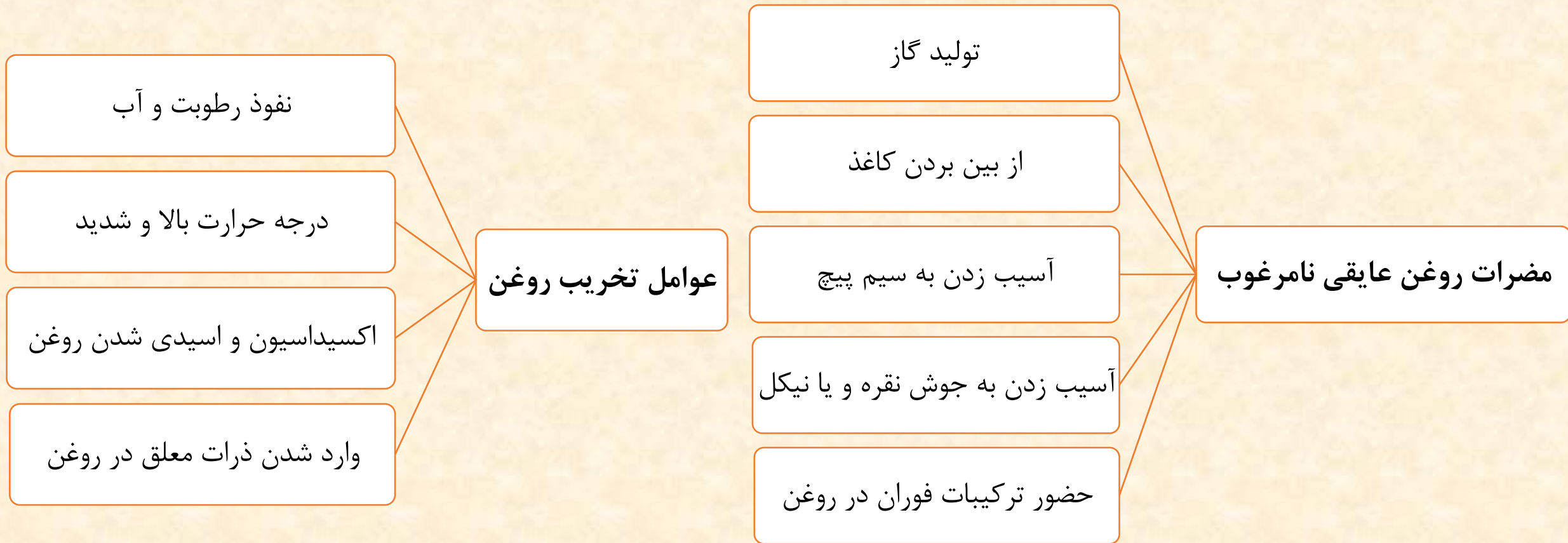
• خاموش نمودن جرقه و قوس‌های احتمالی

• پیشگیری از خوردگی مواد عایق و قسمت‌های فلزی

• آب‌بندی ترانس

• کمک در حفظ بهتر عایق کاغذی

• جمع‌آوری و حمل مواد ناخالصی ناشی از کارکرد به خارج

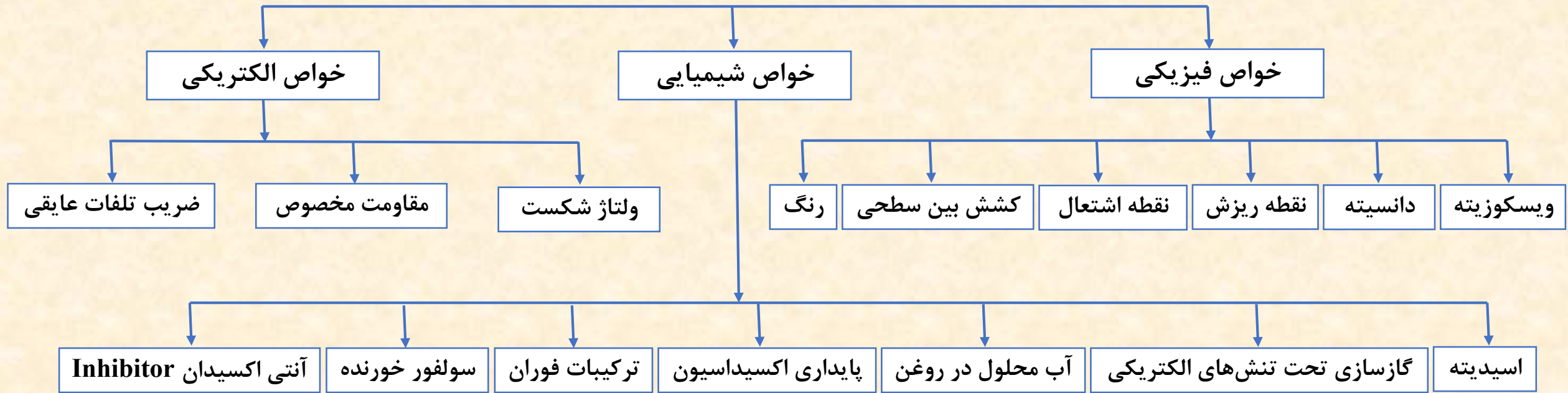


ویژگی‌های روغن عایقی خوب

بالا	• استقامت دی الکتریک (یا ولتاژ شکست)
خوب	• قابلیت انتقال حرارت
پایین	• ویسکوزیته (یا گرانروی)
پایین	• نقطه ریزش
بالا	• نقطه اشتعال
کم	• تمایل به اکسیداسیون و تشکیل لجن
پایین	• ضریب تلفات عایق
کم	• میزان تغییرات خلوص در درجه حرارت بالا
زیاد	• مقاومت مخصوص
پایین	• دانسیته (چگالی)
بالا	• کشش سطحی
کم	• تولید الکتریسیته ساکن
زیاد	• سازگاری با محیط زیست
مناسب و آسان	• ارزانی و دسترسی



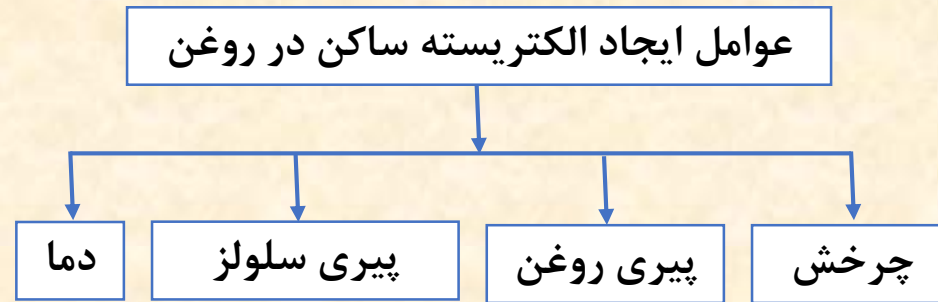
خواص و ویژگی‌های روغن عایقی



خواص و ویژگی‌های روغن عایقی

تمایل به شارژ الکتروستاتیکی "ECT" (تولید الکتریسته ساکن): روغن حین چرخش درون ترانسفورماتور دارای بار مثبت می‌گردد. این شارژ می‌تواند موجب تخلیه الکتریکی و آسیب به ترانسفورماتور شود. احتمال این خطا زمانی که سرعت جریان روغن از 0.5 m/s بیشتر شود افزایش می‌یابد.

* ECT می‌تواند با استفاده از مواد افزودنی غیرفعال کننده فلزات مانند BTA (benzotriazole) و TTA (5-methy-1H- benzotriazole) کاهش یابد.



IEC60296, IEEE Trans.PAS 103 No.7 1984

انواع روغن عایقی ترانسفورماتور



روغن آسکارل

تعریف PCBs: دسته ای از هیدروکربن‌های کلرینه شده می باشند. این مواد از دو حلقه بنزنی (حلقه بی فنیل) و کلرهای که بصورت جانبی با آنها پیوند دارند تشکیل می شوند.
ساختار PCBs: حلقه‌های بنزن + بنیانهای کلر

ویژگی‌های روغن آسکارل

آلودگی محیط زیست

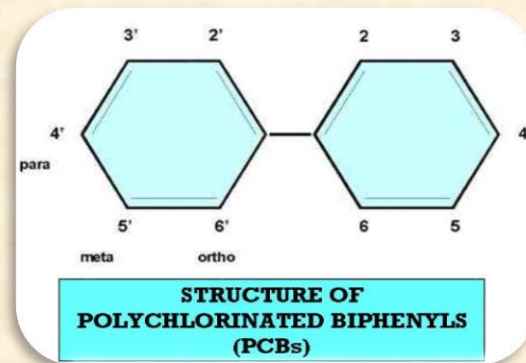
عدم ایجاد گازهای اشتعال‌زا

نقطه اشتعال بالا

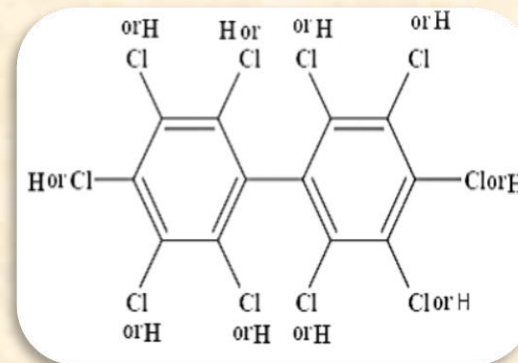
قدرت عایق‌کنندگی بالا

قدرت خنک‌کنندگی بالا

ویسکوزیته پایین



STRUCTURE OF
POLYCHLORINATED BIPHENYLS
(PCBs)



ساختار شیمیایی روغن آسکارل (PCB)



روغن سیلیکونی

- سیلیکوسان بسیار شده مایع، با زنجیره‌های جانبی آلی را می‌توان روغن سیلیکون نامید. روغن سیلیکون دارای اتم‌های متغیر سیلیکون و اکسیژن است. این روغن جایگزین روغن‌های آسکارل گردیده شد.
- روغن سیلیکونی در مقابل اکسیداسیون پایدار است و آهسته تر پیر می‌شود اما دارای ولتاژ شکست نسبتا پایینی است.

ویژگی‌های روغن سیلیکونی

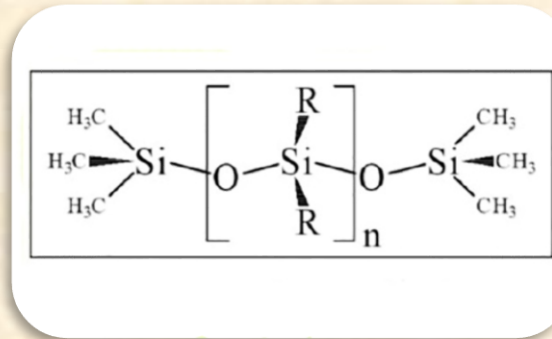
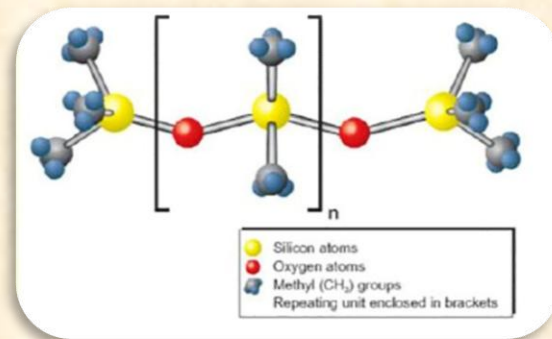
غیر سمی

مقاوم در برابر حرارت، سرما و خوردگی

کشش سطحی پایین

نقطه اشتعال نسبتا خوب

قدرت عایقی پایین



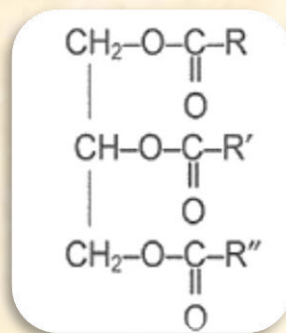
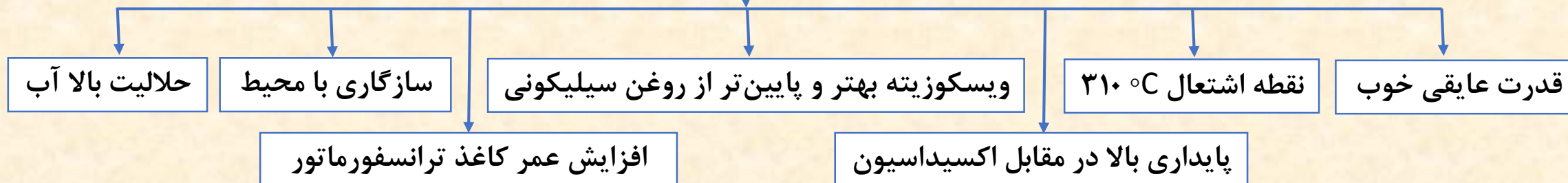
ساختار شیمیایی روغن سیلیکونی



روغن استر (گیاهی)



خواص و ویژگی‌های روغن استر



ساختار شیمیایی روغن استر



قدرت عایقی ترکیب روغن معدنی و کاغذ

استقامت الکتریکی روغن به تنهایی ۱۲ کیلوولت بر میلی متر است.



استقامت الکتریکی کاغذ به تنهایی ۴۰ کیلوولت بر میلی متر است.



استقامت الکتریکی کاغذ آغشته به روغن معدنی ۶۴ کیلوولت بر میلی متر است.

• مقدار ذکر شده برای استقامت الکتریکی روغن در گوی به فاصله یک میلی متر بیان شده است.



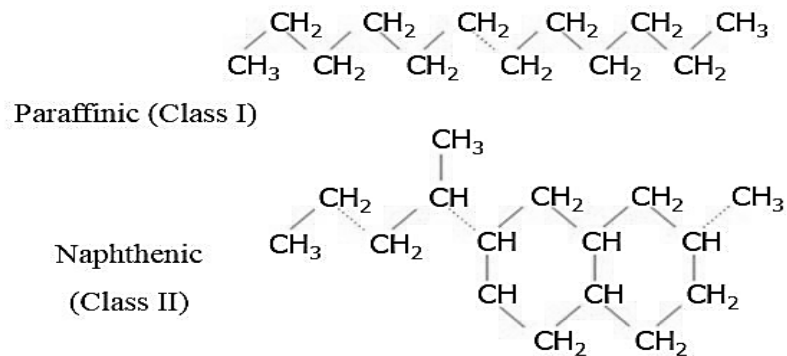
روغن‌های معدنی

عمده روغن عایقی مصرفی، روغن معدنی می‌باشد که از نفت خام استخراج می‌شود. نفت خام مخلوط پیچیده‌ای از هیدروکربن‌هایی با یک اتم کربن تا ترکیباتی با بیش از شصت اتم کربن می‌باشد. (هیدروکربن به ترکیبات شیمیایی شامل کربن و هیدروژن اطلاق می‌شود).

روغن نفتیک (کلاس دو): پیوند مولکولی آن‌ها حلقوی می‌باشد و از زنجیره‌های هیدروکربن حلقوی تشکیل شده است.

انواع روغن‌های معدنی

روغن پارافینیک (کلاس یک): پیوند مولکولی آن‌ها خطی می‌باشد و از زنجیره‌های هیدروکربن خطی تشکیل شده است.



نقطه اشتعال روغن ترانسفورماتور ۱۳۵ درجه
نقطه اشتعال روغن کلید روغنی ۱۰۰ درجه
گرانروی روغن کلید پایین تر از روغن ترانسفورماتور
استاندارد IEC60296

ساختار شیمیایی روغن‌های نفتیک و پارافینیک



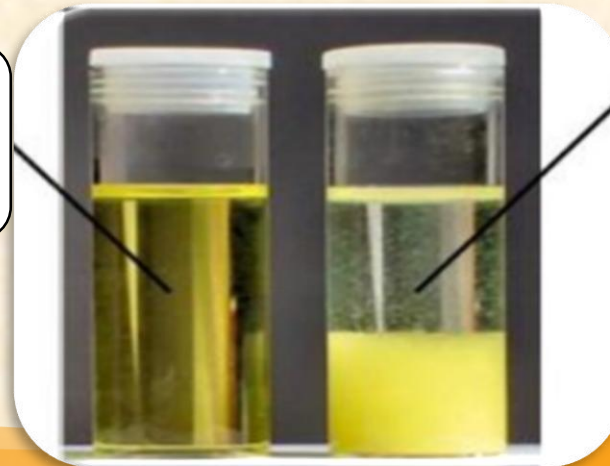
تفاوت‌های روغن‌های معدنی

ویسکوزیته در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد در روغن‌های نفتنیک کمتر از روغن‌های پارافینیک است

نقطه ریزش در روغن‌های پارافینیک بیشتر از روغن‌های نفتنیک است بنابراین زودتر یخ می‌زنند

روغن نفتنیک فاقد واکس است و محصولات اکسیداسیون (بخصوص لجن) را به خوبی در خود حل می‌کند
روغن پارافینیک پایداری حرارتی پایین‌تری دارد و گاز بیشتری نسبت به روغن نفتنیک تولید می‌کند.

حلالیت بالا
روغن نفتنیک



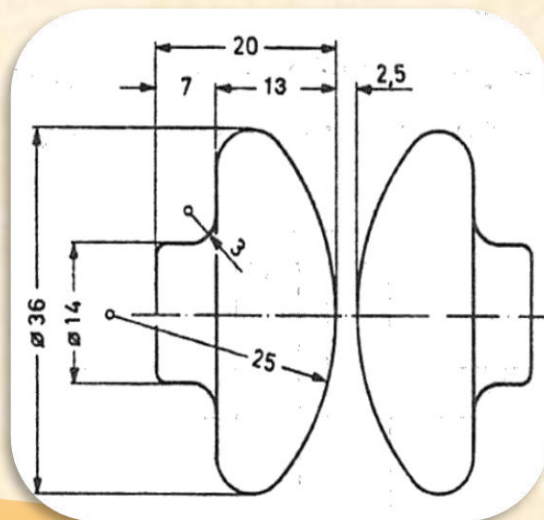
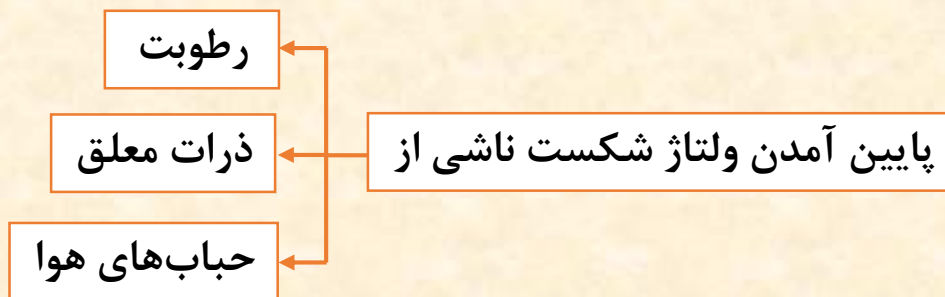
حلالیت پایین
روغن پارافینیک

مخلوط کردن روغن‌های معدنی
IEC61125

آزمون ولتاژ شکست روغن

روش تست IEC60156

ولتاژ شکست روغن های عایق نشان دهنده مقاومت آنها نسبت به شوک الکتریکی در دستگاه های الکتریکی است.



نمونه گیری روغن

دستگاه اندازه گیری ولتاژ شکست روغن ترانسفورماتور



آزمون آب محلول در روغن

منابع تشکیل آب در ترانسفورماتور:

- اتمسفر (جذب رطوبت از محیط)
- شکستن زنجیره‌های کاغذ در روغن (سه‌م وسیعی در تولید آب داخل ترانسفورماتور را دارد)

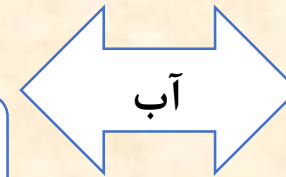
دو برابر شدن عمر ترانس IEC62874

=

کاهش 1% آب داخل ترانس

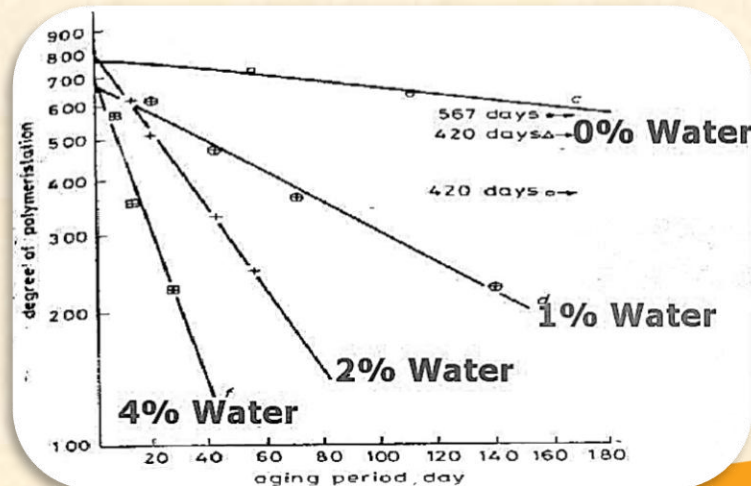
روغن

دمای بالا



کاغذ

دمای پایین



کاهش عمر عایق کاغذی با افزایش رطوبت



خشک‌سازی و جذب رطوبت در ترانسفورماتور

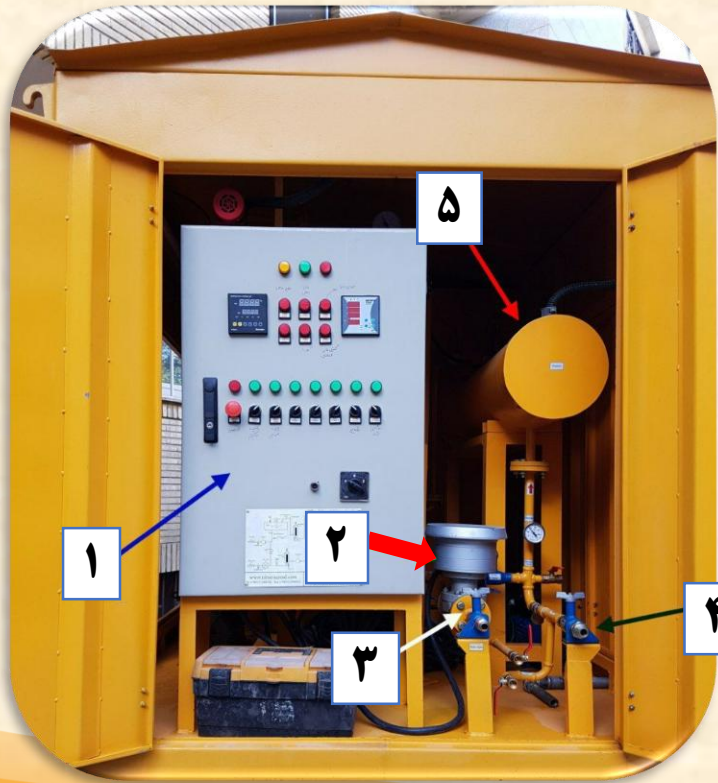
ولتاژ شکست



آب محلول در روغن



تصفیه فیزیکی روغن (سیرکوله)



- ۱- تابلو کنترل
- ۲- فلومتر روغن خروجی
- ۳- شیر خروج روغن
- ۴- شیر ورودی روغن
- ۵- هیتر (گرمکن روغن)



- ۱- محفظه خلا
- ۲- پمپ و کیوم (خلا)
- ۳- فیلتر روغن
- ۴- محل خروج بخار آب
از محفظه خلا "Water Trap"



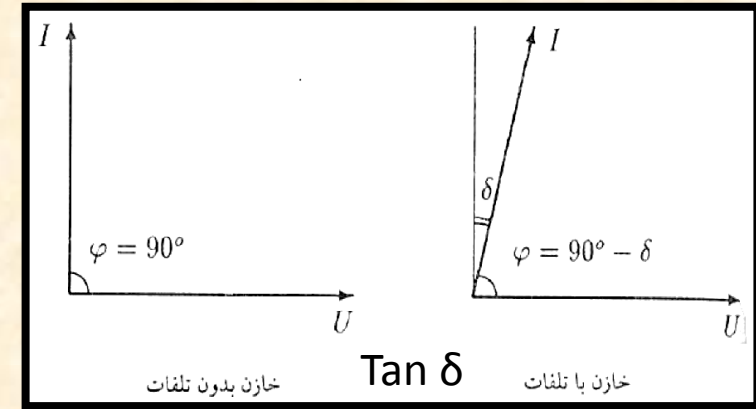
ضریب تلفات عایقی

روش تست IEC60247

تحلیل آزمون ضریب تلفات عایقی بر روی روغن ترانسفورماتور در حال بهره‌برداری مطابق استاندارد IEC60422:2013

- به مقدار مولکول‌های یونیزه شده و قطبی موجود در روغن بستگی دارد.
- مقاومت ویژه و ضریب تلفات عایقی بستگی زیادی به دما و رطوبت دارد.
- به آلودگی (ذرات معلق، لجن، رسوبات، اکسیدشدن) بسیار حساس است.

حدود مجاز پیشنهادی			گروه	مشخصه
نامناسب	فعلا قابل قبول	مناسب		
> ۲۰/۰	۲۰/۰ تا ۱۰/۰	< ۱۰/۰	O, A	ضریب تلفات عایقی در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد و فرکانس ۴۰ تا ۶۰ هرتز
> ۵۰/۰	۵۰/۰ تا ۱۰/۰	< ۱۰/۰	B, C	
> ۰۳/۰	۰۳/۰ تا ۰۱/۰	< ۰۱/۰	D'	
> ۳۰/۰	۳/۰ تا ۱/۰	< ۱۰/۰	E'	
آزمون روتین نمی باشد.			F, G	



مقاومت ویژه
↓
↑
ضریب تلفات عایقی

افزایش بیش از حد این پارامتر

باعث ناپایداری حرارتی می شود

دستگاه اندازه‌گیری ضریب تلفات عایقی روغن ترانسفورماتور



تصفیه فیزیکی و شیمیایی

اسیدیته



کشش سطحی



ضریب تلفات عایقی

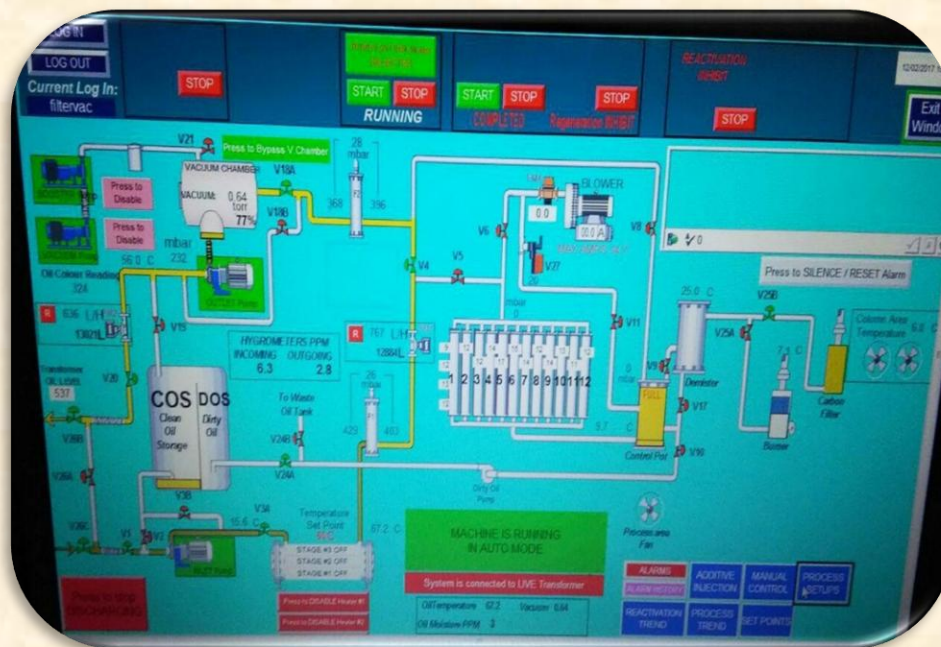


تصفیه فیزیکی و شیمیایی روغن

فرآیندی است که آلودگیهای محلول یا نامحلول قطبی را با استفاده از روشهای شیمیایی و فیزیکی از روغن حذف یا مقدار آنها را در روغن کاهش می دهد.



تغییر رنگ روغن پس از انجام تصفیه فیزیکی و شیمیایی



تصویر دستگاه تصفیه فیزیکی و شیمیایی



تصویر دستگاه تصفیه فیزیکی و شیمیایی



گاز کروماتوگرافی (آنالیز گازها)

DGA "Dissolved Gas Analysis"
روش تست IEC60567

دلایل تولید گاز در روغن ترانسفورماتور

تخلیه الکتریکی

اکسیداسیون یا سایر واکنشهای
شیمیایی روی قطعات فلزی،
سطح مخزن یا رنگ روی آن

نقاط داغ حرارتی

تخلیه
با انرژی بالا

تخلیه
با انرژی متوسط

تخلیه جزئی

دما بالا
(بالای ۷۰۰ درجه)

دما متوسط
(۷۰۰ تا ۳۰۰ درجه)

دمای پایین
(تا ۳۰۰ درجه)



گاز کروماتوگرافی (آنالیز گازها)

انواع خطاها در گاز کروماتوگرافی مطابق با استاندارد IEC60599

اثر خطای حرارتی	نوع خطا	اختصارات
	تخلیه جزئی	PD
	تخلیه با انرژی کم	D1
	تخلیه با انرژی زیاد	D2
کمتر از ۲۰۰ درجه : قهوه ای شدن رنگ عایق کاغذ بین ۲۰۰ و ۳۰۰ درجه: کربونیزه شدن کاغذ	خطای حرارتی کمتر از ۳۰۰ درجه سانتیگراد	T1
ذرات ریز سیاه در روغن (روغن سوخته)	خطای حرارتی بین ۳۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتیگراد	T2
۷۰۰ درجه سیم پیچ آبی می شود بیشتر از ۷۰۰ درجه سیم پیچ ذوب می شود	خطای حرارتی بیشتر از ۷۰۰ درجه سانتیگراد	T3

اسامی و فرمول های شیمیایی گاز های موجود در روغن
بر اساس استاندارد IEC60599

فرمول	نام
N ₂	نیتروژن
O ₂	اکسیژن
CO	مونواکسید کربن
CO ₂	دی اکسید کربن
CH ₄	متان
C ₂ H ₆	اتان
C ₂ H ₄	اتیلن
C ₂ H ₂	استیلن

شرایط معتبر بودن نتایج تست GC

وقتی که گازها تا ۱۰ برابر حداقل محدوده (دقت دستگاه GC) رسیده باشد.
حداقل Limit دستگاه GC :

C₂H₂ : ۱/۰ ppm - C₂H₄ : ۱ ppm - C₂H₆ : ۱ ppm - CH₄ : ۱ ppm - H₂ : ۳ ppm

تحلیل گاز کروماتوگرافی (آنالیز گازها)

تحلیل نسبت گازها به روش MSS شرکت SIEMENS (منبع کتابچه گاز کروماتوگرافی شرکت زیمنس)

عددهای نسبت					محدوده نسبت
CO ₂ / CO	C ₂ H ₄ / C ₃ H ₆	C ₂ H ₄ / C ₂ H ₆	H ₂ / CH ₄	C ₂ H ₂ / C ₂ H ₆	
۱	۰	۰	۰	۰	کمتر از ۳/۰
۱	۱	۰	۰	۱	بین ۳/۰ تا ۰/۱
۱	۲	۱	۱	۱	بین ۰/۱ تا ۰/۳
۰	۳	۱	۲	۲	بین ۰/۳ تا ۰/۱۰
۲	۳	۱	۳	۲	بیشتر از ۰/۱۰
عدد های نسبت					تشخیص حالت موجود
۰	۰	۰	۰	۰	نرمال
۱	۲ یا ۳	۱	۱	۲	تخلیه با انرژی زیاد
۱	۲ یا ۳	۱	۲	۲	تخلیه با انرژی کم
۰	-	۰	۳	۱	تخلیه جزئی همراه با انرژی زیاد
۰	-	۰	۳	۱	تخلیه جزئی همراه با انرژی کم
۲	۱	۰	۰	۰	خطای حرارتی کمتر از ۳۰۰ درجه سانتیگراد
۲	۲	۱	۰	۰	خطای حرارتی بین ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد
۲	۲ یا ۳	۱	۰	۱	خطای حرارتی بیشتر از ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد
۲	۲	۱	۱	۱	افزایش دما و تخلیه
۲	۲	۱	۳	۰	افزایش دما و تخلیه جزئی

تحلیل گاز کروماتوگرافی (آنالیز گازها)

تحلیل عیوب ترانسفورماتور با استفاده از نسبت گازها مطابق با استاندارد IEC60599

گازهای حاصل

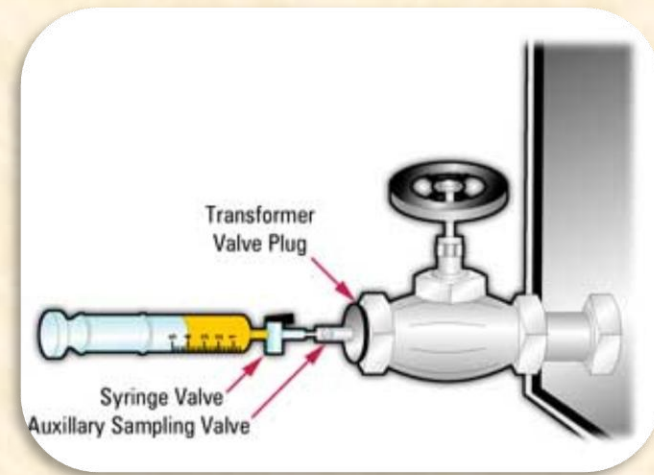
از تخریب روغن و عایق سلولزی ترانسفورماتور

گازهای حاصل از تخریب عایق سلولزی	گازهای حاصل از تخریب روغن ترانسفورماتور
مونوکسید کربن CO	هیدروژن H ₂
آب H ₂ O	متان CH ₄
دی اکسید کربن CO ₂	استیلن C ₂ H ₂
ترکیبات فورفورال	اتیلن C ₂ H ₄
	اتان C ₂ H ₆

نسبت گازها	نوع خطا	اقدامات
CO ₂ / CO < 3 & CO > 1000 ppm	احتمال خطا در عایق کاغذی و کربونیزاسیون کاغذ	انجام آزمون فورفورال و محاسبه DP عایق کاغذی
CO ₂ / CO ≥ 10 & CO ₂ > 1000ppm	اضافه حرارت کمتر از ۱۶۰ درجه سانتی گراد در روغن یا اکسیداسیون روغن	
C ₂ H ₂ / H ₂ > 2	احتمال آلوده شدن روغن مخزن اصلی با روغن دایورتر سوئیچ تپ چنجر	مقایسه ۴ نتیجه گاز کروماتوگرافی: مخزن اصلی، دایورتر سوئیچ، منبع انبساط روغن اصلی و منبع انبساط تپ چنجر
O ₂ = 32000 ppm N ₂ = 64000 ppm O ₂ ≤ 16000 ppm N ₂ ≤ 86000 ppm O ₂ / N ₂ < 0.3	اکسیداسیون شدید در روغن	

مشکلات گاز کروماتوگرافی (آنالیز گازها)

- ۱- عدم توانایی تشخیص خطاهای حرارتی زیر ۱۵۰ درجه
- ۲- عدم توانایی تشخیص و تفکیک خطاهای همزمان
- ۳- نیاز به سرریز روغن در ترانسفورماتورهای توزیع



نمونه گیری روغن ترانسفورماتور جهت تست گاز کروماتوگرافی



تخمین عمر ترانسفورماتور

کلاس عایقی کاغذ Y پس از آغشته شدن به روغن A

طبقه بندی حرارتی عایقها بر اساس استاندارد IEC60085

طبقة حرارتی عایق	حداکثر درجه حرارت مجاز
Y	۹۰ درجه سانتی گراد
A	۱۰۵ درجه سانتی گراد
E	۱۲۰ درجه سانتی گراد
B	۱۳۰ درجه سانتی گراد
F	۱۵۵ درجه سانتی گراد
H	۱۸۰ درجه سانتی گراد
C	> ۱۸۰ درجه سانتی گراد

افزایش درجه حرارت به اندازه ۶ درجه ، نرخ پیری را دو برابر کرده و باعث کاهش طول عمر ترانسفورماتور می گردد. (IEC60076-7)

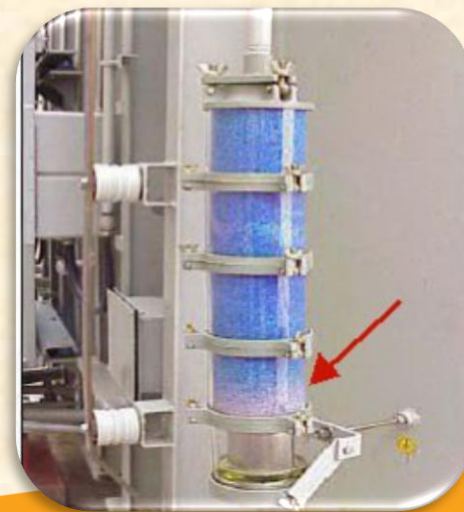
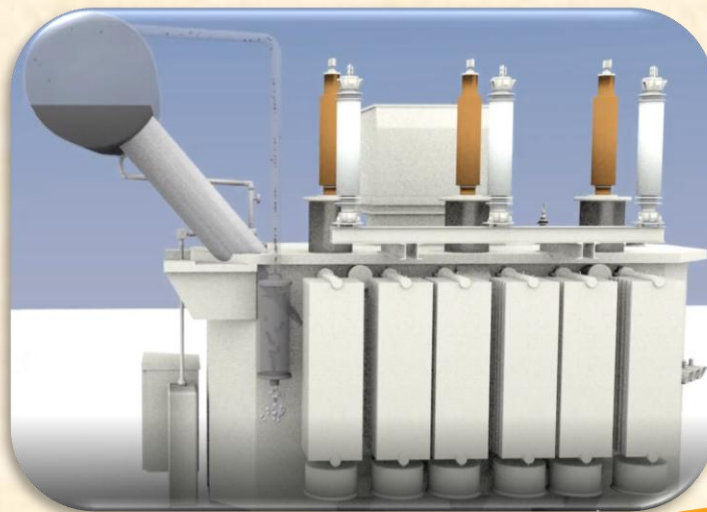
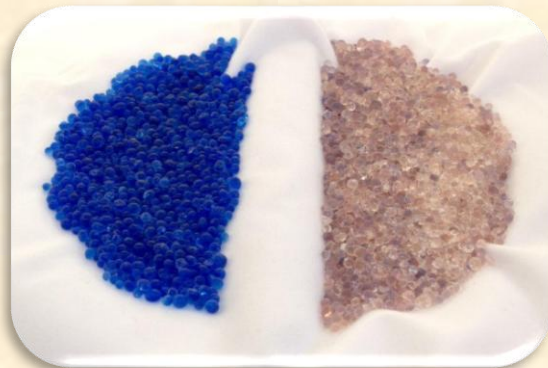
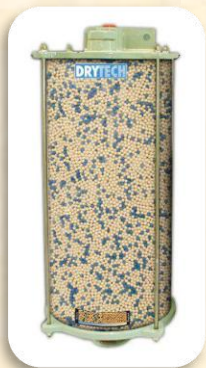
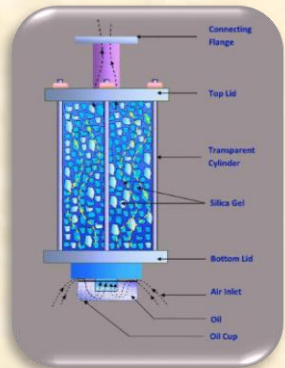
نرخ پیری به دما، اکسیژن، رطوبت، اسیدیته و نوع کاغذ ترانسفورماتور بستگی دارد.

جدول نرخ پیری بر اثر درجه حرارت نقطه داغ مطابق با استاندارد IEC60076-7

نرخ پیری	°C
۰/۱۲۵	۸۰
۰/۲۵	۸۶
۰/۵	۹۲
۱	۹۸
۲	۱۰۴
۴	۱۱۰
۸	۱۱۶
۱۶	۱۲۲
۳۲	۱۲۸
۶۴	۱۳۴
۱۲۸	۱۴۰

تجهیزات مرتبط و رله‌های مکانیکال

رطوبت گیر ها



رله‌های مکانیکال

رله فشار ناگهانی

سطح سنج

رله ایربگ

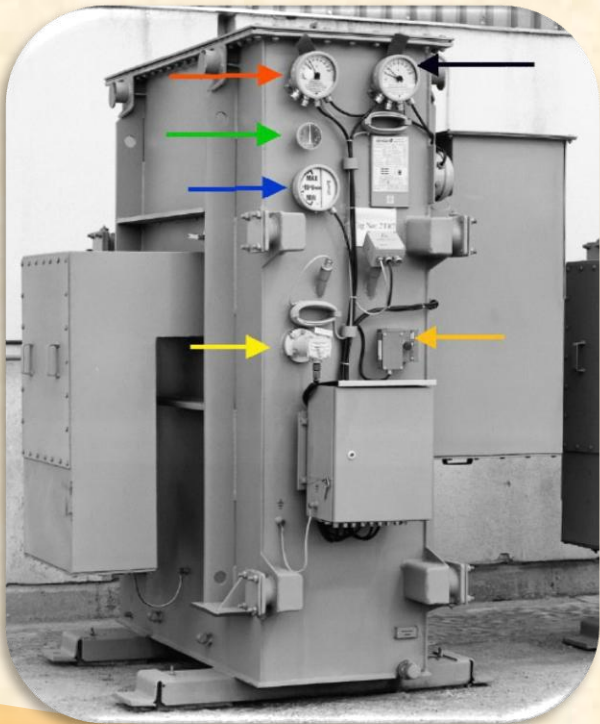
رله فشار شکن

ترموترها

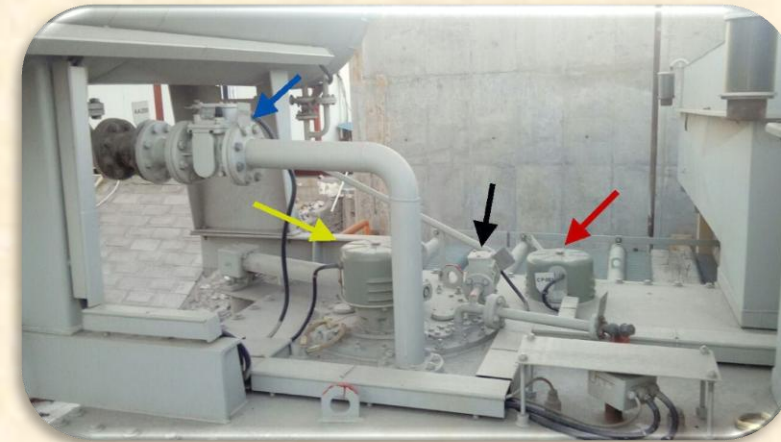
شیر یک طرفه

رله جانسون

رله بوخهلتز



مشکی و قرمز: ترمومترها
سبز: فشارسنج (گاز بالای مخزن)
آبی: سطح سنج روغن
زرد: رله فشار ناگهانی
نارنجی: رله فشار شکن



قرمز: رله فشار شکن مخزن ترانسفورماتور
زرد: رله فشار شکن مخزن تپ چنجر
سیاه: رله جانسون
آبی: رله بوخهلتز



با تشکر از توجه شما

