دانشگاه
تهران

آزمون ولتاژ شکست روغن

محمد حامد صمیمی
دانشگاه تهران

دانشگاه
تهران

آزمون ولتاژ شکست یا آزمون استقامت الکتریکی

- ✓ مهمترین مشخصه روغن
- ✓ در صورتی که این مشخصه دچار مشکل باشد، استفاده از روغن بسیار خطرناک خواهد بود.
- ✓ انجام آن ساده و در محل امکان‌پذیر است.
- ✓ لذا به عنوان یک آزمون مهم و کاربردی تلقی می‌شود.

اهمیت روغن

دانشگاه تهران

- ✓ ولتاژ شکست روغن، چنان‌که ذکر شد، در اثر سه عامل اصلی کاهش می‌یابد:
  - ✓رطوبت
  - ✓حبابهای گاز
  - ✓ذرات معلق
- ✓ لذا روغن خشک و تمیز بالاترین ولتاژ شکست را دارد.
- ✓ آب نامحلول و به ویژه ذرات معلق در ترکیب با مقادیر بالای آب، به مناطق با میدان الکتریکی شدیدتر رانده شده و ولتاژ شکست را به شدت کاهش می‌دهند.

اهمیت روغن

دانشگاه تهران

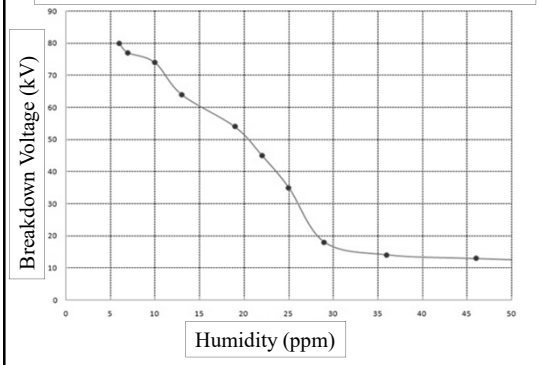
- ✓ از این رو ولتاژ شکست بیش از هر چیز نشان‌دهنده حضور آلودگی‌هایی مانند آب و ذرات معلق می‌باشد.
- ✓ مقدار ولتاژ شکست پایین می‌تواند نشان‌دهنده حضور آلودگی باشد هرچند مقدار بالای ولتاژ شکست الزاما به معنای عدم وجود آلودگی‌ها نیست.
- ✓ لذا راهکار افزایش ولتاژ شکست، انجام تصفیه فیزیکی با قیودی است که به آن اشاره خواهد شد.

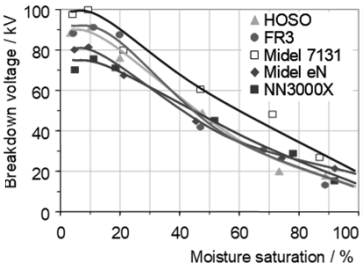
کاهش استقامت الکتریکی روغن در اثر ورود رطوبت

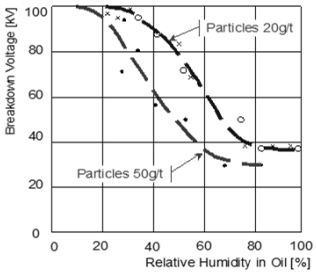
دانشگاه تهران

ولتاژ شکست الکتریکی

BreakdownVoltage vs. humidity (Room Temperature- 2.5 mm gap)







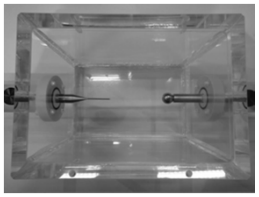
Source: Cigre Brochure 349, Moisture Migration, 2008

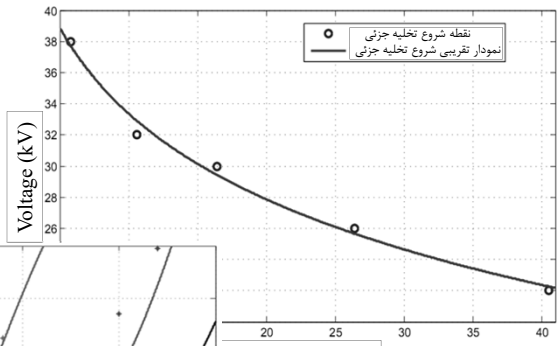
محمد حامد صمیمی

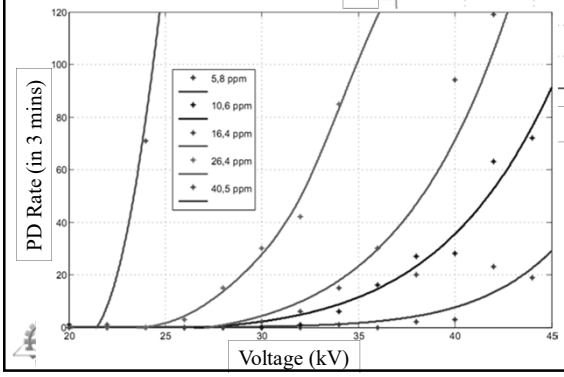
کاهش استقامت الکتریکی روغن در اثر ورود رطوبت

دانشگاه تهران

ولتاژ آغاز تخلیه جزئی







محمد حامد صمیمی

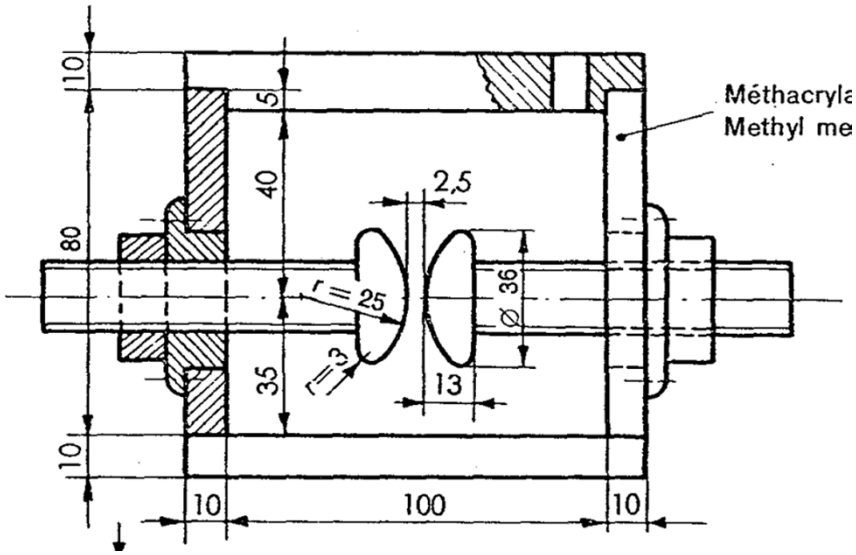
تاثیر دما

- ✓ ولتاژ شکست به دمای نمونه‌برداری به شدت وابسته است. مقدار ولتاژ شکست روغن تنها در صورتی دارای اهمیت است که روغن در دمای کاری ترانسفورماتور نمونه‌برداری شده باشد.
- ✓ تحلیل نمونه‌هایی که در دمای کمتر از ۲۰ درجه گرفته شده‌اند اگر در دمای اتاق انجام شده باشد، ممکن است وضعیت خوش‌بینانه‌ای از ترانسفورماتور به دست دهد (نتایج بالاتر از مقدار واقعی).
- ✓ یکی از علت‌های آن، تغییر قابلیت انحلال آب در روغن است.

نحوه انجام آزمون ولتاژ شکست روغن

- ✓ انجام تست به روش مختلف امکان‌پذیر است.
- ✓ در ایران، روش IEC 60156 مورد قبول است.
- ✓ محفظه تست دارای الکترودهای عرقچین شکل با فاصله 2.5 mm است.

ابعاد محفظه و الکترودها



ابعاد محفظه و الکترودها

پر کردن محفظه تست از نمونه روغن

دانشگاه تهران

- ✓ قبل از پر کردن محفظه بایستی خود نمونه به آرامی تکان داده شود تا یک ترکیب یکنواخت حاصل شود.
- ✓ در تماس بودن نمونه با هوا باید حداقل باشد.
- ✓ در مرحله بعد بایستی یک بار، محفظه تست با نمونه شسته شود (یک بار آغشته شده و خالی شود)
- ✓ سپس بایستی به آرامی به نحوی که باعث ایجاد حباب هوا نشود، محفظه تست با نمونه پر شود.
- ✓ در همین مرحله بایستی دمای نمونه روغن اندازه‌گیری شود.
- ✓ بعد از قرار دادن ظرف تست در محل خوب بایستی ۵ دقیقه زمان تنفس داده شود تا روغن آرام بگیرد. باید اطمینان حاصل شود که حباب هوا در نمونه وجود ندارد.

پر کردن محفظه تست از نمونه روغن

دانشگاه تهران

- ✓ ولتاژ با نرخ ثابت 2.0 kV/s افزایش می‌یابد تا شکست رخ دهد.
- ✓ همانطور که قبلا گفته شد، نرخ افزایش ولتاژ بر میزان ولتاژ شکست روغن موثر است.
- ✓ بلافاصله پس از شکست، ولتاژ قطع شده و مقدار آن ثبت می‌شود.
- ✓ قطع هرچه سریع‌تر بهتر است چون میزان کربنیزه شدن روغن را کنترل می‌کند.

پر کردن محفظه تست از نمونه روغن

دانشگاه تهران

- ✓ تست فوق معمولا ۶ بار انجام می‌شود.
- ✓ فاصله بین تست‌ها بایستی ۲ دقیقه باشد.
- ✓ بعد از هر تست، روغن بایستی هم بخورد تا ذرات کربن ناشی از شکست از بین دو الکترود جابجا شوند. در صورت وجود همزن اتوماتیک، همزن بایستی در کل زمان آزمون در حال کار باشد.
- ✓ در نهایت میانگین سایر آزمون‌ها به عنوان ولتاژ شکست روغن گزارش می‌شود.

نکات آزمون ولتاژ شکست روغن

دانشگاه تهران

- ✓ ولتاژ شکست به دمای نمونه‌برداری به شدت وابسته است. مقدار ولتاژ شکست روغن تنها در صورتی دارای اهمیت است که روغن در دمای کاری ترانسفورماتور نمونه‌برداری شده باشد. تحلیل نمونه‌هایی که در دمای کمتر از ۲۰ درجه گرفته شده‌اند اگر در دمای اتاق انجام شده باشد، ممکن است وضعیت خوش‌بینانه‌ای از ترانسفورماتور به دست دهد (نتایج بالاتر از مقدار واقعی).
- ✓ مقادیری که به عنوان حداقل ولتاژ شکست در استانداردهای IEC ذکر شده بر اساس روش فوق است.
- ✓ مقادیر IEEE برای گپ‌های ۱ و ۲ میلی‌متر بوده و روش تبدیل مستقیمی به نتایج تست IEC/VDE وجود ندارد. همچنین نوع الکترودهای آن متفاوت است.

اندازه‌گیری ولتاژ شکست در زمان‌هایی لازم است؟

- ✓ در هنگام تحویل گرفتن روغن نو
- ✓ بعد از تصفیه و پیش از تزریق به ترانسفورماتور
- ✓ در فواصل زمانی مشخص به صورت دوره‌ای

حداقل ولتاژ شکست

- ✓ برای روغن درون بشکه هنگام تحویل گیری اولیه، بایستی ولتاژ شکست روغن حداقل 30 kV باشد.
- ✓ بعد از تصفیه و پیش از تزریق به ترانسفورماتور، مقدار ولتاژ شکست بایستی حداقل به 70 kV برسد.
- ✓ پیش از تفسیر نتایج ولتاژ شکست، لازم است که در مورد تقسیم‌بندی تجهیزات مطابق استاندارد IEC صحبت شود.

تقسیم بندی تجهیزات مطابق IEC 60247

دانشگاه تهران

Category	Type of equipment
Category O	Power transformers/reactors with a nominal system voltage of 400 kV and above
Category A	Power transformers/reactors with a nominal system voltage above 170 kV and below 400 kV. Also power transformers of any rated voltage where continuity of supply is vital and similar equipment for special applications operating under onerous condition
Category B	Power transformers/reactors with a nominal system voltage above 72,5 kV and up to and including 170 kV (other than those in Category A)
Category C	Power transformers/reactors for MV/LV application e.g. nominal system voltages up to and including 72,5 kV and traction transformers (other than those in Category A). Oil-filled circuit breakers with a nominal system voltage exceeding 72,5 kV. Oil-filled switches, a.c. metal-enclosed switchgear and control gear with a nominal system voltage greater than or equal to 16 kV
Category D	Instrument/protection transformers with a nominal system voltage above 170 kV
Category E	Instrument/protection transformers with a nominal system voltage up to and including 170 kV
Category F	Diverter tanks of on-load tap-changers, including combined selector/diverter tanks
Category G	Oil-filled circuit breakers with a nominal system voltage up to and including 72,5 kV. Oil-filled switches, a.c. metal-enclosed switchgear and control gear with a nominal system voltage less than 16 kV

تقسیم بندی تجهیزات مطابق IEC 60247

دانشگاه تهران

- ✓ O: ترانسفورماتور و راکتور ولتاژ 400 kV و بیشتر
- ✓ A: ترانسفورماتور و راکتور با ولتاژ بالاتر از 170 kV تا 400 kV. همچنین ترانسفورماتور با هر سطح ولتاژ که کارکرد پیوسته آن مهم باشد.
- ✓ B: ترانسفورماتور و راکتور با ولتاژ بالاتر از 72.5 kV و کمتر مساوی 170 kV
- ✓ C: ترانسفورماتور و راکتور برای کاربرد MV/LV با ولتاژ کوچکتر مساوی 72.5 kV. کلید روغنی با ولتاژ بیشتر از 72.5 kV. سوئیچ‌گیر روغنی با ولتاژ بیشتر مساوی 16 kV

تقسیم بندی تجهیزات مطابق IEC 60247

دانشگاه تهران

- ✓ D: ترانسفورماتور اندازه‌گیری و حفاظت با ولتاژ بیشتر از 170 kV
- ✓ تبصره: بوشینگ‌ها و سایر تجهیزات هرمتیک در گروه D یا E قرار می‌گیرند.
- ✓ E: ترانسفورماتور اندازه گیری و حفاظت با ولتاژ کمتر مساوی 170 kV
- ✓ F: مخزن دایورتر سوئیچ OLTC
- ✓ تبصره: OLTCهای با تانک مجزا در گروه ترانسفورماتور خود قرار می‌گیرند.
- ✓ G: کلید روغنی با ولتاژ کمتر مساوی 72.5 kV. سوئیچ‌گیر روغنی با ولتاژ کمتر مساوی 16 kV

حداقل مقدار ولتاژ شکست روغن

دانشگاه تهران

آزمون	حدود توصیه شده (الف و ب)			اقدامات توصیه شده
	خوب	متوسط	ضعیف	
ولتاژ شکست (kV)	>۶۰	۶۰-۵۰	< ۵۰	**خوب**: ادامه انجام آزمون به صورت سالیانه
				متوسط: نمونه‌برداری در بازه‌های زمانی کم‌تر. سایر پارامترها نظیر رطوبت، محتوای ذرات و همچنین، tanδ/ مقاومت عایقی و عدد اسیدیته را بررسی کنید.
				ضعیف: تصفیه فیزیکی روغن. به عنوان جایگزین، اگر سایر پارامترها پیری شدید روغن را نشان می‌دهند و از نظر اقتصادی به صرفه باشد، روغن تعویض یا تصفیه شیمیایی شود. فرآیند رطوبت‌زدایی (خشک‌کردن) نیز بایستی انجام گردد.
نکات: توصیه اکید می‌گردد که ولتاژ شکست روغن بعد از تصفیه فیزیکی به بالاتر از 70 kV برسد.				

ارزیابی روغن در یک تجهیز نو پیش از برق داری

دانشگاه تهران

حدود پیشنهادی استاندارد IEC 60422: 2013 برای روغن معدنی

Property	Highest voltage for equipment kV		
	< 72,5	72,5 to 170	> 170
Appearance	Clear, free from sediment and suspended matter		
Colour (on scale given in ISO 2049)	Max. 2,0	Max 2,0	Max. 2,0
Breakdown voltage (kV)	> 55	> 60	> 60
Water content (mg/kg) [a]	20 [b]	< 10	< 10
Acidity (mg KOH/g)	Max. 0,03	Max. 0,03	Max. 0,03
Dielectric dissipation factor at 90 °C and 40 Hz to 60 Hz [c]	Max. 0,015	Max. 0,015	Max. 0,010
Resistivity at 90 °C (GΩ×m)	Min. 60	Min. 60	Min. 60
Corrosive sulphur	Non-corrosive		
DBDS content (mg/kg)	< 5		
Interfacial tension (mN/m)	Min. 35	Min. 35	Min. 35
Total PCB content (mg/kg)	Not detectable (< 2 mg/kg total)		

[c] Higher dielectric dissipation factor values may indicate excessive contamination, or the misapplication of solid materials used in manufacture, and should be investigated.

محمد حامد صمیمی

تحلیل نتایج آزمون ولتاژ شکست روغن

دانشگاه تهران

مشخصه	گروه	حدود مجاز پیشنهادی		
		مناسب	فعلاً قابل‌قبول	نامناسب
ولتاژ شکست (kV)	O , A , D	> ۶۰	۵۰ تا ۶۰	< ۵۰
	B , E	> ۵۰	۴۰ تا ۵۰	< ۴۰
	C	> ۴۰	۳۰ تا ۴۰	< ۳۰
	F	بیشتر از ۳۰ کیلوولت برای تپ چنجرهای در اتصال ستاره بیشتر از ۴۰ کیلوولت برای تپ چنجرهای در اتصال متلث		
	G	-	-	< ۳۰

اقدامات پیشنهادی:

مناسب: ادامه بهره‌برداری و نمونه‌برداری عادی

فعلاً قابل‌قبول: افزایش تعداد نمونه‌برداری و بررسی سایر پارامترها مانند آب ، ذرات معلق و در صورت لزوم ضریب تلفات عایقی/ مقاومت ویژه و اسیدیته

نامناسب : تصفیه فیزیکی روغن یا تعویض روغن درصورتی‌که نتایج سایر آزمون‌ها نشان‌دهنده تخریب گسترده روغن باشد ، یا تصفیه شیمیایی همراه با فرآیند خشک‌سازی

مربوط به ترانسفورماتور در حال بهره‌برداری مطابق IEC 60422:2013

22

محمد حامد صمیمی

تحلیل نتایج آزمون ولتاژ شکست روغن

دانشگاه تهران

مقادیر قابل قبول آزمون ولتاژ شکست برای روغن نو و روغن در حال بهره‌برداری مطابق IEC60296 و IEC60422:2013

آزمون	روغن نو	روغن قبل از راه‌اندازی ترانسفورماتور نو		روغن تپ چنجر
		کمتر از ۷۲/۵ kV	بیشتر از ۷۲/۵ kV	کلیه ولتاژها
ولتاژ شکست (kV)	۳۰ (قبل از تصفیه) ۷۰ (بعد از تصفیه)	۵۵	۶۰	۳۰ (اتصال ستاره) ۴۰ (اتصال مثلث)

آزمون	روغن ترانسفورماتور در حال بهره‌برداری			روغن ترانسفورماتورهای حفاظتی و اندازه‌گیری	
	کمتر از ۷۲/۵ kV	بین ۷۲/۵ kVتا ۱۷۰ kV	بیشتر از ۱۷۰ kV	کمتر از ۱۷۰ kV	بیشتر از ۱۷۰ kV
ولتاژ شکست (kV)	۴۰	۵۰	۶۰	۵۰	۶۰

زمان پیشنهادی برای ارزیابی روغن در سرویس

دانشگاه تهران

بازه زمانی پیشنهادی استاندارد IEC 60422: 2013 برای تست روغن تجهیزات

Property [b]	Equipment category [c]							
	O	A	B	C [d]	D [e]	E [e]	F	G
Group 1 (routine tests) [f] – years	1 to 2	1 to 3	1 to 4	2 to 6	1 to 2	2 to 6	2 to 6	2 to 6
Group 2 (complementary tests)	[g]							
Group 3 (special investigative tests)	[h]							
Group 3 (passivator content)	6 months or less, depending on the rate of decrease and the absolute value.							

زمان پیشنهادی برای ارزیابی روغن در سرویس

بازه زمانی پیشنهادی استاندارد IEC 60422: 2013 برای تست روغن تجهیزات

نوع روغن	روغن ترانسفورماتور در حال بهره‌برداری				روغن تپ چنجر	روغن ترانسفورماتورهای حفاظتی و اندازه‌گیری	
گروه ترانسفورماتور	C	B	A	O	F	E	D
سطح ولتاژ تجهیز	کمتر از ۷۲/۵ kV	بین ۷۲/۵ kV تا ۱۷۰ kV	بین ۱۷۰ kV تا ۴۰۰ kV	بیشتر از ۴۰۰ kV	کلیه ولتاژها	کمتر از ۱۷۰ kV	بیشتر از ۱۷۰ kV
فواصل نمونه‌برداری (سال) [1]	۲ تا ۶	۱ تا ۴	۱ تا ۳	۱ تا ۲	۲ تا ۶	۲ تا ۶	۱ تا ۲

۱- انتخاب هر یک از زمانهای نمونه‌برداری بستگی به اهمیت ترانسفورماتور و نتایج قبلی تست دارد.

توصیه نظام‌نامه

- ✓ انجام آزمون ولتاژ شکست روغن به صورت سالیانه در شرایط عادی است.
- ✓ برای سطح انتقال، حداقل ولتاژ شکست روغن در حال کار بایستی ۶۰ کیلوولت باشد.
- ✓ در مقادیر کمتر لازم است با تعیین علت آن، با انجام تصفیه فیزیکی مقدار ولتاژ شکست به بالاتر از حد فوق ارتقا یابد.