

## تصفیه شیمیایی روغن ترانسفورماتور

تجهیز و قابلیت اطمینان کل سیستم موثر باشد قلمداد می‌شود [۱]. همچنین با گذشت بیش از ۴۰ سال از نصب ترانسفورماتورها در کشور و افزایش بار سیستم، پیری ترانسفورماتورهای قدرت یکی از نگرانی‌های اصلی شبکه می‌باشد. مهمترین قسمت ترانسفورماتورها که عامل اصلی پیری است عایق آنها می‌باشد. که معمولاً از اجزای سلولزی و روغن تشکیل می‌شوند [۲]. در این میان روغن ترانسفورماتور وظایف گوناگونی از جمله ایزولاسیون، خنک‌کنندگی، آغشته نمودن اجزا سلولزی و اطلاعات در مورد وضعیت پیری و کار ترانسفورماتور بعهده دارد [۳]. در اثر عوامل مختلف از جمله رطوبت، اکسیژن و حرارت، سرعت پیر شدن عایق ترانسفورماتور افزایش یافته و باعث ایجاد پراکساید، آب، اسید و در نهایت لجن می‌شوند که این پدیده به نوبه خود باعث کاهش خنک‌کنندگی و کاهش بارگیری ترانسفورماتور و موجب پیری زودرس سلولز و در نهایت مرگ ترانسفورماتور می‌شود [۴]. لازم به ذکر است که افزایش دما و رطوبت روغن ترانسفورماتور تاثیر چشم‌گیری بر کاهش عمر آن دارد [۵]. در پایان چند نمونه عملی از روغن تصفیه شده در پست‌های چاهک و نجفی در برق منطقه‌ای خراسان به همراه نتایج پارامترهای روغن قبل و بعد از تصفیه آورده شده است.

### ۲- لزوم انجام تصفیه شیمیایی

عمر ترانسفورماتور با عمر عایق کاغذ آن یکسان است؛ بنابراین برای افزایش عمر ترانسفورماتور باید عمر عایق کاغذی را افزایش داد [۶]. بنابر اصل هماهنگی عایقی، روغن زودتر از کاغذ روند فرسوده شدن را آغاز می‌کند بنابراین برای جلوگیری از فرسودگی کاغذ، می‌بایست از فرسودگی روغن جلوگیری به عمل آید. برای جلوگیری از فرسودگی روغن و همچنین بازیافت روغن فرسوده انجام تصفیه شیمیایی لازم است. این نوع تصفیه به بهبود رنگ،

محسن محسنی/ شرکت آذرخش انتقال نیرو پاژ  
رضا اکبری/ شرکت آذرخش انتقال نیرو پاژ  
عبادالله کامیاب/ شرکت برق منطقه‌ای خراسان

### چکیده

یکی از عواملی که به خرابی ترانسفورماتور و در نتیجه خاموشی ناخواسته منجر می‌شود فرسودگی عایقی ترانسفورماتور است. این فرسودگی به عوامل مختلفی از جمله رطوبت و دما و اکسیژن موجود در ترانسفورماتور بستگی دارد. به مرور زمان این عوامل باعث ایجاد لجن در روغن می‌شود. از آنجا که ماهیت تشکیل لجن تغییر در ترکیب شیمیایی روغن است برای لجن زدایی و بازگرداندن روغن به حالت اول نیاز به تصفیه شیمیایی می‌باشد. در این مقاله ابعاد مختلف تصفیه شیمیایی روغن ترانسفورماتور بررسی شده و همچنین چند نمونه نتایج عملی آورده شده است.

### ۱- مقدمه

ترانسفورماتور مهمترین و گران‌ترین تجهیز در سیستم‌های قدرت محسوب می‌شود. خروج ترانسفورماتور از مدار در اثر بروز عیب باعث وارد آمدن خسارات جبران‌ناپذیری خواهد شد. اهمیت و جایگاه ترانسفورماتور در سیستم قدرت ایجاب می‌کند که در کلیه مراحل طراحی، ساخت، بهره‌برداری و نگهداری ترانسفورماتور دقت بسیار بالایی لحاظ شود. امروزه بحث نگهداری در سیستم قدرت بخصوص در مورد ترانسفورماتورها بسیار مورد توجه قرار گرفته و به‌عنوان عاملی که می‌تواند در بهبود عمر تجهیز، قابلیت اطمینان

اسیدیته، کشش سطحی روغن ترانسفورماتور و حذف آلودگی‌های قطبی روغن می‌انجامد [۷]. جدول (۱)، دو پارامتر اسیدیته و

عمر روغن، افزایش عمر کاغذ ترانسفورماتور و در نتیجه افزایش عمر ترانسفورماتور اشاره کرد. این روش دارای مزیت‌هایی نسبت به

جدول ۱: رابطه اسیدیته و کشش سطحی و وضعیت ترانسفورماتور

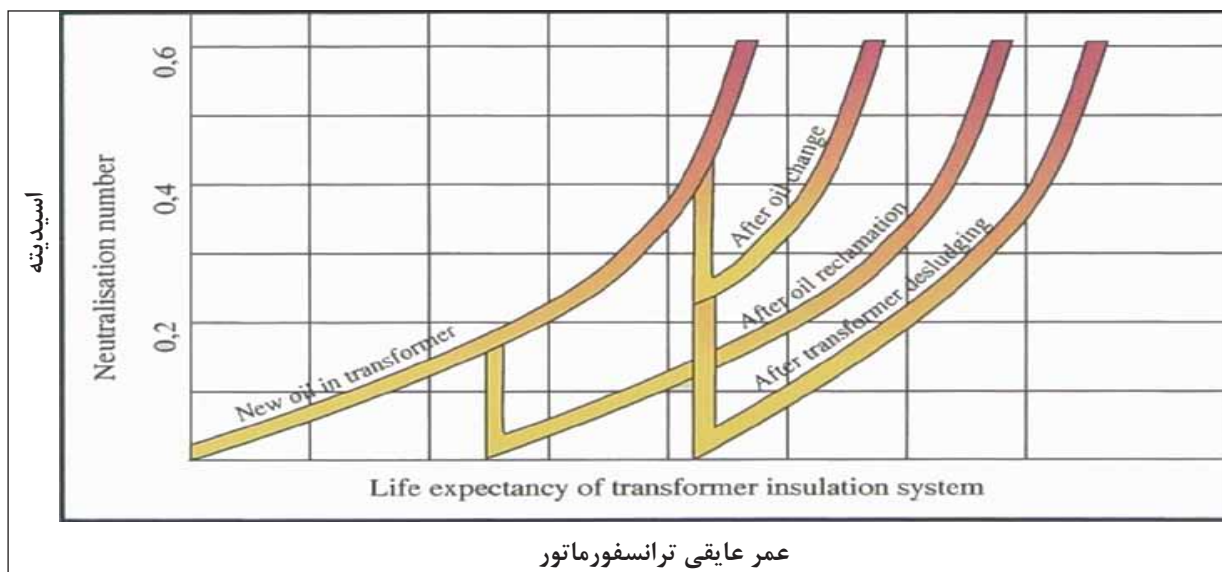
وضعیت اسفبار	خیلی خیلی بد	خیلی بد	بد	حاشیه‌ای	متوسط	روغن خوب
تاثیر روی ترانس						
پوشیده شدن اکتیوپارت با لجن جامد	مسدود شدن بال‌های خنک‌کن توسط لجن	سفت شدن و محکم شدن لجن	ته‌نشین شدن لجن روی سیم‌پیچی‌ها	تولید لجن در روغن	افت کشش بین سطحی با پیدایش آلودگی‌های قطبی	۱- خنک کردن موثر ۲- حفظ عایق
اسیدیته						
1.5 and higher	0.66-1.5	0.41- 0.65	0.16-0.4	0.11-0.15	0.05-0.1	0.03-0.1
کشش سطحی						
6-9	19-14	14-18	18-24	24-27	27-29	30-45

کشش سطحی روغن ترانسفورماتور را به ازای کیفیت‌های مختلف روغن بیان می‌کند.

### ۳- مزایای تصفیه شیمیایی

هدف تصفیه، بازگرداندن روغن کارکرده و فرسوده به روغنی با ویژگی‌های روغن نو و در حد روغن نو است. به طوری که روغن پس از تصفیه، ملاک‌ها و شرایط توصیف شده در استاندارد IEC 60296 را برآورده کند. از جمله مزایای تصفیه به‌طور کلی می‌توان به افزایش

تعویض می‌باشد که عبارت از هزینه مناسب، جلوگیری از هدر رفتن روغن با بازیافت روغن، عدم نیاز به نگهداری روغن آلوده و فرسوده، حفظ محیط‌زیست با انبار نکردن روغن آلوده، جلوگیری از خاموشی شبکه با تصفیه آنلاین، عملکرد بهتر نسبت به حالت تعویض روغن، عدم نیاز به بازکردن درپوش ترانسفورماتور اشاره نمود. در شکل (۱)، سه حالت تعویض، تصفیه فیزیکی و شیمیایی با هم مقایسه شده است. همانطور که در شکل مشخص است تصفیه شیمیایی بهترین نتیجه را در پی دارد.

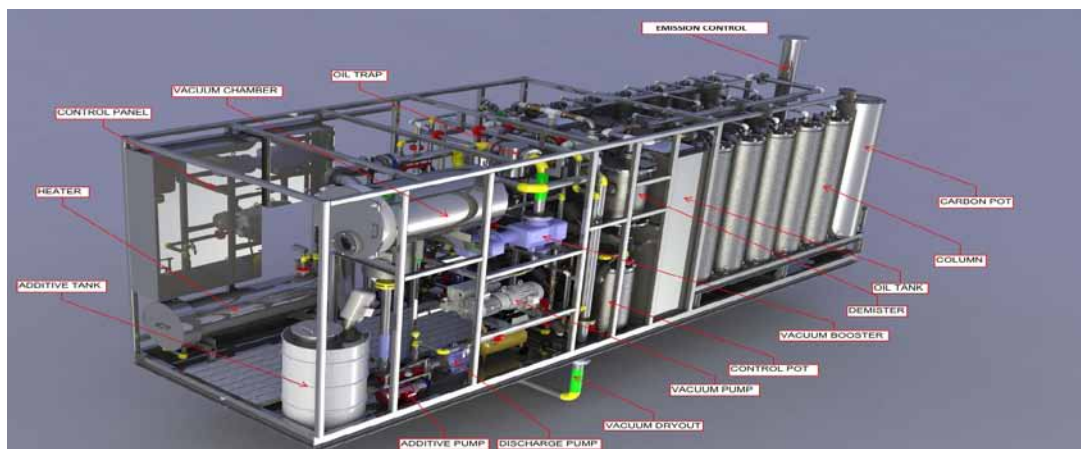


شکل ۱: مقایسه تصفیه شیمیایی و تعویض و تصفیه فیزیکی

### ۴- ساختار دستگاه تصفیه شیمیایی

دستگاه تصفیه شیمیایی دارای سه بخش متفاوت تصفیه عبارت از تصفیه شیمیایی و فیزیکی و فیلتراسیون می‌باشد. مدت زمان لازم برای تصفیه آنلاین یک ترانس بستگی به اسیدیته و حجم روغن

متفاوت است. هر چه اسیدیته روغن بیشتر باشد تعداد دوره‌های سیرکوله روغن افزایش می‌یابد. شکل (۲) یک نمونه دستگاه تصفیه رو به‌طور کامل بدون حفاظ نشان می‌دهد.



شکل ۲: یک نمونه دستگاه تصفیه

### ۵- بخش تصفیه شیمیایی دستگاه

این بخش دارای ستون‌های حاوی خاک رنگبر کاتالیز شده می‌باشد. برای انجام این نوع تصفیه ابتدا دمای روغن توسط هیتر به ۷۰ درجه سانتی‌گراد رسیده و سپس از درون ستون‌های حاوی خاک رنگبر عبور داده می‌شود. در اثر برهم کنش‌های شیمیایی بین روغن با این ماده، آلودگی‌های شیمیایی روغن توسط خاک رنگبر جذب می‌شود. با گذشت مدت زمانی از شروع تصفیه این ماده از آلودگی اشباع شده و در یک پروسه موسوم به احیای خاک رنگبر، این خاک عاری از آلودگی می‌شود. گفتنی است سابق بر این، شرایط احیا پس از آلودگی برای خاک رنگبر وجود نداشت و پس از هر بار آلودگی، خاک تعویض می‌شد. در حالیکه برای دستگاه مورد بحث به تعداد ۵۰۰ بار می‌توان این خاک را احیا نمود. به‌عنوان مثال در گذشته برای انجام تصفیه شیمیایی به حجم ۵۰۰۰۰ لیتر روغن ۵۰۰۰ کیلوگرم خاک رنگبر لازم بود که این خاک پس از تصفیه ۳۰۰۰ کیلوگرم روغن را به خود جذب نموده و همچنین قابل استفاده برای بار دوم نبود.

### ۶- بخش تصفیه فیزیکی

این بخش دستگاه شامل محفظه و پمپ خلا می‌باشد. به این ترتیب که ابتدا روغن پس از گرم شدن تا دمای ۷۰ درجه، از درون یک محفظه خلا با مقدار خلا نیم تور عبور داده شده که طی آن گازها و

رطوبت حل شده در روغن از آن جدا می‌شود.

### ۷- حالت تصفیه آنلاین (ترانسفورماتور برقدار)

برای انجام تصفیه آنلاین نخست باید هواگیری به‌صورت دقیق و کامل انجام گیرد. هنگام انجام تصفیه آنلاین، برای بالابردن سطح قابلیت اطمینان تصفیه، می‌بایست ارتفاع روغن ترانسفورماتور اندازه‌گیری می‌شود. در صورتی که این ارتفاع از این محدوده مشخص شده خارج گردد دستگاه آلارم داده و به‌صورت خودکار روند تصفیه را متوقف می‌نماید. از مزایای این نوع تصفیه می‌توان به کاهش خاموشی اشاره کرد. علاوه بر آن وایبریشن‌ها و دمای روغن در حالت آنلاین کمک می‌کند که آلودگی‌های درون ترانسفورماتور بهتر در روغن حل شده و وارد دستگاه تصفیه گردند. به همین دلیل تصفیه در حالت آنلاین همواره عملکرد بهتری را نسبت به تعویض روغن دارا می‌باشد.

### نتایج چند نمونه تصفیه با دستگاه

#### ۸-۱- پست چاهک (خراسان رضوی)

در این پست دو ترانس  $T_1$  و  $T_2$  به‌صورت آنلاین تصفیه شد. ترانس  $T_1$  دارای ۴/۶ تن روغن و ظرفیت ۱۵ مگاوات آمپر و ترانس  $T_2$  دارای ۱۱/۵ تن روغن و ظرفیت ۱۵ مگاوات آمپر است. نتایج قبل و بعد از تصفیه برای ترانسفورماتور  $T_1$  و  $T_2$  این پست به ترتیب به شرح جداول (۲) و (۳) است. تصفیه  $T_1$  سه روز و  $T_2$  چهار روز به طول انجامید.

جدول ۲: نتایج قبل و بعد از تصفیه برای ترانسفورماتور  $T_1$

S.No	TEST PARAMETER	ASTM TEST	UNIT	BEFORE RE-GEN	AFTER RE-GEN	AFTER REGEN+ 0.08 inhibitor	LIMITS
1	Color	D - 1500	L	4.5	0.5	1	Max 2.0
2	Breakdown voltage	IEC 156	KV	45	75 <	75 <	Min 30
3	Gas content	D - 3612	%	15	0.1	0.1	Max 2.0
4	Viscosity at 40	D-88	mm <sup>2</sup> /s	7	7.2	7.2	Max 11
5	Interfacial Tension	D - 971	Dynes/cm	13.9	34	31	Min 30
6	Neutralization Number	D - 974 e	mgKOH/g	0.12	0.003	0.003	Max 0.05
7	Oxidation Inhibitor %wt	D - 2668	by wt %	-	-	0.08	Min 0.1
8	M.I.N	-	-	116	11333	10333	Min 1500
9	Tan delta at 90	IEC 247	-	0.062	0.005	0.005	Max 0.1
10	Resistivity at 90	IEC 248	GΩ.M	3.51	61.2	55.7	.Not spec
11	Watter content at 20	D - 974	ppm	13	4	4	Max5

جدول ۳: نتایج قبل و بعد از تصفیه برای ترانسفورماتور T۲

S.No	TEST PARAMETER	ASTM TEST	UNIT	BEFORE RE-GEN	AFTER RE-GEN	AFTER REGEN+ 0.08 inhibitor	LIMITS
1	Color	D - 1500	L	4.5	0.5	1	Max 2.0
2	Breakdown voltage	IEC 156	KV	64.1	71.9	68.9	Min 30
3	Gas content	D - 3612	%	15	0.1	0.1	Max 2.0
4	Viscosity at 40	D-88	mm <sup>2</sup> /s	8.1	7.8	7.88	Max 11
5	Interfacial Tension	D - 971	Dynes/cm	23.6	39.5	35	Min 30
6	Neutralization Number	D - 974 e	mgKOH/g	0.088	0.003	0.002	Max 0.05
7	Oxidation Inhibitor %wt	D - 2668	by wt %	-	-	0.08	Min 0.1
8	M.I.N	-	-	268	--	17500	Min 1500
9	Tan delta at 90	IEC 247	-	0.014	0.003	0.004	Max 0.1
10	Resistivity at 90	IEC 248	GΩ.M	15.6	122	110	.Not spec
11	Watter content at 20	D - 974	ppm	5.5	1.4	2.4	Max5

جدول ۴: نتایج قبل و بعد از تصفیه

S.No	TEST PARAMETER	ASTM TEST	UNIT	BEFORE RE-GEN	AFTER REGEN	AFTER REGEN+ 0.08 inhibitor	LIMITS
1	Color	D - 1500	L	4.5	0.5	1	Max 2.0
2	Breakdown voltage	IEC 156	KV	60	72.6	75 <	Min 30
3	Gas content	D - 3612	%	15	0.1	0.1	Max 2.0
4	Viscosity at 40	D-88	mm <sup>2</sup> /s	9.3	8.7	7.2	Max 11
5	Interfacial Tension	D - 971	Dynes/cm	15	34.6	30.8	Min 30
6	Neutralization Number	D - 974 e	mgKOH/g	0.22	0.003	0.003	Max 0.05
7	Oxidation Inhibitor %wt	D - 2668	by wt %	-	-	0.25	Min 0.1
8	M.I.N	-	-	68	11546	10267	Min 1500
9	Tan delta at 90	IEC 247	-	0.072	0.005	0.005	Max 0.1
10	Resistivity at 90	IEC 248	GΩ.M	2.5	73.8	71	.Not spec
11	Watter content at 20	D - 974	ppm	8	1.3	1.3	Max5

### ۸-۲- پست نجفی (خراسان رضوی)

در این پست یک ترانس با وزن روغن ۱۲/۴ تن و ظرفیت ۳۰ مگاوات ترانسفورماتور این پست به شرح جدول (۴) است. تصفیه این ترانس ۵ روز به طول انجامید.

در این پست یک ترانس با وزن روغن ۱۲/۴ تن و ظرفیت ۳۰ مگاوات آمپر به صورت آنلاین تصفیه شد. نتایج قبل و بعد از تصفیه برای

## مدل سازی و توسعه مدولاسیون مبدل ماتریسی و تحلیل پایداری

مهدی علومی بایگی

استاد راهنما: دکتر رضا قاضی

استاد مشاور: دکتر محمد منفرد

گروه برق / دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

هدف اصلی این تحقیق کنترل مبدل ماتریسی مبتنی بر استراتژی کوچک ترین تصویر با توجه به ویژگی های حائز اهمیت این مبدل می باشد. مبدل های الکترونیک قدرت مورد مطالعه شامل اینورتر سه فاز متصل به شبکه، مبدل ماتریسی مستقیم متصل به بار و شبکه و مبدل ماتریسی غیرمستقیم می باشد. برای تحقق این روش، ابتدا مبدل های فوق به صورت سیستم های سوچینگ خطی مدل سازی و سپس شرط پایداری روش کنترلی پیشنهادی محاسبه شده است. جهت پیاده سازی استراتژی پیشنهادی، نیاز به یک قانون کنترلی مناسب است که در این تحقیق برای هر مبدل، یک قانون کنترلی مستقل از پارامترهای سیستم و بار ارایه شده است. برای بررسی عملکرد روش پیشنهادی، سیستم های مورد مطالعه به کمک نرم افزار PSCAD/EMTDC شبیه سازی گردیده و با توجه به سیگنال کلیدزنی بدست آمده و روش CBH پایداری اثبات و نتایج به دست آمده با روش های رایج کنترل ولتاژگرا و کنترل پیش بین مقایسه شده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد که روش پیشنهادی به نحوه مطلوب قادر به کنترل مناسب مبدل های الکترونیک قدرت مورد مطالعه در حالت دائم و گذرا بوده و حساسیت آن به تغییر پارامترهای سیستم بسیار کم است. در این رساله همچنین استراتژی کوچک ترین تصویر برای کنترل ژنراتور القایی تغذیه دوگانه در واحدهای بادی استفاده شده است. نتایج به دست آمده از شبیه سازی نشان می دهد که عملکرد این استراتژی در مقایسه با روش های رایج به خصوص در حالت گذرا دارای برتری است. در ادامه روش کنترل و مدولاسیون پیشنهادی بر روی مدار آزمایشگاهی مبدل ماتریسی اعمال و نتایج به دست آمده با نتایج شبیه سازی مقایسه و عملکرد روش پیشنهادی مورد تأیید قرار گرفته است.

کلمات کلیدی:

مبدل ماتریسی، استراتژی کوچکترین تصویر، کنترل پیش بین، مدولاسیون

\*\*\*

شکل های (۳) و (۴) نمونه های روغن قبل تصفیه و در حین تصفیه و پس از تصفیه به ترتیب از چپ به راست نشان داده شده است.



شکل ۳: نمونه پست چاهک



شکل ۴: نمونه پست نجفی

### ۱۰- نتیجه گیری

در این مقاله به ابعاد مختلف تصفیه شیمیایی روغن ترانس پرداخته شد. همانطور که مشاهده می شود به وسیله دستگاه تصفیه شیمیایی می توان روغن فرسوده را به حالت اولیه بازگرداند. به طوریکه این عمل علاوه بر صرفه جویی اقتصادی دارای مزایای زیست محیطی نیز می باشد. هزینه لازم برای انجام تصفیه شیمیایی حدود ۲۷ درصد هزینه لازم برای تعویض روغن است. علاوه بر این تصفیه شیمیایی دارای مزایای از جمله جلوگیری از هدر رفتن روغن با بازیافت روغن، جلوگیری از خاموشی شبکه با تصفیه آنلاین، عملکرد بهتر نسبت به حالت تعویض روغن، عدم نیاز به باز کردن درپوش ترانسفورماتور اشاره نمود.

\*\*\*

منابع

- [1] T. Waugh, D. Muir, "Improving the life cycle management of power transformers transforming data to life," IEEE Conference publication. 2015.
- [2] W. Ziomek; K. Vijayan; D. Boyd; K. Kuby; M. Franckek. "High voltage power transformer insulation design," IEEE Conference publication. 2011.
- [3] C. Krause, "Power transformer insulation – history, technology and design," IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2012.
- [4] J. Nicho, I. Fofana ; A. Beroual ; T. Aka-Ngnui. "Aged oils reclamation: Facts and arguments based on laboratory studies," IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2012.
- [5] B. W. Ward, T. V. Oommen and J. A. Thompson, "Moisture estimation in transformer insulation", technical presentation for the IEEE/PES Transformers Committee, Spring 2004 Meeting
- [6] D. Martin, R. Dee; G. Buckley; S. Chinnarajan; G. Caldwell; J. Bin Zhou; G. Russell. "Determining water in transformer paper insulation: analyzing aging transformers Determining water in transformer paper insulation: analyzing aging transformers,".
- [7] J. Sabau, "On line reclamation of aged transformer oils," Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing & Coil Winding Conference, pp. 557 – 565. 2001.