ترانسفورماتور

فصلنامه ترانسفورماتور
اولین نشریه اختصاصی ترانسفورماتور در ایران
سال اول . شماره ۱ . تابستان ۱۳۹۴

در این شماره می خوانید:

انفجار ترانسفورماتور در نیروگاه اتمی در امریکا
آشنایی با نحوه تدوین استانداردهای IEC در گفتگو با دکتر بهروز پهلوانپور
روشهای ارزیابی وضعیت و عیب یابی تپ چنجر
باورهای غلط ولی رایج در خصوص روغن
آشنایی با ترانسفورماتورهای توزیع کم تلفات
عمر سنجی ترانسفورماتور به روش استاندارد IEC62874: 2015
ترجمه کتاب‌های ترانسفورماتور J&P و ABB

ALVAND TAVAN ENERGY CO.

Multi Metall

ITCE

DIDEE

ENERGY SUPPORT

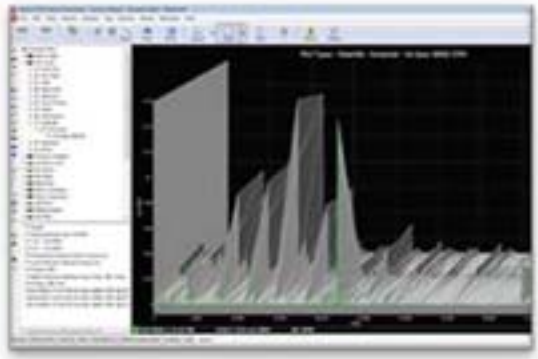
DTC

شرکت خدمات فنی و مهندسی الوند توان انرژی ATEC

فروش تجهیزات تست و نمونه برداری از روغن / تست و تحلیل نتایج آزمونهای روغن / پوشش رفع نشتی روغن ترانسفورماتور بصورت online / ارئه خدمات مشاوره / تستهای الکتریکی و تعمیرات ترانسفوماتور / برگزاری کنفرانس و دوره های آموزشی ترانسفورماتور

تلفن: ۲۲۰۱۸۷۱۲ _ ۲۲۰۱۸۵۱۱ فکس: ۲۲۰۱۸۷۶۳

وبسایت: www.Atecco.ir



65 Years of Excellence in Industrial Maintenance

HEMPEL
Technische Diagnostik

Industrial Smart Solution in Maintenance

- Condition Monitoring of Industrial Machinery and Drives
  - Monitoring Products and Services
  - Planned and PreDictive Maintenance
- Reliability Programms RCM
- Added Value by Strategic Maintenance
  - Lifecycle Management by MoDaLink ®
  - Continious Improvement CIP
- Remonte Monitoring and Diagnostic
  - 24/7 Service and Support
- Machinery Protection Systems
  - Automatic Anomaly Detection
- Maintenance Consulting
  - Maintenance Training
  - Classroom or Hands-on
- Machine Failure Analysis
  - Why did it fail? RCA

HEMPEL Technische Diagnostik GmbH • Siemensring 29 • D-47877 Willich
Germany +49 2154 / 49 89 - 50 • kmh@hem-net.de • www. hem-net.de

بهگام فرآیند نوین
نمایندگی رسمی شرکت OMICRON اتریش

B.F.N
بهگام فرآیند نوین

1. تست تخلیه جزئی روی ترانسفورماتور ، کابل و ماشین‌های دوار
TANDO 700 , MPD 600 , PDL650, MPD500

2. مانیتورینگ دائم و موقت ترانسفورماتور و کابل و ماشین‌های دوار
OMS 600 , OMS 605 , OMS 800 , MONTRANO

3. انواع تست روی ترانسفورماتورها
CPC100 , TD1 , DIRANA, FRANEO 800
CT Analyzer , VOTANO 100

4. تست کلیدهای قدرت
CIBANO 500

5. تست انواع رله‌ها
CMC 356 /CMC256 /CMC 353 /CMC 310

Info@behgamfarayand.ir
www.behgamfarayand.ir

تلفن
۰۲۱-۸۸۵۳۲۸۰۳-۵
۰۲۱-۸۸۵۱۳۶۰۱-۲
۰۲۱-۸۸۵۴۳۳۹۲
۰۲۱-۸۸۵۴۲۶۵۹

فکس
۰۲۱-۸۸۵۳۲۸۰۶

تهران ، خیابان مطهری، خیابان میرعماد، کوچه چهارم ، پلاک ۱۲ ، واحد ۱۰

B.F.N

Behgam Farayand Novin B.F.N

OMICRON Official Sales partner in Iran

Applications

+ Protection Testing
+ Measurement EquipmentTesting
+ Power Transformer Testing & Monitoring
+ Instrument Transformer Testing
+ Rotating Machines Testing & Monitoring
+ Cable Testing & Monitoring
+ Transmission Line Testing
+ Grounding System Testing
+ Power Utility Communication

Unit10 , No.12
4th Alley , Miremad St.
Motahari Ave.
Tehran

Tel:
+98 21- 88532803-5
+98 21- 88513601-2
+98 21- 88543392
+98 21- 88542659

Fax:
+98 21- 88532806

Info@behgamfarayand.ir
www.behgamfarayand.ir

گـروه فنی و مهندسی نیرونماد خراسـان از شرکتهای دانش بنیان و مولد می باشد که بیش از ۱۱ آسیا، آفریقا و خاورمیانه عرضه نموده است. زمینه فعالیتهای این گروه شامل : طراحی ، تولید و بازرگانی بگ فیلتر ، غبارگیر، سیکلون ، هیدرو سیکلون ، اسکیمر، تصفیه و خالص سازی گاز SF6، سیستمهای با داشتن کادری مجرب ، متخصص و بهره گیری از دانش روز دنیا و آزمایشگاههای تخصصی با تضمین فولاد، دریائی ، غذایی و...) می باشد.

گروه فنی و مهندسی
نیرونماد خراسان

تولیدات

- بازیافت روغنهای ترانسفورماتور و صنعتی
- تصفیه فیزیکی روغن ترانسفورماتور
- تصفیه روغن هیدرولیک و توربین
- طراحی و ساخت سیستمهای فلاشینگ
- فیلتر الکترواستاتیک (حذف وارنیش)
- فیلتراسیون سوخت
- رفع آلودگی های سطحی
- بگ فیلتر ، تیکنر
- سیلکون ، هیدروسیکلون

خدمات

- بازیافت روغن ترانسفورماتور در محل
- تصفیه روغن های صنعتی درمحل با سطح تمیزی استاندارد
- سرویس ، نصب ، نگهداری و تعمیرات انواع ترانسفورماتور
- اجاره و واگذاری سیستم های خلأ
- فلاشینگ و اسید شویی لوله و مخازن
- خشک کردن لوله و مخازن تحت خلاء
- رنگبری و بوگیری از روغن

بازرگانی

- تامین و فروش تجهیزات کامل آزمایشگاه روغن (دی الکتریک ، اسیدیته ، تانژانت دلتا ، کارفیشر، جی سی ، آنالیزور روغن و ...)
- تامین و فروش دستگاه اندازه گیری عایقی تجهیزات (کابل ، سرکابل ، مقره ، باس بار و سایر مواد عایقی)
- تامین و فروش تجهیزات کامل عیب یابی کابل های برق و مخابرات
- تامین و فروش انواع روغنها و گریس های داخلی و خارجی
- تامین و فروش انواع تجهیزات وکیوم

دستگاه تصفیه روغن هیدرولیک

دستگاه تصفیه روغن ترانسفورماتور

مشهد .جاده سنتو .شهرک فنا
تلفن :۶۰-۳۲۴۰۰۷۵۷-
mail:Info@niroonamad.com

محصول دانش بنیانی را به مرحله تجاری سازی و تولید انبوه رسانده است که به مشتریان خود در اروپا،

انواع ماشین آلات بازیافت و تصفیه روغن های: ترانسفورماتور ،توربین ، هیدرولیک و ...

فلاشینگ و همچنین تامین و فروش روغن های صنعتی و تجهیزات (وکیوم ،آزمایشگاهی و فشارقوی)

بهترین کیفیت آماده همکاری با کلیه صنایع (نفت ، گاز ، پتروشیمی ، نیروگاهی ، معادن ، سیمان ،

دستگاه تست عایقی
تجهیزات فشار قوی مدل HVT – 70/50

خودرو ضب یک کانال مدل ETL – 40V

آنالیز میزان گازهای محلول
در روغن ترانسفورماتور

تست روغن ترانسفورماتور

تست تلرانس دلتا مدل (Tangens-3M)

سرمان رطوبت

تست ولتاژ شکست روغن در سه سطح
ولتاژ ۸۰ ، ۹۰ و ۱۰۰ کیلوولت

OLT-80M
OLT-90M
OLT-100M

دستگاه موبایل ضب یک کانال مدل SWG – 32/1000

دستگاه تصفیه شیمیایی روغن ترانسفورماتور

خدمات تصفیه روغن درمحل

دستگاه تصفیه روغن توربین

وریهای برتر. انتهای صنعت ۱۱. نبش کوشش ۵

۰۵۱

فکس : ۰۵۱-۳۲۴۰۰۷۶۱

Web:www.niroonamad.com

E

شرکت نفت بهران با نیم قرن تجربه در صنعت روانکارها به عنوان بزرگ ترین تولیدکنندهٔ روانکارها در ایران شناخته می شود. این شرکت با دارا بودن یکی از مجهزترین مراکز پژوهشی و بزرگ‌ترین شبکهٔ خدمات مهندسی در تهران و هفت استان صنعتی کشور و همچنین توانایی بالا و انعطاف پذیر پالایشگاه آن در تولید انواع روغن پایه و روانکارها، عملکرد بسیار مطلوبی در زمینه فرمولاسیون و تأمین روانکارهای جدید با بالاترین سطح کیفیت و همگام با پیشرفت های جهانی داشته است.

شرکت نفت بهران با تکیه بر توانمندی های خود، در طی سالیان اخیر، موفق به اخذ گواهینامه ها، تائیدیه های بین المللی و همچنین مجوزهای کیفی از اداره استاندارد شده است. برخی از این موارد به شرح زیر می باشد:

- انتخاب شرکت نفت بهران به عنوان واحد تولیدی نمونه از اداره استاندارد استان تهران
- کسب رتبهٔ زرین بهره وری از وزارت صنایع و معادن
- انتخاب به عنوان صد شرکت برتر در سالیان متوالی
- اخذ تائیدیه از سازندگان معتبر جهانی : Mercedes Benz , ZF , MAN , Volvo , Voith , Siemens
- دریافت گواهینامهٔ سیستم تأمین کنندگان زنجیره تأمین خودرو، مبتنی بر استاندارد ISO TS 16949 از شرکت IMQ کانادا
- عضویت در شبکه جهانی کیفیت IQNET از شرکت IMQ کانادا
- دریافت گرید A از شرکت اپکو (گروه خودروسازان) در زمینه طراحی و تولید انواع روانکارها
- ISO 9001 از مؤسسهٔ بین المللی SGS انگلیس در سال ۱۳۷۸
- ISO 14001 از شرکت TUV NORD آلمان در سال ۱۳۸۷
- OHSAS 18001 از شرکت TUV NORD آلمان در سال ۱۳۸۹

تاریخچه:

شرکت نفت بهران در سال ۱۳۴۱ با سرمایه ۲۲۵ میلیون ریال، با مشارکت بخش خصوصی و با امتیاز شرکت چند ملیتی EXXON تأسیس و به نام شرکت تولید و تصفیه روغن (سهامی عام) به ثبت رسید. تا زمان پیروزی انقلاب اسلامی این شرکت، محصولات خود را تحت نام ESSO و با نام های تجاری کمپانی EXXON امریکا به بازار عرضه میکرد. پس از پیروزی انقلاب اسلامی ، تحت پوشش بنیاد مستضعفان و جانبازان انقلاب اسلامی، فعالیت خود را ادامه داد. در سال ۱۳۶۳ به نام شرکت پالایش روغن تهران، ثبت گردید و در سال ۱۳۷۰ نام آن به "شرکت نفت بهران (سهامی عام)" تغییر یافت.

شرکت نفت بهران
(سهامی عام)

بهران ترانس II

روغن عایق الکتریکی برای استفاده در انواع ترانسفورمرها
بویژه ترانسفورمرهای پرقدرت

بهران ترانس II مطابق با سطوح کیفیت

IEC60 296(03)

BS 148:97 class I & II

ASTM D-3478 Type I

RAMTEC
NIROO RAMSHIR
TRADING & ENGINEERING CO.

شرکت مهندسی و بازرگانی
نیرو رامشیر

همکار شما درطراحی، تامین و اجراء انواع:

ترانسفورماتور قدرت و توزیع
راکتور، سرکابل و لوازم جانبی
تحقیقات، بررسی های فنی و عیب یابی

Your Partner for Supply & Installation of:

Power & Distribution Transformer & Reactor
Transformers Terminations & Bushings

SÜDKABEL

تهران، میرداماد غربی، ساختمان باران پلاک ۴۰۸ طبقه سوم
تلفن : ۸۸۸۸۱۸۳۰
نمابر: ۸۸۷۹۸۴۲۱
ایمیل: info@ramtec-ir.com
وب سایت: www.ramtec-ir.com

شرکت فنی و مهندسی **البرزتدبیرکاران** (سهامی خاص)

جامع ترین آزمایشگاه پایش وضعیت(CM) Condition Monitoring

و آنالیز روغن در کشور و منطقه

- ✓ خدمات آزمایشگاهی آنالیز روغن
- ✓ مشاوره های فنی و تحقیقات پایش وضعیت (CM)
- ✓ تحلیل و تفسیر نتایج آنالیز روغن نو و کارکرده
- ✓ انجام آزمایشات مطابق با استانداردهای بین المللی

آزمایش و آنالیز روغن

- ترانسفورماتورهای برق
- سیستم های هیدرولیک
- توربین های گازی و بخار
- کمپرسورها
- موتورهای دیزل
- سیستمهای کنترل
- سیستمهای انتقال قدرت

اهداف پایش وضعیت (CM)

- عیب یابی تجهیزات مکانیکی و ترانسفورماتورهای برق
- صرفه جویی در هزینه تعمیرات
- کنترل کیفیت و ارزیابی عمر روغن
- بهبود کنترل های مدیریتی
- آگاهی و کنترل آلودگی های روغن
- پیشگیری از توقف تجهیزات
- تصفیه یا تعویض بموقع روغن

اجرای آنالیز روغن گامی موثر در اجرای استراتژی های پیش اقدام (Proactive)

نشانی : خیابان بهشتی ، خیابان صابونچی (مهناز) ، کوچه مهمان دوست ، پلاک ۴۰

www.alborztadbir.com

۸۸۷۴۱۵۶۹ - ۸۸۷۶۰۸۰۳

۸۸۵۱۵۱۳۶-۹

روغن ترانسفورماتور مطابق با استاندارد IEC 60296 (2012)

Gulf Transcrest U

روغن ترانسفورماتور با پایه نفتنیک جهت استفاده در ترانسفورماتورهای قدرت، فوق توزیع و راکتورها

دارای تاییدیه از:

- شرکت سهامی تولید، انتقال و توزیع نیروی برق ایران (توانیر)
- سازمان ملی استاندارد ایران
- انستیتو شرینگ دانشگاه هانوفر آلمان
- پژوهشگاه نیرو
- پژوهشگاه صنعت نفت ایران

Features & benefits

- High dielectric strength
- Excellent insulation and quenching of electric arc
- Low power-loss contributes to overall efficiency
- Low viscosity and high interfacial tension
- Effective long term protection from rust and corrosion

Applications

- Insulating and cooling oil for electrical transformers, switchgears, circuit breakers, capacitors

تلفن: ۰۲۱-۲۳۵۵۰
فکس: ۰۲۱-۲۲۸۲۰۲۳۵
www.raysunoil.com

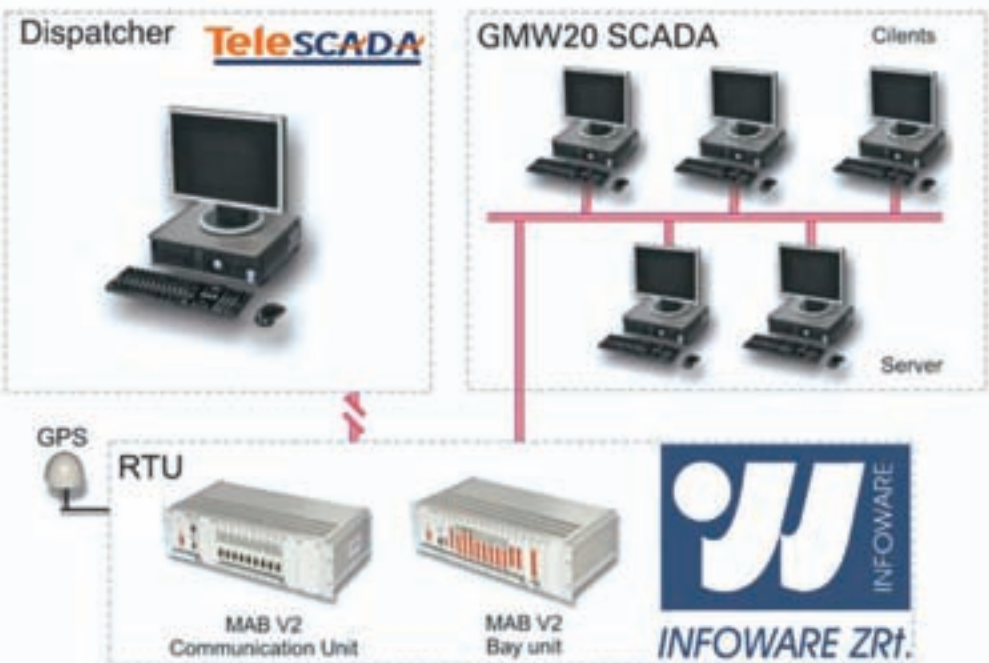
شرکت اندیشه های فرانگر برسام

BGS

Barsam Global Systems Co.

مهندسی ، تامین و راه اندازی سیستمهای اسکادا و اتوماسیون در پروژه های نیروگاهی، پست SA، صنایع نفت و پتروشیمی ، فولاد ، صنایع ریلی و آبرسانی :

- **نرم افزار های اتوماسیون و مانیتورینگ**
- **نماینده انحصاری Infoware در زمینه RTU , BCU**
- **تامین مبدلهای پروتکلی سیستمهای اتوماسیون**



آدرس : تهران - بزرگراه نیایش - جنت آباد شمالی - چهار راه المهدی - پلاک ۳۲۴ تلفن : ۵-۴۴۸۲۲۶۱۴ ۰۲۱ فاکس : ۴۴۸۳۷۶۶۱ ۰۲۱

Email : Info@bgsco.net Website : www.bgsco.net

شرکت فنی و مهندسی

پاد انرژی نـاره

خدمات فنی و مهندسی و تامین تجهیزات الکتریکی

PENCO

Engineering & Solution of Power and Distribution Transformers

شرکت پاد انرژی ناره(پنکو) با برخورداری از سوابق درخشان افراد متخصص و مجرب در زمینه های طراحی، ساخت و تعمیرات، نصب، راه اندازی، تست و عمر سنجی انواع ترانسفورماتورهای توزیع و قدرت تاسیس گردید و با بهره گیری از تجربیات ۱۵ ساله افراد مؤسس، اکنون به عنوان یکی از شرکت های پویا و موثر در ارائه خدمات فنی و مهندسی صنعت برق بخصوص در زمینه ترانسفورماتورها مطرح است.

این شرکت با تکیه بر دانش و تجربیات ارزشمند چندین ساله کارگاهی و سایتی افراد مجرب، خود را موظف به ارائه بهترین خدمات به مشتریان نموده و رزومه شرکت در این راستا بیانگر این حقیقت است.

اهم فعالیت های شرکت به شرح ذیل می باشد:

- مانیتورینگ ترانسفورماتور شامل: مشاوره، تامین، نصب و بهره برداری
- نصب و راه اندازی انواع ترانسفورماتورها
- انجام تست های پیش از راه اندازی شامل انواع تست های الکتریکی و روغن
- تعمیر، سرویس و اورهال انواع ترانسفورماتورها در سایت مشتری و کارگاه
- سرویس و اورهال انواع کلیدهای تنظیم ولتاژ نصب بر روی ترانسفورماتورها (متخصص در سرویس کلیدهای تنظیم ولتاژ ABB و ASEA) و تامین قطعات یدکی کلیدهای تنظیم ولتاژ
- عمرسنجی کامل ترانسفورماتورها به همراه تجهیزات جانبی شامل بوشینگ های خازنی و کلیدهای تنظیم ولتاژ
- اندازه گیری رطوبت مواد عایقی، سیرکولاسیون روغن و خشک سازی اکتیویارت
- انجام تمامی تست های روغن شامل انواع تست های کنترل کیفی، گاز کروماتوگرافی، تحلیل نتایج و انجام اقدامات پیشگیرانه بر اساس تجربیات عملی و موثر
- انجام تمامی تست های الکتریکی مدرن شامل FRA , FDS و PD
- ارائه کلاسهای آموزشی تئوری و عملی در خصوص نصب، تست، سرویس و نگهداری ترانسفورماتورهای قدرت و توزیع، سرویس و اورهال انواع تپ چنجرها
- ارائه تمامی خدمات مشاوره و نظارت ترانسفورماتورها (تهیه مشخصات فنی، طراحی، ساخت، تستهای کارخانه ای، نصب، تست های راه اندازی، بهره برداری و تعمیرات)
- تامین انواع تجهیزات مورد نیاز ترانسفورماتورها شامل: روغن، بوشینگ، ترمومترهای روغن و سیم پیچ، رله های فشارشکن، بوخهلتس و جانسون، شیرآلات، فن، رادیاتور، منبع انبساط، محفظه سیلیکاژل، کیسه هوا (ایربگ) و غیره

ترانسفورماتور تخصص ماست

www.pencopower.com
info@pencopower.com

تلفن: ۶۴-۳۴۰ ۹۱۲ ۰۲۱ فکس: ۶۵ ۹۱۲ ۳۴۰-۰۲۱ موبایل: ۰۹۱۲-۵۲۲۱۰۳۹

به نام خدا

ترانسفورماتور

صاحب امتیاز و مدیرمسئول:
مهندس آرش آقایی‌فر
سردبیر:
مهندس محمد میری
اعضای شورای سیاستگذاری:
مهندس محمد میری
مهندس مهدی آقایی‌فر
مهندس آرش آقائی‌فر
دبیر هیئت تحریریه:
سیامک غفاری
مدیر امور اجرایی:
مهندس آرش نواب‌پور
همکاران این‌شماره:
مهندس سپهر برزی‌مهر
سمیه کاظم‌زاده، بهارک باقرپور
ترانه غفورالهی، احمد میری
گرافیک:
استودیو اکنون
مدیر مالی:
ایلناز نواب‌پور
ویراستار:
سارا هاشمی
لیتوگرافی، چاپ و صحافی:
فارابی

نشانی:
تهران، بلوار نلسون ماندلا(آفریقا)
خیابان ناهید شرقی، پلاک ۲۰، واحد ۸ شرقی
تلفن: ۲۲۰۵۱۸۷۷ و ۲۲۰۵۶۷۵۵
فکس: ۲۲۰۱۸۷۶۳
سازمان آگهی‌ها: ۲۲۰۲۰۸۶۵
سایت: www.Transformer-magazine.ir
ایمیل: info@transformer-magazine.ir

در این شماره می‌خوانید

سخن مدیرمسئول	۲
سرمقاله	۴
اخبار	۶
گزارش	۹
ترانسفورماتور از نگاه آمار (۱)	۱۱
گفت و گو	
مقایسه ارتباط صنعت و دانشگاه در ایران و آلمان در گفت‌وگو با پروفسور حسین برسی	۱۴
روند تدوین استانداردهای IEC در گفت و گو با دکتر بهروز پهلوانپور	۱۷
ترانسفورماتور از نگاه آمار (۲)	۲۲
مقالات	
مقاله اول: ارزیابی وضعیت تپ‌چنجر ترانسفورماتور قدرت با استفاده از آنالیز گازهای محلول در روغن (DGA)	۲۴
مقاله دوم: آزمون‌های فشار قوی ترانسفورماتور در سایت	۲۸
مقاله سوم: جایگزینی ترانسفورماتورهای دارای گروه اتصال YNd به جای ترانسفورماتورهای دارای گروه اتصال Dyn با نسبت تبدیل ۱۳۲/۳۳ کیلوولت در شبکه خوزستان	۳۳
مقاله چهارم: مروری بر بهره‌برداری، اورهال و روش‌های تشخیص عیوب تپ‌چنجر قابل قطع زیر بار در ترانسفورماتورهای قدرت	۳۵
مقاله پنجم: ارزیابی وضعیت و اولویت‌بندی ترانسفورماتورهای قدرت براساس مفهوم شاخص سلامت	۳۹
مقاله ششم: ترانسفورماتورهای توزیع کم تلفات	۴۵
مقاله هفتم: باورهای غلط ولی رایج در خصوص تصفیه فیزیکی، تصفیه شیمیایی و تعویض روغن ترانسفورماتور	۴۸
تجارب بهره‌برداری	
تجارب عملی بررسی نقطه داغ یک ترانسفورماتور اصلی نیروگاهی	۵۲
ترانسفورماتور از نگاه آمار (۳)	۵۶
معرفی استاندارد	
معرفی استاندارد IEC TR 62874 ed.1 (ویرایش سال۲۰۱۵)	۶۰
کتاب	
کتاب ترانسفورماتور J&P	۶۸
کتاب راهنمای جامع سرویس و نگهداری ترانسفورماتور ABB	۷۴
معرفی کتاب: راهنمای کاربردی- عملی خطایابی ترانسفورماتور	۸۰
رویدادهای آتی	۸۲

سخن مدیر مسئول

آرش آقائی فر
صاحب امتیاز و مدیر مسئول

با وجود اینکه صنعت ترانسفورماتور در زمره صنایع با تکنولوژی پیشرفته (High Technology) محسوب نشده و تغییرات فناوری در آن بسیار آرام صورت می گیرد و همچنین عمر، راندمان و قابلیت اطمینان این تجهیز نیز بالاست، لیکن اهمیت این صنعت در ایران، از لحاظ فنی و اقتصادی روز به روز درحال افزایش است که دلایل ذیل را می توان برای آن برشمرد:

الف) پیشـــرو بودن صنعت ترانسفورماتور در ایران: خوشبختانه صنعت ترانسفورماتور (چه در بخش تولید و چه در بخش بهره برداری و تعمیرات) در مقایسه با سایر صنایع داخلی، فاصله کمتری با کشورهای تراز اول دنیا داشته و جزو کالاها و خدمات با توانمندی صادراتی محسوب می شود. ارزش صادرات ترانسفورماتورهای توزیع و قدرت در سال ۱۳۹۳ بالغ بر ۷۴ میلیون دلار و واردات آن در همین سال کمتر از ۱۴ میلیون دلار بوده است. که نشان دهنده تزریق ۶۰ میلیون دلار به اقتصاد کشور از راه این صنعت می باشد[۱]. البته لازم است به این آمار، ورود ارز حاصل از صدور خدمات فنی و مهندسی در زمینه ترانسفورماتور را نیز افزود. این ارقام در شرایطی محقق شده است که صادر کنندگان با موانع متعدد ناشی از تحریمها (بویژه تحریمهای بانکی) روبرو بودند.

ب) سیاســتهای دولت در حمایت از تولیدات داخلی: مصوبه هیئت وزیران در اردیبهشـــت ۱۳۹۳در خصوص ممنوعیت خرید کالاهای خارجی دارای تولید مشابه داخلی، یکی از نشانه های حمایت جدی دولت از تولیدات داخلی می باشد که به نظر ثمر بخش نیز بوده است. بطوریکه نسبت واردات به صادرات ترانسفورماتور از ۲۹ درصد در پایان سال ۱۳۹۲ به ۱۸ درصد در پایان سال ۱۳۹۳ کاهش یافته است.[۱] همچنین افزایش حقوق گمرکی ترانسفورماتورهای تا MVA ۱۰ از ۸ درصد در ســـال ۱۳۹۳ به ۱۵ درصد در سال ۱۳۹۴ و افزایش این تعرفه در خصوص ترانسفورماتورهای بیشتر از MVA ۱۰ از ۱۵ درصد در سال گذشته به ۲۶ درصد در سال جاری، نشان از ادامه این حمایت دارد.

پ) رشد مصرف برق و افزایش تقاضا برای ترانسفورماتورهای جدید: در سال ۱۳۹۳ تعداد ۱۴۸ دستگاه ترانسفورماتور قدرت[۲] و تعداد ۲۶۳۴۵ دستگاه ترانسفورماتور توزیع[۳]، به شبکه سراسری برق افزوده شد[۴] این آمار ایران را در زمره یکی از بزرگترین خریداران ترانسفورماتور در دنیا قرار می دهد.

ت) ارزش بالای ســـرمایه ای ترانسفورماتورهای نصب شده درکشور: در سال ۱۳۹۳ تعداد ترانســـفورماتورهای قدرت مورد بهره برداری در شبکه سراسری ۴۷۵۴ دستگاه و تعداد ترانسفورماتورهای توزیع نیز در این سال ۵۹۴۳۸۰ دستگاه برآورد شده است[۲و۳] ارزش سرمایه ای این تعداد ترانسفورماتور بالغ بر چند میلیارد دلار می باشد.[۴]

ث) سن بالای ترانسفورماتورهای مورد بهره برداری: ۳۳ درصد از ترانسفورماتورهای قدرت و ۲۹ درصد از ترانسفورماتورهای توزیع مورد بهره برداری شبکه، عمری حداقل ۲۰ ســـال داشته یعنی دوسوم از عمر مفید بهره برداری خود را پشت سر گذاشـــته اند[۵] ارزیابی وضعیت این تجهیزات و تصمیم گیری در خصوص ادامه بهره برداری، تعمیر، بهسازی یا جایگزینی آنها چالش بزرگی است که بهره برداران شبکه های تولید، انتقال و توزیع نیروی برق و مدیران و کارشناسان برق صنایع بزرگ با آن روبرو هستند.

---

۱. آمار صادرات و واردات، گمرک جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۹۴

۲. آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه انتقال نیروی برق در سال ۱۳۹۳، دفتر فناوری اطلاعات و آمار شرکت مادر تخصصی توانیر، تیرماه ۱۳۹۴

۳. آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه مدیریت راهبردی در سال ۱۳۹۳، دفتر فناوری اطلاعات و آمار شرکت مادر تخصصی توانیر، اسفندماه ۱۳۹۳

۴. ترانسفورماتورهای خریداری شده و مورد بهره برداری صنایع و سایر اشخاص حقیقی و حقوقی خارج از وزارت نیرو در این آمار لحاظ نشده است.

۵. مروری بر ۲۳ سال آمار انرژی کشور(۱۳۸۹-۱۳۶۷)، وزارت نیرو، دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی، اسفندماه ۱۳۹۰

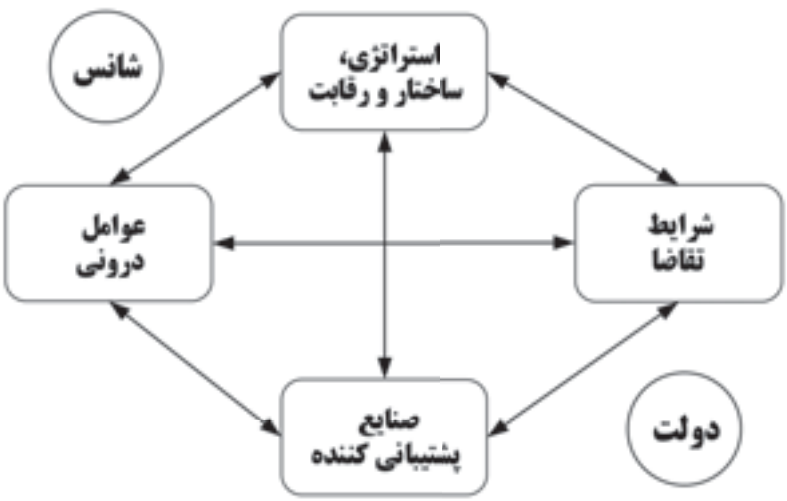
ج) *جهت گیری کلان اقتصادی کشـــور در توسعه صنایع سنگین و پرهیز از خام فروشی نفت:* این جهت گیری زیربنائی منجر به احداث و توسعه صنایع بزرگی مانند پالایشگاه، پتروشیمی، فولاد، ســـیمان، مس، آلومینیوم، خودروسازی و ... شد. این صنایع نه تنها بدلیل مصرف بالای برق نیاز به ترانسفورماتورهای زیادی دارند بلکه فرآیند تولید در برخی از آنها مســـتلزم استفاده از ترانسفورماتورهای ویژه صنایع (مانند ترانسفورماتورهای کوره، یکسوساز و ...) می‌باشد. پیچیدگیهای فنی مربوط به تولید، بهره برداری و سرویس و نگهداری از این ترانسفورماتورهای خاص از جمله مباحثی است که توجه ویژه تولیدکنندگان و بهره برداران ترانسفورماتور را می طلبد.

مایکل پورتر در کتاب معروف خود با عنوان: "مزیت رقابتی ملل" که در ســـال ۱۹۹۰ به چاپ رسید، کسب مزیت رقابتی در یک صنعت خاص در یک کشور را نتیجه روابط متقابل و هم افزائی شـــاخصهایی مانند: عوامل درونی (وجود نیروی انســـانی ماهر، منابع اولیه، دانش فنی، فناوری و ...)، شرایط تقاضا، وجود صنایع مرتبط و پشتیبانی کننده، استراتژی، ساختار و رقابت پذیری صنعت، نقش حمایتی دولت و عوامل خارج از کنترل صنعت (بخت و اقبال) می داند.

گرچه شناسائی میزان تحقق این شاخصها نیازمند تحقیق و بررسی دقیقتر اســـت، ولی با تقریب قابل قبولی می تـــوان گفت صنعت ترانسفورماتور در ایران بیشتر پارامترهای لازم جهت کسب مزیت رقابتی در سطح بین المللی را کسب نموده است. شاخصهایی مانند شـــرایط تقاضا، حمایت دولت، عوامل درونـــی و صنایع مرتبط و پشتیبانی کننده تا حد زیادی وجود داشته و سطح رقابت در صنعت در حال شـــکل گیری و توسعه است. در خصوص عوامل خارج از کنترل نیز به نظر می رسد بخت و اقبال مجدداً به این صنعت روی آورده است.

در نـــگاه کلان آنچه مـــا بعنوان هـــدف غائی خـــود در فصلنامه ترانســـفورماتور (بعنـــوان اولین مجله فارســـی زبـــان در صنعت ترانســـفورماتور و دومین مجله مختص این صنعت در سطح دنیا) به دنبال آن هســـتیم، تاثیر گذاری مثبت بر این شاخصها و کمک به تقویت مزیت رقابتی این صنعت در سطح بین المللی است.

در پایان ذکر این نکته ضروری اســـت که فصلنامه ترانسفورماتور هیچ وابستگی به ســـازمانها یا شرکتهای دولتی و خصوصی نداشته و با مجوز معاونت امور مطبوعاتی و اطلاع رسانی وزارت فرهنگ و ارشـــاد اسلامی به شـــماره ثبت ۹۳/۳۰۰۵۰ مورخ ۱۳۹۳/۱۲/۱۱ در چهارچوب قانون مطبوعات جمهوری اســـلامی ایران فعالیت می‌نماید.



شاخص‌های کسب مزیت رقابتی در یک صنعت (مدل الماس پورتر)

سرمقاله

محمد میری دیسفانی
سردبیر

مخاطبینی که فصلنامه ترانسفورماتور برای خود هدف گذاری نموده است طیف وسیعی از فعالان این صنعت شامل طراحان، سازندگان، بهره برداران، مشاورین، پیمانکاران نصب، راه اندازی، تست و تعمیر ترانسفورماتور، شرکت‌های تجاری فعال در این صنعت و همچنین مدیران ارشد صنعت برق و دانشجویان و اساتید رشته برق – قدرت دانشـــگاه‌ها را دربرمی گیرد. انتشار مطالبی که برای تمامی این مخاطبان سودمند و قابل استفاده باشد کاری بسیار مشکل است چرا که نگاه هریک از این مخاطبین به ترانسفورماتور و انتظار آنان از یک نشریه در این خصوص، با یکدیگر متفاوت است. هیئت تحریریه این نشریه به منظور پاسخگوئی مناسب انتظارات مخاطبین، چهارچوب فصلنامه را به شرح ذیل تدوین نموده است:

– *اخبار صنعت ترانسفورماتور:* معرفی آخرین اخبار فنی و اقتصادی مرتبط با ترانسفورماتور در داخل و خارج از ایران

– *گزارش:* شـــرح کوتاهی از آخرین رویدادهای برگزار شـــده مربوط به ترانســـفورماتور مانند کنفرانســـها، نمایشگاهها، دوره های آموزشی و ...

– *ترانســـفورماتور از نـــگاه آمار:* ارائه آمارهـــای کاربردی و مناســـب در خصوص مســـائل اقتصادی و فنی ترانسفورماتور

– *گفت‌وگو:* آشنا نمودن خوانندگان با متخصصین و فعالان صنعت ترانسفورماتور در داخل و خارج از کشور

– *مقالات:* ارائه مقالات کاربردی و عملی در زمینه های مختلف ترانسفورماتور

– *تجارب بهره برداری:* چاپ حداقل یک مقاله در خصوص مسایل بهره برداری، سرویس و نگهداری، عیب‌یابی و تعمیرات ترانسفورماتور در هر شماره به منظور انتقال تجارب بهره برداران ترانسفورماتور به یکدیگر

– *معرفی استاندارد:* تشریح یکی از استانداردهای کاربردی ترانسفورماتور (بویژه استانداردهای جدید) در هر شماره

– *ترجمه کتاب ترانسفورماتور J&P:* به منظور آشنا نمودن مخاطبین با اصول کار و طراحی ترانسفورماتور.

– *ترجمه کتاب راهنمای جامع سرویس و نگهداری ترانسفورماتور ABB:* که یکی از بهترین کتب تدوین شده در حال حاضر در سطح دنیا در خصوص آموزش مسائل بهره برداری و سرویس و نگهداری ترانسفورماتور است.

– *معرفی کتاب:* در هر شماره یکی از کتابهای مرتبط با ترانسفورماتور به مخاطبان معرفی خواهد شد.

– *رویدادهای آتی:* در این بخش در خصوص کنفرانسها، نمایشـــگاهها، همایشها، دوره های آموزشی و سایر رویدادهای مرتبط با ترانسفورماتور اطلاع رسانی خواهد شد

از کلیه علاقه مندان درخواست می‌شود مقالات و تجارب بهره‌برداری خود را جهت داوری توسط هیئت‌تحریریه و چاپ در فصلنامه به پســـت الکترونیک: Papers@Transformer-magazine.ir ارسال نمایند. همچنین از کلیه خوانندگان درخواست می‌شود انتقادات و پیشنهادات خود را در خصوص فصلنامه به پست الکترونیک: info@Transformer-magazine.ir ارسال نمایند.

اخبـــار

بلوک ۲۸ درصدی ایران ترانسفو به فروش رسید

به گزارش خبرگزاری فارس؛ دوشـــنبه ۹۴/۵/۲۶ سازمان خصوصی سازی به وکالت از شرکت ســـینا فرآیند نیرو تعداد ۴۲۵ میلیون و ۸۰۸ هزار و ۹۳۵ سهم معادل ۲۸,۳۸ درصد از کل سهام شراکت ایران ترانسفو را به قیمت پایه هر سهم ۸۲۰ تومان روی میز فروش بورس گذاشت که در نهایت بدون رقابت با همان قیمت پایه از سوی یک شخص حقیقی فعال در بازار سرمایه خریداری شد.

براســـاس این گزارش سازمان خصوصی ســـازی از طریق شرکت کارگزاری نهایت نگر این بلـــوک را عرضه کرد که کارگـــزاری آراد ایرانیان به وکالت از خریدار حقیقی این دارایی را خریداری کرد.

به گزارش فارس ســـازمان خصوصی سازی نخستین بار در ۲۷ اسفند ماه سال گذشته بلوک ۲۸,۳۸ درصدی سهام ایران ترانسفو را به قیمت پایه هر سهم مبلغ ۸۶۹۹ ریال با شرایط ۳۰ درصد نقد و مابقی در اقساط ۳,۵ ساله روی میز فروش گذاشت که در یافتن خریدار ناکام بود.

پس از آن در ۲۲ اردیبهشـــت ماه سال جاری یکبار دیگر این بلوک اما به قیمت پایه هر ســـهم ۸۳۴۳ ریال روی میز فروش بورس گذاشـــت که پرداخت ۱۵ درصدی ارزش نقدی معامله و مابقی در اقساط ۵ ساله از شروط آن بود.

این عرضه نیز بی نتیجه ماند تا اینکه سازمان خصوصی سازی برای سومین بار بلوک ۲۸,۳۸ درصدی سهام ایران ترانسفو را با کاهش قیمت پایه به مبلغ ۸۲۰۰ ریال اما با همان شرایط تسویه عرضه اول خود روی میز فروش گذاشت که یک شخص حقیقی آنرا خرید.

ارزش کل معامله بلوکی سهام شرکت ایران ترانسفو بالغ بر ۳۴۹ میلیارد و ۱۶۳ میلیون و ۳۲۶ هزار و ۷۰۰ تومان می باشد.

تعمیر و راه اندازی ترانسفورماتور آسیب دیده پست برق شوش تهران

ترانســـفورماتور T2 (230/ 63KV) پست شوش که ســـاعت ۲۳ روز چهارشنبه ۹۴/۳/۱۳ با عملکرد رله های مکانیکی از مدار خارج شده بود با همت پرسنل شرکت متانیر مجدداً برقدار شد.

مهنـــدس مصطفی مه بـــادی؛ مدیر مجری طرح های نوسازی و تعمیرات اساسی شرکت متانیر علت این حادثه را قطع Contact Leads دایورتر ســـوئیچ تپ چنجـــر در محفظه روغن اعـــلام کرد و گفت: تولید گاز فراوان با فشـــار بالا، باعث آسیب دیدگی جدی در محفظـــه هوزینـــگ و در نهایت منجر به خروج ترانسفورماتور گردید. بعد از بروز این حادثه دایورتر سوئیچ و هوزینگ تپ چنجر دمونتاژ و برای بازســـازی به کارگاه تعمیرات شرکت متانیر منتقل گرید.

وی افزود: دایورتر ســـوئیچ و هوزینگ تپ چنجر پس از انتقال به کارگاه، ظرف مدت ۶ روز و با هزینه کمتر از مشـــابه خارجی آن آماده بهره برداری شد و پس از نصب، تست و راه اندازی، این ترانسفورماتور برقدار گردید.

منبع: وبسایت شرکت متانیر

ضعف عایقی موجب آتش گرفتن ترانسفورماتور اصلی واحد ۳ نیروگاه اتمی Indian Point در آمریکا و نشت روغن به رودخانه هادسون شد.

ســـاعت ۱۷:۵۰ روز ۱۹ اردیبهشت ۱۳۹۴ ترانسفورماتور اصلی واحد سه نیروگاه اتمی Indian Point که تنها ۴۰ کیلومتر با شهر نیویورک فاصله دارد، دچار حادثه شـــد و سیســـتم اطفاء حریق ترانسفورماتور نتوانست مانع از گسترش حریق گردد. در ساعت ۲۰:۰۸ همان روز این حریق با تلاش گروه آتش نشانی مستقر در نیروگاه اطفاء شد.

این نیروگاه اتمی که در سال ۱۹۷۴ راه اندازی شده، دو واحد در حال بهره برداری با ظرفیت تولید هر کدام 1000 MW داشـــته و به تنهایی برق ۲۵ درصد از شـــهر نیویورک را تامین می کند. در پی این حادثه، واحد ســـه نیروگاه از مدار خارج گردید و دیـــوار آتش مانع از انتقال آتش سوزی به ترانسفورماتور همجوار و راکتور اتمی شد خوشبختانه ایـــن حادثه هیچ تلفات جانی در بر نداشـــت. لیکـــن ۱۱۴۰۰ لیتر از مجموع ۹۱۲۰۰ لیتر روغن معدنی داخل ترانسفورماتور وارد رودخانه هادسون شده و این رودخانه را به شدت آلوده نمود. تحقیقات بعدی نشان داد ضعف عایقی موجب اتصال کوتاه داخلی ترانسفورماتور و عامل ایجاد حادثه بوده اســـت. در نهایت ترانسفورماتور حادثه دیده با ترانســـفورماتور جدید ســـاخت Siemens جایگزین و این واحد نیروگاهی پس از ۱۶ روز خاموشی مجدداً وارد مدار شد.

منبع خبری: وب‌سایت رسمی شرکت بهره بردار نیروگاه:
www.safesecurevital.com

گـــزارش

سمینار تخصصی مدیریت عمر ترانسفورماتور

سـمینار تخصصی: «ارزیابی وضعیت، عیب یابی، سرویس و تعمیرات ترانسفورماتورهای توزیع و قدرت» به مدت سه روز از ۵ الی ۷ خردادماه ۱۳۹۴ در نیروگاه طرشـت برگزار گردید. در روز اول این سمینار آقای دکتر بهروز پهلوانپور در خصوص عیب یابی و عمر سنجی ترانسفورماتور با استفاده از آزمونهای گازکروماتوگرافی و فورفورال سخنرانی نموده و دستاوردهای جدید موسسه اسـتاندارد **IEC** در این خصوص را که در دو اسـتاندارد **IEC**۶۰۵۹۹ و **IEC**۶۲۸۷۴ در سال جاری منتشر شده است، تشـریح کرد. در روز دوم آقای پروفسور بورسی در خصوص مباحث سـرویس و نگهداری ترانسفورماتور، آزمونهـای الکتریکـی و تصفیه فیزیکی و شـیمیائی روغن صحبـت کرد. در روز سـوم آقای پروفسـور پیتـر ورله در خصوص آزمونهای فشار قوی قابل انجام در سایت و همچنین فرآیند تعمیرات ترانسـفورماتور سخنرانی نموده و تجربیات خود در شرکت ABB بعنوان مدیر تعمیرات ترانسفورماتور را بیان نمود. در این سمینار پرسنل برق شرکتهای سازنده، بهره بردار و مشاور ترانسفورماتور حضور داشتند.

دوره آموزشی آشنایی با آزمون‌های ترانسفورماتور

دوره آموزشـــی: «آشـــنایی با آزمونهای کارخانه ای، نصب، راه اندازی و عیب یابی ترانســـفورماتورهای توزیع و قدرت» از تاریخ ۶ الی ۷ مردادماه ۱۳۹۴ به مدت دو روز در کارخانه ایران ترانسفو زنجان برگزار شد. در این دوره آموزشی آزمونهای ترانســـفورماتور از آزمونهای کارخانه ای تا ارزیابی وضعیت و عیب یابی برای آموزش گیرندگان تشـــریح شد. مدرس مباحث مربوط به آزمونهای الکتریکی آقای مهندس محســـن انصاری، مدیر آزمایشـــگاه فشار قوی ایران ترانسفو، و مدرس مباحث آزمونهای روغن آقای مهندس جعفر شریفی، مدیر آزمایشگاه روغن موسسه تحقیقات ترانسفورماتور ایران بودند. در روز آخر این دوره، آموزش گیرندگان از قســـمتهای مختلف کارخانه ایران ترانسفو بازدید نمودند.

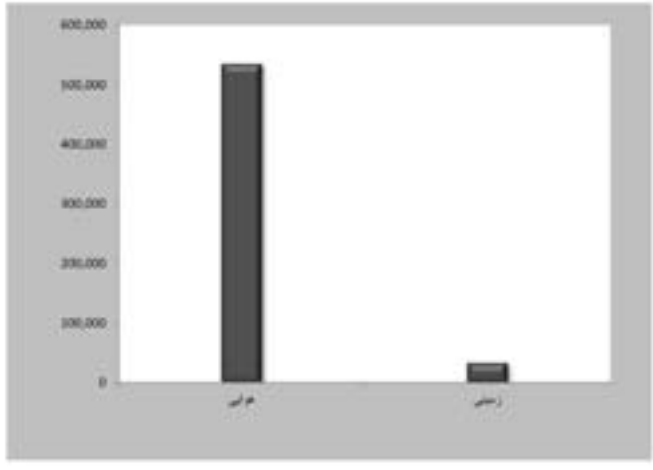
دوره تخصصی جامع ترانسفورماتورهای قدرت

دوره تخصصی جامع ترانســـفورماتوهای قدرت شـــامل مباحث نگهداری و حفاظت به مدت پنج روز از ســـوم تا هفتم مرداد توســـط شـــرکت توان مبدل باختر و با تدریـــس آقای دکتر محمد مرادی و آقای مهنـــدس ناجی قادر نژاد در نیروگاه طرشـــت و با حضور کارشناســـان برق برگزار گردید. در این دوره آموزشی مباحث مختلفی مانند آزمونهای الکتریکی ترانسفورماتور، آزمونهای روغن و تصفیه فیزیکی و شـــیمیائی، اصول حفاظت الکتریکی، نحوه انتخاب ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ، حفاظتهای ترانسفورماتور و ... مطرح شد.

۱ ترانسفورماتور از نگاه آمـــــــار

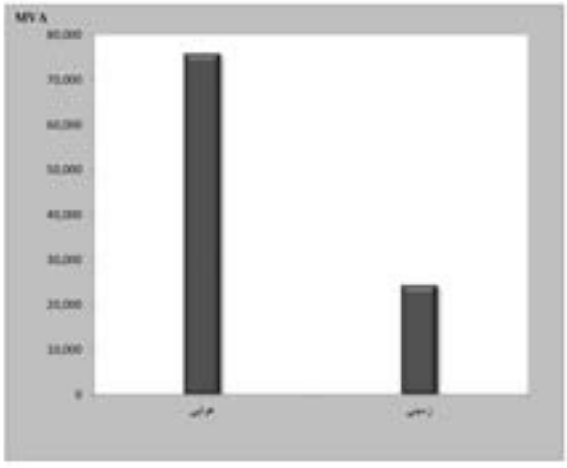
تعداد ترانسفورماتورهای توزیع شبکه (هوایی و زمینی) در پایان سال ۱۳۹۲

نوع ترانسفورماتور	هوایی	زمینی	جمع
تعداد	۵۴۵۱۴۱	۳۲۹۱۴	۵۴۸۰۳۵
درصد	۹۴	۶	۱۰۰



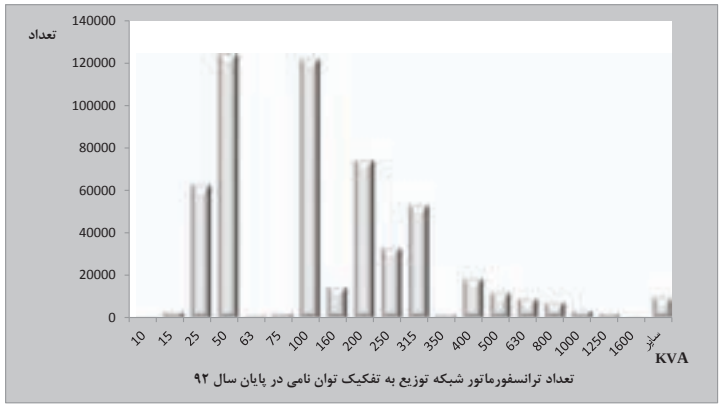
ظرفیت ترانسفورماتورهای توزیع شبکه (هوایی و زمینی) در پایان سال ۱۳۹۲

نوع ترانسفورماتور	هوایی	زمینی	جمع
ظرفیت (MVA)	۷۵۹۱۰	۲۴۴۵۹	۱۰۰۳۶۹
درصد	۷۶	۲۴	۱۰۰



تعداد ترانسفورماتورهای توزیع شبکه به تفکیک توان نامی در پایان سال ۱۳۹۲

توان نامی ترانسفور ماتور (KVA)	تعداد	درصد
۱۰	۳۰۲	۰,۰۵
۱۵	۲۹۸۱	۰,۵۵
۲۵	۶۲۶۸۰	۱۱,۵۰
۵۰	۱۲۴۳۱۹	۲۲,۰۰
۶۳	۱۰۳۳	۰,۲۰
۷۵	۱۹۷۹	۰,۴۰
۱۰۰	۱۲۲۱۰۸	۲۱,۵۰
۱۶۰	۱۴۶۱۶	۲,۶۰
۲۰۰	۷۴۴۰۳	۱۳,۱۰
۲۵۰	۳۳۴۷۸	۵,۹۰
۳۱۵	۵۳۷۲۰	۹,۵۰
۳۵۰	۱۴۸۶	۰,۳۰
۴۰۰	۱۸۷۳۲	۳,۵۰
۵۰۰	۱۲۱۹۲	۲,۲۰
۶۳۰	۹۱۳۰	۱,۷۰
۸۰۰	۷۳۶۸	۱,۳۰
۱۰۰۰	۳۴۸۰	۰,۷۰
۱۲۵۰	۲۰۴۵	۰,۴۰
۱۶۰۰	۳۵۸	۰,۰۷
سایر	۹۹۳۸	۲,۵۳
جمع	۵۶۸۰۳۵	۱۰۰



تعداد ترانسفورماتور شبکه توزیع به تفکیک توان نامی در پایان سال ۹۲

این آمار مربوط به ترانسفورماتورهای تحت بهره برداری شرکتهای توزیع نیروی برق بوده و ترانسفورماتورهای صنایع در این آمار در نظر گرفته نشده اند.

منبع:
گزارش آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه توزیع نیروی برق در سال ۱۳۹۲، دفتر فناوری اطلاعات و آمار شرکت مادر تخصصی توانیر، شهریور ۱۳۹۳

گفت‌وگو

در گفت‌وگو با پرفسور حسین برسی

مقایسه‌رابطه بین صنعت و دانشگاه در ایران و آلمان

پروفسور حسین برسی متولد سال ۱۳۲۴ در مشهد است. او در سال ۱۳۵۷ پست دکتری خود را در زمینه تکنیک‌های اندازه‌گیری در فشارقوی از دانشگاه هانوور آلمان دریافت نمود و از آن تاریخ در سمتهای مختلفی همچون عضو هیئت علمی دانشکده برق و ریاست دانشکده فنی دانشگاه فردوسی مشهد، مشاور علمی وزیر نیرو و ریاست علمی انستیتو شرینگ دانشگاه هانوور آلمان مشغول به فعالیت بوده و در حال حاضر علاوه بر تدریس در دانشگاه هانوور مدیریت فنی شرکت DESC را نیز عهده دار می باشد. وی تاکنون بیش از ۳۵۰ مقاله و سه کتاب در زمینه فشارقوی به چاپ رسانده و دارای ۲۵ اختراع در این زمینه است. با توجه به شناخت دقیق پروفسور برسی از سیستم آموزشی در دانشگاههای ایران و آلمان و همچنین صنعت برق با او در خصوص ارتباط بین صنعت و دانشگاه در این دو کشور و وضعیت صنعت برق ایران به گفتگو پرداختیم.

لطفا در ابتدا از سوابق تحصیلی و کاری خود بگویید.

من حدود ۵۰ سال پیش و پس از اخذ دیپلم به آلمان رفتم و تحصیلات دانشگاهی خود را در آنجا پی گرفتم. به این ترتیب پس از اخذ مدرک فوق لیسانس در سال ۱۹۷۲ و دکترا سال ۱۹۷۶، تحصیلات خود را در مقطع پست دکترا پی گرفته و در سال ۱۹۷۹ موفق به اخذ این مدرک شدم.

بعدها به عنوان اولین استاد برق در دانشکده مهندسی دانشگاه مشهد مشغول به کار شدم و البته اولین رییس دانشکده مهندسی بعد از انقلاب نیز محسوب می شدم. پس از وقوع انقلاب و رفتن خارجی‌ها ما در قالب یک گروه مهندسی، به صنایع کمک می کردیم که مشکلاتی که ناشی از رفتن مهندسان خارجی بود را حل کنند. آقای دکتر غفوری فرد در آن زمان استاندار خراسان بود و معمولا در مواقع بروز مشکل از این تیم که من هم یکی از اعضای آن بودم، کمک می گرفت. البته بعدها که او به عنوان وزیر نیرو مشغول به خدمت شد و با توجه به تعطیلی دانشگاهها در پی انقلاب فرهنگی، من به مدت ۴ سال در سمت مشاور وزیر نیرو فعالیت کردم.

مساله ای که در آن سال‌ها با آن مواجه شدم این بود که ناگزیر بودم همزمان در دانشگاه و وزارت نیرو فعالیت کنم، هر چند کار اصلی ام در دانشگاه بود. به علاوه در این مدت به این دلیل که دوره پست دکتری را گذرانده بودم و استادم در آلمان به دلیل بیماری قلبی از ادامه تدریس بازمانده بود از من درخواست کرد که به جای او مسئولیت تدریس در دانشگاه را عهده دار شوم. بنابراین به ناچار مدام بین تهران و آلمان در رفت و آمد بودم.

در سال ۱۹۸۵ دوباره به آلمان رفتم و به صورت دائمی مقیم این کشور شدم؛ البته همچنان به ایران می آمدم و با دانشگاه‌های ایران همکاری می‌کردم. سال ۱۹۸۷ و پس از کسب جایگاه استاد رسمی دانشگاه‌هانوور، به این دلیل که در آلمان از امکانات تحقیقاتی بیشتری برخوردار بودم، از سمت خود در دانشگاه مشهد استعفا دادم.

همکاری من با دانشگاه‌هانوور از آن زمان تا امروز ادامه دارد و من همچنان در آنجا به تحقیق و تدریس مشغول هستم. البته در تمام این سال‌ها به دلیل علاقه زیادم به ایران، تلاش کردم رابطه خود را با دانشگاه‌های کشورم حفظ کنم. همین رابطه تنگاتنگ در طول آن سال‌ها به جذب تعداد زیادی دانشجوی ایرانی در دانشگاه‌هانوور آلمان منجر شد.

شما به تازگی از انستیتو شرینگ بازنشسته شده اید. از سوابقتان در این دانشگاه و انستیتو بگویید.

در آلمان اساتید دانشگاه پس از بازنشستگی، خانه نشین نمی شوند. معمولا دفتر آنها در دانشگاه حفظ می شود و آنها می توانند تحقیقات و پژوهش‌های خود را در دانشگاه ادامه دهند. برای آنها سه وظیفه مشخص تعریف شده است. این وظایف شامل ادامه تدریس، عهده دار شدن اداره بخشی از دانشگاه و ادامه کارهای تحقیقاتی است. بر همین اساس من هنوز هم در دانشگاه‌هانوور فعالیت می کنم، تنها تفاوت شرایط کاری ام با گذشته این است که می توانم دروس تدریسی را خودم انتخاب کنم. البته در حوزه تحقیقات و پژوهش هم به عنوان مشاور با پروژه‌ها مشارکت می کنم.

مکانیزم ارتباطی که در کشوری مثل آلمان بین صنعت و دانشگاه ایجاد شده، به چه صورت است و چطور این دو بخش نیازهای یکدیگر را پوشش می دهند؟

به نظر من اصلی ترین ریشه تفاوت رابطه صنعت و دانشگاه در کشوری مثل آلمان با ایران، در خود دانشگاه است. در آلمان افراد صرفاً با مدرک دکترا حق تدریس ندارند. به علاوه استادی که قرار است در رشته‌های فنی تدریس کند باید حداقل بین ۵ تا ۱۰ سال در صنعت تجربه داشته باشد و یک دستاورد مهم در این حوزه داشته باشد. در حقیقت یک استاد دانشگاه در آلمان باید سابقه فعالیت در صنعت را داشته باشد و با این بخش به طور کامل آشنا باشد. به علاوه باید قادر باشد گروهی را در صنعت مدیریت کرده و به روش کار با بالادست و پایین دست آشنا باشد. در نهایت باید دانش لازم برای انجام یک کار اقتصادی را در اختیار داشته باشد.

به این ترتیب وقتی فردی قصد دارد کار تدریس در دانشگاه را عهده دار شود، گروهی از اساتید در دانشگاه این مساله را بررسی می کنند که این فرد چه پستی در صنعت داشته و در حوزه فعالیت خود چه پیشرفت‌هایی داشته است. به علاوه سوابق علمی، پژوهش‌ها و توان وی در ارائه دروس دانشگاهی نیز مورد بررسی قرار می گیرد. منتخبین در مرحله بعد باید در بین گروهی از

دانشجویان، اساتید و کارمندان دانشگاه سخنرانی کرده و تدریس کند. مدعوین درباره روش کار و توان آنها در تفهیم درس به دانشجویان نظر می‌دهند. افرادی که پس از این مرحله گزینش می‌شوند باید برنامه چندساله خود را برای کار و تحقیقاتشان ارائه دهند. در صورتی که این برنامه از سوی دانشگاه مورد پذیرش قرار گیرد، آن فرد امکان تدریس در دانشگاه را خواهد داشت.

در آلمان، انستیتوهای رشته‌های فنی مستقل عمل می کنند. به این معنا که سالانه یک بودجه مشخص از دانشگاه به این انستیتوها تخصیص داده می شود و آنها مختارند که با اتکا به این بودجه نیرو استخدام کنند، سرفصل‌های جدیدی برای دروسشان تدوین کنند، با صنعت ارتباط بگیرند و یا این بودجه را صرف تحقیق و پژوهش کنند.

البته ذکر این نکته را ضروری می دانم که هر انستیتو سالانه برای جذب دو دانشجوی دکترا از دولت بودجه می گیرد و در مقابل ۱۰ تا ۲۰ برابر این مبلغ درآمدزایی می کند. به این ترتیب هر انستیتو بیشتر از آنکه برای دانشگاه هزینه ای داشته باشد، درآمد ایجاد می کند. همین مساله دانشگاه را به جذب دانشجویان بیشتر تشویق می کند، چرا که از این طریق هم مشکلات صنعت حل می شود و هم زمینه برای ایجاد منابع درآمدی بیشتر برای دانشگاه فراهم می شود. در نهایت کاری که ما در انستیتو انجام می دهیم، کمکی کم هزینه و سریع برای صنعت است و در کنار آن منافع دانشگاه را هم تامین می کند.

بنابراین در دانشگاههای آلمان تئوری صرف بی‌معناست و فرمول‌های ریاضی تنها ترکیبی از اعداد و نشانه‌ها نیستند، بلکه مفاهیمی صنعتی‌اند. اما در ایران علیرغم اینکه دانشجوهای بسیار باهوشی داریم اما به این دلیل که نظام آموزشی دچار خلاءهای بزرگی است، این پتانسیل به درستی هدایت نمی شود.

به هر حال نباید فراموش کنیم که ایران دارای منابع خدادادی بسیار زیادی است. نفت، گاز، معادن زیرزمینی، آفتاب و باد در کنار نیروی انسانی توانمند، تحصیلکرده و باهوش بخشی از منابعی است که ما در اختیار داریم اما نتوانسته ایم به درستی از آن بهره بگیریم. به نظر می‌رسد دسترسی آسان به این میزان از نعمت‌های خدادادی، از میزان تلاش ما برای رسیدن به اهدافمان کاسته است.

مساله دیگری که کار صنعتی در کشوری مانند آلمان را با ایران متفاوت کرده است، سیاست‌های مالی و اقتصادی دولت‌ها است. سیستم اقتصادی کشور آلمان به شکلی است که همه زمینه‌ها برای ترغیب مردم به تولید و کار صنعتی فراهم است. اما اقتصاد ایران نه تنها برای فعالیت‌های تولیدی زمینه سازی نمی کند بلکه عمدتا شرایط به گونه ای است که همه سرمایه‌ها را به سمت

به نظر می‌رسد دسترسی آسان به منابع خدادادی بسیار زیاد مثل نفت، گاز، معادن زیرزمینی، آفتاب و باد، از میزان تلاش ما برای رسیدن به اهدافمان کاسته است

فعالیت‌های غیر تولیدی، دلالی و واسطه گری سوق می دهد.
به عنوان مثال سود سپرده‌ها در آلمان نزدیک به صفر است اما در ایران سپرده گذاری در بانک‌ها امنیت و سود بیشتری نسبت به سرمایه گذاری در صنعت دارد. همین مساله به ایجاد یک فاصله قابل توجه بین ایران با کشورهای توسعه یافته دنیا ایجاد می کند.

بنابراین به طور خلاصه باید گفت که در فاصله ای که بین صنایع در ایران و کشورهای توسعه یافته ای مثل آلمان وجود دارد پارامترهای بسیاری دخیل هستند. من کشور و مردمم را دوست دارم و به همین دلیل همواره یکی از دغدغه‌هایم این بوده که چطور می توان کشور را به سمتی سوق داد که این فاصله پر شود؟
به نظر من اصلی ترین مساله ای که در مورد رابطه صنعت و دانشگاه در ایران وجود دارد این است که این دو بخش نمی توانند به یکدیگر اعتماد کنند. از یک سو همکاری دانشگاهیان با صنایع سود قابل توجهی برایشان ندارد و از طرف دیگر صاحبان صنایع همواره به دانشگاهیان بی اعتمادند لذا من بر این باورم که برای ساماندهی رابطه بین صنعت و دانشگاه پیش از هر اتفاقی باید این دست از روابط در کشورمان از نظر اجتماعی رشد کند.

بدون شک ما فاصله قابل توجهی با کشورهای اروپایی داریم اما صنعت برق ایران علیرغم همه مشکلات و تحریم‌های بین المللی، یکی از بهترینها در خاورمیانه است. توسعه این صنعت را در سه دهه پس از انقلاب در ایران، چطور ارزیابی می‌کنید؟

پیش از هر چیز باید این مساله را در نظر بگیریم که برق یک صنعت بسیار پیچیده و مهندسی است. اما به نظر می رسد علیرغم همه این پیچیدگی‌ها، ایران در حوزه صنعت برق نسبت به سایر صنایع رشد بهتری داشته است. شرایط کنونی این صنعت با وضعیت آن در سال‌های پیش از انقلاب قابل قیاس نیست. در آن زمان شبکه برق کشور بسیار ضعیف بود و همین مساله به ایجاد خاموشی‌های مستمر در کشور منجر می‌شد.
اما در حال حاضر می بینیم که صنعت برق ایران یکی از قدرت‌های اول منطقه است و پتانسیل‌ها و توانمندی‌های قابل توجهی دارد. به علاوه توان مهندسی و ضریب بالای هوشی نیروی انسانی در ایران هم به یکی از امتیازات این صنعت تبدیل شده است.
شاید به جرات بتوان گفت که یکی از اصلی ترین مشکلات ما این است که اساسا تکرو هستیم و در فعالیت‌های گروهی و جمعی موفقیت قابل توجهی کسب نکرده ایم. سال‌ها پیش استادی داشتم که می گفت اگر چند نیروی بزرگ داشته باشید، اما نتوانید به درستی به آنها جهت دهید، برآیندشان ممکن است صفر یا حتی منفی شود. اما اگر درایت داشته باشید و آنها را پشت هم قرار دهید، برآیند آنها می‌تواند آنقدر بزرگ شود که هر مانعی را از سر راه بردارد.

به نظر من اصلی ترین مساله‌ای که در مورد رابطه صنعت و دانشگاه در ایران وجود دارد این است که این دو بخش نمی توانند به یکدیگر اعتماد کنند. از یک سو همکاری دانشگاهیان با صنایع سود قابل توجهی برایشان ندارد و از طرف دیگر صاحبان صنایع همواره به دانشگاهیان بی‌اعتمادند

فراموش نکنید که تا همین چند دهه پیش چین یک کشور بسیار عقب افتاده بود. آنها عمدتا از نظر ضریب هوشی نسبت به ایرانی‌ها بسیار پایین تر هستند اما توانستند انرژی‌های کوچک خود را با هم جمع کرده و کشور خود را به یکی از قدرت‌های اقتصادی دنیا تبدیل کنند. شرایط صنعتی و اقتصادی ایران با توجه به پتانسیل‌ها و منابعی که در اختیار دارد، باید بهتر از الان باشد و به نظر می رسد مشکل ما در هم جهت کردن نیروهایی است که در کشور وجود دارد.

با توجه به حجم مقالاتی که پژوهشگران، اساتید و دانشجویان ایرانی در کنفرانس‌های بین المللی ارائه می کنند، به نظر می رسد که در این زمینه فاصله چندانی با دنیا نداریم اما در نهایت نتیجه روشنی از این تحقیقات در صنعت دیده نمی شود. دلیل این فاصله از دیدگاه شما چیست؟

اتفاقا مشکل ما در همین ارزش گذاری‌هاست. وقتی ارتقای اساتید ما کاملا وابسته به تعداد مقالاتی است که در مجلات علمی ـ تخصصی خارجی به چاپ می رسانند، در نهایت ما اساتید و پژوهشگرانی داریم که بدون توجه به نیازهای کشورشان و تنها برای ارتقای شغلی خود مقاله می نویسند.
اگر ارتقای اساتید در گرو حل یک مشکل مشخص در صنعت بود، ما می توانستیم در مدت کوتاهی گام‌های بسیار بلند برداریم. به علاوه فارغ التحصیلان ما از این طریق می توانند با آنچه که در صنعت می گذرد به خوبی آشنا شوند و به مرور رشد کنند.

روند تدوین استانداردهای IEC

در گفتگو با دکتر بهروز پهلوانپور؛

دکتر بهروز پهلوانپور متولد سال ۱۳۲۷ در شهر بروجرد است. او دکتری خود را در رشته شیمی نفت تحلیلی در سال ۱۳۵۸ از امپریال کالج دانشگاه لندن دریافت نموده و پس از فارغ التحصیلی بعنوان استاد دانشگاه کرانفیلد انگلستان و کارشناس محقق شبکه ملی برق انگلستان (National Grid) مشغول به فعالیت شد. وی در حال حاضر رئیس کمسیون تدوین استاندارد (کمیته فنی ۱۰: مایعات و گازهای عایقی) در موسسه IEC و همچنین مدیر فنی شرکت NYNAS می باشد. دکتر پهلوانپور تاکنون بیش از ۳۱۰ مقاله در مجلات و کنفرانسهای معتبر بین المللی ارائه نموده و یکی از نویسندگان کتاب: «راهنمای روغن ترانسفورماتور NYNAS» است. تلاشهای شبانه روزی دکتر پهلوانپور در بازنویسی استاندارد IEC60422 (در خصوص روغن درحال بهره برداری ترانسفورماتور)، جایزه ویژه موسسه بین المللی IEC را برای او به ارمغان آورد. همچنین در سال جاری جایزه ویژه سازمان استاندارد بریتانیا (British Standard) به او اعطا شد. با دکتر پهلوانپور در حاشیه سمینار مدیریت عمر ترانسفورماتور در نیروگاه طرشت به گفتگو پرداختیم.

آقای دکتر لطفا در ابتدای این گفتگو مروری کوتاه بر سوابق تحصیلی و شغلی خود داشته باشید.

تخصص من در حوزه روغن ترانسفورماتور است و از سی سال قبل تا کنون به شکل جدی در این حوزه فعالیت می کنم. البته پیش از این به دلیل رشته و مدرک تحصیلی ام که مهندسی نفت بود، به شکل تخصصی و به این شکل بر روی یک حوزه مشخص کار نمی کردم و عمدتا بر روی همه مباحث مرتبط با روغن های صنعتی، عایقی، روانکاری و سوختی که در صنعت برق استفاده می شد، کار می کردم. اما بعدها به این دلیل که علاقه بیشتری به مبحث روغن های عایقی پیدا کردم، به شکل تخصصی تمام توجه خود را معطوف این حوزه کردم.

به دنبال آن به تدریج به شبکه ملی برق انگلستان (National Grid) راه پیدا کردم.

من تا امروز موفق به کسب دو جایزه معتبر شده‌ام. در سال ۲۰۰۵ جایزه IEC را به پاس مشارکت و خدماتی که برای تدوین استاندارد ارائه دادم، کسب کردم. پس از آن در آوریل سال گذشته هم سازمان استاندارد بریتانیا(British Standard) برای تقدیر از خدماتی که در طول این سال ها به این سازمان و پیشبرد استاندارد کرده ام، جایزه دیگری به من اهدا کردند. از آنجا که من رییس کمیته روغن های عایقی سازمان استاندارد بریتانیا هستم، این جایزه بسیار باارزش بوده و از برخی جهات حتی از جایزه IEC هم ارزشمندتر است.

شما چطور عضو موسسه استاندارد IEC شدید و مراحل پیشرفت را در این موسسه طی کردید؟

عملکرد موسسه استاندارد IEC به این شکل است که در هر دوره ای از سازمان های استاندارد کشورهای عضو درخواست می کند که یک نفر را به عنوان کارشناس معرفی کنند تا در تدوین استانداردها به آنها یاری رساند. کار من در این موسسه هم از همین نقطه آغاز شد که در سال ۱۹۸۸ به عنوان کارشناس سازمان استاندارد بریتانیا به موسسه IEC معرفی شدم و کار خود را در این موسسه آغاز کردم.

افراد پس از ورود به موسسه استاندارد IEC بسته به میزان و کیفیت خدمات ارائه شده و کمکی که به پیشرفت استاندارد کرده و تجربیاتی که در این راه اندوخته اند، به تدریج مراحل پیشرفت را طی کرده و به مدیریت قسمت های مختلف منصوب می شوند. بر همین اساس پس از چند سال مدیریت کارگروه و پس از آن مدیریت کمیته فنی ده به من سپرده شد. این کمیته مطالعات و تدوین استاندارد مربوط به تمام روغن های عایقی را عهده دار است. بر اساس قوانین این موسسه من تا سال ۲۰۱۹ رییس این قسمت خواهم بود و پس از آن می توانم تا ۴ سال بعد هم در این سمت بمانم که برای تصمیم گیری در این خصوص خیلی زود است.

این کمیته دقیقا در چه حوزه هایی فعالیت می‌کند؟

کمیته فنی ۱۰، تدوین و به روزرسانی حدود ۶۳ استاندارد مربوط به مواد عایقی مایع و گاز را عهده دار است. در حقیقت یکی از مهمترین مسئولیت های این کمیته بررسی اشکالات و کاستی های استانداردهای تدوین شده و تصمیم گیری سریع برای بازنویسی آنها است.

به همین منظور عمدتا برای موضوعات مطرح شده، جلساتی برگزار می کنیم و از تمام کشورهای عضو می خواهیم نمایندگان خبره خود را برای حضور در این جلسات و ارائه نظرات کارشناسی معرفی کنند. پس از آن جلسات با حضور این افراد برگزار شده و طی آنها تک تک استانداردها بازبینی می شوند. به این ترتیب مشخص می شود که کدام استاندارد نیازمند بازنویسی است و کدام یک باید کلاً از گردش خارج شده و حذف شود.

مدیریت کردن این بخش مسئولیت بزرگی است، چرا که اولا بررسی، به روزرسانی و رفع اشکال از ۶۳ مورد استاندارد کار ساده ای نیست و دوما اگر در هر یک از این حوزه ها نقصانی مشاهده شود، در درجه اول عملکرد ما زیر سئوال می‌رود و ضعف استاندارد از چشم ما دیده می شود.

از نظر شما در صنایع و به ویژه صنعت برق و حوزه ترانسفورماتور، تدوین استانداردها یا حتی به روز کردن آنها چه الزامی دارد؟

به این دلیل که صنعت برق، صنعتی زیرساختی محسوب می شود، مشکلات احتمالی در کوتاه ترین زمان ممکن اثرات خود را در این صنعت نشان می دهند. در حقیقت در سایر صنایع، مسائل، مشکلات و کاستی ها در طول زمان خود را نشان می دهند اما حساسیت قابل توجه و اهمیت استراتژیک صنعت برق باعث شده که هر کاستی در زمانی کوتاه، اثرات منفی خود را نشان داده که عمدتا حل این مشکلات مستلزم زمان قابل توجهی است.

سریع ترین اثر ایجاد مشکل در این صنعت، قطع برق است. اما در صنایع دیگر اثر مشکلات به این سرعت قابل مشاهده نیستند؛ معمولا پس از تولید محصولات و عدم کارایی آنها مشخص می‌شود که کار در جایی دچار مشکل بوده است. به همین دلیل استانداردها در صنعت برق از اهمیت بیشتری برخوردارند و تدوین استانداردها در این حوزه نقش حیاتی تری می یابند.

به هر حال نباید فراموش کنیم که بهینه سازی و بهبود شرایط و همچنین افزایش طول عمر تجهیزات این صنعت هدف اصلی ما از تدوین استانداردها است. در حقیقت به این دلیل که صنعت برق، صنعتی سرمایه بر است، باید بدانیم که چطور از این سرمایه محافظت کنیم، چرا که برای چنین صنایعی، عمر کوتاه تجهیزات کاملا به معنای از بین رفتن سرمایه است.

موضوع اصلی که ما بر روی آن کار می کنیم تعمیرات و نگهداری ترانسفورماتور و زمان و نحوه مناسب تعمیرات آن است. البته من باز هم به شکل تخصصی تر روی حوزه روغن های عایقی کار می کنم. شرایط در مورد خرید و نحوه استفاده از روغن های ترانسفورماتور کاملا روشن است. ارزیابی زمان تعویض روغن و سنجش نواقص و عیوب ترانسفورماتور از طریق تجزیه روغن اهمیت آن را به خوبی نشان می دهد. در حقیقت این تجزیه و تحلیل روغن به بهره برداران نشان می دهد که چه زمانی باید ترانسفورماتور را تعمیر یا از مدار خارج کنند.

به عنوان مثال ما استاندارد جدیدی تدوین کرده‌ایم که بر اساس آن می توان باقیمانده عمر ترانسفورماتور را تخمین زد. به این ترتیب بر مبنای این استاندارد می توان تصمیم گرفت هر ترانسفورماتوری را در چه زمانی باید جانشین کنیم یا تشخیص دهیم که عمر باقیمانده یک ترانسفورماتور کم است، در نتیجه می توان پیش از آنکه از کار بیفتد برای خرید ترانسفورماتور نو اقدام کرد.

مساله ای که صنعت برق را از همه صنایع متمایز کرده، این است که هر نقصانی در نهایت می‌تواند به قطع برق منجر شود و در شرایط کنونی در دنیا قطعی برق، اصلا پدیده قابل قبول نیست. یک قطعی برق کوتاه مدت هم می تواند به ایجاد اعتراض و نارضایتی در بین مردم منجر شود. همین مساله به استاندارد نقشی تعیین کننده و اثربخش می بخشد. به عنوان مثال قطع ۵ ساعته برق در اروپا به از بین رفتن منافع ۳۰ روز از سرمایه گذاران و صاحبان صنایع منجر می شود.

پس استانداردها چیزی ورای توافق بین خریدار و فروشنده است. اینطور نیست؟

توافق بین خریدار و فروشنده، ابتدای کار است. در حقیقت هر فردی که به دنبال بهره برداری از کالای مرغوبی است که بدون ایجاد مشکل، قادر به استفاده از آن باشد، باید اطمینان حاصل کند که این کالا استانداردهای لازم را دارد. من هم می پذیرم که استاندارد یک قرارداد برای تامین خواسته های خریدار و فروشنده است اما در حقیقت استاندارد حداقل های الزام آوری را مد نظر قرار می دهد که گاه از دید دو سوی معامله هم پنهان مانده است.

استانداردهای حوزه فعالیت شما یعنی روغن های عایقی در موسسه استاندارد IEC به چه نحوی تدوین می شوند و آیا این استانداردها با سایر استانداردهای مدون در سایر کشورها تفاوت روشنی دارد؟

سوال خیلی جالبی است. موسسه استاندارد IEC یک سازمان بین المللی است که از سال ۱۹۰۶ کار خود را آغاز کرده و قریب به ۱۰۹ سال است که در حوزه استاندارد فعالیت دارد. این موسسه کار خود را در کشور انگلستان آغاز کرد اما بعدها تشکیلات آن به دلیل بی طرفی کشور سوییس به ژنو منتقل شد.

در حال حاضر ۲۸ کشور عضو اصلی این سازمان هستند که حق رای دارند. البته تعداد قابل توجهی از کشورها هم بدون حق رای در این موسسه عضویت دارند. روال کار به این شکل است که تدوین هر استانداردی با رای موافق این کشورها امکان پذیر است و تا زمانی که هر ۲۸ کشور عضو، استاندارد را نپذیرند، ما اجازه انتشار آن را نداریم. این روال اجازه اعمال نفوذ به سازنده، فروشنده یا مصرف کننده در حوزه تدوین استانداردها را نمی دهد.

به هر حال باید بپذیریم که بسیاری از تولیدکنندگان ترجیح می دهند استاندارد سخت گیرانه ای بر روی محصولاتشان اعمال نشود و برعکس، مصرف کنندگان به دنبال اعمال استانداردهای دقیق و سخت گیری بر روی محصولات هستند که کیفیت کالای خریداری

مساله ای که صنعت برق را از همه صنایع متمایز کرده، این است که هر نقصانی در نهایت می‌تواند به قطع برق منجر شود و در شرایط کنونی در دنیا قطعی برق، اصلا پدیده قابل قبولی نیست

شده را تضمین کند.
یکی از دلایل موسسه برای گرد هم آوردن نمایندگان ۲۸ کشور عضو و تاکید بر تایید هر استاندارد از سوی همه اعضا، همین تضاد منافع میان بخش های مختلف بوده است. نکته دیگری که ذکر آن را ضروری می دانم این است که برای تصویب استانداردها، خود موسسه IEC هم حق رای ندارد. بدین معنا که ما در موسسه تا مرحله تدوین استاندارد پیش می رویم، کارهای اداری آن را انجام می دهیم و پس از آن کار به اعضا سپرده می شود.
تصویب استانداردهای موسسه IEC سه مرحله دارد. در مرحله اول استاندارد مدون شده برای نمایندگان ۲۸ کشور عضو ارسال شده و نظرات مثبت و منفی آنها گردآوری می شود. پس از اعمال نظرات، استاندارد باید به تایید ۷۵ درصد از کشورهای عضو برسد. پس از آن و در مرحله نهایی (final draft standard) باید تمام کشورهای عضو به استاندارد مذکور رأی مثبت دهند.
این در حالی است که در موسسه ای مانند ASTM که استاندارد امریکایی است و در بسیاری از کشورها مورد استفاده قرار می گیرد، استانداردها به تصویب اعضایی می رسد که عمدتا نمایندگان تولید کنندگان هستند و پس از آن منتشر می شود. حال اگر در این فرآیند عده ای بر مبنای منافع خود استاندارد را تدوین کرده باشند، مشکلات بسیاری پیش می آید، همانطور که این اتفاق در موارد زیادی هم رخ داده است.

آیا بودجه موسسه توسط ۸۲ کشور عضو تأمین می شود؟

خیر؛ بودجه موسسه فقط از طریق فروش استاندارد تأمین می شود. بنابراین همه اعضا به صورت افتخاری با موسسه همکاری می کنند و بابت این همکاری دستمزدی دریافت نمی کنند.

تنها راه حل موجود برای از بین بردن فاصله صنعت برق ایران با کشورهای پیشرفته، تعامل است.
شما نمی توانید درها را ببندید و در یک فضای محدود، منتظر از بین‌رفتن فاصله‌ها باشید

آیا تاکنون تناقضی بین استانداردهای تدوین‌شده در IEC با استانداردهای سایر موسسات مشاهده کرده اید؟

خیر؛ تناقضی ندیده ام، اما تفاوت بین استانداردها را بارها دیده ام. مساله این است که سایر موسسات بر اساس شرایط خاص خود کار می کنند. موسساتی مانند ASTM استانداردهای خود را توسط اعضای داخلی کشورشان تدوین می کنند. به همین دلیل مثلا استاندارد فرکانس در آمریکا ۶۰ و در اروپا ۵۰هرتز است. مبنای استانداردها ممکن است حتی در طراحی ترانسفورماتور های مورد استفاده در امریکا و اروپا تفاوت هایی ایجاد کند. دقیقا به همین دلیل IEC یک استاندارد بین المللی است که شرایط خاص یک کشور یا منطقه را مد نظر قرار نمی دهد.

برداشت شما از سطح تکنولوژی و فن آوری ایران در صنعت برق چگونه است؟

من حدود ۲۳ سال است که با صنعت برق ایران در ارتباط هستم و به طور منظم به ایران سفر می‌کنم. واقعیت این است که من در هر بار سفرم به ایران شاهد پیشرفت جدیدی در صنعت برق کشور هستم. لذا با اطمینان می توانم بگویم که پیشرفت علمی و تکنولوژیکی صنعت برق در طول دو دهه اخیر فوق العاده بوده است و این نشان می دهد که ما علاوه بر دستیابی به توسعه علمی، افراد وطن پرست بسیاری در کشور داریم که همواره به دنبال پیشرفت آن هستند. ولی الان به خصوص در بخش هایی مانند روغن ترانسفورماتور، هنوز اقدام روشنی برای فعالیت در تولید صورت نگرفته و در حوزه نگهداری هم مشکلاتی وجود دارد. با این حال من اطمینان دارم که در آینده بسیار نزدیک، این خلاء ها پر شده و مشکلات موجود برطرف خواهد شد.

از دیدگاه شما صاحبان صنعت برق ایران چطور می توانند این فاصله تکنولوژیکی با دنیا را برطرف کنند؟

تنها راه حل موجود برای از بین بردن این فاصله، تعامل است. شما نمی توانید درها را ببندید و در یک فضای محدود، منتظر از بین رفتن فاصله هایی باشید که صنعت برق کشورتان با دنیا دارد. صاحبان صنعت برق ایران پیش از هر اقدام دیگری باید تجربیات سایر کشورها را بررسی کرده و روش هایی که آنها در پیش گرفتند را ارزیابی کنند. این امر تنها از طریق تعامل امکان پذیر است.

سازمان ملی استاندارد ایران معمولا استانداردهای IEC را ترجمه کرده و آنها را ملاک کار خود در صنعت برق بویژه در ترانسفورماتور قرار می دهد. آیا شما این روند را تایید می کنید؟

بله؛ سازمان‌های مطرح بین‌المللی مانند CENEL-

Special Commendation

bsi.

is awarded to

Prof Bruce Pahlavanpour

for his contribution to standards development in the field of low voltage switchgear and controlgear whilst serving as a BSI committee member

2 April 2015

BSI Group, 389 Chiswick High Road, London, W4 4AL, UK

bsigroup.com

Dr Scott Steedman CBE FREng
Director of Standards, BSI

Shirley Bailey Wood MBE
Director of Publishing, BSI

bsi.

...making excellence a habit.

EC هم همین کار را می کنند. سازمان‌ها و موسسات استاندارد کشورهایی مانند آلمان، فرانسه و انگلستان هم استانداردی که در IEC تدوین شده را با همان شکل و فرم ترجمه کرده و به نام خود منتشر می کنند. البته این کار در هر صورت باید با مجوز IEC انجام شود. بدین معنا که کشورها نمی توانند بدون هماهنگی با این موسسه نسبت به انتشار استانداردهای آن اقدام کنند.

البته کاری که در تمام این کشورها باید انجام شود این است که پایه استانداردهایی که قرار است در مورد محصولاتشان پیاده کنند را استاندارد IEC در نظر بگیرند اما جزییات و مسائل جانبی آن را با شرایط اقلیمی، بومی و فرهنگی کشورشان تنظیم و بازنویسی کنند.

چرا تمام استانداردهای IEC بر اساس شرایط اروپا تدوین می شود و مثلا شرایط آب و هوائی کشورهایی مثل ایران در آن مد نظر قرار نمی گیرد؟

به این دلیل که ما تا امروز درخواستی در این خصوص نداشته‌ایم. اگر یکی از کشورها چنین درخواستی به IEC بدهد، قطعا ما آن را در شرایط استاندارد لحاظ می کنیم. در حقیقت تمام استانداردهای این موسسه بر اساس شرایط عمومی و خاص تدوین می شوند و در صورت درخواست هر یک از کشورها ما می توانیم شرایط ویژه دیگری را هم مد نظر قرار دهیم.

استاندارد IEC60296 (کنترل کیفی روغن نو) در سال ۲۰۱۲ و IEC60422 (کنترل کیفی روغن در حال بهره برداری) در سال ۲۰۱۳ مجدداً بازنویسی شدند. اشکال این استانداردها چه بود؟

اولین بار کاستی این استانداردها در سال ۲۰۰۵ در برزیل خودش را نشان داد و تعدادی از ترانسفورماتور ها از بین رفتند. پس از بازبینی این ترانسفورماتور ها مشخص‌شد که در بعضی از قسمتهای سیم پیچ ترکیب گوگرد با مس عمل کرده و سولفید مس ایجاد شده و در نهایت علت از کار افتادن ترانسفورماتورها به وجود آمدن گوگرد خورنده و سولفید مس در روغن بوده است. به این ترتیب آزمونی که برای مشخص کردن گوگرد خورنده تدوین شده بود، ضعیف تشخیص داده شد. بنابراین تصمیم گرفتیم روش تست قوی تری بنویسیم. پس از تدوین استاندارد جدید، بازبینی هایی هم بر روی استانداردهای IEC60296 و IEC60422 صورت گرفت.

یکی از مشکلات ما در ایران ناآگاهی از استانداردهای جدید تدوین شده و البته نبود تست‌های لازم برای پیاده‌سازی این استانداردهاست. در این میان گروهی از تولیدکنندگان سودجو که قادر به فروش تولیداتشان به کشورهای پیشرفته نیستند، محصولات بی‌کیفیتشان را به کشورهایی مثل ایران می‌فروشند.

متأسفانه این کاملا صحیح است. البته افراد سودجو همه‌جا هستند، گاهی می‌توان با آنها مقابله کرد و گاهی هم به دلیل عدم دسترسی به ابزار مناسب ممانعت از فعالیتشان بسیار دشوار است. در حقیقت ما به این دلیل که نمی دانیم این روغن استاندارد هست یا نه، ناگزیریم حرف

فروشنده را قبول کنیم. بنابراین مشکل از خریدار یا مصرف کننده نیست آنها ابزار لازم برای خرید کالای مرغوب را در اختیار ندارند.
یکی از مشکلاتی که در حال حاضر در ایران و برخی از کشورهای دیگر به وجود آمده این است که سازنده های روغن ترانسفورماتور، مقداری ماده پسیواتور به روغن اضافه می کنند که هم تست پایداری در برابر اکسیداسیون را پاس کند و هم از واکنش گوگرد خورنده در آزمایش جلوگیری کند. این ماده افزودنی پس از مدت کوتاهی از بین می رود و روغن ترانسفورماتور فاسد می شود و یا گوگرد خورنده وارد عمل می شود. ما امیدواریم که با تدوین استانداردهای جدید و البته افزایش سطح آگاهی دست اندرکاران این صنعت، در آینده این مشکل به صورت کامل برطرف شود.

در شرایطی که بسیاری از آزمایشگاه ها در ایران به دستگاه تست اندازه گیری مواد بازدارنده (Inhibitor Content) مجهز شده‌اند، هنوز شرکت توانیر استفاده از روغن‌های حاوی مواد بازدارنده (Inhibited Oil) را توصیه نمی کند. آیا به نظر شما لازم است این محدودیت برداشته‌شود؟

من معتقدم که تصمیم توانیر در این حوزه کاملا به جا و درست بوده است. اول به این دلیل که تا همین چند وقت پیش ما نمی توانستیم در ایران میزان مواد بازدارنده را اندازه گیری کنیم. دلیل دوم این بود که اگر هم روغن حاوی مواد بازدارنده می خریدند، اندازه گیری آن مشمول هزینه قابل توجهی بود. بنابراین از دیدگاه من تصمیم توانیر صحیح بود و احتمالا به این زودی هم نخواهند توانست به روغن با مواد افزودنی رو آورند. چون در حال حاضر در اکثر ترانسفورماتور های مورد استفاده در ایران از روغن فاقد مواد بازدارنده استفاده می‌شود و احتمالا تبدیل آن به روغن حاوی مواد بازدارنده بسیار دشوار و هزینه بر است. چرا که در این صورت همواره باید در انبارشان هر دو نوع روغن را داشته باشند و این کار هم هزینه بسیاری دارد و هم هر بار این سئوال را برای بهره برداران ایجاد می کند که در این موقعیت باید از کدام روغن برای ترانسفورماتور استفاده نمود. شاید در ترانسفورماتور های مهم بتوان استفاده از روغن حاوی مواد بازدارنده را توصیه نمود. چون این نوع روغن عمر طولانی تری داشته و کاغذ را بهتر محافظت می کنند. به این ترتیب

IEC
1906
AWARD

The International Electrotechnical Commission
expresses its sincere appreciation of the valuable and
sustained contribution by

Behrooz PAHLAVANPOUR

Expert of IEC Technical Committee 10,
FLUIDS FOR ELECTROTECHNICAL APPLICATIONS

Nominated by the Chairman and Secretary of IEC TC 10

For his outstanding contribution to the "state-of-the-art" revision of IEC 60422, an essential standard for transformer serviceability, as well as his noteworthy contribution to the development and revision of a large number of other standards as convenor of many of its WGs and MTs.

FRANK KITZANDITES
IEC Vice-president
Chairman of the
Standardization Management
Board

AHARON AMIT
IEC General Secretary

Geneva, Switzerland, 2005-08-15

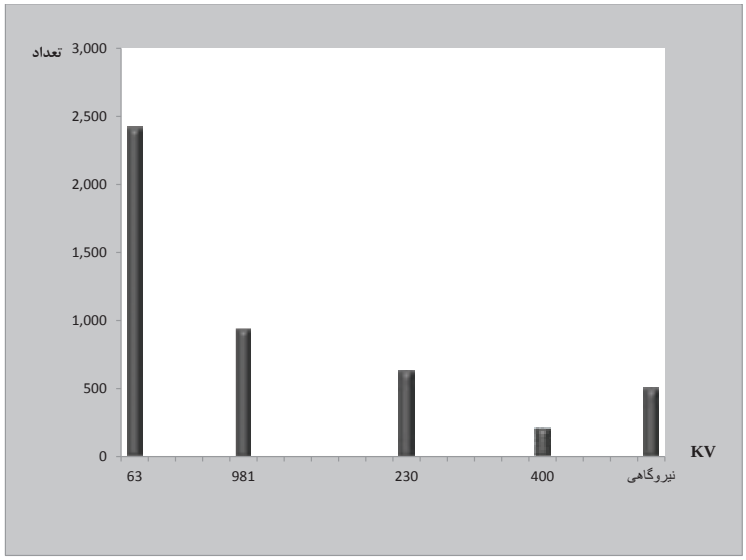
می‌توانیم در بقیه ترانسفورماتور ها از روغن فاقد مواد افزودنی استفاده کنیم. البته تصمیم نهایی در این زمینه با توانیر است، باید دید رویکرد این شرکت نسبت به این حوزه چیست.

در حال حاضر چه استانداردهایی در دست تدوین دارید؟

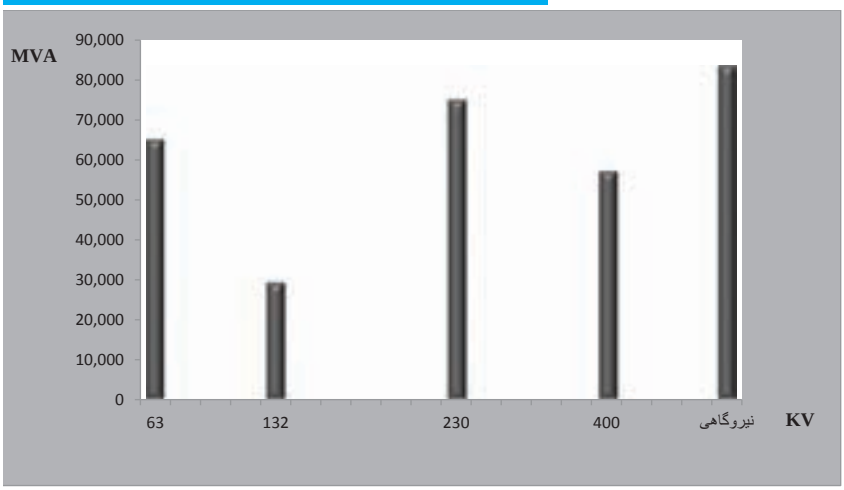
یک استاندارد جدید شروع کرده ایم و منتظر معرفی نمایندگان کشورهای عضو هستیم و قرار است که شهریور ماه امسال اولین جلسه ما در این مورد برگزار شود. موضوع اصلی این استاندارد تخمین عمر ترانسفورماتور با اندازه گیری متانول و شناسائی دقیقتر موادی است که از تجزیه کاغذ در روغن حل می شود. چون در چند سال اخیر مشخص شده که وقتی کاغذ تجزیه می شود علاوه بر فورفورال، متانول هم آزاد می کند. هدف ما این است که پیش از هر اقدامی روش اندازه گیری متانول را استاندارد کنیم.
همچنین در حال تدوین یک استاندارد جدید در خصوص روش تست کشش سطحی هستیم. در حال حاضر دستگاه های جدید تست کشش سطحی معرفی شده که استفاده از آنها نیاز به روش های تست جدید دارد. به همین منظور ما در حال تدوین یک استاندارد جدید در IEC هستیم و امیدواریم که تا قبل از انتهای سال به تصویب اعضاء برسد.

۲ ترانسفورماتور از نگاه آمـــــــار

تعداد ترانسفورماتورهای قدرت به تفکیک ولتاژ در پایان سال ۱۳۹۳



ظرفیت ترانسفورماتورهای قدرت به تفکیک ولتاژ در پایان سال ۱۳۹۳



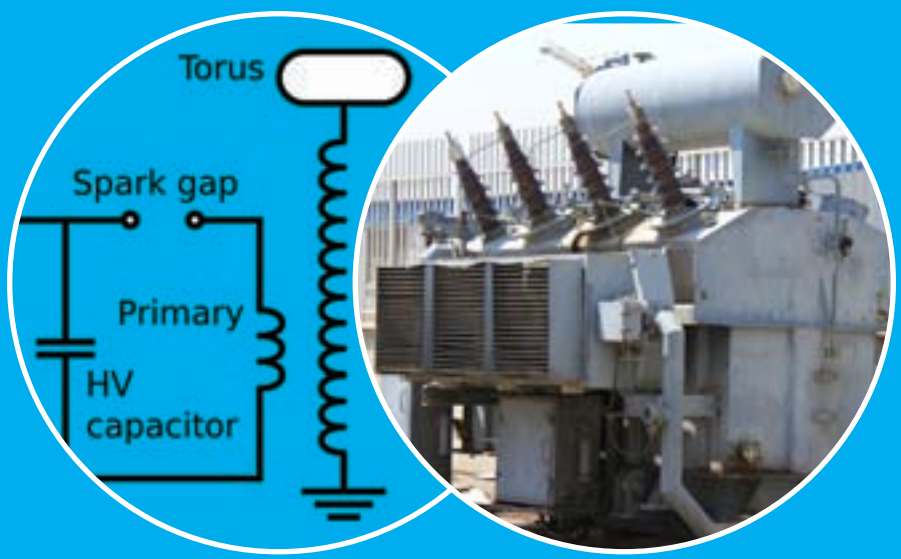
این آمار مربوط به ترانسفورماتورهای شبکه برق بوده و ترانسفورماتورهای صنایع در این آمار در نظر گرفته نشده‌اند.

منبع:
گزارش آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه انتقال نیروی برق در سال ۱۳۹۳، وزارت نیرو – شرکت مادر تخصصی توانیر، تیرماه ۱۳۹۴

تعداد و ظرفیت ترانسفورماتورهای قدرت در پایان سال ۱۳۹۳

نسبت تبدیل (KV)																										ولتاژ اولیه (KV)	ولتاژ ثانویه (KV)		جمع		جمع کل	
۶۳								۱۳۲							۲۳۰						۴۰۰				نیروگاهی			دستگاه	MVA	دستگاه	MVA	دستگاه	MVA
۱۱>	۱۱-۲۰	۲۰	۳۳	۱۱>	۱۱	۲۰	۳۳	۶۳-۶۶	۱۱>	۲۵ و ۲۰	۱۱	۳۳	۶۳-۶۶	۱۳۲	۱۱-۳۳	۶۳-۶۶	۱۳۲	۲۳۰														
۱۲۵	۵۶	۲۲۳۷	۴	۳۶	۷۸	۵۸۰	۲۶۰	۲۷	۳	۴۷	۸	۵۴	۳۹۸	۱۲۳	۹	۳۸	۵۲	۱۱۶	۵۰۳	۸۳۶۱۶	۵۰۳	۸۳۶۱۶										
۲۳۴۴	۱۵۴۳/۶	۶۱۰۷۶/۳	۹۷/۵	۹۰۸/۴	۲۰۰۳	۱۶۵۵۵	۸۳۳۷/۲	۱۴۶۵	۱۰۰	۳۴۴۹	۴۳۲	۳۴۹۵	۵۱۶۷۸	۱۵۸۷۰	۱۳۵۷/۵	۷۳۵۰	۱۱۰۰۰	۳۲۴۳۵			۲۱۵	۵۷۱۴۲/۵									
۶۵۰۶۱		۲۴۲۲		۲۹۲۶۹		۹۸۱		۷۵۰۲۴		۶۳۳																						
																														۴۷۵۴		۳۱۰۱۱۳

مقالات



ارزیابی وضعیت تپ چنجر ترانسفورماتور قدرت با استفاده از آنالیز گازهای محلول در روغن (DGA)

دکتر بهروز پهلوانپور
موسسه استاندارد IEC - شرکت NYNAS

مقدمه

تپ چنجـر قابل قطع تحـت بار تنهـا قطعه متحـرک (دینامـک) در داخل ترانسفورماتور قدرت بوده و به همین دلیل احتمال بروز خطا در آن بسیار بیشتر از سایر اجزاء ترانسفورماتور می باشد. در صورتی که بتوان تپ چنجر را مورد پایش قرارداد، شناسایی بسیاری از خطاهای ترانسفورماتور پیش از وقوع، امکان پذیر خواهد بود. یکی از شناخته شـده ترین روش های ارزیابی وضعیت و شناسایی رفتار غیرعادی ترانسـفورماتور، گازکروماتوگرافی یا آنالیز گازهای محلول در روغن (DGA) اسـت. گرچه این روش دهها سال است که در خصوص روغن ترانسفورماتور اعمال شده و استانداردهای زیادی در این زمینه تدوین شده است، لیکن تعمیم آن به روغن تپ چنجر[1] هنوز در مرحله تحقیقاتی قرار داشـته و به صورت استاندارد مدون نشده است. نگارنده در مقاله حاضر تلاش نموده است خلاصه ای از معتبرترین تحقیقات صورت گرفته در این خصوص را ارائه نماید.

تشکیل گاز در روغن تپ چنجر

در صورتی که اجزاء تپ چنجر به طور صحیح عمل نکنند، اولین نتیجه آن ایجاد حرارت اضافه بوده که خود ممکن اسـت موجب سـوختگی کنتاکت های تپ چنجر، افزایش مقاومت کنتاکت ها و در نهایت تولید حرارت بیشـتر شود. این دور ناخواسته افزایش مقاومت کنتاکت و تولید حرارت اضافه، مقادیر زیادی از «گازهای ناشی از حرارت» شامل متان، اتان و مهمتر از همه استیلن تولید می کند. با دانستن این مسئله می توان روشـی برای آنالیز گازهای محلول در روغن تپ چنجر قابل قطع تحت بار تدوین نمود که با اسـتفاده از آن ارزیابی وضعیت تپ چنجر بوسیله اندازه گیری مقادیر مطلق و نسبی این گازها امکان پذیر باشد.

ملاحظات انجام آزمـون گازکروماتوگرافی برروی نمونه روغن تپ چنجر در آزمایشگاه

انجام آزمون گازکروماتوگرافی بر روی نمونـه روغن تپ چنجر به دلیل وجود مقادیر زیاد استیلن مشکلاتی را برای دستگاه گازکروماتوگراف ایجاد می نماید. استیلن در ستون گازکروماتوگراف باقی مانده و نمونه بعدی را آلوده می سازد. در هر صورت پس از انجام آزمون بر روی نمونه روغن تپ چنجر، ستون گاز باید به خوبی و به مدت زیادی تمیز شده و پس از آن از نمونه های بعدی تست به عمل آید. کلیه این موارد در ویرایش جدید استاندارد IEC60567 (سال ۲۰۱۱)، مورد بررسی قرار گرفته است.

دقت آنالیز گازهای محلول در روغن، صرفنظر از روش تحلیل مورد اسـتفاده، بستگی زیادی به دقت و قابلیت اطمینان تست گازکروماتوگرافی انجام شده در آزمایشگاه دارد. آزمایشگاه های معدودی در سطح دنیا وجود دارد که دقت آزمون گازکروماتوگرافی انجام شده در آنها بسیار خوب است.(5 %± در مقادیر نرمال گاز که معمولاً بیشتر از 10 ppm برای گازهای هیدروکربنی است).

بسیاری دیگر از آزمایشـگاه ها نتایج بسـیار بی دقتی (50%±) ارائه می کنند. متوسط دقت آزمایشگاه ها در سراسر دنیا توسط CIGRE TF11 ارزیابی شده که مقدار آن 15%± در مقادیر نرمال گاز می باشـد. در مقادیر کم گاز (بین 10 ppm تا 10 ppm) متوسـط دقت تا 35%± کاهش می یابـد. در مقادیر نزدیک به حد تشخیص دستگاه، متوسط دقت بسیار کم خواهد بود (100%± و بیشتر). لذا به بهره برداران ترانسفورماتور توصیه می شود با استفاده از نمونه های استاندارد گاز محلول در روغن، دقت آزمایشگاه را تایید نمایند. همچنین لازم است ناهمخوانی های موجود در نتایج آزمایش مورد توجه قـرار گیرند. به عنوان مثال افزایش یا کاهش شـدید مقدار گاز در مدت زمان کم بدون وجود دلیل مشـخص، نشان دهنده خطای فاحش نمونه برداری یا تست می باشد.

شناسایی و تشخیص خطا در تپ چنجر به روش گازکروماتوگرافی

آنالیز گازهای محلول در روغن تپ چنجر با استفاده از روش های معمول تحلیل امکان پذیر نیست. دلیل این مسـئله وجود مقادیر زیاد گازهای قابل احتراق در نمونه روغن تپ چنجر و مشکل بودن جداسـازی گاز از نمونه توسط دستگاه های معمولی گازکروماتوگراف می باشد. در ذیل خلاصه روش های پیشنهادی معرفی می گردد:

۱) روش IEEE

مطابق روش IEEE در صورتی که جمع مقادیر گازهای هیدروژن و اسـتیلن از مجموع گازهای متان، اتان و اتیلن کمتر باشد وجود سوختگی در کنتاکت دایورتر سوئیچ تپ چنجر محتمل می باشد.

$$\sum(H_2 + C_2H_2) < \sum(CH_4 + C_2H_6 + C_2H_4)$$

در این حالت بازرسـی داخلی از مخزن دایورتر سوئیچ توصیه می شود. با انجام این کار می توان وجود مواد کربونیزه شـده در دایورتر سوئیچ را مشاهده نمود. مطابق توصیه IEEE علاوه بر آزمون گازکروماتوگرافی، اندازه گیری محصولات جانبی تخریب روغـن (مانند ذرات معلق) می تواند به تشـخیص عیب کمک فراوانی کند.

۲) روش نسبت گازهای قابل احتراق

روش نسـبت گازهای قابل احتراق برای شناسایی خطا در تپ چنجر با موفقیت توسط بسیاری از موسسات تحقیقاتی مورد استفاده قرارگرفته است. با استفاده از جدول یک می توان شدت خطا و نوع اقدام لازم را تعیین نمود:

۱. منظور از روغن تپ چنجر در این مقاله: روغن موجود در دایورتر سوئیچ تپ چنجرهای قابل قطع تحت بار بوده که از روغن ترانسفورماتور ایزوله می باشد.

$$FR = \frac{[C_2H_2 + H_2]}{[CH_4 + C_2H_6 + C_2H_4 + C_2H_2 + CO + H_2]}$$

$$R_1 = \frac{[CH_4 + C_2H_6 + C_2H_4]}{[CH_4 + C_2H_6 + C_2H_4 + C_2H_2]}$$

$$R_2 = \frac{[CH_4 + C_2H_6 + C_2H_4]}{[C_2H_2]}$$

$$R_3 = \frac{[C_2H_4]}{[C_2H_2]}$$

جدول یک: شناسایی خطا در تپ چنجر با استفاده از نسبت گازها

نسبت	نیاز به توجه دارد	وقوع خطا محتمل است	احتمال وقوع خطا بسیار محتمل است
FR	≤ 0.6	≤ 0.35	≤ 0.15
R1	≥ 0.5	≥ 0.6	≥ 0.8
R2	≥ 0.8	≥ 4	≥ 6
R3	≥ 1	≥ 6	≥ 9

۳) مقادیر نرمال و غیرنرمال گاز اتیلن:

جدول دو: مقادیر نرمال و غیرنرمال برای گاز اتیلن

گاز	نرمال	احتیاط	هشدار
C2H4	< 1157	< 2020 > 1157	> 2020

۴) نسبت اتیلن به استیلن:

جدول سه: شناسایی خطا با استفاده از نسبت اتیلن به استیلن

نسبت	نشانه ای از اضافه حرارت داخلی وجود ندارد.	اضافه حرارت داخلی محتمل است.	اضافه حرارت داخلی بسیار محتمل است.
C2H4/C2H2	< 0.29	< 0.4 > 0.29	> 0.4

۵) روش IEC60599: 2015

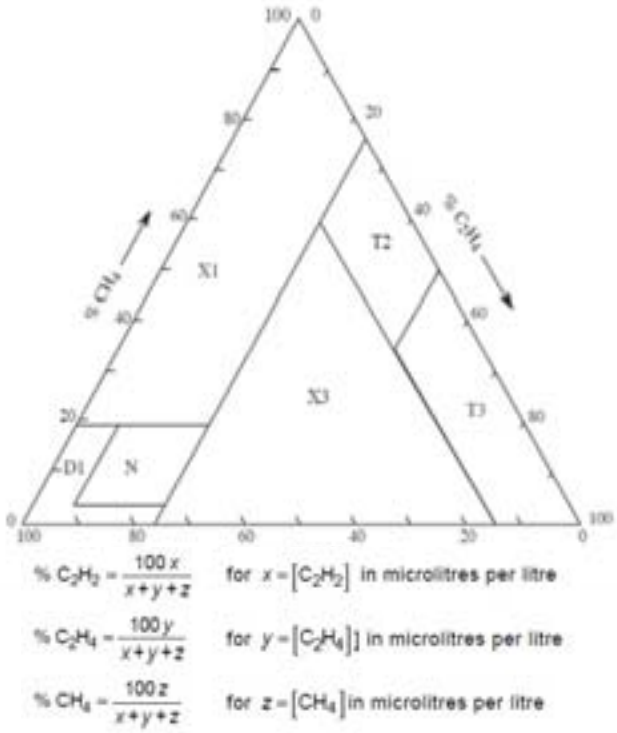
جدول چهار: نسبت گازهای محلول در روغن تپ چنجر

C_2H_4/C_2H_6	CH_4/H_2	C_2H_2/C_2H_4	نام اختصاری
> 1	0.1-0.5	> 1	D1
> 2	0.1-1	0/6-2.5	D2
1-4	> 1	< 0 .1	T2
> 4	> 1	<0 .2	T3

جدول پنج: خطاهای محتمل در تپ چنجر

نام اختصاری	خطای احتمالی
D1	عملکرد نرمال تپ چنجر
D2	۱) کنتاکتها به قسمت انتهایی نرسیده و بعلت نقص در مکانیزم گردشی، در نیمه راه متوقف می شوند. ۲) تخلیه الکتریکی با انرژی زیاد در حلقه سلکتور سوئیچ یا اتصالات تپ چنجر، اغلب این خطا به سیم پیچهای ترانسفورماتور نیز منتقل می شود.
T2 و T3	۱) افزایش مقاومت بین کنتاکتهای تپ چنجر بدلایلی چون افزایش مقدار کربن سوخته، خرابی سلکتور یا تعداد زیاد کارکرد تپ چنجر ۲) افزایش درجه حرارت مقاومتهای گذرا به بیش از ۷۰۰ درجه سانتیگراد بدلیل زمان سوئیچینگ طولانی (ناشی از ایراد در عملکرد)

۶) روش مثلث دووال



شکل یک: عیب یابی تپ چنجر با استفاده از مثلث دووال

جدول شش: خطاهای محتمل در تپ چنجر به روش مثلث دووال

نام اختصاری	خطای احتمالی
N	عملکرد نرمال تپ چنجر
T3	سوختگی شدید کنتاکت در درجه حرارت بیشتر از ۷۰۰ درجه سانتیگراد
T2	سوختگی شدید کنتاکت در درجه حرارت بیشتر از ۳۰۰ درجه سانتیگراد
X3	سوختگی در حال گسترش یا تخلیه الکتریکی غیرعادی
D1	تخلیه الکتریکی غیرعادی
X1	اضافه حرارت در دمای کمتر از ۳۰۰ درجه سانتیگراد

توضیحات مربوط به جدول شش

۱) عملکرد نرمال و بدون خطـــای برخی از تپ چنجرها در مناطق T2 ، T3 و X3 می‌باشـــد. در این تپ چنجرها تا زمانی که نســـبت گازها از مختصات فعلی خود در مثلث دووال جابجا نشـــوند، خطائی وجود ندارد.

۲) تفســـیر نتایج گازهای محلول در روغن، وابستگی زیادی به نوع و مدل تپ چنجر و همچنین تعداد کارکرد آن دارد.

نتیجه گیری

گرچه آنالیز گازهای محلول در روغن در سراسر دنیا به عنوان مؤثرترین روش پایش ترانسفورماتور شـــناخته شده است، لیکن تحلیل و تفسیر نتایج این آزمون دشـــوار بوده و در برخی موارد شناســـایی نوع و زمان انجام اقدام لازم براســـاس نتایج این آزمون مبهم می باشد. در این مقاله برخی از روش های عیب یابی تپ چنجر قابل قطع تحت بار با استفاده از آنالیز گازهای محلول در روغن بررســـی شـــده است. لیکن استفاده سیستماتیک و استاندارد از آزمون گازکروماتوگرافی جهت عیب یابی تپ چنجر، هنوز در مرحله مطالعاتی بوده و نیاز به تحقیق بیشتری دارد. نکته مهم دیگر اینســـت که جهت شناسایی عیوب تپ چنجر علاوه بر آنالیز گازهای محلول در روغن لازم اســـت از ســـایر روشهای ارزیابی وضعیت و عیب یابی مانند آزمون شـــمارش و ابعاد سنجی ذرات معلق در روغن نیز استفاده نمود.

منابع و مأخذ

[1] IEC60567, 'Guide for the sampling of gases and of oil from oil-filled electrical equipment and for the analysis of free and dissolved gase'.2011 ed.

[2] IEC60599, 'Mineral oil-impregnated equipment in service-interpretation of dissolved and free gases analysis'. 1999

[3] IEEE 'Guide for the interpretation of gases generated in oil-immersed transformers', IEEE std C57.104-1991

[4] Mollmann, A. and Pahlavanpour, B., 'New guidelines for interpretation of dissolved gas analysis in oil-filled transformers', Electra #186, October 1999.

[5] Pahlavanpour, B. and Lapworth, J., 'Recent advances in the condition monitoring and assessment of power transformers' 15th International Power System Conference 2000, Tehran Iran.

[6] Lech, W. and Tyminski, L., 'Detecting transformer winding damage by the Low Voltage Impulse method', Electrical Review, No. 21, Vol 179, November 1966, pp 768-772, (ERA Translation).

[7] Vaessen, P.T.M. and Hanique, E., 'A new frequency response analysis method for power transformers', IEEE Winter Meeting 1991.

[8] Dick, E.P. and Erven, C.C, 'Transformer diagnostic testing by frequency response analysis', IEEE Trans PAS-97, No. 6, pp 2144-2153, 1978.

[9] Lapworth, J. A. and McGrail, A.J., 'Transformer Winding Movement Detection by Frequency Response Analysis (FRA)', Sixty-Sixth Annual International Conference of Doble Clients, April 1999.

[10] IEC61198, Mineral insulating oils, methods for the determination of 2-furfural and related compounds, 1993

[11] De Pablo, A and Pahlavanpour, B., 'Furanic compound analysis: A tool for predictive maintenance of oil field electrical equipment', Electra No175, 9-32, 1997

[12] IEC60475, "Method of sampling insulating liquid" 2011 ed.

[13] Oommen, T.V., Ronnau, R.A. and Girgis, R.S., 'New mechanism of moderate hydrogen gas generation in oil-filled transformers' Paper 12-206, CIGRE Session 1998

آزمونهای فشاری قوی ترانسفورماتور قدرت در سایت

نویسنده: پروفسور پیتر ورله /انستیتو شرینگ دانشگاه هانوور
مترجم: مهندس حرمت اله فیروزی /شرکت رستاک توان خاورمیانه

پیشگفتار

نگاهی آماری به ظرفیت عملی تولید نیروگاهها در ایران نشان می‌دهد که مجموع ظرفیت عملی نیروگاهها در سال ۱۳۷۴ معادل ۲۱۵۶۶ مگاوات بوده و درسال ۱۳۹۴ نیز این عدد در حدود ۵۲۰۰۰ مگاوات می باشد . این مطلب نشان می‌دهد که تقریبا بیش از ۴۰ درصد ناوگان تولید انرژی کشور عمری حداقل ۲۰ سال دارند. این موضوع را با تقریب قابل قبولی می توان به وضعیت سنی ترانسفورماتورهای قدرت موجود در شبکه برق کشور تعمیم داد. بنابراین مسایل مربوط به نگهداری و تعمیرات ترانسفورماتورهای قدرت از اهمیت دوچندان برخوردار خواهد بود.

در صورت بروز صدمات قابل توجه به ترانسفورماتور و نیاز به تعمیرات اساسی و یا بازپیچی بوبین ها به علت عمر بالا، دو سناریوی تعمیرات در محل و تعمیرات در شرکت سازنده مطرح می باشد که به علت مسایل مربوط به حمل و نقل، صرفه اقتصادی و محدودیت های زمان بی برقی، علاقه مندی بهره برداران به تعمیرات و یا بازپیچی در محل بصورت روز افزون در حال افزایش می‌باشد. با این وجود نگرانی هایی نیز متصور می باشد زیرا که انجام تعمیرات در سایت نسبت به انجام آن در کارخانه با محدودیتها و مشکلات فیزیکی و محیطی بیشتری همراه می‌باشد که محتمل است بر روی کیفیت نهایی کار اثر بگذارد. از طرفی در بسیاری از موارد تعمیرات ترانسفورماتور توسط شرکت هایی صورت می پذیرد که بسیاری از آنها از استانداردهای مناسب در کارگاه هایشان بخصوص پروسه کوره و خشک سازی اکتیوپارت که بسیار حائز اهمیت است، برخوردار نیستند. با توجه به آنچه گفته شد و قابل توجه بودن هزینه های اقتصادی تعمیرات، انجام آزمونهای عایقی فشارقوی مانند تست های AC و ضربه فشارقوی در محل سایت می تواند برای صحه گذاری عملکرد و کنترل کیفی فعالیتهای تعمیراتی و ترمیمی در محل سایت بسیار راهگشا بوده و به نظر می رسد که بتدریج در سالهای پیش رو به امری مرسوم در صنعت فشارقوی تبدیل گردد.

مقاله حاضر بنا به درخواست فصلنامه ترانسفورماتور توسط آقای پروفسور ورله (که در حال حاضر رئیس انستیتو شرینگ دانشگاه هانوور آلمان می باشد)، نوشته شده که در آن از تجربیات خود بعنوان یکی از طراحان سیستم پرتابل تست فشار قوی در سایت (در زمان حضور خود بعنوان مدیر تعمیرات ترانسفورماتور شرکت ABB) صحبت می کند.

چکیده

در طول عمر تجهیزات فشار قوی آزمونهای مختلفی به منظور ارزیابی وضعیت و کنترل کیفیت این تجهیزات برروی آنها انجام می شود. اولین آزمون فشار قوی برروی تجهیز فشار قوی معمولاً پس از تولید تجهیز و در ولتاژهایی بسیار بالاتر از ولتاژ نامی انجام می گیرد. پس از نصب و راه اندازی به منظور عیب یابی یا پس از انجام تعمیرات نیز لازم است این آزمونها تکرار گردند. در حالیکه برای کابل و تجهیزات فشار قوی GIS سیستمهای تست پرتابل تک فاز کافی است، لیکن انجام این آزمونها برروی ترانسفورماتورهای قدرت، می بایست بصورت سه فاز صورت گیرد. در گذشته از سیستمهای سه فاز موتور- ژنراتوری استفاده می‌شد که وزن بالایی داشته و انتقال آنها به سایت بسیار مشکل بود. بهمین دلیل نیاز به یک سیستم جدید برای انجام آزمونهای ترانسفورماتور قدرت در سایت اجتناب ناپذیر می نمود. با توجه به دلایل فوق الذکر اولین سیستم تست فشار قوی ترانسفورماتورقدرت که در یک کانتینر ۴۰ فوتی قابل جاسازی است، طراحی و ساخته شد. این سیستم به راحتی قابل حمل و نقل و استقرار در سایت بوده و کلیه آزمونهای روتین، تایپ و مخصوص مطابق استانداردهای ، IEC60060-3 IEC60076 و IEEE Std. C57.12.00(شامل آزمونهای فرکانس قدرت و ضربه صاعقه) بوسیله آن قابل انجام می باشد.

مقدمه

ترانسفورماتورهای قدرت یکی از مهمترین و گرانقیمت ترین تجهیزات شبکه برق می باشند، از اینرو افزایش عمر بهره برداری و در عین حال کاهش هزینه های سرویس و نگهداری این تجهیز اهمیت بسیاری دارد. نگاهی به ترانسفورماتورهای مورد بهره برداری در سطح دنیا نشان می دهد بسیاری از این تجهیزات الکتریکی به پایان عمر پیش بینی شده خود نزدیک شده یا از آن عبور نموده اند. بالطبع احتمال خطای این ترانسفورماتورها نیز افزایش یافته است. در صورت بروز حادثه برروی ترانسفورماتور در مرحله اول شناسائی محل وقوع خطا و دلیل بروز آن بسیار حیاتی است. بدین منظور انجام آزمونهای مختلف و همچنین تستهای فشارقوی در سایت لازم است انجام گیرد.

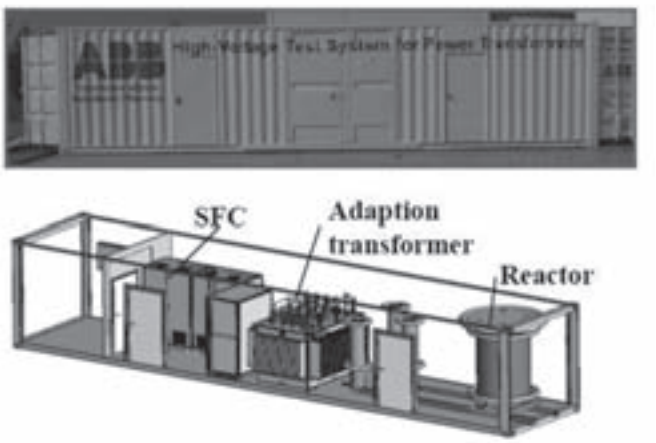
پس از انجام آزمونهای اولیه برروی ترانسفورماتور می بایست در خصوص اقتصادی بودن انجام تعمیر (در مقایسه با خرید تجهیز جدید) تصمیم گیری شود. البته در اکثر موارد تعمیر و بازسازی ارزانتر از خرید ترانسفورماتور جدید است چراکه بیشتر اجزاء مانند بوشینگها، هسته، مخزن و ... مجدداً قابل استفاده است.

همچنین لازم است در خصوص تعمیر ترانسفورماتور در کارگاه یا در سایت تصمیم مناسبی اتخاذ شود. در صورتی که حادثه جزئی مانند خطا برروی اتصالات، بوشینگها یا تپ چنجر رخ داده باشد، معمولاً تعمیر در سایت انجام می شود که دلیل آن صرفه جوئی در هزینه های مربوط به انتقال ترانسفورماتور به کارگاه تعمیرات است. اگر شدت حادثه وسیع بوده و بوبینها را نیز دربر بگیرد، تصمیم گیری در خصوص انتقال ترانسفورماتور به کارگاه یا تعمیر در سایت بستگی به عواملی چون امکان حمل و نقل تجهیز، مدت زمان انتقال به کارگاه و ریسک این عملیات، اثرات خارج بودن ترانسفورماتور از مدار در ماههای آتی، وجود یا عدم وجود تجهیز جایگزین و ... دارد. در هر صورت نیاز به انجام آزمونهای فشار قوی در سایت بدیهی است. بطور کلی از آزمونهای فشار قوی می توان جهت شناسائی علت خطا، ارزیابی وضعیت، تست ترانسفورماتور رزرو

پیش از جایگزینی با ترانسفورماتور معیوب و در نهایت بعنوان آزمونهای کنترل کیفی ترانســـفورماتور پس از تعمیر یا پس از حمل و نقل و قبـــل از راه اندازی استفاده نمود. از اینرو به منظور انجام آزمونهای مهم فشار قوی مانند ولتاژ اعمالی[1] و القائی[2] (بهمراه اندازه گیری تخلیه جزئی)، تعیین تلفات و ضربه صاعقه، وجود یک سیستم پرتابل فشار قوی الزامی می باشد.

سیستم های تست AC پرتابل

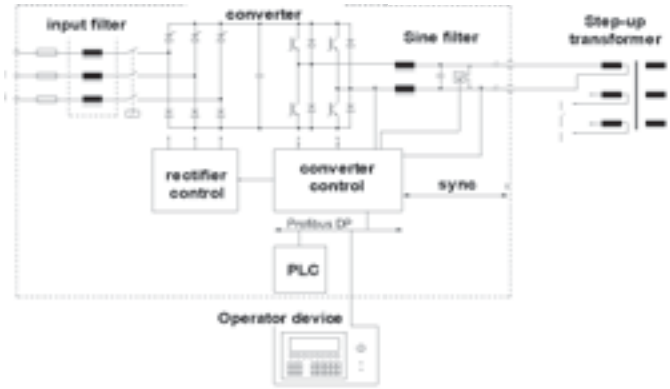
بصورت ســـنتی از گذشته تا بحال برای انجام تست های AC فشارقوی در محل ســـایت (محل بهره برداری)، از سیستم های با آرایش موتور-ژنراتوری استفاده می‌شود که بدلیل ابعاد و وزن زیاد، مشکلات عدیده ای در حمل و نقل آنها وجود دارد. لذا اســـتفاده از روشها و تکنیکهای جدید، جهت رفع این مشکلات ترجیح داده می‌شود. از اینرو، سیستم تســـت AC فشارقوی پرتابل که در ساختار آن از مبدلهای فرکانسی استاتیک به عنوان منبع ولتاژ استفاده شده و بصورت کمپکت در ابعاد یک کانتینر ۴۰ فوتی می باشد، ساخته شده است. نمایی از این سیستم در شکل یک نشان داده شده است.



شکل یک: سیستم پرتابل فشار قوی AC

بخش اساسی سیســـتم فوق الذکر، یک مبدل فرکانسی استاتیک می باشد که در شکل دو قابل مشـــاهده است. با توجه به شکل، ولتاژ ســـه فاز ورودی در طبقه ورودی مبدل یکســـو می گردد و خـــازن خروجی کـــه ورودی طبقه اینورتری مبدل می باشد را شـــارژ می نماید. طبقه اینورتری با اســـتفاده از IGBT های قدرت و مدار کنترلـــی میکروکنترلری، ولتاژ خروجی بـــا دامنه و فرکانس قابل تنظیم را تولید می نماید. در طبقه آخر مبدل نیز فیلتر سینوســـی برای اســـتخراج مولفه اصلی موج سینوسی مدنظر بکارگرفته شده است. این ولتاژ سینوسی تولید شده، ترانسفورماتور افزاینده نشان داده شده در شکل را تغذیه می نماید.جهت انجام تســـت ولتاژ القایی مطابق با IEC60076-3فرکانسی استفاده می شود که در آن خود جبرانسازی لازم برای انجام تســـت بر روی ترانسفورماتور صورت پذیرد. این خود جبرانسازی برای محدوده مشخصه اندوکتیو در فرکانسهای پایین تا مشخصه خازنی در فرکانســـهای بالا قابلیت تغییر دارد. به عبارت دیگر مدار جبرانساری بگونه ای است که در تست فقط توان اکتیو مورد نیاز از شبکه جذب می گردد و توان مبدل فرکانسی استاتیک در کمترین مقدار ممکن طراحی گردد. محدوده قابل تنظیم فرکانس برای این سیســـتم از ۱۵ تا ۲۰۰ هرتز و با گام تغییر

1. Applied Voltage Test
2. Induced Voltage Test

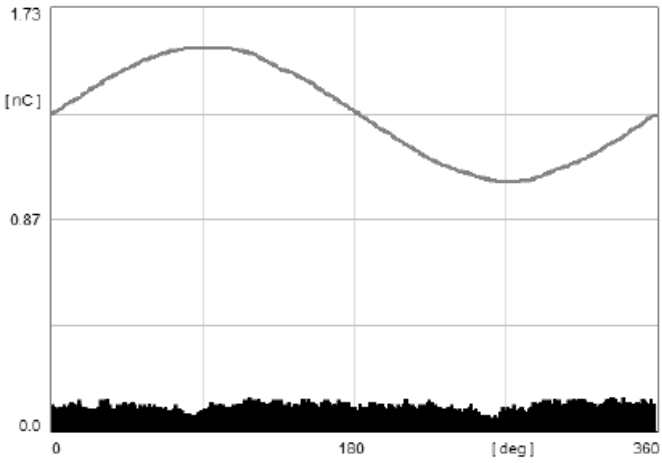


شکل دو: مبدل فرکانس استاتیک (SFC)

۰/۱ هرتز می باشد که از مهمترین مزیتهای این سیستم می باشد.
علاوه بر این، یک جبران ســـازی اضافی ســـلفی-خازنی قبل از ترانسفورماتور افزاینده، یک فیلتر فشارقوی T شکل در خروجی ترانسفورماتور تطبیق امپدانس به عنوان فیلتر تخلیه جزیی و مقســـم خازنی فشارقوی، یک سیستم اندازه گیری جریان نوری جهت اندازه گیری دقیق جریانها و ولتاژهای ترانسفورماتور تحت تست در این سیستم وجود دارد.
اندازه گیری الکتریکی تخلیه جزیی در سمت ثانویه ترانسفورماتور تحت تست، از طریق تست تپ بوشینگ های فشارقوی و یا بکارگیری خازنهای کوپلاژ انجام می پذیرد.
ولتاژ تست اعمالی به روش مبدل رزونانسی تولید می شود که در آن راکتور داخلی تعبیه شده در سیستم به عنوان اندوکتانس مبدل و ظرفیت خازنی ترانسفورماتور تحت تست به عنوان خازن مبدل عمل می کنند. این دو المان فرکانس رزونانس را تعیین می کنند که بطور اتوماتیک توسط سیستم کنترل مبدل فرکانسی استاتیک تشخیص داده شده و انتخاب می گردد. مقسم ولتاژ فشارقوی بصورت موازی با ترانسفورماتور تحت تست، مســـتقیما به راکتور نیز متصل بوده و ولتاژ را اندازه گیری می کند.
از مشخصات اصلی سیستم اندازه گیری ساخته شده، بهره گیری از مبدل قدرت ۱۳۵۰ کیلوواتی در مود عملکرد سه فاز یا تکفاز و ترانسفورماتور تطبیق امپدانس ۲ مگاولت آمپری با ولتاژ خروجی ۹۰ کیلوولت می باشـــد. لذا تست های ولتاژ القایی تا ولتاژ ۹۰ کیلوولت و با ضریب اعوجاج هارمونیکی زیر ۲ درصد امکان پذیر است. تست ولتاژ اعمالی نیز تا ولتاژ ۵۰۰ کیلوولت برای ترانسفورماتورهای بزرگ امکان پذیر اســـت. و از آنجا که در ترانسفورماتورهای بزرگ، عایق بندی نوترال بصورت غیریکنواخت بوده و برای سطح عایقی پایین تر ساخته می شوند ، عملا برای ترانسفورماتورهای تا ۷۵۰ کیلوولت این تست امکان پذیر می باشد.
در مجموع بیش از ۵۰ دســـتگاه ترانسفورماتور در همین چند سال اخیر در نقاط مختلف جهان تست شـــده اند که بزرگترین انها یک ترانسفورماتور شیفت فاز ۱/۶ گیگاولت آمپر می باشـــد. با استفاده از این سیســـتم اندازه گیری، همه انواع ترانسفورماتورهای موجود از رنج ترانسفورماتورهای توزیع تا ترانسفورماتورهای نیروگاهی بزرگ، از هر نوع و برندی، می توانند در محل سایت مورد تست قرار گیرند. نمونه هایی از این اندازه گیری ها در شکل سه نشان داده شده است.

شکل سه: نمونه هایی از اندازه گیری ها با دستگاه تست AC فشارقوی

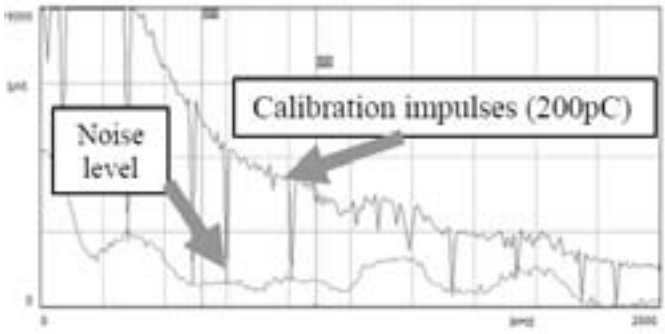
شکل چهار: نمایی از پنل کنترلی سیستم تست AC فشارقوی



شکل ۵: سطح نویز با استفاده از روشهای معمول

پنل کنترل سیستم تست AC فشـــارقوی در شکل چهار نشان داده شده است که صفحه کنترل لمســـی واحد کنترل کامپیوتری در قسمت وسط آن و سیستم ثبت سیگنال های تخلیه جزیی در قسمت زیرین آن دیده می شود.

بـــرای اندازه گیـــری تخلیه جزیی که زمان انجام تســـت ولتـــاژ القایی صورت می‌پذیرد، از یک واحد اســـپکتروم آنالایزر بهره گرفته شـــده است که منجر به بالا رفتن حساســـیت اندازه گیری می گردد بطوریکه ســـطح نویز به مقادیر زیر ۵۰ پیکو کلمب محدود می گردد. شـــکل پنج اندازه گیری تخلیه جزیی به روش های معمول را بر روی یک ترانســـفورماتور ۴۲۰ کیلوولت نشان می دهد که در آن سطح سیگنالهای نویز در رنج ۱۰۰ پیکوکلمب قابلیت آشکارسازی دارند در حالیکه با استفاده از اسپکتروم آنالایزر این سطح می تواند تا یک سوم تقلیل یابد. شکل شش کالیبراسیون با بکارگیری تکنیک اسپکتروم آنالایزر را نشان می دهد که در آن از یک کالیبراتور ۲۰۰ پیکوکلمبی اســـتفاده شده است. همانطور که از شـــکل بر می آید برای فرکانس های مرکزی زیر ۱ مگاهرتز که مد نظر استاندارد IEC برای تست تخلیه جزیی می باشد، سطح نویز در رنج ۲۰ تا ۳۰ پیکوکلمب می باشد.



شکل شش: سطح نویز با بکارگیری اسپکتروم آنالایزر

سیستم تست ضربه پرتابل

علاوه بر سیستم تســـت AC پرتابل، برای انجام تســـت ضربه در محل ســـایت، سیســـتم پرتابلی طراحی و ساخته شده اســـت که پس از انجام تعمیرات بر روی ترانسفورماتور، مورد اســـتفاده قرار می گیرد. طراحی این ژنراتور ضربه بگونه ای می‌باشد که قابلیت شارژ ولتاژ تا ۲ مگاولت و انرژی ۳۰۰ کیلوژول را دارد. با استفاده از این سیستم تست که در فضایی به اندازه یک کانتینر ۴۰ فوت تعبیه شده است، انجام تست ضربه صاعقه تا ۱۸۰۰ کیلوولت و تست ضربه سویچینگ تا ۱۳۰۰ کیلوولت امکان پذیر می باشد. این سیستم تست ضربه، یک ژنراتور ضربه مارکس ۱۰ پله می باشـــد که بصورت افقی در کانتینر تعبیه گردیده اســـت. عملکرد سیستم تست ساخته شده بگونه ای است که ابتدا سقف کانتینر باز شده و ژنراتور توسط یک سیســـتم هیدرولیکی و بدون نیاز به نیروی انسانی، بصورت اتوماتیک و در زمانی کمتر از یک ســـاعت آماده می گردد. شـــکل هفت نمایی از سیستم تست ضربه و شکل هشت مدار آماده شده برای تست را نشان می دهد.

همچنین مقســـم ولتاژ مورد نیاز برای اندازه گیـــری، همراه با ژنراتور در داخل کانتینر قرار داده شده است. برای داشتن فواصل مناسب یک سیستم ویژه تلسکوپی بکار گرفته شـــده است و راه اندازی بدون نیاز به جرثقیل یا ابزار خاصی انجام می شـــود. این سیستم تست صاعقه برای کابل های فشارقوی که ظرفیت خازنی بالاتری نسبت به ترانسفورماتورها دارند نیز قابل استفاده می باشد.

شکل هفت: نمایی از سیستم تست ضربه

شکل هفت: نمایی از سیستم تست ضربه

شکل هشت مدار نهایی برای تست ضربه

شکل نه نمایی از انجام تست ضربه در محل یک نیروگاه در کشور آلمان بر روی یک ترانسفورماتور 850MVA,400KV را نشان می دهد.

شکل نه نمایی از انجام تست ضربه در محل یک نیروگاه

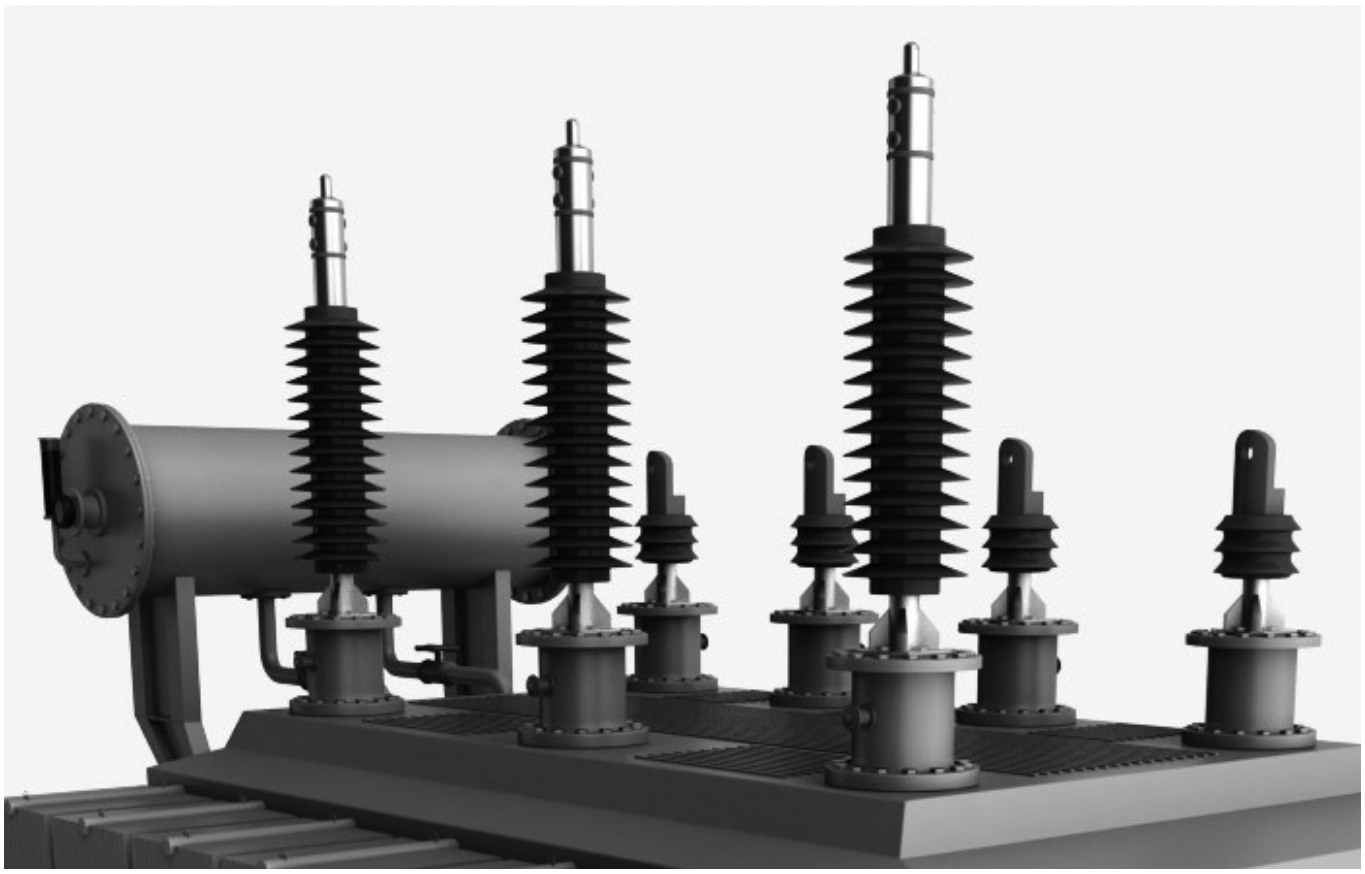
نتیجه گیری

انجام تست های عایقی فشـــارقوی در محل سایت، به عنوان جایگزین مناسبی برای تستهای کارخانه ای (خصوصا در مورد ترانسفورماتورهایی که نیاز به حمل و نقل در مســـافت طولانی تا کارخانه سازنده یا تعمیرگاه می باشد)، روز به روز مورد توجه بیشـــتری قرار می گیرند. همچنین در مـــواردی که محدودیت زمان برای خروج و بی برقی ترانســـفورماتور وجود داشته باشد و یا قبل از راه اندازی ترانسفورماتورهای یدکی که مدت زمان قابل توجهی بی برق بوده اند، می تواند بسیار موثر باشد. انجام این تست ها بر روی ترانسفورماتورهایی که دچار صدمه و یا شکست الکتریکی شده اند، قبل از انجام تعمیرات اساسی و همچنین پس از انجام تعمیرات جهت تایید نهایی بطور روزافزون مورد توجه می باشد.

با اســـتفاده از سیســـتم تســـت فشـــارقوی پرتابل معرفی شـــده در این مقاله، همه انواع ترانســـفورماتورهای موجـــود از رنج ترانســـفورماتورهای توزیع تا ترانســـفورماتورهای قدرت بزرگ، می توانند در محل سایت مورد آزمون قرار گیرند.

منابع و مأخذ

1. ABB Transformer Handbook Rev 02, 2004
2. Werle, P.; Wohlfarth, J.; Steiger, M.; Eklund, L.; On-Site Repair and On-Site High Voltage Tests of Power Transformers Omicron Symposium, Austria, 2006
3. Winter, A.; Thiede, A.; Stephan, U.; Werle, P.; Scheil, K.; Steiger, M.; Vogel, M. Mobile on-site test system for off-line tests and diagnostics at power transformers Diagnostik elektrischer Betriebsmittel, ETG Fachbericht 104, 2006



جایگزینی ترانسفورماتورهای دارای گروه اتصال YNd به جای ترانسفورماتور دارای گروه اتصال Dyn با نسبت تبدیل ۱۳۲/۳۳ کیلو ولت در شبکه برق خوزستان

مهندس سیامک غفاری
موسسه تحقیقات ترانسفورماتور ایران - شرکت ایران ترانسفو

مقدمه

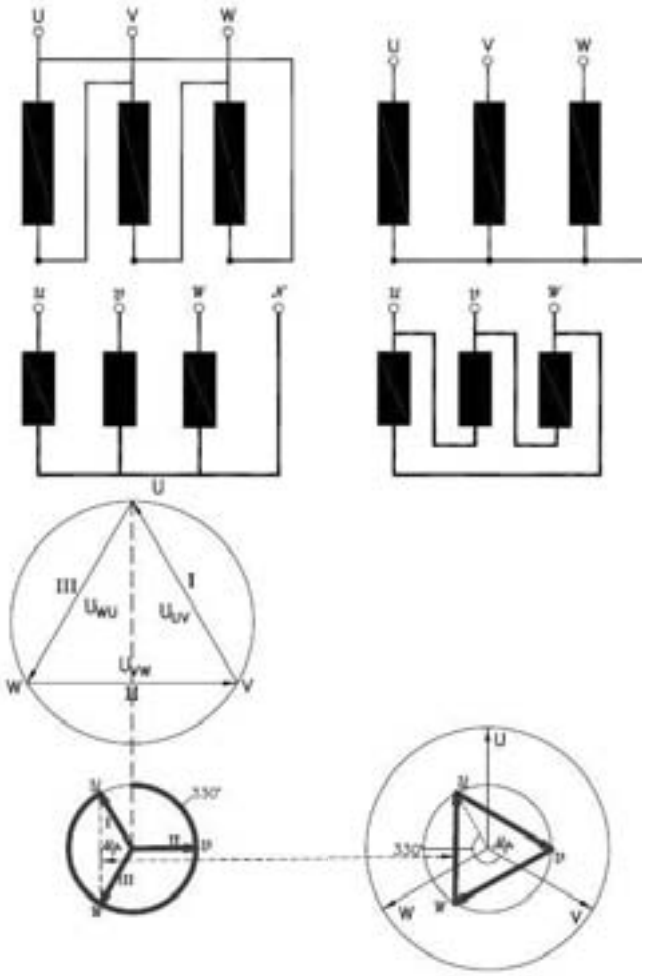
شبکه فوق توزیع خوزستان معمولا از ترانسفورماتورهای دارای کلید تنظیم ولتاژ تحت بار با گروه اتصال Dyn استفاده می نماید. نگارنده و آقای دکتر محسنی، استاد گرانقدر دانشگاه تهران در نوزدهمین کنفرانس بین المللی برق به اضافه ولتاژهای گذرای صاعقه (Lightning Impulse) محتمل در سمت مثلث این چنین ترانسفورماتوری که در طرح های مرسوم در فواصل بین دو فاز و سایر نقاط امکان دارد بوجود آید، اشاره نمودیم. اضافه ولتاژ های خطرناکی که علاوه بر افزایش احتمال بروز خطا، منجر به بزرگ شدن بیش از حد ترانسفورماتور می شود و لازم است از تجهیزات دارای کلاس عایقی بالاتر استفاده نمود. افزایش ابعاد و استفاده از مواد بیشتر در ساخت ترانسفورماتور و به کار بردن تجهیزات دارای کلاس عایقی بالاتر منجر به افزایش قیمت بیش از حد ترانسفورماتور می گردد.

نگارنده از سالهای دور همواره در این اندیشه بودم که چقدر خوب بود، می توانستیم در شبکه برق خوزستان نیز همچون دیگر مناطق ایران از ترانسفورماتور دارای گروه اتصال YNd استفاده نماییم و در هزینه خرید این نوع ترانسفورماتور صرفه جویی نموده و همزمان قابلیت اطمینان شبکه را نیز بالا ببریم.

هنگامی که مدیر مسئول محترم فصلنامه ترانسفورماتور پیشنهاد نمودند که مقاله ای جهت چاپ در این مجله بنویسم، این موضوع را انتخاب نمودم و بر آن شدم تا پیشنهاد خود را در معرض دید دیگر اساتید صنعت ترانسفورماتور قراردهم. برای نگارنده مایه مباهات است که خوانندگان محترم اینجانب را در جریان نظرات ارزشمند خود قراردهند.

بررسی دو گروه اتصال Dyn11 و YNd11

به صورت فرضی دوگروه اتصال بالا را مورد برررسی قرارمی دهیم. شکل یک را در نظر بگیرید: ملاحظه خواهیم کرد که ترانسفورماتور دارای اتصال Dyn11 باعث چرخاندن ولتاژ فشار ضعیف به اندازه ۳۳۰ درجه می شود. اگر از ترانسفورماتور دارای اتصال YNd11 استفاده نماییم در اینحالت هم ولتاژ فشار ضعیف به اندازه ۳۳۰ درجه می چرخد و دو ترانسفورماتور فوق را، هم می توان با هم جایگزین و هم با یکدیگر موازی نمود زیرا بردار ولتاژ خط دو طرف از نظر مقدار فاز باهم اختلافی ندارند. در هنگام طراحی ترانسفورماتور دارای اتصال YNd11 نیز، نسبت تبدیل را برابر نسبت تبدیل ترانسفورماتور دارای گروه اتصال Dyn11 انتخاب خواهیم نمود و به این ترتیب هم دامنه وهم فاز بردار ولتاژ خط دو ترانسفورماتور هم اندازه خواهد شد.



شکل یک: مقایسه دو گروه اتصال Dyn11 و YNd11

همچنین برای جایگزین کردن یا موازی نمودن، لازم است امپدانس اتصال کوتاه دو ترانسفورماتور نیز با هم برابر باشند.

مزایا و معایب دو گروه اتصال Dyn و YNd

به طور اختصار می توان مزایا و معایب دو گروه اتصال را به شرح زیر برشمرد:

۱) مزایای ترانسفورماتور Dyn

جریان فاز در سمت مثلث $\sqrt{۳}$ برابر نسبت به اتصال ستاره کمتر است.

در سمت ستاره نقطه ستاره در دسترس است و از جهت حفاظت می توان از آن استفاده نمود.

۲) معایب ترانسفورماتور Dyn

مقدار ولتاژ خط و فاز سمت ۱۳۲ کیلو ولت برابر است به همین دلیل سیم پیچ فاز دارای $\sqrt{۳}$ برابر دور بیشتر نسبت به اتصال ستاره است.

در سمت مثلث (۱۳۲ کیلو ولت) به دلیل وجود اتصال مثلث امکان اجرای عایق بندی غیر یکنواخت وجود ندارد. مشخصات بوشینگ ها و کلید تنظیم ولتاژ و فواصل سیم پیچ نسبت به دیگر نقاط با توجه به ولتاژهای محتمل تعیین می‌گردد. ابعاد یک ترانسفورماتور ۱۳۲ کیلو ولت دارای گروه اتصال Dyn با کلید تنظیم ولتاژ تحت بار با یک ترانسفورماتور ۲۳۰ کیلو ولت با کلید تنظیم ولتاژ تحت بار داری گروه اتصال YNd قابل مقایسه است.

۳) مزایای ترانسفورماتور YNd

سیم پیچ سمت ستاره این ترانسفورماتور دارای ولتاژ فازی به میزان $\sqrt{۳}$ برابر کمتر از سیم پیچ مثلث است به همین دلیل تعداد دور آن هم به میزان $\sqrt{۳}$ برابر کمتر خواهد بود.

جریان فاز سمت مثلث به میزان $\sqrt{۳}$ برابر کاهش می یابد.

مهترین مزیت این ترانسفورماتور امکان استفاده از عایق بندی غیریکنواخت است. با این امکان سطح عایقی کلید تنظیم ولتاژ تحت بار کاهش یافته و طبیعتاً قیمت آن با قرار گرفتن در نقطه ستاره به میزان محسوسی کمتر می شود.

بوشینگ نقطه ستاره ترانسفورماتور نیز به همین ترتیب دارای سطح عایقی پایین تری خواهد بود.

فواصل انتهایی سیم پیچ ها تا ابتدای یوغ پایین هسته و فواصل سیم پیچ‌ها در بین فازها به نحو چشمگیری کاهش می یابد. با اجرای عایق بندی غیر یکنواخت وزن و ابعاد ترانسفورماتور و قیمت آن کمتر می شود.

۴) معایب ترانسفورماتور YNd

سیم پیچ مثلث سمت ۳۳ کیلو ولت دارای ولتاژ خط ۳۳ کیلو ولت بوده و تعداد دور آن $\sqrt{۳}$ برابر نسبت به اتصال ستاره Dyn بیشتر خواهد بود.

در سمت ۳۳ کیلو ولت نیازمند یک ترانسفورماتور زمین هستیم .اگر توان ترانسفورماتور قدرت را ۳۵ مگاولت آمپر فرض کنیم در این صورت یک ترانسفورماتور زمین با جریان ۶۱۳ آمپر و امپدانس صفر ۱۰۰ درصد مورد نیاز خواهد بود. برای صرفه جویی می توان برای این ترانسفورماتور زمین کاربرد مصرف داخلی را هم در نظر گرفت.

جریان سمت فشار قوی $\sqrt{۳}$ برابر بیشتر از حالت مثلث است.

خوشبختانه اخیراً مطلع شدم که برق منطقه ای خوزستان طرحی مطالعاتی برای بررسی این موضوع را، در برنامه خود قرار داده است. با بررسی های دقیق تر فنی، اقتصادی می توان تمامی جوانب مسئله را با دقت موشکافی نموده و آن را اجرایی نمود.

شبکه برق منطقه ای خوزستان در بخش فوق توزیع از ترانسفورماتور ۱۳۲/۳۳ کیلو ولت با گروه اتصال Dyn و کلید تنظیم ولتاژ تحت بار استفاده می‌کند. این ترانسفورماتورها در معرض اضافه ولتاژهای خطرناکی علی‌الخصوص اضافه ولتاژهای صاعقه هستند. به همین دلیل برای اینکه کارکرد ترانسفورماتور قابلیت اطمینان بیشتری داشته باشد، نیاز به تجهیزات گرانقیمت تر و دارای کلاس عایقی بالاتر و فواصل اطمینان بیشتری داریم. نگارنده طی این مقاله پیشنهاد نموده است که گروه اتصال ترانسفورماتور با انجام مطالعات فنی اقتصادی به YNd تغییر یابد.

منابع و مأخذ

۱) اندازه گیری اضافه ولتاژهای ناشی از موج ضربه در نقاط مختلف سیم پیچ تنظیم ولتاژ ترانسفورماتورهای با اتصال مثلث دارای OLTC با روش ضربه مکرر، سیامک غفاری، حسین محسنی، نوزدهمین کنفرانس بین المللی برق،PSC2004,98-F-TRNt613

۲) تولید الکتریسیته و بهره برداری ، مسعود سلطانی ، چاپ دوم ۲۶۳۱، انتشارات دهخدا

3. The J&P Transformer book, Thirteenth edition, Martin J. Heathcote, CEng, FIee2007, Elsevier Ltd

مروری بر بهره برداری، اورهال و روش‌های تشخیص عیوب تپ چنجر قابل قطع زیر بار در ترانسفورماتورهای قدرت

مهندس نامی محمودی
شرکت پادانر ژی ناره (پنکو)

چکیده

کلید تنظیم ولتاژ (تپ‌چنجر) قابل قطع زیر بار وظیفه تنظیم ولتاژ در ترانسفورماتورهای شبکه قدرت ، فوق توزیع و صنایع را بدون اینکه انتقال توان با توقف و نوسان مواجه گردد، بر عهده دارند .

با توجه به مکانیزم دینامیکی تپ چنجر، عوامل مختلفی باعث استهلاک در سیستم عملکرد آن گردیده و در صورت عدم رعایت دستورالعمل سرویس و نگهداری مربوطه ، عیب های ایجاد شده در آن می‌تواند باعث آسیب دیدگی کلی و جزیی سیم پیچ های ترانسفورماتور و دیگر تجهیزات جانبی از جمله بوشینگ های خازنی و روغنی گردد .

با تاکید بر نقش اساسی سرویس و نگهداری دوره ای تپ چنجرها طبق دستورالعمل های سازنده ،روش های نوین تشخیص عیوب و نگهداری مبتنی بر وضعیت از جمله اندازه گیری مقاومت دینامیکی ، اندازه گیری ارتعاش صدای سوئیچینگ ، تست گازکروماتوگرافی و آنالیز فلزات موجود در روغن ترانسفورماتور و تپ چنجر از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشند.

مقدمه

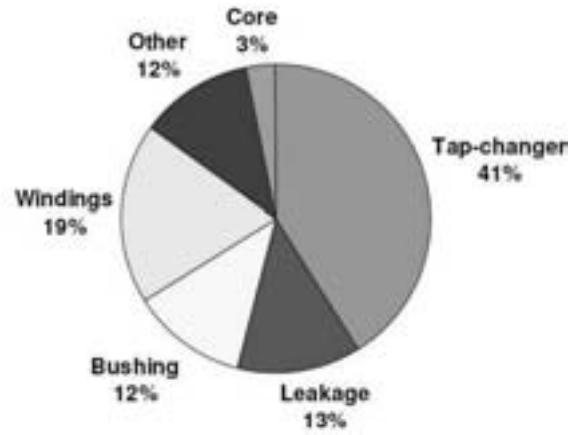
با بررسی عیب های عارض شده بر روی انواع ترانسفورماتورهای قدرت در کشورهای مختلف، سهم عیوب ایجاد شده بوسیله تپ چنجر به دلایل مختلف در ترانسفورماتور حدود ۵۰ درصد عیوب کل را تشکیل می‌دهند (شکل های ۱و ۲). با توجه به اجزای تشکیل دهنده تپ چنجر شامل موتور درایو، شفت‌های رابط، دایورتر سوئیچ، محفظه روغن، تپ سلکتور و سر سیم‌های سیم پیچ تنظیم ولتاژ ترانسفورماتور، مشاهده می گردد که ایجاد اشکال در هر یک از اجزاء فوق منجر به ایجاد خطا در کارکرد ترانسفورماتور شده و حتی گاهی باعث ایجاد عیب اساسی در آنها می گردد.

سرویس و نگهداری تپ پنجر طبق دستورالعمل سازنده بر اساس فواصل زمانی معین و یا تعداد کارکرد مشخصی انجام می گردد. در حالیکه امروزه نگهداری مبتنی بر وضعیت در مقایسه با نگهداری مبتنی بر اساس فواصل زمانی و یا کارکرد، مخصوصاً در تپ چنجر های با کارکرد زیاد از اهمیت بالایی برخوردار می باشد.

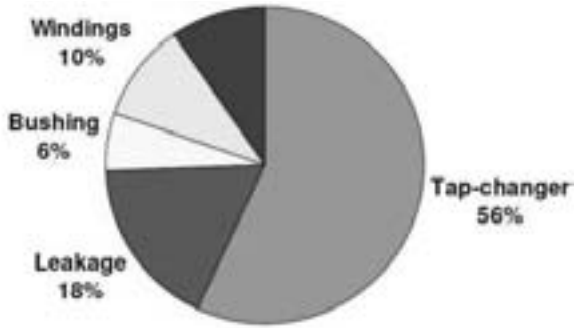
روش سرویس مبتنی بر وضعیت، سعی در کاهش هزینه های نگهداری ، افزایش طول عمر تجهیزات و جلوگیری از وقوع خطاهای جبران ناپذیر را دارد .

در این روش نیاز به انجام تست های عیب یابی جهت تشخیص عیوبی که در مراحل اولیه بوده و به هنگام انجام سرویس دوره ای، قابل رؤیت و یا تشخیص نبوده، خیلی مؤثر می باشد.

با توجه به موارد فوق، کارکرد صحیح و مطمئن تپ پنجر از اهمیت بالایی برخوردار بوده و لازم است علاوه بر انجام دستورالعمل های نگهداری طبق توصیه سازنده تپ چنجر ها ، نگهداری مبتنی بر وضعیت نیز مطابق ذیل اجرا گردد.



شکل ۱- توزیع عیوب مختلف ترانسفورماتور در کشورهای مختلف



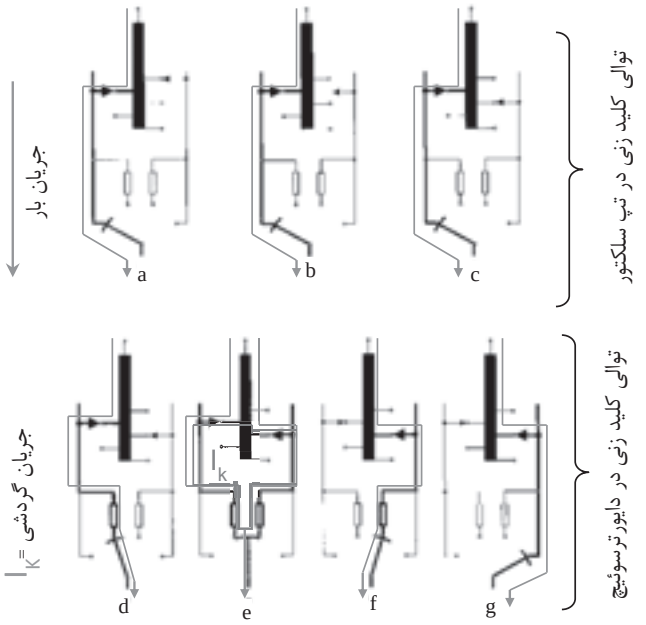
شکل ۲- توزیع عیوب مختلف ترانسفورماتور در کشور هلند

۱- اساس کلید زنی (سوئیچینگ) در تپ چنجر قابل قطع زیر بار

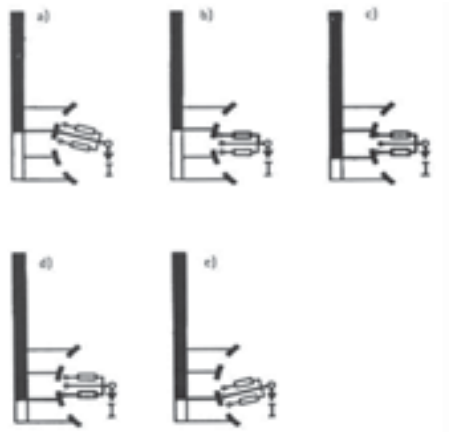
در تپ چنجر جهت تعویض تپ بایستی کلید زنی به گونه ای باشد که بدون اینکه جریان بار قطع گردیده و یا عمل اتصال کوتاه بر روی انشعاب های سیم پیچ های تنظیم ولتاژ رخ دهد، تپ تعویض گردد که جهت بر آورد شرایط فوق در مکانیزم تپ چنجر از انوع کنتاکت های اصلی ، سوئیچینگ و گذرا و همچنین مقاومت های گذرا و جرقه گیر استفاده می کنند. تعویض تپ در تپ چنجر بر اساس دایورتری و یا سلکتوری انجام می گردد:

در روش دایورتری (شکل ۳) تپ چنجر شامل تپ سلکتور و دایورتر سوئیچ بوده که ابتدا تپ مورد نظر جهت انتخاب در تپ سلکتور در حالیکه بدون جریان می باشد انتخاب و سپس در داخل دایورتر عمل سوئیچینگ صورت می‌گیرد و در روش سلکتوری (شکل۴) عمل تعویض تپ و سوئیچینگ همزمان انجام می گردد.

لازم به ذکر است روغن در تپ چنجر روغنی، نقش عایق، خاموش کننده قوس الکتریکی و خنک کنندگی را بر عهده دارد.



شکل ۳ – توالی کلید زنی در تپ چنجر از نوع دایورتر سوئیچی



شکل ۴- توالی کلید زنی در تپ چنجر از نوع سلکتور سوئیچی

۲- تست های روغن

از آنجایی که تست های روغن به عنوان ابزار مهمی جهت تشخیص عیب های اولیه در ترانسفورماتور مورد استفاده قرار می گیرد، نتایج تست های روغن مربوط به تپ چنجر نیز از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشند که مهمترین تست ها بشرح ذیل می باشد:

۲-۱- اندازه گیری استقامت عایقی

مقدار آن تابعی از اشباع نسبی آب در روغن و سایز و نوع (رسانایی) ذرات می‌باشد که با نصب فیلتر آنلاین بر روی محفظه روغن تپ چنجر و گرفتن ذرات کربن حاصل از جرقه زدن کنتاکت ها می توان مقدار استقامت عایقی را افزایش و نرخ خوردگی کنتاکت ها را کاهش و در نتیجه پریود سرویس و نگهداری را طولانی کرد که حداقل مقادیر آن مطابق ستون اول جدول یک می‌باشد .

۲-۲- میزان آب محلول در روغن

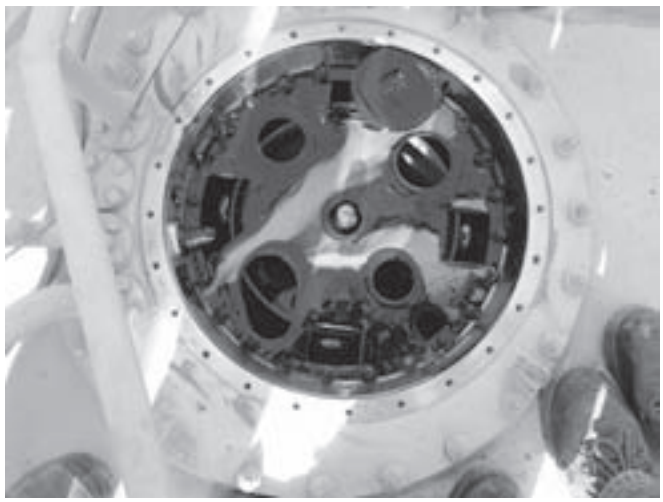
افزایش آب در روغن تپ پنجر باعث کاهش مقدار استقامت عایقی روغن و تسریع در فرسودگی کنتاکت ها می گردد که حداقل مقادیر آن مطابق ستون دوم جدول یک می باشد .

جدول یک- حداقل استقامت عایقی و حداکثر میزان آب محلول در روغن تپ چنجر

استقامت عایقی روغن (KV/۲,۵mm)	محتویات آب در روغن (ppm)	محل نصب تپ چنجر
> ۳۰	< ۴۰	اتصال ستاره
> ۴۰	< ۴۰	اتصال مثلث ، زیگزاگ و اتو ترانسفورماتور

۲-۳- عدد اسیدی

در اثر زوال روغن و مواد عایقی به هنگام پیری، اسید و مواد جانبی دیگری تولید می گردد که در نهایت منجر به تولید لجن و مواد ترکیبی می گردد (شکل ۵) که افزایش عدد اسیدی روغن به عنوان نشانه افزایش نرخ پیری بوده و وجود اسید مخصوصاً به همراه آب خورندگی ایجاد می کند و در صورت افزایش مقدار آن ، باید روغن جایگزین گردد.



شکل ۵- تولید لجن در محفظه دایورتر سوئیچ

۲-۴- گاز کروماتوگرافی

با توجه به ماهیت کارکرد تپ چنجر به هنگام عمل سوئیچینگ در اثر جرقه ایجاد شده ، روغن تجزیه و گازهای قابل اشتعال تولید می گردد که در یک عملکرد سالم مقادیر گازهای H2 و C2H2 بر مقادیر دیگر گازها غالب می باشند در صورت وجود نقاط داغ به واسطه اتصالات ضعیف در قسمت های مختلف حامل جریان ، گاز های C2H4 و C2H6 و CH4 به عنوان گازهای غالب ظاهر می گردند لازم به ذکر است که نقاط داغ مذکور می تواند در محل کنتاکت های ورودی و خروجی و یا کنتاکت های اصلی ثابت و متحرک باشند که با توجه به ساختار گوناگون تپ چنجر ها به وسیله سازنده های مختلف ، تشخیص محل عیب شامل نوع کنتاکت و فاز از طریق نتایج گازکروماتوگرافی قابل تشخیص نبوده و نیاز به انجام تست های تکمیلی و یا بازدید از دایورتر سوئیچ می باشد .

۲-۵- شمارش ذرات

شمارش تعداد کل ذرات بر اساس سایز گروهی جهت برآورد خوردگی و فرسایش مواد موجود در دایورتر سوئیچ مورد استفاده قرار می گیرد که منشاء تشکیل ذرات در داخل روغن دایورتر سوئیچ ناشی از خوردگی ، جرقه و نقاط داغ می باشد .

۲-۶- مجموع فلزات در روغن

تست فلزات شامل تشخیص نوع ذرات آزاد و حل شده در داخل روغن می باشد که نتایج آن با توجه به مواد و آلیاژ تشکیل دهنده کنتاکت ها و دیگر قسمت‌های فلزی مورد استفاده قرار می گیرد .

۳- آنالیز وضعیت کنتاکت های تپ چنجر

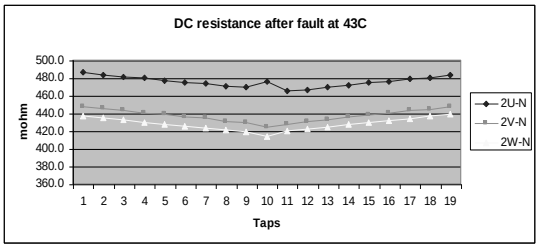
با توجه به عبور و جابجایی جریان در کنتاکت های مختلف تپ چنجر شامل قسمت های تپ سلکتور و دایورتر سوئیچ ،جهت اطلاع از وضعیت کنتاکت نیاز به انجام تست های الکتریکی شامل اندازه گیری مقاومت اهمی استاتیکی و مقاومت دینامیکی می باشد .

۳-۱- اندازه گیری مقاومت اهمی استاتیکی

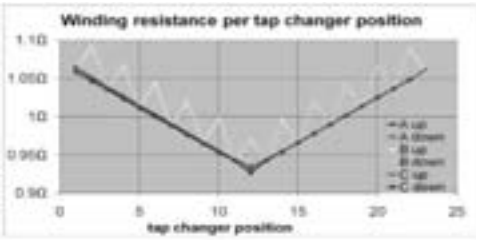
اندازه گیری مقاومت اهمی استاتیکی از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده و باید بر روی تمامی تپ ها و در فازهای مختلف انجام و با نتایج کارخانه ای و یا قبلی مقایسه گردد که بوسیله آن می توان وضعیت کنتاکت‌های اصلی دایورتر سوئیچ، کنتاکت های تپ سلکتور و سرسیم های متصل به تپ سلکتور و در کل وضعیت تمامی نقاط اتصالی (از نوع پرسی ،جوشی و پیچی) در سر تا سر سیم پیچ ها و تپ چنجر را بررسی نمود .

مثال ۱: تشخیص نقاط داغ در داخل ترانسفورماتور به وسیله تست گاز کروماتوگرافی که با اندازه‌گیری مقاومت اهمی مکان عیب در محل اتصال سر فاز 2U اتو ترانسفورماتور به محفظه دایورتر سوئیچ تشخیص داده شد.(شکل ۶)

مثال ۲ : مشاهده عیب در کنتاکت زوج دایورتر سوئیچ فاز B بوسیله اندازه گیری مقاومت اهمی سیم پیچ ها(شکل ۷)



شکل ۶- نقطه ذوب در خارج از دایورتر سوئیچ مربوط به فاز 2U

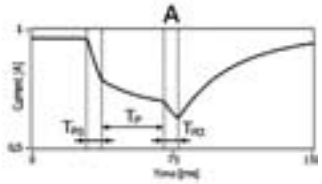


شکل ۷ – نقطه ذوب در داخل دایورتر سوئیچ مربوط به کنتاکت زوج دایورتر سوئیچ فاز B

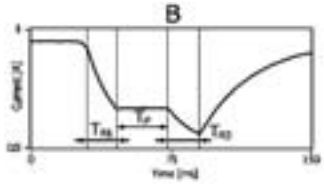
۳-۲- اندازه گیری مقاومت دینامیکی کنتاکت ها

با توجه به کارکرد دینامیکی تپ چنجر و ایجاد فرسایش و خوردگی تدریجی بر روی کنتاکت های گذرا ، دایورتر سوئیچ و خستگی قطعات مکانیکی از جمله انواع فنرهای پرسی و شارژی (Energy Accumulator) ، رفتار گذرای آنها تغییر نموده که با اندازه گیری مقاومت دینامیکی کنتاکت ها و تحلیل نتایج می‌توان از آسیب دیدگی آنها در شرایط حاد جلوگیری نمود .

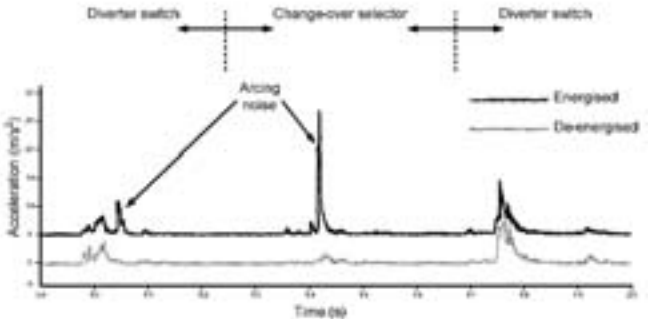
در شکل های ۸ و ۹رفتار گذرای کنتاکت های نو با کنتاکت های کارکرده به وضوح نمایان است که در آن TR1 و TR2 به ترتیب مدت زمان عبور جریان از کنتاکت و مقاومت گذرای یک و دو بوده و TP مدت زمان عبور جریان از کنتاکت و مقاومت گذرای یک و دو که با هم موازی شده اند، می باشد.



شکل ۸- گراف مقاومت دینامیکی کنتاکت‌های دایورتر سوئیچ با صفر در صد خوردگی



شکل ۹- گراف مقاومت دینامیکی کنتاکت‌های دایورتر سوئیچ با ۸۰ در صد خوردگی

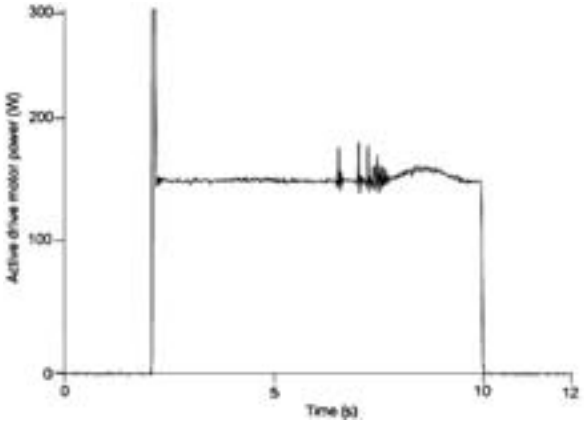


شکل ۱۰- گراف ارتعاش صوتی کنتاکت‌ها بهنگام تعویض تپ

۴- آنالیز های مکانیکی تعویض تپ در تپ چنجر

۴-۱- ارزیابی وضعیت تپ چنجر بوسیله اندازه گیری ارتعاش صوتی:

با توجه به اینکه تعویض کنتاکت‌ها در تپ سلکتور و دایورتر سوئیچ همراه با انتشار صوت می‌باشد لذا با نصب سنسورهای مناسب در اطراف محل تعویض کنتاکت‌ها می‌توان گراف ارتعاش صوتی آنها را در طول تعویض تپ ها در حالت بی باری و و بارداری اندازه‌گیری کرد (شکل۱۰) که بر اساس نتایج گراف‌ها در طول مدت تعویض تپ اطلاعات مفیدی مخصوصاً در ناحیه تپ سلکتور بدست می‌آید.



شکل ۱۱- توان مصرفی به وسیلهٔ یک دستگاه موتور

۴-۲- اندازه گیری توان مصرفی بوسیله موتور

توان مصرفی موتور تپ چنجر پس از جریان هجومی بصورت یکنواخت ادامه می‌یابد و در نهایت با تعویض کنتاکت های تپ سلکتور و شارژ فنر مقدار آن تغییر می کند .در صورت بروز اشکال مکانیکی در گیربکس ها و مکانیزم تپ سلکتور و دایورتر سوئیچ مقدار توان مصرفی تغییر پیدا خواهد کرد.(شکل ۱۱)

۴-۳- سنکرون کردن موتور درایو با دایورتر سوئیچ

سنکرون کردن از اهمیت بالایی برخوردار بوده و در صورت عدم سنکرون ، بعد از اتمام تعویض تپ باعث می گردد که فنر شارژ تحت فشار بوده و در مدت زمان کوتاهی باعث اختلال در کارکرد آن گردد .

۴-۴- بازدید از شفت های رابط و گیربکس ها

در طول بهره برداری از کلید تنظیم ولتاژ لازم است از محل ارتباط شفت های عمودی و افقی با گیربکس های مربوط بازدید که در صورت اشکال در کارکرد آنها می تواند در کارکرد تپ چنجر خطا ایجاد گردد .

نتیجه‌گیری

با توجه به نقش اساسی تپ چنجر در ترانسفورماتور های قدرت لازم است سرویس و نگهداری آنها بر اساس دستورالعمل سازنده توسط افراد مجرب و آموزش دیده انجام گردد و با افزایش تعداد کارکرد و عمر تپ چنجر سرویس نگهداری مبتنی بر وضعیت نیز در اولویت قرار گیرد.

منابع و ماخذ

1. J.J. Erbrink, ‘’Tap changer diagnostics on high voltage power transformers using dynamic resistance measurement’’, Graduate thesis Delft University of Technology, Delft, the Netherlands, 2007.
2. A. krämer, ‘’On-load tap – changers for power transformer; Operation principles, applications and selection‘’, Maschinenfabrik Reinhausen GmbH, Regensburg, Germany, ISBN 3-00-005948-2, 2000.
3. IEC 60214-1, ‘’ International standard, tap changers – Part 1. Performance requirements and test methods‘’, first edition, 2003.
4. J. A. Greenwood, ‘’Constriction resistance and the real area of contact‘’, British Journal of Applied Physics, vol. 17, no. 12, p.1621-1632, 1966.
5. EPRI, ‘’Evaluation of load ’Tap changer oil for susceptibility to coking’’, from www.epriweb.com, viewed June 2010.
6. EPRI, ‘’Development of load ’Tap changer monitoring technique: mechanism of coking ‘’, EPIR, Palo Alto, USA, Technical Report ID 1001946, 2001.

ارزیابی وضعیت و اولویت بندی ترانسفورماتورهای قدرت بر اساس مفهوم شاخص سلامت

مهندس پژمان خزایی ۱و۲، دکتر پوریا معقولی ۲
۱-پژوهشگاه نیرو
۲- دانشگاه شاهد

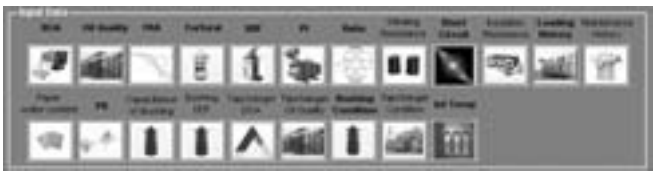
مقدمه

ترانسفورماتورهای قدرت یکی از گران ترین تجهیزات الکتریکی در شبکه‌های انتقال انرژی می باشند. کیفیت عملکرد ترانسفورماتورهای قدرت تأثیر مستقیمی بر روی قابلیت اطمینان و امنیت سیستم‌های قدرت دارد. بنابراین بهبود عملکرد ترانسفورماتورها نقش به سزایی در افزایش قابلیت اطمینان و امنیت شبکه قدرت خواهد داشت. از این رو ارزیابی وضعیت ترانسفورماتورهای قدرت جهت بهبود عملکرد آنها امری ضروری است. تحت بررسی قرار دادن تمامی ترانسفورماتورهای قدرت، با توجه به تعداد آنها و هزینه‌های این امر امکان پذیر نمی باشد. بنابراین بایستی با ارائه راهکاری مناسب ترانسفورماتورهایی که دارای شرایط بحرانی هستند، شناسایی شده و مورد ارزیابی قرار گیرند. یکی از مواردی که می توان با استفاده از آن عملکرد ترانسفورماتور را مورد بررسی قرار داد، آگاهی از شاخص سلامت ترانسفورماتور است. تانگ در سال ۲۰۰۴ برای اولین بار از مفهوم شاخص سلامت جهت اولویت بندی بین ترانسفورماتورها استفاده نمود[۱]. وی با استفاده از نتایج آزمون‌های تحلیل گازهای حل شده در روغن ترانسفورماتور و دمای روغن، وضعیت ترانسفورماتور در تاریخ‌های مختلف را مورد بررسی قرار داد. در مراجع [۲]، [۳] و [۴] نحوه محاسبه شاخص سلامت یک ترانسفورماتور توضیح داده شده است. در[۵] روش وزن دهی آنتروپی با شاخص سلامت ترکیب شده است و با استفاده از آن شرایط ترانسفورماتور مشخص شده است. در[۶] روش محاسبه شاخص سلامت را، با استفاده از شبکه عصبی و بهره گیری از نتایج آزمون‌های ارزیابی وضعیت ترانسفورماتورتوضیح داده شده است. در [۷] روش فرمول بندی شاخص سلامت برای ترانسفورماتورهای قدرت با استفاده از اطلاعات موجود ارائه شده است. در این روش محدودیت‌های عملی استخراج داده‌ها و قیدهای محتمل بر روی پارامترها در نظر گرفته شده است. در مرجع[۸] بر اساس شاخص‌هایی نظیر عمر ترانسفورماتور، نحوه بارگیری و نتایج آزمون‌های مرسوم و پیشرفته الگوریتمی جهت محاسبه شاخص سلامت ارائه شده است.

از آنجایی که بررسی نتایج آزمون‌های ارزیابی وضعیت ترانسفورماتور و محاسبه شاخص سلامت، دارای پیچیدگی و گستردگی است، شبیه سازی در این زمینه اهمیت به سزایی دارد. بدین منظور نحوه ارزیابی وضعیت و محاسبه شاخص سلامت ترانسفورماتور شبیه سازی شده است. با استفاده از این شبیه سازی رایانه ای امکان تشخیص خطا و اطلاع از سطح سلامت ترانسفورماتور به کاربر داده می شود. از روش جمع داده‌ها[۲]جهت محاسبه شاخص سلامت استفاده شده است. شاخص سلامت به ازای هر یک از داده‌های ورودی محاسبه می شود و سپس این زیرشاخص‌ها با یکدیگر ترکیب شده و در نهایت ضریب سلامت کلی ترانسفورماتور به کاربر نمایش داده می شود. اطلاعات مربوط به ۷۳ ترانسفورماتور به عنوان ورودی به برنامه داده شده است.

آزمون‌های ارزیابی وضعیت ترانسفورماتور

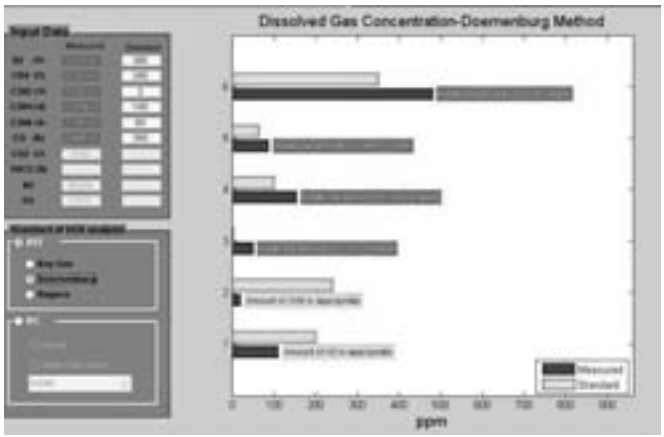
آزمون‌های ارزیابی وضعیت ترانسفورماتورهای قدرت به عنوان یکی از مراحل تشخیص وضعیت ترانسفورماتور می‌باشند. با توجه به اهمیت خطیر سلامت ترانسفورماتورهای قدرت و گستردگی آزمون‌های ارزیابی وضعیت، بهره گیری از برنامه‌های رایانه ای جهت تفسیر نتایج آزمون‌ها و گزارش خطای موجود ضروری است. بدین منظور شبیه سازی انجام شده است. شکل(۱) نمای کلی این برنامه را نشان می دهد که کاربر با انتخاب هر یک از آزمون‌ها، می تواند اطلاعات حاصل از نتایج آزمون‌های اندازه گیری را وارد نماید و از ارزیابی نتایج آگاهی یابد.



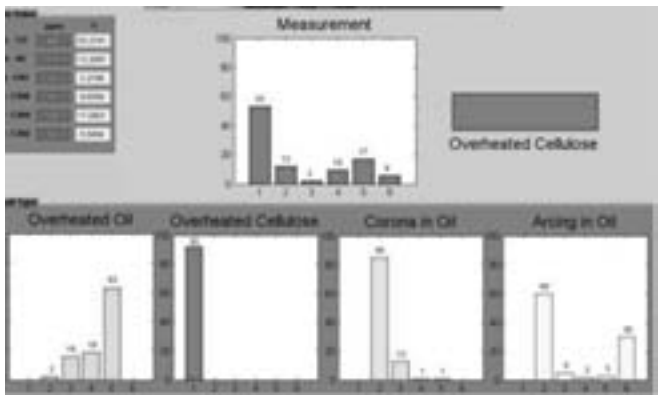
شکل (۱): نمای کلی قسمت ورود اطلاعات در نرم افزار

از آنجایی که آزمون تحلیل گازهای حل‌شده در روغن (DGA) یکی از مهم ترین آزمون‌های ارزیابی وضعیت ترانسفورماتور است، این آزمون برای نمونه مورد بررسی قرار می گیرد. شکل(۲) مربوط به ورود اطلاعات آزمون DGA می باشد. کاربر با ورود اطلاعات مربوط به مقدار در میلیون(ppm) گازهای محلول در روغن ترانسفورماتور و کلیک بر روی گزینه Analysis می تواند از تفسیر نتایج این آزمون آگاه گردد.

شکل (۲): ورود اطلاعات آزمون ها



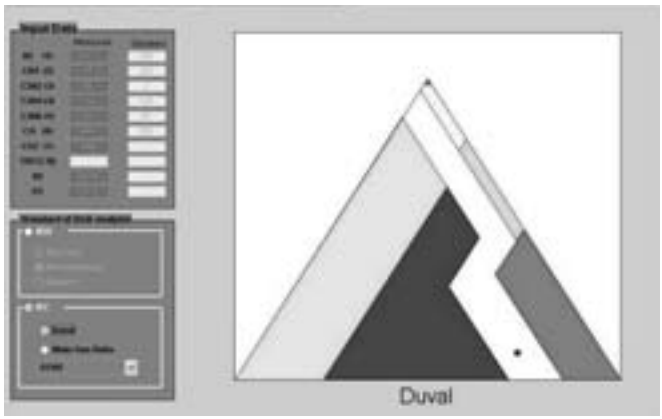
شکل (۳): تشخیص خطا توسط روش دورنبرگ در استاندارد IEEE



شکل (۴): روش گازکلیدی جهت تشخیص خطا در نرم افزار

با کلیک بر روی گزینه Analysis پنجره ای باز می شود که کاربر با مشخص نمودن استاندارد و روش مورد نظر، از تفسیر نتایج آگاهی می یابد. دو استاندارد IEEE و IEC جهت تفسیر نتایج موجود هستند که هرکدام به سه بخش تقسیم شده اند. روش‌های مختلف تفسیر نتایج آزمون DGA در شکل(۳) مشاهده می گردد. نتایج شکل(۳) مربوط به تفسیر اطلاعات موجود بر اساس استاندارد IEEE و روش نسبت دورنبرگ است. همانطور که در شکل(۳) مشاهده می گردد، تشخیص خطا در قسمت Result به نمایش گذاشته شده است و نمودار مربوط به این مقادیر رسم شده است. شکل(۴) مربوط به روش گاز کلیدی در استاندارد IEEE می باشد. در این روش نرم افزار، چهار خطای مرسوم در روش گاز کلیدی را رسم می نماید و با رسم نمودار مقادیر اطلاعات ورودی، خطایی که بیشترین شباهت را به اطلاعات ورودی دارد، به عنوان خطای ترانسفورماتور اعلام می گردد. جهت مقایسه مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر خطاهای مرسوم از روش‌های عددی مجموع انحراف از میانگین و مجموع مربعات اختلافات استفاده شده است.

به عنوان نمونه ای دیگر از تفسیر نتایج، روش مثلث دوال از استاندارد IEC جهت تشخیص خطا انتخاب می گردد که در شکل(۵) به نمایش گذاشته شده است. مثلث دوال روشی است که دوال در سال ۲۰۰۲ جهت تفسیر نتایج گازهای محلول در روغن ترانسفورماتور ارائه نمود[۹]. دوال در سال ۲۰۰۸ جهت بهبود نتایج روش خود مثلث‌های دوال شماره ۴ و ۵ و همچنین مثلث دوال مربوط به روغن‌های غیر معدنی و مثلث دوال مربوط به تپ چنجر را ارائه نمود[۱۰]. تمامی مثلث‌های دوال ذکر شده در نرم افزار موجود است و در صورتی که اطلاعات ورودی به گونه ای باشد که نیاز به رسم مثلث‌های دوال جدید باشد، برنامه با رسم این مثلث‌ها به بهبود تشخیص خطا توسط روش مثلث دوال کمک می‌کند.



شکل (۵): روش مثلث دوال جهت تشخیص خطا در نرم افزار

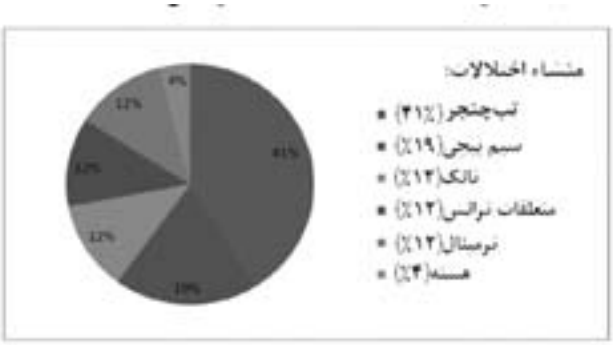
محاسبه شاخص سلامت

جهت محاسبه شاخص سلامت ترانسفورماتور بایستی ابتدا زیر شاخص‌های مربوط به آزمون‌های مختلف استخراج شده و با ترکیب شدن این زیر شاخص‌ها با ضرایب وزنی(K) مقدار نهایی شاخص سلامت با استفاده از رابطه(۱) محاسبه گردد.

$$HI=40\%\times\frac{\sum_{i=1}^{3}K_i HIF_i}{\sum_{i=1}^{3}4K_i}+60\%\times\frac{\sum_{i=4}^{20}K_i HIF_i}{\sum_{i=4}^{20}4K_i} \quad (۱)$$

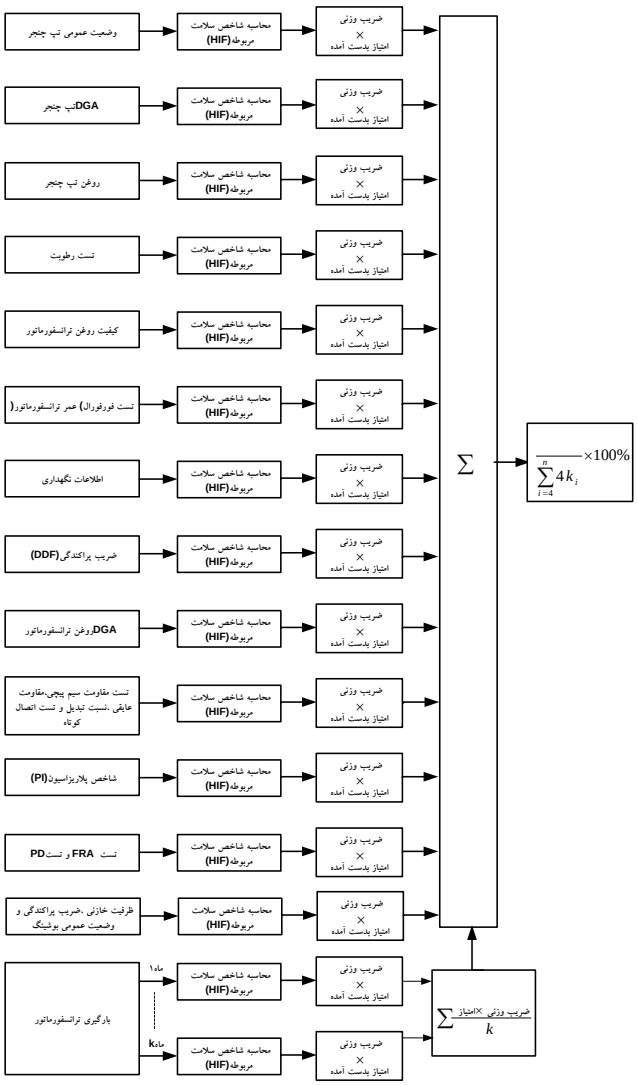
در رابطه(۱)، HIF زیرشاخص سلامت مربوط به هر یک از آزمون‌ها است و K ضریب وزنی مربوط به آن آزمون می‌باشد. مطالعات CIGRE نشان می‌دهد که ۴۱ درصد خطاهای ترانسفورماتورهای قدرت بر اثر اختلال در تب‌چنجرو ۱۹ درصد آن بر اثر اختلال در سیم‌پیچی است.

شکل (۶) درصد خرابی‌های اجزاء مختلف ترانس را نشان می‌دهد. از آنجایی که 40% خطاهای ترانسفورماتور مربوط به تپ چنجر است[۱۱]، بنابراین ضریب وزنی 40% برای آزمون‌های مربوط به تپ چنجر در نظر گرفته شده است و ضریب وزنی 60% برای سایر آزمون‌ها مد نظر قرار داده شده است. شکل (۷) نحوه محاسبه شاخص سلامت نهایی را نشان می دهد. شکل(۸) پنجره ورود اطلاعات جهت محاسبه شاخص سلامت را نشان می دهد. در برخی از آزمون‌ها با ورود اطلاعات اندازه گیری شده، زیر شاخص سلامت مربوط به آن آزمون محاسبه می گردد. برای مثال جهت محاسبه زیرشاخص سلامت مربوط به آزمون فورفورال، کاربر مقدار اندازه گیری شده در آزمون فورفورال را وارد می نماید و با توجه به استانداردهای موجود به این مقدار ورودی یکی از درجه‌های A تا E نسبت داده خواهد شد. همانطور که پیشتر گفته شد درجه A نشان دهنده مطلوب ترین وضعیت و درجه E نامطلوب ترین وضعیت را مشخص می نماید.



شکل (۶): درصد خرابی اجزاء مختلف ترانس

شکل(۹) پنجره ورود اطلاعات جهت محاسبه زیرشاخص سلامت مربوط به آزمون فورفورال می باشد. در برخی از آزمون‌ها نیز کاربر به صورت مستقیم زیرشاخص سلامت را با درجه بندی A تا E مشخص می نماید. به عنوان مثال زیرشاخص سلامت مربوط به شرایط عمومی تپ چنجر به صورت مستقیم توسط کاربر مشخص می گردد. شکل(۱۰) مربوط به شرایط عمومی تپ چنجر می باشد. کاربر با انتخاب یکی از درجه‌های A تا E این زیرشاخص را تعیین می نماید. پس از ورود اطلاعات شاخص سلامت نهایی محاسبه می گردد و به کاربر نمایش داده می شود. همانطور که در شکل(۱۱) مشاهده می گردد، شاخص سلامت برای یک سری اطلاعات ورودی نمونه برابر ۶۴/۸۹ % محاسبه شده است. در صورتی که اطلاعات مربوط به هر کدام از آزمون‌ها در دسترس نباشد، زیرشاخص سلامت مربوط به آن قسمت با درجه بندی A صورت می‌پذیرد.



شکل (۷): الگوریتم محاسبه شاخص سلامت

شکل (۸): نمای کلی برنامه جهت محاسبه شاخص سلامت

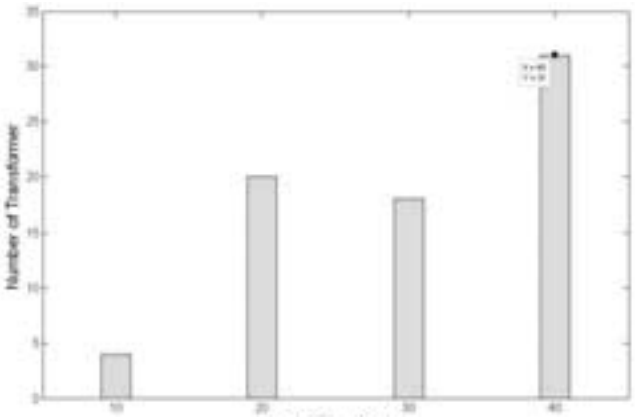
شکل (۹): ورود اطلاعات، زیرشاخص سلامت آزمون فورفورال

شکل (۱۰): ورود اطلاعات، زیرشاخص سلامت شرایط تپ چنجر

شکل (۱۱): محاسبه شاخص سلامت

اولویت بندی ترانسفورماتورهای قدرت بر اساس مفهوم شاخص سلامت

به دلیل حجم وسیع ترانسفورماتورهای قدرت امکان انجام تمامی آزمون‌های ارزیابی وضعیت بر روی ترانسفورماتور بسیار هزینه بر و تقریبا غیر ممکن است. بنابراین بایستی با استفاده از راهکاری، ترانسفورماتورها را اولویت بندی نمود تا ترانسفورماتورهایی که در اولویت قرار می گیرند مورد بررسی‌های بیشتر قرار گیرند. اولویت بندی تراسفورماتورها بر اساس شاخص‌های مختلفی انجام می‌پذیرد. در نگاه اول ممکن است شاخص‌هایی نظیر بزرگ بودن ترانسفورماتور مورد بررسی قرار گیرد ولی برای بررسی وضعیت ترانسفورماتور باید شاخصی جهت اولویت بندی انتخاب شود که سلامت ترانسفورماتور را مورد بررسی قرار دهد. بدین منظور شاخص سلامت به عنوان شاخص مورد نظر جهت اولویت بندی ترانسفورماتورها انتخاب شده است. هر چه شاخص سلامت بیشتر باشد، وضعیت ترانسفورماتور بهتر است و عمر بیشتری از ترانسفورماتور باقی است. جدول (۱) نشان دهنده شرایط ترانسفورماتور و عمر باقیمانده آن بر اساس شاخص سلامت می باشد[۲].

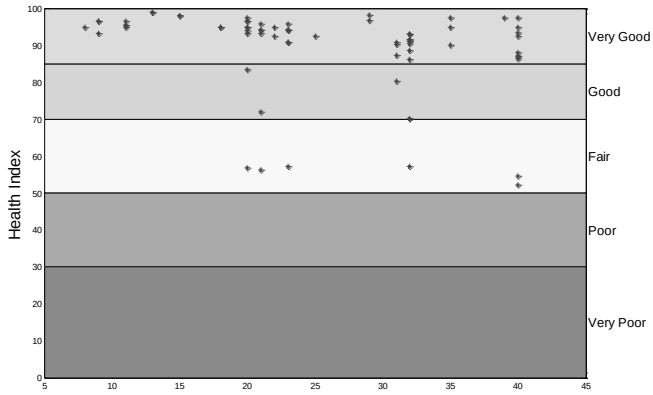


شکل (۱۲): تعداد ترانسفورماتورها به تفکیک عمر

جهت بررسی رابطه شاخص سلامت و عمر ترانسفورماتور و هم چنین اولویت بندی ترانسفورماتورها جهت بررسی‌های بیشتر، یک جامعه آماری مشتمل بر ۷۳ ترانسفورماتور قدرت انتخاب شده است. در نمودار شکل(۱۲) تعداد این ترانسفورماتورها به تفکیک عمر آنها به نمایش گذاشته است. همانطور که در شکل(۱۲) مشاهده می گردد تعداد ۳۱ ترانسفورماتور عمری بین ۳۰ تا ۴۰ سال دارند. با توجه به توضیحات مربوط به محاسبه شاخص سلامت و نتایج ثبت شده آزمون‌ها بر روی این جامعه آماری، مقدار شاخص سلامت برای ترانسفورماتورها محاسبه شده است. با توجه به درجه بندی جدول(۱) وضعیت ترانسفورماتورها بر اساس شاخص سلامت مشخص شده است. شکل(۱۳) نشان دهنده وضعیت این ۷۳ ترانسفورماتور با توجه به مفهوم شاخص سلامت می باشد.

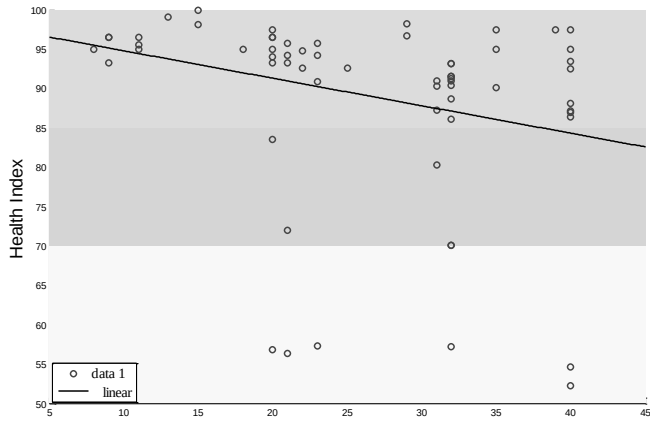
جدول (۱): عمر باقیمانده ترانسفورماتور باتوجه به شاخص سلامت[۲]

شاخص سلامت	شرایط	عمر باقیمانده ترانسفورماتور
۸۵-۱۰۰	خیلی خوب	بیشتر از ۱۵ سال
۷۰-۸۵	خوب	بیشتر از ۱۰ سال
۵۰-۷۰	مناسب	حداکثر ۱۰ سال
۳۰-۵۰	ضعیف	کمتر از ۳ سال
۰-۳۰	خیلی ضعیف	پایان عمر ترانسفورماتور



شکل (۱۳): شاخص سلامت ترانسفورماتورها بر حسب عمر گذشته

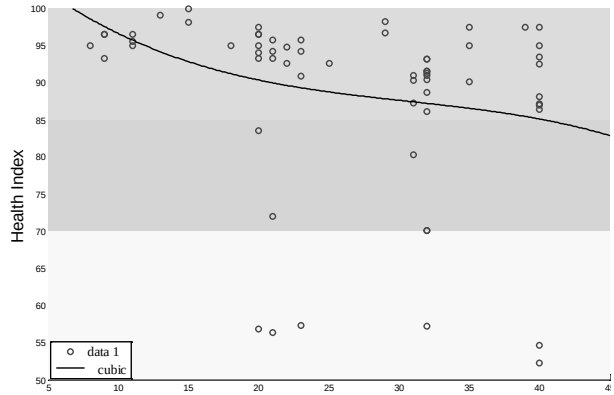
از مجموع ۷۳ ترانسفورماتور، ۶ ترانسفورماتور در وضعیت متوسط قرار گرفته اند، ۴ ترانسفورماتور وضعیت خوب دارند و سایر آنها از لحاظ مفهوم شاخص سلامت خیلی خوب هستند. با توجه به اطلاعات جدول(۱) هرچه عمر ترانسفورماتور بیشتر باشد، شاخص سلامت ترانسفورماتور مقدار کمتری دارد. برای اینکه بتوان رابطه ای بین این دو کمیت برقرار کرد، از برازش استفاده شده است. از دو روش خطی و مرتبه ۳ جهت برازش داده‌های مربوط به این ۷۳ ترانسفورماتور استفاده شده است. شکل(۱۴) نشان گر برازش داده‌های موجود بر اساس روش خطی می‌باشد و شکل(۱۵) مربوط به برازش بر اساس روش مرتبه ۳ است. شکل‌های(۱۴) و (۱۵) نیز کاهش شاخص سلامت در صورت افزایش عمر ترانسفورماتور را تایید می‌کند. روابط(۲) و (۳) نشان دهنده معادلات برازش‌های انجام شده به دو روش خطی و مرتبه ۳ می باشد. در این روابط Aنشان دهنده عمر ترانسفورماتور بر حسب سال می باشد. با توجه به نزدیکی بیشتر داده‌ها به برازش با استفاده از روش مرتبه ۳، این روش جهت ادامه محاسبات برگزیده شده است.



شکل (۱۴): برازش داده ها با استفاده از روش خطی

$$HI = -0.34923 \times A + 98.307 \quad (۲)$$

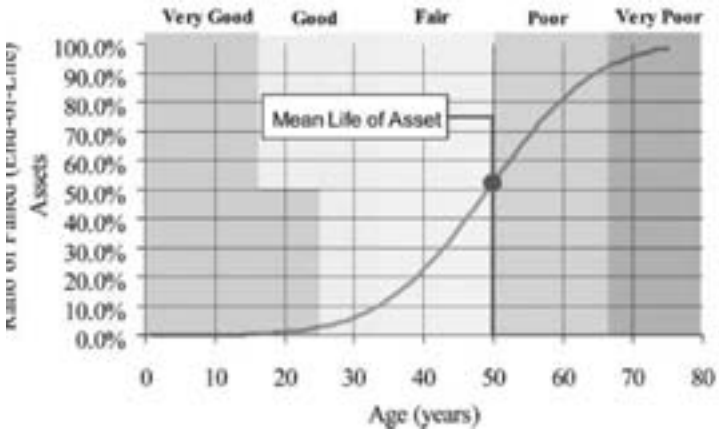
$$HI = -0.00055566 \times A^3 + 0.051051 \times A^2 - 1.7694 \times A + 109.77 \quad (۳)$$



شکل (۱۵): برازش داده ها با استفاده از روش مرتبه ۳

شکل(۱۶) به عنوان یک مثال نشان دهنده نمودار درصد عمر برحسب سال است. در این مثال فرض شده است که عمر میانه ترانسفورماتورها ۵۰ سال است. این منحنی انتظار عمر ترانسفورماتور بر اساس منحنی توزیع ویبول رسم شده است[۲]. با ترکیب منحنی شکل(۱۶) با منحنی شکل(۱۵) می توان به نمودار جهت تخمین احتمال خطا بر اساس شاخص سلامت دست یافت.

شکل(۱۷) نشان دهنده احتمال بروز خطا در ترانسفورماتور بر حسب شاخص سلامت آن می باشد. هر چه ترانسفورماتور از شاخص سلامت بالاتری برخوردار باشد، احتمال بروز خطا در آن کاهش می یابد. منحنی شکل(۱۷) از برازش داده‌هایی رسم شده است که حاصل ترکیب منحنی شکل(۱۵) با منحنی شکل(۱۶) می باشد.

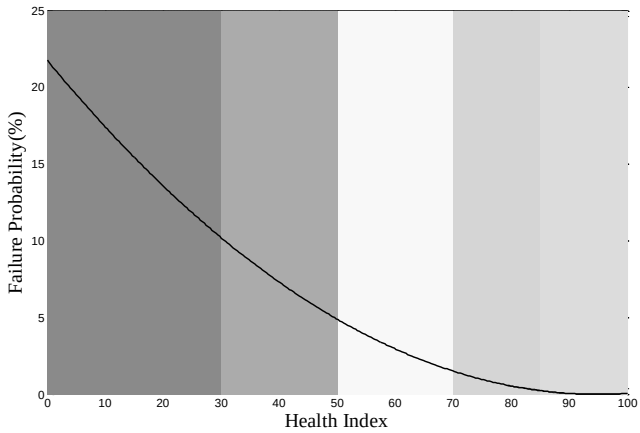


شکل (۱۶): رابطه نسبت خطا با عمر ترانسفورماتور[۲]

نتیجه گیری و پیشنهادات

با توجه به این که کیفیت عملکرد ترانسفورماتورهای قدرت تاثیر مستقیمی بر روی قابلیت اطمینان و امنیت سیستم‌های قدرت دارد، اولویت بندی ترانسفورماتورهای قدرت از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. در این مقاله با استفاده از مفهوم شاخص سلامت ترانسفورماتورهای قدرت مورد ارزیابی و اولویت بندی قرار گرفتند و ۶ ترانسفورماتوری که نسبت به سایر ترانسفورماتورها شرایط نامطلوبی داشتند، جهت بررسی‌های بیشتر مشخص شد. با استفاده از شبیه سازی انجام شده، مشخص گردید که هر چه ترانسفورماتور از شاخص سلامت بالاتری برخوردار باشد، عمر ترانسفورماتور کمتر و احتمال بروز خطا در آن پایین تر است.

از دید شبکه اولویت بندی ترانسفورماتورها صرفا با توجه به شاخص سلامت دارای کمبودهایی است. مثلا ممکن است یک ترانسفورماتور نسبت به ترانسفورماتور دیگر به دلیل ظرفیت، موقعیت و . . . از اولویت بالاتری برخوردار باشد. بدین منظور پیشنهاد می گردد که جهت اولویت بندی ترانسفورماتورها علاوه بر شاخص سلامت، شاخص دیگری تعریف گردد که اهمیت ترانسفورماتور را از دید شبکه مورد بررسی قرار دهد، و با استفاده از این دو شاخص اولویت بندی صورت پذیرد. در واقع با استفاده از این روش ترانسفورماتورهای با اهمیتی که از شاخص سلامت پایینی دارند، جهت بررسی‌ها و مراقبت بیشتر تعیین می گردند.



شکل (۱۷): تخمین احتمال خطا بر اساس شاخص سلامت

منابع و ماخذ

1. Tang W., “Relative Condition Ranking of Transformers Using Evidence Theory” 2004 International Conference on Power System Technology- POWERCON 2004 Singapore, 21-24 November 2004.
2. Jahromi A., Piercy R., Cress S., Service J. and Fan W., "An approach to power transformer asset management using health index," IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 25, pp. 20-34, 2009.
3. Hughes D., Dennis G., Walker J. and Williamson C., "Condition based risk management (CBRM)- enabling asset condition information to be central to corporate decision making," in Proc. of the First World Congress on Engineering Asset Management (WCEAM), Gold coast, Queensland, Australia,11-14 July, 2006.
4. Naderian A., Cress S., Piercy R., Wang F. and Service J., "An approach to determine the health index of power transformers," in proc. Conference Record of the 2008 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, ISEI , 2008, pp. 192-196.
5. Hjartarson T. and Otal S., "Predicting future asset condition based on current health index and maintenance level," in proc. IEEE 11th International Conference on Transmission & Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance, ESMO, 2006
6 Ahmed E., Abu-Elannien, M., Salama, "Determination of Transformer Health Condition Using Artificial Neural Networks", 2011.
7. Malik H., Azeem A., and Jarial R., "Application Research Based on Modern-Technology for Transformer Health Index Estimation",IEEE,2012.
8. Hydro Plant Risk Assessment Guide, Appendix E5: Transformer Condition Assessment, sep. 2006.
9. Duval M., “A review of faults detectable by gas-in-oil analysis in transformers,” IEEE Electr. Insul. Mag., vol. 18, no. 3, pp. 8–17, 2002.
10. Duval M., “The Duval Triangle for Load Tap Changers, Non-Mineral Oils and Low Temperature Faults in Transformers,” IEEE Electr. Insul. Mag., 2008.
11. CIGRE Working Group 05, “An international survey of failures in large power transformers in service,” Electra, no. 88, pp. 21–48, May 1983.

ترانسفورماتورهای توزیع کم تلفات

مهندس احمد عاطفی پویا
کلینیک فوق تخصصی ترانسفورماتور

مقدمه

امروزه کاهـــش تلفات انرژی الکتریکی به ویژه در شـــبکه های توزیع که دارای تلفات بیشـــتری اســـت یکی از مســـائل پر اهمیت در شـــبکه برق ایران است. ترانســـفورماتورهای توزیع یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر میزان تلفات انرژی الکتریکی است. با وجود اینکـه رانـدمـــان آنها نسبت به تجهیزات دیگر نسبتاً بالا است ولی با توجـــه بـــه تعداد زیاد آنها در شبکه های توزیع و با توجه بـه اینکـه در تمامی ساعات سال فعال هستند و حتی در حالت بی باری نیـز انـــرژی مصـــرف مـــی کننـــد، تلفـــات آنهـــا در مقایســـه بـــا ســـایر تجهیزات قابل ملاحظـــه بـوده و افـزایش جزئـــی بـازده ایـــن تجهیزات می توانند مزایای اقتصادی زیادی همراه داشته باشـــد. ترانسفورماتورهای توزیع بسته به طراحی، نحوه ساخت، کیفیت مواد اولیه مـورد اســـتفاده و نـوع بهـره بـرداری، دارای تلفات متفاوتی هستند و امروزه با پیشرفت تکنولوژی ساخت و تأمین مواد اولیه مناسب می توان بیش از ۷۰ درصـد تلفـات آنها را کاهش داد. بکارگیری و استفاده بهینه از ترانســـفورماتورهای کم تلفات در شبکه های توزیع بجای احـــداث و توسـعه نیروگاه ها، صـرفه جویی قابل توجهی در سرمایه گـذاری اولیـه جهـت احـداث نیروگاه ها و توسعه شـبکه هـای انتقـال و توزیـع و سـوخت مصرفی ایجاد می‌نماید. بنابـــر این ارزیابی تلفات واقعی ترانســـفورماتورهای توزیع در طـول عمر مفید آنها کمک می نمایـد تـــا در طراحـی، خریـد و بهـره برداری ترانسفورماتورها با دید بازتری اقدام نمـود و امکـان مقایسـه واقعی آلترناتیوهای مختلف ترانسفورماتورها و خرید اقتصـادی تـرین آنها بوجود آید.

ترانسفورماتورهای توزیع کم تلفات

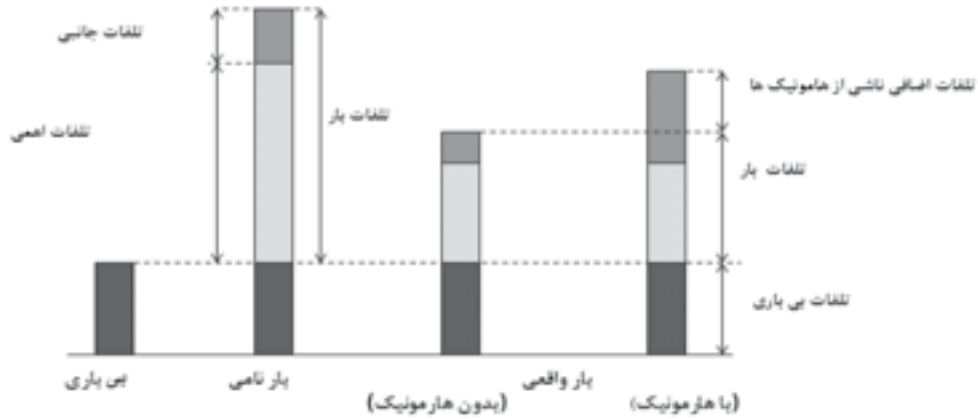
سرمایه گذاری بر روی ترانسفورماتورهای توزیع با راندمان بالا و تلفات کم، یکی از گزینه هایی است که می تواند ضمن کـــاهش مصرف، در آزاد سازی ظرفیت نیروگاه ها، خطوط و پست هـــا و کاهش ســـرمایه گذاری در توسعه آنها مؤثر باشد و هزینه های انرژی الکتریکی و تلفات را تا مقدار قابل توجهی کاهش دهد و عملکرد سیسـتم را بهبـود بخشـد زیـــرا ترانسـفورماتورهای توزیع بسته به طراحی و نحوهٔ ساخت دارای تلفـات متفـاوتی می باشند بطوری که امـروزه بـا پیشـرفت تکنولـوژی، گسـترش طرح های جدید و مناسب، بهبود کیفیت مواد استفاده شـده در ساخت این تجهیزات، امکان کاهش تلفات و افزایش رانـدمان را تا حد مطلوبی میسر ساخته است. ترانسفورماتورهای توزیع با بازده بالا دارای فواید کوتاه مدت، میان مدت و بلنـــد مـــدت متعددی هستند، که موارد زیر را می‌توان نام برد:

- کاهش تلفات انرژی در ترانسفورماتورها و افزایش راندمان
- افزایش عمر ترانسفورماتورها به دلیل کاهش دمای داخلی آن
- کاهش تلفات شبکه های بالادستی
- افزایش قابلیت اطمینان ترانسفورماتورها
- کاهش بارگذاری شبکه های بالادستی
- کاهش تقاضای توان الکتریکی

تلفات ترانسفورماتورهای توزیع

یکی از مشـــخصات کلیدی و تأثیر گذار بر روی ترانسفورماتور، تلفات بی باری و بارداری می باشد. تلفات بی باری شامل تلفات هسته، تلفـات اهمـی ناشـی از عبور جریان بی باری از سـیم پیچهـا، تلفـات دی الکتریـک و غیره می باشند. این تلفات تابعی از فرکانس، حـداکثر چگـالی شـار و مسـتقل از بـار بـوده و در طـول بهـره بـرداری از ترانسفورماتور ثابت می باشد. عمده تلفات بی باری ناشـی از تلفات هیسترزیس و تلفات فوکو (جریان گردابـی) در هسـته است که در اثر تغییر شار در داخل هسـته ایجـاد مـی گـردد و به صورت انرژی حرارتی در هسته تولید و دفع می گردد. بـرای کاهش این تلفات، لازم است از آلیاژهـای بـا کیفیـت خـوب (ورقه های فولادی با نفـوذ پـذیری بـالا، ضـخامت کوچـک و مقاومت بالا) و سطح مقطع مناسب برای ساخت هسته استفاده گردد.

تلفات بارداری شامل تلفات اهمـی هادی هـــای سـیم پیچ هـا، تلفات جریان فوکو در هادی های سـیم پیچ ها و بخش های فلزی و غیره می باشـد. تلفات اهمی که سیم پیچ ها بخـــش عمـده ای از این تلفات را تشکیل می دهد در اثـر وجـود مقاومـت و عبور جریان از آنها ایجاد می گردد و برای کـاهش ایـن تلفات می‌تـوان مقاومـت سـیم پیچ هـا را با اسـتفاده از مـوادی بـا مقاومت ویژه کم و یا با سطح مقطـع بزرگتـر، کـاهش داد. بدین منظور از موادی با مقاومت ویژه کم و یا با سطح مقطـع بزرگتر استفاده نمـود. نمودار شماره یک تلفات بار و بی باری ترانسفورماتور توزیع را نشان میدهد.



با توجه به موارد فوق نقش تلفات بی باری با توجه به حضور دایم و مســـتقل از بار اعمالی به ترانسفورماتور پررنگ تر است. لذا کاهش تلفات در ترانسفورماتور منجر به افزایش راندمان، طول عمر ترانسفورماتور و مهمتر از همه کاهش تلفات شبکه سراسری برق خواهد شد. با توجه به تلفات بالای شبکه برق کشور، لزوم استفاده از ترانسفورماتورهای کم تلفات در چند سال اخیر مورد اهتمام قرار گرفته است. بنابر ارزیابی تلفات، ترانسفورماتورهای کم تلفات مطابق استاندارد DIN 42500 طراحی و ســـاخته می شوند که در آن تلفات بارداری به سه گروه A,B,C و تلفات بی باری نیز به سه دسته A´, B´, C´ برای توان های مختلف تقسیم بندی گردیده است که در این میان از ۹ طرح ممکن، ۶ طرح ذیل دارای بیشترین کاربرد است:

- **طرح AA': تلفات بارداری متوسط و تلفات بی باری نسبتاً بالا**
- **طرح AB': تلفات بارداری متوسط و تلفات بی باری متوسط**
- **طرح AC': تلفات بارداری متوسط و تلفات بی باری پایین**
- **طرح BB': تلفات بارداری نسبتاً بالا و تلفات بی باری متوسط**
- **طرح BC': تلفات بارداری نسبتاً بالا و تلفات بی باری پایین**
- **طرح CC': تلفات بارداری پایین و تلفات بی باری پایین**

جدول شماره یک تلفات بار و بی‌باری ترانسفورماتورهای توزیع را در رده ولتاژ ۲۰ کیلوولت مطابق با استاندارد DIN 42500 نشان می‌دهد.

جدول شماره یک: تلفات بار و بی‌باری ترانسفورماتورهای توزیع

ظرفیت	تلفات بار (W)			گروه 'A		گروه 'B		گروه 'C	
KVA	گروه A	گروه B	گروه C	تلفات بی باری (W)	سطح صدا (dB)	تلفات بی باری (W)	سطح صدا (dB)	تلفات بی باری (W)	سطح صدا (dB)
25	700	810	550	135	53	110	48	95	45
50	1100	1350	875	190	55	145	50	125	47
75	1425	1750	1175	255	57	203	52	168	48
100	1750	2150	1475	320	59	260	54	210	49
125	2000	2545	1695	380	61	310	55	247	50
160	2350	3100	2000	460	62	375	56	300	52
200	2760	3600	2350	550	63	445	58	355	53
250	3250	4200	2750	650	65	530	60	425	55
315	3850	5000	3250	780	66.5	625	61.5	500	56.5
400	4600	6000	3850	930	68	750	63	610	58
500	5450	7100	4550	1100	69	875	64	720	59
630	6750	8700	5600	1200	70	940	65	800	60
800	8500	10700	7400	1450	71.4	1150	66.4	940	61.4
1000	10500	13000	9500	1700	73	1400	68	1100	63
1250	13200	16000	11400	2100	74.25	1730	69.25	1300	64.25
1600	17000	20000	14000	2600	76	2200	71	1700	66
2000	21200	25300	17550	3135	77.4	2645	72.4	2055	67.4
2500	26500	32000	22000	38000	81	3200	76	2500	71

ارزیابی اقتصادی ترانسفورماتورهای توزیع

در طراحـی ترانسـفورماتور، آلترناتیوهای مختلفـی از ترکیب مـواد اولیه و مشخصـات مـورد نیاز وجود دارد، تا تلفات هسـته، تلفـات سـیم پیچ هـا، وزن، اندازهٔ هسته، سیم پیچ ها و ترانسفورماتور با حداقل هزینـه و حداکثر راندمان ساخته شود. ولی در عمل، اغلب، بهبود یکی مستلزم هزینه بیشتری برای دیگری است بطوری که وزن و نوع مواد مسـتقیماً در قیمـت خریـد ترانسـفورماتور و تلفـات در هزینـهٔ بهـره بـرداری آن مـؤثر هسـتند. بنـابراین آلترناتیوهـای اقتصادی باید در راستای حداقل نمودن هزینـهٔ خریـد به عـلاوه هزینهٔ بهره برداری در طـول عمـر مفیـد ترانسـفورماتور بکـار روند. علاوه بر موارد فوق عوامل ذیل نیـز در ارزش گـذاری تلفات مؤثر هستند:

- مقدار تلفات توان
- زمان وقوع تلفات ماکزیمم
- ضریب بار مصرف
- ساعات بهره برداری
- موقعیت مکانی ترانسفورماتور
- میزان ظرفیت ذخیره
- ضریب برنامه ریزی

شبکه هـای توزیـع نیـروی بـرق به عنـوان آخـرین حلقـه از زنجیره تأمین برق همگام با سایر بخش هـا بایـد پاسـخگوی نیاز های جامعه در اقصی نقاط کشـور باشـد. ایـن شـبکه هـا به دلیل گستردگی و ساختار آنها بیش از ۷۰ درصد تلفات را به خـود اختصـاص داده اسـت که در ایـن میـان سـهم ترانسـفورماتورهای توزیع بیش از ۳۰ درصد از این تلفات مـی باشد بطوری که تلفات ترانسفورماتورهای توزیع ۲ درصـد کـل مصرف انرژی الکتریکی را شامل می گردد. کل هزینه یک ترانسفورماتور شامل چندین مولفـه از قبیـل قیمـت خرید، هزینه تلفات انرژی، هزینه های نصـب، هزینـه هـای تعمیر و نگهداری و... اسـت ولی قیمت خرید و هزینه تلفات انـرژی دو عامل کلیدی برای مقایسه ترانسفورماتورها می باشد. اگر چه سرمایه گذاری اولیه برای خرید ترانسـفورماتورهای توزیع با تلفات کم نسـبت به ترانسفورماتورهای معمولی بیشتر است ولی با توجه به راندمان و میزان صرفه جویی انـرژی در طول عمر آنها سبب مـی شـود در تصـمیم گیـری خریـد ترانسفورماتورهای توزیع، علاوه بر قیمت خرید، میزان راندمان ترانسفورماتور نیز مورد ارزیابی قرار گیرد. بنـابرایـن بـا توجه به سرمایه گذاری انجام شده و صرفه جویی انرژی پیش بینی شده در طول عمر ترانسـفورماتور و فاکتورهـایی از قبیـل ضریب تلفات، نرخ بهره، قیمت انـرژی و غیـره مـی تـوان بـه شاخص های اقتصادی مناسبی برای تصـمیم گیـری در انتخـاب ترانسفورماتور یا جایگزینی آنها دست یافت. هزینه کل با لحاظ هزینهٔ اولیهٔ خرید، نصـب و راه انـدازی، هزینه های تعمیر و نگهداری و هزینهٔ تلفـات، روش مناسـبی برای ارزیابی ترانسفورماتورهای توزیع می باشد. (هنگامی که دو ترانسفورماتور تقریبا یکسان را مقایسه می کننـد می تـوان از هزینـه هـای نصب و راه اندازی، هزینـه هـای تعمیـر و نگهـداری و غیـره صرفنظر کرد.)

به گزارش روابط عمومی سـازمان بهره وری انرژی (سـابا)، به منظور توسعه بکارگیری ترانسفورماتورهای کم تلفات، برای اولین بار در کشور و در چارچوب طرح ملی کاهش تلفات، در سال ۱۳۸۹ طرح تعویض ترانسفورماتورهای قدیمی در یک منطقه نمونه با ترانسـفورماتورهای کم تلفات اجرا شده است. به همین منظور تعداد ۷۴ دستگاه ترانسفورماتور با ظرفیت ۶۳۰ الی ۱۰۰۰ کیلوولت آمپر با ترانسفورماتور کم تلفات از نوع AC' تعویض شد. اجرای این طرح باعث کاسته شدن ۱۳۰۰ مگاوات ساعت از تلفات انرژی الکتریکی در سال گردیده و همچنین میزان کاهش تلفات در طول عمر این تعداد از ترانسفورماتورها بیش از ۲۶ هزار مگاوات ساعت خواهد بود.

نتیجه گیری

بکارگیری ترانسفورماتورهای کم تلفات در شـبکه توزیع می تواند هزینه بهره برداری را از نظر تلفات در طی طول عمر مفیدشان به حداقل ممکن کاهش دهد. تلفات بی باری این ترانسفورماتورها به طور متوسط ۳۵ درصد و تلفات بارداری آنها به طور متوسـط ۲۵ درصد کمتر از ترانسـفورماتورهای معمولی است. لذا انتخاب صحیح این نوع ترانسـفورماتورها می تواند راهکار مناسبی در راستای بهینه سازی تلفات شبکه های توزیع باشد.

منابع و ماخذ

1. Mark Ellis &Associates, "Analysis of Potential for Minimum Energy Performance (NEMA) Standards for Distribution Transformers", Prepared for the Australian Greenhouse Office, MARCH 8th,2000.
2. J.Olivarres,Y.Liu,Jose M.Canedo " Reducing Losses in Distribution Transformers", IEEE Trans.Power Delivery, VOL. 18, NO.3, july 2003

۳. محمدحسین امرالهی "بررسی فنی و اقتصادی استفاده از ترانسفورماتورهای کم تلفات در شبکه های‌توزیع " بیستمین کنفرانس بین المللی برق

4. DIN 42500-1, Three-phase oil-immersed distribution transformers 50 Hz, 50 up to 2500 kVA; general requirements and requirements for transformers Um up to 24 kV; German version HD 428.1 S1:1992
5. Y.Merritt, D.Chaithin,, "Optimizing NEMA TP-1 Transformetrs for Process Industry Substation Service", IEEE Std,200

باورهای غلط ولی رایج در خصوص تصفیه فیزیکی، شیمیائی و تعویض روغن ترانسفورماتور

مهندس جعفر شریفی
موسسه تحقیقات ترانسفورماتور ایران

بیشتر ترانســـفورماتورهای مورد بهره برداری در طول عمر خود حداقل یکبار به تصفیه فیزیکی[1] یا شـــیمیایی[2] یا تعویض روغن نیاز پیدا خواهند کرد. استاندارد IEC تصفیه فیزیکی و شیمیائی را مطابق ذیل تعریف نموده است:

تصفیه فیزیکی: فرآیندی اســـت که گازها، آب، ذرات جامد و آلودگیها را صرفاً با استفاده از روشـــهای فیزیکی از روغن حذف یا مقدار آنها را در روغن کاهش می‌دهد.

تصفیه شـــیمیایی: فرآیندی اســـت 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.

به عبارت ساده تر، تصفیه فیزیکی با حرارت دادن روغن، استفاده از محفظه خلاء و عبـــور دادن روغن از فیلتر، آب، گازها و ذرات معلـــق را از روغن جداکرده و استقامت عایقی روغن را افزایش می دهد. در عملیات تصفیه شیمیائی با استفاده از فرآیندهای مختلف شـــیمیائی، روغن احیاء شـــده و مقدار اسیدیته آن کاهش می یابد. تعویـــض روغن نیز در حقیقت خارج کردن روغـــن کارکرده از داخل ترانسفورماتور و جایگزینی آن با روغن نو می باشد.

در ذیل بـــه برخی از باورهای غلـــط لیکن رایج در خصـــوص تصفیه فیزیکی، تصفیه شـــیمیائی یا تعویض روغن اشاره شده و دلایل نادرست بودن آنها مطابق استانداردهای IEC60422 و IEC60296 توضیح داده می‌شود:

۱) ترانســـفورماتور را می بایست بصورت پریودیک (سالانه یا هر چند سال یکبار) یا در زمان تعمیرات دوره ای مورد تصفیه فیزیکی قرار داد.

تصفیه فیزیکی روغن در زمان بهره برداری ترانسفورماتور تنها زمانی لازم است که نتایج آزمونهای کنتـــرل کیفی روغن لزوم انجام این عملیات را مطابق جداول یک و دو تایید نمایند.

جدول یک: شرایط تصفیه فیزیکی روغن ترانسفورماتورهای توزیع درحال بهره برداری

ولتاژ شکست (KV)	*آب محلول در روغن (ppm)*
کمتر از ۳۰	بیشتر از ۴۰

جدول دو: شرایط تصفیه فیزیکی روغن ترانسفورماتورهای قدرت در حال بهره برداری

ولتاژ شکست (KV)	*آب محلول در روغن (ppm)*
کمتر از ۵۰	بیشتراز ۲۰

در صورتیکه حداقل یکی از شـــرایط فوق برقرار باشد نیز تصفیه فیزیکی الزامی است.

چنانچه عملیات تصفیه زودتر از زمان لازم صورت گیرد، علاوه بر تحمیل هزینه و خروج غیرضروری ترانسفورماتور از شبکه، سیستم عایقی (شامل عایق کاغذی و روغن) نیز دچار تنشـــهای حرارتی و مکانیکی شده که خود سبب کاهش عمر روغن و همچنین ترانســـفورماتور می شـــود. در عین حال اگر عملیات تصفیه فیزیکی دیرتر از زمان لازم صورت گیرد ممکن است ترانسفورماتور بعلت کاهش استقامت عایقی دچار حادثه شود. در عمل بدلیل شرایط محیطی و بهره برداری مختلف ممکن است یک ترانسفورماتور پس از یکسال از زمان راه اندازی نیاز به تصفیه فیزیکی پیدا کند و ترانسفورماتور دیگر تا ده سال پس از راه اندازی نیز نیاز به این عملیات نداشته باشد.

۲) تصفیه فیزیکی علاوه بر جذب رطوبت روغن موجب خشک شدن عایق کاغذی می شود.

بیـــش از ۹۹ درصد آب داخل ترانســـفورماتور در عایق کاغذی قـــرار دارد. این رطوبت که ممکن اســـت حتی تا چند درصد وزن عایق کاغـــذی را نیز به خود اختصاص دهد، یکی از عوامل کاهش عمر ترانسفورماتور می باشد. متاسفانه به دلایل ذیل نمی‌توان به روشهای معمول تصفیه فیزیکی off-line آب را بصورت موثری از کاغذ ترانسفورماتور جدا کرد:

الف) قابلیت انحلال آب در روغن با دما نسبت مستقیم دارد. لذا در درجه حرارت پایین بیشتر آب داخل روغن جذب کاغذ می شود. از آنجاکه تصفیه فیزیکی off-line در شرایط خاموشی ترانسفورماتور صورت می گیرد، این روش تنها موفق به جداسازی آب از روغن ترانسفورماتور می شود و نه عایق کاغذی. بهمین دلیل بیشتر آب موجود در عایق کاغذی در بوبین ترانسفورماتور باقی مانده و توسط دستگاه تصفیه فیزیکی جدا نخواهد شد.

ب) فرآیند جدا شـــدن آب از کاغذ و حل شدن آن در روغن بسیار آرام است. لذا در مدت زمان تصفیه فیزیکی off-line که (حداکثر چند روز است) نمی‌توان آب داخل کاغذ را بصورت موثری جدا نمود.

روشـــهای مختلفی برای خشـــک نمودن عایق کاغذی وجود دارد که از بین آنها می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- کوره
- پاشش روغن داغ (Hot Oil Spray)
- حرارت از طریق عبور جریان با فرکانس پائین (LFH)
- اســـتفاده از دســـتگاه مخصوص تصفیه فیزیکی Online در هنگام کار ترانسفورماتور (در مدت زمان طولانی و با سرعت سیرکوله بسیار کم)

1. Reconditioning
2. Reclaiming

۳) می توان با کاهش سرعت دســـتگاه تصفیه فیزیکی Off–line بصورت online روغن ترانسفورماتور را تصفیه کرد.

دســـتگاه تصفیه فیزیکی Off–line برای کار در حالت خاموشی ترانسفورماتور ساخته می شود. اســـتفاده از این دســـتگاه برای تصفه فیزیکی online می تواند موجـــب عملکرد رله بوخهلتز و ایجاد تلاطم در روغن و در نهایت بروز خطا در ترانسفورماتور شود. بعلاوه گرم کننده تعبیه شده در دستگاه تصفیه فیزیکی ممکن اســـت روغن را که در حالت کار نرمال ترانسفورماتور دمای بالائی دارد، موجب تنش حرارتی کرده و درجه حرارت روغن و بالطبع ترانســـفورماتور را تا مقادیر غیرمجاز افزایش دهد. (بطور کلی درجه حـــرارت روغن هنگام تصفیه فیزیکی نباید از ۸۵ درجه ســـانتیگراد افزایش یابد.) به منظور تصفیـــه فیزیکی Online استفاده از دستگاههایی که بدین منظور طراحی و ساخته شده اند الزامی است.

۴) هنگام راه اندازی ترانسفورماتور نو نیازی به انجام آزمونهای روغن نیست.

انجام آزمونهای کنترل کیفی روغن (بهمراه آزمونهای الکتریکی) یکی از شرایط لازم برای راه اندازی ترانســـفورماتور نو می باشد. تنها زمانی مجاز به بارگیری از ترانسفورماتور نو هستیم که نتایج آزمونهای کنترل کیفی آن مطابق جداول سه و چهار باشد:

جدول سه: وضعیت کیفی روغن هنگام راه اندازی ترانسفورماتورهای توزیع

ولتاژ شکست (KV)	آب محلول در روغن (ppm)	اسیدیته (mg KOH/g oil)	ضریب تلفات عایقی (تانژانت دلتا)	کشش سطحی (mN/m)
بیشتر از ۵۵	کمتر از ۲۰	–	–	–
–	–	کمتر از ۰/۰۳	کمتر از ۰/۰۱۵	بیشتر از ۳۵

جدول چهار: وضعیت کیفی روغن هنگام راه اندازی ترانسفورماتورهای قدرت

ولتاژ شکست (KV)	آب محلول در روغن (ppm)	اسیدیته (mg KOH/g oil)	ضریب تلفات عایقی (تانژانت دلتا)	کشش سطحی (mN/m)
بیشتر از ۶۰	کمتر از ۱۰	–	–	–
–	–	کمتر از ۰/۰۳	کمتر از ۰/۰۱	بیشتر از ۳۵

در صورتیکـــه نتایج آزمونهای کنترل کیفی روغن خارج از حدود ذکر شـــده در جداول فوق باشـــد، لازم است ترانســـفورماتور پیش از راه اندازی مورد تصفیه فیزیکی، شیمیائی یا تعویض روغن قرار گیرد.

۵) تصفیـــه فیزیکی موجب حذف مواد بازدارنده[1] و پســـیواتور[2] موجود در روغن می شود.

در صورت تصفیه فیزیکی روغنهای حاوی مواد بازدارنده یا پسیواتور، لازم است فشار محفظه خلاء و درجه حرارت گرم کننده دســـتگاه (مطابق جدول پنج) به گونه‌ای تنظیم گردد که مانع از حذف این افزودنی ها از روغن شود.

1. Inhibitor
2. Passivator

جدول پنج: شرایط لازم دستگاه برای تصفیه فیزیکی روغنهای عایقی معدنی حاوی مواد بازدارنده و/یا پسیواتور

دما (°C)	حداقل فشار (P_a)	حداقل فشار (mbar)
۴۰	۸	۰/۰۸
۵۰	۱۵	۰/۱۵
۶۰	۳۰	۰/۳
۷۰	۸۰	۰/۸
۸۰	۲۰۰	۲
۸۵	۲۸۰	۲/۸

۶) در صورتیکه وضعیت شیمیائی روغن نامناسب باشد، تنها راهکار ممکن تعویض روغن است.

چنانچه نتایج آزمونهای کنترل کیفی روغن مطابق جداول شـــش و هفت باشد، لازم است روغن ترانسفورماتور مورد تصفیه شیمیائی قرار گرفته یا تعویض شود.

جدول شش: شرایط تصفیه شیمیائی / تعویض روغن ترانسفورماتورهای توزیع درحال بهره برداری

اسیدیته (mg KOH/g oil)	ضریب تلفات عایقی (تانژانت دلتا)	کشش سطحی (mN/m)
بیشتر از ۰/۳	بیشتر از ۰/۵	کمتر از ۲۰

جدول هفت: شرایط تصفیه شیمیائی / تعویض روغن ترانسفورماتورهای قدرت در حال بهره برداری

اسیدیته (mg KOH/g oil)	ضریب تلفات عایقی (تانژانت دلتا)	کشش سطحی (mN/m)
بیشتر از ۰/۱۵	بیشتر از ۰/۲	کمتر از ۲۰

روغنی که مورد تصفیه شـــیمیائی قرار گرفته اســـت پایـــداری کمتری در برابر اکسیداسیون در مقایسه با روغن نو دارد. بهمین دلیل پس از انجام عملیات تصفیه، به روغن مواد بازدارنده اضافه می گردد. پس از راه اندازی ترانســـفورماتور لازم است مقدار این مواد مرتباً مورد پایش قرار گرفته و در صورت کاهش آن به کمتر از ۶۰ درصد مقدار اولیه می بایست مجدداً به روغن مواد بازدارنده اضافه نمود.

در صورت تعویض روغن، تا ده درصد از روغن قبلی بصورت جذب شـــده در عایق کاغذی باقی مانده و بخشی از آلودگیهای آن به روغن جدید وارد می گردد. پس از تعویض روغن لازم اســـت حداقل ۱۲ ســـاعت ترانسفورماتور بصورت بی‌بار باقیمانده تا حبابهای هوا خارج شده و سپس ترانسفورماتور وارد مدار شود. برخلاف وضعیت فیزیکی، معمـــولاً روغن زمانی از لحاظ شـــیمیائی تخریب می‌شود که ترانسفورماتور به پایان عمر بهره برداری خود نزدیک شده است. لذا انتخاب بین تصفیه شیمیائی یا تعویض روغن بیشتر تابعی از ملاحظات عملیاتی و اقتصادی بهره بردار (مانند عمر مورد انتظار از ترانسفورماتور فعلی، زمان خرید ترانسفورماتور نو و جایگزینی با ترانســـفورماتور فعلی، موجود بودن روغن نو در انبار، قیمت خرید روغن نو، هزینه عملیات تصفیه شیمیائی و ...) می باشد تا ملاحظات فنی.

منابع و ماخذ

1. IEC60296, 'Fluids for electro technical applications unused mineral insulating oils for transformers and switchgears', ed.4, 2012
2. IEC60422, 'Mineral insulating oils in electrical equipment – supervision and maintenance guidance', ed.4, 2013

فراخوان مقـــــــاله

بدینوسیله از کلیه تولید کنندگان، بهره برداران، مشاورین، پیمانکاران نصب، راه اندازی و تعمیرات ترانسفورماتور و همچنین دانشجویان و اساتید دانشگاه دعوت می شود در صورت تمایل مقالات خود را جهت داوری و چاپ به هیئت تحریریه فصلنامه ترانسفورماتور ارسال نمایند. لازم به ذکر است مقاله ارائه شده باید در خصوص ترانسفورماتور بوده و در قالب یکی از محورهای ذیل نگارش شود:

- طراحی و ساخت
- آزمون
- حمل و نقل
- نصب و راه اندازی
- بهره برداری، سرویس و نگهداری
- تجهیزات حفاظتی
- ارزیابی وضعیت و مدیریت عمر
- تجهیزات جانبی: بوشینگ، تپ چنجر، روغن و ...
- تعمیرات
- ترانسفورماتورهای اندازه گیری

مطالب می بایست بصورت فایل به پست الکترونیک: papers@transformer-magazine.ir یا برروی لوح فشرده به دفتر مجله به نشانی: تهران، بلوار نلسون ماندلا (آفریقا)، خیابان ناهید شرقی، پلاک ۲۰، واحد ۸ شرقی، ارسال گردد. لازم است به همراه مقاله، یک قطعه عکس، رزومه نویسنده یا نویسندگان مقاله نیز ارسال شود.

فصلنامه در گزینش علمی، ویرایش یا انتخاب تیتر برای آثار ارسالی آزاد است.

ارسال عکسهای تزئینی مرتبط با موضوع مقاله بلامانع است.

مقاله ارسالی نباید در هیچ نشریه دیگری به چاپ رسیده باشد.

ترانسفورماتور

تجارب بهره‌برداری

علاوه بر عوامل طراحی و ساخت، شرایط بهره برداری نیز یکی از پارامترهای تاثیرگذار در عملکرد ترانسفورماتورهای توزیع و قدرت است. چه بسا ترانسفورماتورهای کاملاً مشابه از لحاظ ساخت، که در شرایط محیطی و بهره برداری مختلف سرنوشت متفاوتی داشته اند. با توجه به تنوع جغرافیائی و آب و هوائی ایران و همچنین تفاوت بسیار زیاد بین شرایط شبکه برق در نیروگاه، پستهای انتقال و توزیع و مجتمعهای صنعتی با یکدیگر، ترانسفورماتورهای مورد بهره برداری شرایط کاملاً متفاوتی را تجربه می کنند که مقایسه وضعیت آنها با یکدیگر و مرور حوادث پیش آمده بر روی آنها می تواند کمک زیادی نه تنها به طراحان و سازندگان در بهبود فرآیند طراحی و ساخت، بلکه به بهره برداران در استفاده هرچه بهتر از این تجهیز گرانقیمت نماید. از اینرو برآن شدیم تا در هر شماره از فصلنامه ترانسفورماتور مقاله ای از یکی از بهره برداران ترانسفورماتورهای توزیع و قدرت که تجارب خود را در این زمینه بیان کرده باشد، به چاپ برسانیم. لذا از کلیه بهره برداران ترانسفوماتور تقاضا داریم تجارب ارزشمند خود را در قالب مقاله به دفتر مجله ارسال نمایند. به نویسندگان مقالاتی که جهت چاپ در این بخش انتخاب می گردند، اشتراک یکساله فصلنامه بصورت رایگان اعطاء می گردد.
در این شماره مقاله ای با عنوان: «تجارب عملی بررسی نقطه داغ یک ترانسفورماتور اصلی نیروگاهی» را انتخاب نموده ایم که در آن نویسندگان به بیان مسیر پرفراز و نشیب و چند ساله خود در شناسائی علل عیوب ترانسفورماتور مورد بهره برداری در نیروگاه شازند اراک، پرداخته اند. لازم به ذکر است این مقاله برنده جایزه بهترین مقاله از سوی هیئت داوران در اولین کنفرانس و نمایشگاه بین المللی ترانسفورماتور در سال ۱۳۹۳ شد.

تجارب عملی بررسی نقطه داغ یک ترانسفورماتور اصلی نیروگاهی

مهندس معراج کلهر - مهندس پیام همتی
نیروگاه شازند

مقدمه

یکی از مشکلات مهم در ترانسفورماتور های قدرت بوجود آمدن گازهای ناشی از تجزیه روغن به علت وجود نقطه داغ در داخل ترانسفورماتور می باشد. پدیده نقطه داغ در ترانسفورماتور به دو شکل بوجود می آید:

الف- تشکیل نقطه داغ ناشی از وجود عیب در مسیر جریانی ترانسفورماتور: به عبارتی که اگر در مسیر جریان ترانسفورماتور شامل سیم پیچ اولیه و ثانویه اشکالی وجود داشته باشد، سبب بالا رفتن مقاومت محل مزبور شده و در نتیجه عبور جریان، سبب تشکیل نقطه داغ خواهد شد .

ب- تشکیل نقطه داغ ناشی از جریان های گردابی و یا القایی ناشی از شارهای پراکندگی: با توجه به اینکه تلفات جریان های سرگردان جزء تلفات بار می باشد که ناشی از عبور شارهای پراکنده از مسیر های مختلف ترانسفورماتور است. در مواردی که مشکلی در این بخش ها بوجود می آید می تواند سبب تشکیل نقطه داغ گردد. مانند نقطه داغ ناشی از شار پراکندگی عبوری از بخش های فلزی مانند اکتیو پارت یا شانت های مغناطیسی در اثر بروز خرابی یا اتصال به زمین و ایجاد جریان های گردابی ناخواسته.

۱) مشکل ترانسفورماتور اصلی واحد دو نیروگاه شازند

۱-۱) سابقه ترانسفورماتور

این ترانسفورماتور اصلی نیروگاهی که مشخصات آن در جدول یک ذکر شده است در سال ۱۳۷۹ توسط شرکت مپنا در واحد دو نیروگاه شازند نصب و راه اندازی گردید ولی در دو مرحله به دلیل چرخش فازهای خروجی به طرف اتصالات پست نیروگاه با توالی اشتباه به شبکه سنکرون گردید و در هر دو مرتبه با عملکرد رله های حفاظتی نیروگاه از شبکه سراسری جدا گردید.

جدول یک: مشخصات فنی ترانس اصلی واحد ۲ نیروگاه شازند

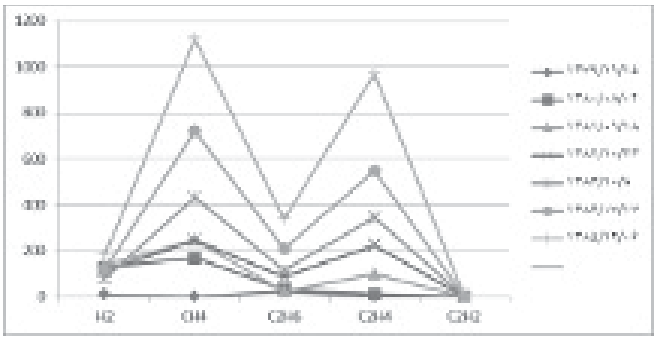
توان نامی (MVA)	نسبت ولتاژ (KV)	امپدانس درصد (%)	نوع تپ چنجر	سیستم خنک کنندگی	سازنده تپ چنجر	سال ساخت	سازنده ترانسفورماتور
400	20/230	14	OLTC	OFAF	ABB	1998	ZTR

۱-۲) بررسی سابقه گازکروماتوگرافی از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۵

به منظور کنترل و پایش وضعیت ترانسفورماتور پس از وقوع حادثه و وارد شبکه شدن در سال ۱۳۷۹، تست گازکروماتوگرافی به صورت دوره ای بر روی نمونه روغن انجام شده است که نتایج آن در جدول دو و منحنی تغییرات آن در شکل یک مشاهده می شود. بررسی این نتایج از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۵ با چندین روش تحلیل گازکروماتوگرافی مؤید وجود نقطه داغ بالای ۷۰۰ درجه سانتیگراد در ترانسفورماتور و تجزیه روغن ناشی از وجود خطای حرارتی می باشد.

جدول دو: نتایج رشد گازهای مربوطه در فاصله سالهای ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۵

تاریخ	C2H2	C2H4	C2H6	CH4	H2
1379/11/15	0	0	25	0	10
1380/08/02	0	11	33	169	126
1381/01/18	0	100	22	247	136
1382/10/23	0	225	86	245	111
1383/10/8	0	345	114	431	79
1384/07/17	0	548	209	721	119
1385/12/06	0	969	336	1121	179



شکل یک: منحنی تغیرات گازهای تولید شده در روغن ترانسفورماتور در فاصله بین سالهای ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۵

۲) آزمون ها و بازدید های انجام شده برای تعیین محدوده عیب

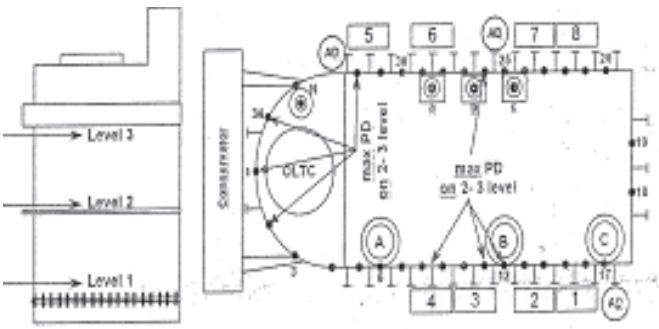
طی دو مرحله آزمون های الکتریکی و بازدید های ذیل برای تعیین محدوده عیب به شرح ذیل انجام شد:

۲-۱) آزمون های الکتریکی انجام شده مرحله اول

با توجه به روند رشد گازها در فاصله سالهای ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۵ پس از بررسی فنی ساختمان ترانسفورماتور موارد احتمالی بازدید داخلی مشخص و در ابتدای سال ۱۳۸۶ روغن ترانسفورماتور تخلیه و با همکاری کارشناسان شرکت سازنده (ZTR)، از داخل ترانسفورماتور بازدید شده و آزمون های مختلفی بر روی آن به عمل آمد که نتایج آن در ذیل ذکر شده است:

۲-۱-۱) تست اندازه گیری تخلیه جزئی توسط روش اکوستیک

یکی از اولین آزمون های انجام شده در حالت برقدار، تست اندازه گیری تخلیه جزئی بود. مقادیر اندازه گیری شده برای سه سطح از بدنه مخزن به روش اکوستیک انجام شد. این سه سطح (مطابق شکل دو) ناحیه یوغ پایین، بوبین های سه فاز و یوغ بالا هر دو سمت فشار قوی و فشار ضعیف را پوشش می دهد.



شکل دو: سطوح اندازه گیری تخلیه جزئی در ترانسفورماتور مورد بررسی

در جدول سه مقادیر نویز اندازه گیری شده که با نقاط دیگر اختلاف بیشتری داشته اند ذکر شده است. همانگونه که ملاحظه می شود، در سه ناحیه تپ چنجر و فاز B سمت فشار قوی و فشار ضعیف سطح نویز بالاتر از نقاط دیگر است.

۲-۱-۲) اندازه گیری شار نشتی از محل اتصال بخش بالایی مخزن به بدنه

همانگونه که در شکل سه مشاهده می شود، بخشی از شار پراکندگی از محل اتصال بخش بالایی مخزن به بخش پایینی می گذرد.

جدول سه: مقادیر تخلیه جزئی اندازه گیری شده در نقاط مختلف

Point	Level (db)	Level (db)	Level (db)
1	1.94	1.94	15.92
2	2.77	9.9	11.48
8	11.48	5.46	1.94
11	1.94	1.94	15.92
12	1.94	45.92	7.96
24	5.46	13.98	1.94
32	5.46	15.92	1.94
34	1.94	19.9	23.98

شکل سه: شکل شار عبوری از بخش بالایی و پایینی بدنه تانک

همچنین اندازه گیری شار نشتی عبوری در اطراف بدنه ترانسفورماتور انجام شد که مقادیر بدست آمده یکنواختی مناسبی در اطراف فاز های فشار قوی و فشار ضعیف داشتند.

۲-۱-۳) تست اندازه گیری مقاومت اهمی سیم پیچ های بوبینهای فشار قوی و فشار ضعیف

این اندازه گیری های در سمت فشارقوی و فشار ضعیف ۱۷ نقطه تپ چنجر ترانسفورماتور انجام شد. در بعضی از تپ ها با توجه به عدم رعایت الگوی کاهش و افزایش مقاومت ها (با توجه به نوع کلید) تمیزکاری و سرویس کلید مورد نیاز بود. پس از انجام این موارد، مجدداً تست انجام شد که مقادیر حاصله مطابق الگوی مورد نظر بود.

۲-۱-۴) آزمون اندازه گیری جریان و تلفات بی باری

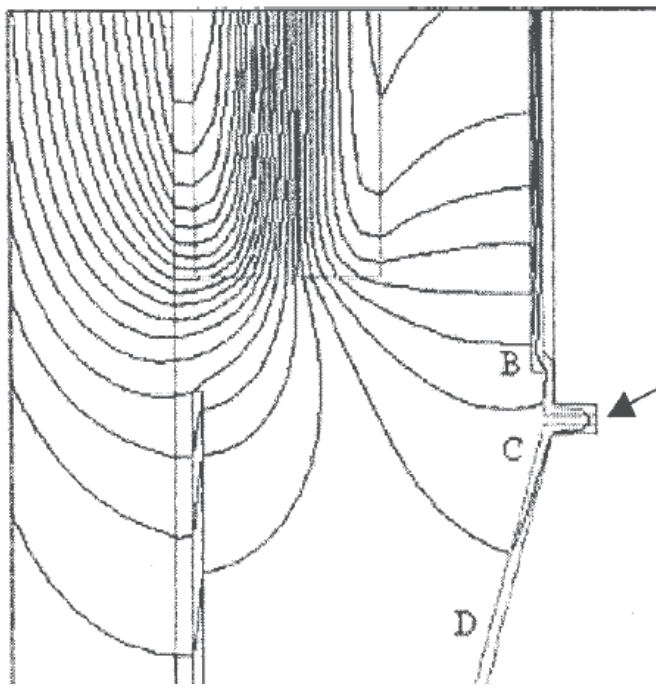
این آزمون با ولتاژ ۴۰۰ ولت در سایت انجام شد که مقادیر جریان با الگوی مورد نظر برای اتصالات سمت فشار ضعیف متناسب بود.

۳)بازدید از بخش های مختلف اکتیو پارت

پس از انجام آزمون های الکتریکی از بخش های مختلف ترانسفورماتور بازدید شد که نتایج بازدید در بندهای ذیل ذکرشده است:

۳-۱) حرکت و جابجایی اسپیسرهای بوبین های فشار قوی

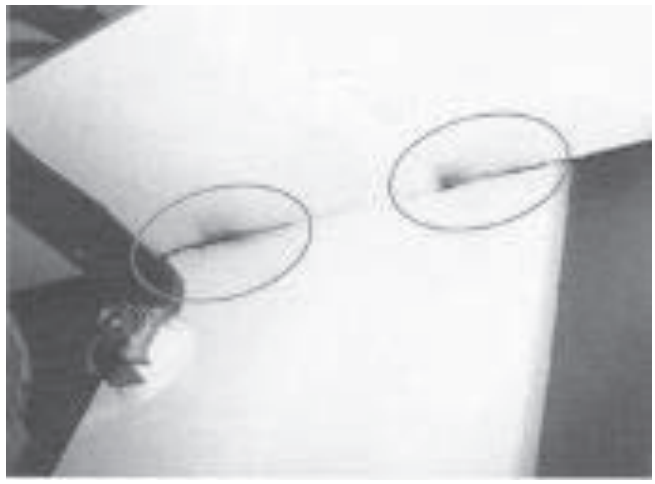
همانگونه که در شکل چهار مشاهده می شود اسپیسرهای بوبین فشارقوی در فاز وسط بیشـــترین جابجایی را از محل خود داشتند که ناشی از نیروها و تنش های الکترودینامیکی در زمان راه اندازی بر روی ترانسفورماتور می باشند.



شکل چهار: جابجایی های اسپیسر های بوبین فشار قوی

۳-۲) وجود اثرات جریان های گردابی در بخش های فلزی مختلف

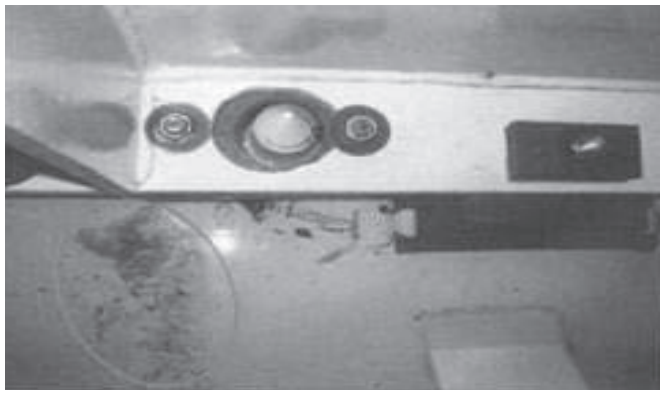
همانگونه که در شـــکل پنج مشاهده میشود جریان نشـــتی القایی بین پیچ های نگهدارنده و بخش فلزی اکتیو پارت وجود داشته و در محل های دیگر همچون محل اتصال بیم ها و TIE PLATE ها نیز این مشکل مشاهده شد.



شکل پنج: اثرات شار پراکندگی عبوری از نقاط فلزی

۳-۳) جابجایی بخش هایی از اکتیو پارت

همانگونه که در شکل شش قابل مشاهده است، حرکت و تکان های عایق بخشی از اکتیو پارت از جمله عایق زیر بیم ها در طی بازدید داخلی مشخص شد که نشان دهنده تنش وارده بر ترانسفورماتور در جریان راه اندازی می باشد.



شکل شش: اثرات شار پراکندگی عبوری از نقاط فلزی

۳-۴) چک و بازدید از شانت های مغناطیسی زیر بوبین

با توجه به اینکه ساختار شانت های مغناطیسی به کار رفته در این ترانسفورماتور که از نوع طولی و در زیر بوبین ها به صورت جفتی و سرتاســـری می باشـــد، در تست مقاومت عایقی مشخص شد یک رشـــته از این شانت ها با بیم زمین شده ترانسفورماتور اتصالی ناخواسته داشته و عملاً بخشی از این شانت در محل زیر بوبین به بیم سمت فشارقوی اتصالی دارد. برای رفع این مشکل با نظر کارشناس شرکت سازنده ترانسفورماتور مقاومتی با مشخصه 25W و 2.2k Ω به طور سری در مسیر اتصال شـــانت به بیم قرار گرفت تا با بالا بردن مقاومت مسیر سبب کم شدن جریان گردشی احتمالی بین این دو نقطه گردد. (شکل هفت)

شکل هفت: محل نصب مقاومت در مسیر شانت معیوب

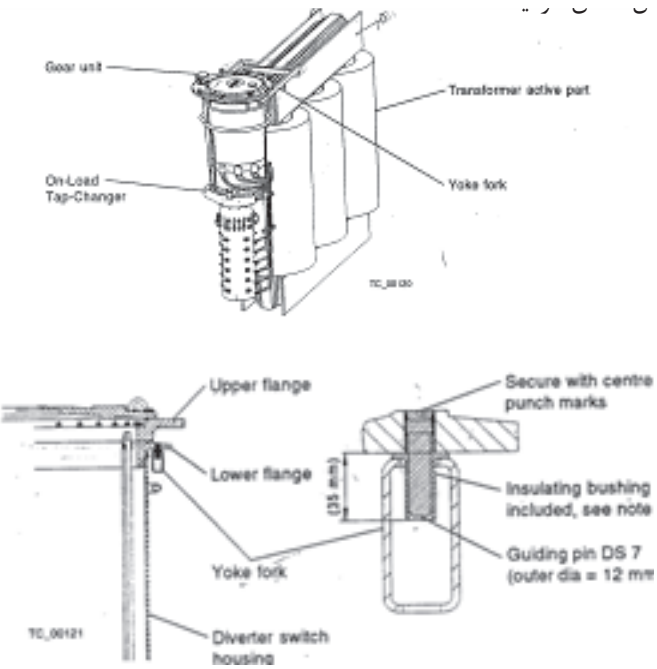
۴)بازدیدها و آزمون های انجام شده مرحله دوم

در این مرحله با توجه به ادامه روند رشد گاز های محلول در روغن، پس از تخلیه روغن از محل نصب مقاومت تشریح شده در بخش قبل بازدید به عمل آمد. در حین بازدید داخلی اثرات تخلیه الکتریکـــی و تجزیه روغن در ناحیه اتصال نگهدارنده مخزن دایورتر سوئیچ منشعب شـــده از بیم بالا (yoke fork) و پرچ های پیرامون مخزن دیده شد (شکل هشت). همچنان که در شکل هشت مشاهده می شود پرچ های پیرامون مخزن دایورتر با درپوش مخزن دایورتر به بدنه مخزن ترانسفورماتور متصل بوده و عملاً تخلیه الکتریکی با زمین از این نقاط صورت گرفته است.

شکل هشت: محل تماس نگهدارنده مخزن تپ چنجر و پرچ های پیرامونی

نتیجه‌گیری

پس از آزمون های انجام شـــده و بازدیدهای صورت گرفته از ترانســـفورماتور معیوب واحد شـــماره دو نیروگاه شازند اشکال در بخش شانت های مغناطیسی شناسائی شد. با توجه به آثار جابجایی اسپیسرهای بوبین فشار قوی میتوان منشأ این عیب را ناشی از نیروهای الکترومکانیکی ناشی از حادثه اتصال کوتاه شدید در زمان راه اندازی ترانسفورماتور دانست و با توجه به ساختار نامناسب شانت های مغناطیســـی بروز این نیروها سبب جابجایی احتمالی عایق و اتصال بخش داخلی شـــانت ها با بدنه کلمپ ها شده و این اشـــکال سبب ایجاد جریان های گردابی و تشـــکیل نقطه داغ در بخش معیوب شـــده اســـت. لذا با اصلاح عایق پوششـــی این شـــانت ها به صورت اســـتفاده از عایق یکپارچه و یا ایجاد دامنه پوششی مناسب می توان تا مقدار زیادی از بروز مشکلات آتی در ترانسفورماتور جلوگیری نمود. برای رفع عیب اساسی از ترانسفورماتور، لازم است بوبین های فشار قوی دمونتاژ شـــده و با بیرون آوردن شـــانت های مغناطیسی محل دقیق اتصالی را مشخص و اقدام به اصلاح پوشش عایقی مربوطه نمود.



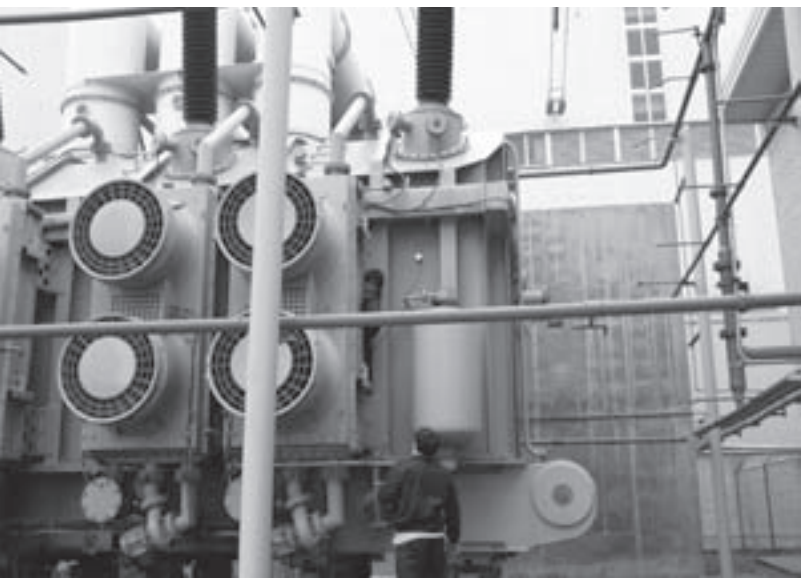
شکل نه: نقشه های تپ چنجر ABB نصب شده برروی ترانسفورماتور

با مراجعه به مدارک تپ چنجرهای ABB که در شـــکل نه مشـــاهده می شود، مشخص گردید شرایط نصب تپ چنجر سبب تشکیل نقطه داغ در مسیر عبور جریان های گردشی شـــده اســـت که برای رفع عیب اقدام به عایق بندی محل تماس گردید.

منابع و مأخذ

1. (Studies in Electrical and Electronic Engineering) K. Karsai, D. Kerenyi, L. Kiss-Large Power Transformers-Elsevier Science Ltd (1987)
2. Transformer Design Principles With Applications to Core-Form Power Transformers, 2nd Ed
3. ZTR report 1 nic no.1.1383.02
4. ABB Tap changer instruction manual

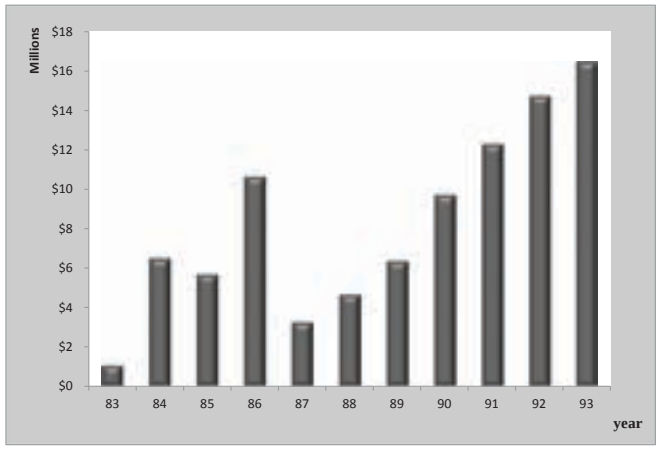
۵. گزارش موسسه تحقیقات ترانسفورماتور ایران سال ۷۸۳۱



۳ ترانسفورماتور از نگاه آمـــــــار

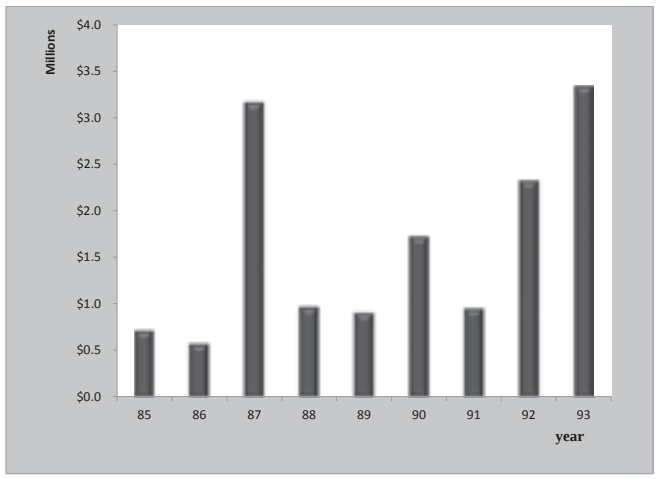
آمار صادرات ترانسفورماتورهای توزیع با توان نامی حداکثر 650 KVA

سال	ارزش کالای صادر شده (دلار)
۸۳	۱,۰۵۸,۹۳۷
۸۴	۶,۵۲۷,۴۵۴
۸۵	۵,۷۰۰,۴۷۵
۸۶	۱۰,۶۱۹,۷۴۴
۸۷	۳,۲۶۸,۷۵۷
۸۸	۴,۶۶۹,۴۶۵
۸۹	۶,۳۸۷,۸۹۰
۹۰	۹,۶۸۷,۱۵۵
۹۱	۱۲,۲۸۳,۱۹۳
۹۲	۱۴,۷۳۱,۲۶۴
۹۳	۱۶,۸۸۸,۲۲۴



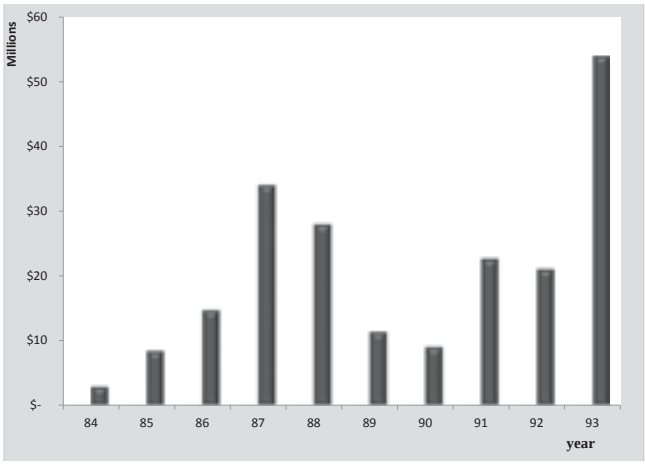
آمار صادرات ترانسفورماتورهای با توان نامی بین 650 KVA تا 10 MVA

سال	ارزش کالای صادر شده (دلار)
۸۵	۷۲۵,۴۶۶
۸۶	۵۸۳,۳۵۵
۸۷	۳,۱۷۰,۵۷۵
۸۸	۹۸۳,۱۰۹
۸۹	۹۱۶,۳۰۰
۹۰	۱,۷۲۷,۰۰۰
۹۱	۹۶۴,۷۵۰
۹۲	۲,۳۲۹,۶۲۰
۹۳	۳,۳۴۸,۶۵۰



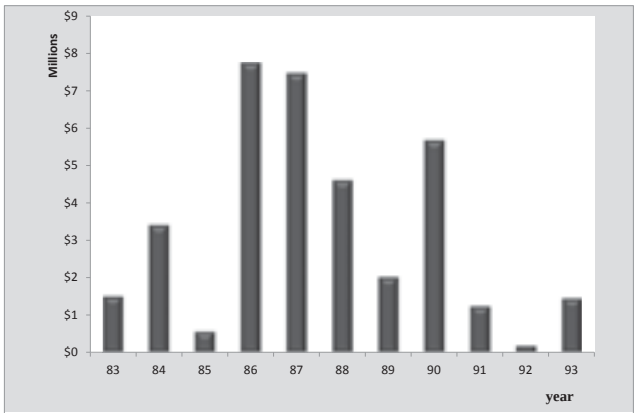
آمار صادرات ترانسفورماتورهای قدرت با توان بیشتر از ۱۰ MVA

سال	ارزش کالای صادر شده (دلار)
۸۴	۲,۸۷۴,۳۲۹
۸۵	۸,۴۰۶,۲۶۰
۸۶	۱۴,۷۰۵,۲۷۷
۸۷	۳۴,۰۱۸,۴۸۲
۸۸	۲۷,۹۵۵,۳۹۷
۸۹	۱۱,۳۵۲,۲۶۴
۹۰	۹,۰۲۴,۰۰۰
۹۱	۲۲,۶۵۴,۷۹۶
۹۲	۲۱,۰۴۵,۹۷۶
۹۳	۵۴,۰۱۹,۰۰۰



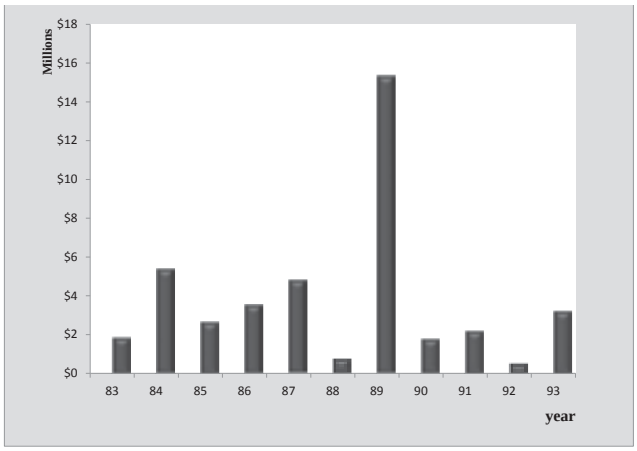
آمار واردات ترانسفورماتور با توان نامی حداکثر ۶۵۰ KVA

سال	ارزش کالای وارد شده (دلار)
۸۳	۱,۵۲۸,۳۶۰
۸۴	۳,۴۴۵,۹۲۵
۸۵	۵۶۷,۱۸۳
۸۶	۷,۷۶۱,۶۴۳
۸۷	۷,۴۸۱,۳۶۵
۸۸	۴,۶۱۱,۸۱۱
۸۹	۲,۰۵۳,۰۶۱
۹۰	۵,۶۸۵,۶۲۲
۹۱	۱,۲۵۸,۹۷۹
۹۲	۱۷۶,۸۷۵
۹۳	۱,۴۷۵,۹۱۵



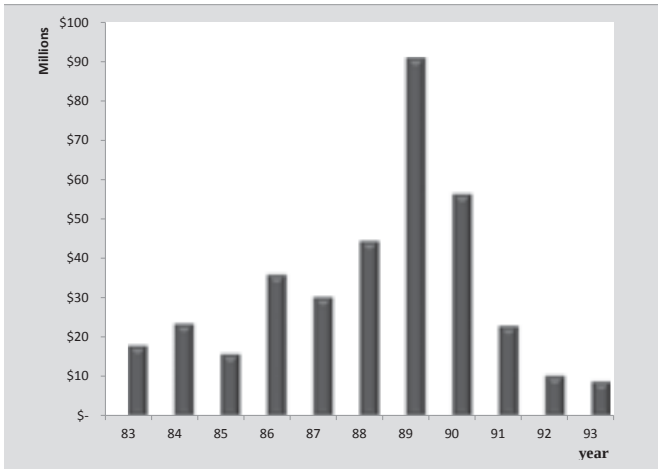
آمار واردات ترانسفورماتورهای با توان نامی بین ۶۵۰ KVA و ۱۰ MVA

سال	ارزش کالای وارد شده (دلار)
۸۳	۱,۸۸۱,۲۶۶
۸۴	۵,۴۰۴,۲۰۷
۸۵	۲,۶۸۱,۲۴۳
۸۶	۳,۵۵۹,۷۳۹
۸۷	۴,۸۲۹,۵۲۰
۸۸	۷۶۵,۳۶۳
۸۹	۱۵,۳۸۰,۴۷۰
۹۰	۱,۷۹۷,۲۷۹
۹۱	۲,۲۰۵,۵۳۸
۹۲	۵۳۰,۲۵۷
۹۳	۳,۲۲۲,۸۸۰



آمار واردات ترانسفورماتورهای قدرت با توان بیشتر از 10 MVA

سال	ارزش کالای وارد شده (دلار)
۸۳	۱۷,۸۸۸,۴۸۸
۸۴	۲۳,۴۱۴,۱۳۷
۸۵	۱۵,۷۱۷,۷۴۴
۸۶	۳,۵۹۰,۲۴۶
۸۷	۳۰,۱۷۸,۶۵۵
۸۸	۴۴,۴۶۵,۰۸۰
۸۹	۹۱,۰۹۲,۷۴۳
۹۰	۵۶,۴۴۱,۲۷۳
۹۱	۲۲,۸۴۰,۳۳۸
۹۲	۱۰,۲۰۰,۷۸۲
۹۳	۸,۷۴۲,۲۶۹



آمار مجموع صادرات و واردات ترانسفورماتور در سال ۱۳۹۳

	واردات	صادرات	جمع
ارزش کالا (دلار)	۱۳,۴۴۱,۰۶۴	۷۴,۲۵۵,۸۷۴	۸۷,۶۹۶,۹۳۸
درصد	۱۵	۸۵	۱۰۰

معرفی استاندارد

گرچه بسیاری از تحقیقات، گزارشهای فنی، مقالات و کتابها ممکن است از لحاظ علمی ارزش بالاتری از استانداردها داشته باشند، لیکن آنچه استانداردها را از این موارد متمایز می‌سازد اینست که گروهی متشکل از سازندگان، خریداران، بهره برداران و اساتید دانشگاه (و در خصوص استانداردهای بین المللی مانند IEC، نمایندگان کشورها) آنها را مورد تأیید قرارداده‌اند. در حقیقت استانداردها را می توان توافقی بین کلیه ذینفعان یک محصول در خصوص مشخصات و کیفیت آن دانست. در صنعت برق ایران از جمله ترانسفورماتور، استانداردهای تدوین شده توسط موسسه IEC بیشترین کاربرد را (در مقایسه با سایر استانداردها از جمله ANSI/IEEE) دارد که دلیل آن علاوه بر بین المللی بودن این استاندارد، نزدیکی بیشتر صنعت برق ایران با اروپا است. با توجه به اهمیت آشنایی فعالان در صنعت ترانسفورماتور با آخرین ویرایش استانداردهای IEC مورد استفاده در این صنعت، فصلنامه ترانسفورماتور در هر شماره یکی از استانداردهای منتشره توسط این مؤسسه را معرفی می نماید. نظر به پیچیدگی فنی استانداردهای IEC، تلاش بر این است که متون به زبان ساده تشریح شده و در نهایت مثالی واقعی از کاربرد آن بر روی یک ترانسفورماتور نمونه در ایران ارائه شود. علاقه مندان جهت دریافت نسخه کامل استانداردهای معرفی شده می توانند به وبسایت فصلنامه مراجعه نمایند.

معرفی استاندارد
IECTR 62874ed.1
(ویرایش سال ۲۰۱۵)

مقدمه

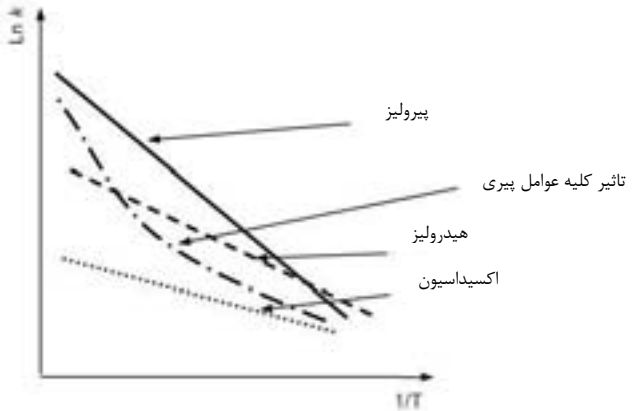
با توجه به گرانقیمت بودن ترانسفورماتور، زمان طولانی مورد نیاز جهت سفارش، طراحی و ساخت ترانسفورماتور جدید (یک تا دو سال برای ترانسفورماتورهای قدرت) و همچنین وابستگی شبکه برق رسانی به کارکرد بدون خطای این تجهیز، محاسبه قابلیت اطمینان و تخمین عمر ترانسفورماتورهای قدیمی (با بیش از ۱۵ سال عمر) که اکنون بیش از نیمی از شبکه برق کشور و صنایع را تغذیه می کنند، اهمیت بسیاری دارد. در صورتی که بهره بردار قادر به تخمین عمر ترانسفورماتور باشـــد، نه تنها می تواند از بروز حوادث و خاموشی ناخواسته جلوگیری نماید، بلکه قادر اســـت در زمان مناسب نســـبت به برنامه ریزی جهت انجام عملیات سرویس و نگهداری، تعمیرات، بازسازی یا تعویض ترانسفورماتور اقدام نماید. تخمین عمر ترانسفورماتور با استفاده از نتایج آزمونهای روغن در طی بیست سال گذشته توسط بســـیاری از محققین مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته و مقالات، گزارشـــها و دســـتورالعملهای متفاوت و در برخی موارد، متناقضی در این مدت انتشار یافته است. لیکن به دلیل پیچیدگی این بحث و تفاوتهای اساسی بین نتایج حاصل از مدل سازیهای آزمایشگاهی با شرایط واقعی در ترانسفورماتور، هیچگاه این گزارشات جنبه رســـمی به خود نگرفته و به صورت استاندارد منتشر نشده بود. سرانجام در سال ۲۰۱۵ مؤسسه **IEC** با انتشار گزارش فنی IEC TR 62874 نقطه عطفی در این مبحث پدید آورد و توانســـت راه حل جامع و کاملی در این خصوص ارائه نماید. مطابق این گزارش فنی با اندازه گیری مقادیر دی اکســـید کربن (از تســـت گازکروماتوگرافی) و دو – فورفورالدهید (از تست فورفورال) می توان با اســـتفاده از جداول ذکر شـــده در این گزارش، عمر ترانسفورماتور را تخمین زده و اقدامات آتی (مانند نوع و زمان انجام آزمونهای تکمیلی و تصمیم گیری در خصوص وضعیت ترانسفورماتور) را تعیین نمود.

خلاصه استاندارد

در ابتدای این گزارش فنی به این مسئله اشـــاره می شود که تحقیقات زیادی در خصوص رابطه بین دو – فورفورال و درجه پلیمریزاســـیون عایق کاغذی (**DP**) صورت گرفته و مدلهای مختلفی در این خصوص پیشـــنهاد شـــده است. لیکن بنا به دلایلی همچون، همخوانی نداشـــتن مدلهای ارائه شده در این تحقیقات با یکدیگر و همچنین عدم اثبات کارآیی این مدلهای آزمایشگاهی در شرایط واقعی کار ترانسفورماتور، در این استاندارد از هیچ یک از این مدلها استفاده نشده است. بطور کلی این استاندارد صرفاً به عنوان راهکار عملی جهت بررسی میزان تخریب حرارتی عایق کاغذی قابل اســـتفاده بوده و به عنوان الگوریتمی جهت محاسبه میزان درجه پلیمریزاسیون عایق کاغذی (**DP**) کاربرد ندارد.

در ادامه به دلایل کاهش عمر ترانسفورماتور اشاره و سه عامل اصلی در تخریب عایق کاغذی معرفی می شود:

– هیدرولیز (تخریب عایق کاغذی به واسطه حرارت)



شکل یک: دیاگرام شماتیک نشان دهنده تأثیر هر یک از عوامل پیری بر نرخ کاهش عمر ترانسفورماتور K

– اکسیداسیون (تخریب عایق کاغذی به دلیل حضور اکسیژن)

– پیرولیز (تخریب عایق کاغذی توسط آب)
در یک ترانسفورماتور کلیه این فرآیندها، به صورت همزمان عمل کرده و مطابق شکل یک، مکانیزم غیرخطی را بوجود می آورند. اینکه کدام فرآیند غالب می‌شود بستگی به درجه حرارت و عوامل بهره برداری دارد. در حقیقت به دلیل پیچیدگی فرآیندهای تخریب، تعیین تنها یک فرآیند به عنوان فرآیند غالب، بسیار دشوار است.
با توجه به اینکه در ترانسفورماتورهای در حال بهره برداری، امکان نمونه برداری از کاغذ و اندازه گیری مستقیم درجه پلیمریزاسیون عایق کاغذی (**DP**) و در نهایت تخمین عمر وجود ندارد، لذا راهکار پیشنهادی استاندارد، استفاده از نشانگرهای پیری در روغن است. نشانگرهای پیری در حقیقت موادی است که براثر تخریب کاغذ در روغن حل شده و با اندازه گیری آنها می توان پیری ترانسفورماتور را تخمین زد. از بین کلیه نشانگرهای پیری موجود در روغن، استاندارد حاضر دی اکسید کربن (که با آزمون گازکروماتوگرافی قابل اندازه گیری است) و دو – فورفورال (که از نتیجه آزمون اندازه گیری ترکیبات فوران بدست می آید) را انتخاب نموده است.

روش گام به گام جهت تخمین عمر ترانسفورماتور

به منظور تخمین عمر ترانسفورماتور ، استاندارد با استفاده از جداول مقادیر نرمال، روش گام به گام ذیل را پیشنهاد می نماید:
۱) انجام حداقل دو بار آزمونهای گازکروماتوگرافی و فورفورال بر روی ترانسفورماتور
شرایط انجام آزمونها به قرار ذیل می باشد:
– فواصل انجام آزمونها باید حداقل شش ماه بوده و در این مدت تصفیه فیزیکی، شیمیائی یا تعویض روغن انجام نشده باشد.
– ترانسفورماتور مورد مطالعه نباید به مدت طولانی خارج از مدار قرار گرفته‌باشد.
– در زمان اولین نمونه برداری می بایست حداقل شش ماه از انجام آخرین تصفیه فیزیکی، شیمیائی یا تعویض روغن گذشته باشد.
– نمونه برداریها باید در زمانی انجام شود که بار ترانسفورماتور، قبل از نمونه برداری تغییرات زیادی نکرده باشد
۲) تعیین مقادیر مطلق دو–فورفورال (**mg/kg**) و دی اکسید کربن (**µLit/Lit**) در هر دو نمونه
۳) تعیین مقادیر رشد سالانه دو–فورفورال (**mg/kg/year**) و دی اکسید کربن (**µLit/Lit/year**)
۴) مقایسه مقادیر مطلق و رشد سالانه دی اکسید کربن و دو فورفورال با جداول مقادیر نرمال (جداول یک تا دوازده)
۵) تعیین اینکه هریک از مقادیر مطلق و رشد کمتر از صدک نودم، بین صدک نودم و نود و هشتم یا بیشتر از صدک نود و هشتم هستند.
۶) تعیین وضعیت تخریب عایق کاغذی و تخمین عمر از دست رفته ترانسفورماتور مطابق جدول سیزده
۷) تعیین نوع و زمان انجام پایشهای آتی مطابق جدول چهارده

مقادیر نرمال دو–فورفورال و دی اکسید کربن

استاندارد حاضر مقادیر مطلق دو–فورفورال و دی اکسید کربن و رشد سالانه آنها در تعداد زیادی از ترانسفورماتورهای مورد بهره برداری را تحت بررسی قرار داده و با استفاده از روشهای آماری مقادیر نرمال این شاخصهای پیری را ذکر نموده است. این جداول به قرار ذیل می باشند:

۱) مقادیر نرمال دو–فورفورال برمبنای مقادیر مطلق (برحسب mg/kg) و نرخ رشد سالانه (برحسب mg/kg/year)

توضیح: در بخشهایی از جداول ذکر شده است: «داده ناکافی» در این حالت تعداد نمونه های آماری جهت تعیین مقادیر نرمال به اندازه کافی نبوده است.

جدول یک: ترانسفورماتورهای اصلی نیروگاهی (GSU) با روغن فاقد مواد بازدارنده (Uninhibited Oil)

سن ⟵	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
صدک ↓	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۳	۰/۰۴	۲	۰/۳	۳	داده ناکافی
نود و هشتم	۰/۰۵	۰/۰۱	۱	۰/۱۰	۴	۰/۷	۶	

(نمونه آماری: ۱۸۶۰دستگاه ترانسفورماتور)

جدول دو: ترانسفورماتورهای اصلی نیروگاهی(GSU) با روغن حاوی مواد بازدارنده (Inhibited Oil)

سن ⟵	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
صدک ↓	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	داده ناکافی		۰/۱	داده ناکافی	۰/۸	۰/۲۵	داده ناکافی	
نود و هشتم			۰/۱۵		۱/۵	۰/۶۰		

(نمونه آماری: ۱۷۶دستگاه ترانسفورماتور)

جدول سه: ترانسفورماتورهای فوق توزیع و انتقال با روغن فاقد مواد بازدارنده

سن ⟵	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
صدک ↓	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	۰/۱	۰/۰۱	۰/۳	۰/۰۶	۱/۶	۰/۲۵	۲	۰/۳
نود و هشتم	۰/۲	۰/۰۲	۱/۱	۰/۶	۳/۵	۰/۸	۴/۵	۱/۱

(نمونه آماری: ۲۸۴۵ دستگاه ترانسفورماتور)

جدول چهار: ترانسفورماتورهای توزیع بزرگ (با توان نامی بیشتر از ۲MVA) با روغن فاقد مواد بازدارنده و منبع انبساط باز (Open Breathing Conservator)

سن ⟵	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
صدک ↓	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۷	۰/۲	۱/۵	۰/۳	داده ناکافی	
نود و هشتم	۰/۲	۰/۰۳	۳	۰/۵	۴/۵	۰/۸		

(نمونه آماری: ۷۱۰۷ دستگاه ترانسفورماتور)

جدول پنج: ترانسفورماتورهای توزیع بزرگ با روغن فاقد مواد بازدارنده و منبع انبساط بسته (Sealed Conservator)

سن ⟵	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
صدک ↓	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	۰/۰۵	داده ناکافی	۰/۱۵	۰/۰۲	۱/۶	۰/۴	داده ناکافی	
نود و هشتم	۰/۱۵		۰/۸۵	۰/۰۴	۵	۰/۷		

(نمونه آماری: ۲۸۸ دستگاه ترانسفورماتور)

جدول شش: ترانسفورماتورهای توزیع شبکه و صنایع (با توان نامی کمتر از ۲MVA) با روغن فاقد مواد بازدارنده

سن ⟵	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
صدک ↓	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	۰/۶	۰/۰۲	۰/۷	۰/۱	۱/۳	۰/۳	داده ناکافی	
نود و هشتم	۱/۵	۰/۲	۲/۷	۰/۷	۴/۵	۱/۱		

(نمونه آماری: ۳۸۸۵ دستگاه ترانسفورماتور)

جدول هفت: ترانسفورماتورهای LVDC با روغن فاقد مواد بازدارنده

سن ⟵	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
صدک ↓	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	داده ناکافی		۰/۸	۰/۳	۱	۰/۳	داده ناکافی	
نود و هشتم			۱/۴	۰/۸	۳	۰/۸		

(نمونه آماری: ۳۶۰ دستگاه ترانسفورماتور)

۲) مقادیر نرمال دی اکسید کربن برمبنای مقادیر مطلق (برحسب µlit/Lit) و نرخ رشد سالانه (برحسب µLit/Lit/year)

توضیحات:

۱) در بخشهایی از جدول ذکر شده است: «داده ناکافی» در این حالت تعداد نمونه های آماری جهت تعیین مقادیر نرمال به اندازه کافی نبوده است.

۲) مقادیر نرمال دی اکسـید کربن که در استاندارد **IEC**60599 ذکر شده است با مقادیر نرمال ذکر شده در جداول ذیل متفاوت است. مقادیر نرمال مذکور در این استاندارد تنها به منظور تخمین میزان تخریب حرارتی عایق کاغذی ارائه شده در حالیکه هدف از مقادیر نرمال مذکور در استاندارد **IEC**60599 شناسایی خطای احتمالی ترانسفورماتور می باشد.

جدول هشت: ترانسفورماتورهای اصلی و تحریک نیروگاهی با روغن فاقد مواد بازدارنده

سن ⟵	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
صدک ↓	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	۲۰۰۰	داده ناکافی	۵۰۰۰	۱۵۰۰	۶۰۰۰	۱۵۰۰	۸۰۰۰	داده ناکافی
نود و هشتم	۲۵۰۰		۷۰۰۰	۳۰۰۰	۱۱۰۰۰	۳۰۰۰	۱۵۰۰۰	

(نمونه آماری: ۱۰۹۸ دستگاه ترانسفورماتور)

جدول نه: ترانسفورماتورهای فوق توزیع و انتقال با روغن فاقد مواد بازدارنده

سن ⟵	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
صدک ↓	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	۳۰۰۰	داده ناکافی	۵۰۰۰	داده ناکافی	۸۰۰۰	داده ناکافی	۸۰۰۰	داده ناکافی
نود و هشتم	۵۰۰۰		۸۰۰۰		۱۱۰۰۰		۱۳۰۰۰	

(نمونه آماری: ۴۳۵ دستگاه ترانسفورماتور)

جدول ده: ترانسفورماتورهای توزیع بزرگ با روغن فاقد مواد بازدارنده

سن ←	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
صدک ↓	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	۲۰۰۰	داده	۴۰۰۰	داده	۵۰۰۰	داده	۶۰۰۰	داده ناکافی
نود و هشتم	۳۵۰۰	ناکافی	۸۰۰۰	ناکافی	۹۰۰۰	ناکافی	۱۲۰۰۰	

(نمونه آماری: ۷۲۹۱ دستگاه ترانسفورماتور)

جدول یازده: ترانسفورماتورهای توزیع شبکه و صنایع با روغن فاقد مواد بازدارنده

سن ←	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
صدک ↓	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	۱۵۰۰	داده	۳۵۰۰	داده	۴۵۰۰	داده	۵۰۰۰	داده ناکافی
نود و هشتم	۳۵۰۰	ناکافی	۵۵۰۰	ناکافی	۷۰۰۰	ناکافی	۹۰۰۰	

(نمونه آماری: ۴۵۵۶ دستگاه ترانسفورماتور)

جدول دوازده: ترانسفورماتورهای LVDC با روغن فاقد مواد بازدارنده

سن ←	کمتر از یکسال		بین یک تا ده سال		بین ده تا سی سال		بیشتر از سی سال	
صدک ↓	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد	مقدار مطلق	رشد
نودم	داده ناکافی		۳۰۰۰	داده	۴۵۰۰	داده	داده ناکافی	
نود و هشتم			۴۵۰۰	ناکافی	۷۵۰۰	ناکافی		

(نمونه آماری: ۲۷۳ دستگاه ترانسفورماتور)

نحوه تحلیل نتایج

پس از انجام آزمونهای گازکروماتوگرافی و فورفورال لازم است مقادیر مطلق و نرخ رشد دو-فورفورال و دی اکسید کربن را با مقادیر ذکر شده در جداول یک تا دوازده مقایسه نمود. تحلیل نتایج مطابق جدول سیزده می‌باشد.

جدول سیزده: تعیین وضعیت تخریب عایق کاغذی ترانسفورماتور و تخمین عمر از دست رفته با توجه به مقادیر دو-فورفورال و دی اکسید کربن

مقادیر مطلق و نرخ رشد دو=فورفورال و دی اکسید کربن	وضعیت تخریب عایق کاغذی	تخمین عمر
کمتر از صدک نودم	کم	عمر واقعی ترانسفورماتور کمتر از مدت زمان بهره برداری است.
بین صدک نودم و نود و هشتم	متوسط	عمر واقعی ترانسفورماتور برابر با مدت زمان بهره برداری است.
بیشتر از صدک نود و هشتم	زیاد	عمر واقعی ترانسفورماتور بیشتر از مدت زمان بهره برداری است.

در صورتی که وضعیت تخریب عایق کاغذی مربوط به مقادیر مطلق و نرخ رشد دو- فورفورال و دی اکسید کربن همخوانی نداشته (به عنوان مثال یکی وضعیت تخریب کم و دیگری وضعیت تخریب متوسط را نشان دهد)، بدترین حالت در نظر گرفته می شود.

نوع و زمان انجام پایشهای آتی

جدول چهارده: پایش ترانسفورماتور با توجه به وضعیت تخریب عایق کاغذی

وضعیت تخریب عایق کاغذی	نوع پایش	زمان انجام آزمونها
کم	پایه	هر یک تا دو سال
متوسط		
زیاد	پایه	هر شش ماه
	تکمیلی	

توضیحات جدول:

پایش پایه: انجام آزمونهای گازکروماتوگرافی و فورفورال

پایش تکمیلی:

۱) شناسائی عیوب احتمالی ترانسفورماتور با استفاده از استاندارد: **IEC**60599

۲) انجام آزمونهای ذیل:

– آب محلول در روغن

– اسیدیته

– شمارش ذرات معلق

– اندازه گیری مقدار مواد بازدارنده موجود در روغن (برای روغنهای حاوی مواد بازدارنده)

– اندازه گیری مقدار پسیواتور موجود در روغن (برای روغنهای حاوی افزودنی پسیواتور)

مثال عملی از نحوه استفاده از استاندارد

مقادیر دی اکسـید کربن و دو–فورفورال برمبنای آزمونهای گازکروماتوگرافی و فورفورال انجام شـده برروی یک دستگاه ترانسفورماتور اصلی نیروگاهی ۲۵ ساله و ۴۰۰ MVA با روغن فاقد مواد بازدارنده و وضعیت تخریب عایق کاغذی ترانسفورماتور و تحلیل نتایج، مطابق جداول پانزده و شانزده می باشد:

جدول پانزده: تعیین وضعیت تخریب عایق کاغذی یک دستگاه ترانسفورماتور اصلی نیروگاهی

شاخص پیری	مقدار مطلق در تاریخ ۹۳/۲/۱۵ (ppm)	مقدار مطلق در تاریخ ۹۳/۸/۲۰ (ppm)	نرخ رشد سالانه (ppm/year)
2FAL	**1.5**	**1.8**	**0.59**
وضعیت تخریب عایق کاغذی (مطابق جدول یک)	کم	کم	متوسط
CO_2	**7000**	**8750**	**3452**
وضعیت تخریب عایق کاغذی (مطابق جدول هشت)	متوسط	متوسط	زیاد

جدول شانزده: تخمین عمر و تعیین اقدامات آتی در خصوص ترانسفورماتور

وضعیت تخریب عایق کاغذی	تخمین عمر	نوع پایش	اقدامات / آزمونهای آتی	زمان انجام آزمونها
زیاد	عمر واقعی ترانسفورماتور بیشتر از مدت زمان بهره برداری است.	پایه و تکمیلی	عیب یابی ترانسفورماتور با استفاده از استاندارد IEC۶۰۵۹۹	در اسرع وقت و تکرار هر شش ماه
			گازکروماتوگرافی فورفورال آب محلول در روغن اسیدیته شمارش ذرات معلق	

نتیجه گیری

به کمک روشـهای ذکر شده در این اسـتاندارد تنها می توان فهمید عمر واقعی ترانسفورماتور کمتر، مساوی یا بیشتر از مدت زمان بهره برداری خود است، لیکن تعیین مقدار درجه پلیمریزاسـیون عایق کاغذی (**DP**) و تخمین عمر باقیمانده ترانسـفورماتور (که در برخی از مقالات و تحقیقات بدان اشـاره شده است) با استفاده از این استاندارد ممکن نیست.

فـــــــــرم اشـــــــتـــراک

هزینه اشتراک

هزینه اشتراک یکساله:	پست عادی ۶۰۰۰۰ تومان	پست پیشتاز ۸۰۰۰۰ تومان
هزینه اشتراک دو ساله:	پست عادی ۱۰۰۰۰۰ تومان	پست پیشتاز ۱۴۰۰۰۰ تومان

اطلاعات متقاضی

+ حقیقی

نام و نام خانوادگی: ..... رشته و مقطع تحصیلی: .....

متولد: ..... نام محل تحصیل: .....

+ حقوقی

نام شرکت/ سازمان: ..... نام متقاضی: .....

سمت: .....

تعداد نسخه درخواستی از هر شماره: .....

نسخه شروع اشتراک از شماره: .....

☐ اشتراک جدید

☐ تمدید اشتراک شماره اشتراک قبلی: .....

نشـــانی

آدرس:

استان: ..... شهر: ..... کدپستی: .....

تلفن: ..... همراه: .....

پست الکترونیک: .....

از علاقمندان به اشتراک فصلنامه ترانسفورماتور درخواست می‌نماییم برگ اشتراک را به دقت و با خط خوانا تکمیل نموده و وجه اشتراک را بر اساس تعرفه به شماره حساب ۰۲۰۵۳۶۳۴۶۱۰۰۵ بانک ملی شعبه آفریقا به نام ایلناز نواب‌پور واریز نموده و فیش بانکی و فرم اشتراک را به یکی از سه شیوه زیر برای ما ارسال نمایند:

۱- از طریق فکس با شماره۲۲۰۱۸۷۶۳ - ۰۲۱ به دفتر مجله

۲- از طریق پست به آدرس تهران، خیابان آفریقا، خیابان ناهید شرقی، پلاک ۲۰، واحد ۸ شرقی، کد پستی ۸۴۶۳۹-۱۹۱۵۶

۳- از طریق پست الکترونیک به نشانی: info@transformer-magazine.ir

+ دانشجویان و اساتید دانشگاه ها با ارسال کارت یا گواهینامه معتبر از ۱۰ درصد تخفیف برخوردار می‌شوند.

+ خواهشمند است مشترکان محترم در صورت تغییر نشانی، امور مشترکین فصلنامه را مطلع نمایند.

+ با توجه به اینکه تنها عدم وصول مجلاتی که به صورت پیشتاز ارسال می‌شوند، قابل پیگیری است، لذا توصیه می‌شود از خدمات پست پیشتاز استفاده شود.

کتاب

با وجود اهمیت ترانسفورماتور در شبکه برق، متاسفانه مباحث مربوط به این تجهیز کمتر بصورت آکادمیک در دانشگاهها تدریس می شود. لذا مهندسان رشته برق قدرت پس از فارغ التحصیلی، آشنایی چندانی با این تجهیز نداشته و به ضرورتهای شغلی مطالعه در این خصوص را آغاز می نمایند. در عین حال تقریباً تمام کتب مربوط به ترانسفورماتور به زبان انگلیسی بوده که فهم مطلب را دشوار می کند. با توجه به دلایل فوق برآن شدیم تا با انتخاب و ترجمه دقیق و روان دو کتاب (یکی در خصوص مباحث تئوریک و طراحی ترانسفورماتور و دیگری در خصوص مباحث بهره برداری و سرویس و نگهداری از این تجهیز) و چاپ بخشهایی از آن در هر شماره از فصلنامه کمکی هر چند کوچک به پر کردن این خلاء نماییم. دو کتاب انتخاب شده عبارتند از:

کتاب ترانسفورماتور J&P (The J&P Transformer Book)

که یکی از بهترین کتابهای آموزشی مرجع در خصوص تئوری ترانسفورماتور بوده و بیشتر طراحان ترانسفورماتور در ایران دانش فنی خود را تاحد زیادی مدیون این کتاب هستند. این کتاب از زمان انتشار (سال ۱۹۲۵ میلادی) تاکنون سیزده بار مورد ویرایش و تجدید چاپ قرار گرفته و آخرین ویرایش آن مربوط به سال ۲۰۰۷ میلادی است. (همین ویرایش سیزدهم جهت ترجمه و نشر در فصلنامه انتخاب شده است). مطالعه این کتاب برای مهندسین برق و دانشجویانی که تمایل به آشنایی با مباحث طراحی و ساخت ترانسفورماتور را دارند توصیه می شود.

کتاب راهنمای جامع سرویس و نگهداری ترانسفورماتور (ABB Service Handbook forTransformers)،

که در سال ۲۰۰۶ توسط شرکت ABB و با مشارکت بیش از ۵۵ نویسنده متخصص در مسائل مختلف ترانسفورماتور از ۱۳ کشور، تدوین و چاپ شده است. یکی از مهمترین امتیازات این کتاب علاوه بر جامع بودن و قابلیت پیاده سازی بر اکثر ترانسفورماتورهای در حال بهره‌برداری، پرداختن به مباحث عملی بدون ورود به مباحث تئوریک می باشد. فصلنامه ترانسفورماتور با درک این واقعیت که ترانسفورماتور تنها یکی از ده‌ها تجهیز برقی است که مهندسان برق شاغل در مجتمع‌های صنعتی روزانه با آن درگیر هستند، مطالعه این کتاب را به آنها توصیه می کند.

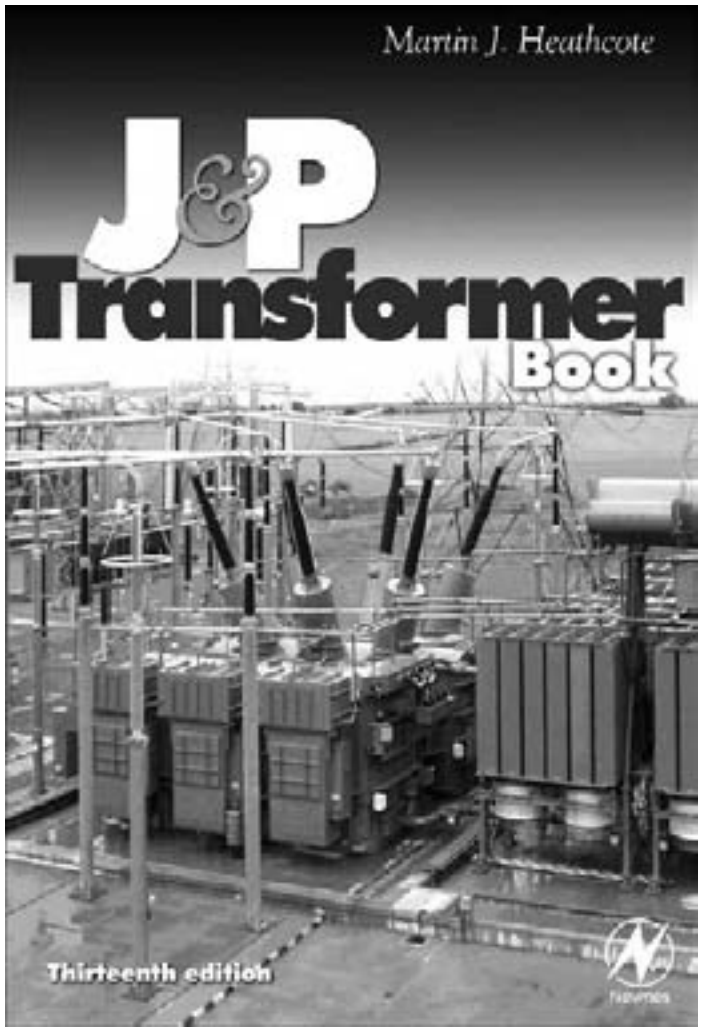
تلاش بر این است که هر دو کتاب به‌طور کامل در این فصلنامه چاپ و در اختیار علاقمندان قرارگیرد.

همچنین به منظور آشنائی مخاطبان با متون چاپ شده در زمینه ترانسفورماتور در ایران در هر شماره از فصلنامه به معرفی یک کتاب خواهیم پرداخت. از کلیه نویسندگان یا مترجمین کتب مربوط به ترانسفورماتور دعوت می‌شود. یک نسخه از کتاب خود را جهت معرفی در این فصلنامه به دفتر مجله ارسال نمایند.

کتاب ترانسفورماتور J&P

مترجم فصل اول: مهندس سیامک غفاری

پیشگفتار



کتاب ترانسفورماتور(The J&P Transformer Book J&P) یکی از جامع ترین و پرخواننده ترین کتابهای آموزشی مرجع در خصوص تئوری ترانسفورماتور است که از زمان انتشار (سال ۱۹۲۵ میلادی) تاکنون سیزده بار مورد ویرایش و تجدید چاپ قرار گرفته و آخرین ویرایش آن مربوط به سال ۲۰۰۷ میلادی و بالغ بر ۸۰۰ صفحه می باشد. دلیل استقبال گسترده از این کتاب از سوی طیف وسیعی از مخاطبان، علاوه بر روانی و سادگی متن، پرداختن به کلیه مباحث مربوط به ترانسفورماتور شامل طراحی، تولید، آزمون، بهره برداری، سرویس و نگهداری بصورت پیوسته و در یک جلد می‌باشد. تدوین کتابی که کلیه این مباحث را بصورت تفصیلی بیان نموده و مورد استفاده طراح، سازنده و بهره بردار ترانسفورماتور و همچنین دانشجویان و اساتید دانشگاه بصورت همزمان قرار گیرد، بسیار دشوار بوده که تنها به لطف دانش وسوابق کاری گوناگون نویسنده کتاب، آقای Martin J. Heathcote (طراح ترانسفورماتورهای تا ۴۰۰ کیلولت در شرکت ترانسفورماتورسازی Ferranti، متخصص ترانسفورماتور در شبکه ملی برق انگلستان و مشاور شرکتهای بهره بردار ترانسفورماتور) حاصل شده است.

از آنجا که این فصلنامه، آشنا نمودن مخاطبان با مباحث تئوریک ترانسفورماتور در کنار مسائل عملی را وظیفه خود می‌داند، تصمیم گرفته شد آخرین ویرایش کتاب ترجمه و در هر شماره بخشهایی از آن چاپ گردد. در ترجمه این کتاب تلاش شده است علاوه بر حفظ امانتداری، روانی و سادگی متن نیز تاحد امکان حفظ شود. مطالعه این کتاب به کلیه مهندسین، مشاورین، اساتید دانشگاه و دانشجویانی که تمایل به آشنایی عمیقتر با ترانسفورماتور از طراحی و تولید تا بهره برداری را دارند پیشنهاد می شود.

فصول کتاب به قرار ذیل می باشند:

۱. تئوری ترانسفورماتور
۲. اصول طراحی
۳. مواد مورد استفاده در ساخت ترانسفورماتور
۴. ساختمان ترانسفورماتور
۵. آزمونهای کارخانه ای و نصب و راه اندازی ترانسفورماتور
۶. بهره برداری و سرویس و نگهداری
۷. مباحث ویژه در ترانسفورماتور
۸. نحوه تنظیم اسناد مناقصه خرید ترانسفورماتور و ارزیابی پیشنهادات

فصل اول: تئوری ترانسفورماتور

۱-۱) مقدمه

اختراع ترانسفورماتور در اواخر قرن ۱۹ میلادی موجب پیدایش سیستم انتقال برق با ولتاژ متناوب و امکان قرارگیری نیروگاه‌های تولید برق در فواصل بسیار زیاد از مراکز مصرف شد. پیش از این با وجود سیستم‌های ولتاژ مستقیم، همجواری تولید و مصرف تنها راه انتقال برق بود.

پیشگامان صنعت برق خیلی زود به مزایای ترانسفورماتور پی بردند، اینکه می توان خروجی ژنراتور را که جریان بالا و ولتاژ کم داشته به ولتاژ بالا تبدیل نموده و به روش مقرون به صرفه و با تلفات کم، توان الکتریکی را از محل تولید به محل مصرف (که ممکن است چندین کیلومتر با هم فاصله داشته باشند) انتقال داد.

امروزه سیستم انتقال و توزیع برق بسیار گسترده تر از قبل بوده و بیشتر از همیشه به ترانسفورماتور وابسته است. به عنوان مثال یک ترانسفورماتور اصلی نیروگاهی در انگلستان، جریان ۱۹۰۰۰ آمپر و ۲۳/۵ کیلوولت خروجی ژنراتور را به ولتاژ ۴۰۰ کیلوولت و جریان ۱۲۰۰ آمپر تبدیل نموده و آن را کیلومترها دورتر به سیستم توزیع، شامل هزاران ترانسفورماتور توزیع، به مصرف کنندگان صنعتی و خانگی می رساند.

هدف اصلی از تألیف این کتاب آشنا نمودن خوانندگان با به روزترین تکنولوژی صنعت ترانسفورماتور می‌باشد. گرچه نویسنده این کتاب از دیدگاه شبکه برق انگلستان به این موضوع پرداخته است، لیکن همواره تلاش بر این بوده است که آخرین دستاوردهای این صنعت در سایر کشورها نیز مورد توجه قرار گیرد. به منظور آشنایی هرچه بیشتر با موضوع بحث، مرور مختصری بر تئوری ترانسفورماتور، فرمول‌های پایه وشکل‌های فازی در این فصل ارائه می شود.

۱-۲) ترانسفورماتور ایده آل: نسبت تبدیل

ترانسفورماتور معمولاً از دو سیم پیچی اولیّه و ثانویه تشکیل شده که با یک مدار مغناطیسی یا هسته با هم ارتباط دارند. زمانی که ولتاژ متناوب به یکی از سیم پیچ‌ها (اولیّه) اعمال می شود، جریانی بوجود می‌آید که نیروی محرکه مغناطیسی متغیر را تشکیل داده و موجب پدید آمدن شار مغناطیسی در هسته می شود. شار متغیر هر دو سیم پیچ را به هم متصل کرده و نیروی محرکه الکتریکی را در هر دوی آنها القا می کند. در سیم پیچ اولیّه این نیرو، نیروی ضد محرکه الکتریکی بوده و در صورتیکه ترانسفورماتور ایده آل باشد عکس ولتاژ اولیّه اعمالی است به گونه ای که هیچ جریانی عبور نمی کند. لیکن در عمل، جریان مغناطیس کننده از هسته عبور می کند. نیروی محرکه الکتریکی القاء شده در سیم پیچ ثانویه در حقیقت ولتاژ ثانویه مدار باز است. در صورتی که بار به سیم پیچ ثانویه متصل شود، جریان عبوری از آن نیروی محرکه مغناطیسی ضد مغناطیس کننده ای بوجود می آورد که تعادل بین ولتاژ اولیّه و نیروی ضد محرکه الکتریکی را از بین می برد. جهت بازگشت به نقطه تعادل، جریان اولیّه بیشتری از منبع تغذیه، کشیده شده تا دقیقاً معادل مقدار نیروی محرکه مغناطیسی ایجاد شود و این جریان اضافی موجب تعادل آمپر دور اولیّه با ثانویه می شود. از آنجاکه هیچ تفاوتی بین ولتاژ القاء شده بین هر لایه سیم پیچ اولیّه و ثانویه وجود ندارد، لذا ولتاژ کل القاء شده در هر سیم پیچی (با شار مشترک) متناسب با تعداد دور هر سیم پیچ بوده که در معادله ذیل نشان داده شده است:

$$E_1/E_2 = N_1/N_2 \qquad (۱-۱)$$

و همچنین معادله مربوط به تعادل آمپر ـ دور مطابق ذیل می باشد:

$$I_1/N_2 = I_2/N_2 \qquad (۱-۲)$$

که در معادلات فوق E، I و N به ترتیب ولتاژ، جریان و تعداد دور در سیم پیچ‌های اولیّه و ثانویه می باشد. با توجه به معادلات ذکر شده نسبت ولتاژ بین دو سیم پیچ به نسبت تعداد دورها و نسبت جریان، عکس نسبت دورها می باشد. (معادلات فوق هم برای مقادیر لحظه ای و هم برای مقادیر مؤثر صادق است).

نسبت بین ولتاژ القائی و شار مغناطیسی با توجه به قانون فارادی (مقدار ولتاژ القائی متناسب با نرخ تغییر شار می باشد) و قانون لنز (قطبیت ولتاژ در جهت معکوس شار مغناطیسی است) مطابق معادله ذیل تعریف می شود:

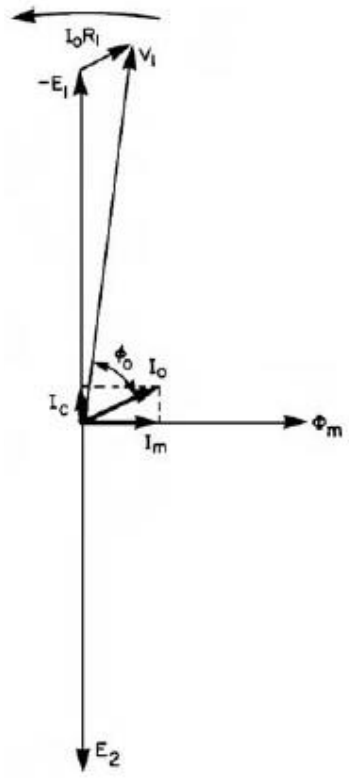
$$e = -N(d\phi/dr)$$

اما در یک ترانسفورماتور واقعی می توان نشان داد که ولتاژ القائی در هر دور، از رابطه ذیل تبعیت می کند:

$$E/N = K\Phi_m f \qquad (۱-۳)$$

که در این رابطه: K مقدار ثابت، Øm حداکثر شار کل برحسب وبر و f فرکانس برحسب هرتز می باشد.

معادله فوق هم برای ولتاژ اولیّه و هم برای ولتاژ ثانویه صدق می‌کند درصورتیکه N را تعداد دور سیم پیچ متناظر با آن فرض کنیم، شکل ۱-۱ نشان دهنده شکل فازی متناسب با یک ترانسفورماتور بدون بار و بدون در نظر گرفتن راکتانس است. معمولاً در طراحی ترانسفورماتور، افت ولتاژ بدلیل جریان بی باری در سیم پیچ اولیّه نادیده گرفته می‌شود.



V1: ولتاژ اولیّه
E1: ولتاژ القائی اولیّه
E2: ولتاژ القائی ثانویه
I0R1: افت ولتاژ بواسطه جریان I0
Øm: حداکثر مقدار شار مغناطیسی
I0: جریان بی باری اولیّه
Ic: جریان ناشی از تلفات هسته
Im: جریان مغناطیس کنندگی اولیّه
Cos Ø0: ضریب قدرت بی‌باری در سمت اولیّه
مقدار شار نشتی ناچیز است و در این رابطه حذف شده است.

شکل ۱-۱: شکل فازی ترانسفورماتورتکفاز، مدار باز با فرض نسبت دوریک به یک

از آنجا که ولتاژ اعمال شده به ترانسفورماتور سینوسی است: K برابر ۴/۴۴ بوده ورابطه ۱-۳ به رابطه زیر تبدیل می شود:

$$E = 4.44 f \Phi N$$

در محاسبات مربوط به طراحی ترانسفورماتور، ولت بر دور و چگالی شار در هسته، بیشتر از شار کل اهمیت داشته لذا می‌توان این کمیت‌ها را مطابق معادله ذیل نوشت:

$$E/N = 4.44 B_m A f \times 10^{-6} \qquad (۱-۴)$$

که در این معادله:
E/N : ولت بر دور که در هر دو سیم پیچ یکسان است.
Bm : حداکثر مقدار چگالی شار در هسته بر حسب تسلا
A : سطح مقطع هسته برحسب میلی متر مربع
f : فرکانس برحسب هرتز

حداکثر مقدار چگالی شار در هسته با توجه به نوع ورق هسته و شرایط بهره برداری ترانسفورماتور توسط طراح انتخاب می شود. سطح مقطع هسته با توجه به ابعاد استاندارد هسته ای که تولید کننده ترانسفورماتور مورد استفاده قرار می دهد انتخاب شده و فرکانس بر اساس سیستم شبکه برق‌رسانی مشخص می گردد. با مشخص شدن مقادیر این پارامترها می‌توان مقدار ولت بر دور را محاسبه نمود. با محاسبه ولت بر دور به آسانی می توان تعداد دورهای هر سیم پیچ را با در نظر گرفتن ولتاژ آن (ولتاژ اولیّه و ثانویه) محاسبه نمود.

۱-۳) راکتانس نشتی: امپدانس ترانسفورماتور

پیشتر ذکر شد که انتقال ولتاژ از اولیّه به ثانویه بصورت ایده آل نیست: اولاً

کل شار بوجود آمده در سیم پیچی اولیّه در سیم پیچی ثانویه القاء نمی شود، یا به عبارت دیگر می توان گفت در ترانسفورماتور یک راکتانس نشتی وجود دارد. طراحان اولیّه ترانسفورماتور راکتانس نشتی را بعنوان یک عیب تلقی کرده و تلاش داشتند که تا حد ممکن آنرا کاهش دهند. با افزایش ظرفیت و پیچیدگی سیستم‌های تولید، انتقال و توزیع برق، راکتانس نشتی (یا امپدانس ترانسفورماتور با لحاظ کردن مقاومت سیم پیچی) به عنوان عامل مهمی در محدود کردن جریان اتصال کوتاه تلقی شد. از دیدگاه طراحی پست، امپدانس ترانسفورماتور به صورت درصد افت ولتاژ (یا ولتاژ اتصال کوتاه) ترانسفورماتور در بار نامی تعریف می شود. به عنوان مثال امپدانس ده درصد بدین معنی است که افت ولتاژ در بار نامی، ده درصد ولتاژ در حالت مدار باز بوده یا به عبارت دیگر، با حذف سایر امپدانس‌های سیستم، ولتاژ سیستم معادل ده برابر افت ولتاژ (ولتاژ اتصال کوتاه) ترانسفورماتور می باشد. این رابطه در معادله ذیل نشان داده شده است:

$$V_z = \%Z = \frac{I_{FL} Z}{E} \times 100$$

که در این معادله:

$$Z = \sqrt{(R^2 + X^2)}$$

R و X به ترتیب مقاومت و راکتانس نشتی ترانسفورماتور و I_{FL} و E به ترتیب جریان بی باری و ولتاژ اتصال کوتاه اولیّه یا ثانویه سیم پیچ‌ها می‌باشند. R و X را نیز می توان به صورت درصد افت ولتاژ بیان نمود. طبیعتاً مقدار امپدانس درصد با افزایش توان ترانسفورماتور بیشتر می گردد. در یک ترانسفورماتور با توان نامی متوسط مقدار امپدانس درصد معمولاً بین ۹ تا ۱۰ درصد است. بعضاً برخی از ترانسفوماتورها به گونه ای طراحی می گردند که امپدانس درصدی حتی تا ۲۲/۵ درصد داشته باشند. در این خصوص در فصل آتی بیشتر صحبت خواهد شد.

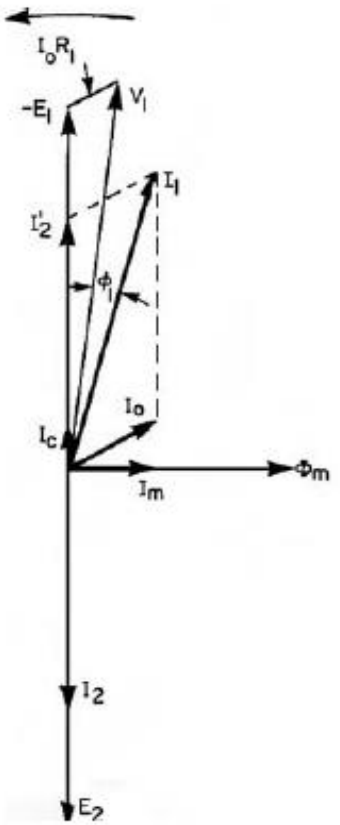
۱-۴) تلفات در هسته و سیم پیچی

ترانسفورماتور دارای تلفات است. جهت عبور شار از هسته و القاء مغناطیسی، به جریان مغناطیس کننده نیاز است که خود باعث ایجاد تلفات می گردد. این تلفات به سه گروه: تلفات هسته، تلفات بی باری و تلفات آهنی تقسیم می شوند. تلفات هسته زمانی بوجود می آید که ترانسفورماتور تحت ولتاژ قرار گیرد. ترانسفورماتور در حالت مدار باز (ثانویه) مانند یک سیم پیچ با اندوکتانس بالا عمل کرده که ضریب قدرتی معادل ۰/۱۵ پس فاز دارد. جریان بار در ثانویه ترانسفورماتور و نیروی محرکه مغناطیسی که ایجاد می کند موجب جریان و نیروی محرکه مغناطیسی معادلی در اولیّه می شود. این نشان می دهد که چرا تلفات آهنی مستقل از بار است.

عبور جریان در هر سیستم الکتریکی، با توجه به دامنه جریان و مقاومت سیستم، ایجاد تلفات می کند. سیم پیچ‌های ترانسفورماتور نیز از این قاعده مستثنا نمی باشد. عبور جریان از سیم پیچ تلفاتی را بوجود می آورد که تلفات بار یا تلفات مس نامیده می شود. از آنجا که مقدار جریان بی باری کوچک بوده و تلفات مقاومتی ناچیزی بوجود می آورد، می توان گفت تلفات بار تنها زمانی ایجاد می شود که ترانسفورماتور تحت بار باشد.

افت ولتاژ راکتیو و مقاومتی و شکل فازی

مجموع جریان در مدار اولیّه، مجموع فازی جریان بار اولیّه و جریان بی‌باری است. فعلاً با صرفنظر از افت ولتاژهای ناشی از مقاومت و راکتانس نشتی، شرایط را برای ترانسفورماتوری که بار غیر اندوکتیو تغذیه می نماید در شکل فازی شکل۱-۲ نشان داده ایم. اکنون افت ولتاژ ناشی از مقاومت و راکتانس نشتی سیم پیچ‌های ترانسفورماتور را که باید در ابتدا در نظر می‌گرفتیم ملاحظه نمایید که به تفکیک مشخص شده اند . مجموع اثر کلی آنها در ترمینال‌های ثانویه ظاهر شده است. افت مقاومتی در سیم پیچ اولیّه و ثانویه به راحتی تفکیک شده اند و برای هر سیم پیچ می توانند تعیین شوند. افت ولتاژ راکتیو که به دلیل مجموعه شار نشتی بین دو سیم پیچ است مستقیماً نمی تواند به دو مؤلفه تجزیه شود، همانگونه که نمی توان بین شار نشتی ناشی از سیم پیچ اولیّه و سیم پیچ ثانویه تفکیکی قائل شد، به همین دلیل به صورت قراردادی نیمی از شار نشتی را ناشی از سیم پیچ اولیه و نیم دیگر را ناشی از سیم‌پیچ دیگر تلقی نمود. شکل ۱-۳ رابطه فازی ترانسفورماتور تکفازی که یک بار اندوکتیو دارای ضریب توان ۰/۸ پس فاز را تغذیه می کند، نشان می دهد که در آن افت مقاومتی و راکتانس نشتی هر سیم پیچ مشخص شده است. در حقیقت مجموع اثر کلی، کاهش ولتاژ در ترمینال ثانویه است. افت ولتاژ مقاومتی و راکتانسی مربوط به سیم پیچ اولیّه به صورت افزایش در نیروی محرکه الکتریکی القا شده در سیم پیچ اولیّه در شکل ظاهر شده‌است.

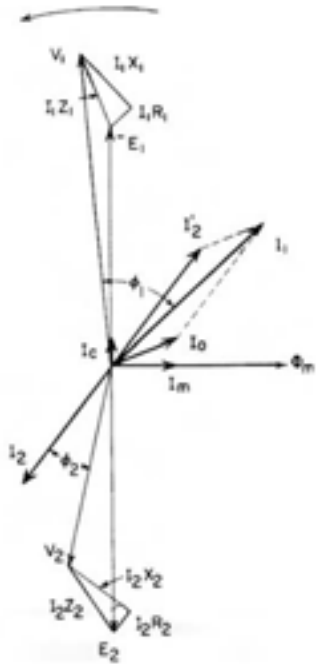


V_1 : ولتاژ ترمینال اولیّه
E_1 : نیروی محرکه الکتریکی القایی اولیّه
E_2 : نیروی محرکه الکتریکی القایی ثانویه
I_0R_1 :افت ولتاژ مقاومتی اولیّه ناشی از I_0
$Ø_m$: بیشینه مقدارشار مغناطیسی
I_0 : جریان بی باری اولیّه
I_c : جریان تلفات هسته اولیّه
I_m : جریان مغناطیس کننده اولیّه
I_2 : جریان بار ثانویه
I'_2 : مؤلفه بار کل جریان اولیّه
I_1: کل جریان اولیّه شامل$(I_0\ I'_2)$
Cos Ø : کل ضریب توان باراولیّه از افت ولتاژ صرف‌نظر شده است.

شکل ۱-۲: شکل فازی مربوط به یک ترانسفورماتور تک‌فاز که باری به ضریب توان یک را تغذیه می کنند نسبت دور ۱:۱ است.

شکل ۱-۴ شرایط فازی شکل ۱-۳ رادارد ولی افت ولتاژهای مقاومتی و راکتانسی طوری نشان داده شده اند که گویی در سمت ثانویه اتفاق می افتند. بدیهی است که ترانسفورماتور کاهنده باشد یا افزاینده، افت‌های ناشی از مقاومت و راکتانس نشتی همه بر مبنای ولتاژ ثانویه تبدیل شده اند ، بدین معنی که، افت ولتاژهای اولیّه به نسبت دور n تقسیم شده اند به عبارت دیگر درصد افت ولتاژهای در نظر گرفته شده برای هر سیم پیچ تغییری نمی یابد. هر دو حالت ترانسفورماتور کاهنده یا افزاینده، برای انتقال مقاومت R_1 یا راکتانس نشتی X_1 به سمت ثانویه لازم است هردو مقدار بر مربع نسبت تبدیل تقسیم شوند. انتقال امپدانس از یک سمت به سمت دیگر به شکل زیر انجام می شود.

V_1: ولتاژ ترمینال اولیّه
E_1 : نیروی محرکه الکتریکی القایی اولیّه
V_2 ولتاژ ترمینال ثانویه
E_2 : نیروی محرکه الکتیریکی القایی ثانویه
$I_1 R_1$: افت ولتاژ مقاومتی اولیّه
$I_1 X_1$: افت ولتاژ راکتانسی اولیّه
$I_1 Z_1$: افت ولتاژ امپدانسی اولیّه
$I_2 R_2$: افت ولتاژ مقاومتی ثانویه
$I_2 X_2$: افت ولتاژ راکتانس ثانویه
$I_2 Z_2$: افت ولتاژامپداس ثانویه
$Ø_m$: بیشینه مقدارشار مغناطیس
I_o : جریان بی باری اولیّه
I_c : جریان تلفات هسته اولیّه
I_m : جریان مغناطیس کننده اولیّه
I_2 : جریان بار ثانویه
I'_2 : مؤلفه بار کل جریان اولیّه
I_1: کل جریان اولیّه شامل $(I_0\ I'_2)$
$\cos Ø_2$: ضریب توان بار ثانویه
$\cos Ø_1$: کل ضریب توان بار اولیّه



شکل ۱-۳: شکل فازی مربوط به یک ترانسفورماتور تک فاز که یک بار اندوکیتو با ضریب توان $\cos Ø_2$ پس فاز را تغذیه می کند ، فرض شده است نسبت دورها ۱:۱ است. افت ولتاژ بین قسمت اولیّه و ثانویه تقسیم شده است.

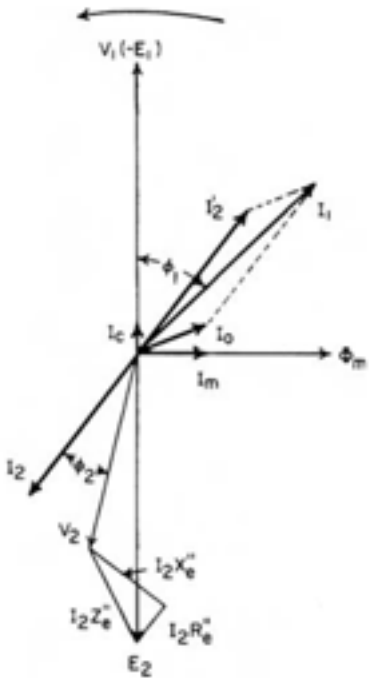
در نظر بگیرید :
Zs= امپدانس مجموع مدار ثانویه شامل مشخصه‌های بارو نشتی
Z's= مقدار معادل Zs وقتی که به سیم پیچ اولیّه برده می شود.
آنگاه

$$I'_2 = \frac{N_2}{N_1} I_2 = \frac{N_2}{N_1}\frac{E_2}{Z_s} \quad \text{and} \quad E_2 = \frac{N_2}{N_1} E_1$$

پس

$$I'_2 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \frac{E_1}{Z_s} \qquad (۱-۵)$$

V_1: ولتاژ ترمینال اولیّه
E_1 : نیروی محرکه الکتریکی القایی اولیّه
V_2: ولتاژ ترمینال ثانویه
E_2 : نیروی محرکه الکتیریکی القایی ثانویه
$I_2 R''_e$: مجموع افت ولتاژ مقاومتی
$I_2 X''_e$: مجموع افت ولتاژراکتانسی
$I_2 Z''_e$: مجموع افت ولتاژ امپداسی
$Ø_m$: پیشینه مقدار فشار مغناطیس
I_o : جریان بی باری اولیّه
I_c : جریان تلفات هسته اولیّه
I_m : جریان مغناطیس کننده اولیّه
I_2 : جریان بار ثانویه
I'_2 : مؤلفه بار کل جریان اولیّه
I_1: کل جریان اولیّه شامل $(I_0\ I'_2)$
$\cos Ø_2$: ضریب توان بار ثانویه
$\cos Ø_1$: کل ضریب توان بار اولیّه



شکل ۱-۴: شکل فازی مربوط به یک ترانسفورماتور تک فاز که یک بار اندوکیتو با ضریب توان $\cos Ø_2$ پس فاز را تغذیه می کند. فرض شده نسبت دور ۱:۱ است، افت ولتاژها به سمت ثانویه منتقل شده است.

همچنین

$$V_1 = E_1 + I'_2 Z_1$$

که

$$E_1 = I'_2 Z'_s$$

وبنابراین

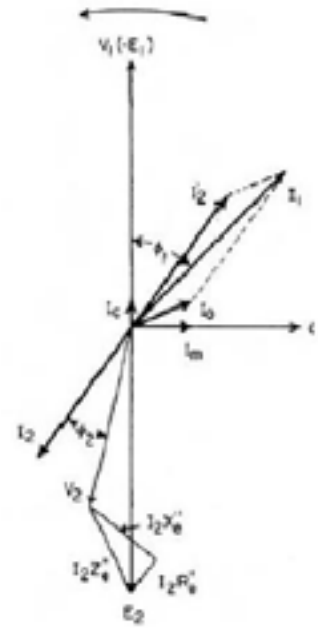
$$I'_2 = E_1 / Z'_s \qquad (۱-۶)$$

با مقایسه معادلات (۱-۵) و (۱-۶) خواهیم داشت

$$Z'_s = Z_s (N_1/N_2)^2$$

امپدانس معادل با ضرب امپدانس واقعی سیم پیچ سمت ثانویه در توان دوم نسبت دورN یعنی $(N_1/N_2)^2$ بدست می‌آید. این امر برای راکتانس نشتی و مقاومت سیم پیچ ثانویه و همچنین راکتانس و مقاومت بار خارجی هم صادق است.

V_1: ولتاژ ترمینال اولیّه
E_1 : نیروی محرکه الکتریکی القایی اولیّه
V_2: ولتاژ ترمینال ثانویه
E_2 : نیروی محرکه الکتیریکی القایی ثانویه
$I_2 R''_e$: مجموع افت ولتاژ مقاومتی
$I_2 X''_e$: مجموع افت ولتاژراکتانسی
$I_2 Z''_e$: مجموع افت ولتاژ امپداسی
$Ø_m$: پیشینه مقدار فشار مغناطیس
I_0 : جریان بی باری اولیّه
I_c : جریان تلفات هسته اولیّه
I_m : جریان مغناطیس کننده اولیّه
I_2 : جریان بار ثانویه
I'_2 : مؤلفه بار کل جریان اولیّه
I_1: کل جریان اولیّه شامل(I_0 I'_2)
$Cos Ø_2$: ضریب توان بار ثانویه
$Cos Ø_1$: کل ضریب توان بار اولیّه



شکل ۱-۵ شکل فازی مربوط به یک ترانسفورماتور تک فاز که یک بار خازنی با ضریب توان پیش فاز $Cos Ø_2$ را تغذیه می کند فرض شده نسبت دور ۱: ۱ است. افت ولتاژها به سمت ثانویه منتقل شده است.

شکل ۱-۵ این موضوع جالب توجه را نشان می دهد که وقتی بار به اندازه کافی ضریب توان پیش فاز دارد. ولتاژ ترمینال ثانویه به جای کاهش افزایش می یابد. هنگامی که جریان پیش فازی از یک راکتانس اندوکیتو عبور می‌کند چنین اتفاقی می افتد.
شکل‌های قبلی برای ترانسفورماتور تک فاز کشیده شده اند ولی تا موقعی که شرایط فازها آن گونه که نشان داده شده اند باشد، قابل اعمال به یک ترانسفورماتور چند فاز هستند. به طور مثال شکل ۱-۶ شکل فازی کامل یک ترانسفورماتور ستاره ـ ستاره را نشان می دهد و دیده خواهد شدکه این شکل تکرار سه گانه شکل ۱-۴ است و بردارهای فاز اولیّه و ثانویه دقیقاً مثل شکل ۱-۴ است ولی سه مجموعه ای که نشان دهنده سه فازند با همدیگر۱۲۰° اختلاف فاز دارد.

۱-۵) مقادیر نامی

خروجی یک ترانسفورماتور قدرت عموماً به مگاولت آمپر (MVA) بیان می‌شود، هرچند برای ترانسفورماتورهای توزیع بیان آن به کیلوولت آمپر (KVA) مناسب تر است و توضیحات مبنایی برای اینها، با فرض توابع سینوسی به شرح زیر است.

ترانسفورماتورهای تک‌فاز

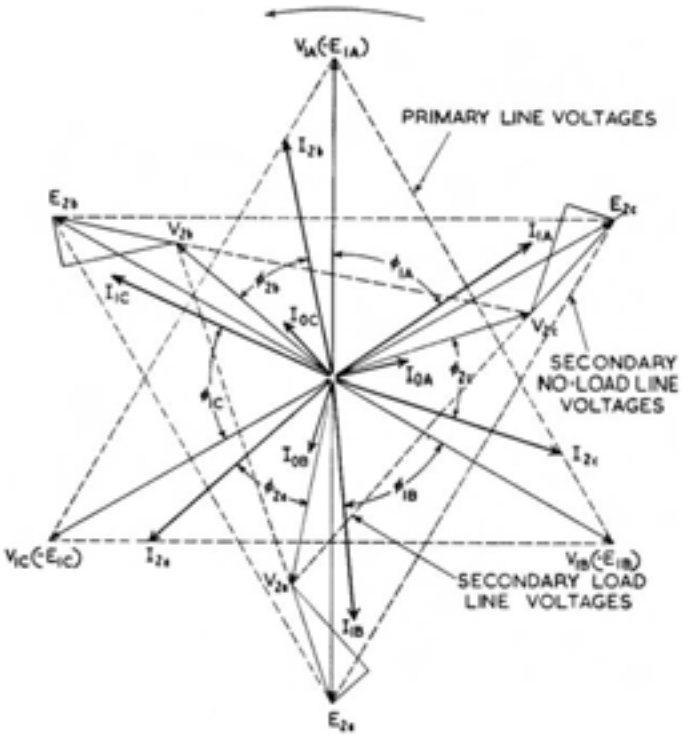
$$\text{خروجی} = E_1 I_1 \times \begin{cases} ۱۰^{-۳} & \text{برای } KVA \\ ۱۰^{-۶} & \text{برای } MVA \end{cases}$$

ترانسفورماتورهای سه‌فاز

$$\text{خروجی} = E_1 I_1 \times \sqrt{۳} \times \begin{cases} ۱۰^{-۳} & \text{برای } KVA \\ ۱۰^{-۶} & \text{برای } MVA \end{cases}$$

رابطه بین جریان‌های فاز و خط جریان و ولتاژ برای اتصالات ستاره و مثلث سیم پیچ‌ها مطابق زیر است:

نشان دهنده ولتاژ است به ولتاژ خط بین ترمینال‌های ترانسفورماتور اشاره می کند. عدد $\sqrt{۳}$ ، با درنظر گرفتن جابجایی زاویه ای فازها، در حالت اتصال ستاره سیم پیچ ترانسفورماتور ضریبی برای ولتاژ فاز است تا ولتاژ خط بدست آید و در حالت اتصال مثلث ضریبی برای جریان فاز است تا جریان خط بدست آید.
همچنین خروجی نامی حاصلضرب ولتاژ ثانویه (بی باری) E_2 در جریان خروجی بار کامل است هرچند که واقعاً این چنین نیست در حقیقت همزمان (یا در حالت ترانسفورماتور چند فازه با فاکتور فازی مناسب و مقدار ثابتی که بستگی به دامنه آحاد بکار رفته دارد) باید ضرب شود. باید توجه شود که ولتاژهای نامی اولیّه و ثانویه در بی باری همزمان ظاهر میشوند.



شکل ۱-۶ شکل فازی برای یک ترانسفورماتور سه فاز به یک بار اندوکتیو با ضریب توان $Cos Ø_2$ تغذیه می کند. فرض شده نسبت دور ۱:۱است. افت ولتاژها به سمت ثانویه برده شده‌است. نشانه‌ها همان گونه اند که در شکل۱-۴ تعریف شده اند به علاوه اندیس‌های C,B,A نشان‌دهنده بردارهای فازی اولیّه و اندیس‌های c.b.a بردارهای فازی ثانویه اند.

ترانسفورماتورهای تک‌فاز

$$\text{خروجی} = ۴/۴۴ \times f \times Ø_m \times NI \times \begin{cases} ۱۰^{-۳} & \text{برای } KVA \\ ۱۰^{-۶} & \text{برای } MVA \end{cases}$$

ترانسفورماتورهای سه فاز

$$\text{خروجی} = ۴.۴۴ \times f \times Ø_m \times NI \times \sqrt{۳} \times \begin{cases} ۱۰^{-۳} & \text{برای } KVA \\ ۱۰^{-۶} & \text{برای } MVA \end{cases}$$

در عبارت مربوط به ترانسفورماتورهای تک فاز، I جریان بار کامل در سیم پیچ‌های ترانسفورماتور و خط است و در ترانسفورماتورهای سه فاز، I جریان بار کامل در هر خط متصل به ترانسفورماتور است . آن بخشی از عبارت که

اتصال ستاره سه فاز

$$I = \frac{VA}{(E\times\sqrt{3})} \quad \text{جریان فاز= جریان خط}$$

$$\frac{E}{\sqrt{3}} = \text{ولتاژ فاز}$$

اتصال مثلث سه فاز

$$\text{جریان فاز} = \frac{I}{\sqrt{3}} = \frac{VA}{E\times 3}$$

$$\text{ولتاژخط} = \text{ولتاژ فاز} = E$$

$$\text{جریان و ولتاژ خط} = E, I$$

۱-۶) رگولاسیون

رگولاسیون در ترمینال‌های ثانویه یک ترانسفورماتور در حالتی که بار تغذیه می شود. آن گونه که پیش از این بیان شد به خاطر افت ولتاژ مقاومتی و راکتانسی روی سیم پیچ ترانسفورماتور صورت می پذیرد. این دو افت ولتاژ با هم در یک ربع هستند. افت مقاومتی با جریان بار هم فاز است. در صد رگولاسیون در ضریب توان یک مطابق عبارت زیر بیان می‌گردد.

$$\frac{\text{تلفات مس} \times ۱۰۰}{\text{خروجی}} + \frac{(\text{درصد راکتانس})^2}{۲۰۰}$$

این مقدار همیشه ثابت بوده و افت ولتاژ حاصل از بار را نشان می‌دهد.
مقدار تقریبی در صد رگولاسیون برای جریان فاز ثابتی به میزان a برابر جریان بار کامل و ضریب توان توسط عبارت زیر بیان می گردد:

$$\text{درصد رگولاسیون} = a(V_R\cos\emptyset_r + V_X\sin\emptyset_r) + \frac{a^2}{۲۰۰}(V_R\cos\emptyset_r - V_R\sin\emptyset_r)^2 \quad (۱-۷)$$

که در آن:

$$V_R \text{ درصد ولتاژ مقاومتی دربار کامل} = \frac{\text{تلفات مس} \times ۱۰۰}{\text{نامی } KVA}$$

$$V_X \text{ درصد ولتاژ راکتانسی} = \frac{I_r \times X_e''}{V_r} \times ۱۰۰$$

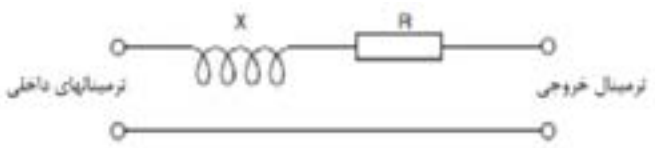
معادله (۱-۷) برای ترانسفورماتورهایی که عملاً مورد بهره برداری قرار می‌گیرند به اندازه کافی دقیق است، برای ترانسفورماتورهایی که مقدار راکتانس آنها تا حدود ۴ درصد است ساده سازی بیشتری با استفاده از عبارت زیر صورت می‌پذیرد.

$$\text{درصد تنظیم} = a(V_R\cos\emptyset_r + V_X\sin\emptyset_r) \quad (۱-۸)$$

و برای ترانسفورماتورهای با مقادیر راکتانس بالاتر، مثلاً ۲۰ درصد یا بیشتر، برخی اوقات لازم است که یک عبارت اضافی مطابق زیر داشته باشیم

$$\text{درصد تنظیم} = a(V_R\cos\emptyset_r + V_X\sin\emptyset_r) + \frac{a^2}{۲\times۱۰^2}\times(V_X\cos\emptyset_r - V_R\sin\emptyset_r)^2 + \frac{a^3}{۶\times۱۰^4}\times(V_X\cos\emptyset_r - V_R\sin\emptyset_r)^3 \quad (۱-۹)$$

رگولاسیون در بارهای با ضریب توان پایین در حالتی که راکتانس زیاد باشد و با درنظر گرفتن اینکه با توجه به رابطه فازی در چه ربعی قرار گرفته است، می تواند منجر به عواقب جدی شود.
تلفات مس در عبارت بالا برحسب کیلو وات است. رابطه رگولاسیون از یک مدار معادل ساده که در شکل ۱-۷ نشان داده شده استنتاج شده است که در آن یک راکتانس نشستی ساده با یک مقاومت بین ترمینال های ورودی و خروجی سری شده است. مقادیر نشان داده شده در معادلات فوق الذکر به صورت منتقل شده به سمت ثانویه هستند ولی می توان آنها را به صورت منتقل شده به سمت اولیّه نیز بیان نمود



شکل ۱-۷ مدار معادل ساده شده امپدانس نشتی ترانسفورماتور دو سیم پیچه

از آنجا که عبارت دوم معادله ناچیز است در اغلب اوقات می توانیم رگولاسیون را به خصوص در مواردی که امپدانس در حدود ۴ درصد یا ضریب توان حدود ۰/۹ یا بیشتر است، برابر با مقدار عبارت اول در نظر بگیریم که به اندازه کافی دقیق است.
Vx می‌تواند به صورت تئوریک محاسبه شود (که در فصل دوم شرح داده‌خواهدشد) یا از امپدانس تست شده واقعی و تلفات ترانسفورماتور بدست آید. باید توجه‌شود که درصد مقاومت استفاده‌شده، مقداری است که از تلفات ترانسفورماتور بدست می آید و در آن تلفات جریان گردابی و تلفات پراکندگی داخل ترانسفورماتور لحاظ شده است. برخی اوقات به این مقاومت، مقاومت جریان متناوب می‌گویند، تا از مقداری که توسط عبور جریان مستقیم از سیم پیچ اندازه گیری می‌شود و از اندازه‌گیری افت ولتاژ متمایز باشد.
(به فصل پنجم: آزمونهای ترانسفورماتور مراجعه شود)

در شماره آتی، فصل دوم کتاب با عنوان «اصول طراحی ترانسفورماتور» چاپ خواهد شد.

کتاب راهنمای جامع سرویس و نگهداری ترانسفورماتور (ABB Service Handbook forTransformers)

مترجم: مهندس نیما آجودانی/ شرکت متانیر

پیشگفتار

این کتاب در سال ۲۰۰۶ توسط شرکت ABB و با مشارکت بیش از ۵۵ نویسنده متخصص در مسائل مختلف ترانسفورماتور از ۱۳ کشور، تدوین و چاپ شد. با وجودیکه پیش از این کتاب نیز استانداردها و دستورالعملهای بسیاری در رابطه با مسائل مختلف بهره برداری ترانسفورماتور در دسترس بود، لیکن کمتر این مراجع باهم توافق داشته و اکثراً براساس تجربه نویسندگان در خصوص ترانسفورماتورهای تولیدی یک سازنده یا ترانسفورماتورهای مورد بهره برداری در یک منطقه جغرافیایی خاص تدوین شده است. آنچه که شرکت ABB موفق به انجام آن در این کتاب شده است، یکپارچه سازی اطلاعات موجود در استانداردها و دستورالعملهای مختلف، افزودن تجربه و دانش فنی پرسنل متخصص این شرکت و ارائه یک برنامه جامع عملی در خصوص سرویس، نگهداری و تعمیرات ترانسفورماتورهاست که نه تنها برروی ترانسفورماتورهای تولیدی ABB بلکه برروی کلیه ترانسفورماتورهای مورد بهره برداری قابل پیاده‌سازی است.

فصول کتاب به قرار ذیل می باشند:

۱) ملاحظات طراحی ترانسفورماتور
۲) رویکرد عملی در ارزیابی ریسک وقوع خطا در ترانسفورماتور
۳) عیب یابی ترانسفورماتور
۴) سیستمهای پایش وضعیت online ترانسفورماتور و تجهیزات جانبی مهم
۵) سرویس و نگهداری پیشگیرانه
۶) تعمیرات در کارگاه و سایت و بازسازی ترانسفورماتور
۷) ملاحظات زیست محیطی
۸) بررسی مسائل اقتصادی در سرویس و نگهداری ترانسفورماتور

با توجه به اینکه بیشتر مطالب فصل اول در کتاب J&P که در همین فصلنامه منتشر می شود ذکر شده است، از تکرار آن در اینجا خودداری شده و کتاب از فصل دوم به بعد در اختیار علاقه مندان قرار می گیرد.

مقدمه

هدف از تدوین این کتاب، ارائه راهنمایی مرجع، جامع، منطبق با استانداردهای ANSI/IEEE و IEC و به زبان ساده برای سرویس و نگهداری مناسب از کلیه ترانسفورماتورها می باشد. گرچه اطلاعات مربوط به سرویس و نگهداری ترانسفورماتور به وفور در صنعت وجود دارد، لیکن این موارد در مجلات، بروشورها و کتابهایی چاپ شده اند که کمتر شناخته شده، یا در دسترس عموم قرار ندارد. آنچه که ما، نویسندگان این کتاب، بدنبال آن بودیم، جمع آوری،

خلاصه سازی و ارائه کلیه اطلاعات مفید مربوط به سرویس و نگهداری ترانسفورماتور بصورت خلاصه بود که بعنوان دستورالعمل مرجع مورد استفاده همه بهره برداران ترانسفورماتور قرار گیرد. (البته لازم به ذکر است که در خصوص هر ترانسفورماتور، دستورالعمل تدوین شده توسط سازنده همان تجهیز بر این کتاب مقدم است). ما تلاش نموده ایم اطلاعات جمع آوری شده از منابع مختلف را با دانش طراحی و سرویس و نگهداری ترانسفورماتور که در طول سالهای متمادی در شرکت ABB وجود داشته است ترکیب نموده و در اختیار بهره برداران ترانسفورماتور قرار دهیم. این کتاب همچنین می تواند بعنوان منبع آموزشی مورد استفاده دانشجویان علاقه مند به آشنایی با مباحث سرویس و نگهداری از ترانسفورماتور قرار گیرد. رویکرد ما در نگارش این کتاب، ارائه مطالب تئوریک در خصوص روشهای سرویس و نگهداری ترانسفورماتور نبوده بلکه هدف اصلی، آشنا نمودن بهره برداران این تجهیز با دلایل انجام برخی

آزمونها و در برخی از موارد نحوه تحلیل نتایج می باشد. علاقه مندان به مباحث تئوریک در خصوص ترانسفورماتور می توانند به سه کتاب تدوین شده توسط شرکت ABB در این زمینه[1] مراجعه نمایند.

بخشهای مختلف کتاب بدین صورت تدوین شده است:
در فصل اول به منظور آشنا نمودن بهره بردار با اجزاء مختلف ترانسفورماتور که نیاز به سرویس و نگهداری دارد، در خصوص طراحی ترانسفورماتور بحث شده‌است. شناسائی وضعیت کلیه ترانسفورماتورهای مورد بهره برداری یک مجتمع، به منظور اتخاذ یک تصمیم آگاهانه در خصوص سرویس و نگهداری، تعمیرات یا جایگزینی تجهیزات بسیار ضروری است. از اینرو در فصل دوم موضوع مدیریت /ارزیابی ریسک ترانسفورماتور مورد بررسی قرارگرفته و روش مورد استفاده در شرکت ABB جهت ارزیابی ریسک معرفی شده است. با اعمال این روش برروی کلیه ترانسفورماتورهای مورد بهره برداری یک مجتمع می توان آن دسته از ترانسفورماتورها که نیاز به توجه بیشتر دارند را شناسائی نمود. روش معرفی شده در این فصل به بهره بردار این امکان را می دهد که سیستم سرویس و نگهداری براساس وضعیت را جایگزین سیستم سرویس و نگهداری براساس زمان نماید. این روش بصورت موفقیت آمیز در بسیاری از شرکتهای بهره بردار ترانسفورماتور (در شبکه برق رسانی یا صنایع بزرگ) در سراسر دنیا پیاده سازی شده و نتیجه آن بهبود قابلیت اطمینان ترانسفورماتورهای مورد بهره برداری و تمرکز هزینه ها در مواردی است که بیشترین بازدهی را داشته‌باشد. در فصل سوم ارزیابی وضعیت و روشهای شناسائی عیوب ترانسفورماتور معرفی شده است. فصول چهارم، پنجم و ششم به روشهای انجام آزمون و تحلیل نتایج و همچنین تعمیرات ترانسفورماتور در کارگاه یا در سایت اختصاص یافته است. فصل هفتم ملاحظات زیست محیطی مربوط به ترانسفورماتور و فصل هشتم مسائل اقتصادی مربوط به سرویس و نگهداری را تشریح می نماید.

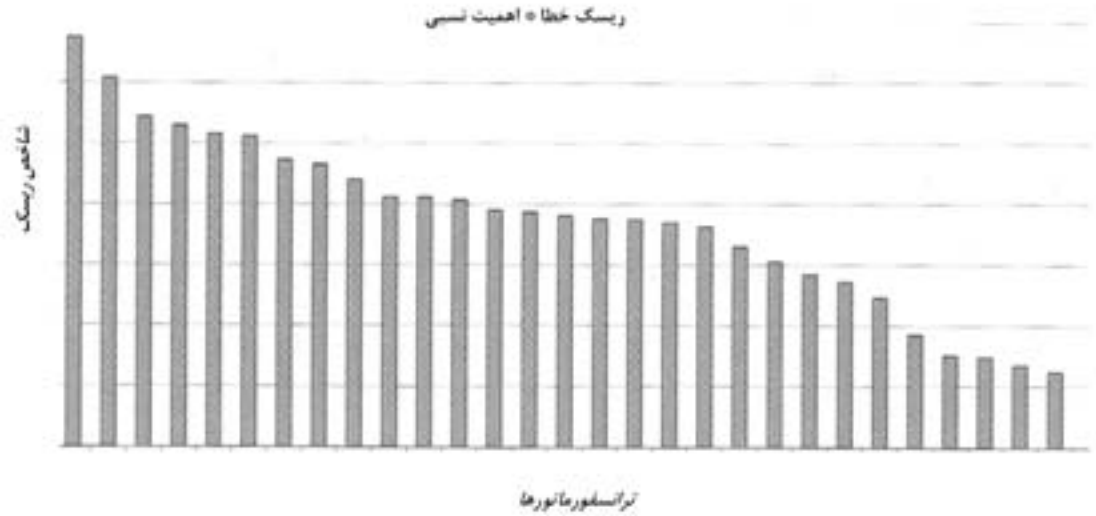
فصل دوم: رویکرد عملی در ارزیابی ریسک وقوع خطا در ترانسفورماتور

۲-۱- مقدمه

ارزیابی ریسک یکی از مهمترین مباحث عیب یابی ترانسفورماتور بوده که به برنامه ریزی برای انجام برخی اقدامات فنی و اقتصادی منجر می شود، به این معنی که چگونه سرمایه ای به نام ترانسفورماتور را باتوجه به منابع موجود مدیریت نماییم. اهمیت و الزامات این برنامه ریزی راهبردی در جای دیگری از این کتاب شرح داده خواهد شد. لیکن بطور خلاصه باید گفت مسئله مدیریت ریسک ترانسفورماتور به ناسازگاری ذاتی بین تمایل به بهره برداری از ترانسفورماتور با کمترین هزینه ممکن و الزامات مورد نیاز جهت تامین حداقل قابلیت اطمینان مورد انتظار از این تجهیز باز می گردد. از جمله پیامدهای تمایل روز افزون به بهره برداری با کمترین هزینه ممکن، افزایش بارگیری از ترانسفورماتور در مدت زمان طولانی تر همزمان با کاهش هزینه‌های مربوط به سرویس و نگهداری بوده است. از سوی دیگر عمر بهره‌برداری ترانسفورماتورها در حال افزایش بوده و بالطبع خطر از سرویس خارج شدن آنها نیز بیشتر شده است. در اکثر کشورهای غربی متوسط عمر ترانسفورماتورها در حدود ۳۰ الی ۴۰ سال است که در این سن احتمال بروز خطا در ترانسفورماتور افزایش می‌یابد.
با افزایش میانگین عمر ترانسفورماتورهای موجود در شبکه، شناسائی عواملی که ریسک وقوع خطا را افزایش می دهند، بسیار مهم است. درصورت شناسائی این عوامل می‌توان احتمال وقوع خطا برای تک تک ترانسفورماتورهای مورد بهره برداری در یک مجتمع را تعیین نمود. این اطلاعات به شرکت بهره بردار اجازه می دهد تا برای انجام عملیاتی مانند تعمیرات کلی یا جزئی ، بهسازی یا تعویض ترانسفورماتور برنامه ریزی نماید.
در این فصل عوامل موثر در تعیین ریسک ترانسفورماتور مانند شاخصهای ارزیابی وضعیت، ویژگیهای طراحی و ساخت و مشخصه‌های بهره برداری ترانسفورماتور که با استفاده از آنها می توان احتمال وقوع خطا را برای هر ترانسفورماتور شناسائی نمود، مورد بحث و بررسی قرار می گیرد. با استفاده از این عوامل و همچنین ضریب اهمیت نسبی هر دستگاه در کل

---

۱. سه کتاب مورد اشاره به قرار ذیل می باشند:
Transformer Handbook
Testing of power transformers
Short circuite duty of power transformers



شکل ۲-۱: شاخص ریسک برای یک گروه ترانسفورماتور

شبکه مورد بهره‌برداری قادر خواهیم بود استراتژی مناسبی برای اولویت‌بندی ترانسفورماتورها طراحی نمائیم.

۲-۲- فرآیند مدیریت عمر

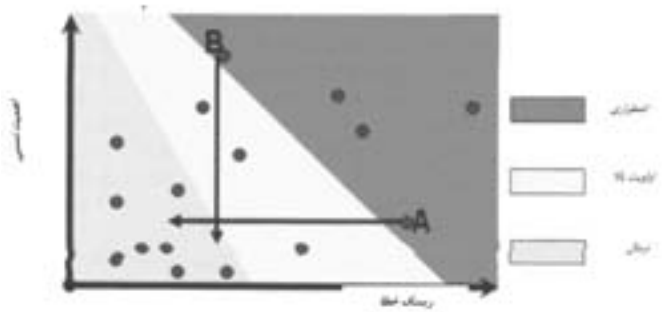
ارزیابی ریسک بخشی از فرآیند کلی مدیریت عمر ترانسفورماتور است. این فرآیند شامل موارد ذیل می باشد:

۱) فرآیند غربالگری کلیه ترانسفورماتورهای مورد بهره برداری یک مجتمع برای مشخص نمودن دستگاههایی که نیاز به بررسی دقیق تر دارند.

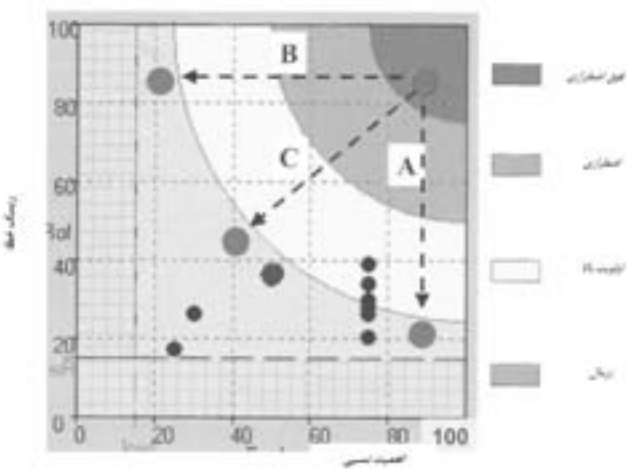
۲) ارزیابی وضعیت طراحی و بهره برداری ترانسفورماتور

۳) اتخاذ تصمیم و اجرای آن (افزایش عمر قابل بهره برداری با بهسازی، جابجائی، جایگزینی و ...)

ارزیابی ریسک در مرحله غربالگری مورد استفاده قرار گرفته و هدف از آن امتیاز دهی به ترانسفورماتور با توجه به ریسک آن است. این فرآیند، اولویت بندی ترانسفورماتورهایی که نیاز به اقدامات اصلاحی (مانند ارزیابی وضعیت و عیب یابی، بازرسی داخلی، تعمیر یا جایگزینی) دارند را ممکن می سازد. مزیت دیگر ارزیابی ریسک اینست که از نتایج آن می‌توان برای تخمین ریسک وقوع خطا برای هر ترانسفورماتور استفاده نمود.



شکل ۲-۲: مدیریت ریسک جهت شناسائی ترانسفورماتورهای در معرض خطر



شکل ۲-۳: نمودار شناسائی ریسک

۲-۲-۱- ارزیابی ریسک

ریسک متضمن دو معناست: شناسائی احتمال وقوع یک رویداد (مثلا خطا) در یک بازه زمانی و ارزیابی پیامدهای وقوع آن. احتمال وقوع خطا در حقیقت پیش بینی نرخ وقوع خطا بوده که به عوامل مختلف فنی چون طراحی، سرویس، نگهداری و عیب یابی بستگی دارد. پیامدهای وقوع خطا بستگی به شدت حادثه داشته و از لحاظ اقتصادی با توجه به هزینه‌های مربوط به عدم تامین برق، هزینه تعمیر ترانسفورماتور و ... تعیین می‌گردد.

به منظور تخمین "صحیح" نرخ وقوع خطا از توزیع‌های نرمال آماری استفاده می‌شود. در رویکرد ABB به غربالگری ترانسفورماتورهای یک مجتمع، هر دو مولفه فوق الذکر لحاظ شده است. هرچند نمود عینی این مولفه‌ها بسیار پیچیده بوده و تعیین مقدار دقیق آنها کار دشواری است. از اینرو در گام اول از عوامل نسبی برای شناسائی عوامل اصلی استفاده می گردد. بعنوان مثال ریسک فنی را می توان معادل نرخ وقوع خطا فرض کرد یا اهمیت نسبی یا اقتصادی نیز جمع تاثیرات منفی خروج ترانسفورماتور از مدار است. نتیجه ارزیابی ترکیبی ریسک فنی و اهمیت نسبی در بررسیهای مدیریت ریسک معمولاً به یکی از دو روش ذیل ارائه می شود:

- بعنوان شاخص ریسک که حاصلضرب ریسک فنی و اهمیت نسبی است (شکل ۲-۱)
- بصورت نمودار دو بعدی که محورهای آن ریسک فنی و اهمیت نسبی ترانسفورماتور در شبکه مورد بهره برداری است. (مانند اشکال ۲-۲ و ۲-۳)

بهتر است از مقدار واقعی احتمال وقوع خطا بعنوان ریسک فنی و جمع هزینه‌های واقعی بعنوان اهمیت نسبی در این نمودار استفاده نمود، هرچند همانطور که ذکر شد محاسبه دقیق این پارامترها بسیار مشکل می باشد.

شاخص ریسک نشان دهنده هزینه‌های مورد انتظار در صورت وقوع خطا در ترانسفورماتور تحت بررسی است. در شکل ۲-۱، شاخص ریسک، عواقب اقتصادی در صورت بروز خطا برروی هریک از ترانسفورماتورهای مورد بهره برداری یک مجتمع را نشان می دهد. در این شکل تفاوت بین ترانسفورماتورها کاملا مشهود است.

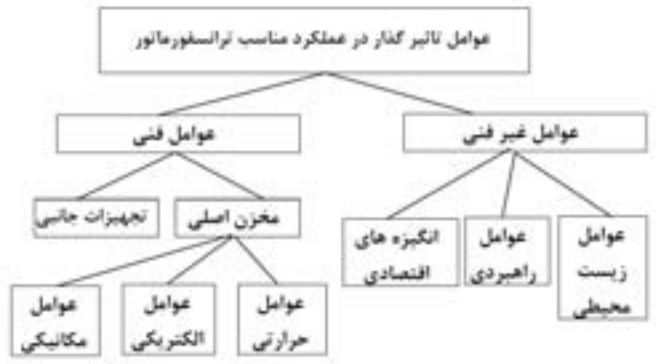
استفاده از یک نمودار دو بعدی روش بهتری برای نشان دادن نتایج ارزیابی ریسک است. دو نمودار ۲-۲ و ۲-۳ نتایج تحلیلهای صورت گرفته برروی دو گروه از ترانسفورماتورهای مورد بهره برداری در دو مجتمع مختلف با ریسک خطا و اهمیت نسبی متفاوت را نشان می دهد. در این نمودارها، هریک از ترانسفورماتورها یک ریسک خطا و یک اهمیت نسبی مشخص داشته که با توجه به آنها موقعیت این تجهیز در نمودار مدیریت ریسک تعیین می‌گردد. آن دسته از ترانسفورماتورها که در ناحیه قرمز قرار می گیرند، ریسک خطای بالایی داشته و در عین حال اهمیت نسبی زیادی نیز در شبکه دارند. این دسته را بعنوان وضعیت فوق اضطراری یا اضطراری طبقه بندی می کنیم که نیاز به اقدام فوری دارند. گروه دیگری از ترانسفورماتورها در ناحیه زرد قرار می‌گیرند و اقدام اصلاحی در خصوص آنها پس از رسیدگی به ترانسفورماتورهای ناحیه قرمز ضروری است. سایر ترانسفورماتورها در وضعیت نرمال بوده و نیاز به انجام اقدام اصلاحی، بجز عملیات سرویس و نگهداری پایه، در خصوص آنها ضرورت ندارد. مگرآنکه ریسک وقوع خطا یا اهمیت نسبی آنها در شبکه افزایش یافته به گونه ای که آنها را در ناحیه قرمز یا زرد قرار دهد.

هدف از انجام مدیریت ریسک، کاهش ریسک بهره برداری از ترانسفورماتور است. بعنوان مثال ترانسفورماتور را می توان با کاهش مقدار ریسک خطا از وضعیت قرمز به وضعیت نرمال منتقل نمود. (مسیر خط A در نمودارهای ۲-۲ و ۲-۳). فرآیند کاهش ریسک مورد انتظار با انجام مطالعات ارزیابی وضعیت و عمرسنجی به منظور کاهش احتمال بروز خطا آغاز می گردد. در طی این فرآیند برخی از پیش فرضهایی که به محاسبه ریسک بروز خطا منجر شده بود، مورد بازنگری قرار می گیرد. روشهای عملی کاهش ریسک خطا عبارتند از: بهسازی ترانسفورماتور و تجهیزات جانبی، انتقال ترانسفورماتور به نقاطی از شبکه که خطای کمتری در فیدر تغذیه آن وجود دارد یا بهبود سیستم حفاظتی

ترانسفورماتور .
استراتژی دیگر در مدیریت ریسک، کاهش اهمیت نسبی ترانسفورماتور (مسیر خط B در نمودارهای ۲-۲ و ۲-۳) با انتقال آن به محل با اهمیت کمتر از دیدگاه شبکه، موازی نمودن آن با یک ترانسفورماتور رزرو جهت کاهش اثرات خطای احتمالی و ... می باشد.
همچنین می توان از هر دو روش بطور همزمان جهت کاهش ریسک خطا و اهمیت ترانسفورماتور در شبکه مورد بهره برداری استفاده نمود. (مسیر خط C در نمودار ۲-۳)

۲-۲-۲ تشریح فرآیند ارزیابی

فرآیند ارزیابی ریسک بر پارامتری با نام وضعیت مناسب عملکردی ترانسفورماتور یا به عبارت دیگر مناسب بودن ترانسفورماتور برای استفاده متمرکز است. ما در اینجا به عوامل مختلفی که ممکن است وضعیت عملکرد ترانسفورماتور را به خطر بیاندازند اشاره خواهیم کرد.
عوامل فنی نه تنها شامل عوامل تاثیر گذار بر کاهش عمر عایق کاغذی است بلکه در برگیرنده مواردی چون استقامت در برابر اتصال کوتاه، یکپارچگی شبکه، تخریب حرارتی و خطاهای تجهیزات جانبی ترانسفورماتور نیز می‌باشد. عواملی که ذکر شد در حقیقت به موقعیتهایی مرتبط است که می‌تواند بطور بالقوه برای عملکرد ترانسفورماتور خطرناک باشند.
همانگونه که در شکل ۲-۴ مشاهده می شود، چهار عامل در تعیین ریسک خطای هر ترانسفورماتور دخیل می باشد:
– عوامل مکانیکی: این پارامتر به ریسک خطا به علت اتصال کوتاه بازمی گردد که تابعی از عواملی چون استقامت بوبینها و ساختار پرس ترانسفورماتور در برابر اتصال کوتاه و شدت اتصال کوتاه در شبکه می باشد.
– عوامل حرارتی: این پارامتر به شرایط حرارتی سیم پیچ بازمی گردد که تابعی از وضعیت عایق کاغذی است. سیستم عایقی پیر و شکننده تحمل کمتری در برابر تنشهای مکانیکی دارد. همچنین قطعات فلزی در درجه حرارت بالا ممکن است برای ترانسفورماتور خطرناک باشند.

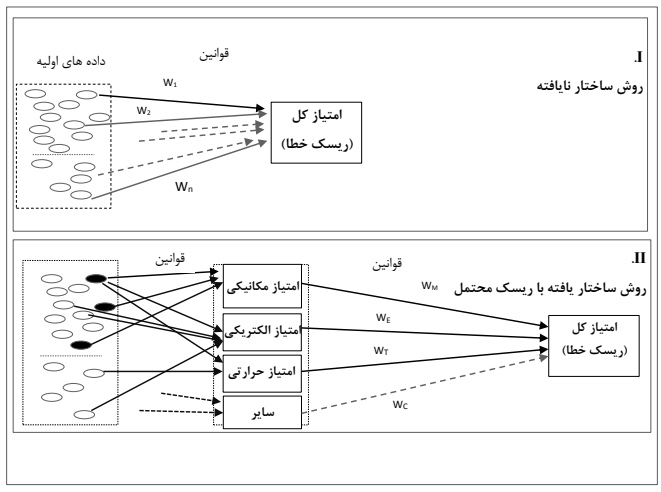


شکل ۲-۴: ابعاد مختلف ارزیابی وضعیت ترانسفورماتور

– عوامل الکتریکی: این پارامتر به ریسک خطای عایقی بازمی گردد و تابعی از استقامت دی الکتریک سیستم عایقی (کاغذ، روغن و ...) و تنشهای الکتریکی تحمیل شده به ترانسفورماتور از سمت شبکه می باشد.
– خطای تجهیزات جانبی: خطای تجهیزات جانبی ترانسفورماتور مانند بوشینگ، تپ چنجر، پمپ و ... که ممکن است باعث خروج ترانسفورماتور از مدار شود.
هریک از این عوامل بطور کامل در بند ۲-۳ تشریح خواهد شد. به منظور تعیین نتایج یا اهمیت خطا، ضریب هزینه‌های مختلف (هزینه‌های مربوط به خاموشی و ...) می بایست توسط بهره بردار تخمین زده شود. معمولاً بهره برداران به ترانسفورماتورهای خود برحسب اهمیت نسبی در شبکه، امتیازی بین ۰ تا ۱۰ یا ۰ تا ۱۰۰ می دهند.

۲-۲-۳ فرآیند ارزیابی

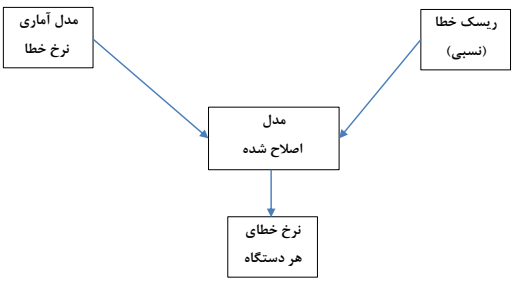
تخمین ریسک خطای یک ترانسفورماتور مسئله پیچیده ایست که در برگیرنده مواردی چون سوابق خطاهای گذشته، نوع طراحی و تحلیل آزمونهای عیب یابی ترانسفورماتور است. فرآیند ارزیابی همچنین شامل انتخاب داده‌های مناسب و قواعد کلی تحلیل می باشد.
داده‌هایی که هنگام ارزیابی یک گروه از ترانسفورماتورها در زمان فرآیند غربالگری مورد استفاده قرار می گیرد می بایست به راحتی قابل دسترسی بوده تا فرآیند ارزیابی، اقتصادی نیز باشد. این داده‌ها شامل نتایج آزمونهای گازکروماتوگرافی، ضریب تلفات عایقی، تستهای روغن، مدت زمان بهره برداری، ابعاد ترانسفورماتور و ... بوده که لازم است پیش از شروع فرآیند این داده‌ها در دسترس باشند.
همانگونه که در شکل ۲-۵ مشاهده می شود، دو فرآیند برای یکپارچه سازی داده‌ها برای تصمیم گیری وجود دارد:
روش اول ساختار نایافته بوده و روش دوم ساختار یافته براساس شرایط تنش خارجی (تنشهای مکانیکی، حرارتی، الکتریکی، تنشهای وارد شده بر تجهیزات جانبی و ...) می باشد.
در روش اول امتیاز هر ترانسفورماتور مستقیماً براساس داده‌های اولیه محاسبه می شود. بعنوان مثال می توان امتیاز هر ترانسفورماتور را براساس پارامترهایی که بیشترین تاثیر را بر وضعیت ترانسفورماتور دارند تعیین نمود. در روش دوم ابتدا ضرایب تاثیر و داده‌های اولیه در یک زیرگروه ارزیابی شده و سپس مجموع امتیاز هریک از این زیرگروهها امتیاز نهایی را حاصل می کند.
ساختار روش دوم را می توان فراتر از فرآیند محاسبه "ضرایب تاثیر" گسترش داد تا عواملی چون داده‌های طراحی و محاسبات و سایر آزمونهای ارزیابی وضعیت ترانسفورماتور را نیز دربرگیرد. در اینصورت محاسبه ریسک خطای ترانسفورماتور علاوه بر داده‌های آماری و سوابق، بر پارامترهای طراحی و وضعیت ترانسفورماتور نیز متکی بوده و بالطبع دقت بیشتری خواهد داشت.



شکل ۲-۵: فرآیند محاسبه ریسک خطای ترانسفورماتور

با استفاده از این روش ارزیابی، تحلیل دقیقتری از وضعیت و ریسک ترانسفورماتور در ارتباط با پارامترهای مختلفی مانند قدرت تحمل اتصال کوتاه، استقامت دی الکتریک، نرخ پیری سیستم عایقی، وضعیت تپ چنجر و شرایط بارگیری ترانسفورماتور، می توان بدست آورد. تحلیلهای دقیقتر براساس شرایط طراحی و وضعیت ترانسفورماتور تنها به تعداد کمی از ترانسفورماتورها اعمال می شود چراکه این امر مستلزم تحلیل داده‌های بیشتری است.

با استفاده از روش دوم نه تنها می توان یک امتیاز کل را محاسبه نمود بلکه قادر هستیم برای هریک از تنشهای مختلف برروی ترانسفورماتور امتیاز جداگانه‌ای درنظر بگیریم. امتیاز زیرگروهها را می توان زمانی که داده‌ها از ضرایب تاثیر گردآوری شده اند محاسبه نمود یا زمانی که محاسبات دقیقتری



شکل ۲-۶: ترکیب مدل نرخ خطای آماری با ریسک خطا جهت تخمین نرخ خطای هر ترانسفورماتور

در این خصوص انجام می دهیم.

گام نهایی در فرآیند امتیاز دهی، بررسی دقیق پارامترهایی از ارزیابی هستند که به تنهایی تاثیر عمده ای بر نتایج دارند حتی اگر ریسک کلی محاسبه شده برای ترانسفورماتور پائین باشد. آگاهی از این پارامترها تاثیر مستقیمی بر اقدامات اصلاحی در خصوص ترانسفورماتور دارد.

۲-۲-۴ احتمال وقوع خطا: نرخ خطای هر ترانسفورماتور

فرآیند ارزیابی اشاره شده در بندهای فوق تخمین ریسک ترانسفورماتور در یک مقیاس نسبی را ممکن می سازد. در بسیاری از موارد ارزیابی دقیق نرخ خطای یک ترانسفورماتور خاص مد نظر است. یک روش تعیین این پارامتر، ترکیب ریسک خطای محاسبه شده با مدلهای آماری خطا مطابق شکل ۲-۶ می باشد.

۲-۳ ارزیابی ریسک وقوع خطا در ترانسفورماتور

الگوریتم ارائه شده برای محاسبه ریسک وقوع خطا براساس ضرایب تاثیر مرتبط با هر زیر گروه می باشد. ریسک کلی وقوع خطا یا مستقیماً از این ضرایب تاثیر محاسبه شده یا براساس جمع ریسکهای محاسبه شده برای هر زیرگروه صورت می گیرد. به منظور کمک به درک بهتر ریسکهای مربوط به یک مجموعه ترانسفورماتور، ریسک نسبی هر زیرگروه بطور خلاصه تشریح می گردد:

۲-۳-۱ عوامل مکانیکی

یکی از شایع ترین خطاهای ترانسفورماتور، فروپاشی بوبین بدلیل نیروهای ناشی از خطاهای شبکه است. به منظور ارزیابی ریسک وقوع خطا، لازم است کلیه ترانسفورماتورهای مورد بهره برداری از لحاظ استقامت در برابر اتصال کوتاه بررسی شوند. آیتمهایی که باید مورد بررسی قرارگیرند عبارتند از طراحی ترانسفورماتور، وضعیت الکتریکی و حرارتی سیم پیچها و متوسط سالانه تعداد خطاهای شبکه. بعنوان مثال ترانسفورماتورهایی که بیشتر در معرض خطاهای شبکه قرار می گیرند، بالاترین ریسک خطا بدلیل اتصال کوتاه را تجربه می کنند. این ترانسفورماتورها معمولاً در ورودی پستهای تغذیه کننده خطوط توزیع قرار دارند.

۲-۳-۲ عوامل حرارتی

یکی از مهمترین عوامل در تعیین استقامت در برابر اتصال کوتاه، وضعیت عایق کاغذی ترانسفورماتور است. ترانسفورماتور با عمر بهره برداری بالا، سیستم عایقی شکننده ای داشته و احتمال خطا در آن در مقایسه با ترانسفورماتوری با طراحی مشابه و سیستم عایقی با وضعیت مناسب، بیشتر است. این قاعده با در نظر گرفتن ریسک حرارتی بوبین در محاسبات ریسک وقوع خطا، لحاظ میشود. پارامترهای اصلی در اینجا معمولاً درجه حرارت، عمر سیستم عایقی، نسبت دی اکسید کربن به مونواکسید کربن محلول در روغن، مشخصات بار و توان نامی ترانسفورماتور می باشند. پارامتر دیگر نقاط داغ در مواد فلزی مانند هسته یا کنتاکتها بوده که با توجه به نتایج آزمون گازهای محلول در روغن قابل شناسائی است.

۲-۳-۳ عوامل الکتریکی: ریسک خطای عایقی

محاسبه ریسک خطای عایقی در برگیرنده دو عامل طراحی و وضعیت ترانسفورماتور است. لذا هم از سوابق طراحی و بهره برداری و هم از نتایج آزمونهای عیب یابی در این محاسبات بهره گرفته می شود. در تعیین ریسک عایقی از نتایج آزمونهای ضریب تلفات عایقی، کنترل کیفیت روغن، گازکروماتوگرافی و همچنین سیستم حفاظت در برابر اضافه ولتاژ طراحی شده در ترانسفورماتور استفاده می گرد.

۲-۳-۴ عوامل مرتبط با خطای تجهیزات جانبی ترانسفورماتور

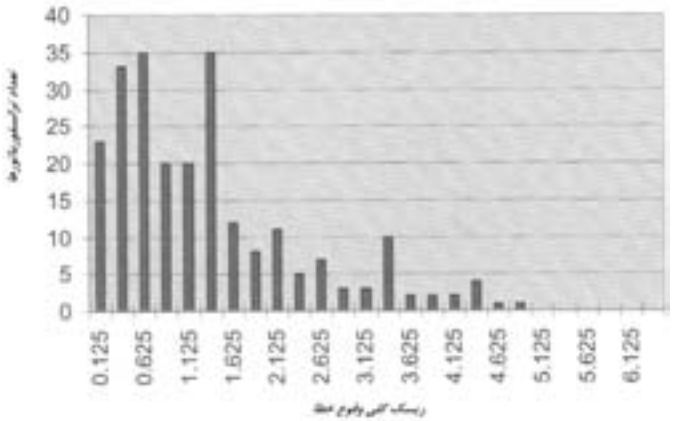
خطای تجهیزات جانبی به خارج شدن ترانسفورماتور از مدار بدلیل وقوع خطا یا بروز نقص در عملکرد تجهیزات جانبی اطلاق می گردد. تجهیزات جانبی که در این آنالیز مد نظرند عبارتند از: پمپهای خنک کننده روغن، تپ چنجر و بوشینگها. ریسک وقوع خطا در تجهیز جانبی بستگی به نوع تجهیز، نتایج آزمون گازهای محلول در روغن، ضریب تلفات عایقی یا سایر آزمونها دارد.

همچنین در محاسبات عاملی با عنوان "ریسک خطای تصادفی" که مربوط به عوامل بیرونی و بی ارتباط با طراحی و وضعیت ترانسفورماتور است، در نظر گرفته می شود. عوامل تاثیر گذار بر این پارامتر عبارتند از: نوع ترانسفورماتور، محل نصب، شرایط بارگیری، دفعاتی که لازم است ترانسفورماتور تحت تصفیه فیزیکی قرار گیرد و ... این ریسک همچنین عوامل تاثیر گذار بر پدیده بارداری[1] روغن ترانسفورماتور (نوع طراحی، سرعت بالای گردش روغن، طراحی سیستم خنک کنندگی) را دربر می گیرد.

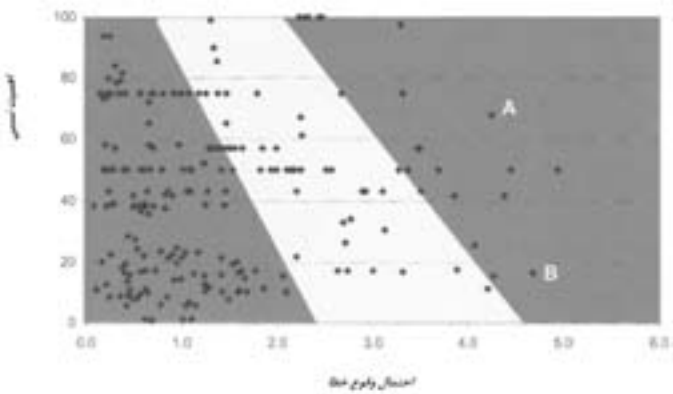
۲-۳-۵ ریسک کلی وقوع خطا

ریسک کلی وقوع خطا مطابق شکل ۲-۵ یا مستقیماً از روش یک محاسبه شده یا مطابق روش دو جمع کلیه ریسکهای فوق الذکر است. این ریسک برای کلیه ترانسفورماتورهای مورد بهره برداری می بایست محاسبه شود.

1. Streaming Electrification



شکل ۲-۷: ریسک کلی وقوع خطای ترانسفورماتور



شکل ۲-۸: طبقه بندی ریسک (احتمال وقوع خطا و اهمیت نسبی ترانسفورماتورها)

نرخ خطای بیش از ۲۰۰ ترانسفورماتور در شکل ۲-۷ نشان داده شده است. اهمیت نسبی هر ترانسفورماتور نیز برمبنای هزینه جایگزینی ترانسفورماتور یا اهمیت آن در قابلیت اطمینان شبکه، محاسبه می شود. در شکل ۲-۸ نمودار ریسک خطا در برابر اهمیت نسبی ترانسفورماتورهای مورد بهره برداری یک مجتمع نشان داده شده است. لازم است مطابق این شکل استراتژی کاهش ریسک ترانسفورماتورهای مورد بهره برداری، طراحی گردد.

در این شکل ترانسفورماتورها به سه گروه با وضعیت اضطراری (قرمز)، اولویت بالا (زرد) و نرمال (سبز) تقسیم بندی می شوند. برای کلیه ترانسفورماتورهایی که در ناحیه قرمز یا زرد هستند (یعنی شرایط ترانسفورماتور غیر عادی است) لازم است عوامل ریسک که باعث قرار گرفتن ترانسفوماتور در این ناحیه شده اند شناسائی شود. همچنین می بایست دلایل ورود ترانسفورماتور به این محدوده نیز مشخص شود. از این تحلیل می توان در آینده برای انجام اقدامات اصلاحی لازم استفاده نمود.

بعنوان مثال۹۶ درصد ریسک مربوط به ترانسفورماتور A در شکل ۲-۸، به دلیل خطا در عملکرد تجهیزات جانبی (نقص در بوشینگ فشار قوی) می‌باشد. از سوی دیگر در ترانسفورماتور B، ریسک بالا بدلایل مختلفی صورت گرفته‌است:

- نقص در طراحی و آمار بالای حوادث در پست مورد بهره برداری.
- نوع تپ چنجر و وجود برخی گازهای قابل احتراق در محفظه سلکتور سوئیچ
- پائین بودن ولتاژ شکست روغن
- افزایش ضریب تلفات عایقی به بیش از یک درصد

استفاده از نمودار ۲-۷ جهت مقایسه یک ترانسفورماتور با سایر ترانسفورماتورهای مورد بهره برداری در همان شبکه می تواند مفید باشد. بعنوان مثال یک ترانسفورماتور جدید با مقدار ریسک ۳ در جمع ۱۰ درصد ترانسفورماتورهای پرریسک مورد بهره برداری قرارخواهد گرفت.

۲-۴ کاهش ریسک

برای کلیه ترانسفورماتورهایی که در ناحیه قرمز یا زرد هستند، می‌بایست اقدامات اصلاحی لازم جهت کاهش ریسک صورت گیرد. در برخی موارد اقدامات عاجلی مانند جایگزینی بوشینگ آسیب دیده یا سرویس تپ چنجر می تواند عیب را برطرف نماید. در موارد دیگر انجام آزمونهای عیب یابی جهت شناسائی خطا و تصمیم گیری درخصوص اقدام اصلاحی ضروری است. در مورد اخیر گاهی لازم است اقداماتی چون ارزیابی وضعیت یا بررسی طراحی ترانسفورماتور نیز صورت گیرد. یکی دیگر از اقدامات لازم در بحث مدیریت ریسک، شناسائی وضعیت ترانسفورماتور رزرو و جایگزین کردن این دستگاه با یکی از ترانسفورماتورهای با ریسک بالاست. از ترانسفورماتور با ریسک بالا نیز می توان بعنوان رزرو استفاده نمود. به این روش می‌توان ریسک را کاهش و قابلیت اطمینان سیستم را افزایش داد. بیشترین ریسکی که ترانسفورماتورها با آن روبرو هستند به قرار ذیل می باشد:

- ریسک خطای تجهیزات جانبی (بوشینگ، تپ چنجر، پمپ و ...)
- ریسک خطا بدلیل خطاهای سیستم انتقال
- ریسک خطای عایقی بدلایل مختلف

۲-۵ خلاصه

در این بخش اصول و روشهای ارزیابی ریسک ترانسفورماتور بیان شد. در این روش با درنظر گرفتن عوامل مختلف، ریسک ترانسفورماتور محاسبه می شود. هر یک از این عوامل ریسک براساس شاخصهای وضعیت و/یا طراحی و/یا نوع بهره برداری از ترانسفورماتور تعیین می شود. این محاسبه منجر به ارزیابی کمی و تکرارپذیر ریسک خطای ترانسفورماتور می گردد. ریسک خطا به‌همراه اهمیت نسبی ترانسفورماتور ریسک کلی این تجهیز را مشخص می کند. با شناسائی علل وجود ریسک در هر ترانسفورماتور، می‌توان اقدامات اصلاحی لازم را در خصوص آن اعمال نمود. بدلیل کمی بودن ماهیت تحلیل می توان به صرفه ترین روش از لحاظ اقتصادی برای انجام اقدام اصلاحی و کاهش ریسک ترانسفورماتورهای مورد بهره برداری را تعیین نمود. تاکنون روش ارزیابی ریسک ارائه شده در این فصل برروی تعداد زیادی ترانسفورماتور شامل ترانسفورماتورهای ویژه صنایع، ترانسفورماتورهای نیروگاهی، و ترانسفورماتورهای قدرت و توزیع با ولتاژ و توان نامی مختلف بصورت رضایت بخشی پیاده سازی شده است.

در شماره آتی، فصل سوم با عنوان «عیب‌یابی ترانسفورماتور» به چاپ می‌رسد. در این فصل آزمون‌های ارزیابی وضعیت و عیب‌یابی ترانسفورماتور و تجهیزات جانبی و نحوه تحلیل نتایج آزمون‌ها به‌صورت مفصل تشریح شده‌است.

معرفی کتـــــاب

راهنمای کاربردی – عملی خطایابی ترانسفورماتور

توضیحات مترجم کتاب:

ترانسفورماتورها همواره یکی از مهمترین عناصر شبکه‌های توان الکتریکی بوده‌اند و موضوع نگهداری و مراقبت از آنها در جهت افزایش قابلیت اطمینان، پیشگیری از آسیب‌های اقتصادی و بهینه‌سازی تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. مانیتورینگ، تست، و نتیجتاً خطایابی و تحلیل وضعیت ترانسفورماتور، اولین و مهمترین قدم در این راه است. از این رو با علم بر فقدان یک راهنمای کاربردی با این عنوان و مضمون برای تکنسین‌ها و مهندسین، بر آن شدیم تا کتاب حاضر را که راهنمایی کاربردی – عملی است، تهیه و ترجمه کنیم. همچنین این مجلد دارای یک زوج مکمل نیز می باشد که "(راهنمای کاربردی – عملی) تعمیر و نگهداری ترانسفورماتورها" نام دارد و در مقدمه کتاب توضیحاتی پیرامون آن آمده است. این کتاب نیز با تلاش آقای "مهندس فرهاد مرادی" بزودی در دسترس مخاطبان محترم قرار خواهد گرفت.

" (راهنمای کاربردی – عملی) خطایابی ترانسفورماتورها" و "(راهنمای کاربردی – عملی) تعمیر و نگهداری ترانسفورماتورها" تالیف گروهی از مهندسین و تکنسین‌های با تجربه برق قدرت در "دپارتمان هیئت داخلی بازسازی، نوسازی، و احیاء ایالات متحده آمریکا" واقع در شهر دنور، مرکز ایالت کلرادو، می‌باشد. این دپارتمان در جهت کمک به صنعت و با هدف ارایه کاربردی‌ترین روش‌ها، پژوهش‌ها و تجربیات علمی و عملی در زمینه نگهداری، تعمیر و نوسازی انواع تجهیزات برقی در سوم مارس ۱۸۴۹ تاسیس شد. پیشینه سترگ علمی و تجربی این بنیاد، مویّد اصالت و اهمیت مندرجات این دو مجلد است.

در این کتاب مطالبی همچون خطایابی، تست‌های ترانسفورماتور، جداول بازرسی‌ها، گازکروماتوگرافی و ... را مطالعه خواهید نمود.

لازم به ذکر است کتاب خطایابی ترانسفورماتورها چیزی بیش از مجلد اصلی است و سعی شده در آن با توضیحات و تصاویر بیشتر، فرآیند درک مطالب برای خواننده تسهیل شود. باشد که در جهت یاری رساندن به دوستان و همکاران شاغل در این صنعت، مفید واقع شود.

رویدادهای آتی در
صنعت ترانسفورماتور

سومین کنفرانس بین المللی مدیریت عمر ترانسفورماتور
۵ و ۶ آبان ماه ۱۳۹۴، دوبی، امارات متحده عربی

سومین کنفرانس بین المللی مدیریت عمر ترانسفورماتور با همکاری شرکتهای Energy Support, Megger, EMB و انستیتو شرینگ دانشگاه هانوور آلمان، از تاریخ ۵ لغایت ۶ آبانماه ۱۳۹۴ در دوبی برگزار می گردد. در این کنفرانس اساتید و متخصصین بین المللی ترانسفورماتور مقالات خود در خصوص فرآیند ارزیابی وضعیت و مدیریت عمر ترانسفورماتور را ارائه می کنند. در نمایشگاه جانبی این کنفرانس نیز شرکتهای
ABB, Shell, Haefelly, Power Diagnostics, Terna Italy, B2Electronics, Apitz, Cargil,…
آخرین دستاوردهای خود در زمینه ترانسفورماتور به معرض نمایش خواهند گذاشت.
به منظور دریافت مقالات دوره های گذشته و همچنین برنامه ارائه مقالات در کنفرانس سوم به وبسایت www.transfo.ir مراجعه نمایید.

نمایشگاه برق خاورمیانه
۱۱ الی ۱۳ اسفندماه ۱۳۹۴، دوبی، امارات متحده عربی
نمایشگاه بین المللی برق خاورمیانه مهمترین رویداد صنعت برق در خاورمیانه است که هرسال در شهر دوبی برگزار می گردد. زمان برگزاری این نمایشگاه در سال جاری ۱۱ الی ۱۳ اسفند ماه برنامه ریزی شده است.
وبسایت نمایشگاه:
www.middleeastelectricity.com

سمینار عمر ترانسفورماتور
۱۲ الی ۱۶ بهمن ماه ۱۳۹۴ نشویل، ایالات متحده آمریکا
این سمینار مهمترین گردهمائی متخصصان ترانسفورماتور در خصوص ارزیابی وضعیت و مدیریت عمر بوده و هرساله در کشورهای مختلف برگزار می گردد.
وب‌سایت سمینار: www.doble.com

ITCE

شرکت‌های حاضر در نمایشگاه جانبی دومین کنفرانس بین‌المللی ترانسفورماتور

۱۰ و ۱۱ شهریور ۱۳۹۴

Participant Companies in Second International Transformer Conference & Exhibition

1,2 September 2015

نیرو نماد خراسان

مدیرعامل: محسن قدریان
زمینه فعالیت:
ساخت سیستم های تصفیه روغن های صنعتی و تجهیزات مرتبط
تلفن: ۰۵۱-۳۲۴۰۰۷۵۷-۶۰
فکس: ۰۵۱-۳۲۴۰۰۷۶۱
ایمیل: nn_ads@yahoo.com
وب سایت: www.niroonamad.com
آدرس: مشهد، جاده سنتو، شهرک صنعتی فن آوریهای برتر، انتهای صنعت ۱۱، نبش کوشش ۵

فنی و مهندسی نوین نت پارس

مدیرعامل: خیراله آستانه
زمینه فعالیت:
پایش وضعیت سیستم های مکانیکی و ترانسفورماتورها از طریق آنالیز روغنی
تلفن: ۰۲۱-۸۸۵۲۲۱۲۸-۳۰
فکس: ۰۲۱-۸۸۵۲۲۱۲۷
ایمیل: novinnetpars@yahoo.com
وب سایت: www.novinnetpars.com
آدرس: تهران، خیابان شهید بهشتی، کوچه مبینی، پلاک ۳۴ طبقه دوم

فن آوران پویا صنعت وفا

مدیرعامل: مسعود داوودی
زمینه فعالیت
تامین انواع بوشینگ های فشار قوی، ادوات تست و مانیتورینگ،
ترانسفورماتورهای توزیع و قدرت، ترانسفورماتورهای اندازه گیری
تلفن: ۰۲۱-۶۶۵۵۰۲۶۰-۱
فکس: ۰۲۱-۶۶۵۵۰۲۵۹
ایمیل: info@psvafa.com
وب سایت: www.psvafa.com
آدرس: تهران، خیابان ستارخان، ابتدای خیابان حبیب اله، پلاک ۳۰۷، طبقه دوم

لیفاصنعت

مدیرعامل: میثم جعفرزاده
زمینه فعالیت: نماینده انحصاری کمپانی لیفاسا اسپانیا در ایران
انواع بانک های خازن فشار ضعیف و متوسط در مدلهای Indoor&Outdoor
خازنهای فشار متوسط در ظرفیتهای مختلف تک فاز تا ولتاژ KV24 و سه فاز KV12، خازنهای فشار ضعیف تکفاز و سه فاز ۲,۵ کیلووار تا ۵۰ کیلووار، رگولاتور ۶ و ۱۲ پله، آنالایزرهای شبکه، راکتورهای دامپینگ و هارمونیکی، فیلترهای اکتیو

تلفن: ۰۲۱-۸۸۱۹۲۶۴۳-۵
فکس: ۰۲۱-۸۸۱۹۲۶۴۳-۵
ایمیل: info@lifasa.ir
وب سایت: www.lifasa.ir
آدرس: تهران، میدان آرژانتین، خیابان الوند، پلاک ۲۲ واحد ۴

دومین کنفرانس و نمایشگاه بین المللی ترانسفورماتور
۱۰ و ۱۱ شهریور ۱۳۹۴
تهران، نیروگاه طرشت

ماشین انتقال قدرت

مدیرعامل: احمد استاد هاشم
زمینه فعالیت
محاسبه، طراحی، تولید و تعمیرات اساسی انواع ترانسفورماتورهای فوق توزیع و قدرت و راکتورها
تلفن: ۰۲۱-۶۵۴۳۷۵۹۰-۵
فکس: ۰۲۱-۶۵۴۳۵۵۷۲
ایمیل: support@ptm.co.ir
وب سایت: www.ptm.co.ir
آدرس: شهریار، کیلومتر ۱۵ جاده اشتهارد، شهرک صنعتی صفادشت، خیابان نهم غربی، پلاک ۱۴۰

آذرخش انتقال نیرو

مدیرعامل: فرزاد زیبایی
زمینه فعالیت
خدمات مهندسی نگهداری و تعمیرات PM، تصفیه شیمیایی و لجن زدایی روغن ترانسفورماتور به صورت online، پروژه های EPC و مدیریت پروژه، بهینه سازی تجهیزات HV-LV
تلفن: ۰۵۱-۳۸۵۲۵۲۳۰-۳۲
فکس: ۰۵۱-۳۸۵۲۵۲۳۳
ایمیل: info@aptc.ir
وب سایت: www.aptc.ir
آدرس: مشهد، بزرگراه شهید کلانتری، حد فاصل میدان جهاد و میدان جمهوری اسلامی

سندیکای صنعت برق ایران

مدیرعامل: پرویز غیاث الدین
زمینه فعالیت
نهاد صنفی متشکل از ۴۵۰ شرکت سازنده تجهیزات، پیمانکار، مهندسی مشاور و بازرگانی صنعت برق ایران
تلفن: ۰۲۱-۶۶۵۷۰۹۳۰-۳-۵ و ۶
فکس: ۰۲۱-۶۶۹۴۴۹۶۷
وب سایت: info@ieis.ir
وب سایت: www.ieis.ir
آدرس: تهران، خیابان فاطمی غربی، خیابان سیندخت شمالی، پلاک ۱۵

نوترون شیمی

مدیرعامل: سید علی نبوی نژاد
زمینه فعالیت
تولید روغن ترانسفورماتور، تولید ضدیخ های نیروگاهی، تولید شوینده های صنعتی
تلفن: ۰۲۱-۲۲۰۴۸۲۲۸
فکس: ۰۲۱-۲۲۰۴۸۲۲۹
ایمیل: info@neutronchemistry.com
وب سایت: www.neutronchemistry.com
آدرس: تهران، خیابان آفریقا، خیابان طاهری، پلاک ۴۴، واحد ۴

2nd International Transformer Conference & Exhibition (ITCE)
1-2 September 2015
Tarasht Power Plant, Tehran, Iran

نفت بهران

مدیرعامل	سید عزت اله حجازی
زمینه فعالیت	تولیدی
تلفن	۰۲۱-۲۲۲۶۴۲۴۱-۳۰
فکس	۰۲۱-۲۲۲۶۴۳۰۳
ایمیل	info@behranoil.com
وب سایت	www.behranoil.com

آدرس: تهران، خیابان شریعتی، خیابان وحید دستگردی(ظفر) کوچه شریفی، پلاک۲

پژوهشگاه نیرو

مدیرعامل	محمد صادق قاضی زاده
زمینه فعالیت	انجام تحقیق و توسعه در زمینه صنعت برق
تلفن	۰۲۱-۸۸۰۷۹۴۰۱-۹
فکس	۰۲۱-۸۸۰۷۸۲۹۶
ایمیل	email@nri.ac.ir
وب سایت	www.nri.ac.ir

آدرس: تهران، شهرک قدس، انتهای بلوار شهید دادمان

الوند توان انرژی

مدیرعامل	آرش آقایی فر
زمینه فعالیت	خدمات فنی و مهندسی ترانسفورماتور
تلفن	۰۲۱-۲۲۰۱۸۷۱۲
فکس	۰۲۱-۲۲۰۱۸۷۶۳
ایمیل	info@atecco.ir
وب سایت	www.atecco.ir

آدرس: تهران، خیابان آفریقا، خیابان ناهید شرقی، پلاک ۲۰ واحد ۸ شرقی

البرز تدبیر کاران

مدیرعامل	علیرضا مسعودی
زمینه فعالیت	ارائه خدمات آزمایشگاهی آنالیز روغن و تحقیقات پایش وضعیت و عیب یابی (CM) تجهیزات
تلفن	۰۲۱-۸۸۵۱۵۱۳۶-۹
فکس	۰۲۱-۸۸۷۶۰۸۰۳
ایمیل	atk@alborztadbir.com
وب سایت	www.alborztadbir.com

آدرس: تهران، خیابان شهید بهشتی (عباس آباد) خیابان شهید صابونچی(مهناز) کوچه مهماندوست پلاک ۴۰

امگا دانش

مدیرعامل	امیر پوستی
زمینه فعالیت	دستگاه های اندازه گیری نسبت به تبدیل مقاومت سیم پیچ تراسفورماتور، میکرو اهم متر، مگا اهم متر(مگر)، سیستمهای تست فشار قوی
تلفن	۰۲۱-۲۲۲۲۹۷۷۷
	۰۲۱-۲۲۲۲۳۴۴۷
فکس	۰۲۱-۲۲۲۷۱۸۲۸
ایمیل	info@omega-technologies.com
وب سایت	www.omega-technologies.com

آدرس: تهران، بلوار میرداماد، رازان جنوبی، خیابان دوم شماره۳۷

بهگام فرآیند نوین

مدیرعامل	پویا پیامی آزاد
زمینه فعالیت	تامین تجهیزات الکتریکال، ابزار دقیق و اتوماسیون صنعتی، نمایندگی رسمی و انحصاری کمپانی OMICRON اتریش در ایران
تلفن	۰۲۱-۸۸۵۳۲۸۰۳-۵
فکس	۰۲۱-۸۸۵۳۲۸۰۶
ایمیل	info@behgamfarayand.ir
وب سایت	www.behgamfarayand.ir

آدرس: تهران، خیابان مطهری، خیابان میرعماد، کوچه چهارم پلاک۱۲، واحد۱۰

نفت ری سان

مدیرعامل	سید علی شاهمرادی
زمینه فعالیت	تولید انواع روانکارهای صنعتی و دریایی و خودرویی
تلفن	۰۲۱-۲۳۵۵۰
فکس	۰۲۱-۲۲۸۲۰۲۳۵
ایمیل	info@raysunoil.com
وب سایت	www.raysunoil.com

آدرس: تهران، خیابان پاسداران، چهارراه فرمانیه، خیابان شهید جهانبخش نژاد، پلاک ۱۰، طبقه ۴

مهندسی سنس

مدیرعامل	نورالدین پوستی
زمینه فعالیت	تامین تجهیزات و سرویس و خدمات فنی تپ چنجرهای تحت بار و سیستمهای کنترل ولتاژ و دستگاههای جانبی ترانسفورماتور قدرت
تلفن	۰۲۱-۲۶۲۰۲۹۸۰-۳
فکس	۰۲۱-۲۶۲۰۲۹۸۴
ایمیل	Senseng_co@yahoo.com
وب سایت	www.sensco.net

آدرس: تهران، بلوار میرداماد، رازان جنوبی، خیابان دوم شماره۳۷

پیرو گریس

مدیرعامل	کسری ابریشمی
زمینه فعالیت	روغن ترانسفورماتور
تلفن	۰۲۱-۲۲۰۰۸۶۸۸-۹
فکس	۰۲۱-۲۲۶۱۰۴۱۴
ایمیل	info@peyrogrease.com

آدرس: تهران، خیابان شریعتی، روبروی ایستگاه مترو قلهک، پلاک ۱۵۲۱، ساختمان ASP، طبقه سوم، واحد ۳۱

رسانامهر

مدیرعامل	احسان زرگر رضایی
زمینه فعالیت	فنی مهندسی تامین تجهیزات نوین صنعت برق و الکترونیک
تلفن	۰۲۱-۸۸۸۷۹۴۳۳-۵
فکس	۰۲۱-۸۸۸۷۹۴۳۳-۵
ایمیل	info@rasana-mehr.com
وب سایت	www.rasana-mehr.com

آدرس: تهران، میدان آرژانتین، خیابان زاگرس، شماره۹، طبقه دوم، واحد۲۰۲

Power Transmission Machinery
Iran

Designing, Calculating,
Manufacturing and repairing of
Middle and Power Transformers

Tel: + 98 21-65437590 / Fax: +98 21-65435572

support@ptm.co.ir

www.ptm.co.ir

The Niroo Research Institute (NRI)
Iran

The Niroo Research Institute (NRI) conducts research and development relating to the Electric Power Industry

Tel: +98 21-88079401-9 / Fax: +98 21-88078296

email@nri.ac.ir

www.nri.ac.ir

HEMPEL Companies Group
Germany

Electric motor & machine-construction/engineering
Machine Protection
Technical Diagnostics
Explosion protected electro motors

Tel: +49 – 2154 – 4989 0 / Fax: +49 – 2154 – 4989 52

mbi@hem-net.de

www.hem-net.de

Starkstrom-Gerätebau GmbH
Germany

Power transformers from 5 to 140 MVA up to Um 245 KV,
Specialist for Arc Furnace Transformer, Ladle Furnace Transformer ONAN / ONAF / OFWF / OFAF
Repair of all types of transformers > 5 MVA
Manufacture of complete spare parts

Tel: +49 (0)941/7841-248 / Fax: +49 (0)941/7841-227

stefan.rohrmueller@sgb-trafo.de

www.sgb-smit.com

Global Transformers and Switchgears Fzco
U.A.E

GTS(Global Transformers and Switchgears) is established and under operation since 2004 and is a UAE based ISO certified power & distribution transformers manufacturing Company. Our range covers 100KVA to 100MVA, 230kV transformers. GTS is a member of Ghantoot/RMB Group & In technical collaboration with OCREV Italy. Customers` base is spread over countries like UAE, Bahrain, KSA, Oman, Qatar, Kuwait, Yemen, Jordan, Iraq, Iran, Libya, Sudan, Ethiopia & many other MENA region countries

Tel: +971 4 8833951 / Fax: +971 4 8833952

info@globaltransformers.com

www.globaltransformers.com

Shanghai Huaming Power Equipment Co., Ltd.
China

Professional manufacture for Tap changers: OLTC &OCTC
Our products have supplied to over 100 countries since 1990.

Tel: +86-21-52708966 / Fax: +86-21-52702715

export@huaming.com

www.huaming.com

Megger Limited
Bahrain

Electrical Test Equipment

Tel: +973 17 740 620 / Fax: +973 17 720975

mesales@megger.com

www.megger.com

HIGHVOLT Prüftechnik Dresden GmbH
Germany

Tailor-made and individually designed high voltage test systems and measuring equipment such as:
•HV & HC Test Systems
•Complete Test Bays
•Accessories (Trailers, Containers)
•Support & Service (Consultancy, Tutorials, Calibration service, Upgrades)
Applications are Routine Tests, Type Tests, On-Site Tests, Special Tests, Research & Development for :
•Cables
•Transformers & Shunt Reactors
•Gas-insulated switchgears
•Bushings, Arresters, Capacitors
•Instrument Transformers

Tel: +49 351 8425 700 / Fax: +49 351 8425 679

sales@highvolt.de

www.highvolt.de

Energy Support
Germany

Transformer oil sampling and test equipment
Online DGA
Transformer Life Management Conference organizer

Tel: +49 2131 40 39 60 7 / Fax: +49 2131 40 39 60 8

w.sorgatz@energy-support.de

www.energy-support.de

Daemisch Transformer Consult (DTC)
Germany

Online Drying of Power Transformers
Online water content measurement system
Consultancy

Tel: +4994187867 / Fax: +4994187845

daemisch@didee.de

www.didee.de

Sense Engineering Co.
Iran

Supply and inspection service of:
Tap Changers (OLTC/OCTC/DETC)
- AVR (TAPCON)
- Transformer accessoris
- Power composite insulators

Tel: +98 21-26202980 / Fax: +98 21-26202984

Senseng_co@yahoo.com

www.sensco.net

Behgam Farayand Novin (OMICRON GmbH Sales partner in Iran)
Iran

Sales partner of OMICRON Compnay in Iran , Supplier and provider of Sale After service of wide range of equipments : Electrical , instruments and Industrial Automation

Tel: +98 21-88532803-5 / Fax: +98 21-88532806

info@behgamfarayand.ir

www.behgamfarayand.ir

Fanavaran Pooya Sanat (PSV Co.)
Iran

Supplying:
• Transformer and Wall Bushings
• Distribution Transformers
• Measuring Transformers (CT, PT and MOF)
• Test and Monitoring Devices
• Insulation Materials (Mica Tape, Sheet and Rolls)

Tel: +98 21-66550260-1 / Fax: +98 21-66550259

info@psvafa.com

www.psvafa.com

Behran Oil co.
Iran

Production of lubricants

Tel: +98 21-22264241-30 / Fax: +98 21-22264303

info@behranoil.com

www.behranoil.com

Niroonamad khorasan
Iran

Manufacturer of purification machines for transformer,turbine, hydraulic oil

Tel: +98 51-32400757-60 / Fax: +98 51-32400761
nn_ads@yahoo.com
www.niroonamad.com

Rasana Mehr
Iran

Procurement of electrical industry's equipment

Tel: +98 21-88879433-5 / Fax: +98 21-88879433-5
info@rasana-mehr.com
www.rasana-mehr.com

RaySun Oil Co.
Iran

Lubricants Manufacturer

Tel: +98 21-23550 / Fax: +98 21-22820235
info@raysunoil.com
www.raysunoil.com

Alborz Tadbir Karan
Iran

Oil analysis Services, Machinery & Transformer Condition Monitoring (CM) and fault diagnostic

Tel: +98 21-88515136-9 / Fax: +98 21-88760803
atk@alborztadbir.com
www.alborztadbir.com

Omega DANESH Co
Iran

Highvoltage Test Systems
-Winding resistance and turn ratio measuring devices E7

Tel: +98 21-22229777 / Fax: +98 21-22271828
info@omega-technologies.com
www.omega-technologies.com

Novin Net Pars Technical & Engineering co.
Iran

Providing Machinery & Transformers Performance Condition Monitoring
Service And Fault Diagnosis By Oil Analysis

Tel: +98 21-88522128-30 / Fax: +98 21-88522127
novinnetpars@yahoo.com
www.novinnetpars.com

2nd International Transformer Conference & Exhibition (ITCE)

1-2 September 2015

Tarasht Power Plant, Tehran, Iran

NEUTRON CHEMISTRY Co

Iran

Producer of trasformer oil
Industrial cleaner
Anti freeze for CCWs for systems

Tel: +98 21-22048228 / Fax: +98 21-22048229

info@neutronchemistry.com

www.neutronchemistry.com

PEYRO GREASE - NYNAS

Transformer Oil

Tel: +98 21-22008688 / Fax: +98 21-22610414

info@peyrogrease.com

Lifasa Sanat

Iran

Capacitor & Harmonics filter & Analyser

Tel: +98 21-88192643-4 / Fax: +98 21-88192645

info@lifasa.ir

www.lifasa.ir

Alvand Tavan Energy (ATEC)

Iran

Transformer products and services

Tel: +98 21-22018511 / Fax: +98 21-22018763

info@atecco.ir

www.atecco.ir

Azarakhsh Pazh Power Transmission

Iran

Engineering services of maintenance,Online chemical treatment and Oil sludger removal, Project management and EPC Projects,Optimization of LV & HV equipment

Tel: +98 51-38525230-32 / Fax: +98 51-38525233

info@aptc.ir

www.aptc.ir

Iran Electrical Industry Syndicate

Iran

A business membership organization consisting of 450 Manufacturer, contractor and consulting companies

Tel: +98 21-66570930-3, 5, 6 / Fax: +98 21-66944967

info@ieis.ir

www.ieis.ir

About Transformer Magazine

Arash Aghaeifar
Publisher
and Editor in chief

Iran is the biggest producer and consumer of electricity in the Middle East. Power generation in Iran was 73149MW in 2014 and it had %4.1 increase from 2013. Below are some facts about transformers in Iran (These statistics are only for transformers in the network and does not include the transformers in different heavy industries.):
- Number of Medium and Large power transformers (above 63KV) operating in the network in 2014 was 4754 units and number of distribution transformers (below 33KV) in the same year was 594380 units.
- 148 New Medium and Large power transformers and 26345 New distribution transformers was added to the network in 2014.
- Iran is gradually facing the problem of aged transformers: 30% of transformer population is more than 20 years old.
- Total value of new transformers imported in 2014 was 14,000,000 USD despite the fact Two power transformer manufacturers and more than a dozen distribution transformer manufacturers are now active in Iran.
- More than 100 companies are providing maintenance, services and repair for the transformers in-operation.

So in transformer world (both supply and demand rate), Iran can be easily placed in the top 10. With this in mind, we decided to publish a magazine exclusively about transformers. The potential readers are technical managers and electrical/mechanical engineers currently working as transformer designers, manufacturers, consultants, operators, servicemen, repairmen, businessmen and also chemical engineers in oil laboratories and finally students.
To match the interest of the readers and to help them in their daily tasks, the Magazine's editorial board planned the layout of this magazine for this issue and all issues to come as follows:
- Transformer news in Iran and overseas
- Report of the recent transformer events
- Statistics of transformers (e.g. import/export, number of transformers in production and in service, transformer economics and …)
- Interview: with at least two person active in transformer industry
- Papers: practical papers about different aspects of transformer.
- Case study: a summary of investigation about transformer incident/failure during operation and fault diagnostic measures taken.
- Transformer Standard review: In each issue a standard about transformer will be introduced and explained.
- Books: Translation of two academic books from English to Persian. (part of each book will be published in each issue)
- Books review: in each issue a recent published book about transformers will be discussed
- Upcoming events in transformer industry all around the world

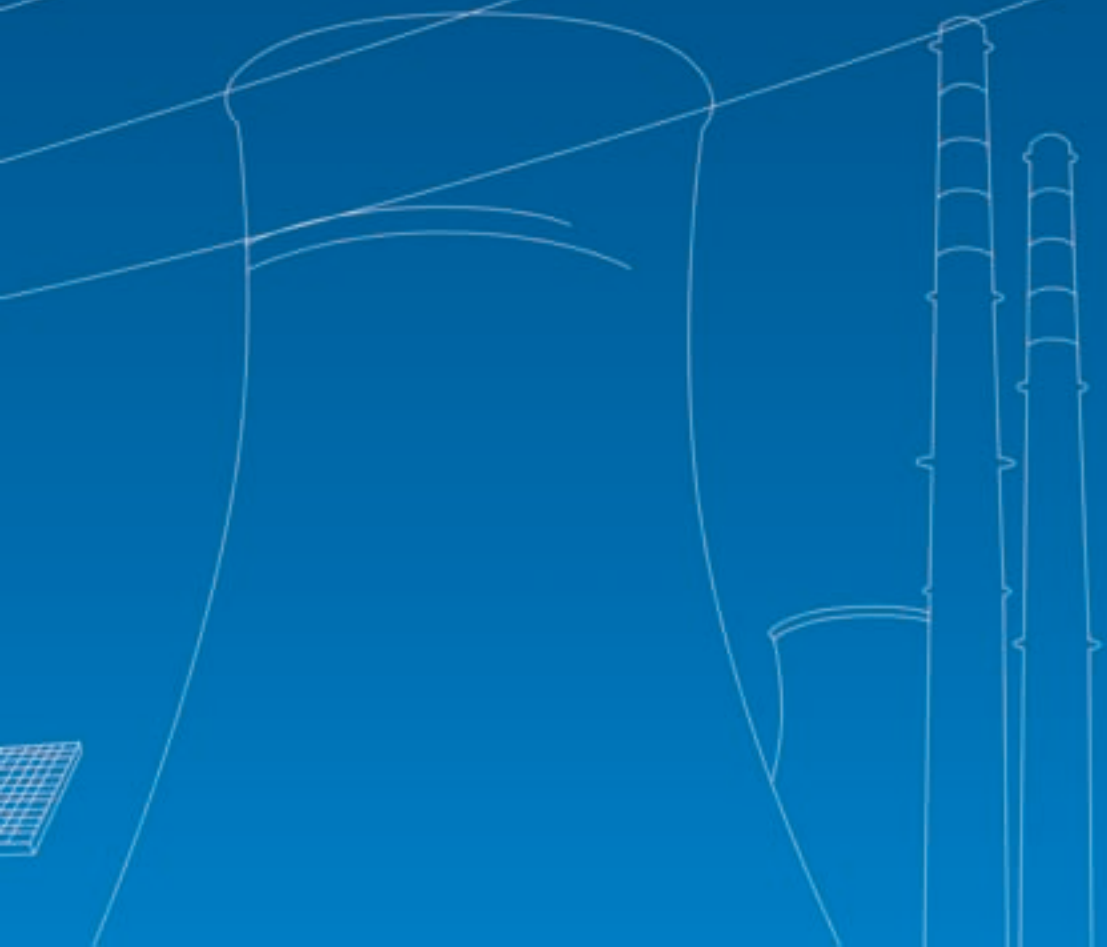
The language of this magazine is Persian yet from the next issue forward we will publish at least one paper in English.
Iran Transformer Magazine is published quarterly. Published articles do not represent official position of Transformer Magazine and this magazine is not responsible for the content. The responsibility for articles rests upon the authors and the responsibility for ads rests upon the advertisers.
Iran Transformer Magazine is authorized by the ministry of culture and Islamic guidance, to be published inside Iran under license number: 93/3005. It is published under the Islamic Republic of Iran Constitution and law of press.
This magazine is independent of any local / foreign companies, press …
Abstracting is permitted with credit to the source.
The price of the printed version is 5€ and the circulation is 4000 copies
Online version of Iran Transformer Magazine is also available on: **www.Transformer-magazine.ir**

سندیکای صنعت برق ایران

Iran Electrical Industry Syndicate

تشکل نمونه صادراتی کشور
برای چهارمین سال متوالی

سندیکای صنعت برق ایران، نهاد صنفی متشکل از ۴۷۰ شرکت سازنده تجهیزات، پیمانکار، مهندسی مشاور و بازرگانی صنعت برق ایران که در راستای دفاع از منافع مشروع اعضای خود و بر اساس نقش و جایگاه تشکل های اقتصادی، افزایش اثر بخشی سرمایه گذاری های انجام شده در صنعت برق را از طریق تحقق اهداف قانونی خود دنبال می کند.



تهران، خیابان فاطمی غربی
خیابان سیندخت شمالی
پلاک ۱۵
کدپستی: ۱۴۱۱۸۵۳۱۶۱
تلفن: ۳-۶۶۵۷۰۹۳۰ و
۶-۶۶۵۷۰۹۳۵
فکس: ۶۶۹۴۳۹۶۷

E-mail: info@ieis.ir
Website: www.ieis.ir

ENERGY SUPPORT

Experts in providing mobile Solutions

Equipment for Transformer Oil Analysis

energy support made in Germany energy support

Contamination Free Oilsampling Set

- to get a reliable Oilsample according to IEC/ASTM Standard
- to avoid any misinterpretation of your Laboratory results
- measure the Oil Temperature
- avoid any contamination with ambient air or dirt particles

TOP TOGA

- DGA Analysis according to ASTM D3612/IEC 60567
- with Autosampler 16/32 Syringe 50/100ml
- fully automatic Vaccumdegassing
- with Analysis of 11 Gases with high sensitivity
- with Software Package Expertsystem

MobilGC

- Portable DGA Equipment for Analysis 9/11 Gases
- according ASTM D3612/IEC 60567
- direct Analysis of Bucholzgases
- with Partial Vacuumdegassing Unit
- with Software Package Expertsystem

Breakdown Voltage Measurement

- BA 75/100 KV
- according to all usable Standards
- smallest Breakdown Voltage Analysator
- USB drive, Software controlled
- Battery operated

Pocket TitratorKF

- Water content measurement using Karl Fisher Method
- full automatic with high precision
- measuring low concentrations

TDM 4000

- Automatic Dielectric Constant Tan Delta & Resistivity Measurement
- Heating Chamber with automatic Temperaturcontrol
- automatic drainage of your Oilsample
- with Printer and Calibrator

www.energy-support.de

Energy Support GmbH . Sperberweg 47 . D-41468 Neuss
T +49 (0)2131 40 39 60 7 . F +49 (0)2131 40 39 60 8 . info@energy-support.de

Dietrich Teigler Nachf.
GmbH & Co KG
Rubber and
Plastics Technology

COMPETENCE IN SUPPLYING CAOUTCHOUC PARTS TO THE TRANSFORMER AND ENERGY INDUSTRY

DIETRICH TEIGLER

International business providing consultancy services and distribution of rubber- and synthetic niche-products:

- more than 40 years experience in transformer oil resistant rubber components
- highest product quality and technical competence
- reliablility and innovative products
- competent usage advice and extensive stock
- being in touch with customer needs
- clients and customers in Germany, Belgium, Turkey, Czech Republic, North Africa, Near East, Brazil and India

NORMS AND CERTIFICATES

We produce and deliver according to:

TUN 901 147
TUN 902 303
TUN 901 225
TUN 901 272
Siemens SN 53 145-de

The company has been certified to DIN ISO 9001 since 1997.

PRODUCTS

Transformer oil resistant rubber parts for insulation and sound insulation:

- round cords
- square cords
- oval cords
- profile sections
- bearing blocks
- rubber sheets
- O-rings

SPECIFIED COMPONENTS

- bushings
- test equipment
- oil pumps
- oil/water cooler
- metal parts
- lifting bags

Consulting (for Transformers Producers)

- Human resources consulting
- Joint Ventures
- Cooperations
- Workshops / Trainings
- Technology transfer
- Second hand transformers

Dietrich Teigler Nachf. GmbH & Co. KG
Klaus von Oelffen
Robert von Oelffen
Postfach 10 49 17
40040 Düsseldorf

Tel. +49-(0)211-7 38 28-0
Fax +49-(0)211-7 33 39 73
HRA 1009 - USt-ID-Nr. DE 121281394
www.teigler.com
Email: info@teigler.com

HIGH VOLT

Test with the best.

QUALITY ASSURANCE

Innovation leader since 1904

IN THE FACTORY AND ON-SITE

We enhance your quality system by:

- complete HV test, measuring and evaluation solutions
- testing in the factory and on-site
- full integration in the manufacturing process
- fast, competent and reliable service

www.highvolt.de

DTC

Daemisch Transformer Consult

THE PIONEER IN TRANSFORMER AGEING, CONDITION ASSESSMENT AND LIFE CYCLE OPTIMIZATION.

DTC covers the following scope of tasks and services:

1. Consulting on the acquisition of new transformers

- Specifications/design
- Auxiliaries
- Evaluation of bids / support during all contractual procedures
- Control & monitoring of final acceptance at the factory/on site

2. Evaluation of existing transformers

- Residual life time strength
- Evaluation of condition
- Life Management
- Conservation

3. Transformer Populations Management (TPM)

- Planning of TPM Procedures
- Implementing of TPM Procedures
- Control and support of TPM Procedures

4. Public and in-house seminars for transformer users

- Condition evaluation
- Ageing assessment
- Conservational assessment

DTC

DTC – Daemisch Transformer Consult
Dipl. Ing. Georg Daemisch, M.Sc. (EE)
Alte Nürnberger Straße 32 a
D-93059 Regensburg
Germany

Tel: +49 (0) 941 87867
Fax: +49 (0) 941 87845
Mobile +49 (0) 172 8909973
www.transformer-consulting.com
Email: daemisch@didee.de

ITCE

2nd International Transformer Conference & Exhibition (ITCE)

1-2 September 2015

Tarasht Power Plant, Tehran, Iran

دومین کنفرانس و نمایشگاه بین المللی ترانسفورماتور

۱۰ و ۱۱ شهریور ۱۳۹۳

تهران، نیروگاه طرشت

انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران

شرکت آلوند توان انرژی

سندیکای صنعت برق ایران

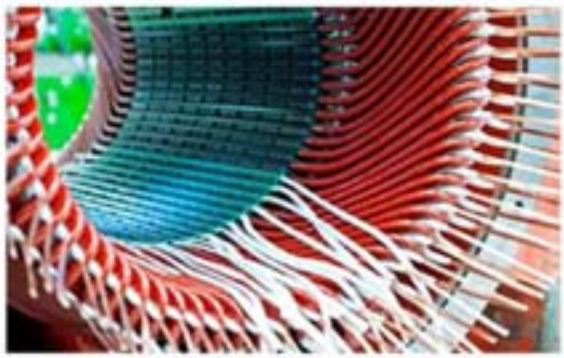
Iran Electrical Industry Syndicate

دبیرخانه کنفرانس و نمایشگاه بین المللی ترانسفورماتور

تلفن: ۲۲۰۱۸۵۱۱ - ۲۲۰۱۸۷۱۲

دورنگار: ۲۲۰۱۸۷۶۳

www.transfo.ir ITCE@Transfo.ir



65 Years of Excellence in Industrial Maintenance

HEMPEL Elektro Maschinenbau

- Electric Motor Repair Specialist
- AC and DC
- Low and Medium Voltage
- Mechanical and Rewind
- Capacities for Inhouse Repairs
  - 16 ton
  - 4.000 kW
  - 10 kV
- On-Site-Maintenance
  - Revision
  - Overhaul
  - Repairs
  - Motor, Gear, Pumps etc.

HEMPEL Antriebs Technik

- Autonomous Trader
  - Impartial
  - Independent from Manufacturers
- Focus only on Customer Value
- Products
  - Electric Motors and Drives
  - Frequency Inverters
  - Gearboxes
  - Pumps
  - Spare Parts

HEMPEL Elektromaschinenbau GmbH • Siemensring 29 • D-47877 Willich
Germany +49 2154 / 49 89 - 50 • kmh@hem-net.de • www. hem-net.de

Timesaver at your service.

MULTIFUNCTION SYSTEM FOR TRANSFORMER AND SUBSTATION TESTING TRAX

One product. One software.
Minimize learning time + Minimize testing time = Maximize efficiency

TRAX is a unique test system for testing power transformers, CTs, VTs, and many other substation components. A variety of voltage and current levels can be generated and measured with high precision which allows the test system to be used for a wide range of applications.

- Power Transformers
- Current transformers
- Voltage transformers
- General AC insulation testing
- Resistance testing
- Circuit breakers
- Primary testing
- Protection relays

Megger Limited
E: mesales@megger.com

Megger

www.megger.com

شرکت ماشین انتقال قدرت

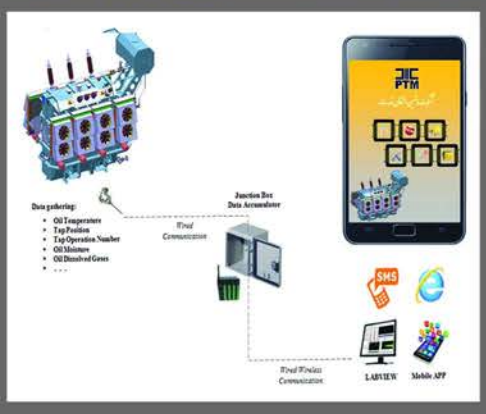
تولید تک محصولی ترانسفورماتور و تعمیرات اساسی

Power Transmission Machinery Co.

شرکت ماشین انتقال قدرت با بیش از ربع قرن سابقه در حوزه تعمیرات اساسی، بازیافت، تغییر طراحی و نوسازی انواع ترانسفورماتور و راکتورها و ورود یک دهه به عرصه تولید ترانسفورماتور به صورت تک محصولی فعالیت می نماید و اصلی ترین رسالت خود را به ساخت و تولید و هم چنین پشتیبانی محصولات در ارائه خدمات پس از فروش و سرویسهای برتر، معطوف داشته است.

برخی از تولیدات شاخص این شرکت بشرح زیر می باشد:

- ترانسفورماتور به قدرت ۸۰ مگا ولت آمپر و ولتاژ ۶۳/۲۱ کیلو ولت
- ترانسفورماتور به قدرت ۳۰ مگا ولت آمپر و ولتاژ ۱۳۲/۲۰ کیلو ولت
- ترانسفورماتور به قدرت ۳۰ مگا ولت آمپر و ولتاژ ۶۳/۲۰ کیلو ولت
- ترانسفورماتور به قدرت ۳۰ مگا ولت آمپر و ولتاژ ۳۳/۲۰ کیلو ولت
- ترانسفورماتور به قدرت ۲۲ مگا ولت آمپر و ولتاژ ۱۳۲/۱۰,۵ کیلو ولت
- ترانسفورماتور به قدرت ۱۰ مگا ولت آمپر و ولتاژ ۶۳/۲۰ کیلو ولت
- ترانسفورماتور ۶ فاز کوره القایی به قدرت ۳ مگا ولت آمپر و ولتاژ ۲۰/۰,۶ کیلو ولت



کارخانه: ۵-۰۲۱-۶۵۴۳۷۵۹۰ - دفتر مرکزی: ۰۲۱-۴۴۶۶۰۴۲۵ - فکس: ۰۲۱-۶۵۴۳۵۵۷۲
خدمات مشتریان: ۰۹۱۲۳۶۱۵۹۴۴
support@ptm.co.ir www.ptm.co.ir

TLM

TRANSFORMER-LIFE-MANAGMENT
CONFERENCE

Transformer Life Management Conference

کنفرانس بین المللی مدیریت عمر ترانسفورماتور

۵ و ۶ آبان ۱۳۹۴ دوبی

27th – 28th October 2015, Dubai

شرکت الوند توان انرژی وب سایت: www.transfo.ir تلفن: ۲۲۰۱۸۵۱۱-۲۲۰۲۰۸۶۵