

۱۳۹۶/۱۲/۱۲

فهرست مطالب

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

گاز کروماتوگرافی، روغن ترانسفورماتورهای قدرت

رامین خرمی ابدی لو

رضا شهباززاده



بهار ۱۳۹۶

سرشناسه	: خرمی اجیرلو، رامین، ۱۳۶۱ -
عنوان و نام پدیدآور	: گاز کروماتوگرافی روغن ترانسفورماتور قدرت/ رامین خرمی اجیرلو، رضا شهباززاده.
مشخصات نشر	: تهران : سخنوران ، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری	: ۱۷۸ص.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۴۵۵-۲۳۴-۹
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
موضوع	: کروماتوگرافی گازی
موضوع	: Gas chromatography
موضوع	: کروماتوگرافی
موضوع	: Chromatographic analysis
موضوع	: کروماتوگرافی مایع
موضوع	: Liquid chromatography
موضوع	: تبدیل ها
موضوع	: Electric transformers
شناسه افزوده	: شهباززاده، رضا، ۱۳۵ -
رده بندی کنگره	: ۶۶۴۷۶۳۰۶ - ۱۳۹۶ QD ۲۷۲/۵
رده بندی دیویی	: ۵۴۳ / ۸۰۰
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۶۴۴۷۲۱



کارگر شمالی، بعد از ادوارد براون، شماره ۴۰۷، طبعه اول

تلفن: ۶۶۴۷۶۳۰۶ - ۱۳۶۱۶۶۱۳

۰۹۱۲۰۶۱۷۲۸۳

سایت انتشارات: www.chapketab.com

عنوان کتاب	: گاز کروماتوگرافی روغن ترانسفورماتور قدرت
تألیف	: رامین خرمی اجیرلو، رضا شهباززاده.
ناشر	: سخنوران
سال و نوبت چاپ	: ۱۳۹۶ - اول
شمارگان	: ۱۰۰۰ نسخه
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۴۵۵-۲۳۴-۹
مرکز پخش	: ۰۹۱۲۰۶۱۷۲۸۳ - ۰۹۱۹۳۶۱۶۶۱۳
قیمت	: ۲۵۰۰۰ تومان
حق چاپ محفوظ است	

فهرست مطالب

۸ پیشگفتار

فصل اول مقدمه ۱۱

۱۲ ۱- مقدمه

فصل دوم آشنایی با گاز کروماتوگرافی ۱۵

۱۶ ۱-۲- ریشه لغوی و تاریخچه

۱۶ ۲-۲- اطلاعات اولیه

۱۷ ۳-۲- توصیف کروماتوگرافی

۱۷ ۴-۲- تعریف کروماتوگرافی

۱۸ ۵-۲- شرح ساده کروماتوگرافی

۱۹ ۵-۲-۱- شرح مفاهیم کروماتوگرافی

۲۰ ۵-۲-۲- کروماتوگرام

۲۱ ۶-۲- توزیع ماده بین فازها

۲۲ ۷-۲- راندمان ستون

۲۳ ۷-۲-۱- پخش گردایی (Eddy Diffusion)

۲۳ ۷-۲-۲- نفوذ ملکولی و طولی (Molecular & Longitudinal Diffusion)

۲۴ ۷-۲-۳- مقاومت در مقابل انتقال جرم (Resistance To Mass Transfer)

۲۴ ۸-۲- راندمان حلال (Solvent Efficiency)

۲۴ ۸-۲-۱- ضریب انتخابی یا گزینشی (Selectivity Factor)

۲۵ ۸-۲-۲- تفکیک پذیری یا جداسازی (Resolution)

۲۸ ۹-۲- ستون کروماتوگرافی (Column)

۲۸ ۹-۲-۱- ستونهای پر شده (Packed Column)

۲۹ ۹-۲-۲- ستونهای موئین (Capillary Column)

۳۰ ۹-۲-۲-۱- ستونهای موئین Wall Coated (W.C.O.T)

۳۰ ۹-۲-۲-۲- ستونهای موئین Medium Bore

۳۰ ۹-۲-۲-۳- ستونهای موئین Wide Bore

۳۰ ۹-۲-۲-۴- ستونهای موئین PLOT (Porous Layer Open Tublar)

- ۳۰.....۵-۲-۹-۲ ستونهای WSCOT (Wall Coated Superior Capacity Open Tublar)
- ۳۰.....۶-۲-۹-۲ ستونهای SCOT (Support Coated Open Tublar)
- ۳۱.....۳-۹-۲ مزیت ستونهای موئین نسبت به ستونهای پر شده
- ۳۱.....۱۰-۲ انتخاب فاز مایع

فصل سوم روغن ترانسفورماتور/۳۳

- ۳۳.....۱-۳ مقدمه
- ۳۶.....۲-۳ خواص روغن در ترانسفورماتورها
- ۳۶.....۳-۳ تقسیم‌بندی روغن از لحاظ وضعیت
- ۳۷.....۴-۳ ویژگی‌های روغن خوب برای یک ترانسفورماتور
- ۳۷.....۵-۳ عوامل موثر بر خواص و شرایط روغن
- ۳۷.....۶-۳ عوامل خرابی روغن ترانسفورماتور
- ۳۷.....۷-۳ مشخصات روغن ترانسفورماتور
- ۳۸.....۱-۷-۳ خواص فیزیکی روغن ترانسفورماتور
- ۳۸.....۱-۱-۷-۳ ویسکوزیته یا گرانیروی (Viscosity)
- ۴۱.....۲-۱-۷-۳ نقطه اشتعال در محیط بسته (Flash Point)
- ۴۲.....۳-۱-۷-۳ دانسیته روغن (Density)
- ۴۲.....۲-۱-۷-۳ نقطه ریزش (Pour Point)
- ۴۲.....۲-۷-۳ خواص الکتریکی روغن ترانسفورماتور
- ۴۲.....۱-۲-۷-۳ استقامت دی‌الکتریک یا ولتاژ شکست عایقی
- ۴۶.....۲-۲-۷-۳ ضریب تلفات عایقی (تانژانت دلتا)
- ۴۷.....۳-۲-۷-۳ مقاومت مخصوص (p) عایق
- ۴۷.....۳-۷-۳ خواص شیمیایی روغن ترانسفورماتور
- ۴۷.....۱-۳-۷-۳ ساختمان مولکولی روغنهای عایق
- ۴۸.....۸-۳ مبروری بر استانداردهای جهانی معتبر
- ۴۸.....۱-۸-۳ استاندارد IEC
- ۴۸.....۱-۱-۸-۳ استاندارد IEC 296
- ۴۹.....۲-۱-۸-۳ استاندارد IEC 354
- ۴۹.....۳-۱-۸-۳ استاندارد IEC 422
- ۴۹.....۴-۱-۸-۳ استاندارد IEC 599
- ۵۰.....۲-۸-۳ استاندارد IEEE

- ۵۰ IEC 57.104 استاندارد ۱-۲-۸-۳
- ۵۰ IEC 57.106 استاندارد ۲-۲-۸-۳
- ۵۰ IEC 57.125 استاندارد ۳-۲-۸-۳
- ۵۱ IEC 57.12.00 استاندارد ۴-۲-۸-۳

فصل چهارم انجام گاز کروماتوگرافی روغن ۵۴/

- ۵۴ ۱-۲ ضرورت انجام گاز کروماتوگرافی روغن
- ۵۶ ۲-۲ دستگاه انجام گاز کروماتوگرافی روغن
- ۵۷ ۱-۲-۲ گاز حامل
- ۵۹ ۲-۲-۲ تزریق نمونه و سیستم‌های تزریق نمونه
- ۵۹ ۱-۲-۲-۲ سیستم‌های تزریق نمونه برای ستون‌های پر شده
- ۶۵ ۲-۲-۲-۲ سیستم‌های تزریق نمونه برای ستونهای موئین (Capillary Injector)
- ۶۵ ۱-۲-۲-۲-۲ تزریق در ستون موئین به روش Split
- ۶۶ ۲-۲-۲-۲-۲ تزریق در ستون موئین به روش Splitless
- ۶۸ ۳-۲-۲-۲ سایر روشهای تزریق نمونه برای ستونهای موئین (Capillary Injector)
- ۶۹ ۱-۳-۲-۲-۲ تزریق نمونه به روش Direct Injection
- ۶۹ ۲-۳-۲-۲-۲ تزریق نمونه در ستون با قطر بزرگ (Wide Bore) به روش On - Column
- ۷۰ ۳-۳-۲-۲-۲ تزریق نمونه به روش Lead Space
- ۷۱ ۳-۲-۲ محفظه گرمکن یا آون (Oven)
- ۷۲ ۱-۳-۲-۲ کنترل دمای داخلی کوره یا آون
- ۷۲ ۱-۱-۳-۲-۲ Isothermal Temperature روش
- ۷۲ ۲-۱-۳-۲-۲ Programmed Temperature روش
- ۷۸ ۲-۲-۲ آشکارساز
- ۸۱ ۱-۴-۲-۲ سیستم آشکارسازها
- ۸۲ ۱-۱-۴-۲-۲ سیستم آشکارساز یونش شعله‌ای (FID)
- ۸۵ ۱-۱-۱-۴-۲-۲ عملکرد آشکارساز نوع FID به عوامل زیر بستگی دارد
- ۸۵ ۲-۱-۱-۴-۲-۲ خصوصیات آشکارساز نوع FID
- ۸۷ ۳-۱-۱-۴-۲-۲ گاز Make up
- ۸۷ ۲-۱-۱-۴-۲-۲ آلوده شدن آشکارساز نوع FID و تمیز کردن آن
- ۸۸ ۲-۱-۴-۲-۲ سیستم آشکارساز با قابلیت هدایت گرمایی (TCD)
- ۹۴ ۱-۲-۱-۴-۲-۲ خصوصیات آشکارساز نوع TCD

۹۶	۳-۲-۱-۳-۲-۲- شرحی مختصر بر سایر سیستم‌های آشکارساز
۹۹	۳-۲- فیلترها
۹۹	۳-۱-۳-۲- فیلترهای قابل استفاده
۱۰۱	۳-۲- سیستم‌های گازکروماتوگرافی آنلاین (قابل نصب بر روی ترانس)
۱۰۴	۵-۲- سیستم‌های گازکروماتوگرافی آنلاین (سبک و قابل حمل)
۱۰۴	۶-۲- نمونه‌برداری از روغن ترانسفورماتور
۱۰۶	۴-۶-۱- نکات قابل توجه در نمونه‌برداری روغن
۱۰۷	۴-۶-۲- برچسب زدن بر روی نمونه‌ها
۱۰۸	۴-۶-۳- نمونه‌برداری روغن توسط سرنگ
۱۰۸	۴-۶-۳-۱- نمونه‌برداری روغن توسط سرنگ مطابق با استاندارد IEC 60475

فصل پنجم استخراج و تحلیل نتایج گاز کروماتوگرافی روغن/۱۱۱

۱۱۲	۵-۱- مقدمه
۱۱۳	۵-۲- مکانیزم تولید گاز
۱۱۴	۵-۳- بررسی خطاها و گازهای تولید شده در ترانسفورماتور
۱۱۴	۵-۳-۱- خطاهای حرارتی
۱۱۵	۵-۳-۲- خطاهای الکتریکی به همراه تخلیه با شدت کم
۱۱۵	۵-۳-۳- خطاهای الکتریکی به همراه تخلیه با شدت بالا
۱۱۷	۵-۴- حدود مجاز گازهای موجود در روغن براساس منابع مختلف
۱۲۰	۵-۵- روشهای مختلف آنالیز گازهای محلول در روغن ترانسفورماتور (DGA) جهت تشخیص خطای ترانسفورماتور
۱۲۱	۵-۵-۱- روش گازهای قابل احتراق محلول در روغن (TDCG)
۱۲۴	۵-۵-۲- روش مجموع گازهای قابل اشتعال (Total Combustible Gas)
۱۲۵	۵-۵-۳- روش نسبت دورنبرگ ((Dornenburg's Ratio Method (DRM)
۱۲۸	۵-۵-۴- روش نسبت راجرز ((Rogers Ratio Method (RRM)
۱۳۵	۵-۵-۵- روش استاندارد IEC 60599
۱۳۸	۵-۵-۵-۱- قواعد تشخیص یک عیب مخصوص
۱۳۹	۵-۵-۵-۱-۱- شناسایی و تشخیص OHO و OH
۱۳۹	۵-۵-۵-۲-۱- نسبت CO/CO_2 به عنوان یک پایه عیب‌یابی
۱۳۹	۵-۵-۵-۳-۱- قواعد دیگر شناسایی OHC, CD
۱۳۹	۵-۵-۵-۴-۱- شناسایی حالت نرمال
۱۴۰	۵-۵-۶- روش گازهای کلیدی، ((Key Gas Method (KGM)

- ۵-۵-۷- روش مثلث دوال (Duval Triangle Method (DTM)) ۱۲۲
- ۵-۵-۷-۱- تعیین ناحیه خطا در روش مثلث دوال به همراه نمونه مثال ۱۲۶
- ۵-۵-۷-۲- مختصات دقیق نواحی خطا در روش مثلث دوال ۱۲۷
- ۵-۵-۸- مطالب تکمیلی ۱۵۱
- ۵-۶-۶- مثال‌های کاربردی جهت آنالیز گازهای محلول در روغن ترانسفورماتور (DGA) و تشخیص خطای ترانسفورماتور ۱۵۲
- ۵-۶-۱- مطالعه موردی جهت آنالیز گازهای محلول در روغن ترانسفورماتور (DGA) در شرکت فولاد مبارکه اصفهان ۱۵۴
- ۵-۶-۲- مطالعه موردی، عیب‌یابی ترانسفورماتور ۲۳۰/۶۳ کیلوولت پست بوئین زهرا ۱۵۸
- ۵-۶-۳- مطالعه موردی، نمونه تست‌های و نتایج گازکروماتوگرافی روغن ترانسفورماتور در یک شرکت بین‌المللی ... ۱۶۲
- ۵-۶-۴- مطالعه موردی، نمونه تست‌های و نتایج گازکروماتوگرافی در یک شرکت بین‌المللی در کشور مالزی ۱۶۷
- ۵-۶-۵- مطالعه موردی، نمونه تست‌های و نتایج گازکروماتوگرافی در یک شرکت معتبر داخلی در استان آذربایجان شرقی ۱۷۰

فهرست منابع و مآخذ / ۱۷۲

په‌ست (برخی تصاویری رنگی متن کتاب) / ۱۷۴

www.ketab.ir

پیشگفتار

حمد و ستایش پروردگاری را که جای جای هستی را با آیات و جلوه‌های خویش بیاراست، تا صاحبان خرد در آن اندیشه کنند.

ترانسفورماتورهای قدرت از تجهیزات مهم، حیاتی و گران قیمت در شبکه‌های قدرت می‌باشند. وجود عیب در ترانسفورماتورها در صورت عدم تشخیص به موقع می‌تواند خطرات مالی و جانی جبران‌ناپذیری به همراه داشته باشد. بنابراین عیب‌یابی و تشخیص به هنگام عیوب داخلی ترانسفورماتورها بسیار مهم می‌باشد. ترانسفورماتورهای قدرت دارای مقدار زیادی روغن هستند که روغن نقش عایقی و خنک‌کنندگی در ترانسفورماتور را برعهده دارد. از روش‌های مهم تشخیص خطا در ترانسفورماتورها گاز کروماتوگرافی روغن و آنالیز گازهای محلول در روغن می‌باشد که تشخیص میزان گازهای تولیدی در روغن نشان‌دهنده وجود عیب در داخل ترانسفورماتورها است. نمونه‌برداری از روغن بدون خارج کردن ترانسفورماتور از مدار از مزایای استفاده از این روش جهت ارزیابی وضعیت کلی ترانسفورماتور می‌باشد.

کتاب تألیف شده درپچه‌ای برای آشنایی با گاز کروماتوگرافی روغن ترانسفورماتورهای قدرت است. مطالب نوشته شده با توجه به منابع و استانداردهای موجود و برخی تجربه‌های کاری کارشناسان بوده و توجه به این نکته ضروری است که کار با دستگاه گاز کروماتوگرافی افزون بر دانش تئوری، نیازمند کار عملی و مطالعه کتابچه راهنمای سازندگان دستگاه‌ها و استانداردها می‌باشد.

کتاب حاضر سرفصل دوره آموزشی آشنایی با گاز کروماتوگرافی روغن با کد ۲۰۰۷ شرکت توانیر را نیز پوشش داده و می‌تواند منبع مناسبی جهت تدریس در دوره‌های کوتاه مدت ویژه شاغلین وزارت نیرو و سایر مراکز آموزشی باشد.

کتاب حاضر در پنج فصل تهیه شده است که فصل اول مقدمه‌ای بر اهمیت گاز کروماتوگرافی روغن ترانسفورماتورها می‌باشد، فصل دوم آشنایی با گاز کروماتوگرافی، تعاریف، مفاهیم، اصطلاحات و روابط را در بر می‌گیرد، فصل سوم روغن ترانسفورماتور و خواص فیزیکی، شیمیایی، الکتریکی آن و استانداردهای معتبر را شرح می‌دهد، فصل چهارم به نحوه انجام گاز کروماتوگرافی، ساختار داخلی و سخت‌افزاری دستگاه گاز کروماتوگرافی، روشهای نمونه‌برداری و تزریق نمونه می‌پردازد و فصل پنجم استخراج نتایج گاز کروماتوگرافی و انواع خطاها و گازهای تولید شده، انواع روشهای تحلیل نتایج به همراه مثالهای کاربردی را تشریح می‌کند.

از آنجایی که هر فعالیت علمی کامل و ایده آل نیست این کتاب نیز دارای نواقص و کاستی‌هایی است: راهنمایی‌ها و انتقادهای سازنده خوانندگان محترم می‌تواند موجب بهبود کیفیت کتاب در چاپ‌های بعدی شود.

در خاتمه از **پروفسور بهروز پهلوان‌پور** رئیس کمیون تدوین استاندارد (کمیته مایعات و گازهای عایقی) در موسسه IEC و مدیر فنی شرکت **Naphthenic NYNAS**، آقای **مهندس رضا مجیدپور** معاون محترم بهره‌برداری شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان، مرحومه خانم مهندس فلور نیکورای، دکتر اسماعیل‌زاده مدیر دفتر تحقیقات و کنترل کیفیت تجهیزات شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان، مهندس رستمی مدیر دفتر هیئت مدیره و حسابرس داخلی شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان، مهندس سلیمان‌زاده مدیر دفتر فنی شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان، مهندس اسکندرزاده مدیر امور انتقال نیروی استان آذربایجان شرقی، مهندس اسلامی رئیس اداره بهره‌بردار شماره ۶ (شمال غرب) شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان، مهندس حسینی رئیس اداره بهره‌بردار شماره ۵ (شمال شرق) شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان، مهندس رنگارنگی، مهندس علمیه، مهندس ملی‌زایی، مهندس احمد عابدی، مهندس کاظم کقالقی، مهندس مالک صالحی، مهندس رحمان اسمعیل‌زاده صمیمانه تسهیل و تشکر می‌نمائیم.

رامین خرمی اجیرلو

ramin_khorami@yahoo.com

رضا شهباززاده