

طراحی و ساخت دستگاه اندازه گیری اسیدیتته گاز هگزا فلورید گوگرد (SF_6)

محمد رضا عابدی
دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان

محسن محسنی،
شرکت مهندسی خدمات نیرو و مخابرات شرق

کلمات کلیدی: اسیدیتته، هگزا فلورید گوگرد، گازهای عایق، کلیدهای گازی، SF_6

(1) مقدمه

گاز هگزا فلورید گوگرد (SF_6) یک ماده خنثی، غیر قابل اشتعال، غیر سمی و بی بو است. خواص اصلی گاز SF_6 که موجب کاربرد آن در تجهیزات الکتریکی است عبارتند از:

- قدرت دی الکتریک بالا
- توانائی فرونشانی عالی در مورد قوس الکتریکی یا قدرت خاموش کنندگی
- پایداری و بی اثر بودن شیمیایی
- غیر سمی بودن و کمترین خطرات زیست محیطی نسبت به مواد مشابه

این خواص موجب شده است که این گاز به صورت وسیع بعنوان عایق و محیط مناسب در تجهیزات الکتریکی (به

چکیده:

گاز هگزا فلورید گوگرد (SF_6) توانایی خاموش کنندگی بی نظیر برای قوس های الکتریکی را داراست. این گاز به صورت وسیع بعنوان عایق و محیط مناسب در تجهیزات الکتریکی بکار می رود. این گاز باید دارای خصوصیات مشخصی باشد که از جمله آنها می توان به مقدار اسید موجود در آن اشاره کرد که نباید از مقدار مشخصی افزایش یابد در غیر این صورت به تجهیز حاوی این گاز آسیب می رسد. برای اندازه گیری این پارامتر روشهای متنوعی وجود دارد که انجام بیشتر آنها در محل تجهیز حاوی گاز مشکل می باشد. در این تحقیق سعی شده طراحی و نحوه ساخت دستگاهی مناسب و دقیق که براحتی بتوان از آن در مکانهای مختلف برای اندازه گیری اسیدیتته استفاده کرد و مقررات استاندارد در اندازه گیری رعایت شود ارائه شود.

جدول ۱ - ویژگی‌های گاز هگزا فلورید گوگرد مورد مصرف در

تجهیزات الکتریکی

ردیف	مشخصه	حدود ویژگی‌های قابل قبول
۱	درصد خلوص	حداقل ۹۹/۸ درصد وزنی
۲	مقدار آب (نقطه شبنم)	حداکثر ۱۵ppm (وزنی) (حداکثر ۴۱°C -)
۳	تترافلورید کربن (CF ₄)	حداکثر ۵۰۰ ppm وزنی
۴	مجموع N ₂ + O ₂ (هوا)	حداکثر ۵۰۰ ppm وزنی
۵	اسیدیتته	حداکثر ۰/۳ ppm وزنی

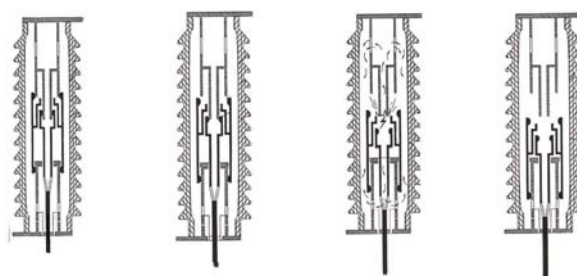
۲) لزوم انجام آزمایشات کنترل کیفیت گاز SF₆

هر انحرافی از خواص ذکر شده در قسمت بالا ناشی از آلودگی‌هایی است که می‌تواند در این گاز وجود داشته باشد. این آلودگی‌ها از واکنشهای پروسه ساخت، از نشتیهای موجود در تجهیزات، از مواد موجود در سلیندرها و یا در طی عملکرد عادی کلید ایجاد می‌شوند. بسیاری از این ناخالصیها باید به مقادیری محدود شوند که به صورت جداگانه و یا توأم با هم در آسیب رساندن به تجهیزاتی که از گاز استفاده می‌کنند مؤثر نباشند برای مثال آب، ناخالصی اسیدی و اکسیژن (بوئزه در حالت ترکیبی) ممکن است موجب ازدیاد خوردگی‌هایی شود که منتهی به ایراد عملکردهای مکانیکی شود. آب به همراه هر ناخالصی اسیدی در عملکردهای فشار بالا و درجه حرارت پایین ایمنی تجهیزات را از لحاظ الکتریکی به خطر می‌اندازد. بنابراین مقدار ناخالصیها باید به قدری کوچک شود که خوردگی و تغلیظ آنها ناچیز شود. آزمایشاتی برای تشخیص این ناخالصیها وجود دارد و روشهای ویژه‌ای برای تشخیص آنها بکار می‌رود.

استانداردهای مرتبط با گاز SF₆ مورد مصرف در تجهیزات الکتریکی در سه نسخه و توسط شرکت مهندسی خدمات نیرو و مخابرات شرق با عناوین ویژگیها، روشهای آزمون و مقررات و ایمنی بصورت استاندارد ملی ایران تدوین شده است. (۱، ۲، ۳)

خصوص فشار قوی) مانند پستهای GIS¹، کلیدها، باسبارها، کابل‌های فشار قوی و تجهیزات کنترلی بکار رود.

بطور مثال نقش گاز SF₆ در حین عملکرد یک کلید در شکل ۱ نشان داده شده است. کلید شامل کنتاکتهای ثابت و متحرک می‌باشد. طراحی کلید به گونه‌ای است که در حین حرکت کنتاکتهای متحرک گاز بر روی محل جدا شدن کنتاکتهای ثابت و متحرک دمیده می‌شود. مرحله ۱ قبل از عملکرد کلید را نشان می‌دهد. در ابتدای عملکرد کلید، گاز SF₆ مابین این کنتاکتها قرار می‌گیرد و بعثت خواص غیرقطبی آن که باعث خصلت عایق‌کنندگی بالای آن می‌شود مانع ایجاد قوس الکتریکی شدید می‌شود (مرحله ۲). در حین عملکرد کلید، حرارت ایجاد شده ناشی از قوس الکتریکی صرف تجزیه مولکول SF₆ می‌شود. وجود اتمهای الکترونگاتیو فلئور آزاد ناشی از قوس الکتریکی را جذب می‌نماید (مرحله ۳). به مجموعه این خواص گاز SF₆ اثر خاموش‌کنندگی^۲ گفته می‌شود که این گاز را برای کلیدهای فشار قوی مناسب کرده است. در مرحله ۴ یعنی عملکرد کامل کلید، گاز SF₆ کاملاً دو کنتاکت را از هم عایق می‌کند.



مرحله ۱ مرحله ۲ مرحله ۳ مرحله ۴

شکل (۱) طرز عملکرد یک کلید حاوی گاز SF₆

ویژگی‌های گاز هگزا فلورید گوگرد مورد استفاده در تجهیزات الکتریکی باید مطابق با مندرجات جدول شماره یک باشد. (۱)

¹ Gas Insulated system#

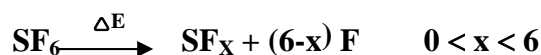
² Queenching

۳) تعریف اسیدپتته:

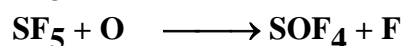
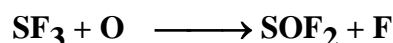
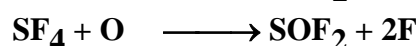
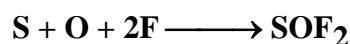
اسیدپتته SF₆، غلظت کل اسیدهای موجود در این گاز است که به صورت ppm^۱ وزنی بیان می‌شود و به صورت اسید هیدروفلوریک (HF) محاسبه می‌شود. محصولات قابل هیدرولیز شدن دیگر مثل SF₂ و SF₄ که می‌توانند در طول تخریب شیمیایی SF₆ تولید شوند همچنین می‌توانند توسط چنین اندازه‌گیری و به صورت معادل HF در نظر گرفته شود.^(۲)

۴) نحوه تولید اسید HF در گاز SF₆

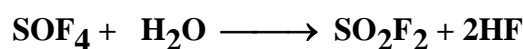
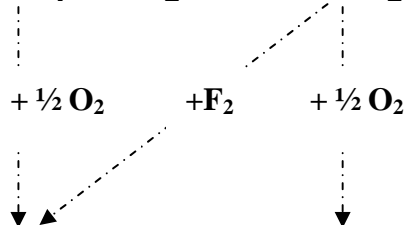
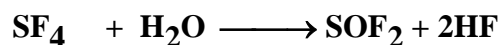
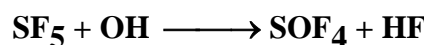
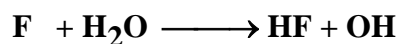
هنگامی که قوس الکتریکی در SF₆ بدلیل عملکرد عادی یک کلید یا به هر علت دیگر رخ می‌دهد، تجزیه شدن SF₆ در مقادیر متفاوتی شروع شده و بسته به مقدار انرژی، تعدادی رادیکال، یون یا مولکول خشی طبق معادلات زیر تولید می‌شوند:



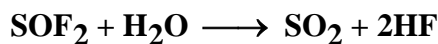
و در حضور اکسیژن:



در حضور بخار آب ترکیبات حاصل از تجزیه وارد واکنش با آن می‌شوند:



اگر حضور آب ادامه داشته باشد:



وقتی که اعمال انرژی (ΔE) متوقف می‌شود، بیشتر اتمها مجدداً ترکیب شده و مولکول SF₆ تشکیل می‌گردد. اتم‌های باقیمانده با مواد دیگر داخل سیستم ترکیب می‌شوند تا اینکه تنوعی از محصولات پایدار نهایی تولید شود.

چنانچه گاز SF₆ از لحاظ شیمیایی خالص باشد، گازی کاملاً واکنش ناپذیر است. اما، محصولات حاصل از تجزیه شدن SF₆ (اولیه و ثانویه)، در تماس با رطوبت، الکترولیت‌های خورنده‌ای را تشکیل می‌دهند که می‌توانند باعث وارد آمدن صدماتی به مواد استفاده شده داخل دستگاه‌ها شوند. موادی مثل شیشه، چینی، کاغذ عایق و امثال اینها نسبت به صدمات حساستر هستند و فلزاتی مثل آلومینیوم، استیل، مس و برنج به شدت مورد حمله قرار می‌گیرند اما مواد عایق‌بندی دیگر مثل رزین‌های اپوکسی، پلی استر، پلی اتیلن، PTFE، PVC و غیره، بطور جدی تحت تاثیر قرار نمی‌گیرند.^(۴)

۵) انواع روشهای اندازه‌گیری اسیدپتته

برای اندازه‌گیری اسیدپتته گاز SF₆ روشهای مختلفی وجود دارد که از آن جمله میتوان به روشهای IEC 376, BS 5209, IEC 480, ASTM D-2284 و ISIRI 6374-2 و دستگاههای تجارتي اندازه‌گیری اسیدپتته اشاره کرد که در زیر بطور مختصر توضیح داده می‌شود.

۵-۱) روش ASTM D-2284

حدود ۱۶ تا ۱۸ لیتر گاز مورد آزمایش از یک محلول آبی (۳۰۰ میلی‌لیتر) که بطور جزئی توسط هیدروکسید سدیم قلیایی شده (غلظت نهایی ۰/۰۰۰۰۷ نرمال) و حاوی معرف فنل فتالین است عبور داده می‌شود. اجزاء اسیدی این نمونه توسط محلول جذب شده و مقدار باز اضافی باقیمانده توسط محلول اسید سولفوریک ۰/۰۱ نرمال استاندارد تیترا می‌شود. از روی حجم اسید سولفوریک مصرفی اسیدپتته نمونه محاسبه می‌شود.^(۶،۷)

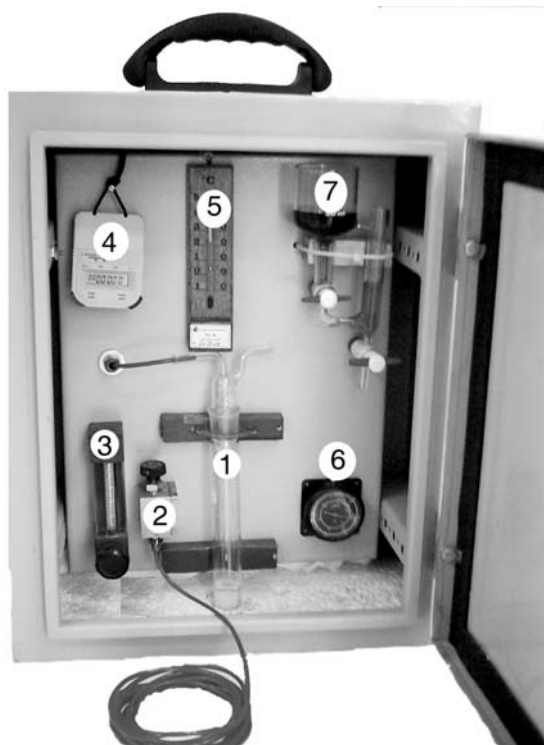
^۱ Parts Per Million

رسید. اسیدپتته SF₆ توسط وارد کردن گاز بصورت حباب از درون هیدروکسید سدیم رقیق حاوی یک شناساگر رنگی اندازه گرفته می‌شود. مقدار گاز مورد نیاز برای تغییر رنگ شناساگر، اندازه‌گیری و با استفاده از غلظت قلیای رقیق و حجم گاز عبور کرده از آن، اسیدپتته گاز بدست می‌آید.^(۲) از جمله دلایل برتری این روش به روشهای دیگر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- 0 حجم کمتر گاز SF₆ برای اندازه‌گیری اسیدپتته
- 0 کارگاهی بودن روش
- 0 حساسیت بیشتر در تغییر رنگ و تعیین غلظت
- 0 سرعت بیشتر برای انجام آزمایش

۶) طراحی و ساخت دستگاه اندازه‌گیری اسیدپتته

با توجه به توضیحات بخش ۵-۵ سعی شد روشی ارائه گردد که بتوان براحتی در مکانهای مختلف مثل پستها آنرا انجام داد. برای انجام این آزمایش دستگاه خاصی طراحی شده و در شرکت مهندسی نیرو و خدمات مخابرات شرق ساخته شد. دستگاه طراحی شده بصورت شکل ۲ بوده و شامل اجزائی است که در زیر به آنها اشاره می‌شود. شماره هر بند همان شماره‌های داخل شکل می‌باشد.



شکل ۲) دستگاه طراحی شده برای اندازه‌گیری اسیدپتته SF₆

۵-۲) روش IEC 480 و BS 5209

حدود ۲۰ لیتر گاز از درون محلول هیدروکسید سدیم رقیق (حدود ۱۰ میلی لیتر، ۰/۰۰۰۲ نرمال) حاوی معرف رنگی برومو کرزول ارغوانی عبور داده می‌شود و مقدار گاز مورد نیاز برای تغییر رنگ معرف اندازه گرفته می‌شود. از روی حجم گاز عبور کرده و غلظت محلول قلیایی، اسیدپتته نمونه بدست می‌آید.^(۵،۱۱)

۵-۳) روش IEC 376

حدود ۲۰ لیتر گاز از درون محلول هیدروکسید سدیم رقیق (حدود ۳۰۰ میلی لیتر ۰/۰۰۰۱۳ نرمال در دو بطری گاز شور که بصورت سری وصل شده‌اند) حاوی معرف رنگی برومو کرزول ارغوانی عبور داده می‌شود. اجزاء اسیدی این نمونه توسط محلول جذب شده و مقدار باز اضافی باقیمانده توسط محلول اسید سولفوریک ۰/۰۱ نرمال استاندارد تیتیر می‌شود. از روی حجم اسید سولفوریک مصرفی اسیدپتته نمونه محاسبه می‌شود.^(۸،۹،۱۰)

۵-۴) دستگاه تجارتي اندازه‌گیری اسیدپتته

توضیح کلی یک نمونه از این دستگاهها بصورت زیر می‌باشد. یک لوله آزمایش که گاز مورد نظر می‌تواند از داخل آن عبور کند استفاده می‌شود. خروجی گاز لوله آزمایش به یک کیف پلاستیکی (حجم حدود ۲ لیتر) وصل می‌شود. لوله آزمایش در محل تعبیه شده در دستگاه اندازه‌گیری درج می‌شود. دستگاه اندازه‌گیری به محفظه گاز وصل می‌شود و شیر سوزنی فلومتر روی یک سرعت جریان خاص تنظیم می‌شود. با عبور دادن گاز، کیف پلاستیکی پر می‌شود سپس شیر سوزنی فلومتر بسته می‌شود. با تغییر رنگ در مقیاس رنگی روی لوله آزمایش مقدار اسیدپتته بر حسب ppm بدست می‌آید.

۵-۵) روش ISIRI 6374-2

با انجام آزمایشات متعدد انجام شده طبق روشهای ذکر شده در بالا، روش ۵-۲ با کمی اصلاحات مانند کم کردن غلظت محلول تیتراسیون، کم کردن میزان گاز عبوری و غیره بعنوان روش استاندارد در ایران (ISIRI 6374-2) به ثبت

۳-۶) فلومتر یا گازسنج

برای محاسبه وزن گاز عبوری باید سرعت جریان گاز را بدقت اندازه‌گیری کرد. برای این منظور از یک فلومتر دقیق استفاده می‌شود. این فلومتر با استفاده از فلومتر حباب صابون و گاز SF₆ خالص برای این گاز کالیبره شد. نتایج بدست آمده در سرعت‌های روتین به قرار جدول ۲ است.

جدول ۲ - کالیبراسیون فلومتر برای گاز هگزا فلورید گوگرد

درجه‌بندی تصحیح شده برای SF ₆	درجه‌بندی فلومتر
0.895 L/min	1 L/min
0.805 L/min	0.9 L/min
0.725 L/min	0.8 L/min
0.690 L/min	0.7 L/min

۴-۶) کرنومتر

برای بدست آوردن حجم دقیق گاز عبور کرده از محلول تیتراسیون داخل بطری گازشور باید زمان عبور گاز جهت تغییر رنگ محلول بدقت با یک کرنومتر اندازه‌گیری شود.

#

۵-۶) دماسنج

۶-۶) فشار سنج

با توجه به اینکه حجم یک گاز به شرایط محیطی بستگی دارد بنابراین باید دما و فشار محیط را بدقت اندازه‌گیری کرد و با استفاده از قانون عمومی گازها حجم گاز SF₆ عبور کرده را توسط رابطه زیر برای شرایط ۲۰ درجه سلسیوس و فشار یک بار تصحیح کرد:

$$V_C(20^\circ \text{C}, 1\text{bar}) = V \times P \times \frac{293}{273 + t}$$

V_C = حجم گاز SF₆ عبور کرده و تصحیح شده (بر حسب لیتر)

V = حجم گاز SF₆ عبور کرده (بر حسب لیتر)

t = دمای محیط (بر حسب درجه سلسیوس)

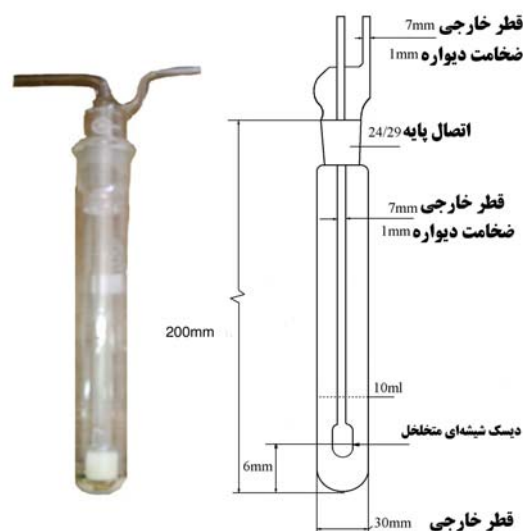
P = فشار میانگین محیط (بر حسب بار)

۷-۶) محلول تیتراسیون

داخل بطری گاز شور حدود ۱۰ میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم ۰/۰۰۰۱ مولار که با معرف بروموکروزول ارغوانی به رنگ ارغوانی مایل به بنفش در آمده است ریخته می‌شود. برای تهیه این محلول ۲۰ قطره معرف بروموکروزول ارغوانی ۱٪ را به حدود یک لیتر آب مقطر افزوده و با هیدروکسید

بطری گازشور

بطری گازشور (مطابق شکل ۳) شامل لوله آزمایشی است با طول ۲۰۰ میلی‌متر و قطر خارجی ۳۰ میلی‌متر که درون آن یک لوله حباب‌دار قرار دارد که در انتهای آن یک دیسک شیشه‌ای متخلخل (Sintered glass) با تخلخل ۱ به پهنای ۶ میلی‌متر قرار دارد. قطر خارجی این لوله ۷ میلی‌متر بوده و ضخامت آن ۱ میلی‌متر می‌باشد. حدود ۱۰ میلی‌لیتر محلول هیدروکسید سدیم و همراه با چند قطره معرف بروموکروزول ارغوانی (محلول ۶-۷) داخل بطری گاز شور ریخته می‌شود. سپس گاز مورد آزمایش از طریق لوله مرکزی از داخل محلول قلیایی عبور می‌کند. دیسک شیشه‌ای متخلخل باعث می‌شود گاز بصورت حبابهای خیلی ریز در آمده و بیشتر با محلول تماس داشته باشد. با عبور گاز از داخل محلول اسید موجود در گاز سود را به مرور خنثی می‌کند. بمحض خنثی شدن محلول قلیایی رنگ محلول از قرمز به رنگ زرد در می‌آید که نشان دهنده ختم عمل است.



شکل ۳) بطری گازشور

۲-۶) شیرها، لوله آلات و اتصالات

برای تنظیم دستگاه بطوری که در شکل ۲ نشان داده شده است، شیرهای سوزنی، لوله فولاد ضد زنگ یا پلی‌تترا فلورو اتیلنی با قطر داخلی ۳ میلی‌متر و اتصالات لازم مورد نیاز هستند. برای کنترل دقیق سرعت جریان گاز عبوری از داخل سیستم باید از شیر سوزنی ظریفی استفاده کرد.

یعنی درست در لحظه تغییر رنگ محلول از بنفش به زرد (نقطه پایانی واکنش)، شیرها بسته شده و زمان عبور گاز یادداشت می‌شود. با استفاده از زمان عبور گاز و سرعت جریان آن می‌توان حجم گاز عبور کرده و نهایتاً میزان اسیدپتیه را محاسبه کرد.

روش دیگر این است که مقدار گاز عبوری در شرایط واقعی برای تغییر رنگ معرف در حالت مجاز (یعنی ۰/۳ppm وزنی) را محاسبه می‌کنیم. سپس با در نظر گرفتن دما و فشار محیط می‌توان زمان مورد نیاز برای عبور این مقدار گاز را محاسبه نمود. اگر تا آن زمان تغییر رنگ رخ داد اسیدپتیه بیشتر از حد مجاز است و با استفاده از زمان تغییر رنگ می‌توان مقدار اسیدپتیه را اندازه گرفت. ولی اگر تغییر رنگ رخ نداد اسیدپتیه کمتر از مقدار مجاز است. محاسبات مورد نیاز در بند ۸ آورده شده است.

۸) محاسبات

اسیدپتیه گاز بصورت ppm وزنی HF و به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{اسیدپتیه (ppm وزنی)} = \frac{\text{وزن HF موجود در گاز}}{\text{وزن SF}_6} \times 10^6$$

وزن HF موجود در گاز از حاصلضرب غلظت و حجم محلول تیتراسیون موجود در بطری گاز شور و لحاظ کردن جرم ملکولی HF بدست می‌آید. وزن گاز SF₆ از ضرب کردن حجم گاز SF₆ عبور کرده و تصحیح شده (Vc بخش ۶-۶) در دانسیته گاز بدست می‌آید. در عمل برای بدست آوردن این مقدار، فاکتوری که مجهول است و باید اندازه‌گیری شود زمان مورد نیاز برای تغییر رنگ محلول تیتراسیون است.

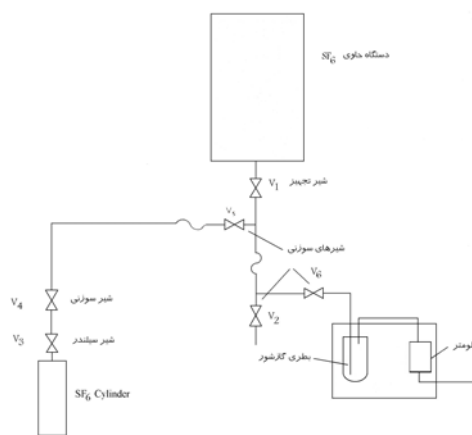
در روش دیگر، برای وقتی که بخواهیم بدانیم که اسیدپتیه در حد مجاز است یا خیر به طریق زیر محاسبه می‌شود. ابتدا باید حجم SF₆ مورد نیاز (در شرایط متعارفی) برای تغییر رنگ معرف در اسیدپتیه مجاز (اسیدپتیه=۰/۳ppm) را محاسبه کنیم. بطور مثال اگر از ۱۰ میلی‌لیتر محلول تیتراسیون ۰/۰۰۰۱ مولار استفاده شده باشد محاسبات به شکل زیر خواهد بود:

$$\#10\text{mlNaOH} \times \frac{0.0001\text{mmol}}{\text{ml}} \times \frac{1\text{mmolHF}}{1\text{mmolNaOH}} \times \frac{20\text{mgHF}}{1\text{mmolHF}} \times \frac{10^6\text{mgSF}_6}{0.3\text{mgHF}} \times \frac{1\text{litSF}_6}{5970\text{mgrSF}_6} = 11.17\text{lit}$$

سدیم ۰/۰۱ مولار خنثی کنید. به محلول، ده میلی‌لیتر از NaOH، ۰/۰۱ مولار بیافزاید و توسط محلول خنثی شده حجم را به یک لیتر برسانید. محلول تهیه شده باید در مخزن پلی اتیلنی ریخته شده و از ورود CO₂ هوا به آن ممانعت شود. بهتر است این محلول روزانه تهیه شود.^(۲)

۷) روش انجام آزمون

برای اتصال دستگاه اندازه‌گیری به تجهیزاتی که نمونه از آن برداشته می‌شود به یک خط نمونه برداری احتیاج است که نمونه‌ای از این تجهیزات در شکل ۴ ترسیم شده است. این خط می‌تواند شامل ۱ تا ۲ متر لوله استیل ضد زنگ با قطر داخلی ۳ تا ۶ میلی‌متر باشد. اتصالات باید از نوع تمام فلزی و گازبندی باشد. داخل لوله باید تمیز باشد و عاری از گریس، روغن روان کننده، باشد.



شکل ۴) سیستم اندازه‌گیری اسیدپتیه

با برداشتن درپوش‌ها یا پوشش‌ها، محل نمونه برداری را آماده کرده و سپس اتصالات به تجهیز وصل شده و خط نمونه برداری توسط جریان آرامی از گاز SF₆ برای چند دقیقه قبل از برداشتن نمونه تمیز می‌شود. شیرها طوری باز می‌شوند که گاز از طریق بطری گازشور با سرعت تقریبی نیم لیتر در دقیقه جریان یابد. برای محاسبه حجم گاز، کرنومتر روشن می‌شود. به محض اینکه گاز کافی از درون بطری گازشور عبور کرد

استفاده از سرعت عبور گاز مدت زمان لازم برای عبور این حجم از گاز بدست می‌آید. چنانچه پس از گذشت این مدت زمان محلول تیتراسیون تغییر رنگ نداد مقدار اسیدیته موجود در گاز کمتر از حد مجاز بوده و گاز دارای شرایط استاندارد می‌باشد.

یعنی برای ختنی‌سازی ۱۰ میلی‌لیتر محلول تیتراسیون ۰/۰۰۰۱ مولار موجود در بطری گازشور ۱۱/۱۷ لیتر گاز در شرایط متعارفی لازم است. این مقدار با توجه به فشار و دمای محیط و قرار دادن آن در فرمول زیر تصحیح شده سپس با

$$\frac{P \circ V \circ}{T \circ} = \frac{PV}{T} \Rightarrow V = \frac{P \circ V \circ T}{T \circ P} = \frac{1013.25 \times 11.17 \times T}{298 \times P}$$

$$V = \frac{38T}{P} \Rightarrow V = \frac{38(t + 273)}{P}$$

مراجع

- ۱- گاز هگزا فلورید گوگرد مورد مصرف در تجهیزات الکتریکی - قسمت اول: ویژگیها، استاندارد ملی ایران به شماره ۶۳۷۴-۱.
- ۲- گاز هگزا فلورید گوگرد مورد مصرف در تجهیزات الکتریکی - قسمت دوم: روشهای آزمون، استاندارد ملی ایران به شماره ۶۳۷۴-۲.
- ۳- گاز هگزا فلورید گوگرد مورد مصرف در تجهیزات الکتریکی - قسمت سوم: مقررات و ایمنی، استاندارد ملی ایران به شماره ۶۳۷۴-۳.
- 4- High voltage switchgear and controlgear - use and handling of sulfur hexafluoride (SF₆) in high voltage switchgear and controlgear, IEC 1634, 1995.
- 5- The testing of sulfur hexafluoride taken from electrical equipment, British Standards Institution (BSI), BS 5209, 1975.
- 6- Standard specification for sulfur hexafluoride, ASTM D-2472, 1997.
- 7- Standard test method for acidity of sulfur hexafluoride, ASTM D-2284, 1995.
- 8- Specification and acceptance of new sulfur hexafluoride, IEC 376, 1971.
- 9- Specification and acceptance of new sulfur hexafluoride, IEC 376, 1971 Section Thirteen, IEC 376A, 1973.
- 10- Specification and acceptance of new sulfur hexafluoride, IEC 376, 1971 Clause 26, IEC 376B, 1976.
- 11- Guide to the checking of sulfur hexafluoride (SF₆) taken from electrical equipment, IEC 480, 1974.

۹) نتیجه‌گیری:

همانگونه که گفته شد گاز SF₆ مورد مصرف در تجهیزات الکتریکی باید دارای خصوصیات مشخصی باشد که از جمله آنها می‌توان به مقدار اسید موجود در آن اشاره کرد. این مقدار نباید از مقدار مشخصی افزایش یابد در غیر اینصورت به تجهیز حاوی این گاز آسیب می‌رسد. برای اندازه‌گیری این پارامتر روشهای متنوعی وجود دارد که انجام بیشتر آنها در محل تجهیز حاوی گاز مشکل می‌باشد. دستگاه ساخته شده در این تحقیق قادر است در مکانهای مختلف برای اندازه‌گیری اسیدیته مورد استفاده قرار گیرد و طراحی آن به گونه‌ای است که مقررات استاندارد در اندازه‌گیری اسیدیته رعایت می‌شود.

از جمله دلایل برتری این روش به روشهای دیگر می‌توان به حجم کمتر گاز SF₆ برای اندازه‌گیری اسیدیته، کارگاهی بودن روش، حساسیت بیشتر در تغییر رنگ و سرعت بیشتر برای انجام آزمایش اشاره کرد. برای توسعه این دستگاه می‌توان از فشارسنج، دماسنج، کرنومتر و فلومتر دیجیتالی استفاده کرده و نتایج آنها را با یک واحد کنترل ساده در انجام محاسبات استفاده نمود. نقطه پایانی واکنش را می‌توان با یک سنسور پتانسیومتر تعیین نموده به گونه‌ای که اندازه‌گیری اسیدیته بصورت کاملاً اتوماتیک انجام شود و نیازی به انجام محاسبات توسط کاربر نباشد، که البته قیمت بیشتری نیز خواهد داشت.