



YUQORI KUCHLANISHLI SF₆ O'CHIRGICHLARNING ISHONCHLILIGIGA NAMLIK TA'SIRINI BAHOLASH VA MONITORING TIZIMINI USULLARINING TAHLILI

Murodov X.Sh. ¹[0000-0002-0517-8153], **Haqberdiyev T.Z.** ²[0009-0002-2252-8933]

¹Navoiy davlat konchilik va texnologiyalari universiteti, Energo-mexanika fakulteti "Elektr energetikasi" kafedrası dotsenti v.b., PhD.

²Navoiy davlat konchilik va texnologiyalari universiteti Energo – mexanika fakulteti "Elektr energetikasi" kafedrası assistenti

Annotatsiya. Ushbu maqolada yuqori kuchlanishli elegaz (SF₆) o'chirgichlardagi namlikning ishonchlilikka ta'sirini baholash, shuningdek, monitoring tizimini takomillashtirish orqali uskunaning xavfsiz va barqaror ishlashini ta'minlashdan iborat. Tahlil natijalari yuqori kuchlanishli elektr uskunalarida xizmat muddatini uzaytirish, texnik xizmat ko'rsatish samaradorligini oshirish va energetika tizimida yuzaga keladigan nosozliklar sonini kamaytirishga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: elegaz o'chirgichlar, yuqori kuchlanish, sig'im, shudring nuqtasi, harorat, bosim, namlik, SF₆ gaz, dielektrik, sensor.

Аннотация. В данной статье рассматривается оценка влияния влажности на надежность элегазовых (SF₆) выключателей высокого напряжения, а также обеспечение безопасной и стабильной работы оборудования посредством совершенствования системы мониторинга. Результаты анализа направлены на продление срока службы высоковольтного электрооборудования, повышение эффективности технического обслуживания и снижение числа неисправностей в энергетической системе.

Ключевые слова: элегазовые выключатели, высокое напряжение, емкость, точка росы, температура, давление, влажность, газ SF₆, диэлектрик, сенсор.

Annotation. This article presents an assessment of the impact of moisture on the reliability of high – voltage SF₆ circuit breakers, as well as ensuring the safe and stable operation of the equipment through the improvement of the monitoring system. The analysis results are aimed at extending the service life of high-voltage electrical equipment, increasing the efficiency of maintenance, and reducing the number of failures in the power system.

Keywords: SF₆ circuit breakers, high voltage, capacitance, dew point, temperature, pressure, humidity, SF₆ gas, dielectric, sensor.

Kirish

Zamonaviy elektr energetika tizimlarida yuqori kuchlanishli elektr uzatish tarmoqlari va podstantsiyalarning ishonchli ishlashi katta ahamiyatga ega. Bunday tizimlarda keng qo'llaniladigan elegazli (SF₆) o'chirgichlar yuqori dielektrik mustahkamlik, yong'inga chidamlilik hamda uzoq xizmat muddati bilan ajralib turadi. SF₆ (olti ftorli oltingugurt) gazi o'zining noyob fizik va kimyoviy xossalari sababli yuqori kuchlanishli uskunalarda izolyatsion va yoyni so'ndirish sifatida samarali muhitlardan biri hisoblanadi [1-3].

Biroq amaliyot shuni ko'rsatadiki, elegaz gazining namlik darajasi uning dielektrik xususiyatlariga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Namlikning ortishi gaz muhitining elektr mustahkamligini kamaytiradi, ionlashish jarayonini tezlashtiradi hamda o'chirgich ichida elektr yoyining barqarorligini buzadi. Bu esa o'z navbatida uskunaning ekspluatatsion ishonchlilikini pasaytiradi va avariya holatlariga olib kelishiga sabab bo'ladi [4].

Shuning uchun SF₆ gazining namlik konsentratsiyasini aniqlash va doimiy monitoring qilish elektr uskunalarining texnik holatini nazorat qilishda muhim omil hisoblanadi. Zamonaviy monitoring tizimlari yordamida gaz bosimi, harorati va shudring nuqtasi kabi



parametrlarni kuzatish orqali namlik miqdorini real vaqt rejimida baholash imkoniyati yaratiladi [5-7].

Namlikni o'lchash usullari

Yuqori kuchlanishli SF₆ o'chirgichlarda gazdagi namlik miqdorini aniqlash va monitoring qilish uchun bir nechta asosiy usullar qo'llaniladi. Har bir usulning o'ziga xos afzalliklari va kamchiliklari mavjud, shuning uchun amaliyotda ularni bir-birini to'ldiruvchi tarzda birgalikda qo'llash tavsiya etiladi [8].

Shudring nuqtasi – bu gazdagi suv bug'ining kondensatsiya boshlanishi sodir bo'ladigan haroratdir. Zamonaviy gigrometrlar gaz namligini to'g'ridan-to'g'ri shudring nuqtasi orqali aniqlaydi. Ushbu usulning afzalligi shundaki, u SF₆ gazidagi juda past namlik darajasini ham aniqlay oladi va o'lchash natijalari yuqori aniqlikka ega. Biroq, shudring nuqtasi o'lchovlari gaz harorati va bosimiga bog'liq bo'lishi mumkin, shuning uchun real sharoitda natijalarni qayta ishlash talab etiladi [9].

$$e_s(T_d) = 6.112 \cdot e^{\left(\frac{17.62T_d}{243.12+T_d}\right)}$$

bu yerda: $e_s(T_d)$ – shudring nuqtasida suv bug'ining nisbiy bosimi (millibar). T_d – shudring nuqtasi harorati (°C). 6.112 – 273K dagi bosimning boshlang'ich qiymati. 17.62 – suv bug'ining haroratga bog'liq bo'lgan empirik koeffitsiyenti. 243.12 – to'yingan suv bug'ining egri chizig'iga moslashish parametri

SF₆ – gazidagi namlik konsentratsiyasi Ppmv:

$$\text{Ppmv} = \frac{e_s(T_d)}{P_{SF_6}} 10^6$$

hbmbu – hajm bo'yicha milliondan bir ulush. P_{SF_6} – gazning umumiy bosimi (hPa)

Agar massa ulushi kerak bo'lsa:

$$\text{ppmm} = \text{ppmv} \times \frac{M_{H_2O}}{M_{SF_6}}$$

mbmbu-massa bo'yicha milliondan bir ulush. M_{H_2O} – suvning molyar massasi. M_{SF_6} – SF₆ gazining molyar massasi

SF₆ gazining dielektrik xossalari namlikka sezgir bo'lib, gazdagi suv molekullari dielektrik sig'im o'zgarishini keltirib chiqaradi. Dielektrik sig'im sensorlari yordamida o'lchov olib, namlik miqdori aniqlanadi. Ushbu usulning afzalligi shundaki, u onlayn monitoringga mos va real vaqt rejimida ishlash imkonini beradi. Kamchiliklari esa shundaki, o'lchov aniqligi harorat va bosim sharoitlariga bog'liq bo'lishi mumkin.

Ikki elektrod orasidagi sig'im quyidagicha aniqlanadi:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

bu yerda C-sig'im (Farad), ϵ_0 – $8.85 \cdot 10^{-12} \text{F/m}$ – vakuumning dielektrik singdiruvchanlik doimiysi, ϵ_r – SF₆ gazining nisbiy dielektrik singdiruvchanligi, A – elektrodlar yuzasi(m²), d – dielektriklar orasidagi masofa(m).

SF₆ -gaziga suv bug'lari kirganda uning nisbiy dielektrik doimiysi (ϵ_r) quyidagi bog'lanishga ega bo'ladi:

$$\epsilon_r = \epsilon_{dry} + kC_{H_2O}$$

bu yerda ϵ_{dry} – quruq SF₆ gazining dielektrik doimiysi, k –tajribaviy o'zgarmas empirik koeffitsiyenti C_{H_2O} – gazdagi suv bug'lari konsentratsiyasi (millibar).

Optik sensorlar infraqizil nurlanish yoki lazer asosida ishlaydi va gazdagi suv molekullarini spektral tahlil orqali aniqlaydi. Bu usul tezkor va yuqori aniqlikdagi o'lchovlarni ta'minlaydi, shuningdek, kontakt talab qilmaydi, ya'ni gaz oqimi to'xtatilmadan ishlaydi. Biroq, optik usullar murakkab uskunalar va yuqori xarajat talab qiladi.

$$I = I_0 e^{-a^{C_{H_2O} L}}$$

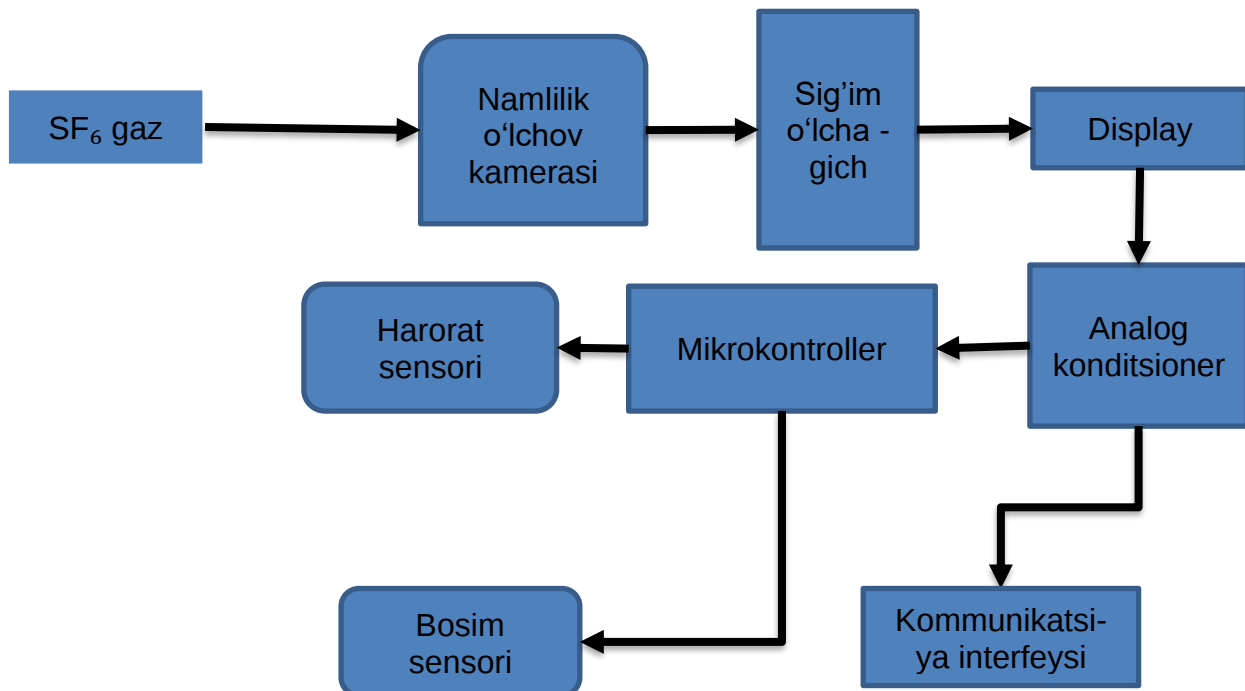


bu yerda I_0 – boshlang'ich yorug'lik intensivligi, I – detektorga yetib kelgan yorug'lik intensivligi, A – yutilish koeffitsiyenti (m^2/mol), $C_{\text{H}_2\text{O}}$ – gazdagi suv bug'lari konsentratsiyasi (millibar), L – optik yo'l uzunligi (m).

Yorug'lik qanchalik ko'p yutilsa, gazdagi namlik shunchalik yuqori bo'ladi. Yorug'lik qanchalik ko'p yutilsa, gazdagi namlik shunchalik yuqori bo'ladi.

Infraqizil yorug'lik diodi yoki lazer manbayi ma'lum to'lqin uzunlikda nur chiqaradi (odatda $1.37 \mu\text{m}$ yoki $2.7 \mu\text{m}$). Nur SF_6 gaz orqali o'tadi. Suv bug'lari bu nurni ma'lum darajada yutadi. Detektor nur intensivligining kamayishini o'lchaydi. Mikroprotsessor Lambert–Beer qonuni asosida $C_{\text{H}_2\text{O}}$ ni hisoblaydi.

Sensorli o'lchash qurilmalari gaz ichidagi namlikni elektrokimyoviy yoki elektron sensorlar yordamida aniqlaydi. Ushbu usulning afzalligi shundaki, sensorlar kichik o'lchamli, arzon va tizimga integratsiya qilish oson. Biroq, uzoq muddat ishlashda sensorlarning kalibrovkasi talab etiladi va yuqori aniqlikni saqlash uchun muntazam texnik xizmat zarur.



1-rasm. SF_6 gazidagi namlikni aniqlashning sensorli o'lchash tizimi funksional sxemasi.

Namlikni aniqlashda qo'llaniladigan texnologiyalar turli fizik hodisalarga asoslanadi. Amaliy tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, mavjud to'rt asosiy usul - shudring nuqtasi, sig'im, optik (infraqizil yoki shaffoflik asosida) hamda sensorli usullardan, sig'im va optik usullari gaz tarkibidagi namlikni aniqlashda yuqori aniqlilikni hosil qiladi. Shu sababli ushbu ikki usul asosida integrallashgan, yuqori sezuvchanlikka ega optimal namlik monitoring tizimi taklif etiladi.

Taklif etilayotgan usullarda dielektrik sig'im usuli asosiy o'lchov elementi sifatida ishlaydi, sig'imni o'lchashda optik usul esa yuqori aniqlilikdagi nazorat uchun qo'llaniladi. Bunda mikroprotsessorli boshqaruv bloki bilan dielektrik sig'im qiymatini optik sensorlar yordamida chiqariladi hamda tahlil qilinib, ularni o'rtacha statistikasi asosida namlik aniqlanadi. Ushbu tahlilda yuqori kuchlanishli SF_6 o'chirgichlarining ishonchililigiga namlik ta'sirini baholash va uni monitoring qilish usullarini tahlil qilish maqsadida integratsiyalashgan o'lchash qurilmasi ishlab chiqiladi. Qurilma optik va dielektrik sig'im usullarini birlashtirgan holda, namlik konsentratsiyasini real vaqt rejimida aniqlash imkonini beradi.



Xulosa

Shudring nuqtasi usulida SF₆ gazidagi namlikni bevosita fizik parametrlar – harorat va bosim asosida aniqlaydi, bu esa natijalarni yuqori aniqlikda olish imkonini beradi. Biroq, bu usulning asosiy kamchiligi – harorat o'zgarishlariga sezuvchanlik yuqori bo'lgani sababli, uni doimiy monitoring tizimlarida qo'llashda kompensatsiya algoritmlari zarur. Dielektrik sig'im usulida esa sensorlar yordamida namlik o'zgarishiga mos ravishda sig'imdagi o'zgarish o'lchanadi, bu esa uzluksiz va tezkor monitoringni ta'minlaydi. Ushbu usulning afzalligi – kichik o'lcham, past energiya sarfi va avtokalibrovka imkoniyatining borligi. Optik usul ham namlikni aniqlashda yorug'likning yutilish darajasi yoki sinish ko'rsatkichidan foydalaniladi, natijada juda yuqori sezuvchanlikka erishiladi. Lekin optik komponentlarning nozikligi va yuqori narxi sababli, bu usul amaliy sanoat monitoringi uchun ko'proq laboratoriya sharoitda qo'llanadi. Sensorli (mikroelektron) usul sensor modullari namlik, harorat va bosimni bir vaqtning o'zida o'lchaydi hamda raqamli signal shaklida uzatadi. Bu usul arzon, ixcham va avtomatik kalibrovkaga ega, biroq yuqori kuchlanishli gaz muhitida uzoq muddatli ish sharoitini ta'minlash uchun issiqlik izolyatsiyasi muhim. O'tkazilgan tahlil natijasiga ko'ra, dielektrik sig'imli va optik usullarni birlashtirish optimal natija beradi. Bunday gibridda dielektrik sig'im o'lchovi asosiy aniqlikni ta'minlaydi chunki namlik ortishi bilan sig'im qiymati oshadi va bu o'zgarish orqali gazdagi namlik miqdorini aniqlash mumkin, optik sensor esa real vaqt rejimida monitoring imkonini beradi. Shunday qilib, ushbu ikki usul kombinatsiyasi asosida qurilgan tizim yuqori kuchlanishli SF₆ o'chirgichlarda namlikni doimiy nazorat qilish, ishonchlilikni oshirish va avariya xavfini kamaytirish uchun samarali yechim hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

- [1]. Abramov, A.A. Elegazovy vykljuchateli vysokogo napriazhenija. – Moskva: Energija, 2018. – 352 s.
- [2]. Barantsev, V.I. Diagnostika i tehicheskoe obsluzhivanie elegazovyh kommutacionnyh apparatov. – Moskva: Energoatomizdat, 2016. – 280 s.
- [3]. IEC 60376:2020. Specification of technical grade sulfur hexafluoride (SF₆) for use in electrical equipment. – International Electrotechnical Commission, Geneva.
- [4]. IEC 60480:2019. Guidelines for the checking and treatment of sulfur hexafluoride (SF₆) taken from electrical equipment and specification for its re-use.
- [5]. Haliullin, I. R. Kontrol' parametrov elegaza v vysokovol'tnyh vykljuchateljah. // Elektrotexnika, №7, 2019, s. 52–58.
- [6]. СТО 34.01–23–005–2021 «Методические указания по диагностированию элегазового оборудования». Дата введения: 30.12.2021. ПАО «Россети».
- [7]. ГОСТ Р 54426–2011 (МЭК 60480:2004) «Руководство по проверке и обработке эле газа (SF₆), взятого из электрооборудования, и технические требования к его повторному использованию.
- [8]. РД 16.066–05 «Элегазовое электротехническое оборудование. Технические требования к производству для обеспечения качества элегаза в оборудовании и меры обеспечения санитарно-гигиенической и экологической безопасности».
- [9]. ГОСТ Р 55716–2013 (IEC 62271–1:2011) «Коммутационная аппаратура высокого напряжения. Общие технические условия».