

YUQORI KUCHLANISHLI KABELLAR IZOLYATSIYASINI DIAGNOSTIKA QILISHNING ZAMONAVIY USULLARI

Tolipova Surayyo Baxodirovna

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti o'qituvchisi

Abduxalilov Abdulatif Abdujalil o'g'li

*Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti Energetika
muhandisligi fakulteti talabasi*

Odiljonov Xumoyun Xondamir o'g'li

*Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti Energetika
muhandisligi fakulteti talabasi*

Annotatsiya: Ushbu maqolada yuqori kuchlanishli (35 kV va undan yuqori) elektr kabellarining izolyatsiya tizimini diagnostika qilishning zamonaviy usullari va texnologiyalari tahsil qilinadi. Kabel izolyatsiyasining holati energiya uzatishning ishonchliligi va xavfsizligini belgilovchi asosiy omil bo'lib, vaqt o'tishi bilan yemirilishi, qarishi va nuqsonlarning paydo bo'lishi keng ko'lamli uzilishlar va qimmatli ta'mirlash ishlariga olib kelishi mumkin. Maqolada izolyatsiya diagnostikasining an'anaviy va innovatsion usullari, jumladan, qisman razryadlar (partial discharge - PD) monitoringi, dielektrik spektroskopiya, termovizion nazorat, tanadagi to'liq reflektometriyasi (TDR) va optik tahlil usullari tizimli tahlil qilinadi.

Kalit so'zlar: Yuqori kuchlanishli kabellar, izolyatsiya diagnostikasi, qisman razryadlar (PD), dielektrik spektroskopiya, termovizion monitoring, tanadagi to'liq reflektometriyasi (TDR), izolyatsiya qarishi, prognozlovchi texnik xizmat, elektr kabeli ishonchliligi.

Kirish

Yuqori kuchlanishli kabellar zamonaviy elektr energetika tizimlarining muhim tarkibiy qismi bo'lib, shaharlar, sanoat korxonalari va energetika ob'yektlari o'rtasida ishonchli va samarali energiya uzatishni ta'minlaydi. 35 kV dan 500 kV gacha va undan yuqori kuchlanish darajalarida ishlaydigan ushbu kabellar infratuzilmaning eng kritik elementlaridan biri hisoblanadi. Kabelning ishlash muddati va xavfsizligi, asosan, uning izolyatsiya tizimining sifati va barqarorligiga bog'liq. Izolyatsiya – bu kabel yadrosini o'rab turgan va elektr tokining chetga chiqib ketishiga yo'l qo'ymaydigan, shuningdek mexanik, issiqlik va kimyoviy ta'sirlardan himoya qiladigan asosiy qatlamdir.

Zamonaviy yuqori kuchlanishli kabellar odatda turli polimer materiallar (poliötülen, shu jumladan silanlangan poliötülen XLPE) yoki an'anaviy qog'oz-moyli izolyatsiyadan foydalanadi. Bu materiallar yuqori dielektrik kuchga, issiqlikka

chidamlilik va uzun muddatli barqarorlikka ega bo'lishi kerak. Biroq, vaqt o'tishi bilan izolyatsiya materiallari qarish, yemirilish va degradatsiyaga uchraydi. Bunga quyidagi omillar sabab bo'lishi mumkin: elektr maydonining doimiy ta'siri, termal tsikllanish (qizish va sovish), namlikning kirib borishi, kimyoviy reaksiyalar, mexanik shikastlar va muhitning agressiv ta'siri. Bu jarayonlar izolyatsiya qatlamida mikro va makro nuqsonlarning paydo bo'lishiga, dielektrik mustahkamlikning pasayishiga va natijada qisman razryadlar (partial discharge) va elektr uzilishlarining yuzaga kelishiga olib keladi.

An'anaviy ravishda, yuqori kuchlanishli kabellar izolyatsiyasini tekshirish va baholash reaktiv (reactive) yondashuv asosida amalga oshirilgan, ya'ni izolyatsiyada allaqachon aniq nuqsonlar paydo bo'lgandan keyin ularni aniqlash va ta'mirlashga qaratilgan. Bu yondashuv samarasiz bo'lib, kutilmagan uzilishlar, energiya etkazib berishning uzilishi, yuqori ta'mirlash xarajatlari va ba'zan jiddiy xavfsizlik xavflarini keltirib chiqarardi. Shu sababli, so'nggi yillarda proaktiv (proactive) va prognozlovchi (predictive) yondashuvlarga asoslangan diagnostika usullari keng qo'llanila boshladi. Bunda izolyatsiyaning holati muntazam ravishda monitoring qilinadi, degradatsiya jarayonlari erta bosqichda aniqlanadi va potentsial avariyaalar ular yuzaga kelishidan oldin oldini olinadi.

Tadqiqot natijalari energetika sohasidagi muhandislar, texnik xodimlar va tadqiqotchilar uchun amaliy ahamiyatga ega bo'lib, ularga yuqori kuchlanishli kabellar izolyatsiyasini samarali diagnostika qilish, ularning xizmat muddatini oshirish, xarajatlarni optimallashtirish va energetika tizimlarining ishonchliligini ta'minlash yo'llarini ko'rsatib beradi. Bundan tashqari, ushbu ish O'zbekiston kabi rivojlanayotgan energetika infratuzilmalarida zamonaviy diagnostika usullarini joriy etish strategiyalarini ishlab chiqishga yordam beradi.

Asosiy qism

Yuqori kuchlanishli kabellar izolyatsiyasini diagnostika qilishning zamonaviy usullari deganda nafaqat aniq va ishonchli o'lchash texnikasi, balki ma'lumotlarni kompleks talqin qilish, prognozlash va qaror qabul qilish tizimlarini ham tushunish kerak. Asosiy e'tibor izolyatsiyaning holatini baholashning bir qator tamoyil va texnologiyalariga qaratilgan bo'lib, ular an'anaviy usullarga nisbatan sezilarli ustunliklarga ega.

Qisman razryadlarni (Partial Discharge - PD) o'lchash va tahlil - izolyatsiya diagnostikasining eng muhim va sezgir usuli hisoblanadi. Qisman razryadlar izolyatsiya materialidagi mikro bo'shliqlar, yoriqlar yoki chetki sirtlarda elektr maydonining lokal konsentratsiyasi natijasida yuzaga keladigan impulsli razryadlardir. PD jarayoni izolyatsiyaning asta-sekin degradatsiyasiga olib keladi, chunki har bir razryad izolyatsiya materialining kichik qismini eritadi yoki kimyoviy o'zgartiradi. Zamonaviy PD o'lchash tizimlari yuqori chastotali o'tkazuvchanlik (HFCT) sensorlari,

kapasitiv kamarlar va ultrabarkosh (UHF) qabul qilgichlardan foydalanadi. HFCT sensorlari kabelning yoki ekranining atrofida o'rnatilib, PD natijasida yuzaga keladigan tezkor tok impulslerini qayd qiladi. UHF usuli esa 300 MHz dan 3 GHz gacha bo'lgan chastotalarda PD tomonidan chiqarilgan elektromagnit to'lqinlarni qabul qiladi. Uning afzalligi shovqinlarni samarali filtrlash va razryad manbasini aniq lokalizatsiya qilish qobiliyatidir. PD monitoring tizimlarining eng muhim jihati o'lchanayotgan signallarning tahlilidir. PD faolligining amplitudasi, fazasi, chastotasi va qaytalanish davri kabi parametrlar nuqsonning tabiati (ichki, sirt yoki shamollatish nuqsoni) va uning xavf darajasi haqida ma'lumot beradi. Zamonaviy tahlil dasturlari PD impulslerini fazaga nisbatan joylashtirish (PRPD - Phase-Resolved Partial Discharge) diagrammalarini yaratadi, bu esa turli xil nuqson turlarini avtomatik aniqlash imkonini beradi. Sun'iy intellekt, xususan konvolyutsiyali neyron tarmoqlar (CNN), PRPD naqshlarini tasniflashda 95% dan yuqori aniqlikka erishadi. PD manbasini lokalizatsiya qilish uchun vaqt oralig'i (Time of Flight - ToF) usuli qo'llaniladi, bunda bir nechta sensorlardan signal kelish vaqtlari farqi asosida nuqson joyi aniklanadi. Bu usul, ayniqsa, uzun kabel liniyalarida muhim ahamiyatga ega.

Dielektrik spektroskopiya izolyatsiya materialining dielektrik xususiyatlarini keng chastota (odatda 0.001 Hz dan 1 MHz gacha) va harorat oralig'ida o'rganishga asoslangan. Bu usul izolyatsiyaning molekulyar darajadagi o'zgarishlarini, masalan, polimer zanjirlarining harakatchanligi, ion migratsiyasi va dipol yo'nalishini o'rganish imkonini beradi. O'lchanadigan asosiy parametrlar - dielektrik o'tkazuvchanlik (ϵ') va dielektrik yo'qotishlar (ϵ''). Sog'lom izolyatsiyada ϵ' va ϵ'' chastota o'zgarishi bilan sekin o'zgaradi. Qarish jarayonida esa dielektrik yo'qotishlarning keskin o'sishi, xususan past chastotalarda, kuzatiladi. Bu o'sish izolyatsiyadagi erkin ionlar va dipollarning ko'payishidan dalolat beradi. Dielektrik spektroskopiya, shuningdek, izolyatsiyaning suv migratsiyasi (water treeing) darajasini aniqlashda juda samarali. Suv migratsiyasi - bu nam sharoitda izolyatsiyada daraxtsimi kanallar shakllanishi jarayoni bo'lib, dielektrik mustahkamlikni sezilarli darajada pasaytiradi. Yuqori chastotalarda (100 kHz dan yuqori) o'lchangan dielektrik parametrlar mikro nuqsonlarning paydo bo'lishini aks ettiradi. Dielektrik spektroskopiyaning afzalligi uning destruktiv bo'lmagan tabiati va izolyatsiyaning holatini kvantifikatsiya qilish imkoniyatidir. Biroq, usul nisbatan murakkab uskunalar va yuqori malakali mutaxassisni talab qiladi. So'nggi yillarda, elektr tizimlarida keng qo'llanilayotgan frekvensiya reaksiyasi tahlili (FRA) usuli asosida soddalashtirilgan dielektrik o'lchash qurilmalari ishlab chiqilmoqda.

Termovizion diagnostika kabel yo'nalishi bo'ylab harorat taqsimotini o'lchashga asoslanadi. Har qanday izolyatsiya nuqsoni, qisman razryad yoki ortiqcha kontakt qarshiligi issiqlik chiqarishiga olib keladi. Termal kamera yordamida kabel trassasining infraqizil tasviri olinadi va unda anormal issiq nuqtalar aniqlanadi.

Termovizion usulning afzalligi uning tezkorligi, masofadan o'lchash imkoniyati va vizual aniqligidir. U ayniqsa kabel bog'lash kameralari, ulashma qutulari va boshqa kirish mumkin bo'lgan joylarni tekshirishda samarali. Biroq, usul faqat sirt haroratini o'lchaydi va chuqur joylashgan nuqsonlarni aniqlay olmasligi mumkin. Bundan tashqari, atrof-muhit harorati, shamol va quyosh nurlari ta'siri natijalarga ta'sir ko'rsatishi mumkin. Shuning uchun termovizion tekshiruvlar odatda tungi vaqtda yoki kam shamolli kunlarda o'tkaziladi.

Tanadagi to'lqin reflektometriyasi (Time Domain Reflectometry - TDR) radar tamoyiliga asoslangan usul bo'lib, kabelga qisqa muddatli elektr impulsi yuboriladi va uning aks sadosi qayd etiladi. Kabeldagi har qanday impedans o'zgarishi (uzilish, qisqa tutashuv, izolyatsiya buzilishi) impulslarning bir qismini aks ettiradi. Aks sadosi shakli va vaqti nuqson turi va uning manzil masofasini aniqlash imkonini beradi. TDR an'anaviy ravishda metall yadroli kabellar uchun qo'llanilgan. Biroq, optik reflektometriya (OTDR) optik tolali kabellar uchun, izolyatsiyalangan tizim reflektometriyasi (ISR) esa yuqori kuchlanishli kabellar uchun ishlab chiqilgan. ISR usulida kabelga past chastotali (1 kHz dan 1 MHz gacha) sinusoidal signal yuboriladi va uning aks sadosi tahlil qilinadi. Bu usul izolyatsiya buzilishlarini, namlik kirib borishini va boshqa nuqsonlarni aniq aniqlash imkonini beradi. TDR ning asosiy cheklovi - u faqat kabel uzunligi bo'yicha nuqsonni aniqlay oladi, lekin nuqsonning radial joylashishini aniqlay olmaydi. Bundan tashqari, murakkab tarmoqlarda aks sadosini talqin qilish qiyin bo'lishi mumkin.

Optik va akustik usullar izolyatsiyadagi yoriqlar va bo'shliqlarni aniqlashda qo'llaniladi. Optik koherent tomografiya (OCT) yorug'lik to'lqinlarining interferometriyasidan foydalanib, izolyatsiya qatlamining ichki tuzilishini uch o'lchamli tasvirlash imkonini beradi. Bu usul juda yuqori fazoviy aniqlikka ega (mikrometr darajasida), ammo nisbatan qisqa chuqurlikda ishlaydi (bir necha millimetr). Akustik emissiya (AE) usuli esa qisman razryadlar yoki mexanik stress natijasida yuzaga keladigan yuqori chastotali tovush to'lqinlarini qayd qiladi. AE sensorlari kabel sirtiga o'rnatilib, akustik signallarning kelish vaqtlari va amplitudalari asosida nuqson joyi aniqlanadi. Bu usul, ayniqsa, yashirin nuqsonlarni aniqlashda samarali. Biroq, u atrof-muhit shovqiniga sezgir va murakkab kalibrlashni talab qiladi.

Prognozlovchi texnik xizmat (Predictive Maintenance) va sun'iy intellekt ushbu diagnostika usullarini integratsiyalashgan holda kabel izolyatsiyasining holatini real vaqt rejimida baholash va uning qolgan xizmat muddatini prognoz qilish imkonini beradi. Ma'lumotlar tahlili platformalari turli sensorlardan (PD, termal, dielektrik) olingan ma'lumotlarni birlashtirib, izolyatsiyaning holat indeksini (Health Index - HI) hisoblaydi. Bu indeks 0 (to'liq buzilgan) dan 100 (mukammal holat) gacha bo'lgan shkala bo'yicha baholanadi. Sun'iy intellekt algoritmlari, xusssus regressiya modellari va o'ngacha tarmoqlar, tarixiy ma'lumotlar asosida izolyatsiya degradatsiyasining

tezligini prognoz qiladi. Masalan, PD faolligining vaqt o'tishi bilan o'sish tendentsiyasi asosida izolyatsiyaning qancha vaqtda kritik holatga kelishini bashorat qilish mumkin. Bundan tashqari, AI tizimlari diagnostika natijalarini avtomatik talqin qilish, nuqsonlarni tasniflash va texnik xizmat choralari tavsia qilish imkoniyatiga ega. Bu xodimlarning malakasi va subyektiv bahosiga bo'lgan bog'liqlikni kamaytiradi.

Yuqori kuchlanishli kabellar izolyatsiyasini diagnostika qilishda mintaqaviy omillarni hisobga olish muhimdir. O'zbekiston va O'rta Osiyo mintaqasida yuqori harorat, quyosh nurlarining kuchli ta'siri, chang va qum bo'ronlari, shuningdek katta harorat tafovutlari izolyatsiya materiallarining tezroq qarishiga olib kelishi mumkin. Shuning uchun, ushbu mintaqalar uchun diagnostika dasturlari maxsus moslashtirilishi kerak. Masalan, termovizion tekshiruvlar chang qatlami tufayli murakkablashishi mumkin, shuning uchun tozalash yoki infraqizil o'tkazuvchanlikni hisobga olgan holda tuzatishlar kiritish talab qilinadi. Bundan tashqari, qurg'oqchil iqlimda dielektrik spektroskopiya orqali suv migratsiyasini aniqlash muhimdir.

Xulosa qilib aytish mumkinki, yuqori kuchlanishli kabellar izolyatsiyasini diagnostika qilishning zamonaviy usullari energiya uzatish tizimlarining ishonchliligi va xavfsizligini oshirishning muhim vositasi hisoblanadi. Ushbu usullarni muvaffaqiyatli qo'llash uchun turli diagnostika texnikalarini integratsiyalash, malakali kadrlar tayyorlash, ma'lumotlarni boshqarish va tahlil qilish tizimlarini yaratish, shuningdek mintaqaviy sharoitlarni hisobga olgan holda moslashtirish kerak. Bunda asosiy maqsad - avariylarni erta aniqlash, reaktiv ta'mirlashdan proaktiv va prognozlovchi texnik xizmatga o'tish, shu bilan energiya etkazib berishning uzilmasligini ta'minlash va uzoq muddatli iqtisodiy samaradorlikni oshirishdir.

Xulosa

Yuqori kuchlanishli kabellar izolyatsiyasini diagnostika qilishning zamonaviy usullari energetika tizimlarining ishonchliligi, xavfsizligi va iqtisodiy samaradorligini tubdan oshirish imkonini beruvchi muhim ilmiy-amaliy yo'nalish hisoblanadi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, an'anaviy reaktiv yondashuvlar (nuqson yuzaga kelgandan keyin ta'mirlash) energiya uzilishlariga, yuqori xarajatlarga va potentsial xavflarga olib kelishi bilan cheklangan bo'lsa, proaktiv diagnostika usullari izolyatsiya degradatsiyasini erta bosqichda aniqlash va avariylarning oldini olish imkoniyatini yaratadi.

Qisman razryadlarni (PD) o'lchash va tahlil qilish izolyatsiya nuqsonlarini aniqlashning eng sezgir va ishonchli usuli bo'lib, PD monitoring tizimlari izolyatsiyadagi mikro yoriqlar va bo'shliqlarni ular elektr uzilishlariga olib kelishidan oldin aniqlash imkonini beradi. Zamonaviy UHF va HFCT sensorlari, PRPD tahlili va sun'iy intellekt asosidagi tasniflash algoritmlari PD manbalarini 95% dan yuqori aniqlik bilan lokalizatsiya qilish va baholash imkonini beradi. Dielektrik spektroskopiya usuli izolyatsiya materialining molekulyar darajadagi o'zgarishlarini,

suv migratsiyasi va qarish jarayonlarini aniqlashda noyob imkoniyatlar yaratadi, bu esa izolyatsiyaning qolgan xizmat muddatini aniq prognoz qilish uchun zarurdir.

Termovizion diagnostika, tanadagi to'liq reflektometriyasi (TDR) va optik-akustik usullar esa izolyatsiya nuqsonlarini aniqlashning qo'shimcha vositalari sifatida muhim ahamiyat kasb etadi. Termovizion tekshiruvlar issiqlik chiqaradigan nuqsonlarni tezda aniqlash imkonini bersa, TDR va uning turlari izolyatsiya buzilishlarini kabel uzunligi bo'yicha lokalizatsiya qilishga qaratilgan. Bu usullarning har biri o'ziga xos afzalliklarga ega bo'lib, ularni integratsiyalashgan holatda qo'llash eng yuqori samaradorlikni ta'minlaydi.

Sun'iy intellekt va ma'lumotlar tahlili asosidagi prognozlovchi texnik xizmat (Predictive Maintenance) tizimlari zamonaviy diagnostikaning mantiqiy davomi hisoblanadi. Ular turli sensorlardan olingan ma'lumotlarni birlashtirib, izolyatsiyaning holat indeksini (Health Index) hisoblaydi va degradatsiya jarayonlarini dinamik ravishda prognoz qiladi. AI algoritmlari diagnostika natijalarini avtomatik talqin qilish, nuqsonlarni tasniflash va texnik xizmat choralari optimallashtirish imkoniyatini yaratadi, bu esa inson omilining xatosini kamaytiradi va qaror qabul qilish samaradorligini oshiradi.

O'zbekiston va O'rta Osiyo mintaqasi kabi qurg'oqchil iqlim sharoitida diagnostika usullarini maxsus moslashtirish talab qilinadi. Yuqori harorat, quyosh radiatsiyasi, chang va katta harorat tafovutlari izolyatsiya materiallarining tezroq qarishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli, ushbu mintaqalar uchun diagnostika dasturlarini ishlab chiqishda atrof-muhit omillarini hisobga olish, termovizion tekshiruvlarda chang ta'sirini hisobga olgan tuzatishlar kiritish va suv migratsiyasini aniqlashga alohida e'tibor berish muhimdir.

Iqtisodiy jihatdan, zamonaviy diagnostika usullarini joriy etish dastlabki investitsiyalarni talab qilsa-da, ular uzoq muddatda sezilarli iqtisodiy samara keltiradi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, prognozlovchi diagnostika tizimlari kabel tizimlarining ishlash muddatini 30-40% ga oshirishi, reaktiv ta'mirlash xarajatlarini 50% ga kamaytirishi va rejalashtirilmagan uzilishlarni 70-80% ga oldini olishi mumkin. Bu esa energiya etkazib berishning uzilmasligini ta'minlash, iste'molchilarning ishonchini oshirish va energetika kompaniyalarining raqobatbardoshligini kuchaytirishga xizmat qiladi.

Kelajakda yuqori kuchlanishli kabellar izolyatsiyasini diagnostika qilish usullari yanada avtomatlashtirilgan, o'z-o'zini o'rganuvchi va real vaqt rejimida ishlaydigan tizimlarga aylanadi. Bulutli hisoblash platformalari, keng maydonli sensor tarmoqlari (IoT) va sun'iy intellektning chuqur o'rganish algoritmlari diagnostika aniqligi va tezligini yanada oshiradi. Bundan tashqari, kiberfizikaviy tizimlar (CPS) diagnostika ma'lumotlarini boshqaruv tizimlari bilan integratsiyalashgan holda, avariyaning avtomatik ravishda oldini oladigan aqlli energetika tizimlarini shakllantirish imkonini

beradi.

Xulosa qilib aytish mumkinki, yuqori kuchlanishli kabellar izolyatsiyasini diagnostika qilishning zamonaviy usullari energetika infratuzilmasining barqaror rivojlanishi va modernizatsiyasining ajralmas qismidir. Ushbu usullarni muvaffaqiyatli amaliyotga joriy etish uchun ilmiy tadqiqotlar, malakali kadrlar tayyorlash, texnologik jihozlanish va samarali boshqaruv mexanizmlarini uyg'unlashtirish zarur. Bunda asosiy maqsad – energiya uzatish tizimlarining ishonchliligi, xavfsizligi va uzluksizligini ta'minlash, shu bilan birga resurslarni samarali boshqarish va atrof-muhitga salbiy ta'sirni minimallashtirishdan iborat.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. **Abdurahmonov, S.S., To'rayev, A.A.** (2023). *Yuqori kuchlanishli kabellar izolyatsiyasida qisman razryadlarni o'lchash va tahlil qilish usullari*. O'zbekiston energetikasi jurnali, 4(2), 45-53. Toshkent.
2. **Xakimov, Z.T., Karimov, I.R.** (2022). *Elektr kabellarining dielektrik spektroskopiya usuli bilan diagnostikasi*. Energetika va atrof-muhit, 3(5), 67-74.
3. **Ismatov, J.A., Raxmonov, U.O.** (2021). *Yuqori kuchlanishli kabel liniyalarini termovizion monitoring qilish*. Fan va texnika yangiliklari, 2(8), 34-41.
4. **Yusupov, M.M., Tursunov, B.B.** (2023). *Tanadagi to'lqin reflektometriyasi usuli yordamida kabel nuqsonlarini aniqlash*. Elektr tarmoqlari va tizimlari, 1(6), 78-85.
5. **Nazarov, K.Sh., Sultonov, A.A.** (2022). *Sun'iy intellekt asosida yuqori kuchlanishli kabellar holatini prognozlash tizimlari*. Axborot texnologiyalari va energetika, 5(3), 56-63.
6. **Bartnikas, R., & Srivastava, K. D. (Eds.)**. (2020). *Partial Discharge Measurement and Analysis in High Voltage Equipment*. IEEE Press Series on Power Engineering.
7. **Hussain, M. M., & Khan, Y.** (2021). *Dielectric Spectroscopy for Condition Assessment of XLPE Insulated Cables*. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 28(4), 1245-1253.
8. **International Electrotechnical Commission (IEC)**. (2022). **IEC 60270: High-voltage test techniques – Partial discharge measurements.* IEC Standards*.
9. **Wang, P., & Jackson, R.** (2023). *Thermal Imaging and Advanced Diagnostic Techniques for Power Cable Systems*. Springer Energy Series.
10. **CIGRE Working Group B1.53**. (2021). *Condition Assessment of XLPE Cable Systems – Diagnostic Testing and Data Interpretation*. CIGRE Technical Brochure 780.