



# ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИ ВА ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ ТИЗИМЛАРИ ЭЛЕКТР ЖИҲОЗЛАРИНИНГ ИШОНЧЛИЛИГИНИ ОШИРИШ МАҚСАДИДА ЮҚОРИ КУЧЛАНИШЛИ ФЕРРОРЕЗОНАНСЛАРНИ ОЛДИНИ ОЛИШ ВА БАРТАРАФ ЭТИШ ЧОРАЛАРИ

Товбоев А.Н. [0009-0005-6030-9506]

*Навоий давлат кончилиқ ва технологиялар университети, “Энергетика”  
кафедраси профессори, техника фанлари доктори (DSc).*

**Аннотация.** Ушбу мақолада қурилиш электр таъминоти тизимида феррорезонанс ҳодисаси таъсирида пайдо бўладиган асосий, субгармоник (қуйи) гармоник ва юқори гармоник тебранишлари таҳлил қилинган. Таҳлил натижаларига кўра субгармоник частотадаги феррорезонанс ҳодисалари назарий ва эксперимент тадқиқотларга кўра электр схемаси ўрганилган. Бундан ташқари қурилиш электр таъминоти тизимларида кучланиш трансформаторларида магнит ўзақларининг тўйиниши билан боғлиқ хавфли феррорезонанс ҳодисаларининг юзага келиши ўрганилиб, юқори кучланишли ҳамда субгармоник феррорезонансларнинг ҳаддан ташқари кучланишини олдини олиш ва бартараф этиш бўйича тавсиялар берилган.

**Калит сўзлар:** феррорезонанс, юқори кучланишли феррорезонанс, субгармоник феррорезонанс, кучланиш трансформатори, антирезонансли кучланиш трансформатори, резистивли нейтрални ерга улаш.

**Annotation.** This article analyzes the basic, subharmonic (lower) harmonic and upper harmonic oscillations that occur under the influence of the ferroresonance phenomenon in the building electrical supply system. Based on the results of the analysis, ferroresonance phenomena at subharmonic frequency according to theoretical and experimental studies, an electrical circuit was studied. In addition to this, the occurrence of dangerous ferroresonance phenomena associated with the saturation of magnetic cores in voltage transformers in construction power supply systems has been studied and recommendations have been made to prevent and eliminate overvoltage of high voltage and subharmonic ferroresonans.

**Keywords:** ferroresonance, ferroresonance overvoltages, subharmonic ferroresonance, voltage transformer, antiresonance voltage transformer, resistive neutral grounding.

**Аннотация.** В данной статье анализируются основные, субгармонические (нижние) гармонические и верхнегармонические колебания, возникающие под влиянием явления феррорезонанса в системе электроснабжения здания. На основании результатов анализа феррорезонансных явлений на субгармонической частоте в соответствии с теоретическими и экспериментальными исследованиями была изучена электрическая схема. В дополнение к этому, было изучено возникновение опасных явлений феррорезонанса, связанных с насыщением магнитопроводов в трансформаторах напряжения в строительных системах электроснабжения, и были даны рекомендации по предотвращению и устранению перенапряжений высоковольтных и субгармонических феррорезонансов.

**Ключевые слова:** феррорезонанс, феррорезонансные перенапряжения, субгармонический феррорезонанс, трансформатор напряжения, антирезонансный трансформатор напряжения, резистивное заземление нейтрали.

## Кириш

Кўплаб тадқиқотлар натижалари шуни кўрсатадики, автопараметрик тебранишларнинг кўзғалиш жараёнларини ўрганиш ва асосий қонуриятларини ҳамда тегишли частоталарни математик моделлаштириш усули ёрдамида аниқлаш ва электр таъминоти тизимларида хавфли субгармоник феррорезонанснинг ҳаддан ташқари кучланишини олдини олиш ва йўқ қилиш бўйича чора-тадбирларни ишлаб чиқилиши катта амалий аҳамиятга эга [1].



Субгармоник феррорезонанс жараёнлари кам қувват туфайли кучланиш трансформаторларининг чулғамларининг қизиби кетишига ва уларнинг шикастланишига олиб келади. Феррорезонансдан зарарни камайтириш учун турли хил антирезонансли кучланиш трансформаторлари ишлаб чиқарилмоқда, аммо уларнинг барчаси эксплуатация талабларига жавоб бермайди [2,3]. Феррорезонанс пайтида электр жиҳозларининг изоляциясида тоқларнинг юқори қийматларида ортиқча кучланиш юқори гармоникда кучланиш трансформаторларининг юқори кучланиш (ЮК) чулғамларида субгармоник тебранишларни кўзғатганда пайдо бўлиши мумкин.

Электр жиҳозларининг изоляциясида феррорезонанс пайтида, яъни субгармоник тебранишлар кўзғатганда кучланиш трансформаторларининг ЮК чулғамларида юқори гармоникада ва тоқларнинг юқори қийматларида ҳаддан ташқари кучланиш кузатилади [4,5]. Қишлоқ тармоқларининг ишлаши шуни кўрсатадики, энг кенг тарқалган анъанавий 6-35 кВ тармоқлардаги изоляцияни назорат қилиш учун мўлжалланган кучланиш трансформаторлари - нейтралли изоляция бўлган қишлоқ тармоқларида шикастланади, унда бир фазали ерга туташув кунлар давомида ўчирилмаслиги мумкин. Шуни таъкидлаш кераки, мавжуд ишларда уч фазали схемаларда субгармоник феррорезонанс тебранишларини кўзғатиш жараёни асосан экспериментал равишда ўрганилган ва назарий таҳлил эквивалент бир фазали алмаштириш схемасига ўтказиш билан ўрганилган [1-9]. Бироқ, бундай соддалаштирилган усул феррорезонанс занжирларини сифатли таҳлил қила олмайди. Ўрганилган натижалар шуни кўрсатадики, уч фазали феррорезонанс занжирининг фазалараро ўзаро таъсирлари ва магнит боғланишини ҳисобга олмасдан, субгармоник частотада феррорезонанс тебранишларининг кўзғалиш хусусиятларини тўлиқ очиб бериш мумкин эмас. Шунинг учун математик моделлаштириш ва экспериментал тадқиқотларининг назарий таҳлилдан олинган маълумотларга асосланиб, энергетика тизимларида субгармоник феррорезонанс тебранишларини кўзғатишнинг олдини олиш ва йўқ қилиш бўйича қуйидаги тавсиялар бериш мумкин. Шунга асосан олинган маълумотлар асосида энергетик тизимларда юзага келадиган турли феррорезонанс частоталарда тебраниш жараёнларини бартараф этиш усулларини кўриб чиқамиз:

1. Электр таъминоти тармоқлари ва тизимларида субгармоник феррорезонанснинг пайдо бўлиш сабаблари.

Бу жараёнларни келтириб чиқарувчи сабаблар қуйидагилардан иборат: ерга нисбатан электр тармоғи сифимининг ноқулай комбинацияси ва кучланиш трансформаторларининг ночизиқли индуктивлиги; қисқа туташувлар; сим узилишлари; фазалари тўлиқ бўлмагандаги коммутациялар; ерга ёйсимон қисқа туташувлар; юкланмаган трансформаторларда коммутация жараёни ва бошқалар.

1.1. Тармоқнинг ерга нисбатан сифим тоқларининг қийматлари турли кучланиш трансформатори учун 0,3 А дан 3,5 А гача бўлса, тармоқда феррорезонанслар содир бўлади. Шуни эслатиш лозимки, ерга нисбатан сифим тоқларининг тахминий қийматлари: 35 кВ ҳаво электр узатиш линиялари учун —0,11 А/км; 10 кВ ҳаво электр узатиш линиялари учун—0,025 А/км; 6 кВ ҳаво электр узатиш линиялари учун —0,015 А/км. Яъни, 35 кВ кучланишли электр узатиш тармоғига ЗНОМ (ЗНОЛ) типли битта кучланиш трансформатори уланганда умумий узунлиги  $3 < L < 35$  км бўлган ҳаво электр тармоқларида хавфли феррорезонанс юзага келиши мумкин. Шунга кўра, кабел линиялари учун тоқлар:  $U_n = 6 \text{ кВ} — 0,9 \text{ А/км}$ ;  $U_n = 10 \text{ кВ} — 1,1 \text{ А/км}$ ;  $U_n = 35 \text{ кВ} — 4 \text{ А/км}$ .

Бундан келиб чиқадики, умумий узунлиги 1 км дан катта бўлган кабел узатиш линиялари уланган 35 кВ электр тармоқларида феррорезонанс юзага келмайди. Бундан ташқари, мавжуд техник адабиётларда феррорезонанснинг юзага келиш шартларидан бири ер билан сифим токи 1-2 А бўлганда кузатилиши мумкин.

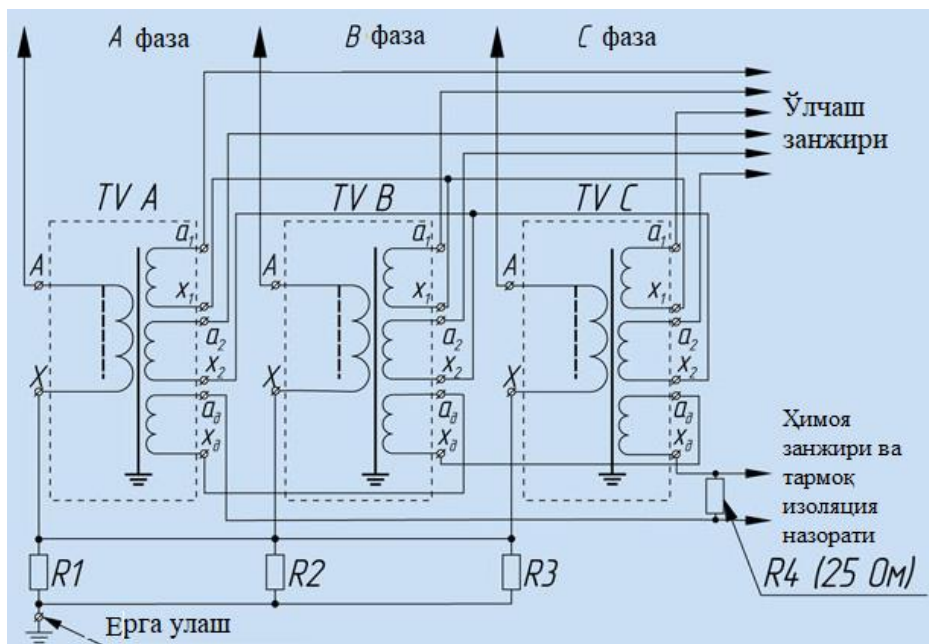
1.2. Тармоқда феррорезонанснинг пайдо бўлиши кучланиш трансформаторлари ўрнатилган подстанцияларнинг кучланиш даражаларига боғлиқ. Кучланиш қанча юқори бўлса, феррорезонанс кучланишларнинг эҳтимоли шунча катта бўлади.

1.3. Феррорезонанснинг пайдо бўлиши об-ҳаво шароитларига сезиларли даражада боғлиқ (қор ёғиши пайтида, ҳаво совуганда, намлик ортганда, жала ёғиши ва ёмғир пайтида ҳавонинг ионлашуви ҳисобига содир бўлиш эҳтимоли ортади). Тармоқ тоқининг актив



ташкил этувчиларининг мавжудлиги 1% дан катта бўлиши ерга нисбатан сиғимнинг даврий феррорезонансининг ривожланишига имкон бермайди.

1.4. Ҳисоблашлар шуни кўрсатадики, НТМИ-35 ва ЗНОМ-35 турдаги кучланиш трансформаторларининг очиқ учбурчак чулғамига параметрлари  $R=25$  Ом ва  $P=400$  Вт бўлган доимий уланган резисторлар иштирокида ишлатилиши керак. Уланиш схемаси 1-расмда келтирилган.



1-расм НТМИ-35 ва ЗНОМ-35 турдаги кучланиш трансформаторларининг очиқ учбурчак чулғамига резисторларнинг уланиш схемаси.

НТМИ-6 ва ЗНОМ-6 турдаги кучланиш трансформаторларининг очиқ учбурчак чулғамига  $R = 60$  Ом ва  $P=100$  Вт бўлган доимий уланган резисторлар иштирокида ишлатилиши зарур. Агар резистор бўлмаса, тармоқда турли коммутация ҳолатлари, жумладан ҳаво линиясини қўшиш ва ажратиш, АҚУ (автоматик қайта улаш) вақтида кучланиш трансформатори ажратгичини қўшиш ва ажратиш трансформаторда 50, 100, 150, ... Гц частотали хавфли автопараметрик тебраниш жараёнлари содир бўлиши мумкин. Юқорида кўрсатилган резистор  $R = 0$  бўлганда 50/2, 50/3 Гц частотали субгармоник феррорезонансга айланади ва кучланиш трансформаторлари учун хавф туғдиради, чунки кучланиш трансформаторининг бирламчи чулғамларида ток катта ёки рухсат этилган қийматидан ошиб кетиши, бир неча дақиқа ичида кучланиш трансформаторини қизишига олиб келади.

1.5. Субгармоник феррорезонансининг пайдо бўлиши амалда ерга нисбатан сиғим токининг узилиш моментига боғлиқ эмас.

1.6. Субгармоник феррорезонансининг пайдо бўлиши кучланиш трансформаторининг магнитланиш хусусиятларига боғлиқ. Эски ёки таъмирланган трансформаторлар янгиларига қараганда тез-тез феррорезонансга тушади, чунки уларнинг магнитланиш ёки тўйиниш хусусиятлари текисроқ бўлади.

1.7. Субгармоник феррорезонанс кучланиш трансформатори юкламасининг даражасига боғлиқ, айниқса  $I_c$  ва  $U_{ном}$  чегара қийматлари нисбатига боғлиқ. Кучланиш трансформатори юкламаси қанча катта бўлса, феррорезонанс жараёнларининг содир бўлиши шунча кам бўлади. Юқорида тақдирланган шарт-шароитларда электр таъминоти тизимидаги феррорезонанс жараёнларини юзага келишига сабаблардан ҳисобланади.

Субгармоник феррорезонанс юзага келиши олдини олиш учун қуйидаги қўшимча шартларга эътибор қаратиш керак:

- трансформаторларнинг кам юкламада ишлашидан;
- феррорезонансли берк контур ҳосил бўлишини бартараф этилмаганда;



- Трансформаторнинг фазалари қисқа ва узоқ муддатли очик қолганда;
- трансформатор фазаларини синхронлаштирмасдан қайта уланганда;
- Кучланиш трансформаторларини ҳеч қандай ўчириш чораларисиз ишлатишда;
- Тизимда нейтрал сим узилганда ва ерга кучсиз уланганда ёки индуктивлик орқали ерга уланганда;
- Юқори кучланишли ўчиргичларда сиғимли кучланишни бўлгичдан фойдаланилганда;
- Конденсаторларни шунт ўрнида ва кетма-кет компенсациялашда ишлатилганда;
- Магнит ўзақлари тўйинувчи магнит реакторлардан фойдаланганда.

2. Субгармоник феррорезонансинг пайдо бўлиши ва бартараф бўйича тавсиялар.

2.1. 6-10 кВ кучланишли тармоқларда субгармоник феррорезонанс пайдо бўлишининг сабаблари.

Изоляция қилинган нейтрал кучланиши 6-10 кВ бўлган тармоқларда кучланиш субгармоник феррорезонанс ҳисобидан ошиб кетиши мумкин. Бунинг сабаби шундаки, қисқа туташув пайтида итератив турдаги кучланиш трансформаторининг юқори кучланишли ўтказгичлари орқали ўтадиган ва бутун тармоқ кучланиш трансформаторининг магнит ўзагида тўйинган сиғимли разряд содир бўлади. Бу чулғамнинг ҳаддан ташқари қизиби кетишига ва юқори кучланишли чулғам орқали ўтадиган токнинг ошиши туфайли кучланиш трансформаторининг шикастланишига олиб келади. Бундай ҳолларда НТМИ ва НОМ кучланиш трансформаторларининг бир фазали ёйли қисқа туташувлари натижасида ерга кичик ток (1 А гача) ўтганда шикастланиш кузатилади. Нейтрал ерга реактор ёки қаршилик ёрдамида уланганда субгармоник феррорезонанс пайдо бўлмайди.

2.2. Субгармоник феррорезонанс кучланишининг кўтарилиши ва кучланиш трансформатори шикастланишининг олдини олиш учун 6-10 кВ тармоқлар учун тавсиялар.

Агар 6-10 кВ кучланишли тармоқнинг нейтрал изоляция қилинган бўлса, НАМИ типдаги кучланиш трансформаторидан фойдаланиш тавсия этилади. Чунки бу турдаги кучланиш трансформатори резонансга қарши ҳимояга эга. Агар НОМА ёки НАМИ кучланиш трансформатори 6-10 кВ кучланишли тармоқнинг бошқа ҳудудларида қўюнилан бўлса, унда бундай тармоқда фақат битта кучланиш трансформаторидан фойдаланиш тавсия этилади ва бундай тармоқларда мавжуд қолган кучланиш трансформаторини узиш талаб этилади. НТМИ типли кучланиш трансформатори 6-10 кВ электр тармоқлари учун реле ҳимояси ёки электр энергиясини ўлчаш шарт билан битта кучланиш трансформатори билан чекланишга йўл қўйилмайди, иккинчи НТМИ ни икки фаза оралиғида НОМА типдаги бир фазали кучланиш трансформатори билан алмаштириш тавсия этилади ва икки ёки ундан ортиқ НТМИ турдаги кучланиш трансформатори дан фойдаланиш мумкин эмас. 6-10 кВ кучланишли тармоқларда НОМА типдаги КТ дан фойдаланганда учбурчак ёки очик учбурчак схемаси бўйича йиғилган учта бир фазали кучланиш трансформаторларидан фойдаланиш тавсия этилади ва у кучланиш трансформатори фазаси учун мўлжалланган қаршилик орқали ерга уланиши керак (400 Вт, 10 кОм). Агар тармоқда НТМИ типдаги кучланиш трансформатори мавжуд бўлса, унда қуввати 400 кВт бўлган 10 кОм қаршилик тавсия этилади. Бунинг учун корпусдан фақат нейтрал чиқарилади ва у қўшимча қурилма ёрдамида чиқарилади, лекин тузилишига ўзгартириш киритиш, яъни корпусни очиш тақиқланади.

2.3. 35 кВ кучланишли тармоқларда субгармоник феррорезонанс пайдо бўлиш сабаблари. Агар изоляция қилинган нейтрал тамоқ 35 кВ кучланишга эга бўлса ва сиғим токнинг ерга қисқа туташув пайтида узоқ вақт феррорезонанс кучланиш ошиши натижасида битта кучланиш трансформаторида субгармоник феррорезонанс кўзғалиши ҳисобидан кучланиш трансформатори юқори чулғамидан ўтаётган ток 2 А дан ошмаслиги мумкин бўлса, ҳаво линияси ёки бир фазали қисқа туташувни бартараф этади. Тармоқ компенсацияланган нейтралга эга бўлганлиги сабабли субгармоник феррорезонанс содир бўлмайди.

2.4. 35 кВ кучланишли тармоқларда субгармоник феррорезонансинг олдини олиш бўйича тавсиялар.





Субгармоник феррорезонанс пайдо бўлишининг олдини олиш учун ЗНОМ-35 кВ кучланишли кучланиш трансформаторларининг бир қисмини тармоқда қолдириш тавсия этилади, шунда кучланиш трансформаторидаги сиғимли токи 2 А га ошади. 35 кВ кучланишли иккита бир фазали кучланиш трансформатори ЗНОМ билан-35 кВ кучланиш тармоғига киритилган. Реле ҳимояси ва автоматика ёки электр ҳисоблагичларга кучланиш бериш учун линия кучланиш тармоғига киритилган ЗНОМ-35 кВ кучланиш трансформаторини иккита бир фазали кучланиш трансформатори ЗНОМ-35 кВ билан алмаштириш тавсия этилади. Субгармоник феррорезонанснинг пайдо бўлишини бартараф этишга қаратилган мақсадга мувофиқ усуллардан бири бу камида 2А ичида сиғим токи қийматини назорат қилиш учун тармоққа уланган 35 кВ кучланишли ЗНОМ-35 кучланиш трансформаторларининг сонини доимий сақлашдир. Агар бир қатор сабабларга кўра кучланиш трансформаторларни тармоқлардан узиб бўлмайдиган бўлса (кучланиш трансформатори автоматлаштириш ёки электр ўлчаш мосламаларининг ишлашини таъминласа), линия тармоққа мувофиқ бўлган битта уч фазали кучланиш трансформатори ўрнига бир хил турдаги иккита бир фазали кучланиш трансформаторидан фойдаланишга рухсат берилади.

2.5. 6-35 кВ кучланишли линиялар учун тўлиқ бўлмаган фазали режимларда субгармоник феррорезонанс сабаблари.

6-35 кВ тармоқларнинг электр узатиш линиялари (ЭУЛ) узилиши мавжуд бўлганда, электр коммутация қурилмаларининг ишлашида, шунингдек тармоқнинг ўзида тўлиқ бўлмаган режим содир бўлади. Шу билан бирга, қувват манбаи билан ҳаво линиясининг узилган қисми манба билан алоқани тўлиқ йўқотмайди, изоляция қилинган нейтрал билан бир нечта трансформаторлар орқали тўғридан-тўғри алоқа қиладиган, ночизиқли тебранишлар билан контур ҳосил қилувчи сиғим ташкил этувчиси қолади. Ушбу схема изоляция қилинган нейтрал ва қувват линиясида узилган трансформаторлар фазаларининг индуктивлиги билан таъминланади, шу билан бирга узоқ муддатли юқори кучланиш ҳодисаси кузатилади, бу биринчи навбатда кучланиш трансформаторларига, шунингдек тармоқдаги бошқа чизиқли ускуналарга хавф солади. Тўлиқ бўлмаган фаза режими 6-35 кВ линияларда электр узатиш линиялари ёки ўчиргичлар натижасида юзага келади. Тармоқ қувватининг бир қисми қувват манбаи билан тўғридан-тўғри алоқани йўқотади ва унга изоляция қилинган нейтралли бир ёки бир нечта трансформатор орқали уланади. Электр таъминоти ва ҳаво линияларининг ишдан чиқиши куч трансформаторининг ночизиқли индуктивлик фазалари узоқ муддатли кучланиш билан бирга, биринчи навбатда кучланиш трансформаторининг мумкин бўлган ночизиқли тебранишларини ва ускуналар учун хавфли схемани ҳосил қиладди. Субгармоник феррорезонанс кучланиш трансформаторларда кичик сиғимлар билан 6-35 кВ кучланишли қисқа линияларда кўзғалади. Субгармоник феррорезонанс изоляция қилинган нейтраллар билан 6-35 кВ линияларда кўзғалиши мумкин. Одатда, бундай феррорезонанс частоталар  $1/2$ ,  $1/3$ ,  $1/5$ ,  $1/7$  ва бошқа гармоникалардир. Бунда феррорезонанслар кучланиш трансформаторининг изоляцияни бошқариш учун ерга уланган ЮК қийматига боғлиқ. Бундай ҳолда, субгармоник феррорезонанслар қисқа масофали линияларда кўзғалиши мумкин. кучланиш трансформаторининг баъзи фазаларида магнитланиш токи икки баравар кўпаяди, магнитланган пўлат тўлиқ тўйинган бўлади ва жорий қийматлар максимал мумкин бўлган чегараларга кўтарилади ва бу чулғамнинг қизиби кетишига сабаб бўлади ва кучланиш трансформатори ишдан чиқади. Бир фазали 35 кВ кучланиш трансформаторлар ҳаво линиялари орқали қувватланганда 5 км дан 10 км гача 35 кВ ҳаво линияларида юзага келадиган феррорезонансга тушадиган барча уч фазали кучланиш трансформаторларининг гуруҳларига сезиларли даражада хавфлидир. Бундай ҳолларда  $1/2$  частотали ёки унга яқин бўлган субгармоник частоталарда феррорезонанс пайдо бўлади. Субгармоник феррорезонанс пайдо бўлибиб, фақат нол кетма-кетликдаги фазавий кучланишларни бузади. Тармоқ фазаларидаги кучланиш максимал кучланишдан ошмайди ва шунинг учун кучланиш трансформатори дан ташқари электр жиҳозлари учун катта хавф туғдирмайди.

2.6. 6-35 кВ тармоқларда тўлиқ бўлмаган фазали режимларда субгармоник феррорезонансни бартараф этиш бўйича тавсиялар.



35 кв кучланишли электр тармоқларида субгармоник феррорезонанс жараёнларини бартараф етиш учун қуйидагиларни бажариш тавсия этилади:

- барча турдаги кучланиш трансформаторларининг юқори чулғамлари ерга уланган бўлиши керак ва ҳисоблаш натижаларига мувофиқ қаршилиқ очиқ учбурчакка уланиши керак;
- кучланиш трансформаторининг юқори чулғамлари ва кириш кучланиш манбаи ўртасида катта қаршилиқ улаш шарт;
- иложи бўлса, НАМИ типдаги кучланиш трансформаторларидан фойдаланиш керак ёки НАМИ типдаги кучланиш трансформаторлари ўрнига сиғимли бўлгичлардан фойдаланиш мумкин;
- тўйинмаган магнит тизимли кучланиш трансформаторларидан максимал даражада фойдаланиш.

Кучланиш трансформаторларининг иккиламчи чулғами ток трансформатори орқали нол кетма-кетликда ерга уланиши зарур. Бундай ҳолларда кучланиш трансформаторларининг бирламчи чулғамида кучланиш бўлгичларидан фойдаланиш мумкин, аммо бу етарли даражада самарали эмас. Бундай ҳолларда кучланиш трансформаторларини ўлчаш жараёнлари ёмонлашади. Чунки бундай кучланиш бўлгичлардан фойдаланиш сабабидан халос бўлишга имкон беради. Куч трансформаторлари тўлиқ бўлмаган фазалари бўлган электр тармоқларида номинал юкламадан кам юкламада ишлаганда, баъзи электр жиҳозлари ва реакторлар ёй разрядланмасдан ишлаганда кучланиш трансформаторларининг юқори чулғамларига зарар бермаслик учун реле ҳимояси нисбатан қисқа вақт ичида ишга туширилишини таъминлаш керак. Ҳимоя мосламалари иккита ихтиёрий фазанинг юқори кучланишида ишга туширилиши лозим, шу билан бирга автоматик ҳимояни кечиктириш вақти электр тармоғидаги истеъмолчиларни ҳимоя қилиш мосламаларининг кечикиш вақтидан узоқроқ бўлиши шарт. Олдиндан маълум бўлган ҳолатларда, кам юкламали истеъмолчиларидан бошлаб, ҳимоя воситаларини ишга тушириш жараёни ўчирилиши талаб этилади. Субгармоник феррорезонансга олиб келмайдиган ёки бошқа кучланиш трансформаторлари томонидан қўзғалган субгармоник феррорезонансга бардош бера оладиган резонансга қарши кучланиш трансформаторларининг ўрнатилиши уларнинг ишдан чиқишини олдини олиш учун шароит яратади. 6-35 кВ тармоқларда тўлиқ бўлмаган тармоқ режимлари ва электр коммутация ускуналари хавфини ҳисобга олган ҳолда, электр энергиясининг кучланиш трансформатори, шунингдек чизикли ускуналарнинг (ОПН) муддатидан олдин ишдан чиқишини олдини олиш учун, биринчи навбатда, тўлиқ бўлмаган режимнинг мавжуд бўлиш муддатини қисқартириш лозим. Шунингдек, автоматлаштиришнинг электр таъминотини тармоқнинг шикастланган қисмининг манбаларидан узиш тавсия этилади. Бундан ташқари фойдалинадиган кучланиш трансформаторлари саноат частотасида синовдан ўтказилган ҳолда фойдаланишга рухсат берилади. 1-жадвалда оддий ва енгил изоляцияга ега 35 кв гача бўлган кучланиш трансформаторлари учун саноат частотасидаги синов кучланишлари келтирилган.

1-жадвал.

Кучланиш кВ.	Синов кучланишлари, кВ.			
	Оддий керамикали	Оддий органик	Енгил керамикали	Енгил органик
3	24	21,6	13	11,7
6	32	28,8	21	18,9
10	42	37,8	32	28,8
15	55	49,5	48	43,2
20	65	58,5	-	-
35	95	85,5	-	-



Автоматлаштириш фазалардан бирининг энг юқори кириш кучланишига эга бўлган барча уч фаза билан ишлаши учун ҳимояни сошлаш талаб қилинади. Худудда бошқа вақт кечиктирилган ҳимоя воситаларидан фойдаланганда, нотўғри узилишни олдини олиш учун энг узоқ вақтни белгилаш керак. Ҳимоя вақтининг минимал бузилиши учун кам юкланган тармоқ истеъмолчиларига фидердан ёки шиналарнинг таъминот қисмидан танлаб ажратиш лозим. Ушбу тадбир ҳимоя тизимини ишга туширишдан олдин амалга оширилади.

3. Феррорезонанс занжирларида кучланиш трансформаторларининг шикастланишини олдини олиш бўйича тавсия.

Кучланиш трансформатори чулғамларига зарар етказилишининг олдини олишга қаратилган чора-тадбирлар олдиндан ўтказилган тадқиқотлар ва мавжуд феррорезонанс схемаларини таҳлил қилиш натижалари асосида ишлаб чиқиши керак. Таҳлил жараёнлари учун математик моделлаштириш усулларидан фойдаланиш схемани батафсил баҳолашга имкон беради ва унинг амалий самарадорлигини оширади. Бу алоҳида чора-тадбирлар ишланмаси бўлиб, аниқ схемалар учун алоҳида таъминлаш имконини беради.

Амалиётда қуйидаги чоралар қўлланилиши маълум:

- куч трансформаторининг нейтрални ерга улаш;
- конденсатор батареяларини шиналарга улаш орқали тармоқнинг ерга нисбатан сиғимини ошириш.

Нейтрални ерга улаш феррорезонанс ҳодисаларининг пайдо бўлишига сезиларли таъсир қилади. Ушбу тадбирни амалга оширишнинг икки йўли мавжуд: бу катта қийматли қаршилиқ орқали ерга улаш ва ерга мустаҳкам улаш. Юқорида санаб ўтилган иккита усулдан бири ёрдамида нейтрални ерга улашда феррорезонанс схемаларининг пайдо бўлиш эҳтимолини камайтириш ёки бутунлай йўқ қилиш (ерга мустаҳкам улаш билан) имконини беради. Аммо шуни таъкидлаш жоизки, ерга мустаҳкам улаш ишлатилганда реле ҳимоясининг самарадорлиги пасаяди. Тегишли ҳодисани танлаш билан боғлиқ муаммо тармоқнинг сиғим ташкил этувчини ошириш орқали қисман йўқ қилиниши мумкин. Маълум усулда, кучланиш трансформаторлар шиналарига конденсатор батареялари қўшимча сиғим сифатида улаш орқали. Бундай тадбир асосан тармоқнинг сиғим билан таъминлайди, бу эса ўз навбатида реле ҳимоясини сошлаш ва ўрнатишга таъсир қилмайди. Ушбу турдаги тадбирларнинг бошқа таниқли тадбирлардан қиёсий устун бўлиб, бу тадбирнинг ягона камчилиги феррорезонанс схемалари мавжуд бўлган ҳар бир тизим учун алоҳида ҳисоб-китобларни амалга ошириш мажбурияти борлигидир. Тавсияда белгиланган вақтдан кейин такрорий тайёргарлик билан белгиланган вақт давомида яна бир марталик ўчиришга қўлланилганлиги сабабли узоқ муддатли феррорезонансни сўндириш жараёнини такрорий бир марталик ишлаши таъминланади, бу эса феррорезонанс бартараф этилгунга қадар сўниш пульсининг тақиқланиши (блокланиши) таъминланади. Бундан ташқари уч фазали феррорезонансли занжирларда субгармоник феррорезонанс тебранишларнинг кўзғалиш шартларини ўрганиш электр таъминоти тизимларида феррорезонансли ўта кучланишнинг баъзи хусусиятларини аниқлашга имкон беради, чунки уч фазали феррорезонансли занжирлар электр таъминоти тизимининг у ёки бу эквивалент алмаштириш схемалари ҳисобланиб, уларнинг асосий элементлари –бўйлама ва кўндаланг компенсация конденсаторлари, реакторлар, кучланиш трансформаторлар ва кучайтирувчи ёки пасайтирувчи трансформаторлар ҳисобланади.

## Хулоса

1. Ҳаддан ташқари юқори кучланишни бартараф этиш учун қуйидагиларни таъминлаш зарур:

-35 кВ тармоқларда- юқори кучланишли резисторли куч трансформаторининг 35 кВ нейтралига уланишини таъминлаш;

-10 кВ тармоқларда-паст кучланишли резисторнинг ерга улаш нейтрални трансформаторларининг очиқ учбурчагига уланишини таъминлаш.



2. Феррорезонанс тебранишларни бартараф этиш учун фазали ўтказгичлари ва ер ўртасида камида 4 А токка мўлжалланган керакли қувватдаги конденсаторни ўрнатиш тавсия этилади.
3. Шикастланишдан ҳимоя қилиш учун кучланиш трансформаторларга ўрнатилган хавфсизлик мосламалари билан, масалан, 6-10 (кВ) кучланишли 3хЗНОЛП типидagi антирезонансли кучланиш трансформаторлардан фойдаланиш керак.
4. Изоляцияни бошқариш талаб қилинмайдиган изоляция назоратларида нейтралли ерга уланмаган кучланиш трансформаторлардан фойдаланиш тавсия этилади.

#### Фойдаланилган адабиётлар рўйхати:

- [1]. Халимов Ф. Х., Евдокунин Г. А., Таджибаев А. Н. Защита сетей 6 — 10 кВ от перенапряжения. — Санкт-Петербург, 2001
- [2]. Tovboyev A.N., Mardonov D.Sh., Mamatazimov A.X., Samatova S.S. Analysis of subharmonic oscillations in multi-phase ferroresonance circuits using a mathematical model//Scopus: Apitech III 2021. Journal of Physics: Conference Series 2094 (2021) 052048 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/2094/5/052048. pp. 260-216.
- [3]. Хафизов Р.Р., Гусаков Д.В., Зарипов Р.Ф. Феррорезонансные явления в сетях различного класса напряжения и методы борьбы с ними// Вторая российская молодежная научная школа-конференция «Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи» Стратегия энергосбережения в энергетике. г. Уфа 2014 с. 249-250.
- [4]. Товбоев А.Н., Ибадуллаев М.И., Муродов Ҳ.Ш., Нарзуллаев Б.Ш. Юқори кучланишли электр тармоқ ва тизимларида субгармоник феррорезонанс// Научно-технический и производственный журнал «Горный вестник Узбекистана». - Навои, 2020. -№4 (83)-С. 110-113.
- [5]. Товбоев А.Н. Уч фазали электроферромагнит ток занжирларида субгармоник тебранишларнинг таҳлили // Научно-технический и производственный журнал «Горные вестник Узбекистана». -Ташкент, 2006. -№3 -с.87-88.
- [6]. Tovbaev, A., Boynazarov, G., Togaev, I. Improving the quality of electricity using the application of reactive power sources.// E3S Web of Conferences-2023, Volume 390, (2023) URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339006032> .
- [7]. Ibadullaev M.I., Tovbaev A.N., Esenbekov A.Zh. Self-oscillations at the frequency of subharmonics in nonlinear electric chains and systems. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20191390> E 3S 139 (2019).
- [8]. Товбоев А.Н., Ибадуллаев М., Есенбеков А.Ж., Назаров А.И. Частотно – энергетические соотношения при анализе автопараметрических колебаний. Научно – технический и производственный журнал «Горный вестник». Узбекистана. 2017. №2 с 165-167.
- [9]. Ибадуллаев М., Товбоев А.Н., Есенбеков А.Ж. К общей теории анализа субгармонических колебаний в трехфазных феррорезонансных цепях и системах // Электричество. Россия, 2021. - №12. 35-45 с.