



ЭЛЕКТР ТАМИНОТИ ТИЗИМИ ИШОНЧЛИЛИГИНИ ОШИРИШДА ФЕРРОРЕЗОНАНС ЖАРАЁНЛАРНИ БАРТАРАФ ЭТИШ ОМИЛЛАРИ

Akram Tovboyev [0000-0003-2677-6977]

Товбоев А.Н. – DSc., проф. в.б., Навоий давлат кончилиқ ва технологиялар университети.

Аннотация. Ушбу мақолада электр таминоти тизимида феррорезонанс ҳодисаси янги эмаслигига ва унинг барча назарий жиҳатлари қўллаб манбаларда тасвирланганига қарамай, асосий, субгармоник яъни қуйи гармоника ва юқори гармоникалар тебранишларида кузатилади. Шу боис ушбу ишда субгармоник частотадаги феррорезонанс ҳодисалари назарий, математик (ўртача) усулларда, экспериментда, яъни динамик ва физик моделларда ва феррорезонансли тебранишларнинг электр схемасини ишлаб чиқиш ўрганилган. Ушбу ишда кўриб чиқилган яна бир масала, электр таъминоти тизимларида кучланиш трансформаторларида магнит ўзакларининг тўйиниши билан боғлиқ хавфли феррорезонанс ҳодисаларининг юзага келиши ўрганилган ва юқори кучланишли ҳамда субгармоник феррорезонансларнинг ҳаддан ташқари кучланишини олдини олиш ва йўқ қилиш бўйича тавсиялар берилган.

Калит сўзлар: феррорезонанс, феррорезонанс юқори кучланиш, антирезонансли кучланиш трансформатори, резистивли нейтрални ерга улаш, гармоника, қуйи гармоника, юқори гармоника

Аннотация. В этой статье явление феррорезонанса в системе электроснабжения наблюдается в базовых, субгармонических колебаниях, т.е. в колебаниях нижней и верхней гармоник несмотря на то, что оно не ново и все его теоретические аспекты описаны во многих источниках. Поэтому в данной работе явления феррорезонанса на субгармонической частоте изучаются теоретическими, математическими (промежуточными) методами, экспериментом, то есть в динамических и физических моделях, и разработкой электрической схемы феррорезонансных колебаний. Другим вопросом, рассматриваемым в данной работе, является изучение возникновения опасных феррорезонансных явлений, связанных с насыщением магнитопроводов в трансформаторах напряжения в системах электроснабжения, и были даны рекомендации по предотвращению и устранению перенапряжения высоковольтных и субгармоничных феррорезонансов.

Ключевые слова: феррорезонанс, феррорезонансные перенапряжения, антирезонансный трансформатор напряжения, резистивное заземление нейтрале, гармоника, низшая гармоника, высшая гармоника.

Annotation. In this article, the phenomenon of ferroresonance in the power supply system is observed in basic, subharmonic i.e. lower harmonica and upper harmonica oscillations, despite the fact that it is not new and all its theoretical aspects are described in many sources. Therefore, in this work, the phenomena of ferroresonance at a subharmonic frequency are studied by theoretical, mathematical (intermediate) methods, experiment, that is, in dynamic and physical models, and the development of an electrical circuit of ferroresonance oscillations. Another issue considered in this paper is the study of the occurrence of dangerous ferroresonance phenomena associated with saturation of magnetic circuits in voltage transformers in power supply systems, and recommendations were given to prevent and eliminate overvoltage of high-voltage and subharmonic ferroresonances.

Keywords: ferroresonance, ferroresonance overvoltage's, antiresonance voltage transformer, resistive neutral grounding, harmonic, lower harmonic, higher harmonic.

Кириш

Ҳозирги кунда илмий адабиётларда келтирилган маълумотларга қараганда, кучланиш трансформаторларини тармоқларда зарарланишидан ҳимоя қилиш учун жуда кўп тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Ўрганишлар асосида электр таъминоти тизими ишончилигига таъсир кўрсатувчи жараёнлар сифатида субгармоник табранишлар тадқиқоти ўрганилмаганлиги таҳлил қилинди ва қуйидаги



илмий тадқиқотлар олиб борилди. Чунки ҳар йили 6-35 кВ кучланиш тармоқларида 6-8 % кучланиш трансформаторларнинг ишдан чиқиши кузатилади. Ушбу зарарнинг сабаби кучланиш трансформаторларнинг бирламчи ўраши орқали оқимларнинг узоқ муддатли оқиши бўлиб, унинг қиймати ўрам изоляциясининг иссиқлик барқарорлиги шарти билан рухсат этилган максимал қийматдан сезиларли даражада ошади. Ушбу тоқлар феррорезонанс жараёнлари пайтида маълум бир тармоқ шароитида ҳосил бўлган схемада, ёй пасайгандан сўнг, кучланиш трансформаторлари чулғамларининг индуктивлиги орқали сиғимли зарядлар "оқими" содир бўлади. Бироқ, таклиф қилинаётган усуллар ўзига хос камчиликларига эга бўлиб, кучланиш трансформаторларининг феррорезонанс жараёнлар таъсиридан ҳимоя қилиш муаммосини тўлиқ ҳал қила олмайди. Бундан ташқари, кучланиш трансформаторлари билан тармоқ қисмларида юзага келган субгармоник феррорезонанс жараёнларини тузатишнинг имконияти йўқ.

Асосий қисм. Энергия етказиб берадиган ташкилотларнинг электр таъминоти тизимларининг электр тармоқларидаги феррорезонанс ҳодисалар ҳисобидан техник йўқотишлари қуйидаги уч хил кучланиш оралиғида ҳисобланган. Булар:

- 35 кВ ва ундан юқори кучланишли электр таъминоти тармоқларида;

- 6 - 10 кВ кучланишли ўрта тармоқларда;

- паст кучланишли 0,38 кВ тарқатиш тармоқларида.

Энергия истеъмолчисига электр энергиясини етказиб беришнинг бутун занжир бўйлаб йўқотишлари улуши 0,38 - 6 - 10 кВ тақсимлаш тармоқларининг катта қисми ташкил этади. Ушбу турдаги тармоқни қуриш, ишлатиш, эксплуатация қилишнинг ўзига хос хусусиятлари билан боғлиқ. Кўп сонли элементлар, тармоқ схемалари, ўлчаш мосламалари билан етарли даражада таъминланмаганлиги, элементларнинг нисбатан кам юкланиши ва бошқалар билан характерланади.

Маълумки, изоляция қилинган нейтрал тармоқларда кучланиш трансформаторларининг ишончлилигини ошириш МДХ мамлакатларининг 6-35 кВ электр тармоқлари изоляция қилинган нейтрал билан амалга оширилади. Натижада тармоқлар маълум шароитда ерга туташув жараёнида номинал кучланишга нисбатан $U_H = 35$ кВ бўлганда токи 10 А; $U_H = 10$ кВ бўлганда ток 20 А; $U_H = 6$ кВ бўлганда ток 30 А бўлади, одатда, нейтрал реактор ёки резистор орқали компенсацияланган бўлиши керак.

Изоляция қилинган нейтралли тармоқларнинг асосий афзаллиги, уларни узмасдан тармоқда "ерга уланган" бўлса, истеъмолчиларни узоқ вақт электр энергияси билан таъминлаш қобилияти ҳисобланади. Шу билан бирга, асосий камчиликлардан бири бу электромагнит кучланиш трансформаторларига зарар етказадиган феррорезонанс жараёнларининг пайдо бўлиши хавфи бўлиб, ерга қисқа туташув тоқларининг кичик қийматлари 0,5-3,5 А га тенг. Бундай тармоқларда феррорезонанс жараёнлари борасида олиб борилган ишлаш ва тадқиқотлар тажрибаси кўрсатилгандек, тармоқда "ер" га туташув пайдо бўлганда ва узилиш пайтида, яъни разрядникларни ишлаши, дарахтларнинг шохларига тегиши, электр узатиш линияларининг фаза тросларининг узилиши, изоляторларга шудринг тушиши, айниқса, ифлосланганда, ҳамда баъзи коммутация калитларида тармоқдаги сиғимнинг ўзгаришига олиб келади ва ҳоказо.

Феррорезонанс жараёнлари пайдо бўлишининг учта сабаби:

1. Тармоғининг $C_{ЭКВ}$ сиғимининг қиймати кучланиш трансформаторлари индуктивлигининг ўзгариши чегаралари билан белгиланадиган диапазонда бўлиши керак, яъни.

$$\frac{1}{y^2 * L_{xx}} \leq C_{ЭКВ} \leq \frac{1}{w^2 * L_H} \quad (1)$$



бу ерда L_{xx} ва L_n навбати билан салт ишлаш ва тўйинганлик индуктивликлари; w - тармоқ кучланишининг бурчак частотаси.

Адабиётларда берилган ҳисоб-китоблар шуни кўрсатдики, ЗНОМ-35 типдаги кучланиш трансформаторлари учун 4 А ёки ундан ортиқ сиғимли тармоқ токи билан феррорезонанс содир бўлмайди. Бироқ, ҳаво линиялари бўлган тармоқларда, айниқса 6-10 кВ кучланишда, сиғим токи камроқ бўлиши мумкин.

2. Феррорезонанс ҳодисаси бир фазали ерга улаб ўчирилган пайтда U_ϕ учун U_n дан кучланиш кескин сакраб ўзгаришидан кейин резонанс параметрлари билан бир фазада содир бўлади. кучланиш трансформаторлари билан тармоқдаги феррорезонанс 0,9 Тл га тенг номинал индукцияда содир бўлмайди. Ҳозирги вақтда ишлаб чиқарилган кучланиш трансформаторларининг индукцион қиймати 1,5 Тл ни ташкил этади.

Кучланиш трансформаторлари индуктивлигининг ҳар бир ўзгариши билан феррорезонанс занжирига кирадиган энергия миқдори ундаги йўқотишлар миқдоридан катта бўлиши керак. Бу кўрсаткич Электр қурилмаларини ўрнатиш қоидаларида кўрсатилганидек, очиқ учбурчак кучланиш трансформаторлари схемасида $r_{BT} = 25$ Ом қаршиликка эга резисторни киритиш самарадорлигини баҳолашга имкон беради. Резисторнинг қаршилик қиймати 100 В кучланишда 400 ВА га тенг бўлган узоқ муддатли рухсат этилган кучланиш трансформаторлари қуввати билан белгиланади. Маълумотларга мувофиқ, тармоқнинг эквивалент қуввати (2) ифодадан аниқланади:

$$C_{\text{эКВ.}} = \frac{1}{w \cdot R_1} \quad (2)$$

бу ерда: R_1 - r_{BT} резистор қийматига мос бирламчи томонга келтирилган қаршилик бўлиб, қуйидаги (3) ифодадан аниқланган:

$$R_1 = r_{BT} \cdot K_{TP}^2 \quad (3)$$

бу ерда K_{TP}^2 - кучланиш трансформаторларининг трансформация коэффиценти.

Электр қурилмаларини ўрнатиш қоидаларига кўра, $r_{BT}=25$ Ом $C_{\text{эКВ}}$ нинг сиғими ифодадан аниқланган тармоқнинг сиғим токига тўғри келади: 35 кВ тармоқ учун $I_c=0,013$ А, бу ҳақиқий I_c қийматларидан сезиларли даражада кам. 10 кВ тармоқ учун $I_c=0,044$ А, бу ҳам ҳақиқий I_c қийматларидан сезиларли даражада кам. Шундай қилиб, очиқ учбурчак кучланиш трансформаторлари схемасида 25 Ом резисторнинг киритилиши амалий таъсир кўрсатмайди ва унинг қаршилигининг пасайиши кучланиш трансформаторлари учун қувватнинг қабул қилиниши мумкин бўлмаган ошишига олиб келади.

Кўпгина ҳолларда, ушбу феррорезонанс жараёнлар 17 ва 25 Гц частотада кўзғалади ва кучланиш трансформаторлари учун рухсат этилган тоқлардан катта қийматда ёки юқори гармоник тартибда пайдо бўлганлиги сабабли кучланиш трансформаторларининг асосий чулғамлари орқали ортиқча ток оқими юзага келади, шунинг учун бирламчи чулғамлар қизийди ва бир неча дақиқа ичида ишдан чиқади. Ишлаш пайтида бир, икки ёки уч марта алмаштирилгандан кейин 35 кВ кучланишли кучланиш трансформаторлари юқори кучланишли чулғами ёниб кетадиган ҳолатга келади. Уларнинг номинал ишчи токи 2 А га мўлжалланган, яъни кучланиш трансформаторлари бирламчи чулғамининг рухсат этилган токи 60 мА дан ошмаслигига қарамай, бундай ҳолатда кучланиш трансформаторлари шикастланади.

Феррорезонанс тебранишлар субгармоник частотада, асосий гармоникада ва юқори гармоникаларда юзага келиши мумкин. Асосий ва юқори гармоникалардаги феррорезонанс тебранишлар шубҳасиз хавфли авария ҳолати ҳисобланади. Субгармоник частотадаги тебранишлар, яъни субгармоник феррорезонанслар бир фазали қисқа туташув бўлганда, линия узилганда, ер билан қисқа туташганда, улаб-



узилганда ва бошқа коммутация пайтларида юзага келади. Субгармоник феррорезонанс тебранишлар юзага келганда ток нисбатан кичик бўлганлиги сабабли реле ҳимояси нотўғри ишлаши кузатилиши мумкин. Бу эса субгармоник частотада, яъни 25 Гц, 16,5 Гц ва бошқа шунга яқин частоталарда кучланиш трансформаторларининг қизиши натижасида ишдан чиқишига олиб келади.

Шундай қилиб, кучланиш трансформаторлари чулғами орқали рухсат этилган токдан ортиқча катта тоқларнинг такрорий тоқлари мавжуд бўлиб, улар аста-секин ички қисмларнинг ҳаддан ташқари қизиши туфайли изоляциянинг яроқсиз ҳолатга келишига ва кучланиш трансформаторларини шикастланишига олиб келади. Шу нуқтаи назардан, феррорезонанс жараёнларини сўндиришнинг энг самарали усулларида бири, вақт ва муддатни тўғри белгилаш ҳисобланиб, бу чора тадбирларга қатъий амал қилиш, электр тармоқлари бўлимида юзага келган феррорезонансни бостириш имконини беради.

Уч фазали кучланиш трансформаторлари ёки учта бир фазали кучланиш трансформаторлари гуруҳи "очиқ учбурчак" уланган чулғамларида феррорезонанс содир бўлганда, нол кетма-кетликда $3U_0 = 100$ В кучланиши субгармоник (кўпинча $17 \div 25$ Гц) частотага эга бўлади. Субгармоник частотали кучланиш пайдо бўлгандан сўнг, тавсияга кўра рухсат берилган вақт ўтиши билан бир марта феррорезонанс жараёнларни сўндириш мақсадида белгиланган вақт учун "очиқ учбурчак" чулғами клеммаларига $50 \div 60$ Ом қаршиликли 100 Вт қувватли резистор уланади. Уланган резистор $T=0,3$ с ичида феррорезонанс тебранишларнинг сўнишини таъминлайди. Бу эса ўз навбатида феррорезонанс жараёнлари билан кучланиш трансформаторлари юқори чулғам чулғамларининг қизиши натижасида шикастланиш эҳтимолини йўқ қилади.

Кучланиш трансформаторларига катта зарар етказилишининг сабабларидан бири бу уларнинг ҳимоясининг тўлиқ етишмаслигидир. Масалан, ПКН001 ва ПКТ сақлагичларидан фойдаланиш мақсадга мувофиқ эмас, чунки уларнинг ишга тушириш тоқлари 6 кВ кучланишли кучланиш трансформаторлари учун 0,115 А, 10 кВ кучланишли кучланиш трансформаторлар учун 0,109 А ва 35 кВ кучланишли кучланиш трансформаторлар учун 0,049 А бўлган кучланиш трансформаторлар бирламчи чулғамларининг рухсат этилган максимал тоқларидан сезиларли даражада ошади. Феррорезонанс жараёнида тоқлар бир неча ўнлаб амперларга етади. Шунинг учун, ишлаб чиқарувчининг тавсиясига кўра, кучланиш трансформаторлар ни 0,7 А дан ошмайдиган ишлаш токи билан ўрнатилган хавфсизлик мосламаси билан 20-30 сониядан кўп бўлмаган ишлаш вақти учун ишлатиш керак, масалан, 3хЗНОЛП турдаги антирезонансли 6-10 кВ кучланишли кучланиш трансформаторлар ларни ишлатиш мақсадга мувофиқ.

Феррорезонанс занжирларида кучланиш трансформаторларининг шикастланишини олдини олиш бўйича қуйидаги тавсияларни бериш мумкин.

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 усулларида фойдаланиш схемани батафсил баҳолашга имкон беради ва унинг амалий самарадорлигини оширади. Бу алоҳида чора-тадбирлар ишланмаси бўлиб, аниқ схемалар учун алоҳида таъминлаш имконини беради.

Амалиёт жараёнида куч трансформаторининг нейтралини ерга улаш ва конденсатор батареяларини шиналарга улаш орқали тармоқнинг ерга нисбатан сиғимини ошириш чораларини қўлланилиш тавсия берилади.



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 тадбирлар бошқа 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 тақиқланишини таъминланади.

Бундан ташқари уч фазали феррорезонансли занжирларда субгармоник тебранишларнинг қўзғалиш 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 трансформаторлардир.

Хулоса

Ҳаддан ташқари юқори кучланишни бартараф этиш учун қуйидагиларни таъминлаш зарур:

-35 кВ тармоқларда- юқори кучланишли резисторли куч трансформаторининг 35 кВ нейтралига уланиш;

-10 кВ тармоқларда-паст кучланишли резисторнинг ерга улаш нейтралини трансформаторларининг очиқ учбурчагига уланиш.

Феррорезонансни бартараф этиш учун фазали ўтказгичлари ва ер ўртасида камида 4 А токка мўлжалланган керакли қувватдаги конденсаторни ўрнатиш тавсия этилади.

Шикастланишдан ҳимоя қилиш учун кучланиш трансформаторларга ўрнатилган хавфсизлик мосламалари билан, масалан, 6-10 (кВ) кучланишли 3хЗНОЛП типдаги антирезонансли кучланиш трансформаторларидан фойдаланиш керак.

Изоляцияни бошқариш талаб қилинмайдиган изоляция назоратларида нейтрални ерга уланмаган кучланиш трансформаторларидан 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: Aitech 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.