



АВТОПАРАМЕТРИК ТЕБРАНИШЛАР ҚЎЗҒАЛГАНДА УЧ ФАЗАЛИ ЭЛЕКТР ҚУРИЛМАЛАРИНИНГ ИШОНЧЛИЛИГИНИ ТАЪМИНЛАШ

Товбоев Акрам [0000-0003-2677-6977]

Навоий давлат кончилиги ва технологилар университети “Энергетика” кафедраси профессори в.б.,
техника фанлари доктори (DSc.)

Аннотация. Ушбу мақолада электр таъминоти тизими ва 6-35 кВ ҳаво линияларида феррорезонанс ҳодисаси таъсирида пайдо бўладиган асосий, субгармоник гармоник ва юқори гармоник тебранишлари таҳлил қилинган. Таҳлил натижаларига кўра субгармоник частотадаги феррорезонанс ҳодисалари назарий ва эксперимент тадқиқотларга кўра электр схемаси ўрганилган. Бундан ташқари 6-35 кВ ҳаво линияли электр таъминоти тизимларида кучланиш трансформаторларида магнит ўзакларининг тўйиниши билан боғлиқ хавфли феррорезонанс ҳодисаларининг юзага келиши ўрганилиб, юқори кучланишли ҳамда субгармоник феррорезонансларнинг ҳаддан ташқари кучланишини олдини олиш ва бартараф этиш орқали ишончлилигини ошириш ўрганилган.

Калит сўзлар: феррорезонанс, феррорезонанс юқори кучланиш, антирезонансли кучланиш трансформатори, ишончлилик, гармоника, қуйи гармоника, юқори гармоника, 6-10 кВ ҳаво линиялари.

Annotation. This article analyzes the basic, subgarmonic harmonic and high harmonic oscillations that occur in the electrical supply system and 6-35 kv overhead lines under the influence of the ferreazonance phenomenon. Based on the results of the analysis, ferreazonance phenomena at subgarmonic frequency according to theoretical and experimental studies, an electrical circuit was studied. In addition to this, the occurrence of dangerous ferreazonance phenomena associated with the saturation of magnetic slots in voltage transformers in 6-35 kv Air-Line power supply systems has been studied, increasing reliability by preventing and eliminating overvoltage of high voltage and subgarmonic ferreazonans.

Keywords: ferreazonans, ferreazonans high voltage, antiresonance voltage transformer, reliability, harmonica, lower harmonica, upper harmonica, 6-10 kv overhead lines.

Аннотация. В данной статье анализируются основные, субгармонические и высокогармонические колебания, возникающие в системе электроснабжения и воздушных линиях 6-35 кВ под воздействием явления феррорезонанса. 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 магнитных щелей в трансформаторах напряжения в системах электроснабжения воздушных линий 6-35 кВ, что повышает надежность за счет предотвращения и устранения перенапряжения высоковольтных и субгармонических феррорезонансов.

Ключевые слова: феррорезонанс, высоковольтный феррорезонанс, антирезонансный трансформатор напряжения, надежность, гармоника, нижняя гармоника, верхняя гармоника, воздушные линии 6-10 кВ.

Кириш

Электр узатишнинг 6-10 кВ ҳаво линиялари турли сабабларга кўра шикастланишлари сабабли ишончли ишлашига путур етади, чунки иқлимнинг кескин ўзгариши айниқса қишда бир нечта марта алмаштиришга тўғри келади. Кўпгина ҳолларда, юқори кучланишли линиялар нотўғри ишлатилиши натижасида шикастлади, айниқса 35 кВ гача бўлган юқори кучланишли линияларда бундай шикастланиш тез-тез содир бўлади. Бундай линияларда истеъмолчиларнинг



узилиши об-ҳавонинг кескин ўзгариши туфайли содир бўлганлиги сабабли, тез-тез алмаштириш электр тармоқлари ва жиҳозларини кескин қизишига олиб келади. Симлар уланганда кескин қизийди ва узилганда совийди, чунки уларнинг доимий такрорланиши туфайли ўтказгичларнинг физик-кимёвий хусусиятларидан фарқ қилувчи механик мустаҳкамлик хусусиятлари бузилади. Аслида, баъзи турдаги симлар чўзилмайди, бу эса уларнинг мустаҳкамлигини пасайишига ва узилишига олиб келади.

Кучланиш 35 кВ гача бўлган юқори кучланишли тармоқларнинг ишончилигининг пасайишига асосий сабабларидан бири ноқулай об-ҳаво шароити таъсирида тармоқ қурилмаларининг эскириши ҳисобланади. 110 кВ кучланишли тармоқларда эса, ноқулай об-ҳаво шароитлари, қушларнинг кўчиб юриши, ноқулай атроф-муҳит шароитида узоқ муддатли таъмирлашлардан ташқари симларнинг эскириш ва бошқа омилларга ҳам боғлиқ. Бунда электр таъминоти тизимида феррорезонанс ҳодисасининг пайдо бўлиши тизимдаги ўлчов кучланиш трансформаторларида субгармоник частотали тебранишларини кўзғалишига олиб келади. Натижада, кучланиш трансформаторларининг номинал ишлаш режимларининг ўзгариши ҳисобига ишончлилик даражаси бузилади. Ўтказилган тадқиқотлар шуни кўрсатдики, Навоий шаҳрига тегишли электр тармоқлари, яъни ҳозирда ишлаётган кучланиш трансформаторлари, тармоқ цехлари ва подстанцияларидаги алоҳида қурилмаларнинг ишончлилик даражаси меъёрий ҳужжатларга нисбатан уч барабар камайди, бу эса кучланиш трансформаторларининг хизмат қилиш муддати ишлаб чиқарувчи томонидан рухсат этилган муддатда ишлаб бериши 2-3 марта паст эканлигини кўрсатди.

Тадқиқот қисми

Магистрал электр таъминотини таъминловчи 6-10 кВ электр узатиш линиялари таҳлили натижалари шуни кўрсатадики, қиш мавсумида ушбу тармоқларнинг 50 фоизи ортиқча юклама режимида ишлайди. Бундай ҳолларда 6-10 кВ электр тармоқларининг ишончли ишлашини таъминлаш талаб қилинади. Бунинг учун мавжуд токпайташувчилар қисмларнинг кўндаланг кесм юзаси А-50 мм² ўтказгичларни А-75 мм² ўтказгичлар билан алмаштириб, бир занжирли ҳаво линияларини лойиҳалаш лозим. Бундан ташқари, кабел линияларининг стандарт талабларга жавоб берадиган янги кўндаланг кесм юзаси нисбатан катта кабел линиялари билан алмаштириш керак бўлади. Бунинг сабаби шундаки, кейинги йилларда шаҳарда электр таъминотига муҳтож бўлган янги электр истеъмолчилари тез суръатлар билан ўсиб бормоқда, бунинг натижасида ҳаво ва кабел линияларидан ортиқча юклардан фойдаланиш ишончлиликни кафолатлайди.

Умуман олганда, электр таъминоти тизими параметрларининг ишончилигини ошириш учун қуйидаги илмий-техник чоралар тақриф этилади:

электр истеъмолчиларнинг тоифаларини ҳисобга олган ҳолда куч трансформаторларни параллел ишлатганда уларнинг юклама коэффициентини 0,7 дан ошмаслиги керак, бунда асосий манбани ўчириш пайтида маҳаллий қувват манбаларидан, масалан, қуёш панеллари, шамол генераторлари ва дизел генераторларидан фойдаланиш лозим;

техник хизмат кўрсатиш хавфсизлигини ошириш ва ходимларнинг хавфли ҳолатлардан холи қилиш мақсадида замонавий автоматлаштириш ва кузатув воситаларидан фойдаланиш;

эскирган автоматлаштириш тизимларини замонавий микропроцессор воситалар билан алмаштириш нафақат техник ходимларнинг вақтини тежайди, балки бахтсиз ҳодисаларнинг олдини олади. Халқаро жамиятда замонавий микропроцессор воситалар жорий этиш тажрибаси шуни кўрсатмоқдаки, анъанавий тизимларга



нисбатан техник-иқтисодий кўрсаткичларга эга бўлиш билан бирга техник хизмат кўрсатиш учун кам меҳнат талаб қилади. Бугунги кунда электр таъминоти тизимларида микропроцессорли реле ҳимояси ва автоматлаштириш қурилмаларидан фойдаланиш реле-контакт қурилмалари билан бир қаторда ушбу тизимнинг электромагнит тизими таъминлашга тайёрлигига ҳам алоҳида эътибор қаратиш лозим;

энергия исрофларни камайтириш мавсадида имкон қадар трансформациялар сонини камайтириш керак, чунки бу тизимнинг самарадорлигини ошишига олиб келади;

электр қурилмалари ва иншоотларининг ёнғин хавфсизлигини таъминлаш, яъни ёнғинга олиб келиши мумкин бўлган муаммоларни бартараф етиш учун ўз вақтида профилактик хизмат кўрсатиш, ёнғин ускуналарини доимо яхши ҳолатда сақлаш;

электр тармоқларида коммутация қурилмалари сонининг максимал камайиши туфайли уларнинг баъзи аварияларининг тезлигига эришилади, чунки коммутация қурилмаларининг ўзи аварияга олиб келиши мумкин. Кутилмаган эффектлар коммутация қурилмаларининг нотўғри ишлашига олиб келади. Шунинг учун қурилмалардан мақсадли ва нисбатан кам фойдаланишни ташкил этиш;

агар трансформаторнинг реактив қуввати компенсация қилинса, у ҳолда тармоқдаги энергия исрофлари нафақат камаяди, балки компенсация қурилмаларидан тўғри фойдаланиш билан электр энергиясининг сифати яхшиланади, чунки реактив қувват компенсацияси туфайли трансформаторнинг юкланиш коэффициентини меъёрдан камайтириш мумкин;

реле ҳимояси ва автоматлаштириш жараёнларини ишлаш вақтини қисқартириш орқали электр тармоқлари ва электр таъминоти тизимининг динамик ва статик барқарорлигини ошириш, чунки бу жараён электр тармоқларининг хавфсизлиги нафақат электр таъминотининг барқарорлигига, балки электр таъминоти тизимида юзага келадиган исрофлар ва қисқа туташув оқибатлари каби кўрсаткичларга ҳам боғлиқ;

электр таъминоти тизимида носимметриясини камайтириш мақсадида бир фазали истеъмолчиларни оқилона тақсимлаш ва мувозанатлаш мосламаларини қўллаб, электр энергиясининг сифатини яхшилаш лозим.

Носинусоидал кучланишни камайтириш мақсадида яъни қуйи ва юқори гармоникаларни камайтиришда қуйидаги воситалардан фойдаланилади:

ночизиқли вольт-ампер характеристикага эга истеъмолчилар учун имкон қадар алоҳида электр таъминотини шакиллантириш;

ўзгармас кучланиш олишда тўғрилланган фазалари сонининг кўпайиши бу электр кучланишларининг носинусоидаллигини тахминан 1,4 баравар камаяди ёки пульсланиш коэффициентини камайтиради;

юқори гармоникали филтърлардан фойдаланишда бир вақтнинг ўзида реактив қувват манбаи вазифасини бажаришини ҳам инobatга олиш, чунки улар реактив қувватни компенсациялаш учун ҳам ишлатилади;

электр таъминоти тизимлари қўлланиладиган электр жиҳозларини ишлаб чиқаришда ишлатиладиган жиҳозлар ва уларнинг материалларни ҳамла электротехник характеристикаларини такомиллаштириш;

электр энергияси истеъмолчиларини ишончли электр таъминоти билан таъминлаш учун асосий талаблардан бири ҳаво ва кабел линиялари, трансформаторлар, шиналар, секциялар ва алоҳида қурилмалар ортиқча юкланиш режимига тушмаслиги бўлганлиги сабабли, электр таъминоти тизимининг элементларининг юкланиш қобилиятини ҳисобга олиш керак;

ускуналарни юқори сифатли таъмирлашни мақбул вақтини танлаш, чунки бу таъмирлаш жараёнида меҳнат ва моддий харажатларнинг пасайишига олиб



келадиган бўлса, таъмирлаш даврини оширади. Бундан ташқари, хизмат кўрсатувчи ходимларнинг малакасига ва амалий тайёргарлигига катта эътибор қаратиш лозим; тизимга техник хизмат кўрсатиш устидан доимий назоратни ўрнатиш оптималлаштириш, бу капитал ва фавқулодда таъмирлаш вақтини қисқартиради;

тизимдаги мавжуд электр жиҳозларини таъмирлаш вақти режалаштирилган профилактик техник хизмат кўрсатишнинг технологик ускуналарини таъмирлаш вақтига мос келадиган тарзда танлаш. Шу билан бирга, таъмирлаш учун мурожаат бериш вақт қисқаради.

Юқоридаги таклифлар шуни кўрсатадики, электр энергияси тизими реконструкция қилиниши керак деган хулосага келиш мумкин. Ушбу чора тадбирлар электр тармоқларини реконструкция қилиш ва модернизация қилиш харажатларини камайтиришга ёрдам беради. Бу эса электр энергиясини етказиб бериш ва тарқатиш тармоқларининг ишончлилигини оширади, электр энергиясининг йўқотишларини камайтиради ва сифатини яхшилайти.

Ишончлилик кўрсаткичлари ва хусусиятларини батафсил тушуниш учун ҳозир кунда қабул қилинган ёндашувларни кўриб чиқилган. Ишончлиликни ҳисоблашнинг ҳозирги кунда кенг тарқалган элементар усулларига кўра, ишончлилик маъносиди мустақил бўлган элементлардан ташкил топган тизимни назарда тутиб, элемент параметрларининг (иссиқлик, механик, электр) ўз вазифаларини таъсир доирасидан ташқарига чиқиши ноўрин деб ҳисобланади. Бундай усулларнинг камчилиги шундаки, элементлар режимлари параметрлари орасидаги ҳисоб-китобларда уларнинг ўз функционал вазифасига боғлиқликлари миқдорий таҳлил қилинмайди. Бундай усулларнинг афзаллиги ҳисоб-китобларнинг соддалиги ва замонавий электр қурилмалари ва тизимлари, миқдорий ишончлилик баҳолари учун олиниши мумкин [7-9].

Тизимнинг элементларга бўлиниши қўйилган вазифанинг хусусиятига (тезкор бошқарув, лойиҳалаш, схематик таҳлил), статистик материалнинг мавжудлигига, ҳисоблашнинг аниқлигига ва умуман объектнинг кўламига боғлиқ. Ушбу ёндашув билан мураккаб схемалар учун ишончлилик кўрсаткичларини таҳлил қилиш жуда соддалаштирилган. Объект ёки тармоқнинг электр таъминотининг ишончлилигини текширишда бундай назорат рухсатсиз ҳисобланади. Бу эса икки занжирли электр узатиш линияси тизими бўлиб, занжирлар унинг элементлари ҳисобланади.

Синтезлаш орқали муайян муҳандислик вазиятлари учун объектни қандай ифодалашни тўғри аниқлаш ўрганилиб, тизимли ёки элементли бўлади.

Мавжуд назарияда "элемент" ва "тизим" тушунчаларининг нисбийлигига асосланиб, ишончлиликни ҳисоблашнинг босқичма-босқич усуллари қўлланилади. Унга кўра ҳар бир кейинги босқичда тизимнинг ҳисобланган элементлари тизимнинг ўзи билан ифодаланади, ишончлилик кўрсаткичлари эса кўрсатилаган. Ускуналарнинг синовлар пайтида ва иш жараёнида олинган тегишли статистик маълумотлари асосида ишончлилик кўрсаткичларини аниқлаштириш алоҳида элементлар учун зарурдир [10-14].

Объектнинг ишончлилигини аниқлайдиган ишончлилик кўрсаткичлари бир ёки бир нечта хусусиятларнинг миқдорий характеристикаси сифатида оддий (битта) ва мураккаб кўрсаткичларга бўлинади. Алоҳида элементларнинг хусусиятлари учун асосан битта хусусиятни тавсифловчи ягона кўрсаткичлар, умуман тизим ва юклама марказлари учун бир нечта хусусиятларни тавсифловчи мураккаб кўрсаткичлар қўлланилади.

Шахсий хусусиятлар, хусусан, объектнинг маълум бир вақтда ҳаракатга тайёрлигини, таъмирлаш ва олдини олиш вақтини, ишлашнинг қулайлиги, нархини ва бошқаларни ҳисобга олмайди. Шунинг учун, операция цикллари ўртасида вақт муносабатларини ўрнатишга имкон бермайди. Бунинг учун ишончлилик коэффицентининг қуйидаги умумий кўрсаткичлари қўлланилади: тайёргарлик



кўриш, мажбурий ишламай қолиш, тезкор тайёргарлик, техник фойдаланиш, электр энергиясининг ўртача бўлмайд қолиши, ўзига хос кутилмаганда келиб чиқадиган шикастланишлар ва бир марта юзага келадиган носозликлар оқибатидаги ўртача зарар.

Истеъмолчиларга маълум вақт давомида етказиб берилаётган электр энергияси миқдорининг математик кутилиши $\delta\bar{W}$ – электр энергиясининг ўртача етказиб берилганлигини ифодалайди:

$$\Delta\bar{W} = M(\Delta W) = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} t_{\text{деф}} P_{\text{деф}} f(t_{\text{деф}} P_{\text{деф}}) dt_{\text{деф}} dP_{\text{деф}} \quad (1)$$

бу ерда $t_{\text{деф}}$ - истеъмолчилар электр тақчиллиги бор бўлган шароитлар давомийлиги, $P_{\text{деф}}$ – қувват етишмовчилигининг тасодифий қиймати, $f(t_{\text{деф}} P_{\text{деф}})$ – $t_{\text{деф}}$ ва $P_{\text{деф}}$ тасодифий ўзгарувчилар тизимининг эҳтимоллик зичлиги.

Электр энергиясининг кам чиқишини ҳисоблашда тасодифий ўзгарувчилар кўпинча статистик жиҳатдан мустақил деб тахмин қилинади, шунинг учун:

$$\Delta\bar{W} = \int_0^{\infty} t_{\text{деф}} f(t_{\text{деф}}) dt_{\text{деф}} \int_0^{\infty} P_{\text{деф}} f(P_{\text{деф}}) dP_{\text{деф}} = \bar{t}_{\text{деф}} \bar{P}_{\text{деф}} \quad (2)$$

Электр энергиясининг ўртача кам чиқишини баҳолаш ишончлилигининг жуда муҳим кўрсаткичидир, чунки бу тизим ва юклама тугунлари учун ишончлилиқ ҳисоб-китобларининг якуний мақсадини англатади.

Харажатлар шаклига эга бўлган мураккаб ишончлилиқ кўрсаткичлари ҳам қўлланилади.

Битта ишламай қолишга мос ўртача зарар $U_{\text{ўр}}$ – зарарни математик кутиш, объект ёки тизимнинг бир муваффақиятсизлигига тўғри келади.

Солиштирма зарар U_0 – йўқотилган электр энергияси бирлигига ёки чекланган қувват бирлигига етказилган зарар.

Олиб борилган таҳлили шуни кўрсатадики, электр тармоқ ва тизимларида субгармоник феррорезонанснинг таъсири электр энергиясининг сифат кўрсаткичларига таъсир кўрсатувчи омиллардан бири ҳисобланади. Электр тармоқлари бу актив қаршилиқдан, линиялараро ва ҳар бир линиянинг ер билан ўзаро сиғимлари, энергетик қурилмаларнинг ерга нисбатан сиғимларидан иборат. Бундан ташқари реактив қувватни компенсация қилиш мақсадида танланган бўйлама ва кўндаланг схемада танланган конденсатор батареялар ва компенсаторлар ночизиқли индуктив характеристикадан иборат куч ва кучланиш трансформаторлари ҳам электр тармоқларининг асосий қурилмаларидан фойдаланилиб, субгармоник частотадаги феррорезонансни юзага келишининг олди олинади ва ишончлилиқ оширилади.

Хулоса

Хулоса қилиш мумкинки, ушбу кўрсаткичлар субгармоник феррорезонанснинг таъсири электр тармоқ ва тизимларида ишончлилиқни иқтисодий баҳолаш учун техник-иқтисодий ҳисоб-китобларида қўлланилади. Натижада электр таъминоти тизимлари ва қурилмаларини фойдаланиш кўрсаткичлари бўйича комплекс ишончлилиги қуйидагиларга: йил давомида энергия шартли таъминлашга эришилади; энергияга талабни нисбий қондиришни юзага келтиради; йил давомида носозликлар ва бахтсиз ҳодисалар туфайли иқтисодий зарарни математик ечишга эришилади.

Юқорида келтирилган таҳлиллардан келиб чиқиб, электр тармоқлари схемаларининг ишончлилигини ҳисоблаш учун тизим ҳолатларини таҳлил қилиш



усули ва компьютер ёрдамида минимал йўллар ва минимал кесимларни аниқлаш усуллари қўлланилади. Бу эса электр энергия қурилмаларининг ўрнатилиши тизим сифатида ишончилигини ҳисоблаш учун қуйидаги усуллар тавсия этишни тақозо этади: 1) эҳтимоллар назариясининг асосий теоремаларини қўллаш; 2) ўрнатишнинг ҳолатдан ҳолатга ўтиш жараёнининг марков дифференциал тенгламалар системасини тузиш ва ечиш; 3) биринчи ва иккинчи усул формулалари ёрдамида ўрнатишнинг ҳисоблаш схемасининг эквивалент ўзгаришлари; 4) уланиш учун электр схемасини топологик таҳлил қилиш; 5) монтажнинг ҳолатдан ҳолатга ўтишининг тасодифий жараёнини статистик моделлаштириш (Монте-Карло усули).

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.