

ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСИ СИФАТИНИНГ БУЗИЛИШINI MATLAB/SIMULINK ДАСТУРИ ЁРДАМИДА МОДЕЛЛАШТИРИШ

Қаршибаев Асқар Илашович.,

Навоий давлат кончилиқ ва технологиялар университети
“Электр энергитикаси” кафедраси профессор.,
a_karshibaev@mail.ru

Бойназаров Ғайрат Ғуламович.,

Навоий давлат кончилиқ ва технологиялар университети
“Электр энергитикаси” кафедраси докторанти
Gayrat.boynazarov.1983@gmail.com

Эргашев Ёқубжон Ҳамро ўғли.,

Навоий давлат кончилиқ ва технологиялар университети
“Электр энергитикаси” кафедраси 2-босқич магистранти
yqubergashev0094@gmail.com

Аннотация: Ушбу мақолада турли юкламаларни эксплуатация қилиш орқали электр энергиясининг сифатини бузилишларини моделлаштириш ва симуляция қилишни кўриб чиқишга қаратилди. Электр энергиясини тақсимлаш тизимидаги сифат кўрсаткичини бўзилишини доимий мониторинг қилиш истемолчиларнинг учун муҳим масаладир. Сифатини бузилишларини мунтазам равишда таҳлили орқали тизимнинг ишлашини яхшилаш мумкин. частотали ўзгартиргичлар, гармоникалар турли электрон конверторларни қўллаш орқали пайдо бўлади. *Matlab/Simulink* дастури асосида олинган натижалар реал вақтдагига натижаларига жуда ўхшашининг олинган натижаларини тулқин шакллари ишлашини текшириш учун янги автоматик таснифлаш алгоритмларининг текшириш учун жавоб беради.

Калим сўзлар: электр энергиясининг сифатини бузилишларини моделлаштириш ва симуляция қилиш, ўзгартиргичлар.

Abstract: This article focuses on the modeling and simulation of electrical energy quality disturbances through the exploitation of various loadings. Constant monitoring of the breakdown of the quality indicator in the power distribution system is an important issue for istemolchilirning. It is possible to improve the performance of the system by regularly analyzing its quality disorders. Eesb frequency modifiers, harmonics arise by applying different electronic converters. The results obtained based on the Matlab/Simulink program are very similar to those of the real-time. It is suitable for checking the obtained results for the performance of amulet images of new automatic classification algorithms.

Keywords: modeling and simulation of electrical energy quality disorders (EESB), modifiers.

КИРИШ.

Бизга маълумки электр таъминоти тизимида турли хилдаги бузилишлар, ҳар хил носозликлар, электр ускунасини динамик ишлаши ва ночизикли юкламаларнинг кўпайиб кетиши электр энергиясининг сифат кўрсаткичларининг (ЭЭСК) бузилишини келтириб чиқаради. ЭЭСК атамаси аслида кучланиш ва ток сифатининг комбинатциясидир, бироқ электр таъминоти тизимида фақат кучланиш сифатини бошқариши мумкинлиги сабабли таъминот кучланишнинг сифати билан боғлиқдир. Чунки токнинг сифати электр таъминоти тизимидан истемол қилаётган ҳақийқий юкламанинг истемол қиладиган токига боғлиқ. ЭЭСК нинг мунтазам равишда бузилишига асосий сабабчилар; кучланишни қиймати маълум даражада ўзгариши, турли хил носозликлар туфайли частотанинг қуввати ва сингални оғиши, ночизикли юкламалар, оғир юкламалар коммутация қилиш, катта қувватли куч электроникали ўзгартиргичлар ва ҳақозолар юз берганда содир бўлади.

АДАБИЁТЛАР ТАҲЛИЛИ ВА МЕТОДОЛОГИЯ.

ЭЭСК бузилишлари электр тармоқларига, уларнинг истемолчиларига, корхоналарга (айниқса саноат истемолчилари ва электр жиҳозларини етказиб берувчиларга) катта миқдорда молиявий зарар олиб келади. ЭЭСКБ билан боғлиқ бўлган муаммолар масалан носозликлар, қисқа муддат тухтаб қолишлар юкламалар учун зарарли оқибатларга олиб келиши мумкин. Илмий изланишлар ва тадқиқотлар ЭЭСКБ ўрганиш бўйича осцелограммалар, ҳодиса ва маълумотлардан фойдаланган ҳолда амалга оширилади. Энергия тизимида ЭЭСК бузилишларини моделлаштириш ёндашув энг кенг тарқалган тадқиқот усулларидан биридир[1,2]. Симуляция параметрларини ўзгартириш орқали турли хил сигнал кўринишдаги ва ЭЭСК бузилишларини яратади ва шунинг учун сифат кўрсаткичларининг бузилишларини (СКБ) аниқлаш ва таснифлаш алгоритмлари учун фойдали бўлиши мумкин[2].

Тарқатиш тизимининг моделлари реал вақт ёрдамида амалга оширилади ва СКБ таъсир қилувчи сигналлар кўринишлари математик модели ёрдами билан суний равишда олинади. Тенглама параметри тамонидан яратилган ЭЭСК бузилишлари жуда кўп авзалликларга эга бўлсада, реал вақт режимидаги бузилишлардан фойдаланиш кўринишини аниқлаш алгоритмларининг ҳақийқийлигини оқлаш учун жуда керак бўлади. Бироқ бир нечта тадқиқотчилар ЭЭСК бузилишларини автоматик равишда таснифлаш учун реал вақда симуляция моделларидан фойдаланганлар[3,5,6].

МУҲОКАМА.

Электр тармоғидаги турли ҳодисаларни моделлаштириш ва таҳлил қилиш учун турли хил моделлаштириш воситалари мавжуд. Академик тадқиқотларда энг кўп ишлатиладиган воситалар бу PSCAD/EMTDC, ATP/EMTP ва MATLAB/Simulink бўлиб унда асосан **SimPowerSystem** блоклари тўпламига эга. Келтирилган (13-15) ишларда муаллифлар таснифлаш алгоритмларини синаб кўриш учун ҳақиқий сигналларни моделлаштириш учун PSCAD/EMTDC дастурларидан фойдаланганлар. (16-17) ишларида муаллифлар ЭЭСК бузилишларини моделлаштириш учун ATP/EMTP дастуридан фойдаланганлар. Бироқ бузилган сигналларни кейинчалик таҳлил қилиш учун маълумотларни MATLAB дастурига ўтказиш керак[7,8].

MATLAB/Simulink (18) ҳақиқий вақт тизимларни самарали моделлаштириш ва таҳлил қилиш учун кичли симуляция воситаларидан биридир. **SimPowerSystem** инструментлар тўплами реал вақтда тарқатиш тизими модели учун ЭЭСК бузилишларини симуляция қилиш учун ишлатилади. Ушбу мақола электр энергиясини тақсимлаш тизимининг кенг қамровли, реал вақт моделини яратиш учун MATLAB/Simulink дан **SimPowerSystem** инструментлар тўпамидан фойдаланади. ЭЭСК даги шовқинлари, ҳар хил турдаги носозликлар, ночизикли юкламалар ва турли хил конденсаторли батарейаларни қўллаш натижасида ҳосил бўлади.

Одатда шовқинлар электр энергиянинг сифатининг тизим кучланиши ва частота таъминоти таъсири нуқтаи назардан таснифланади. Уларни кучланиш катталигидаги тебранишлари, частотани ўзгаришлари ва вақтинчалик ўткинчи жараёнига қараб кенг таснифланиши мумкин[1,8,9].

Кучланишнинг тушуви асосан ЭЭСК бузилишининг жуда куп тарқалган тури бўлиб одатда истемолчи корхоналарда 0,5 дан 10 цеклгача давом этади. Симларнинг осилиб туриши одатда бузилишга олиб келади масалан; бир чизикли туташув ер билан (LG ЛЕ), линиялар ўртасида (LL ЛЛ), икки линияли ер билан туташув (LLG ЛЛЕ), уч фазали (LLL ЛЛЛ) ва уч фаза ер билан туташув (LLL ЛЛЛ) каби қисқа туташувдаги носозликлар билан боғлиқ[1,4].

Кучланишнинг кўтарилиши энергетика тизимдаги қисқа туташувлар билан ҳам боғлиқ. Ерга линия тушганда бузилиш содир бўлади ва қисқа туташув бўлган фазада буртиш ҳосил бўлади, буртишлар эса фазаларда узилишларсиз ҳосил бўлади. Буртишлар асосан катта юкламада ўчирганда ёки катта конденсатор батарияларни манбага улаганда ҳам пайдо бўлиши мумкин.

Тармоқдаги кучланишининг бир дақиқадан кўп бўлмаган вақт давомида ўйқ бўлиши ёки йўқолиши узилиш деб аталади. Тармоқдаги кучланиш номинал қийматидан 10% гача камайиши кузатиладиган жараён. Бунинг натижасида асосан электр таъминоти тармоғидаги ва тизимидаги носозликлар, ускуналарнинг ишдан чиқиши ҳамда бошқарув функцияларини узилишларига олиб келади[3,4].

Гармоникалар – бу ток ёки кучланишнинг носинусоидаллиги бўлиб асосий частотасидан (50-60 Гц) каттароқ бўлганда. Гармоникалар асосан ўзгартиргичлар ва инверторлар ҳамда бошқа статик энергия ўзгартиргич ускуналари каби нозикли юклардан келиб чиқади.

Энергетика тизимида бир лаҳзада бўлиб ўтадиган жараёнларга ўткинчи жараёнлар дейилади. Ўткинчи жараёнларни иккига ажратади, яъний импулсли ва тебранувчига бўлиш мумкин. Ўткинчи жараёнлар катта юкларни ўчириш ва ёқиш вақтида, конденсатор батареяларни ёқишда, трансформаторларни тармоққа улашда юзага келадиган жараёнларга тебранишли ўткинчи жараёнлар дейилади. Ўткинчи жараёнлар одатда чакмоқ уриши натижасида кутарилиб тушиши ёки импулсларни ўзгартиришида вужудга келади.

Мунтазам ва тез тез юкларнинг ўзгариши натижасида юзага келадиган кучланиш оғиш ўзгаришларига кучланишни тебраниши дейилади. Кучланишнинг тебраниши бу – электромагнит ҳодиса бўлиб, тебраниш эса баъзи юкларда кучланиш ўзгаришининг исталмаган ҳосиласидир. Бу атамалар бир маъно касб этади. Ёйли печларда электр энергиясини тақсимлаш ва тармоққа узатишда кучланиш тебраниши кенг тарқалганлиги сабабидир[8].

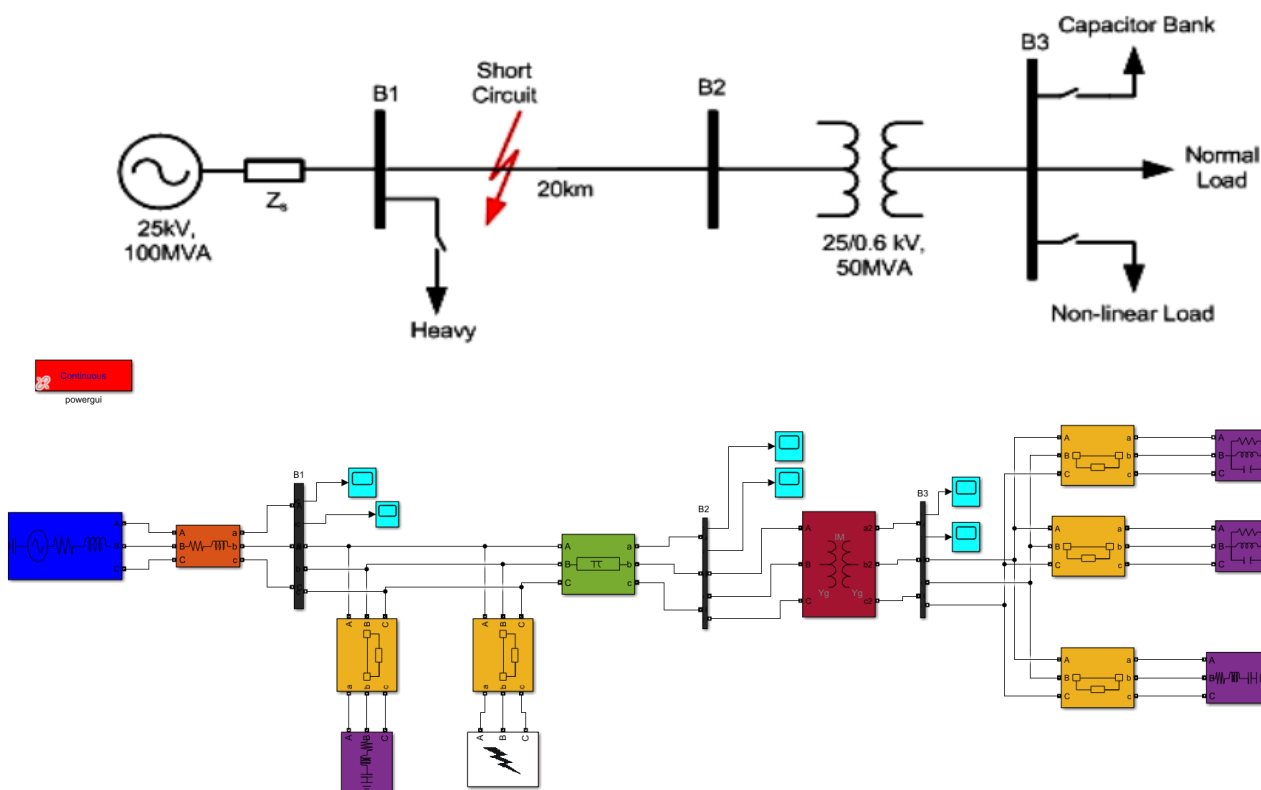
Ассий частотани белгиланган номинал қийматидан оғиши (60 ёки 50 Гц ўзгарганда) тармоқ частотасини оғиши дейилади. Энергия тизимининг частотаси (f) тўғридан – тўғри синхрон генераторларнинг айланиш тезлигига N_s жуфт кутиблар (P) сонига яъний $N_s = 120 \frac{f}{P}$ боғлиқ. Юклар ва генерация ўртасидаги номувофиқлик туфайли озгина частотанинг ўзгариши мавжуд. Тармоқ частотасининг ўзгариши бутун тармоқда носозликларга сабаб бўлиши, катта юклар блокларини ўчириши ёки йирикроқ манбасининг тармоқдан узилиши натижасида юзага келади.

1 жадвалда ЭЭСК бузилишларининг математик модели. **1 жадвал**

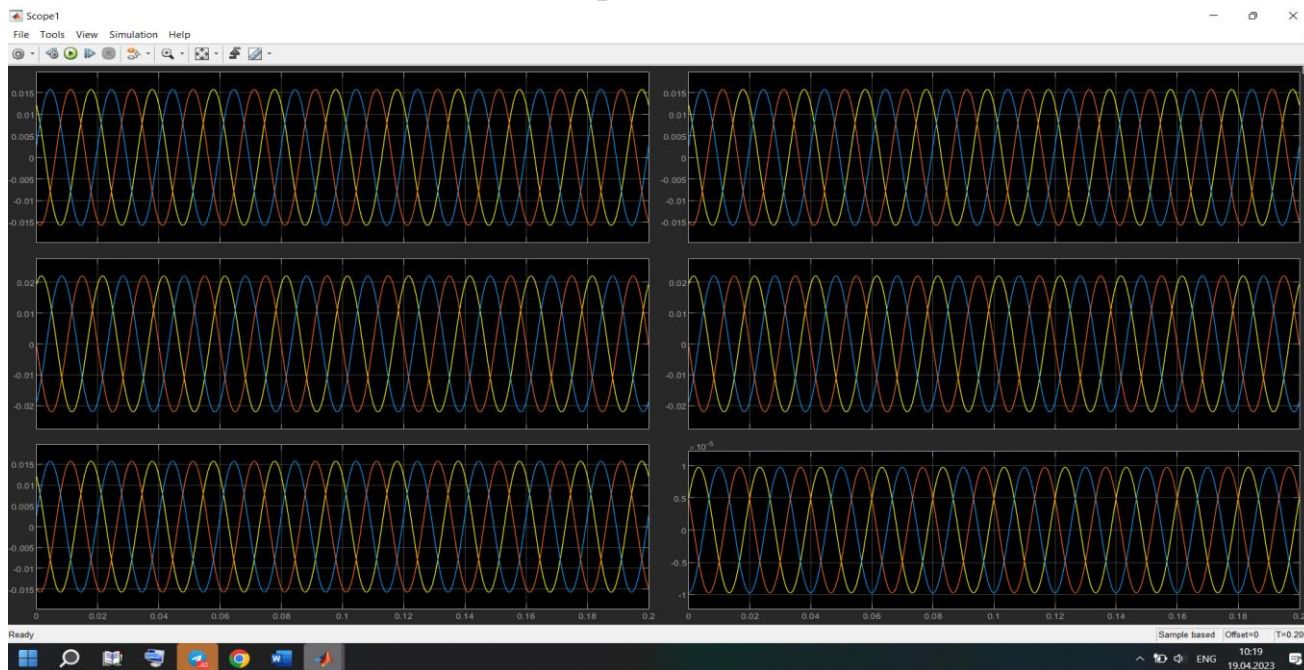
Бузилишлар	Тенгламалар	Тегириув параметрлари
Синусоидал	$y(t) = A \sin(t\omega)$	$\omega = 2\pi f$
Буртишлари	$y(t) = A \left(1 - \alpha(u(t - t_1) - u(t - t_2))\right) \sin(t\omega)$	$0.1 \leq \alpha \leq 0.9:$ $T \leq t_2 - t_1 \leq 9T:$
Шишишлари	$y(t) = A \left(1 + \alpha(u(t - t_1) - u(t - t_2))\right) \sin(t\omega)$	$0.1 \leq \alpha \leq 0.9:$ $T \leq t_2 - t_1 \leq 9T:$
Узилишлари	$y(t) = A \left(1 - \alpha(u(t - t_1) - u(t - t_2))\right) \sin(t\omega)$	$0.9 \leq \alpha \leq 1:$ $T \leq t_2 - t_1 \leq 9T:$
Гармоникалар	$y(t) = \alpha_1 \sin(\omega t) + \alpha_3 \sin(3\omega t)$ $y(t) = +\alpha_5 \sin(5\omega t) + \alpha_7 \sin(7\omega t)$	$0.05 \leq \alpha_3 \leq 0.15:$ $0.05 \leq \alpha_5 \leq 0.15:$ $0.05 \leq \alpha_7 \leq 0.15:$ $\sum \alpha_i^2 = 1$
Ўткинчи жараёнларда тебраниши	$y(t) = A \left[\sin(\omega t) + \alpha^{-\frac{(t-t_1)}{\tau}} \sin \omega_n (t - t_1) (u(t_2) - u(t_1)) \right]$	$0.1 \leq \alpha \leq 0.8:$ $0.5T \leq t_2 - t_1 \leq 3T:$ $8ms \leq \tau \leq 40ms:$ $300 \leq f_n \leq 900 \text{ Гц}:$

1) Реал вақт давомида ЭЭСК параметрик тенгламаларини қўлда олиш қийин, сигналларини симуляция қилинади. ЭЭСК бузилишларини ўрганишда сигналларнинг бузилишлари уларни кейинги таҳлил қилиш учун моделлаштириш орқали юзага келади. Ушбу мақоланинг 1 жадвалида келтирилганидек олти турдаги бузилишлар келтирилган. ЭЭСК бузилиши осонгина ҳосил бўлади ва ҳақиқий ҳолатга жуда ўхшаш кўринади[9,10].

Тенглама параметридан фойдаланишнинг баъзи бир авзалликлари бор масалан, сигнал параметрларини кенг диапазонда ва бошқариладиган тарзда ўзгартириш мумкин. Жуда кўп миқдорда наъмуна олиш мумкин. Математик моделлар тамонидан ишлаб чиқарилган сигналлардан уларнинг ўзига хос хусусиятларини таъкидлаш учун электр энергияси сифатининг бузилишини таснифлашда осонгина фойдаланиш мумкин.



1 расм. Электр энергиясини тақсимлаш модели а, симулинк диаграммаси б.



2 расм ЭЭСК осцелограммада четга чиқиши.

ЭЭСК бузилишлари 1 расмда кўрсатилгандек электр энергиясини тақсимлаш тизимининг синов моделини кўриб чиқиш орқали моделлаштирилади. Синов модели ҳақиқий электр энергиясини тақсимлаш тизимига жуда ухшаш. Моделлаштириш вақтида кўплаб амалий тахминлар

ҳисобга олинади. Электр энергияни тарқатиш тизимининг модели кучланиши 25 кВ, қуввати 50 МВА, тўла қаршилиги Z_c , 20 кмли тарқатиш линиясидан, уланиш гуруҳи “учбурчак/юлдузча” бўлган пасайтирувчи трансформатор ва номинал юкламадан ташкил топган. Қуввати 10 МВА трансформатори нормал ишлаши (1МВА RL юкламали) ва ночизикли (130 В ли бошқариладиган ўзгартиргичли) юкламаларни уланиш нуқтасига - В3 шина привод орқали боғланилади. Шина юкламаси В3 шунингдек реактив қувватни қоплаш учун конденсатор батарияси (0,8 МВА) билан ўрнатилган бўлиб асосий вақт режимида бўлгани каби тебранувчи уткинчи жараёнларни келтириб чиқарадиган конденсатор батариясининг ўзгаришини тақлид қилади. Тарқатиш тармоғига катта юкламалар уланган. 20 км тарқатиш линиясида юзага келганда, фаза кучланишининг пасайишига, узилишларга ва кучланишнинг сакрашига олиб келади[10].

Тарқатиш тизимининг синовли модели *SimPowerSystem* ва *Simulink Blockset MATLAB* дастурида моделлаштирилган бўлиб булар 1 расмда кўрсатилган. Модел тизимидаги бузилишлар, катта юкламалар, қўшилишлар ва ночизикли юкламалар туфайли электр тармоғидаги турли хил ЭЭСК бузилишларини ўрганиш учун ишлатилади.

ЭЭСК бузилиш сигнал шакиллариининг математик моделлари, шунингдек MATLAB/Simulink дастурий таъминотидаги қувват тақсимотининг тест синов модели ёрдамида олинади. Намуна олиш частотаси ва асосий частотаси иккала ҳолатда ҳам мос равишда 10 кГц ва 50 кГц деб ҳисобланади4,5,6.

ЭЭСК бузилишлари MATLAB/Simulink дастуридаги параметрик тенгламалар ёрдамида ҳосил қилинади. Ҳар бир сигнал шакли нормаллаштирилган қиймати 1,0 асосий бирлиги ва 50 Гц частотага эга. ЭЭСК кўриб чиқиладиган сигналларнинг намуна олиш частотаси давомийлиги 10 кГц яъний амалга ошириш учун ҳар бир давр 200 га тенг. Кўриб чиқиладиган сигналларнинг умумий давомийлиги 10 циклни ташкил қилади. Келтирилган 2 расмда параметрик тенгламалар натижасида ҳосил қилинган ЭЭСК бузилиш сигналларининг тўлқин шакиллариининг ҳар хил турлари кўрсатилган.

Автоматик таснифлаш алгоритмини қўллаш учун ўқув ва синов наъмуналари сифатида 0,1 дан 0,9 бирлик катталиқдаги яъний 1 дан 10 циклгача кучланишнинг турли наъмуналарини яратиш мумкин. Шундай кучланишнинг кутарилиши наъмуналари 1,1 дан 1, 8 гача бўлган катталиқ билан яратилиши мумкин. Ҳар қандай вақтда кучланишнинг катталиги 0,дан пастга тушганда узилиш яратилиши мумкин. Ҳақиқий гармоникаларни симуляцич қилиш учун 2, 3, 5, ва 7 тартибдаги гармоника ташкил этувчиларни ҳар хил комбинияларда частоталар 5% дан 15% гача ўзгариб туради. Қўйи частотали ўткинчи жараёнда

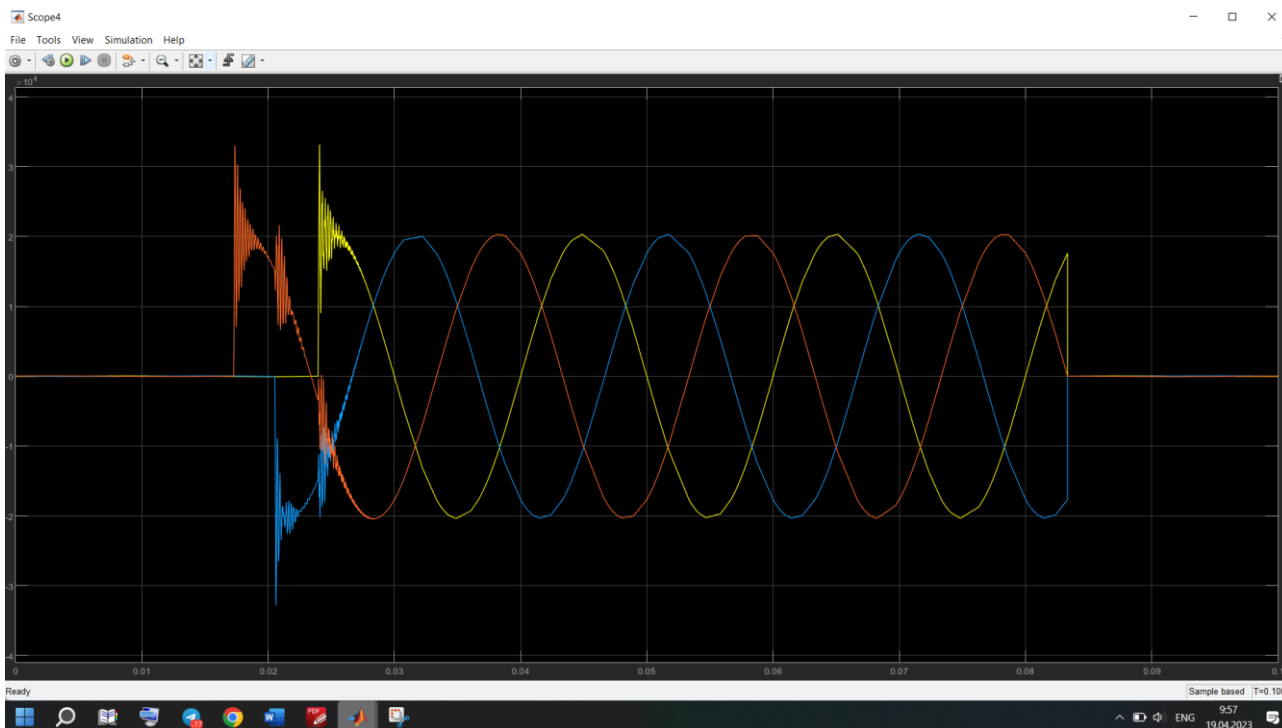
300 Гц дан 900 Гц гача бўлган вақтинчалик частота диапазони билан симуляция қилинади.

Баъзи жиҳатларда тенгламалардан фойдаланган ҳолда ЭЭСҚ сигналларини моделлаштиришнинг турли афзалликлар мавжуд бўлиб уларни кенг диапазонда ўзгартириб бошқариш мумкин. Тўдқин шаклининг параметрлари ўзгариш диапазони ҳақиқий сифат кўрсаткич сигналларига жуда ўхшаш[7,9].

НАТИЖАЛАР.

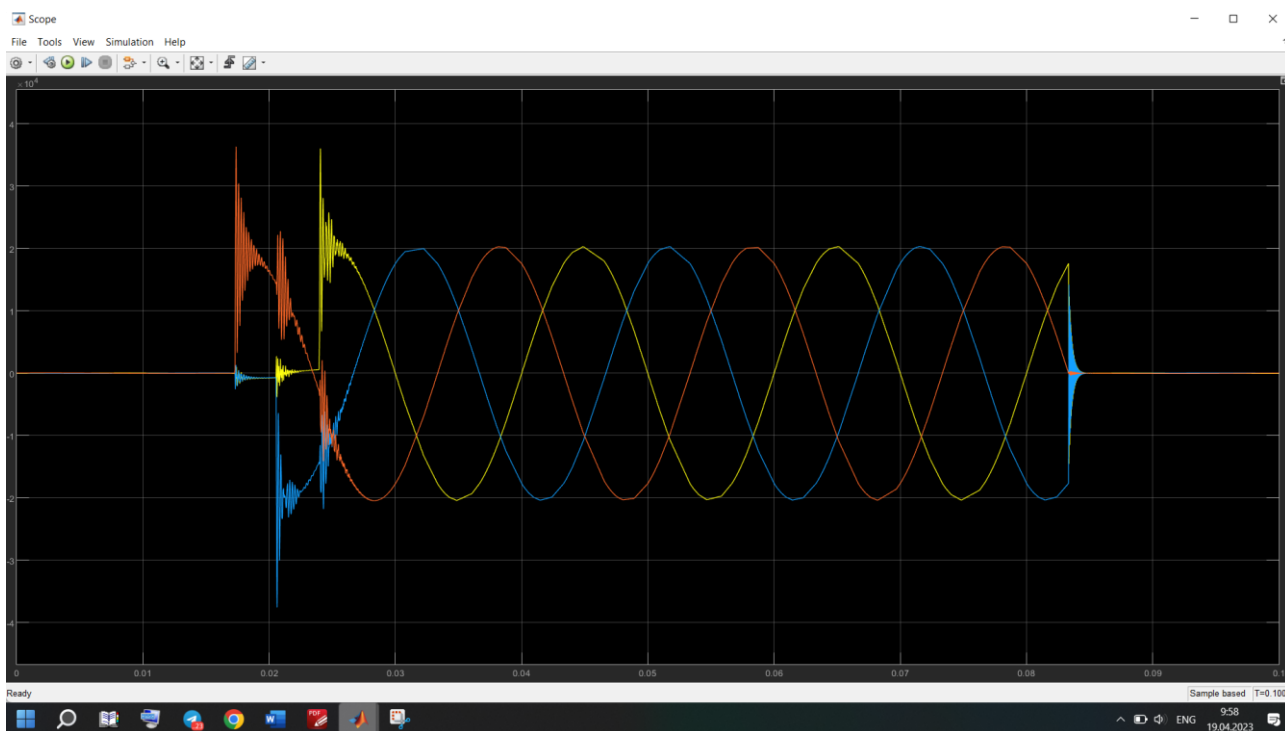
Ушбу қисмда ЭЭСҚ тебраниб бузилишларининг симулинк моделлари ёрдамида 1 – расмда кўрсатилгандек масалан қисқа туташувлар, катта юкламалар, конденсатор батареялар ва ночизиқли юкламалар, турли хилдаги юклама ва носозликларни қўллаш орқали симуляцион моделлаштирилади.

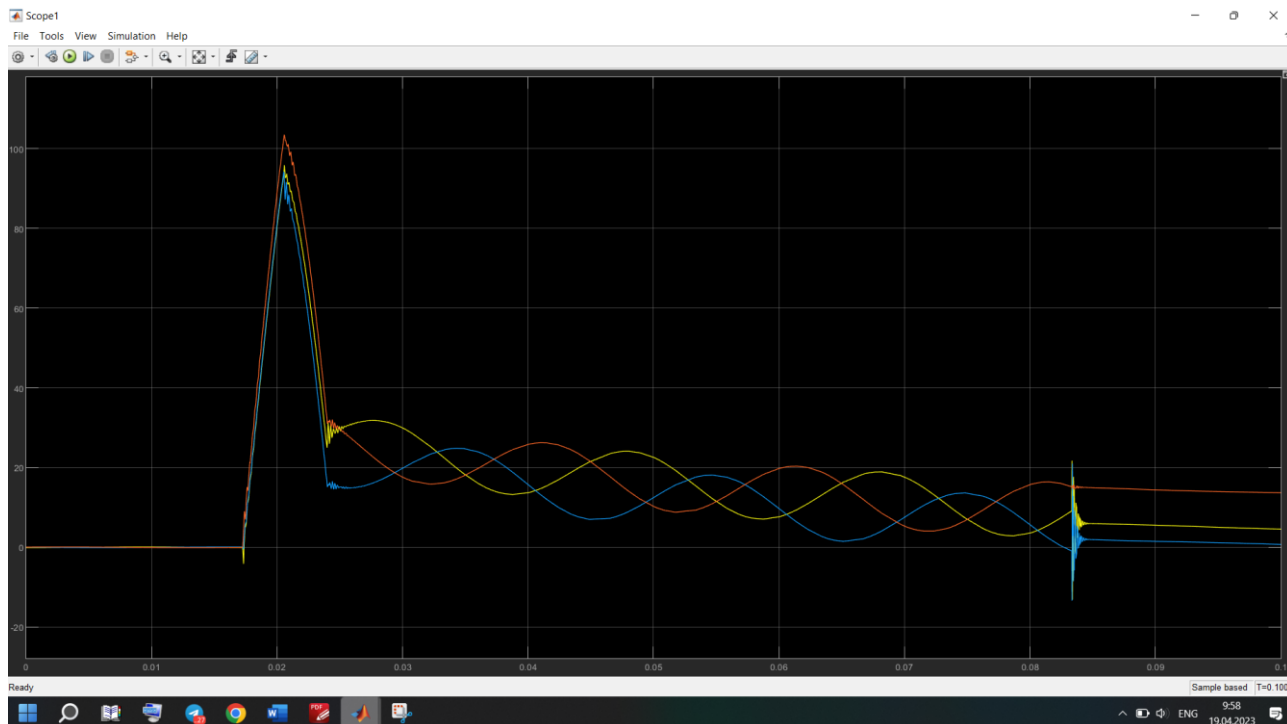
Ҳар бир ЭЭСҚ сигнали 10 циклдан ва 10 кГц дискрет частотасидан иборат. Тармоқ кучланиши 25 кВ 50 Гцли эквивалент схемаси 1 – расмда келтирилгандир. Бунда электр энергиясини узатиш линияси 20 км масофага тенглаштирилган модел келтирилди. ЭЭСҚ бузилиш юкламалари охирига шина В3 ўрнатилади. В1 шинасида бир фазали ер билан қисқа туташувлар кучланишнинг пасайиши ва узилишларга олиб келади.



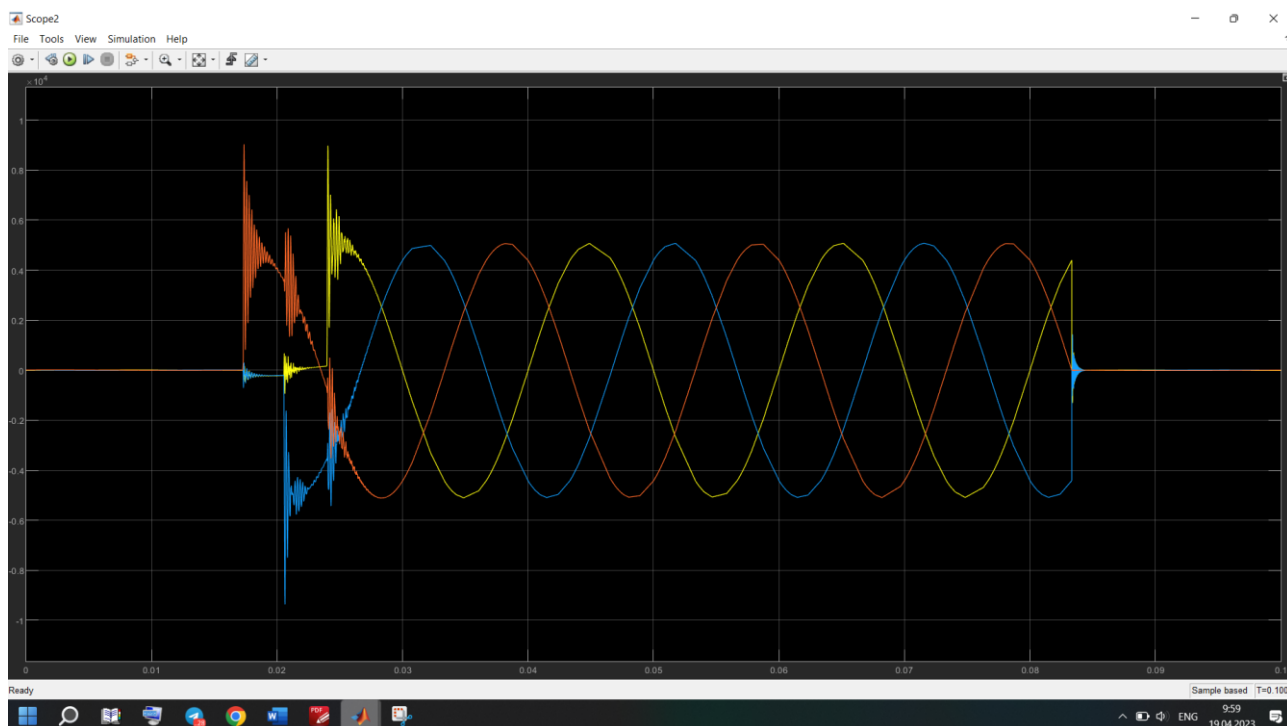


3-рaсм. Кучланишни тушуви туфайли бир фазали ер билан қисқа туташув





4-расм. Кучланишни сакраши ва тушуви туфайли линиялар орасида қисқа туташув



5-расм. Кучланишни кескин қўтарилиши ва катта юклама эвазига унинг бузилиши.



6-расм. Конденсаторни улаш сабабли бўладиган ўткинчи жараёнлари.

Ўзгарувчан юкламалар, ночизикли юклама ва конденсатор батариялар ВЗ шина приводга уланган. Ўзгарувчан юкламалар милтиллаш ва кучланиш тебранишини келтириб чиқаради. Ночизикли юкламалар худди гармоникалар каби стационар бузилишларни келтириб чиқоради. Барча бузилишлар учун симуляцион моделлаштириш вақти 0,2 с (10 цекл) га тенг бўлади.

ЭЭСБ га қисқа туташувлар, катта қувватли асинхрон моторларни ишга тушириш, электр энергияни тақсимлаш тизимида кучланишни пасайиши каби бузилишларни юзага келтиради. 3 расмда В 3шинадаги уч фазали кучланиш кўрсатилган. Кучланишнинг тушиши А-фазада содир бўлади ва бир фазали ер билан туташади[4,5,9,10].

ХУЛОСА.

ЭЭС бузилиш сигналлари MATLAB/Simulink дастури тамонидан таъминланади. Помехлар сигнал шаклида ҳар хил қийматларда вақт бирлиги ичида турли шаклдаги сигналларни қийматлар билан ҳосил бўлиши мумкин. Ҳар иккала ҳолда ҳам кўриб чиқиладиган частотанинг бузилиши 10 кГц ни ташкил қилади. Симуляция усули тадқиқотчиларга MATLAB/Simulink дастурида турли хил тармоқ блоклар тўпламларини йиғиш орқали ЭЭСК бузилишларини тадқиқ қилиш учун энергия тизимини моделини яратишни таъминлайди. Бу ҳодиса

бизларга ЭЭСК бузилиши қандай тарқалиши ва электр тармоғининг моделлаштирилган моделида ўзи ҳақида тушунтиради. Симуляциянинг чеклови унинг танланган модели дастур имкониятлари ва ЭЭСК бузилишини моделлаштириш учун электр тармоғининг мавжудлиги ва қуриш блокларига боғлиқдир.

ЭЭСК бузувчи математик моделлар ва MATLAB/Simulink муҳитида қурилган бўлиб электр энергиясининг тақсимлашни ҳақиқий модели ёрдамида олинган. Моделлаштириш натижалари шуни кўрсатадики иккала усул тамонидан яратилган ЭЭСК бузувчиси жуда ўхшаш ва иккаласи ҳам ҳақиқий ЭЭСК бузувчисига ўхшайди. Математик моделлар ёки Simulink дастури ёрдамида яратилган моделлари ЭЭСК бузувчилари автоматик таснифлаш алгоритмларига қўллаш мумкин[1,2].

Ушбу ишнинг мақсади электр энергиянинг сифат кўрсаткичларини иккала усулда лойиҳалаш ва таҳлил қилиш учун яхшироқ ёндашувни амалга оширишдан иборат эди. Бажарилган ушбу лойиҳа MATLAB/Simulink муҳитида вертуал моделни ишлаб чиқиш жараёнларида назарий ва амалий билимларни ошириш учун пойқадам вазифасини бажаради. Бундай олий мақсадли билимлар кончилиқ ва ишлаб чиқариш корхоналарда жуда муҳим ўрин эгаллайди.

АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ.

[1] M. Bollen, "What is power quality," Electric Power Systems Research, vol. 66, pp. 5-14, 2003.

[2] P. Janik and T. Lobos, "Automated classification of power-quality disturbances using SVM and RBF networks," Power Delivery, IEEE Transactions on, vol. 21, pp. 1663-1669, 2006.

[3] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, and H. W. Beaty, Electrical power systems quality vol. 2: McGraw-Hill New York, 1996.

[4] M. H. Bollen, Understanding power quality problems vol. 3: IEEE press New York, 2000.

[5] A. Subasi, A. S. Yilmaz, and K. Tufan, "Detection of generated and measured transient power quality events using Teager Energy Operator," Energy Conversion and Management, vol. 52, pp. 1959-1967, Apr 2011.

[6] Разработка технических решений по обеспечению качество рабочей жидкости обеспечивающие снижение износов оборудования
<https://elibrary.ru/item.asp?id=26265399>

[7] Analysis of dynamic and hardness parameters rotation and feeding systems of the drilling rig

https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=ju6XhuYAAAAJ&citation_for_view=ju6XhuYAAAAJ:d1gkVwhDpl0C

[8] Бурғилаш дастгоҳи айлантирувчи–ўзатувчи механизми ўзатишини гидравлик тизими, унинг унумдорлигига динамик жараёнларни таъсирини тадқиқоти ва таҳлили

https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=ju6XhuYAAAAJ&citation_for_view=ju6XhuYAAAAJ:9yKSN-GCB0IC

[9] Математическая модель тепловых процессов при работе многорежимных силовых регулирующих контуров гидрообъемных трансмиссий гидравлического экскаватора

https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=ju6XhuYAAAAJ&citation_for_view=ju6XhuYAAAAJ:IjCSPb-OGе4C

[10] Математические уравнения в регулирующих контурах гидрообъемных трансмиссий гидравлического экскаватора

https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=ju6XhuYAAAAJ&citation_for_view=ju6XhuYAAAAJ:Y0pCki6q_DkC