

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

ПРАЦІ

Таврійського державного
агротехнологічного
університету



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

Випуск 23, том 2
Наукове фахове видання
Технічні науки



Запоріжжя – 2023 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО



DMYTRO MOTORNYI TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY



ПРАЦІ

**Таврійського державного
агротехнологічного університету**
Технічні науки

**PROCEEDINGS OF TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY**
Technical sciences

*Виходить 3 рази на рік
Видається з 1998 р.*

**Випуск 23, том 2
Issue 23, volume 2**

WEB: <https://oj.tsatu.edu.ua>

DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-2

Запоріжжя – 2023



УДК [631.3+621.3+664](058)
Т 13

Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. Вип. 23, т. 2. 217 с.

ISSN 2220-8674

Представлені результати наукових досліджень вчених у галузях галузевого машинобудування, енергетики, електротехніки, електромеханіки, харчових технологій, комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

Видання призначене для наукових працівників, викладачів, інженерно-технічного персоналу і здобувачів вищої освіти, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки та напрямках виробництва.

Реферативні бази: Crossref, Google Scholar, AGRIS, «Україна наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського

Головний редактор

Кюрчев В. М., чл.-кор. НААН України,
д-р техн. наук, проф. (Україна)

Заступники головного редактора

Надикто В. Т., чл.-кор. НААН України,
д-р техн. наук, проф. (Україна)

Панченко А. І., д-р техн. наук, проф. (Україна)

Відповідальний секретар

Волошина А. А., д-р техн. наук, проф. (Україна)

Технічний секретар

Погорельцева Д. О. (Україна)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

Белосев Христо, д-р техн. наук, проф. (Болгарія)
Даманаускас Відас, д-р техн. наук, проф. (Литва)
Івановс Семенс, д-р техн. наук, доц. (Латвія)
Ольт Юрі, PhD, д-р техн. наук, проф. (Естонія)
Паскуцці Сімоне, PhD, доц. (Італія)
Финдура Павол, PhD, проф. (Словакія)
Вершков О. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Дідур В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Журавель Д. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Кувачов В. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Кюрчев С. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Скляр О. Г., канд. техн. наук, проф. (Україна)
Скляр Р. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Тітова О. А., д-р пед. наук, проф. (Україна)

**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

Шафранець Анджей, д-р техн. наук, проф. (Польща)
Кавакзех Мохаммед, PhD, проф. (Йорданія)
Бур'ян С. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Галько С. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Гриб О. Г., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Карпалюк І. Т., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Квітка С. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Кузнєцов М. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Лисенко О. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Мірошник О. О., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Мороз О. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Плюгін В. Є., д-р техн. наук, проф. (Україна)

Editor in chief

Kyurchev V., corresponding member of NAAS of
Ukraine, Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

Deputy editors in chief

Nadykto V., corresponding member of NAAS of
Ukraine, Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

Panchenko A., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

Executive secretary

Voloshina A., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

Technical secretary

Pogoreltseva D. (Ukraine)

SECTORAL MACHINE BUILDING

Beloev Hristo, Dr. Sci. Tech., Prof. (Bulgaria)
Damanauskas Vidas, Dr. Sci. Tech. (Lithuania)
Ivanovs Semjons, Dr. Sci. Tech. (Latvia)
Olt Jüri, PhD, Dr. Sci. Tech., Prof. (Estonia)
Pascuzzi Simone, PhD, Assoc. Prof. (Italia)
Pavol Findura, PhD, Prof. (Slovakia)
Vershkov O, Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Didur V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Zhuravel D., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Kuvachov V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Kiurchev S., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Sclyar O., Cand. Sci. Tech, Prof. (Ukraine)
Sclyar R., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Titova O., Dr. Sci. Ped., Prof. (Ukraine)

**ELECTRICAL POWER ENGINEERING,
ELECTRICAL ENGINEERING AND
ELECTROMECHANICS**

Szafraniec Andrzej, Dr. Sci. Tech., Prof. (Poland)
Qawaqzeh Mohamed, PhD, Prof. (Jordan)
Burian S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Halko S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Gryb O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Karpaliuk I., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Kvitka S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Kuznietsov M., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Lysenko O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Miroshnyk O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Moroz O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Pliuhin V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ**

Гавриленко Є. А., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Гнатушенко В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Гумен О. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Дашкевич А. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Лубко Д. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Лясковська С.Є., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Малкіна В. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Мацулевич О. Є., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Холодняк Ю. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Яблонський П. М., канд. техн. наук, доц. (Україна)

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Дейниченко Г. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Євлаш В. В., д-р техн. наук проф. (Україна)
Ломейко О. П., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Паламарчук І. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Пилипенко Л. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Пріс О. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Самойчук К. О., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Сердюк М. Є., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Ялпачик В. Ф., д-р техн. наук, проф. (Україна)

ПРАЦІ**Таврійського державного
агротехнологічного університету****Випуск 23, том 2****Засновник**

Таврійський державний агротехнологічний
університет імені Дмитра Моторного

Заснований у 1998 році

Свідоцтво про державну реєстрацію
КВ №24285-14125ПР від 27.12.2019 р.
Виходить 3 рази на рік

Рекомендовано до друку вченою радою
Таврійського державного агротехнологічного
університету
імені Дмитра Моторного
Протокол № 3 від 31.10.2023 р.

«Праці ТДАТУ» включено до **Категорії Б**
Переліку наукових фахових видань України
(науки: технічні), в яких можуть
публікуватися результати дисертаційних
робіт на здобуття наукових ступенів
доктора наук і доктора філософії /
кандидата наук (накази МОН України від
17.03.2020 р. № 409)

Адреса редакції

Юридична: 72312, Запорізька обл.
м. Мелітополь, пр. Б. Хмельницького, 18
Фактична: 69600, Запорізька обл.
м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 66
<https://oj.tsatu.edu.ua>
DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-2

COMPUTER SCIENCES

Havrylenko Ye., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Hnatushenko V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Humen O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Dashkevych A., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Lubko D., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Liaskovska S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Malkina V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Matsulevych O., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Kholodniak Y., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Yablonskyi P., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)

FOOD TECHNOLOGIES

Deynichenko G., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Evlash V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Lomeiko O., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Palamarchuk I., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Pylypenko L., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Priss, O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Samoichuk K., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Serdyuk M., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Yalpachik V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**PROCEEDINGS OF TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY****Issue 23, volume 2****Founder**

Dmytro Motorny Tavria State
Agrotechnological University

Founded in 1998

Certificate of governmental registration
KB No. 24285-14125ПР dated December 27, 2019
Published 3 times a year

Recommended for publication by the Academic
Board of Dmytro Motorny Tavria State
Agrotechnological University
Record No. 3 dated October 31, 2023

Proceedings of TSATU is included in the List of
scientific professional editions of Ukraine
(technical sciences), category B, in which the
results of theses for obtaining scientific degrees
of Doctor of Sciences and Doctor of Philosophy /
Candidate of Sciences can be published (order of
the Ministry of Education and Science of Ukraine
dated March 17, 2020, No. 409)

Address of the Editorial office

Legal adress: 72312, Zaporizhzhia region
Melitopol, 18, B. Khmel'nitskyi Ave.
Actual address: 69600, Zaporizhzhia region
Zaporizhzhia, 66, Zhukovskyy Str.
<https://oj.tsatu.edu.ua>
DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-2



ЗМІСТ / CONTENTS

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

- Панченко А. І., Волошина А. А., Холод І. М., Волошин А. А.** Вплив геометричних параметрів розподільних систем на стабілізацію вихідних характеристик планетарних гідромашин 6
Panchenko A., Voloshina A., Kholod I., Voloshin A. Influence of geometric parameters of distribution systems on stabilization of the output characteristics of planetary hydromashines
- Кюрчев С.В., Самойчук К. О., Ялпачик В. Ф., Ковальов О. О.** Підвищення якості продуктів при використанні удосконаленого способу гомогенізації і нормалізації молока 25
Kiurchev S., Samoichuk K., Yalpachik V., Kovalyov A. Improving product quality using an improved method of milk homogenization and normalization
- Самойчук К. О., Самохвал В. А., Червоткіна О. О.** Дослідження ефективності роботи системи охолодження при інтенсифікації відтискання технічних олій в гвинтових прес-екструдерах для виготовлення паливних брикетів 33
Samoichuk K., Samokhval V., Chervotkina O. Studying the efficiency of the cooling system during the intensification of extrusion of industrial oils in screw press extruders for the manufacture of fuel briquettes
- Кюрчев С. В., Верхованцева В. О., Паляничка Н. О.** Дослідження холоду при зберіганні ягід 46
Kiurchev S., Verkholtantseva V., Palianychka N. Research on cold storage of berries
- Тримбач С. П., Степаненко С. П.** Теоретичні дослідження швидкості переміщення частинок сипкого матеріалу в процесі гранулювання 54
Trimbach S., Stepanenko S. Theoretical studies of the movement velocity of particles of bulk material in the granulation process
- Соломка О. В., Ачкевич О. М., Ачкевич В. І.** Застосування систем автоматизованого проектування в сільськогосподарському машинобудуванні 67
Solomka O., Achkevych O., Achkevych V. Application of automated design systems in agricultural engineering
- Коробка С. В., Стукалець І. Г., Сиротюк С. В., Скляр О. Г., Скляр Р. В., Болтянський Б. В., Баранович С. М.** Математичне моделювання процесу сушіння фруктів у геліосушарці 78
Korobka S., Stukalets I., Syrotyuk S., Skliar O., Skliar R., Boltianskyi B., Baranovych S. Mathematical modeling of the process of fruit drying in a solar dryer
- Бойко В. Б., Улексін В. О., Золотовська О. В., Лепеть Є. І., Бойко Б. В.** Проект мехатронної системи експериментальної гідропневматичної сівалки 99
Boiko V., Ulexin V., Zolotovska O., Lepet E., Boiko B. Project of mechatronic system of experimental hydropneumatic seeder



- Червоткіна О. О., Фучадчи Н. О., Паляничка Н. О., Самохвал В. А.** Вплив різних параметрів на процес гранулювання рослинної сировини та якість гранул 113
Chervotkina O., Fuchadzy N., Palianychka N., Samohval V. Influence of different parameters on the process of granou-luvanne of rosliny syrovine and yacterity granules
- Кошулько В. С., Пацула О. М.** Розробка брикетувального гвинтового пресу лушпинної фракції макухи олійних культур 124
Koshulko V., Patsula O. Development of a briquetting screw press for the husk fraction of the cake of oil crops

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

- Галько С. В., Мірошник О. О., Сивенко М. М., Qawaqzeh M. Z., Al_Issa Huthaifa.** Визначення оптимальних параметрів накопичуючих та генеруючих джерел електричної енергії в автономних локальних електричних системах 134
Halko S., Miroschnik O., Syvenko M., Qawaqzeh M.Z., Al_Issa Huthaifa. Determination of optimal parameters of accumulating and generating sources of electric energy in autonomous local electrical systems
- Дяденчук А. Ф., Філіпович Є. В.** Моделювання фотоелектричних характеристик гетероперехідного сонячного елемента ZnO/porous-Si/Si 152
Dyadenchuk A., Filipovich Ye. Simulation of the photoelectric characteristics of the ZnO/porous-Si/Si heterojunction solar cell
- Юрченко О. Ю., Барсукова Г. В., Чепіжний А. В., Зубко В. М., Тимошенко Г. А.** Пошук місця пошкодження обмотки електроенергетичного обладнання за зміною робочої температури 167
Yurchenko O., Barsukova H., Chepizhnyu A., Tymoshenko H., Zubko V. Search for the location of damage to the electrical equipment winding due to a change in the working temperature
- Попова І. О., Чаусов С. В.** Дослідження схемного рішення пристрою для застосування в якості фільтра лінійних несиметричних напруг 177
Popova I., Chausov S. Investigation of the circuit solution of a device for using linear unbalanced voltages as a filter

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

- Колісниченко Т. О., Прісс О. П., Кюрчева Л. М., Сефіханова К. А.** Дослідження органолептичних показників якості емульсійних соусів з йодміщуючими добавками 186
Kolisnychenko T., Priss O., Kiurcheva L., Sefikhanova K. Investigation of organoleptic quality indicators of emulsion sauces with iodine replacement additives
- Ткаченко Л. В., Вітряк О. П.** Технологія коктейлів підвищеної біологічної цінності з використанням молочної сироватки 195
Tkachenko L., Vitriak O. Technology of cocktails of increased biological value using milk whey
- Семко Т. В., Пахомська О. В.** Аюрведа - сучасна система оздоровлення організму людини 206
Semko T., Pahomska O. Ayurveda modern health system human organism

**DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-2-177-185****УДК 621.313.13: 631.37**І. О. Попова¹, канд. техн. наук

ORCID 0000-0001-5429-8269

С. В. Чаусов¹, канд. техн. наук

ORCID 0000-0003-3811-9077

¹ *Таврійський державний агротехнологічний університет**імені Дмитра Моторного,*e-mail: iryana.popova@tsatu.edu.ua, тел: +380983765519

ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМНОГО РІШЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В ЯКОСТІ ФІЛЬТРА ЛІНІЙНИХ НЕСИМЕТРИЧНИХ НАПРУГ

Анотація. В роботі зроблений аналіз причин виникнення несиметричних режимів у мережі 0,38/0,22 кВ до яких приєднано електрообладнання сільських господарств, виявлені наслідки для роботи динамічного електрообладнання при несиметрії напруг мережі. Виявлено, що умовах експлуатації електроспоживачів несиметричний режим є звичайним робочим режимом сільських мереж 0,38/0,22 кВ. Обґрунтовано надійність діагностування несиметрії трифазної напруги за допомогою фільтрів симетричних складових, які розподіляються на фільтрові датчики напруги: прямої, зворотної і нульової послідовностей, в яких параметри складових елементів фільтрів напруги визначаються таким чином, щоб виділити ту, чи іншу симетричну складову напруги. Зроблено порівняння між фільтрами, що складаються з резистивно-конденсаторних кіл та схемним рішенням пристрою, що досліджується в роботі. Досліджено можливість використання схемного рішення пристрою, яке складається з двох лінійних індуктивних котушок без феромагнітних осердь з однаковими параметрами (активним опором та індуктивністю) і конденсатора в якості фільтру симетричних складових лінійних напруг прямої і зворотної послідовностей. Для розрахунку несиметричного режиму трифазних кіл застосовано спеціальний метод розрахунку – метод симетричних складових. Аналітичним розрахунком доведено, що досліджуване схемне рішення пристрою може бути використане в якості фільтру лінійних напруг зворотної послідовності: вольтметр, що включений у фазі «а» вимірює напругу зворотної послідовності, а вольтметр, включений у фазі «с» вимірює напругу прямої послідовності. Визначені співвідношення між активним і реактивним індуктивним опором індуктивної котушки і ємністю конденсатора у схемному рішенні пристрою.

Ключові слова: симетричні складові, фільтр лінійних напруг, параметри, активний опір, індуктивність, ємність, котушка, конденсатор.

Актуальність та постановка проблеми. Електричні розподільні мереж 0,38/0,22 кВ, до яких приєднано електрообладнання сільських господарств, мають значну протяжність низьковольтних мереж, характеризуються змішаним підключенням однофазних та трифазних



споживачів, доволі часто загальна потужність однофазних споживачів перевищує потужність трифазних і має місце недопустима несиметрія струмів та напруг. Тому реальних умовах експлуатації електроспоживачів України несиметричний режим є звичайним робочим режимом сільських мереж 0,38/0,22 кВ [1].

В умовах несиметрії напруги різкому погіршуються техніко-економічних характеристик пристроїв, включених у електромережу, погіршується експлуатаційна надійність і терміну роботи електродвигунів. Зростають додаткові втрати у лініях 0,38 кВ, розподільних і споживчих силових трансформаторах напруги: ці втрати складають 4% від всієї електроенергії, що споживає сільське господарство [2].

Дослідження [3-4] показали, що відхилення напруги у сільських споживачів значно перевищують норми, що встановлені ГОСТ 13109-97. В господарствах, найбільш віддалених від джерел живлення, відхилення напруги знаходиться у допустимих межах тільки 54% часу, а нерівномірність навантаження фаз коливається в межах 16-22%.

Математичне очікування величини несиметрії напруг за даними [5] складає 7,3%, що значно перевищує вимоги ГОСТ 13109-97 Напруга прямої послідовності складає 89% від номінальної, що на 3,5% нижче мінімально допустимої на затискачах електродвигунів за умовами їх пуску у симетричному режимі.

Асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором – є динамічним навантаження, з точки зору електротехніки, є найчастіше вживаним в якості приводу виробничих машин у промисловому, сільському виробництві і побуті. Незважаючи на те, що асинхронний двигун з короткозамкненим ротором (АД) доволі надійний в роботі, причин виходу з ладу трифазної обмотки статора АД багато, до них відносяться: струмові перевантаження обмотки статора збоку виникнення неприпустимої несиметрії напруги фаз мережі (до 50 %) або з причини обриву фазного проводу виходить з ладу до 45% статорних обмоток АД та інші [6].

Питанням якості електричної енергії в останні роки в Україні приділяється значна увага, оскільки недотримання норм якості електричної енергії призводить до погіршення електромагнітної сумісності електричних мереж електропостачання та споживачів (АД) електроенергії. Показники якості нормуються міжнародним стандартом 13109-97.

При дотриманні стандарту досягається безпечність електроспоживання, ресурсо- та енергозбереження, зниження витрат



на паливо, зменшується навантаження на обладнання, що використовується при генеруванні додаткових невиробничих потужностей [7].

Найбільш простими пристроями надійного діагностування несиметричних режимів трифазної напруги є фільтри симетричних складових, які розділяються на фільтрові датчики напруги: прямої, зворотної і нульової послідовностей, параметри складових елементів фільтрів напруги визначаються таким чином, щоб виділити ту, чи іншу симетричну складову напруги [8].

Мета досліджень – теоретично дослідити використання схемного рішення в якості фільтру симетричної складової прямої і зворотної послідовності і визначити співвідношення параметрів в ньому.

Основні матеріали дослідження. Під терміном «фільтр» в електротехніці розуміють спеціальний пристрій, або схемне рішення, за допомогою якого можна виділити або подавити із складної системи компонентів якісь визначені частини з її складу.

Фільтри симетричних складових призначені для вилучення конкретних складових векторів напруги (струму) з трифазної несиметричної системи напруги мережі: наприклад, симетричну складову прямої зворотної або нульової послідовностей [6].

При порушенні симетричного режиму трифазної системи, наприклад в наслідок несиметричних коротких замикань, в повних фазних напругах споживачів, наряду з напругою прямої послідовності, з'являються складові напруги зворотної та нульової послідовностей. Симетрична складова напруги зворотної послідовності викликає в динамічному навантаженні, тобто асинхронному трифазному двигуні, виникнення зворотного обертового магнітного поля, що викликає гальмівний момент. Зростають сили повних фазних струмів у динамічному навантаженні, збільшуються втрати активної потужності у фазах двигуна, збільшується швидкість зносу ізоляції цих обмоток і, як слідство, зменшується експлуатаційний ресурс навантаження.

Для запобігання виходу з ладу динамічних навантажень використовують захисні пристрої, датчиком несиметрії напруги в яких, як правило, використовують фільтри симетричних складових. Це діє можливість виконати захист, що буде реагувати на появу даних симетричних складових напруг [9].

Найбільшого розповсюдження досягли фільтри, що складаються з резистивно-конденсаторних кіл в наслідок простоти використання, підбору параметрів у схемі і невеликої ціни. Але головним недоліком



таких фільтрів є те, що разі використання для захисту динамічного індуктивного навантаження, в електричному колі може виникнути резонансне явище струму, яке само по собі супроводжується значним збільшенням струмів у фаз навантаження. Тому доцільно розробляти інші схемні рішення, які можна застосовувати в якості фільтру напруг симетричних складових при несиметрії напруг мережі [6].

Якщо у трифазній системі є пристрої, опори фаз яких залежать від послідовності чергування фаз струмів (трифазні асинхронні або синхронні двигуни та генератори або хоча б один з таких пристроїв, потужність якого порівняна з потужністю всієї трифазної системи), то для розрахунку несиметричного режиму таких трифазних кіл застосовують спеціальний метод розрахунку – метод симетричних складових, який по своїй суті є різновидом методу накладання [10].

Дослідимо можливість використання схемного рішення пристрою (рисунок 1а), яке складається з двох лінійних індуктивних котушок без феромагнітних осердь з однаковими параметрами (активним опором та індуктивністю) і конденсатора в якості фільтру напруги прямої і зворотної послідовностей.

При несиметричній системі лінійних напруг кола, напруги у фазах a і c визначаються (згідно позначень рисунку 1б і комплексами фазних провідностей Y_a, Y_b, Y_c) за рівняннями

$$\dot{U}_a = \frac{\dot{U}_{ab} \cdot Y_b + \dot{U}_{ac} \cdot Y_c}{Y_a + Y_b + Y_c}; \quad (1)$$

$$\dot{U}_c = \frac{\dot{U}_{ca} \cdot Y_a + \dot{U}_{cb} \cdot Y_b}{Y_a + Y_b + Y_c}, \quad (2)$$

де $\dot{U}_{ab}, \dot{U}_{cb}, \dot{U}_{ca}$ – комплекси лінійних несиметричних напруг на затискачах схемного рішення, B ;

Y_a, Y_b, Y_c – комплекси повних провідностей фаз схемного рішення (рис.1б), $См.$

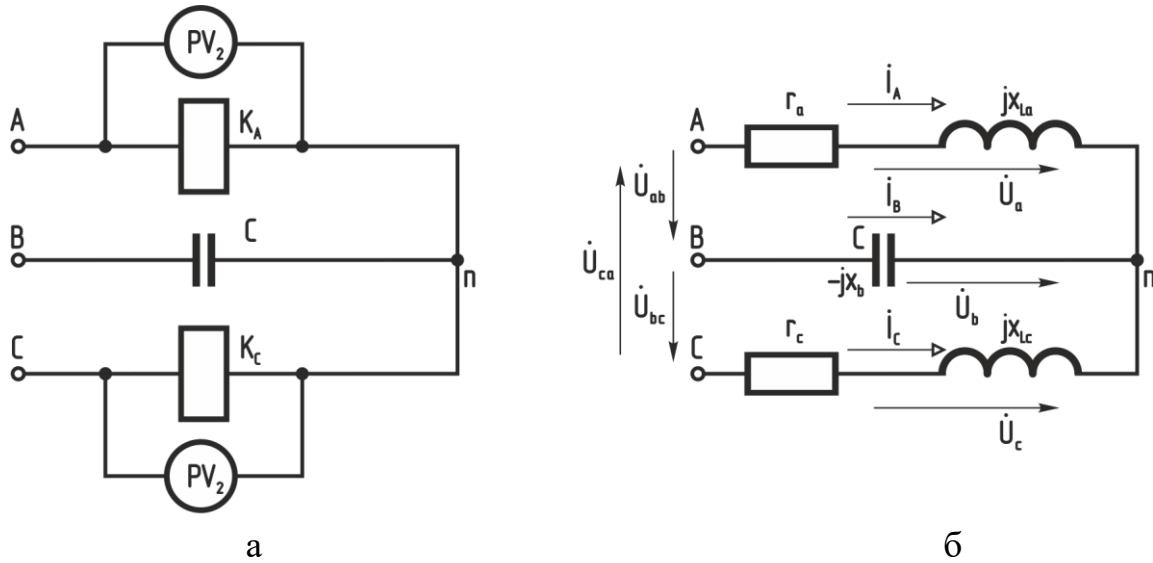


Рис. 1. Принципова (а) і розрахункова (б) схеми пристрою

Схемне рішення пристрою (рис. 1) з'єднано зіркою, тому лінійні напруги при з'єднанні зіркою не містять складової напруги нульової послідовності. Тоді представимо лінійні напруги схемного рішення пристрою через симетричні складові несиметричної лінійної напруги прямої і зворотної послідовностей

$$\begin{cases} \dot{U}_{ab} = \dot{U}_{ab1} + \dot{U}_{ab2} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2; \\ \dot{U}_{bc} = a^2 \cdot \dot{U}_{ab1} + a \cdot \dot{U}_{ab2} = a^2 \cdot \dot{U}_1 + a \cdot \dot{U}_2; \\ \dot{U}_{ca} = a \cdot \dot{U}_{ab1} + a^2 \cdot \dot{U}_{ab2} = a \cdot \dot{U}_1 + a^2 \cdot \dot{U}_2, \end{cases} \quad (3)$$

де a – оператор трифазної системи, $a = e^{j120^\circ}$.

Підставимо симетричні складові прямої і зворотної послідовностей лінійних напруг з системи рівнянь (3) у (1) та (2). Визначимо фазні напруги фаз «а» та «в» з рівняння (1) через лінійні напруги (3) схемного рішення пристрою

$$\dot{U}_a = \frac{\dot{U}_1 \cdot (Y_b - a \cdot Y_c) + \dot{U}_2 \cdot (Y_b - a^2 \cdot Y_c)}{Y_a + Y_b + Y_c}; \quad (4)$$

$$\dot{U}_c = \frac{\dot{U}_1 \cdot (a \cdot Y_a - a^2 \cdot Y_b) + \dot{U}_2 \cdot (a^2 \cdot Y_a - a \cdot Y_b)}{Y_a + Y_b + Y_c}. \quad (5)$$

Якщо прийняти $(Y_b - a \cdot Y_c) = 0$, то комплекс фазної напруги \dot{U}_a з виразу (4) буде дорівнювати

$$\dot{U}_a = \dot{U}_2 \cdot \frac{(Y_b - a^2 \cdot Y_c)}{Y_a + Y_b + Y_c}; \quad (6)$$

Якщо прийняти $(a^2 \cdot Y_a - a \cdot Y_b) = 0$, то комплекс фазної напруги \dot{U}_c з виразу (5) буде рівний



$$\dot{U}_c = \dot{U}_1 \cdot \frac{(a \cdot Y_a - a^2 \cdot Y_b)}{Y_a + Y_b + Y_c}. \quad (7)$$

Таким чином, напруга фази «а» схемного рішення пристрою (рис. 1), згідно рівняння (6) містить тільки симетричну складову зворотної послідовності, що відповідає показам вольтметра V2 (рис.1а), а напруга фази «с» містить тільки симетричну складову прямої послідовності, що відповідає показам вольтметра V1, якщо співвідношення провідностей наступне

$$(Y_b - a \cdot Y_c) = 0; Y_c = \frac{Y_b}{a} = a^2 \cdot Y_b; \quad (8)$$

$$(a^2 \cdot Y_a - a \cdot Y_b) = 0; Y_a = \frac{Y_b}{a} = a^2 \cdot Y_b. \quad (9)$$

Визначимо співвідношення параметрів у схемному рішенні пристрою (рис. 1б) для використання в якості фільтру лінійної напруги прямої і зворотної послідовності.

Умовою фільтру лінійних напруг прямої і зворотної послідовностей є співвідношення комплексів повних провідностей індуктивних котушок і конденсатора, включених у фази схемного рішення пристрою (рис.1б)

$$Y_a = Y_c = a^2 \cdot Y_b. \quad (10)$$

Прийmemo, що конденсатор ідеальний, тобто активний опір його дорівнює нулю, тоді комплекс повної провідності фази «в», в якій включений ідеальний конденсатор, буде дорівнювати

$$Y_b = j\omega C, \quad (11)$$

де ω – кругова частота електричного кола, рад/с;

C – ємність конденсатора, Ф;

j – уявне число, $j = \sqrt{-1}$.

Тоді співвідношення між комплексами фазних провідностей індуктивних котушок та ідеального конденсатора, тобто параметрами схемного рішення пристрою: активним опором і індуктивністю котушок і ємністю конденсатора, буде наступним, згідно співвідношення (10)

$$Y_a = Y_c = a^2 \cdot Y_b = a^2 \cdot j\omega C = \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot j\omega C = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot j\omega C - j\frac{\omega C}{2} = g - b_L, \quad (12)$$

де g – активна провідність індуктивної котушки, См;

b_L – індуктивна реактивна провідність котушки, См;

b_C – ємнісна реактивна провідність конденсатора, См;

Співвідношення активної провідності котушки до ємнісної провідності ідеального конденсатора знаходяться з рівняння



$$g = \frac{r_a}{z^2} = \frac{\sqrt{3} \cdot \omega C}{2}, \quad (13)$$

де z^2 – квадрат повного опору індуктивної котушки, якщо квадрат повного опору визначити за рівнянням

$$z^2 = r^2 + (\omega L)^2. \quad (14)$$

В той час, як реактивна провідність індуктивності до ємнісної провідності конденсатора співвідносяться як

$$b_L = \frac{\omega L}{z^2} = \frac{\omega C}{2}. \quad (15)$$

Для визначення співвідношення величини активного опору котушки по відношенню до ємності конденсатора (12), з використанням значення кругової частоти мережі та комплексу повного опору котушки, використаємо наступні рівняння

$$r = \frac{z^2 \cdot \sqrt{3} \cdot \omega C}{2}. \quad (16)$$

Для визначення величини індуктивного опору котушки по відношенню до ємності конденсатора (12), з використанням значення кругової частоти мережі та комплексу повного опору котушки, використаємо наступні рівняння

$$\omega L = \frac{z^2 \cdot \omega C}{2}. \quad (17)$$

При цьому співвідношення активного і реактивного опорів індуктивної котушки у схемному рішенні [4, 5]

$$\frac{r}{\omega L} = \sqrt{3}.$$

Висновок. Проведений аналіз схемного рішення пристрою доводить, що його можна використовувати в якості фільтру лінійної напруги прямої і зворотної послідовностей за умови підбору параметрів котушок і конденсатора. Це дозволить використовувати його в пристроях захисту від несиметрії напруги мережі, щоб зменшити швидкість зносу ізоляції статорних обмоток і подовжити термін експлуатації асинхронних двигунів.

Список використаних джерел

1. Вовк О. Ю., Квітка С. О., Дідур В. В. Вплив відхилення живлячої напруги на ресурс ізоляції асинхронних електродвигунів потокових технологічних ліній. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2019. № 9(1). <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2019-1-25>.



2. Маков Д. К., Поворожнюк Н. І., Виноградов Ю. М., Услонцев А. Б. Підвищення точності вимірювання несиметрії трифазної напруги. *Вісник НТУ «ХПІ». Тематичний випуск: Інформатика і моделювання*. 2010. № 21. С.111-116.

3. Pavlenko T., Shavkun V., Petrenko A. Ways to improve operation reliability of traction electric motors of the rolling stock of electric transport. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 5/8(89). P. 22–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.112109>.

4. Щерба А. А., Маков Д. К., Захарченко С. Н., Супруновська Н. І. Аналіз уравнень преобразования трехфазных напряжений при каскадном соединении фильтров симметричных составляющих. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. 2008. № 3(12). С. 8-15.

5. Стьопін Ю. О., Кушлик Р. В., Перова Н. П. Дослідження роботи Асинхронних двигунів при несиметрії напруг в усталених режимах. *Енергетика і автоматика*. 2014. № 3. С. 141-146.

6. Попова І. О. Визначення параметрів активно-ємнісного фільтра напруги зворотної послідовності. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем: тези доп. І Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. пам'яті В. В. Овчарова*. Мелітополь, 2020. С. 18-19.

7. Pakkawe S., Nayamin V., Chaiyapon D., Thongchaisuratkrul G. Effects of Induction Motor Using Unbalance Voltage. *International Journal of the Computer, the Internet and Management*. 2018. Vol. 26(3). P.98-103.

8. Benoît de Metz-Noblat. Analyse des réseaux triphasés en régime perturbé à l'aide des composantes symétriques [Electronic resource] / B. de Metz-Noblat. *Cahier Technique Schneider Electric*. Regime of access: <https://www.se.com/fr/fr/download/document/> (date of the application: 10.09.2023).

9. Kurashkin S., Popova I., Popryaduhin V.S., Kovalov O.V. Mathematical model of asynchronous motor diagnosis. *Science progress in European countries: new concepts and modern solutions: Proceedings of the 6th International conference*. ORT Publishing. Stuttgart, Germany. 2019. P. 361-366

10. Попова І. О., Попрядухін В. С. Параметри контролю несиметричних режимів роботи асинхронних двигунів для розробки ефективного захисту. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2019. Вип. 9, т. 1(41). <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2019-1-41>.

Стаття надійшла до редакції 28.09.2023 р.



I. Popova¹, S. Chausov¹

¹Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

INVESTIGATION OF THE CIRCUIT SOLUTION OF A DEVICE FOR USING LINEAR UNBALANCED VOLTAGES AS A FILTER

Summary

The paper analyzes the causes of unbalanced modes in the 0.38/0.22 KV network to which electrical equipment of rural farms is connected, and reveals the consequences for the operation of dynamic electrical equipment with unbalanced network voltages. It is revealed that under the operating conditions of electric consumers, the unbalanced mode is the usual operating mode of rural networks of 0.38/0.22 KV. The reliability of diagnostics of three-phase voltage asymmetry is justified using symmetric component filters, which are distributed to filter voltage sensors: forward, reverse and zero sequences, in which the parameters of the constituent elements of voltage filters are determined in such a way as to distinguish one or another symmetric component of voltage. A comparison is made between filters consisting of resistive-capacitor circuits and the circuit solution of the device studied in this paper. The article examines the possibility of using a circuit solution of a device that consists of two linear inductive coils without ferromagnetic cores with the same parameters (active resistance and inductance) and a capacitor as a filter for symmetric components of linear voltages of the forward and reverse sequences. To calculate the asymmetric mode of three – phase circuits, a special calculation method is used-the symmetric component method. Since the circuit solution of the device is connected by a star, there is no zero-sequence voltage component in the device circuit. Analytical calculation proved that the studied circuit solution of the device can be used as a filter of linear voltages of the reverse sequence: a voltmeter included in Phase "A" measures the voltage of the reverse sequence, and a voltmeter included in Phase "C" measures the voltage of the direct sequence. The relations between the active and reactive inductive resistances of the inductive coil and the capacitance of the capacitor in the circuit solution of the device are determined.

Keywords: symmetric components, linear voltage filter, parameters, active resistance, inductance, capacitance, coil, capacitor.

ПРАЦІ
Таврійського державного агротехнологічного університету

Наукове фахове видання

Випуск 23, том 2

Заснований у 1998 р
Виходить три рази на рік

Свідоцтво про державну реєстрацію
Друкованого засобу масової інформації
Міністерство юстиції
КВ 24285-14125 ПР від 27.12.2019 р.

Відповідальний за випуск – д.т.н., професор Панченко А. І.

Підписано до друку 01.11.2023 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Ум.-друк. арк. 15 Наклад 100.
ТОВ «Науково-виробнича компанія «Інтер-М»
Свідоцтво 33 № 26 від 23.06.2008 р.
69014, Україна, м. Запоріжжя, вул. Колерова,5