

Національний аграрний університет

На правах рукопису

Савченко Петро Ілліч

**МЕТОДИ ТА ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ
РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ
СІЛЬСЬКИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
УСТАНОВОК**

**05,20.02 - застосування електротехнологій в
сільськогосподарському виробництві, 05.09.03 -
електротехнічні комплекси і системи, включаючи їх
управління і регулювання**

**АВТОРЕФЕРАТ
ДИСЕРТАЦІЇ НА ЗДОБУТТЯ НАУКОВОГО
СТУПЕНЯ ДОКТОРА ТЕХНІЧНИХ НАУК**

КИЇВ - 1997

631+
621.3-1

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00751909 (V)

Дисертація є рукописом
Робота виконана в Харківському державному
сільськогосподарському університеті

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор, академік
УААН Мартиненко Іван Іванович

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор Овчаров Володимир Васильович;
доктор технічних наук, професор Зорін Владлен Володимирович;
доктор технічних наук, професор Гриб Олег Герасимович

Провідна організація: Інститут механізації
та електрифікації сільського господарства УААН

Захист відбудеться 20.05 1997р. о 10 год. на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д.01.05.05 при Національному аграрному
університеті за адресою:

252041, Київ-41, вул.Героїв Оборони, 15, учбовий корпус 3,
аудиторія 65.

Просимо прийняти участь у роботі спеціалізованої вченої ради
або надіслати відгук на автореферат у 2-х примірниках, завірений
печаткою Вашої установи, за адресою:

252041, Київ-41, вул. Героїв оборони, 15, сектор захисту
дисертацій

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці університету.
Автореферат розісланий 18 квітня 1997р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради

Тищенко Л.П.

AB 37.450

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність. Відсутність наукового обґрунтування принципів побудови системи забезпечення ефективності електрифікованих технологічних процесів (ЕТП), відсутність технічних засобів регулювання напруги і пристроїв керування ними в режимі мережного резерву, роблять неможливим забезпечення відхилень поданої напруги до електрифікованих технологічних установок (ЕТУ) в межах, визначених діючим стандартом.

Розробка способів підвищення якості напруги і принципів побудови пристроїв регулювання напруги в електричних мережах, забезпечують ефективність ЕТП сільськогосподарського виробництва в режимі мережного резерву, є актуальною науковою проблемою.

Згідно актуальності проблеми, її вирішення здійснювалося відповідно до координаційного плану наукової ради АН СРСР по комплексній проблемі "Наукові основи електроенергетики".

Завдання 1. 9. 6. 24. 35. "Розробка принципів створення методів і засобів підвищення якості електроенергії в сільських електричних мережах. Розробка трифазних пристроїв на базі вольтодобавочних трансформаторів з тиристорним перемикачем в колі збудження для мереж 6-10 кВ. Розробка та дослідження систем керування тиристорами перемикаючих пристроїв класу 10-110 кВ з використанням герконової техніки та рекомендаціями Всесоюзної науково-технічної конференції "Системи керування та контролю високовольтних електричних апаратів", де зазначено: "Розгорнути прикладні дослідження та дослідно-конструкторські роботи по створенню і впровадженню високовольтних герконових реле для систем керування апаратами високої напруги, тобто високовольтними перемикачами відгалужень обмоток силових трансформаторів".

Мета роботи: обґрунтування та розробка методів і технічних засобів забезпечення ефективності ЕТП на основі підвищення якості напруги, яка подається до ЕТУ сільськогосподарського виробництва. Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі задачі:

1. Розробити методику визначення впливу відхилень напруги на роботу ЕТУ і на режими ЕТП.
2. Розробити принципи побудови системи забезпечення ефективності функціонування сільських ЕТУ і методи аналізу режимів напруги у ЕП при мережному резервуванні.
3. Обґрунтувати і розробити принципи створення методів і технічних засобів забезпечення енергозберігаючих режимів електроживлення сільських ЕТУ.
4. Провести дослідження та дослідно - конструкторські роботи по створенню системи керування високовольтними перемикачами відгалужень обмоток силових трансформаторів

Предметом досліджень є технічні засоби, які забезпечують ефективність ЕТП сільськогосподарського виробництва.

Об'єктами досліджень є фізичні процеси в електроприймачах (ЕП) технологічних установок, які виникають при зміні і регулюванні напруги.

Методи досліджень. В основу досліджень покладено результати робіт провідних вчених в галузі сільської електрифікації, впливу відхилень напруги на роботу ЕП, які застосовуються в сільськогосподарському виробництві, а також в галузі регулювання напруги.

В теоретичних дослідженнях використані сучасні методи розрахунку електричних мереж, методи теорії ймовірності та математичної статистики, основи теорії розрахунку надійності елементів і пристроїв автоматики.

Для розв'язання задач досліджень застосовані стандартні і розроблені методи, пристрої і установки, а також методи аналізу лабораторно-виробничих експериментів, фізичного та математичного моделювання систем забезпечення ефективності технологічних процесів. При експериментальних дослідженнях застосовували самописні прилади та статистичні аналізатори якості напруги, а також прилади, які розроблені нами впродовж наукових досліджень. Результати досліджень оброблялись на ЕОМ.

Економічна ефективність методів регулювання напруги визначена за єдиною методикою розрахунку економічної ефективності використання в електроенергетиці нової техніки, винаходів та раціоналізаторських пропозицій.

Наукова новизна полягає в тому, що:

- на основі структури електричних навантажень ЕТУ виявлена їх неоднорідність і різний вплив відхилень напруги на фізичні процеси в них. Запропоновано для характеристики ЕТУ - коефіцієнт структури навантаження;
- на основі аналізу фізичних процесів ЕП, як складових частин ЕТУ, теоретично виявлена залежність окремих енергетичних та технологічних показників ЕТУ при зміні величини відхилення напруги;
- у запропонованій методиці визначення впливу відхилень напруги на ефективність технологічних процесів сільськогосподарського виробництва застосовано комплексний підхід в оцінці ефективності роботи ЕП, як складової частини ЕТУ, яка забезпечує функціонування даного ЕТП при відхиленнях підведеної напруги;
- на основі аналізу режимів напруги в мережах, що живлять ЕТУ при мережному резервуванні, розроблені методи визначення параметрів технічних засобів і обґрунтовані принципи побудови системи

забезпечення енергозберігаючих режимів електроживлення сільських ЕТУ. Ці принципи базуються на приведенні ліній, що взаєморезервуються до вигляду організованої автоматизованої умовно - замкнутої лінії з регулюванням напруги у її магістралях;

- на основі аналізу способів підвищення циклостійкості тиристорів встановлено, що кожен із них дозволяє поліпшити один із вузлів вентиля і не дає можливості усувати шкідливі наслідки перепадів температури. Запропонований спосіб збільшення циклостійкості тиристорів базується на зменшенні діапазону зміни температури вентиляційного елементу за кожним циклом;
- розроблено метод забезпечення інформаційної та електричної сукупності ізольованих одна від одної функціональних частин апаратури, не допускаючих їх безпосереднього з'єднання між собою із-за високої різниці потенціалів, і принцип побудови нового пристрою (геркотрона) на магнітокерованих контактах, на базі якого розроблені принципи побудови системи управління високовольтними тиристорними перемикачами відгалужень обмоток силових трансформаторів;
- розроблена методика оцінки статичних струмів управління силових тиристорів, яка базується на методах теорії ймовірності та математичної статистики;
- експериментально визначено невідомі раніше властивості феритів - лавиноподібного збільшення провідності під дією сильного електричного поля і відновлення діелектричних властивостей після зникнення поля. Достовірність теоретичних положень підтвердилася експериментальною перевіркою в лабораторних умовах, дослідно - виробничих випробуваннях і експлуатації дослідних партій електричного обладнання. Основні ідеї і розробки, які виносяться на захист, належать автору.

На захист виносяться такі основні наукові положення дисертації:

- методика визначення впливу відхилень напруги на ефективність технологічних процесів сільськогосподарського виробництва;
- принципи побудови системи забезпечення ефективності функціонування електротехнологічних установок при мережному резервуванні;
- комплекс технічних засобів, пристроїв і установок, що забезпечують енергозберігаючі режими електроживлення технологічних установок.

Практична цінність роботи полягає в розробці, випробуванні і впровадженні у виробництво технічних засобів регулювання напруги і пристроїв керування ними, які забезпечують ефективність

технологічних процесів сільськогосподарського виробництва і енергозбереження в електроприймачах технологічних установок і в сільських електричних мережах.

Апробація. Основні положення дисертаційної роботи обговорені і схвалені в 75-ти доповідях, в тому числі на третій науково - технічній конференції “Сучасні проблеми енергетики” (Київ, квітень 1980р.); на Всесоюзній технічній конференції “Спеціальні комутаційні елементи” (Рязань, 1984р.); на Всесоюзному науково - технічному семінарі: “Досвід електрифікації сільського господарства на основі прискорення науково - технічного прогресу” (Тернопіль, 1987р.); на Всесоюзній нараді “Підвищення ефективності і надійності електропостачання у сільському господарстві” (Москва, 1987р.); на Всесоюзній науково - технічній конференції “Проблеми перетворюючої техніки” (Київ, 1987р.); на III Всесоюзній науково - технічній конференції “Енергозберігаюче електрообладнання для АПК” (Москва, ВДНГ СРСР, вересень 1990р.); на наукових конференціях професорсько - педагогічного колективу, наукових працівників та аспірантів МПСВ (Москва, 1970р.), АЧМСГ (Зерноград, 1974, 1991р-р.), ХІМСГ (Харків, 1970 - 1994р-р.), ХДТУСГ (Харків, 1995, 1996 р-р.)

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 125 друкованих роботах, в тому числі, в двох навчально - методичних, і 40 авторських свідоцтвах на винахід.

Результати дослідів в (1980, 1987, 1991 роках.) експонувались на ВДНГ СРСР і відзначені срібною й двома бронзовими медалями, а також експонувались на міжнародних виставках в м.Делі (1989р.) та в м.Лейпцигу (1990р.)

Впровадження. Окремі наукові положення, рекомендації і нові технічні рішення, що впливають з дисертації, впроваджені разом з аспірантами Гуревичем В.І., Кривцовим В.В., Бережнюком І.Г., Тищенко О.К. в практику роботи сільських електромереж Донецького, Миколаївського і Харківського підприємств електричних мереж ПЕО “Донбасенерго”, “Миколаївенерго” і “Харківенерго”, в науково - дослідному інституті електричної апаратури ім.А.В.Єфремова, у Білоруському відділенні ВДП і НП “Енергомережапроект”.

Окремі розробки, рекомендації, висновки, одержані в роботах, використані при виконанні робіт НВО “Радіо” (м.Москва), НВО “Антей” (м.Москва), НВО “Електрофізика” (м.Ленінград), ВО “Азот” (м.Рівно), СКБ “Кабель” (м.Уфа), а також в РЕМ, колгоспах, радгоспах Харківської та інших областей. Матеріали дисертації включені в учбово - методичні посібники “Современные электрические аппараты управления для систем автоматизации сельскохозяйственного производства” .М., 1986; “Повышение качества

напряження на зажимах автоматизованого електропривода агропромислових комплексів” Київ, УСХА, 1988, які використовуються в навчальному процесі на факультетах “електрифікації та автоматизації сільськогосподарства” сільськогосподарських вузів.

СТРУКТУРА ТА ОБСЯГ РОБОТИ

Дисертація складається із вступу, 6 розділів, висновків і списку використаної літератури з 259 назв, в тому числі, 10 - іноземними мовами, а також з додатків.

Робота викладена на 414 сторінках друкованого тексту, вміщує 20 таблиць і 103 рисунки на 72 сторінках.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі “Загальна характеристика роботи” розкрито наукову новизну та практичну цінність роботи, обґрунтовано її актуальність, сформульовано мету досліджень, задачі, а також основні положення, винесені на захист.

У першому розділі “Аналіз сучасного стану проблеми і обґрунтування напрямку досліджень” на основі аналізу літературних джерел і проведених досліджень показав, що вплив відхилень напруги від номінального значення на роботу електродвигунів, наприклад асинхронних електродвигунів, джерел променевої та теплової енергії та інші, які застосовуються в сільськогосподарському виробництві і детально розглянуті в роботах вчених І.В.Жижеленко, І.І.Мартиненко, В.В. Овчарова, К.М. Пояркова, І.А. Сиром’ятнікова, М.М. Сирих та інших.

Більшість досліджень проводились з ЕП без врахування того, що вони є складовими частинами ЕТУ. Тому дослідження впливу відхилень напруги на ефективність функціонування ЕТП сільськогосподарського виробництва практично тільки починаються, особливо у тих прогресивних технологіях, які розглядаються в роботах учених І.Ф.Бородіна, В.К.Мурзіна та інших.

Проблемі підвищення якості напруги у ЕП багато уваги приділяли у своїх дослідженнях вчені І.О.Будзко, В.В.Зорін, М.О. Мельников, В.Г.Холмський та інші. Розглядалися питання регулювання напруги як у промислових, так і у сільських електричних мережах. Однак, питання регулювання напруги при мережному резервуванні в сільських електричних мережах вивчено недостатньо. Мережне резервування застосовується для підвищення надійності електропостачання сільських ЕТУ. Воно здійснюється шляхом будівництва лінії зв'язку, яка своїми кінцями з'єднує дві сусідні лінії що взаєморезервуються. Таку з'єднану лінію називають умовно - замкнутою. Втрати напруги в ній від джерела живлення до

віддаленого ЕП зростають більш, ніж у 4 рази. Тому виникає потреба в регулюванні напруги в умовно - замкнутих лініях вольтодобавочними трансформаторами (ВТД). Послідовні обмотки ВТД ввімкнені в розрив магістралей лінії, що взаємно резервуються. В залежності від того, яку лінію резервують, в одного з ВДТ у послідовній обмотці змінюється напрям потоку потужності. В цьому випадку ВТД замість підвищення напруги буде її знижувати і погіршувати умови роботи ЕП. Лінійні ВДТ і автотрансформатори, які призначаються для роботи в магістралях умовно - замкнутих ліній, повинні бути двосторонньої дії, тобто регулювати напругу у заданому режимі незалежно від напрямку потоку потужності.

Технічна необхідність застосування пристроїв РПН в сільських мережах не викликає сумніву.

Пристрої РПН з механічним приводом - це складні агрегати, які мають підвишену аварійність. До 66% усіх пошкоджень у трансформаторах припадає на долю РПН. Персонал енергосистем у 30% випадків вимикає автоматику, здійснюючи інколи ручні перемикання. Аналіз літературних джерел показав, що пошкодження контактної системи буває навіть тоді, коли перемикання не здійснюються. Причиною таких пошкоджень є прогресуюче погіршення поверхні перемикаючих контактів із-за взаємодії їх з продуктами розкладу масла і створення електроізоляційної плівки, яка через деякий час наближається до центру контактних площин. В сільських мережах при математичному сподіванні числа перемикань РПН понад $10^5 \dots 2 \cdot 10^5$ за рік ресурс пристрою РПН з механічним приводом буде вичерпаний практично за 1-2 роки експлуатації. Таким чином, виникає потреба заміни діючих РПН безконтактними тиристорними РПН. При розробці системи керування високовольними тиристорними перемикачами відгалужень обмоток силового трансформатора виникла необхідність створити пристрій для зв'язку між частинами апаратури, які ізолювані одна від одної через високу різницю потенціалів.

У другому розділі "Вплив відхилень напруги від номінального значення на функціонування електрифікованих технологічних процесів і установок в сільському господарстві" наведені теоретичні дані впливу відхилень напруги на окремі ЕП, які були визначені із аналізу літературних джерел.

Використовуючи ці дані на прикладах ЕТУ: передпосівного прогріву насіння інфрачервоним випромінюванням; аероіонізації повітря в тваринницьких приміщеннях; водопостачання тваринницьких ферм та інших, розглянуто вплив відхилень напруги на ефективність їх роботи. На рисунку 1 наведена зміна ковзання системи "асинхронний електродвигун - робоча машина" в функції

відхилення напруги. Робочі машини розглядались чотирьох типів, для яких коефіцієнт залежності моменту опору від швидкості робочої машини дорівнює: -1; 0; 1; 2. На цьому рисунку наведена у відносних одиницях зміна подачі і тиску відцентрового насосу при зміні відхилень напруги живлення.

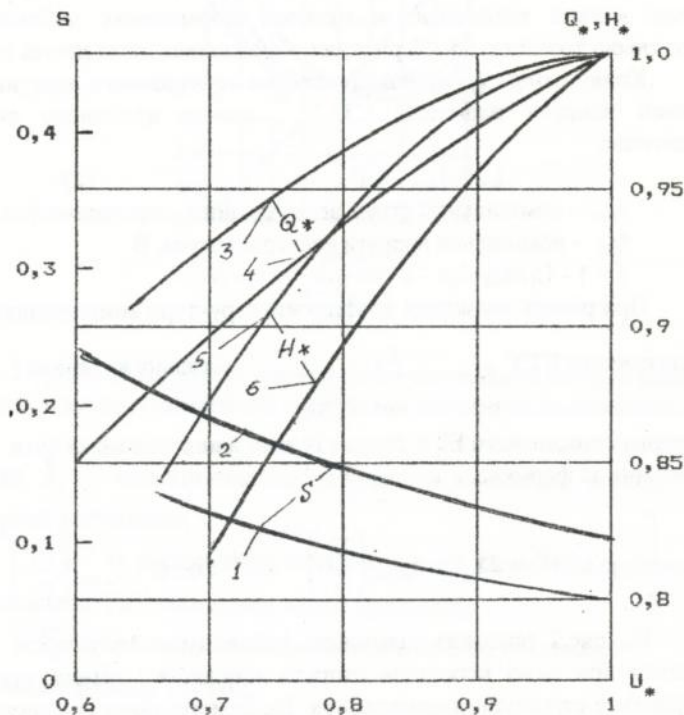


Рис. 1 Графік зміни величини ковзання електродвигуна (1,2) і параметрів відцентрових насосів від зміни напруги живлення.

Визначення ковзання з рівняння

$$\frac{\delta U^2 S'}{(1 - S')^x (S_K^2 + S'^2)} = \frac{S_H}{(1 - S_H)^x (S_K^2 + S_H^2)} = const, \quad (1)$$

при зміні відхилень напруги проводилось на ЕОМ.

Розглянуто вплив відхилень напруги на роботу стаціонарних і пересувних ультрафіолетових опромінювальних установок. Надані пропозиції по підвищенню строка служби джерел променевої енергії

при відхиленнях напруги. Для запалювання люмінесцентних ламп при великих відхиленнях напруги пропонується пускорегулюючий пристрій. Теоретично установлена і експериментально підтверджена залежність споживаного з лінії живлення струму навантаженого асинхронного двигуна при зміні відхилень напруги живлення. При пониженні напруги цей струм збільшується, що призведе до збільшення втрат напруги в лінії живлення, а це в свою чергу призведе до більших відхилень напруги і зростання струму. Цей процес можна визначити за методом послідовних наближень. З достатньою точністю до 1% рішення обмежується після другої ітерації.

Криву зміни струму навантаженого асинхронного двигуна $I_{i.c.}$ у функції напруги живлення U_i , можна приблизно виразити аналітично:

$$I_{i.c.} = I_{н.с.} \cdot 6,1^{\gamma} \quad (2)$$

де $I_{н.с.}$ - номінальний струм асинхронного електродвигуна, А;

U_n - номінальна напруга електродвигуна, В

$$\gamma = 1 - U_i / U_n$$

При різних значеннях коефіцієнта структури комплексного

навантаження ЕТУ $K = \frac{I_{н.с.}}{I_{н.с.} + I_{н.с.о}}$, загальна величина

значення споживаного ЕТУ струму із лінії живлення може бути визначена за формулою:

$$I_{o.б} = \left[I_{н.с.} \cdot 6,1^{2\gamma} + 2I_{н.с.} \cdot I_{н.с.о} \cdot \left(\frac{U_i}{U_n} \right)^{0,6} \cdot 6,1^{\gamma} \cos \varphi + I_{н.с.о}^2 \cdot \left(\frac{U_i}{U_n} \right)^{1,2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

На рис.2 показана залежність зміни втрат потужності в лінії живлення при зміні відхилень напруги живлення і різних значеннях коефіцієнта структури навантаження. Використовуючи із літературних джерел теоретичні дані впливу відхилень напруги на роботу окремих ЕП, на основі діючих методів визначення збитків від роботи цих ЕП при відхиленнях напруги живлення, пропонується методика визначення ефективності функціонування ЕТП сільськогосподарського виробництва.

Економічні збитки від функціонування ЕТП при відхиленнях напруги розглядаються як сума економічних шкод від роботи ЕП в складі ЕТУ, які забезпечують функціонування ЕТП.

Економічні збитки від роботи і-того електроприймача в складі j-тої ТУ при k-тому відхиленні напруги матиме такий вигляд:

$$Y_{i,ТУj,ВУk} = Y_e + Y_T + Y_{ek} + Y_M + Y_X \quad (4)$$

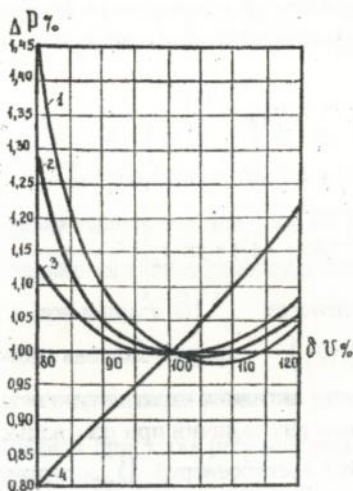


Рис. 1.
 1 — $K_{ст} = 1$; 2 — $K_{ст} = 0,97$; 3 — $K_{ст} = 0,97$;
 4 — $K_{ст} = 0$.

Рис. 2 Графік зміни втрат потужності в розподільчій лінії при зміні напруги живлення, залежно від коефіцієнта структури навантаження.

де Y_0 - енергетична складова шкоди, викликана зміною споживаної потужності;

Y_T - технологічна складова шкоди, викликана зміною продуктивності ТУ, зниженням якості продукції;

$Y_{ек}$ - експлуатаційна складова шкоди, викликана скороченням терміну служби;

Y_M - зовнішня складова шкоди, викликана зміною втрат напруги, потужності, енергії в електричній мережі;

Y_X - невідома складова шкоди, викликана її особливістю зміни функціонування ЕТП. Якщо не виявлені особливості технологічного процесу, то $Y_X = 0$.

Вплив цих складових на економічну шкоду, викликану роботою асинхронного електродвигуна при нарузі δU_k як електропривода j - тої - ЕТУ, при коефіцієнті навантаження $m=1$, може бути записана в такому вигляді:

$$\begin{aligned}
 Y_{en} &= t_k \left\{ \beta_Q \delta(\Delta Q_H) + \beta \left[\delta(\Delta P_H) \right] \frac{\bar{N}_i}{\partial \delta U_k} \right\} + \gamma K_H t_p \left[1 - \frac{\omega_o(1-S^1)}{\omega_H} \right] A_n + t_K \beta_1 \Delta P_{c.H} = \\
 &= t_K \left\{ \beta_Q \cdot \Delta Q_H (d_{(m)} \delta U^2 + e_{(m)} \delta U_k) + \right. \\
 &+ \beta [\Delta P_H (-2,51 \delta U_k^3 + 4,75 \delta U_k^2 - 0,75 \delta U_k)] + \\
 &+ \frac{C_i}{T_H} (47 \delta U_k^2 - 7,55 \delta U_k + 1) \left. \right\} + \gamma K_H t_p \left[1 - \frac{\omega_o(1-S^1)}{\omega_H} \right] A_n + t_K \beta_1 \Delta P_{c.H} \quad (5)
 \end{aligned}$$

де $\delta(\Delta Q_j)$ і $\delta(\Delta P_j)$ - приріст значень споживаної реактивної потужності і активних втрат потужності порівняно зі значеннями цих величин при номінальній напрузі;
 β - вартість 1 кВт.г електроенергії; β_Q - питома вартість реактивної потужності джерела; t_k - час роботи електроприводу при напрузі δU_k ; ΔQ_H - значення споживаної реактивної потужності при номінальній напрузі; $d_{(m)}$ і $e_{(m)}$ - сталі коефіцієнти, залежні від типу електродвигуна; γ - умовний показник вартості, віднесений до 1 кВт.г недоданої електроенергії споживачам; A_j - питома потреба електроенергії на одиницю продукції; $\Delta P_{c.H.}$ - втрати потужності в мережі, викликані роботою електроприймача при номінальній напрузі; ω_o, ω_H - синхронна і номінальна кутові швидкості S^1 - ковзання двигуна при напрузі δU_k ; T_H - нормативний термін служби електродвигуна; $T_{\delta U_k}$ - термін служби електродвигуна при роботі, коли підведена напруга δU_k ; C_i - вартість електродвигуна.

Умовою економічної ефективності роботи j -тої ЕТУ при k -тому режимі напруги є мінімум економічних збитків

$$Y_{IY,j,\delta U_K} = \sum_i^n Y_{ien} = Y_{gM} + Y_{gI} + Y_{gT} + Y_{g\delta 2} = \min \quad (6)$$

де $Y_{gM}, Y_{gI}, Y_{gT}, Y_{g\delta 2}$ - збитки від роботи джерел, відповідно механічної, променевої, теплової та інших видів енергії при напрузі, яка відрізняється від номінальної.

Умовою економічної ефективності функціонування ЕТП при к-тому режимі напруги є мінімум сумарних економічних збитків від роботи ЕТУ

$$Y_{\text{ТП}} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n Y_{kj}(\delta U_{kj}) = \min \quad (7)$$

де $Y_{kj(\delta U_{kj})}$ - значення визначеної для j-тої ЕТУ економічної характеристики, відповідаючої к-тому режиму роботи електроприймачів ЕТУ при напрузі δU_{kj} на записках електроприймачів;

t_{kj} - тривалість к-того розрахункового режиму j-тої ЕТУ.

Умовою застосування пристроїв регулювання напруги при мережному резервуванні є нерівність

$$Y_{\text{ТП.С.Р}} - Y_{\text{ТП.С.Р}} > 3 \quad (8)$$

де $Y_{\text{ТП.С.Р}}$ - збитки від роботи всіх i-тих електроприймачів j-тих ЕТУ без застосування регулюючих пристроїв;

$Y_{\text{ТП.С.Р}}$ - теж, але з застосуванням пристроїв регулювання;

3 - приведені втрати на пристрої регулювання.

У третьому розділі "Принцип побудови системи забезпечення електротехнологічних установок енергозберігаючими режимами живлення та засоби підвищення якості напруги при мережному резервуванні" розроблені методологічні принципи побудови цієї системи, в основу якої покладена надійність електропостачання та якість електричної енергії. Одним із головних засобів підвищення надійності електропостачання є резервування по електричних розподільчих мережах 10 кВ. Ефективність мережного резервування підвищується, коли умовно-замкнена мережа буде приведена до вигляду організованої автоматизованої мережі і коли в ній будуть застосовані елементи мережної автоматики високого ступеня надійності роботи. На рис.3 наведена схема автоматизованої умовно-замкнутої мережі.

Розроблені нові пристрої мережної автоматики, наприклад, пристрій для захисту від перенапруги ліній електропостачання та показчик короткого замикання. Деякі з них побудовані на базі нових високовольтних модулів (геркотронів): пусковий орган АВР; пристрій АПУ для мереж 10 кВ; пристрій автоматичного відділення підстанції від джерела живлення, пристрій диференційного захисту трансформатора та інші.

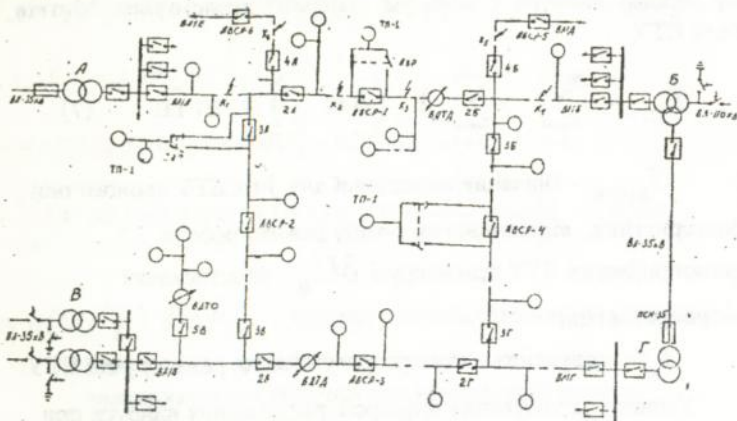


Рис. 3 Схема автоматизованої умовно - замкнутої лінії 10-кВ.

А,Б,В,Г-РТП, 1А...1Г - вимикачі; 2А...2Г, -3А - 3Г, 4А...4Б, 5В - пункти секціонування; АВСР1...АВСР6 - пункти автоматичного вмикання мережного резерву; IABP - автоматичні вимикачі резерву ТП 10/0,4кВ, які живлять споживачів першої категорії; ВДТО - вольтодобавочний трансформатор односторонньої дії, ВДТД - вольтодобавочний трансформатор двосторонньої дії, ВЛ1А...ВЛ1Г - взаєморезервовані лінії.

На прикладі пристрою диференційного захисту трансформатора від струмів короткого замикання пропонується метод оцінки надійності його роботи. Значення параметра потоку пошкоджень диференційного захисту по числу спрацювання визначається

$$\lambda_{\alpha_3} = \alpha_3 (\lambda_T + \lambda_{\Pi}) \quad (9)$$

де α_3 - ймовірність відмови в роботі по числу спрацювань пристрою диференційного захисту; λ_T - параметр потоку пошкоджень трансформатора, які супроводжуються спрацюванням захисту; λ_{Π} - параметр потоку несправжніх спрацювань диференційного захисту.

Параметр потоку спрацювань диференційного захисту при пошкодженні захищуваного трансформатора визначається

$$\lambda_{\text{сп.з}} = \lambda_T - \alpha_3 (\lambda_T + \lambda_{\Pi}) \quad (10)$$

Розглянуто граф стану і переходів пристроїв з диференційного захисту, який описується системою диференційних рівнянь Колмогорова. Система цих лінійних рівнянь була розв'язана методом Гауса, і одержано вирази для оцінки пристроїв диференційного

захисту трансформатора тієї чи іншої конструкції з обчисленням його надійності.

Теоретично визначено збільшення втрат напруги в 4 рази магістралі умовно-замкнутої лінії до її характерних точок порівняно з втратами напруги в радіальній лінії до тих же точок. В польових умовах при мережному резервуванні були проведені дослідження відхилення напруги на шинах 0,4 кВ трансформаторних підстанцій (ТП) і виявлено, що відхилення напруги на шинах 0,4 кВ ближчих ТП до районної трансформаторної підстанції (РТП) в 67% досліджуваного часу виходили за допустимі діючим стандартом норми, а у ТП, найбільш віддалених від РТП, вони весь час перевищували ці норми. Були розглянуті засоби зниження відхилення напруги, підведеної до ЕТУ.

Найбільшу ефективність дає регулювання напруги на шинах (РТП) і в розподільчих лініях. Пропонується графічний метод розрахунку умовно-замкнутих ліній, в яких застосовуються регулюючі пристрої, та номограма, за допомогою якої визначаються відхилення напруги на шинах 0,4 кВ ТП.

У четвертому розділі "Розробка і дослідження пристроїв регулювання напруги під навантаженням і обґрунтування системи управління ними" теоретично доведена можливість створення безконтактного РПН 35 кВ для силових трансформаторів потужністю до 6300 кВА. Для комутації в колах відгалужень обмоток трансформаторів застосовують тиристори, з'єднані відповідно до схеми рис. 4а,б,в.

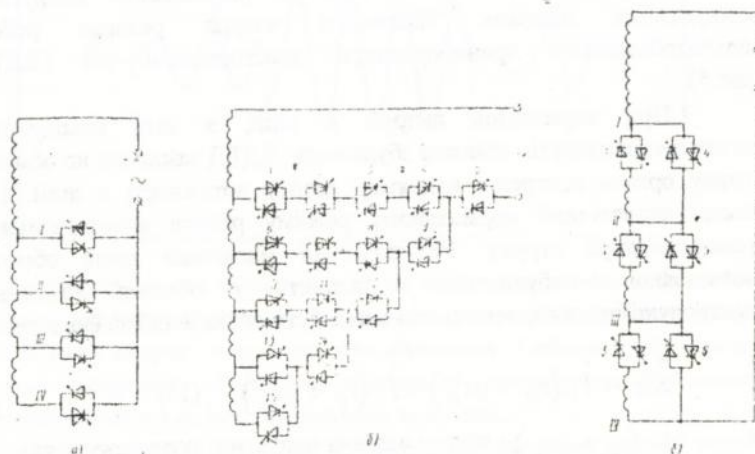


Рис. 4а,б,в Схеми тиристорних перемикачів

В сучасних трансформаторах регулювання напруги проводиться в межах 15-20% номінальної напруги. Тому при роботі регулятора на першому ступені регулювання рис.4а до однієї із ячеек тиристорів буде прикладатися сумарна напруга всіх ступенів регулювання. Висока напруга виникатиме і на тиристорах інших ступенів і буде перевищувати їх допустиме значення. Тому таку схему можна застосовувати на споживчих трансформаторах з перемиканням без збудження (БПЗ), які мають діапазон регулювання напруги $\pm 5\%$.

При використанні регуляторів на трансформаторах з первинною напругою більш ніж 10 кВ, необхідно установлювати на кожному ступені послідовні ячейки тиристорів. Загальне число ячеек тиристорів залежить від схеми їх з'єднання, його можна визначити за приблизними формулами:

$$N_a = \frac{U_n \Delta\% \cdot n}{100\% U_{p.t.}} \approx 4U_n \quad (11)$$

$$N_b = \frac{\Delta\%}{100\%} \left(\frac{U_n \Delta\% \cdot n}{100\% U_{p.t.}} + 1 \right) \approx 0,8U_n \quad (12)$$

$$N_n = 2 \left(\frac{U_n \Delta\% \cdot n}{100\% U_{p.t.}} - 1 \right) \approx 0,4U_n - 2 \quad (13)$$

де U_n - номінальна напруга обмотки трансформатора, на якій проводиться регулювання;

$\Delta\%$ - діапазон зміни напруги при регулюванні, %

n - число ступенів регулювання

$U_{p.t.}$ - допустима робоча напруга однієї ячейки тиристорів.

Розроблені і досліджені пристрої регулювання напруги в розподільчих мережах. Розглянуті чотири режими роботи вольтодобавочного трансформатора двосторонньої дії (ВДГД) (рис.5).

1. При нормальній нарузі в лінії, в якій виконуються регулювання напруги, обмотка збудження ВДГД замкнена на обмотку струму органа контролю напрямку потоку потужності в лінії. Цей режим аналогічний нормальному режиму роботи вимірювального трансформатора струму. Результуючий магнітний потік обмоток (послідовної і збудження) наводить у обмотці збудження електрорушійну силу, вектор якої може бути визначений за формулою:

$$\dot{E}_c = \dot{I}_c (r_n + jx_n) + \dot{I}_c (r_c + jx_c) \quad (14)$$

де $\dot{I}_c (r_c + jx_c)$ - вектор падіння напруги у активному r_c та індуктивному x_c опорах обмотки збудження, В;

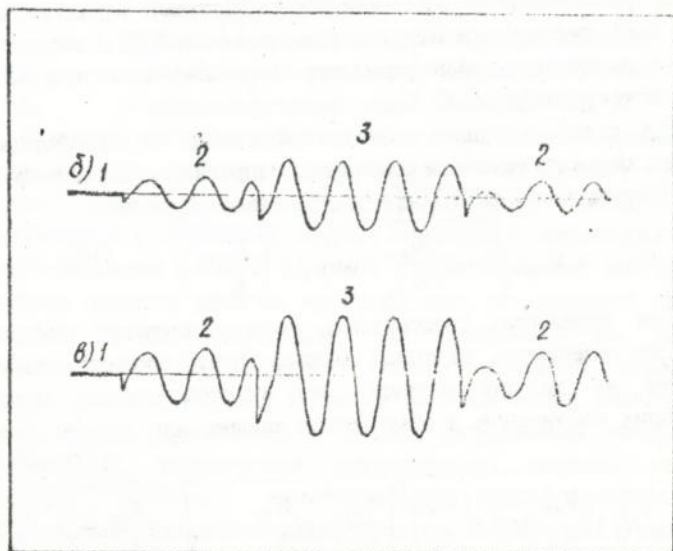
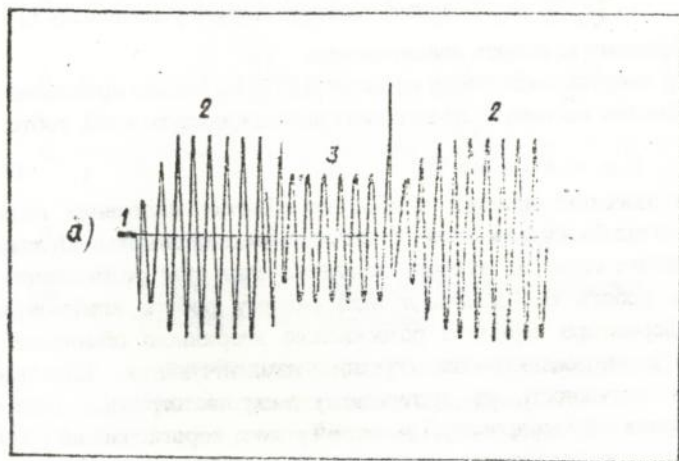


Рис.5 Осцилограми: а) зміни напруги на обмотці збудження; б) зміни напруги на обмотці збудження при паралельно приєднаному активному опорі; в) зміна струму в колі обмотки збудження. 1-обмотка збудження замкнута накоротко; 2-обмотка збудження розімкнута; 3-обмотка збудження приєднана до трансформатора живлення;

Для трансформаторів з первинною напругою 35 кВ для схеми (рис.4а) число ячеек складає 140(280 тиристорів), 4б - 28(5б), 4в - 12(24тиристора). Найбільш прийнятний варіант є за схемою 4в.

$\dot{I}_c (r_H + jx_H)$ - вектор падіння напруги у активному r_H і

індуктивному x_H опорах навантаження.

Вектор напруги послідовної обмотки ВДТД U_H більше приведеного до цієї обмотки вектора E_3 на величину падіння напруги в ній, тобто:

$$\dot{U}_H = \dot{E}_3 + \dot{I}_H Z_H \quad (15)$$

2. При зниженні напруги в лінії на обмотку збудження подається напруга від блоку живлення. За час перемикання обмотки збудження із замкненого стану на джерело живлення вона стає розімкненою. Цей режим роботи ВДТД аналогічний режиму роботи вимірювального трансформатора струму з розімкненою вторинною обмоткою. Весь струм навантаження стає струмом намагнічування. Збільшуються втрати потужності на гістерезис і вихрові струми, а відповідно нагрівання магнітопроводу. Так як цей режим короткочасний (від 0,04 до 0,08 с), нагрівання магнітопроводу не є небезпечним.

3. Одна з секцій обмотки збудження приєднується до вторинної обмотки трансформатора живлення. При відсутності навантаження в лінії, в якій регулюється напруга, режим роботи ВДТД аналогічний роботі підвищувачого трансформатора в режимі холостого ходу з коефіцієнтом трансформації $K_{ВДТ}$.

Від схеми з'єднання обмоток збудження і трансформатора живлення залежить величина добавлення напруги і кут зсуву по фазі.

Напруга на виході ВДТД визначається за формулою:

$$U_{вх} = U_{вх} \sqrt{1 + 2 \frac{K_{ВДТ}}{K_{тн}} \cos \varphi_1 + \left(\frac{K_{ВДТ}}{K_{тн}} \right)^2} \quad (16)$$

При мережному резервуванні, коли резервуюча лінія стає лінією, яку резервують, первинна обмотка трансформатора живлення ввімкнена на вихідну напругу, яка визначається за методом послідовних наближень з обмеженням рішень при першій ітерації

(17)

$$U_{вх}^1 = U_{вх} \sqrt{1 + \left[1 + 2 \frac{K_{ввт}}{K_{тн}} \cos \varphi_1 + \left(\frac{K_{ввт}}{K_{тн}} \right)^2 \right] \left(\frac{K_{ввт}}{K_{тн}} \right)^2 + 2 \frac{K_{ввт}}{K_{тн}} \cos \varphi_1 \sqrt{1 + 2 \frac{K_{ввт}}{K_{тн}} \cos \varphi_1 + \left(\frac{K_{ввт}}{K_{тн}} \right)^2}}$$

при $\varphi_1 = 0$

$$U_{вх}^1 = U_{вх} \left[1 + \left(1 + \frac{K_{ВДТ}}{K_{тн}} \right) \left(\frac{K_{ВДТ}}{K_{тн}} \right) \right] \quad (18)$$

4. Через послідовну обмотку ВДТД проходить струм навантаження лінії. Система диференціальних рівнянь електричної рівноваги трансформатора живлення і ВДТД для будь - якого моменту часу має вигляд:

$$\begin{aligned}
u_{1x} &= u_1 = r_1 i_1 + \alpha_{11} \frac{di_1}{dt} + M_{21} \frac{di_2}{dt} + L_s \frac{di_1}{dt} \\
u_2 &= u_2 = -M_{12} \frac{di_1}{dt} - r_2 i_2 - L_s \frac{di_2}{dt} - \alpha_{22} \frac{di_2}{dt} \quad (19) \\
u_3 &= r_3 i_3 + \alpha_{s3} \frac{di_3}{dt} - \alpha_{33} \frac{di_3}{dt} + M_{n3} \frac{di_n}{dt} \\
u_n &= -M_{3n} \frac{di_3}{dt} - r_n i_n - L_{1n} \frac{di_n}{dt} - L_{2n} \frac{di_n}{dt}
\end{aligned}$$

- де L_{11}, L_{22} - індуктивність первинної і вторинної обмоток трансформатора живлення;
- L_{s1}, L_{s2} - індуктивність розсіяння первинної і вторинної обмоток трансформатора живлення;
- M_{12}, M_{21} - взаємоіндуктивність між обмотками трансформатора живлення;
- u, i - миттєві значення напруги і струму обмоток;
- r - активний опір обмоток;
- L_{1n}, L_{2n} - індуктивність первинної і вторинної обмоток ВДТД; L_{3n} - індуктивність розсіяння послідовної обмотки;
- M_{3n}, M_{n3} - взаємоіндуктивність між обмотками ВДТД.

Отноюю побудови нової системи управління комутаційними пристроями, що здійснюють перемикання відгалужень обмоток силового трансформатора при регулюванні напруги під навантаженням, є герконовий модуль (геркотрон) і тиристорний ключ з самоуправлінням (ТКСУ), (рис.6). При створенні цієї системи управління виникли технічні проблеми такі, як: передача сигналів управління роботою тиристорів, що знаходяться під високим потенціалом відносно заземлених ланок управління; запобігання короткого замикання однієї із секцій високовольтної обмотки, яке виникає при її перимиканні в момент регулювання напруги під навантаженням; забезпечення синусоїдальної вихідної напруги; запобігання небезпеки намагнічування трансформаторів при можливому виникненні однонапівперіодного випрямлення струму. Для високовольтних тиристорних перемикачів (ВТП) можливе використання будь-якого з відомих засобів передачі сигналів управління, які використовуються в високовольтних тиристорних перетворювачах.

Але копіювання відомих принципів приведе до невиправданого ускладнення і збільшення вартості пристрою. Для передачі дискретних команд типу "так - ні" між різнопотенціальними ланками ВТП розроблені нові (які не мають вітчизняних та зарубіжних

аналогів) пристрої - високовольтні герконові реле, умовно названі геркотронами.

Обмотка збудження геркона приєднана за допомогою низьковольтного кабеля до блоку управління тиристорами. Відкривання тиристорів при замкнених контактах геркона проводиться імпульсами струму зміщення, що формується з їх анодної напруги на початку кожного напівперіоду напруги в мережі.

Для забезпечення синусоїдальної форми струму при роботі на активно - індуктивне навантаження кут відкривання тиристорів повинен бути близьким до критичного, тобто сигнали на керуючі електроди повинні подаватися зі зсувом по фазі, рівним фазовому куту навантаження ϕ .

В ТКСУ параметри імпульсів управління встановлюються автоматично, синхронно зі зміною струму навантаження і його характеру, що по суті є вирішенням задачі забезпечення синусоїдальності вихідної напруги.

Дослідження запропонованого методу управління, проведене на тиристорах типу ТД250 з нормованим струмом управління до 0,6 А, показали, що струм, який проходить через геркон, має характер поодиноких імпульсів трикутної форми невеликої тривалості, що виникають на початку півперіоду. Тому при розрахунку потужності геркона необхідно враховувати не нормоване значення струму управління I_y , а деякий еквівалентний струм у повторно - короткочасному режимі, величина якого може бути визначена за формулою:

$$I_{\text{ек.}} = \frac{I_y}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{1 - \exp\left[-\frac{t_H}{T}\right]}{1 - \exp\left[-\frac{t_H + t_H}{T}\right]}}, \quad (20)$$

де t_H - тривалість протікання струму, t_H - тривалість паузи між імпульсами; T - стала часу нагрівання геркона.

Управління тиристорними ключами за допомогою герконів приводить до короткого замикання однієї чи кількох ступенів обмотки силового трансформатора.

Під час комутації тиристори наступного ступеню регулювання встигають відкритися до того, як закриються тиристори попереднього ступеню. В результаті цього, протягом деякого часу $t_{\text{кз}}$, буде коротке замикання частини витків обмотки

$$t_{\text{кз}} = \frac{1}{2\pi f} - (t_1 + t_r + t_r) \quad (21)$$

де t_1 - момент передечі команди на перемикання; t_r - час спрацювання геркона; t_f - час відкриття тиристорів; f - частота струму, яка дорівнює 50 Гц.

Із-за малості значень t_f (1,0 мс) і t_r (0,0 - мс) час існування короткого замикання, в основному, залежить від моменту комутації. При надходженні команди на перемикання в початковій ділянці синусоїди (найбільш несприятливий випадок) час існування короткого замикання наближається до половини періоду, а амплітуда імпульсу струму в секції обмотки трансформатора досягає відчутної величини. Все це потрібно враховувати при виборі тиристорів. Для тиристорів, наприклад, типу ТВ800 критична швидкість (di/dt) нормується значенням 70 - 100 А/мкс. Аналіз отриманих осцилограм показує, що імпульс струму короткого замикання має значну крутизну переднього фронту, що обумовлює величину di/dt , рівну приблизно 1,4 А/мкс. Це, однак, не перевищує допустимих для тиристорів значень.

Для забезпечення нормальної роботи тиристорів необхідно або обмежувати струм короткого замикання при перемиканнях, або використовувати спеціальні пристрої. В ролі такого пристрою запропоновано спеціальний синхронізатор, який дозволяє затримати вмикання наступного ступеню до відключення, тобто до моменту проходження струму через нульове значення.

У даний час розроблені синхронізатори на базі герконових модулів.

Теоретичні дослідження роботи зустрічно - паралельно ввімкнених тиристорів з самоуправлінням показали що, струм управління до моменту відкриття тиристорів змінюється за законом:

$$i_y = \frac{U_m}{Z_y} \sin(\omega t - \varphi_y) = \frac{U_m \sin(\omega t - \varphi_y)}{\sqrt{(R_H + R + R_y)^2 + X_H^2}} \quad (22)$$

де Z_y - повний опір кола управління;

$R_H X_H$ - активна і реактивна складові повного опору навантаження;

R - опір резистора, що обмежує значення струму;

R_y - опір переходу " керуючий електрод - катод ";

φ_y - фаза струму по відношенню до прикладеної напруги.

$$\varphi_y = \arcsin \frac{X_H}{Z_y} \quad (23)$$

Відкриття тиристора відбувається тоді, коли $i_y \geq I_{yT}$ (I_y - струм управління тиристора). У технічній документації вказується граничне значення, так же, як і по струму утримання I_{yT} . Так як зовсім немає інформації про відхилення фактичних i_y і I_{yT} від їх граничних

значень, то це значить, що комплектація комутаційної апаратури тиристорами проводиться без врахування розкиду параметрів одного типу і класу напруги. Фази вмикання тиристорів мають ткий вигляд:

$$\alpha_1 = \arcsin \frac{X_H}{Z_{y1}} + \arcsin \frac{I_{y1} Z_{y1}}{U_m} \quad (24)$$

$$\alpha_2 = \arcsin \frac{X_H}{Z_{y2}} + \arcsin \frac{I_{y2} Z_{y2}}{U_m} \quad (25)$$

Закриття тиристорів відбувається в момент, коли через тиристор протікає i_y , що визначається за формулою:

$$i_y = \frac{U_m}{Z_H} \sin(\omega t - \varphi_H) \leq I_{y1} \quad (26)$$

де φ_H - фаза струму навантаження відносно прикладеної напруги (опір переходу "анод-катод" не враховується)

$$\varphi_H = \arcsin \frac{X_H}{Z_H} \quad (27)$$

В імпульсних системах управління несиметрія струмів навантаження зумовлена несиметрією кутів відкриття ($\alpha_1 \neq \alpha_2$) і кутів закриття ($\beta_1 \neq \beta_2$) із-за різниці струмів утримання.

Повністю симетрична робота тиристорів зі схемою самоуправління можлива лише при дотримуванні умови $I_{y1}=I_{y2}$; $Z_{y1}=Z_{y2}$. Вважається, що $R_y \ll R + R_n$ можна приймати як $Z_{y1}=Z_{y2}=Z_{y3}$. З урахуванням цієї обставини і нехтуючи падінням напруги на відкритому тиристорі, вважається, що в цьому випадку U_m визначається з співвідношення:

$$U_m = \sqrt{2} I_H Z_H, \quad (28)$$

де I_H - діюче значення струму навантаження, яке мало б місце при куті провідності, який дорівнює π . Тоді вираз для кутів розузгодження буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} \Delta\alpha &= \arcsin K_1 K_z - \arcsin K_2 K_z = \\ &= \arcsin \left[K_1 K_z \sqrt{1 - K_2^2 K_z^2} - K_2 K_z \sqrt{1 - K_1^2 K_z^2} \right], \quad (29) \end{aligned}$$

де
$$K_1 = \frac{I_{y1}}{\sqrt{2} I_H}; \quad K_2 = \frac{I_{y2}}{\sqrt{2} I_H}; \quad K_z = \sqrt{\frac{(R + R_H)^2 + X_H^2}{R_H^2 + X_H^2}}$$

Розклавши в біноміальний ряд і обмежившись з достатньою для практичних потреб точністю другим членом, одержимо:

$$\Delta\alpha = \arcsin K_z \frac{\Delta I_y}{\sqrt{2} I_H} \left(1 + \frac{1}{4} K_z^2 \frac{I_{y1} \cdot I_{y2}}{I_H^2} \right), \quad (30)$$

Аналіз цього виразу показує, що кут розузгодження при вмиканні тиристорів ($\Delta\alpha$) тим більший, чим менший струм навантаження, особливо тоді, коли він стає сумірним зі струмами управління.

Дуже виражена не симетрія може бути і тоді, коли опір навантаження Z_n стає сумірним зі значенням опору R , що обмежує струм в колі управління. Цей опір повинен бути значно меншим значення опору навантаження, тобто $R \ll Z_n$.

Практичну цінність має визначення діапазону струму навантаження $I_{нкр.}$ для тиристорів різних типів. Орієнтовно, значення $I_{нкр.}$ можна визначити за формулою:

$$I_{нкр.} \approx 40,3 \Delta I_y \quad (31)$$

Якщо умова $I_n > I_{нкр.}$ не виконується, асиметрія може бути такою, що двохпівперіодний режим стає однопівперіодним. Цю негативну властивість схеми з самоуправлінням при скиданні навантаження, або роботу на холостому ході, необхідно враховувати, тому що по поява постійного струму у первинній обмотці силового трансформатора веде до одностороннього підмагнічування магнітопроводу і до збільшення амплітуди змінної складової струму намагнічування.

Експериментальні дослідження показали, що при різниці в кутах меншій, ніж $0,5-1,0^\circ$, постійна складова не перевищує декількох десятих частки амплітуди струму холостого ходу і змушене намагнічування трансформатора не має помітного впливу. Однак, при збільшенні величини $\Delta\alpha$ і $\Delta\beta$ до 9° постійна стала збільшується на цілий порядок, що понижує техніко - економічні показники трансформатора.

Визначена сумісність роботи тиристорів конкретного типу з силовим трансформатором заданої потужності.

У п'ятому розділі "Розробка і дослідження нових пристроїв високопотенціальної розв'язки кола управління і захисту електроустановок" зформовані принципи створення цих пристроїв, в основу яких покладено принцип взаємодії магнітного поля обмотки збудження через шар високовольтної ізоляції на герметизований магнітокерований контакт, розташований у зоні високого потенціалу і який з'єднує собою керуючі електроди зустрічно - паралельно ввімкннутих тиристорів через обмежувальний резистор (рис 6).

На даний час створено багато видів геркотронів (рис.7). Всі вони можуть бути поділені на чотири основні типи: з аксіальним, із поздовжнім розташуванням обмоток і герконів і безобмоткові геркотрони.

Застосування геркотронів в схемах захисту і автоматизації ЕТУ привело до необхідності створення геркотронів поріг спрацювання яких регулюється (рис. 8)

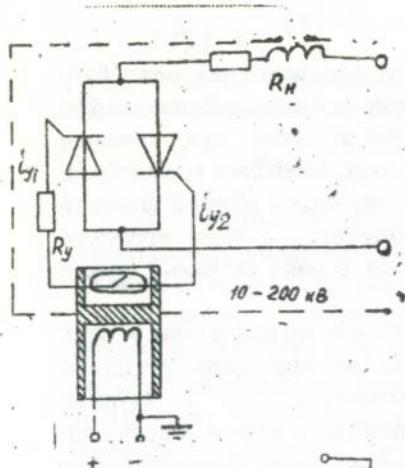
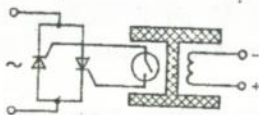
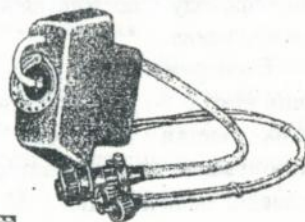


Рис. 6 Схема з'єднання геркотрона і тиристорного ключа з самоуправлінням (ТКСУ)



а



б

Рис. 7 а) електрична схема геркотрона;
б) загальний вигляд інтерфейсного реле серії "Вікінг" (геркотрона)

Прилади такої конструкції розраховані на робочу напругу до 35 кВ і номінальний струм спрацювання від 0,05 до 10А.

Розбіжність порогу спрацювання відносно зафіксованого рівня не перевищує $\pm 0,3\%$.

Певну складність при розробці подібних пристроїв створює великий розкид значень м.р.с. спрацювання герконів промислових типів.

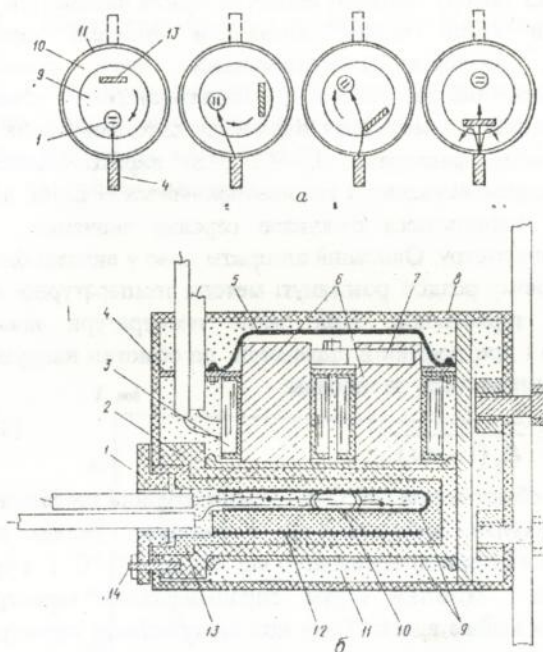


Рис.8 Геркотрон з регулюванням порогу спрацювання на робочу напругу 10-50 кВ.

а) схеми розміщення геркона; б) конструкція геркотрона: 1-лімб; 2-нерухомий ізолятор; 3-обмотка збудження; 4-переборка; 5-кришка; 6-нерухоме осердя; 7-рухоме осердя; 8-корпус; 9-електростатичний екран; 10-геркон; 11-коппаунд; 12-феромагнітний шунт; 13-рухомий ізолятор; 14-гвинт фіксатор.

У даному розділі дається методика ймовірної оцінки параметрів спрацьовування геркотронів. В ролі початкових даних був запропонований варіаційний ряд вимірних м.р.с. спрацьовування герконів типу МКС-2/103Б. При перевірці гіпотези про нормальний закон розподілення значень м.р.с. спрацьовування застосовувався пристрій згоди Шапіро - Уїлкса.

Результати розрахунку підтверджують відповідність розподілу нормального закону.

На стабільність рівня порогу спрацьовування геркотронів впливає не лише розкид м.р.с. спрацьовування геркотронів ΔF_r , але й величина просторового зміщення герконів ΔS .

Для визначення, яким чином впливають відхилення збурюючих факторів на середній рівень відхилення порогу спрацьовування, було використано статичне моделювання - метод Монте-Карло.

Згідно методу ймовірну оцінку вихідних параметрів геркотронів здійснювали таким чином: визначали ймовірні характеристики збурюючих факторів (ідентифікувався закон розподілення і враховувались оцінки числових характеристик); установлювався функціональний взаємозв'язок параметру спрацьовування геркотрона зі збурюючими факторами: $I_{\Gamma} = f(\Delta F_{\Gamma}, \Delta S)$ вираховувалося значення параметру спрацьовування, і так повторювалося N разів, після чого за формулами оцінювалося очікуване середнє значення відхилення вихідного параметру. Описаний алгоритм дано у вигляді блок-схеми.

У даному розділі розглянуті методи температурної компенсації параметрів геркотронів. При зміні температури навколишнього середовища і при постійній підведеній до обмотки напрузі, струм у її колі буде змінюватися за законом:

$$I = \frac{U}{R_0(1 + \alpha t)}, \quad (32)$$

де R_0 - опір обмотки при $t=0^{\circ}\text{C}$; α - температурний коефіцієнт опору.

Розрахунки показують, що в реальних умовах експлуатації геркотронів в інтервалі температур від -50 до $+70^{\circ}\text{C}$ і з урахуванням температури обмотки струм спрацьовування геркотрона може змінюватися майже вдвічі. Тому при використанні геркотронів у ролі струмових реле в системах захисту необхідні штучні прийоми, компенсуючі вплив температури.

Так як феритові елементи є складовими частинами герконових реле, то це привело до необхідності виявити електричні властивості їх в умовах електричного поля.

Випробувальна установка являє собою високовольтний вимірювальний трансформатор типу НОМ-10. Обмотка низької напруги вмикалася на вихід автотрансформатора типу ЛАТР-1. Дослідження проводилися з феритом марки М600 НН розмірами $95 \times 20 \times 3$ мм. Струм через ферит не перевищував десятків мікроампер, поки не було досягнуто напруги лавиноутворення. Після цього струм через ферит лавиноподібно зростав в декілька разів. На рис.9 наведена вольтамперна характеристика. Виявлені властивості феритів мають практичне значення для створення нових керуючих пристроїв.

У даному розділі пропонується методика розрахунку надійності геркотронів і системи управління.

Ймовірність безвідмовної роботи системи, як відомо, визначається виразом:

$$P_{(t)} = \prod_{i=1}^N P_{i(t)} = \prod_{i=1}^N \exp(1 - \lambda_i t), \quad (33)$$

де $\lambda_i = \lambda_{oi} \cdot K_{ci} \cdot K_{in}$;

λ_{oi} - нормоване значення інтенсивності відмови i -того елемента;

K_{ci} - коефіцієнт, враховуючий вплив навколишнього середовища (для закритих приміщень $K_c = 1$);

K_{ni} - коефіцієнт навантаження;

t - час роботи елементів.

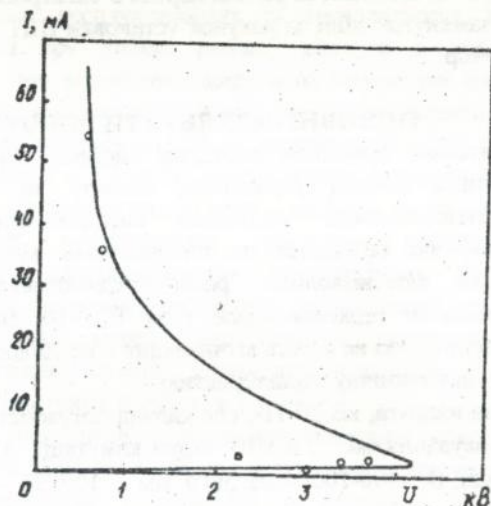


Рис. 9 Вольтамперна характеристика феріта марки М600НН.

Розглянуто підвищення надійності геркотрона за рахунок резервування геркона і обмотки збудження.

У шостому розділі "Економічна ефективність розроблених пристроїв" дається оцінка і порівняння методів регулювання напруги в колі обмотки 35 кВ силового трансформатора. Застосування тиристорного регулятора напруги вимагає враховувати новий показник - збитки від несінусоїдальності напруги. Збитки при плавному регулюванні напруги обумовлені додатковими втратами потужності і прискореним старінням ізоляції визначається як:

$$Y_{\Sigma} = Y_{rп} + Y_{тп} + Y_{дв} + Y_{каб} + Y_{б.ж.}, \quad (34)$$

де $U_{ртк}$, $U_{тв}$, $U_{лв}$, $U_{каб}$, $U_{б.к}$ - збитки відповідно для трансформаторів РТП і ТП, двигунів, кабелів, батарей конденсаторів.

Кожна з складових може бути представлена у вигляді

$$U_i = K_c \lambda, \quad (35)$$

де K_c - коефіцієнт вартості відповідного виду електрообладнання;

$$\lambda = \sum_2^{13} \frac{U_n^2}{n\sqrt{n}} - \text{гармонічний коефіцієнт шкоди.} \quad (36)$$

Результати розрахунків збитків від застосування плавнорегульованого РПН на стороні 35 кВ силового трансформатора показали, що перевагу має дискретний метод регулювання.

Середня економія за рік від передачі електроенергії споживачам умовно - замкнутої лінії за рахунок установки ВДТ складає 4134 крб. в цінах 1990р.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ.

1. Обґрунтовані принципи побудови системи передачі одиночних дискретних команд управління, захисту та сигналізації між різнопотенціальними частинами високовольтних електричних апаратів, які базуються на використанні вузлів потенціальної розв'язки, що дозволило розробити, виготовити і випробувати високовольтні герконові реле типу ВГР-10, ВГР-35, ВГР-110 (геркотрони), які не мають вітчизняних і зарубіжних аналогів. Вони мають таку технічну характеристику:
- робоча напруга, кВ...6-11-; споживана потужність, Вт...0,2-10; час спрацювання, мС ... 0,3-10; струм комутації, А... до 0,5; напруга комутації, В ...100-1000; габарити, мм ... 100×30 - 600×80; маса, кг ... 0,5...5,0.
2. Обґрунтовані принципи побудови нової системи управління комутуючими пристроями, в основу якої покладені тиристорний ключ з самоуправлінням (ТКСУ) і герконовий модуль (геркотрон), які дозволяють керувати комутацією в колах до 150 кВ.
3. Експериментально виявлено невідомі раніше властивості феритів - лавиноподібне підвищення провідності під дією електричного поля і відновлення діелектричних властивостей після зникнення поля, які базуються на фізичних процесах в р - п переходах, що відкриває можливість створювати високовольтні пристрої для керування одночасно електричними і магнітними полями.
4. Для характеристики ЕТУ запропоновано коефіцієнт структури електричного навантаження, що змінюється в межах від 0 до 1, в основу визначення якого покладено символічний метод розрахунку кіл синусоїдального струму, який дозволяє класифікувати

- навантаження ЕТУ з метою систематизації і прискорення процесу визначення їх енергетичних показників.
5. Теоретично встановлена і експериментально підтверджена залежність споживаного струму ЕТУ у функції відхилення напруги, в основу якої покладені режими роботи асинхронних двигунів, джерел теплової і променевої енергії при зміні напруги, що підвищує точність визначення режиму напруги у лінії живлення при мережному резервуванні.
 6. Обґрунтовано метод визначення економічних збитків, які завдаються сільськогосподарському виробництву роботою ЕТУ при відхиленнях напруги, в основу якого покладено комплексний підхід, який полягає в єдності диференційованих показників (енергетичних, експлуатаційних та технологічних), вага яких враховується при виборі режиму напруги в лінії живлення. Наприклад, при відхиленні напруги на затискачах електродвигуна занурюваного відцентрового насосу на 20% - втрати потужності в двигуні збільшуються в 1,15, в розподільчій лінії в 1,45, строк служби ізоляції в 2,7 разів, питомі втрати електроенергії на 0,094 кВт.г./м³ і зменшення подачі води - на 5,4%, тиску - на 10,5%.
 7. Обґрунтовані методологічні принципи побудови системи забезпечення електроживлення технологічних установок, які базуються на приведенні до вигляду організованої автоматизованої умовно-замкнутої мережі, яка дозволяє скоротити перерви в електропостачанні на 80%, однак, втрати напруги до віддаленого споживача зростають більш ніж у 4 рази.
 8. Теоретично обґрунтовані принципи побудови нової конструкції тиристорного РПН на 35кВ, які базуються на допустимій робочій напрузі тиристорів і діапазоні регулювання і забезпечують ймовірність безвідмовної роботи РПН через 10⁴ годин - 0,9903. Теоретично обґрунтовано засіб підвищення комутаційної зносостійкості силових тиристорів, оснований на зменшенні діапазону зміни температури вентиляного елемента за кожним циклом. Це дає можливість збільшити число циклів з 3·10³ до 3·10⁵, а строк служби тиристора до 10 років.
 9. Теоретично визначена система рівнянь режимів роботи ВДТД, яка базується на законах Кірхгофа, дає можливість виявити залежність напруги під час розмикання кола обмотки збудження в функції струму навантаження лінії, експериментально в умовах Веселівського РЕМ, підтверджена працездатність ВДТД. При ступені регулювання 5%, одержана добавка напруги в кінці умовно - замкнутої лінії 7-8%.
 10. Розроблено і досліджено метод вимірювання статичних струмів управління силових тиристорів та методу визначення їх

статичних характеристик, що дозволяє оперативно зробити масові вимірювання і скласти каталог ймовірносних характеристик статичних струмів управління тиристорами, які випускає промисловість.

11. Проведене техніко - економічне порівняння плавнорегулюючого і дискретного РПН на стороні 35 кВ силового трансформатора ТМН-6300/35 дозволило установити, що сумарний річний економічний ефект від заміни одного плавнорегулюючого РПН дискретним може досягнути 1874, 1 крб. (в цінах 1990р.)
12. Ефективність розробленої системи забезпечення енергозберігаючими режимами електроживлення сільських технологічних установок і технічних засобів регулювання напруги підтверджена результатами експлуатації в умовах виробництва в сільських електричних мережах Харківського, Донецького, Миколаївського обласних підприємств електричних мереж, в колгоспах, радгоспах Харківської, Сумської, Воронежської, Дніпропетровської областей. Сумарний економічний ефект від впровадження названих систем і пристроїв за період з 1980-1990 року склав 532300 крб.

Основні положення дисертації висвітлено в роботах:

1. Гуревич В.И., Савченко П.И. Повышение надежности работы люминесцентных ламп при низкой температуре окружающей среды. // Светотехника, 1979, №6, с.8-9
2. А.С.649181 (СССР). Осветительное устройство /Савченко П.И., Гуревич В.И. - Опубл. в Б.И., 1979, №7.
3. 832790 (СССР). Пускорегулирующее устройство для зажигания люминесцентных ламп /Савченко П.И., Гуревич В.И. - Опубл. в Б.И., 1981, №19.
4. А.С.1798934 (СССР). Стационарная установка для ультрафиолетового облучения /Земляной И.Н., Савченко П.И. и др. - Опубл. в Б.И., 1993, №8.
5. Савченко П.И., Земляной И.Н., Шаповал В.И. /Подвижная облучательная. //Сельский механизатор, М.: 1994, №11. с.25-26.
6. Земляний І.М., Савченко П.І., Шудрик М.П. //Використання рефлексів тварин для автоматичного керування температурою обігріву молодняка. //Проблеми енергосбереження, К.: 1995, №4-5
7. Савченко П.И. Повышение качества напряжения на зажимах автоматизированного электропривода агропромышленных комплексов. //Киев, УСХА, 1988. 32с.
8. Савченко П.И. Вероятностно - статистический анализ режима напряжений в сельских условно - замкнутых сетях 10 кВ.

- //Электрификация сельскохозяйственного производства. Межвузов сб. научн. тр. М.: 1972, Т9, вып.3,ч.2. с.11-16.
9. Савченко П.И. О необходимости регулирования напряжения в сельских распределительных сетях при сетевом резервировании //Электрификация сельскохозяйственного производства. Сб. научн. тр. ХИМЭСХ, Харьков: 1972, вып. 21, с.160-162.
 10. Имшенецкий В.Н., Савченко П.И., Гончар М.И. и др. Секционирование сельских условно - замкнутых сетей. //Техника в сельском хозяйстве, 1973, №2. с.38-40
 11. Савченко П.И. Определение отклонения напряжения в распределительных сетях по номограмме. //Электрификация сельскохозяйственного производства. Сб. научн. тр. ХИМЭСХ, Харьков: 1972, вып.21. с.36-42.
 12. Савченко П.И. Графоаналитический метод анализа режимов напряжений в условно - замкнутых сетях с учетом регулирующих устройств. //Электрификация сельскохозяйственного производства. Межвуз. сб. научн. трудов МИИСП и ХИМЭСХ, вып.3, ч.2, т.10, М.: 1973. с.8-16
 13. Имшенецкий В.Н., Савченко П.И., Гончар М.И. Вопросы секционирования и автоматизации сельских условно - замкнутых сетей 6-10 кВ. //Электрификация сельскохозяйственного производства. Межвуз. сб. научн. трудов МИИСП и ХИМЭСХ .М.: 1975, вып.3, ч.2. т.12. с.11-18
 14. А.С. 538301 (СССР). Устройство для учета электрической энергии в трехфазных условно - замкнутых сетях. /Савченко П.И., Стрижак В.Д., - Оpubл. в Б.И., 1976. №45.
 15. Гуревич В.И., Савченко П.И., К вопросу о коммутационной износостойкости тиристорных устройств РПН. //Автоматизация и повышение качества электроснабжения животноводческих и птицеводческих комплексов. Сб. научн. тр. ХИМЭСХ. М.: 1981, с.21-25
 16. А.С. 832607 (СССР). Способ охлаждения электрического аппарата. /Савченко П.И., Гуревич В.И. - Оpubл. в Б.И. 1981, №19.
 17. А.С. 1054804 (СССР). Указатель короткого замыкания. /Гуревич В.И., Савченко П.И. и др. - Оpubл. в Б.И. 1983, №42.
 18. Бережнюк И.Г., Гуревич В.И., Саченко П.И. Пусковой орган устройства АВР на геркотронах. //Энергетик, 1988, №12, с.29-31
 19. Савченко П.И. Стрижак В.А. Учет электроэнергии в сельских условно - замкнутых сетях. //Энергетика и электрификация. Экспресс - информация вып. 9 /176 .М.: 1979
 20. Савченко П.И. Стрижак В.А. Особенности учета электрической энергии в замкнутых сетях..

21. А.С. 1580489 (СССР). Устройство АПВ с контролем уровня изоляции в бестоковую паузу. /Бережнюк И.Г., Гуревич В.И., Савченко П.И. - Оpubл. в Б.И.
22. А.С. 1580490 (СССР). Пусковой орган минимального напряжения. /Бережнюк И.Г., Гуревич В.И., Савченко П.И. - Оpubл. в Б.И.
23. Бережнюк И.Г., Гуревич В.И., Савченко П.И. Устройство АПВ для сетей 6-10 кВ на базе геркотронов. //Техника в сельском хозяйстве, 1990, №2, с.34-35
24. Гуревич В.И., Савченко П.И. Применение геркотронов в автоматике отделения подстанций от питающего источника. // Энергетик, 1985, №8, с.27-28
25. Савченко П.И. Проблема оптимизации режима напряжений в сельских электрических сетях с меняющимся направлением потока мощности в магистралях распределительных линий. //Повышение надежности электроустановок животноводческих комплексов. Сб. научн. трудов. ХИМЭСХ, Киев, 1993. с.48-51
26. Савченко П.И. Расчет низковольтных сетей по допустимым отклонениям напряжения. //Электрификация сельскохозяйственного производства. Сб. научн. трудов ХИМЭСХ Вып.16, Харьков, 1971. с.346-349
27. Савченко П.И., Гуревич В.И. Применение автотрансформаторов типа ЛТМ в электрических сетях с меняющимся направлением потока мощности. //Электрические станции, 1978, №12. с.76
28. А.С. 443440 (СССР). Устройство для автоматического регулирования напряжения в распределительных сетях. /Имшенецкий В.Н., Савченко П.И., Гончар М.И. Оpubл. в Б.И. 1974, №34.
29. Савченко П.И. Схема автоматического управления вольтодобавочным трансформатором двустороннего действия. /Электрификация сельскохозяйственного производства. Сб. науч. тр. ХИМЭСХ, М.: 1974. с.61-67.
30. Савченко П.И., Гуревич В.И. Применение тиристоров для коммутации ответвлений силовых трансформаторов. /Электротехническая промышленность. Сер. "Преобразовательная техника". 1979, вып.2 9109). с.22-25.
31. Савченко П.И., Гуревич В.И., Таранишин С.И. Исследование тиристорных регуляторов напряжения /Электрооборудование сельскохозяйственных комплексов. Сб. науч. тр.ХИМЭСХ М.: 1979. с.98-108
32. Савченко П.И., Гуревич В.И. Тиристорный стабилизатор напряжения. /Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1980. №2. с.57-58

33. Савченко П.И., Гуревич В.И., Балахонов А.М. Управление тиристорами переключателя ответвлений силового трансформатора. //Электротехника, 1980. №7, с.28-31
34. Гуревич В.И., Попатаев А.И., Савченко П.И. Исследование работы встречно-параллельно включенных тиристорov с самоуправлением. //Техническая электродинамика. 1982, №1 с.29-34
35. Савченко П.И., Гуревич В.И. Регулирование напряжения устройствами РПН. //Известия вузов СССР. "Энергетика", 1985, №5 с.30-34
36. Гуревич В.И., Савченко П.И. К вопросу о применении тиристорного ключа с самоуправлением в качестве коммутирующего элемента статического устройства РПН. //Автоматизация и повышение качества электроснабжения животноводческих и птицеводческих комплексов. Сб. научн. трудов ХИМЭСХ, М.: 1984, с.29-33
37. А.С. 650056 (СССР). Устройство для регулирования трехфазного переменного напряжения. /Савченко П.И., Гуревич В.И. Оpubл. в Б.И. 1979, №8
38. Гуревич В.И., Савченко П.И. Надежность геркотронов и системы управления на их основе /Совершенствование электрооборудования сельскохозяйственных предприятий и аграрных комплексов. Сб. научн. тр. ХИМЭСХ, М.: 1982, с.78-89
39. А.С. 758462 (СССР). Устройство для управления тиристорами с антипараллельным включением высоковольтного переключателя. /Савченко П.И., Гуревич В.И. - Оpubл. в Б.И. 1980, Бюл.31
40. А.С. 85.59.21. (СССР). Устройство для управления двумя парами встречно-параллельно включенных вентилей высоковольтного переключателя. /Гуревич В.И., Савченко П.И., Балахонов А.М.
41. А.С. 947772 (СССР). Устройство для измерения тока отпирания тиристорov. /Гуревич В.И., Савченко П.И., Жуковский Ю.В. - опубл. в Б.И. 1982, 328
42. Савченко П.И., Гуревич В.И. Геркотроны - новые устройства дистанционного управления высокопотенциальными цепями. //Электронная техника. Серия 4. "Электрoвакуумные и газоразрядные приборы." вып.4 (103). М.: - 1985, с.57-59
43. Гуревич В.И., Покатаев А.И., Савченко П.И. Лавинный эффект в ферритах. //Электронная техника. Сер.6. "Материалы". Вып.9 (158), 1981, с.18-20
44. Гуревич В.И., Кривцов В.В., Савченко П.И. Методы коррекции параметров геркотронов. - //Электронная техника. Серия4. "Электрoвакуумные и газоразрядные приборы". Вып.3 (22), 1988
45. Гуревич В.И., Кривцов В.В., Савченко П.И. Интерфейсные реле. //Электротехника, 1990. №6. с.71-75

П.И.Савченко. Методы и технические средства обеспечения энергосберегающих режимов электропитания сельских технологических установок.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям 05.20.02 - применение электротехнологий в сельскохозяйственном производстве, 05.09.03 - электротехнические комплексы и системы, включая их управление и регулирование, национальный аграрный университет, Киев, 1997 защищается 125 научных работ, в том числе 40 авторских свидетельств, которые содержат теоретические и экспериментальные результаты исследований влияния отклонений напряжения на эффективность функционирования технологических процессов сельскохозяйственного производства. Разработаны методы и технические средства обеспечения надежности электроснабжения качественной электрической энергией сельские технологические установки.

Ключові слова: електрифіковані технологічні установки та технологічні процеси, відхилення напруги, мережне резервування, герконові реле, тиристоры, геркотрони.

ANNOTATION

P.I. Savchenko. Methods and technical supply means of energy - conserving regimes of electric feeding of rural technologic setting

This is for a degree of the Doctor of Technical Sciens on the speciality 05. 20. 02. - application of electric technologies in agriculture and on the speciality 05.09.03. - electric and technical complexes and systems with their adjustment and management. National Agricultural University, Kyev, 1997.

125 scientific works, including 40 author's certificates, which contain theoretical and experemental results of investigation of the influence of voltage deviation upon the efficiency of functioning of technologic processes of rural production, are defended.

The methods and technical means of providing of safety of electric supply with energy of high quality to rural technologic setting were developed.

Key words: electric feeding, technologic setting, investigation, influence, voltage deviation, functioning, production, technical means, provide, safety, regimens.

Надруковано у навчально-методичному центрі по заочній формі навчання у закладах освіти 3-4 рівнів акредитації і аграрного профілю.

Формат паперу 60x84 1/16 Обл. - вид. ар. 2

Титаж 150

Ризограф TR 1510 N 80654645

Адреса: 310002, м.Харків-2, вул.Артема,44.

AE 37.458

AB 37.458

1951
1952
1953

1. The first section of the report deals with the general situation of the country in 1951. It mentions the political and economic changes that have taken place since the end of the war.

2. The second section describes the economic development of the country in 1951. It mentions the growth of the industrial sector and the agricultural sector. It also mentions the role of the government in the economy.

3. The third section discusses the social and cultural changes in the country. It mentions the role of the state in social and cultural life.

4. The fourth section discusses the foreign relations of the country. It mentions the country's position in the international community.

5. The fifth section discusses the role of the state in the economy. It mentions the nationalization of the economy and the role of the state in the distribution of resources.

6. The sixth section discusses the role of the state in social and cultural life. It mentions the state's role in the development of education and culture.

7. The seventh section discusses the role of the state in foreign relations. It mentions the state's role in the development of international relations.

8. The eighth section discusses the role of the state in the economy. It mentions the state's role in the development of the economy.