

ДОНЕЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

НІКІФОРОВ АНДРІЙ ПЕТРОВИЧ

УДК 621.316.761:621.316.1:621.315.2.004.1

**ВДОСКОНАЛЕННЯ АВТОКОМПЕНСАТОРІВ  
В МЕРЕЖАХ ІЗ РЕЗОНАНСНИМ  
ЗАЗЕМЛЕННЯМ НЕЙТРАЛІ**

Спеціальність 05.09.03 - "Електротехнічні комплекси  
і системи"

**А в т о р е ф е р а т**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Донецьк - 1997 р.

Дисертацією є рукопис.  
Робота виконана у Донецькому державному  
технічному університеті, Міністерство освіти України

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор  
**Обабков Володимир Костянтинович,**  
впроваджуюча фірма "Наука, техніка, бізнес в енергетиці"  
(НТБЕ ЛТД), головний фахівець по уаркобудуванню.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор  
**Рогозін Георгій Григорьович,**  
Донецький державний технічний університет,  
кафедра "Електричні системи", професор;

кандидат технічних наук  
**Товстік Юрій Васильович,**  
Макіївський науково-дослідницький інститут, завідує  
лабораторією "Електробезпека гірничо-шахного обладнання"

Провідна установа:

**Приазовський державний технічний університет,**  
Міністерство освіти України, м. Маріуполь.

Захист дисертації відбудеться

**15 січня 1998 р. о 13<sup>00</sup> годині**  
на засіданні спеціалізованої вченої ради **K41.052.02** у  
Донецькому державному технічному університеті за адресою:  
**Україна, 340000, м. Донецьк, вул. Артема 58, ауд. 1201.**

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці

Донецького державного технічного університету за адресою:  
Україна, 340000, м. Донецьк, вул. Артема 58, 2 учбовий корпус.

Автореферат розісланий "12" грудня 1997 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,  
канд. техн. наук, доцент

*А.М. Ларін*

Ларін А.М.

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00742644 (R)

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### Актуальність роботи.

Автоматизація резонансної настройки контура нульової послідовності мережі (КНПМ) базується на різнорідних засобах і приладах, що приймаються в якості рівноєфективних, хоча вони мають різноманітні якісні показники у відношенні як точнісних, так і динамічних характеристик.

Переважну популярність набула фазова автопідстройка частоти (ФАПЧ) вільних коливань КНПМ. За сорок років розвитку цього напрямку в системах електропостачання створено декілька їх різновидів, таких як РАНК (ІЕД НАН України), БАНК (Біленергоналадка), РНДК (СКТБ Мосенерго), РАНК-Ф (ДПІ), БАРК (ЧПІ) і УАРК.1А (ІПММ НАН України), УАРК.101М (НТБЕ, Єкатеринбург). Тому виникає проблема уніфікації існуючих засобів і пристроїв ФАПЧ з метою їх ефективного застосування на практиці.

Аналіз і синтез подібних систем достатньо важкий тому, що вони є істотно нелінійними системами з імпульсивністю діючих в них управлень і труднощами гальмування асинхронного приводу дугогасного реактора (ДГР) в заданій зоні резонансу КНПМ. Відсутність достатньо повного теоретичного дослідження управлень у безпошукових системах ФАПЧ не дозволяла знайти необхідних алгоритмів і апаратури для серійного виробництва автокомпенсаторів подібного типу. Питання точності настройки резонансу системою ФАПЧ залишаються поки слабо дослідженою галуззю.

Актуальність тематики зростає, зважаючи на відсутність досконалих методів контролю виходу перелічених систем ФАПЧ в зону резонансу.

В роботі вперше ставиться і вирішується питання синтезу зазначених систем по точності, асимптотичній стійкості та швидкодії.

**Мета роботи.** Вдосконалення автокомпенсаторів на базі уніфікації пристроїв автоматичного керування процесами компенсації ємнісних струмів в кабельних системах електропостачання і засобів забезпечення вказаних пристроїв інформаційними координатами.

**Ідея роботи** базується на: а) відрізненні між точністю роботи (помилкою слідкування) істотно нелінійної системи і технологічною точністю компенсації ємнісного струму мережі, яка носить назву - степінь розстройки; б) організації штучно відтворених фазових зміщень для опрацювання алгоритму самоконтролю справності основного функціонального блоку (ОФБ) пристрою і всієї системи ФАПЧ в цілому.

**Головні завдання досліджень:** а) проаналізувати сучасний стан у галузі систем ФАПЧ з точок зору їх ефективного застосування в мережах 6-35 кВ; б) дослідити якісні і кількісні характеристики сигналів управління; в) оцінити вплив засобів штучної несиметрії мережі та інфор-

ЛНЗ ім. В. Стефаніки  
АН України

маційних сигналів КНПМ на динаміку і статику процесів автокомпенсації; г) дослідити питання асимптовичної стійкості і якісні показники перехідних процесів в істотно нелінійних системах ФАПЧ; д) розробити і реалізувати засоби самоконтролю неущожденості основного функціонального блоку і всієї системи в цілому.

**Наукова новизна дисертаційної роботи полягає** - в одноманітному принципі моделювання електричних, електромеханічних і слабкострумних електронних (первинних і повторних) процесів в мережі з резонансним заземленням нейтралі при дослідженні систем ФАПЧ; - в послідовному застосуванні засобів теорії автоматичного управління до систем електропостачання; - в обліку всього комплексу параметричних і координатних впливів на процес одержання управлінь в системах, що розглядаються.

**Наукові положення і результати, що виносяться на захист та персональний внесок автора в їх опрацюванні. Основні положення.**

1. Вперше розкрита особливість співвідношення технологічної точності (степеня розстройки) АСК з ємнісною провідністю або ємнісним струмом у типових резонансних об'єктах, що дозволило встановити неперервність технологічної точності в системі ФАПЧ з постійною помилкою слідування.

2. Подане нове рішення завдання про граничну точність резонансної настройки відомих АСК при всіляких поєднаннях параметрів ізоляції мережі і різноманітних засобах штучного зміщення нейтралі, що дозволило обґрунтувати вибір уніфікованої структури ФАПЧ, уніфікованих засобів її забезпечення інформаційними координатами, а також методик настройки типових структур ФАПЧ.

3. Представлено теоретичне обґрунтування неможливості побудови високоякісної системи ФАПЧ з оптимальним чи близьким до оптимального рухом до точки резонансу без від'ємного зворотнього зв'язку по швидкості приводу ДГР, що забезпечує умови для синтезу високоточних, стійких і швидкодійних АСК.

4. Вперше сформульовані основні принципи організації штучно створених фазових зміщень для функціонального діагностування замкненої АСК, включаючи елементи КНМП, що дозволяє оцінювати працездатність кабельних систем електропостачання та запобігати розвитку несправностей в понадскладні види пошкоджень.

**Основні результати.** 1. Запропонована структура ФАПЧ з ШІМ-фазовим детектором в якості уніфікованої структури.

2. Для кожної структури ФАПЧ аналітичним шляхом одержана керуюча характеристика як функція декілька змінних, до числа яких відносяться: розстройка резонансного контура, сумарна ємність мережі, тангенс кута

втрат ізоляції, величина фазної ЕРС, величина сумарного (штучного і природного) струму несиметрії мережі, промислова частота мережі.

3. Запропонована уніфікована структура ФАПЧ з монотонною керуючою функцією однієї змінної - розстройкою резонансного контура.

4. Синтезовано та реалізовано оптимальне по швидкодії управління плунжером ДГР в заданій зоні резонансу КНПМ, яке пропонується використати в уніфікованій системі автокомпенсації з плунжерним ДГР.

5. Розроблений і реалізований новий засіб самоконтролю працездатності ОФБ і системи автокомпенсації в цілому: в  $m$ -хвилинному циклі ( $m=12$ ) оцінюється робота ОФБ, в добовому циклі - робота всієї системи.

**Засоби досліджень.** Як базові в наданій роботі прийняті засоби: а) структурно-операторного моделювання процесів в електричних колах; б) суперрядів Фур'є; в) розділення рухів по частотах; г) фазової площини. Поєднання зазначених засобів є адекватним засобом рішення при досягненні поставленої мети.

**Достовірність і обґрунтованість результатів роботи.** Вірогідність одержаних результатів базується на детальному математичному моделюванні алгоритмів і вузлів електроніки, а також коректним вастосуванням засобів аналізу і синтезу високоякісних систем ФАПЧ при дослідженні поведіння окремих підсистем і систем автокомпенсації в цілому.

**Теоретична цінність і новизна** полягає в: а) математичному моделюванні структур ФАПЧ відомих фазових автокомпенсаторів; б) теоретичному обґрунтуванні їх ефективності і сфери вживання; в) обґрунтуванні функціональної структури і електричної схеми автокомпенсаторів, закладених в пристрої типу УАРК.1А, УАРК.101, УАРК.101М, УАРК.101С.

**Практичне значення і новизна складається в розробці:** а) уніфікованих алгоритму і системи автокомпенсації ємнісних струмів із самоконтролем; б) методики настройки існуючих автокомпенсаторів за точністю; в) методики динамічної настройки уніфікованої ФАПЧ високої точності; г) в опрацюванні електричної, функціональної і структурної схем блоку самоконтролю в дискретній і цифровій формах реалізації.

**Рівень реалізації, впровадження наукових розробок.**

Результати роботи використані в науково-дослідницькій роботі кафедри "Електричні станції", "Електричні мережі і системи"; в навчальному процесі, зокрема, в курсових, дипломних проектах і студентських науково-дослідницьких роботах енергетичного факультету і кафедри "Автоматика і телемеханіка" факультету АСУ ДонДТУ, а також при виготовленні апаратури автокомпенсаторів. Досвідчено-промисловий зразок автокомпенсатора УАРК.101С з блоком самоконтролю встановлений в дослідну експлуатацію на підстанції "Миська" в Свердловських міських мережах Свердло-

венерго. Технічна документація на УАРК.101С передана ТОО НТБЕ ЛТД для серійного виготовлення, що підтверджено відповідними актами.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення дисертаційної роботи були оприлюднені на науково-технічних семінарах: "Однофазні замикання на землю в мережах 6-35 кВ різноманітного призначення" (1995), "Перспективні технічні засоби забезпечення експлуатаційної надійності енергосистем" (1996) в ІПММ НАН України, м. Донецьк; "Сучасні технічні засоби забезпечення експлуатаційної надійності і довговічності ізоляції електрообладнання в мережах 6-35 кВ", ТОО НТБЕ ЛТД, м. Єкатеринбург (1997); "Нові розробки засобів автоматичного регулювання, обробки інформації і пристроїв РЗіА в комплексі з первинним устаткуванням", м. Єкатеринбург (1997); на розширеному засіданні кафедри "Електричні станції" ДонДТУ (1996).

**Публікації.** По матеріалах дисертації опубліковані 6 друкованих робіт, із них 2 роботи опубліковані в науково-технічних журналах, 2 роботи депоновані і 2 опубліковані в збірках наукових праць ДонДТУ.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів і висновків, висловлених на 150 сторінках машинописного тексту, ілюстрованого 35 аркушами графічного матеріалу. Робота містить перелік умовних скорочень, 4 таблиці, перелік використаних джерел із 75 назв, 9 додатків.

#### ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтована актуальність роботи, сформульовані ціль і завдання досліджень і розробок. Подана загальна характеристика роботи.

**У першому розділі** дається аналіз сучасного стану засобів заземлення нейтралі, засобів резонансного заземлення і математичного моделювання процесів в мережі із плунжерним ДГР.

Найбільш повні теоретичні дослідження по цій проблематиці виконали вітчизняні і зарубіжні вчені: Беляков Н. Н., Вільгейм Р., Жежеленко І. В., Кадомська К. П., Костенко М. В., Лихачов Ф. А., Обабков В. К., Петров О. А., Петерсен В., Петерс Т. Є., Слепян Ж., Трухан А. П., Уотерс М., Целуєвський Ю. Н. та ін.

Із аналізу теоретичних підходів до проблеми автокомпенсації виходить, що будь-яку АСК можна інтерпретувати у вигляді деякої нелінійної і нестационарної слідкової системи із ємнісною провідністю  $X_C = \omega C$  у вигляді входу і індуктивною провідністю  $X_L = (\omega L)^{-1}$  у вигляді її виходу (рис. 1). Ємнісна провідність  $\omega C$  відрізняється від реальної на величину  $\omega C^0$ , яка дорівнює початковій індуктивній провідності  $(\omega L_0)^{-1}$  ДГР.

Користь наведеної блокової структури для подальшого розгляду полягає в тому, що вона розділена на три частини 1-3, кожна із яких ха-

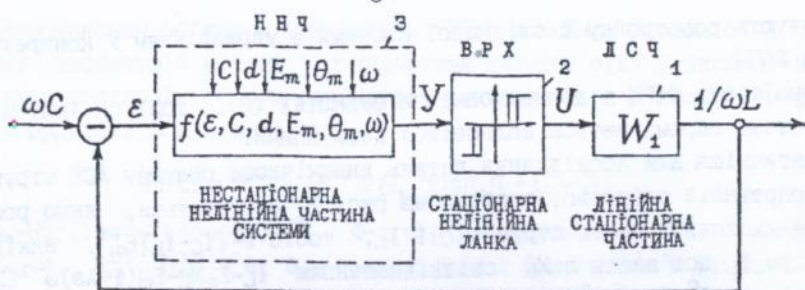


Рис. 1 НЧ-модель АСК в провідностях

ра характеризується своїми специфічними властивостями.

Блок 1 ( $U \rightarrow X_L$ ) із входом  $U$  та виходом  $X_L$  - це лінійна і стаціонарна частина (ЛСЧ) системи з передатною функцією

$$W_1(D) = K_1(TD^2 + D)^{-1}, \quad D = d/dt,$$

де  $K_1 = \lambda(\omega L_0)^{-1} K_{ред} K_{дв}$ , ( $\lambda$  - параметр ДГР), якої відповідає лінійне диференціальне рівняння із постійними коефіцієнтами

$$(TD^2 + D)X_L(t) = K_1 U(t), \quad (1)$$

що описує електромеханічні процеси в ДГР.

Блок 2 ( $Y \rightarrow U$ ) із входом  $y$  вигляді сигналу управління  $Y$ , що формується тією чи іншою системою ФАПЧ і керуючим швидкістю асинхронного приводу (1) виходом  $U$  - це стаціонарна істотно нелінійна ланка із вихідною (по відношенню до ФАРК) релейною характеристикою (ВРХ), що показана на рис. 2. Спрощений варіант цієї характеристики при  $\delta_1 = \delta_2 = \delta$  має вигляд

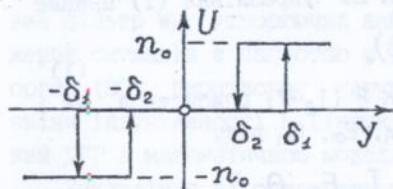


Рис. 2 Графік нелінійності ВРХ

$$U = (n_0, Y > \delta; 0, |Y| \leq \delta; -n_0, Y < -\delta). \quad (2)$$

Блок 3 ( $\varepsilon \rightarrow Y$ ) з входом  $\varepsilon$  і виходом  $Y$  - малоінерційна нелінійна і нестационарна частина (ННЧ) системи, що описана функцією  $Y = f(\varepsilon, C, d, E_m, \theta_m, \omega)$  багатьох змінних: розстройка  $\varepsilon$  резонансного контура  $\omega C - (\omega L)^{-1}$ ,  $C$  - сумарна ємність мережі,  $d$  - тангенс куту втрат ізоляції,  $E_m$  - величина фазної ЕРС,  $\theta_m$  - величина сумарного (штучного і природного) струму несиметрії мережі,  $\omega$  - промислова частота мережі. Функцію  $Y$  доцільно переписати із введенням вектору параметрів  $\xi = (C, d, E_m, \theta_m, \omega)$  у вигляді  $Y = f(\varepsilon, \xi)$  і розглядати сімейство нових одномірних функцій

$$Y = f_{\xi}(\varepsilon) = f_{C, d, E_m, \theta_m, \omega}(\varepsilon), \quad (3)$$

що зв'язують розстройку  $\epsilon$  слідкової системи з управлінням у конкретній системі ФАПЧ.

Розмаїтість ФАРК відбиває саме на функціях (3), тоді як інші частини системи спромагаються залишатися незмінними.

Практичніша для дослідження питань динамічного синтезу АСК струмова інтерпретація слідкової системи на рис. 1 одержується, якщо розстройку  $\epsilon$  висловити через струми  $I_C$  і  $I_L$ , тобто  $\epsilon = (I_C - I_L)E_m^{-1}$ , вихідну координату  $I_L$  пов'язати з  $X_L$  співвідношенням  $I_L = E_m X_L = E_m(1 + \lambda z)\omega^{-1}L_0^{-1} - I_L^0(1 + \lambda z)$ , де  $I_L^0 = E_m(\omega L_0^{-1})$  - мінімально можливий струм ДГР. Ємнісний струм  $I_C$  на рис. 3 відрізняється від реального на величину струму  $I_L^0$ .

Блок 1 ( $U \rightarrow I_L$ ) описується передатною функцією, що і вище, якщо ко-

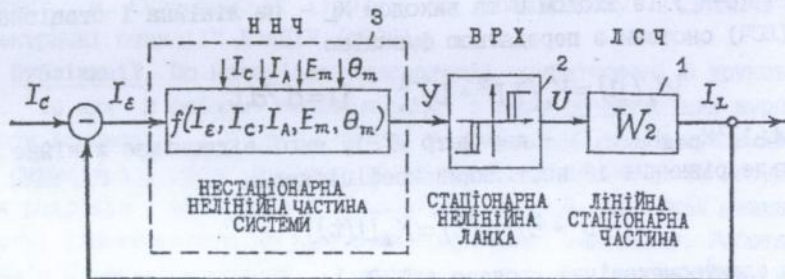


Рис. 3 НЧ-модель АСК в струмовій інтерпретації  
ефіцієнт  $K_1$  замінити на  $K_2 = \lambda I_L^0 K_{ред} K_{дв}$ , так що управління (1) прийме вид

$$(TD^2 + D)I_L(t) = K_2 U(t). \quad (1)'$$

Блок 2 ( $U \rightarrow I_L$ ) залишається незмінним. Блок 3 ( $I_\epsilon \rightarrow U$ ) описується, як і вище, функцією  $f$  багатьох змінних  $I_\epsilon$ ,  $I_C$ ,  $I_A$ ,  $E_m$ ,  $\theta_m$  виду

$$U = f[I_\epsilon, \Xi] = f_\Xi(I_\epsilon), \quad \Xi = (I_C, I_A, E_m, \theta_m), \quad (3)'$$

де  $\Xi$  - вектор реактивних  $I_C, I_L$  та активного  $I_A$  ( $I_A = gE_m$ ,  $g$  - активна провідність ізоляції мережі) струмів, що виступають у вигляді параметрів.

Згідно із слідковою системою на рис. 3 діється відслідкування індуктивним струмом  $I_L$  змінного в часі ємнісного струму  $I_A$  так, що її помилкою стає реактивний струм  $I_\epsilon = I_C - I_L$ . Чим менше  $I_\epsilon$ , тим ближче КНПМ до точки резонансу.

Характер залежностей (3), (3)' обумовлює точнісні та динамічні властивості АСК із різноманітними структурами ФАПЧ.

**Другий розділ** присвячується дослідженню особливостей функціонування існуючих систем автокомпенсації по критеріях точності резонансної настройки. Загальна функціональна структура існуючих систем ФАПЧ наведена на рис. 4.

Резонансним об'єктом управління (РОУ) є КНПМ з входом  $\vartheta(t)$  у формі струму несиметрії мережі і стандартним виходом  $e(t)$  у вигляді напруги зміщення нейтралі. Струм несиметрії розглядається в якості уніфікованої координати АСК і дорівнює

$$\theta(t) = \theta^{\text{шт}} + \theta^{\text{пр}} = \theta_m \cos(\omega t + \vartheta + \Phi), \quad (5)$$

де  $\theta_m = \theta_m^{\text{шт}} (1 + \eta^2 + 2\eta / \cos \Delta\vartheta)^{1/2}$ ,  $\Phi = \arctg\{\eta \sin \Delta\vartheta [1 + \eta \cos \Delta\vartheta]^{-1}\}$ ,  $\eta = \theta_m^{\text{пр}} / \theta_m^{\text{шт}}$ ,  $\Delta\vartheta = \vartheta_{\text{пр}} - \vartheta$ ,  $\theta_m^{\text{шт}}$ ,  $\theta_m^{\text{пр}}$  і  $\vartheta$ ,  $\vartheta_{\text{пр}}$  - амплітуди і фази струмів штучної і природної несиметрії мережі відповідно.



Рис. 4 Загальна функціональна схема безпошукової адаптивної системи фазового типу

Важливим елементом первинної обробки повторних сигналів є полосовий фільтр  $W_{\text{п}}$ , утворюючий найкращі умови  $\{\varphi_{\text{п}}(\omega) = 0, |W_{\text{п}}(i\omega)| = K_{\text{п}}\}$  проходження сигналів з частотою  $\omega$  і пригнічуючий вищі гармоніки. Виконавчий орган (ВО) перетворює керуючі сигнали  $Y$  із виходу ФАРК у відповідні зміни індуктивності  $L$  (індуктивного струму  $I_L$ ). Роль ВО грає плунжерний ДГР з математичною моделлю (1)', (2).

Управління  $Y$  одержується на виході ФАРК при інформаційній обробці двох сигналів:  $V(t) = v \sin(\omega t + \beta)$ , ( $v, \beta$  - амплітуда і фаза опорної гармоніки) із датчику  $D_{\text{вх}}$  і сигналу з виходу полосового фільтру  $ke(t) = -k_{\text{ем}} \cos[\omega t + \varphi(\omega) + \vartheta]$  з амплітудою

$$e_m = \theta_m [(\omega C d)^2 + \varepsilon^2]^{-1/2} = \theta_m (\omega C)^{-1} (d^2 + \nu)^{-1/2} \quad (6)$$

і фазою

$$\varphi(\omega) = -\arctg[\varepsilon(\omega C d)^{-1}] = -\arctg \nu d^{-1}, \quad (7)$$

де  $\nu$  - степінь розстройки компенсації в КНПМ.

Опираючись на ФД як результат помноження основного  $ke(t)$  і опорного  $V(t)$  сигналів з виділенням середнього, можна систематизувати АСК, спираючись на структурні відрізнення використаних в них ФАРК.

На рис. 5 а запропонована об'єднана структура ФАРК, які знайшли

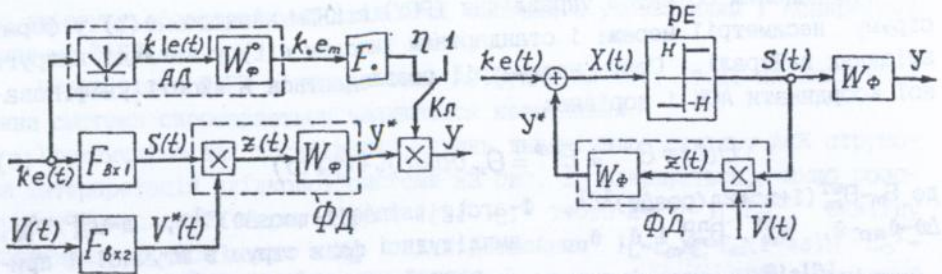


Рис. 5 б Структура ФАРК на основі ШІМ-ФД

Рис. 5 а Об'єднана структура ФАРК

застосування на практиці. Звичайний фазовий детектор (обведений пунктиром) має два входи  $S(t)$  і  $V^*(t)$  і один вихід  $Y$ . Якщо  $K\phi$  знаходиться в положенні 1, оте вихід ФАРК  $Y=U^*$ . Якщо - в іншому положенні, оте  $Y=\eta U^*$ . Сигнал  $\eta=F_0(k_0 e_m)$  є результатом функціонального перетворення виду  $F_0(k_0 e_m)=(k_0 e_m)^{-1}$ , де  $k_0=\text{const}$ ,  $e_m$  - амплітуда напруги  $e(t)$ , що вимірюється амплітудним детектором АД того чи іншого типу.

В ланках  $ke(t)$  і  $V(t)$  сигналів ФД поставлені функціональні перетворювачі  $F_{Bx1}$  та  $F_{Bx2}$ , які дозволяють одержувати різноманітні структури (поіменовані далі ФАПЧ), що відносяться до тих чи інших пристроїв ФАРК. Кожна із структур ФАПЧ по своєму формує керуючий сигнал  $U$ .

На рис. 5 б приведена ще одна структура ФАРК, що радикально відрізняється від описаних вище. Для одержання управлінь  $U$  звичайний ФД із прямого ланцюга (рис. 5 а) одержання управлінь  $U$  переміщений в коло зворотнього зв'язку релейного елемента (РЕ), так що згладжений фільтром  $W_\Phi$  вихід РЕ є корисним виходом ФАРК (рис. 5 б).

Запропоновано розрізняти шість структур ФАПЧ, що далі називаються  $\Psi$ -структурами ФАПЧ ( $\Psi$ -А, В, В, Г, Д, Е). При цьому управління  $U_q=W_\Phi(D) \cdot f_q(\varepsilon)$ ,  $q$ -А, В, В, Г, Д, Е. Далі прийнято  $v=k_{TP}E_m$ ,  $\theta_m=\omega C_0 E_m$ .

А-структура ФАПЧ одержується з рис. 5 а при  $S(t)=F_{Bx1}[ke(t)]=ke(t)$ ,  $V^*(t)=F_{Bx2}[V(t)]=V(t)$ . Тоді керуюча функція

$$f_A(\varepsilon) = f_{c,d,E_m,\omega}(\varepsilon) = 0.5 k k_{TP} E_m^2 \omega C_0 [(\omega C d)^2 + \varepsilon^2]^{-1/2} \times \sin[-\alpha \text{ctg} \varepsilon (\omega C d)]. \quad (8)$$

В-структура ФАПЧ одержується із рис. 5 а при  $S(t)=F_{Bx1}[ke(t)]= -H \text{sign}\{ke(t)\} = H \text{sign} \cos[\omega t + \varphi(\omega) + \theta]$ ,  $V^*(t)=V(t)$  і функція

$$f_B(\varepsilon) = f_{c,d,E_m,\omega}(\varepsilon) = 2\pi^{-1} H k_{TP} E_m \sin[-\alpha \text{ctg} \varepsilon (\omega C d)^{-1}]. \quad (9)$$

В-структура ФАПЧ одержується з рис. 5 а при  $S(t)=F_{Bx1}[ke(t)]= -H \text{sign}\{ke(t)\}$ ,  $V^*(t)=F_{Bx2}[V(t)]= -H \text{sign} V(t)$  і функція

$$f_B(\varepsilon) = f_{c,d,\omega}(\varepsilon) = 2\pi^{-1} H^2 \alpha \text{ctg} \varepsilon [-\varepsilon (\omega C d)^{-1}]. \quad (10)$$

Г-структура ФАПЧ одержується при  $F_{B \times 1}[ke(t)] = ke(t)$ ,  $F_{B \times 2}[V(t)]$  та лівому положенні Кл на рис. 5 а і функція

$$f_{\Gamma}(\varepsilon) = f_{c, d, \omega, \varepsilon_m}(\varepsilon) = 0.5k_{TP} E_m k_o^{-4} \sin[-\alpha \text{ctg} \varepsilon (\omega C d)^{-1}]. \quad (11)$$

Д-структура ФАПЧ одержується із рис. 5 а при  $F_{B \times 1}[ke(t)] = -H \text{sign}\{e(t)\}$ ,  $F_{B \times 2}[V(t)] = H \text{sign} V(t)$  та лівому положенні Кл і функція

$$f_{\Delta}(\varepsilon) = f_{c, d, \omega}(\varepsilon) = 2\pi^{-1/2} H^2 k_o^{-4} \alpha \text{ctg}(\varepsilon / \omega C d) [(\omega C d)^2 + \varepsilon^2]^{-1/2}. \quad (12)$$

Є-структура ФАПЧ зображена на рис. 5 б. При цьому керуюча функція

$$f_{\varepsilon} = W_{\Phi}(D) f_{\varepsilon}'(\varepsilon) = f_{\omega}'(\varepsilon) = K_{\varepsilon} \varepsilon, \quad K_{\varepsilon} = 4H^2 k_{TP} (\pi^2 k \omega C o)^{-1}. \quad (13)$$

Одержані формули (8)-(13) дають повне уявлення про поведінку відомих ФАРК. Кожне поєднання параметрів в індексах керуючих функцій відповідає тільки одній закономірності відтворення управлінь. Оскільки чисельно задані елементи вектору  $\xi$  мають свою область значень, то кожній структурі ФАПЧ відповідає нескінченна безліч керуючих функцій.

Авторегулятори типу РАНК, а також інші ФАРК, що використовують при ФД лінійні дільниці з помноженням чистих гармонік, належать до А-структури ФАПЧ (8). Ефективність її застосування обмежена достатньо вузькою зоною розстроек. Характерна для них імпульсивність управлінь приводить до застрявання системи при великих розстройках. Тому вона не спроможна претендувати на місце уніфікованої структури ФАПЧ.

Взагалі, чим менше число ненульових компонентів вектору  $\xi$ , тим певніше поведінка системи. Із цієї точки зору найкращою для уніфікації структурою ФАПЧ є Є-структура. Сімейство керуючих функцій там породжується лише коливанням у відомих межах частоти  $\omega$  мережі.

Вивчення керуючих функцій (8)-(13) наводить на висновок, що  $\Psi$ -структури ФАПЧ при  $\Psi = B, V, \Gamma, D, \varepsilon$  не є імпульсивними і необхідно понад детальне їх вивчення вже із точки зору точності настройки на резонанс.

Адекватним засобом дослідження нелінійних керуючих функцій (8)-(12) є їх апроксимації рядом Тейлора по мірах малих розстроек  $\varepsilon$  поблизу точки резонансу  $\varepsilon = 0$ . Обмежуючись тільки двома першими членами розкладення, приходимо до лініаризації нелінійностей (8)-(12), за видом співпадаючих із (13). Проте еквівалентні коефіцієнти підсилення при розстройці  $\varepsilon$ , як і досі, залежать від вектору параметрів  $\xi$ .

Перехід до локальних управлінь дозволяє повністю вирішити завдання про граничну точність резонансної настройки відомих АСК при будь-яких поєднаннях параметрів ізоляції мережі і різноманітних засобах штучного зміщення нейтралі. В Табл. 1 наведені формули для розрахунку точності у автокомпенсації всіх структур ФАПЧ.

Для типового включення ФАРК (маються на увазі об'єкти  $\theta \rightarrow e$ ) технологічна точність  $\nu$  не співпадає з помилкою слідкової системи (рис. 1, 3). Неврахування цієї обставини веде до невірної методики настройки будь-якого із відомих ФАРК. Із Табл. 1 також видно: одні системи ФАПЧ треба настроювати за точністю при мінімальному  $I_C$ , інші при максимальному  $I_C$  або в обліком цих якісних розвінень. При цьому не має значення об'явлена абсолютна величина бажаної точності  $\nu_{ж}$ .

Одержані результати для об'єктів  $\theta \rightarrow e$  повторені для об'єктів  $\theta \rightarrow I$  (коли вхідним сигналом ФАРК є величина струму через ДТР). Для зазначе-

Таблиця 1.1

Формули для визначення поточного степеня розстройки  $\nu$  КНПМ для об'єктів  $\theta \rightarrow e$ ,  $\theta \rightarrow I$  при рівноманітних способах штучного зміщення нейтралі

Способи	[1]	[2],[3]	[4]			
Стру-ри ФАПЧ	принадлежно до об'єктів					
	$\theta \rightarrow e$	$\theta \rightarrow I$	$\theta \rightarrow e$	$\theta \rightarrow I$	$\theta \rightarrow e$	$\theta \rightarrow I$
А	$\frac{C}{C_*} \left( \frac{d}{d_*} \right)^2 \nu_{ж}$	$\left( \frac{d}{d_*} \right)^2 \nu_{ж}$	$\frac{C_* m^2}{C m_*^2} \nu_{ж}$	$\left( \frac{C_*}{C} \right)^2 \frac{m^2}{m_*^2} \nu_{ж}$	$\frac{C_*}{C} \left( \frac{d}{d_*} \right)^2 \nu_{ж}$	$\left( \frac{C_* d}{C d_*} \right)^2 \nu_{ж}$
Б	$\frac{d}{d_*} \nu_{ж}$	$\frac{d}{d_*} \nu_{ж}$	$\frac{C_* m}{C m_*} \nu_{ж}$	$\frac{C_* m}{C m_*} \nu_{ж}$	$\frac{C_* d}{C d_*} \nu_{ж}$	$\frac{C_* d}{C d_*} \nu_{ж}$
В	$\frac{d}{d_*} \nu_{ж}$	$\frac{d}{d_*} \nu_{ж}$	$\frac{d}{d_*} \nu_{ж}$	$\frac{d}{d_*} \nu_{ж}$	$\frac{d}{d_*} \nu_{ж}$	$\frac{d}{d_*} \nu_{ж}$
Г	$\frac{d}{d_*} \nu_{ж}$	$\frac{d}{d_*} \nu_{ж}$	$\frac{C_* m}{C m_*} \nu_{ж}$	$\frac{C_* m}{C m_*} \nu_{ж}$	$\frac{C_* d}{C d_*} \nu_{ж}$	$\frac{C_* d}{C d_*} \nu_{ж}$
Д	$\frac{C_*}{C} \nu_{ж}$	$\nu_{ж}$	$\frac{d}{d_*} \frac{m_*}{m} \nu_{ж}$	$\frac{C}{C_*} \frac{d}{d_*} \frac{m_*}{m} \nu_{ж}$	$\nu_{ж}$	$\frac{C}{C_*} \nu_{ж}$
Є	$\frac{C_*}{C} \nu_{ж}$	$\nu_{ж}$	$\frac{C_*}{C} \nu_{ж}$	$\nu_{ж}$	$\frac{C_*}{C} \nu_{ж}$	$\nu_{ж}$

Примітки:  $m^2 = (\omega C d)^2 + \varepsilon_0^2$ ,  $m_*^2 = (\omega C_* d_*)^2 + \varepsilon_0^2$ ,  $\varepsilon_0 = (k_{ТР}^2 \omega L_0)^{-1}$  [2],  $\varepsilon_0 = \omega C_0 k_{ТР}^{-2}$  [3].

1. Вільгейм Р., Уотерс М. Заземлення нейтралі в високовольтних системах. - М.: Госенергоіздат, 1959. - 600 с.
2. А.с. 936206 ССРСР, м.к.н. 02 н 9108. Пристрій для автоматичної настройки дугогасної катушки / В.Н. Мохов. - Опубл. 15.06.82. - Бюл. 22.
3. Солдатов В.Ф., Кобазев В.П., Нікольський Г.И. Регулятор автоматичної настройки дугогасного реактора // Електричні станції. - 1988. - 6. - с. 65-69.
4. Петров О.А., Ершов А.М., Хабаров А.Н. Використання несиметрії трансформатора для автоматичної настройки дугогасних реакторів // Електричні станції. - 1984. - 7. - с. 46-48.

них об'єктів всі формули по оцінці точності систем ФАПЧ узагальнені і на випадок впливу природного струму несиметрії мережі.

Спираючись на Табл. 1, можна рекомендувати в якості уніфікованої структури ФАПЧ Д і Є-структури. Проте, вабивши критерію простоти технічної реалізації, Д-структура значно поступається Є-структурі ФАПЧ.

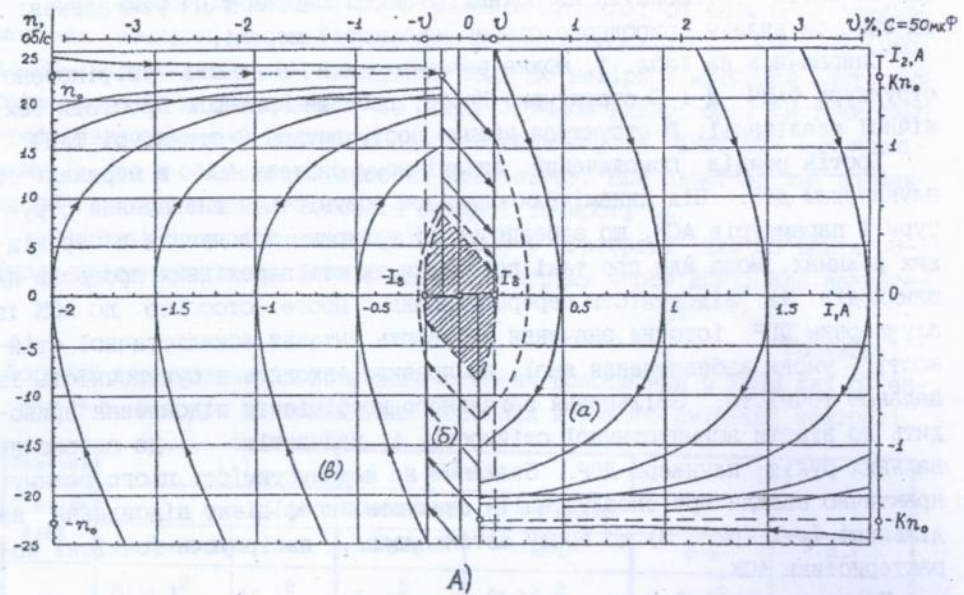
**Третій розділ** присвячений динамічному синтезу АСК в мережах із плунжерним ДГР. Під динамічним синтезом розуміється визначення структури і параметрів АСК, що забезпечує її найкраще поведіння в перехідних режимах. Мова йде про такі показники якості перехідних процесів як швидкодія та відсутність перерегулювань. Проте стосовно до АСК із плунжерним ДГР істотне значення набувають питання асимптотичної стійкості, умови забезпечення якої, як правило, входять в суперечність із заданою точністю. Збільшення загального коефіцієнту підсилення приводить до втрати асимптотичної стійкості і найчастіше - до автоколивальних рухів плунжера ДГР. Зважаючи на недопустимість цього режиму, практично завжди при експлуатації знижують коефіцієнт підсилення на дільниці  $I_{\epsilon} \rightarrow U$  (рис. 3) до зриву автоколивань, погіршуючи точнісні характеристики АСК.

Розподіл рухів на швидкі і повільні показує, що внесена електронним блоком 3 (рис. 1,3) інерція виявляється несуттєвою в порівнянні із інерцією приводу ДГР. Тому фазові траєкторії (ФТ) всієї системи швидко стягуються до ФТ електромеханічних процесів АСК. В цьому зв'язку аналіз і синтез АСК в основному ведеться з використанням засобу фазової площини.

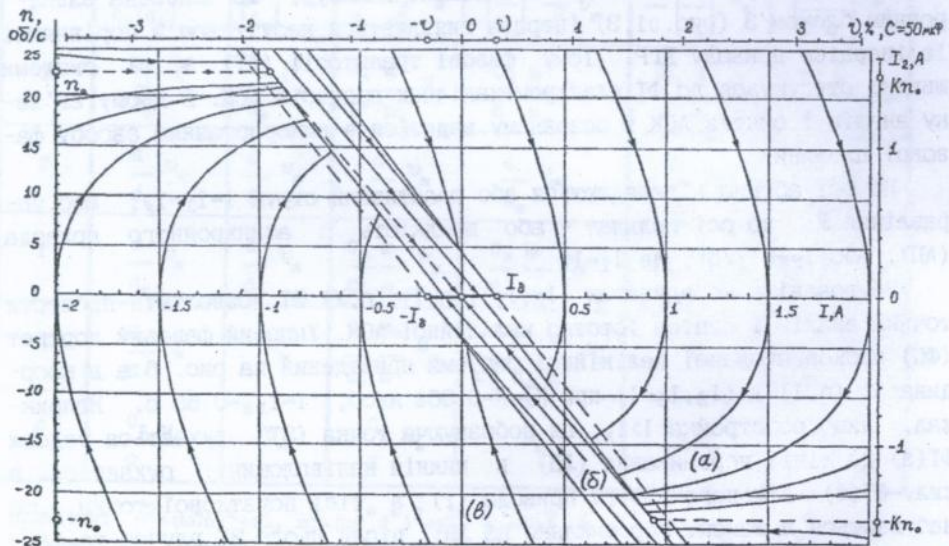
По осі абсцис відкладаються або реактивний струм  $I = I_1 - I_{\epsilon}$ , або управління  $U$ ; по осі ординат - або швидкість  $n$  асинхронного привода (АП), або  $I_2 = dI_1/dt$ , де  $I_1 = 1$ .

Збудовані в координатах  $(I_2, I_1)$ ,  $(n, I)$ ,  $(n, U)$  ФТ дозволяють провести точний аналіз і синтез істотно нелінійної АСК. Типовий фазовий портрет (ФП) нескоректованої нелінійної системи приведений на рис. 6 а в координатах  $(n, I)$  і  $(I_2, I_1 - I)$  при  $K_2 = K = 0.064$  А/об,  $T = T_{дв} = 0.65$  с. Наприклад, якщо розстройка  $I > I_{\epsilon}$ , ця зображуюча точка (ЗТ) рухається уздовж ФТ(а) до лінії перемикавання (ЛП) в нижній напівплощині; рухається в силу ФТ(б) вільного вибігу привода (1) з тієї початкової точки, що набувається в момент перемикавання на ЛП; після цього ЗТ влучає на фазову площину із ФТ(в) і рухається уздовж них до ЛП у верхній напівплощині і т.д. При цьому в АСК беруть участь три типу ФТ, ідентифікуючих на фазовій площині рух АП: наперед ФТ(а), назад ФТ(в) із швидкістю  $\pm n_0$ , що установилася, та вільний вибіг АП по ФТ(б) (рис. 6 а).

Легко бачити, що із збільшенням точності АСК (на рис. 6 це відпо-



A)



B)

Рис. 6 Фазові портрети нескоректованої (А) і скоректованої (Б) систем автокомпенсації ємнісних струмів

відає зменшенню зони нечутливості  $I_{\delta}$ ) ЗТ починає обертатися навколо початку координат, що означає повільне коливальне наближення до інтервалу рівноважних точок системи. Для гістерезисних ВРХ (рис. 2) можливе виникнення граничного циклу (заштрихована область на рис. 6 а), що означає наявність автоколивань в АСК.

Відомі засоби пригнічення автоколивань не є найкращими для цілей уніфікації ФАРК.

Для подолання зазначених недоліків вирішене завдання оптимізації АСК по швидкодійності, що звелось при заданих параметрах ДГР до вимоги відсутності перерегулювання в системі. Це означає, що будь-яка розстройка резонансу з наперед заданою точністю повинна повністю відпрацьовуватись тільки одним пускачем. Зазначене обмеження при ненульовій зоні нечутливості ВРХ приводить до оптимального рішення завдання, що неважко охарактеризувати в зазначених термінах: ФТ, ЗТ, ЛП. Наприклад, при будь-якому  $I < I_{\delta}$  ЗТ рухається по ФТ (в) до ЛП, котра в ідеалі співпадає з ФТ (б), провідної ЗТ прямо в початок координат.

Для того, щоб синтезувати оптимальне управління необхідно контролювати моменти влучення ЗТ на ЛП. Подібне завдання вирішується з виміром поточної швидкості  $n$  АП за допомогою тахогенератора (ТГ) з коефіцієнтом передачі  $K_{ТГ}$  і організації ВЗЗ відповідно до порівняння

$$I^{\circ}(t) = I^{opt}(t) = I(t) - \beta K_{33} n(t), \quad (14)$$

де  $I(t)$  - поточне значення реактивного струму АСК без ВЗЗ,  $\beta$  - змінна частина коефіцієнту ВЗЗ,  $K_{33} = K_{ТГ} E_m^{-1} K_{\epsilon}$ , де  $K_{\epsilon}$  - коефіцієнт підсилення дільниці системи від  $I_{\epsilon} \rightarrow Y$ . Оптимальне управління дорівнює  $Y^{\circ}(t) = -K_{\epsilon} E_m^{-1} I^{\circ}(t)$ .

Облік неідеальностей пускачів та відстройка від них при спрацьовуванні саме на ЛП одним чи іншим пускачем приводить до нахилу ЛП на деякий кут по відношенню до куту нахилу ФТ (б). Надана технічна реалізація представлена на ФП скоректованої АСК (рис. 6 б). Практично кут нахилу ЛП легко регулюється коефіцієнтом  $\beta$ .

Таким чином, обґрунтована структура виконавчої частини АСК з точним розрахунком її параметрів, котра і рекомендується в якості уніфікованої в галузі. Оскільки на існуючих ДГР немає умонтованих ТГ, то інформацію про швидкість  $n$  АП неважко одержати засобами ідентифікації за допомогою RC-ланцюга.

**Четвертий розділ** присвячений уточненню загальної структури, передатних функцій (ПФ) та параметрів функціональних блоків пристроїв АСК. Засновуючись на одержаних результатах синтезована функціональна структура ФАРК (див. рис. 7), яка і рекомендується у вигляді уніфікованої.

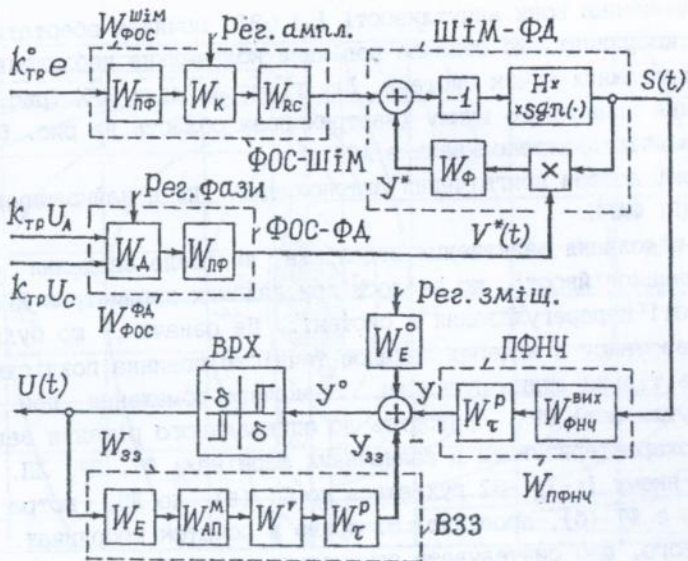


Рис. 7. Структурна модель уніфікованого ФАРК

Вона складається: 1) із трактів з частотою, що несе  $\omega$ , а саме: формувача (ПФ  $W_{\text{ФФ}}^{\text{ШІМ}}$ ) основного сигналу уніфікованого фазового детектора (ШІМ-ФД), формувача (ПФ  $W_{\text{ФФ}}^{\text{ФА}}$ ) опорного сигналу ШІМ-ФД і тракту з широтно-імпульсно-модульованими (ШІМ) коливаннями на виході ШІМ-ФД; 2) із трьох трактів на постійному струмі: формувача управління  $U$  за допомогою ПФНЧ - фільтру низьких частот (ПФ  $W_{\text{ПФНЧ}}$ ), з ланцюга, що перестроює постійну частоту, прямого ланцюга формування  $F(Y^0) - f(Y - Y_{\text{ЗЗ}} + Y_{\text{ЗМ}})$  керуючих впливів  $U$  на привід ДГР за допомогою блока ВРХ, ланцюга з ПФ  $W_{\text{ЗЗ}}$  ВЗЗ від  $U$  до  $Y_{\text{ЗЗ}}$  по швидкості з елементами ідентифікації швидкості АП і ланцюга постійного зміщення  $Y_{\text{ЗМ}}$  ВРХ із ПФ  $W_{\text{Е}}^0$ , тобто  $Y_{\text{ЗМ}} = W_{\text{Е}}^0 E$ .

До складу описаних укрупнених блоків входять ланки:  $W_{\text{ПФ}}^-$  - ПФ полюсового інвертуючого фільтру;  $W_{\text{К}}$  - ПФ посилювача;  $W_{\text{д}}$  - ПФ дільника напруги;  $W_{\text{ПФ}}^+$  - ПФ полюсового неінвертуючого фільтру;  $W_{\text{RC}}$  - ПФ розділового RC-ланцюга та  $W_{\text{Ф}}$  - ПФ пасивного RC-фільтру з урахуванням навантаження;  $W_{\text{ФНЧ}}^{\text{Вих}}$  - ПФ вихідного активного фільтру низьких частот;  $W_{\tau}^D$  - ПФ RC-фільтру із змінною постійною часу;  $W_{\text{Е}}$  - ПФ датчиків спрацьовування ВРХ;  $W_{\text{АП}}^M$  - електронна модель АП;  $W^r$  - ПФ ПФНЧ, що приймає участь у формуванні ВЗЗ.

Визначені ПФ виділених блоків, так що математична модель уніфікованого ФАРК стає результатом послідовного списування її з моделі на рис. 7. Теоретичний аналіз одержаної системи нелінійних рівнянь дає

повний збіг процесів автокомпенсації з експериментальним вивченням ФАРК на високовольтному стенді і в реальних умовах.

Притягнення амплітудних, фазових і частотних характеристик блоків дозволило просто розрахувати параметри ФАРК, вихідні показники системи в цілому і коректно реалізувати переклад математичної і функціональної моделей (рис. 7) на цифрову форму реалізації пристрою.

**В додатках** подані методики аналізу, синтезу і настройки автокомпенсаторів, а також розроблений та описаний блок самоконтролю (БСК). Самоконтроль базується на періодичній подачі штучних розстроєк КНПМ і оцінці правильності реакції на їх внесення. Видавання сигналу про несправність по каналах телемеханіки дозволяється після трикратного підтвердження ситуації пошкодження. Представлена копія акту впровадження ФАРК з блоком самоконтролю.

## В И С Н О В К И

В дисертації дається рішення одного з важливіших науково-технічних завдань, пов'язаного з уніфікацією алгоритмів управління і засобів резонансного заземлення в мережах середнього класу напруги.

Основні результати роботи полягають в такому:

1. Пропонується новий апарат аналізу точносних характеристик систем ФАПЧ з використанням лінійзації визначаючих нелінійних управлінь, локальних управлінь та еквівалентних коефіцієнтів підсилення.

2. Установлено, що з точки зору точносних показників всі існуючі авторегулятори є принципово рівноманітними і, отже, не кожний ФАРК очікуваним чином функціонує при експлуатації: одні регулятори вимагають настройки за точністю при мінімальній, інші - при максимальній ємності мережі. Теж саме відноситься до тангенса кута втрат ізоляції та інших параметрів мережі. Для подолання ситуації, що склалася, пропонується розділ можливих структур регуляторів на  $\Psi$ -структури ФАПЧ, кожна з яких ( $\Psi$ -А,Б,В,Г,Д,Є) відбиває індивідуальні особливості існуючих ФАРК. Зазначена систематизація структур націлена на виробіток правильних методик настройки ФАРК, виходячи з одержаних в Табл. 1 формул.

3. Доведено, якщо настройка ФАРК за точністю в відповідних  $\Psi$ -структурах ФАПЧ здійснена правильно - відповідно Табл. 1 (так що варіація параметрів ізоляції мережі не виводить реальну погрішність настройки за межі заданої), то в типових включеннях ФАРК спрацьовує ефект зростання точності понад задану. Якщо зазначена настройка здійснена невірно, то можливе погіршення оголошеної точності в  $n$ -раз ( $n = I_L^{\max} / I_L^{\min}$ ).

4. Показано, що поширений на практиці засіб боротьби з автоколи-

ваннями - зменшення загального коефіцієнту передачі замкнутої АСК до значення, при якому ці автоколивання зриваються, але це приводить до зростання погрішності резонансної настройки КНПМ.

5. Встановлено, що найкраща за точністю і простотою технічної реалізації є 6-структура ФАПЧ, яка і рекомендується у вигляді уніфікованої структури.

6. Розроблена методика синтезу структури і параметрів АСК на основі методу фазової площини. Рекомендований вибір коефіцієнту ВЗЗ забезпечує асимптотичну стійкість замкнутої системи і неможливість коливальних рухів плунжера ДПР.

7. Теоретично і практично доказана можливість побудови високоякісних систем компенсації ємнісних струмів для мережі 6-35 кВ з резонансним заземленням нейтралі на основі ДПР плунжерного типу з уніфікованими вимірвальною і виконавчою частинами.

8. Теоретичний аналіз принципових електричних схем типових функціональних блоків ФАРК з використанням передавальних та частотних функцій дозволив уточнити параметри найкращих ФАРК і вперше запропонувати засіб самоконтролю їх справності.

#### **Наукові результати дисертації опубліковані в таких роботах:**

1. Обабков В.К., Никифоров А.П. Точность автоподстройки частоты свободных колебаний в симметричных сетях с компенсированной нейтралью // Электричество. - 1996. - №12. С. 8-16.

2. Обабков В.К., Никифоров А.П. Исследование вопросов точности систем компенсации емкостных токов в симметричных сетях с плунжерным дугогасящим реактором // Промышленная энергетика. - 1996. - №5. С. 22-30.

3. Обабков В.К., Никифоров А.П. Динамический синтез асимптотически устойчивых систем автокомпенсации емкостных токов в сетях с плунжерным дугогасящим реактором // Сб. научных трудов ЭНФ: Электромеханика и электроэнергетика. - Донецк: ДонГТУ, 1996, С. 116-119.

4. Солдатов В.Ф., Никифоров А.П. Автоматический регулятор настройки дугогасящих реакторов при однофазных замыканиях на землю. - ДПИ. - Донецк, 1993. - 6 с. - Рус. - Деп. в УкрИНТЭИ 20.07.93, N1555-Ук93 // Депонированные научные работы, N10, 1993.

5. Обабков В.К., Никифоров А.П. Вопросы синтеза систем автоматической компенсации емкостных токов по точности в сетях с резонансным заземлением нейтрали. - ДонГТУ. - Донецк, 1994. - 32 с. - Рус. - Деп. в ГНТБ Украины 25.02.95, N504-УК-95.

6. Обабков В.К., Никифоров А.П. Синтез высококачественных систем автоматической компенсации емкостных токов в сетях с резонансным за-

землением нейтрали. Доклады региональной научной конференции. Секция 4 "Актуальные проблемы вычислительной техники, информатики и энергетики". Часть 2. - Донецк: ДонГУ, 1995. - 94 с., С. 20-24.

В опубликованных статьях автору дисертаційної роботи належать: участь у визначенні математичних залежностей, узагальнення і перевірка одержаних результатів [1,2,5]; участь в розробці структури авторегулятора та апробація результатів [4]; розрахунки і дослідження поведінки АСК [3,6].

#### А Н О Т А Ц І Я

Нікіфоров А.П. Вдосконалення автокомпенсаторів у мережах з резонансним заземленням нейтрали. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 - електротехнічні комплекси та системи. - Донецький державний технічний університет, Донецьк, 1998.

У дисертації на основі критичного аналізу існуючих схем та елементів систематизовані структури фазових автоматичних регуляторів компенсації, одержані формули для оцінки якісного та кількісного поведіння їх в зоні резонансу та знайдені алгоритми і способи реалізації уніфікованої системи ФАПЧ з самоконтролем.

Ключові слова: електропостачання, контур нульової послідовності мережі, резонансне заземлення нейтрали, фазова автопідстройка частоти, фазові автоматичні регулятори компенсації, уніфікація.

#### А Н Н О Т А Ц И Я

Никифоров А.П. Совершенствование автокомпенсаторов в сетях с резонансным заземлением нейтрали. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 - электротехнические комплексы и системы. - Донецкий государственный технический университет, Донецк, 1998.

В диссертации на основе критического анализа применяемых схем и элементов систематизированы структуры фазовых автоматических регуляторов компенсации, получены формулы для оценки качественного и количественного поведения их в окрестности резонанса и найдены алгоритмы и способы реализации унифицированной системы ФАПЧ с самоконтролем.

Ключевые слова: электроснабжение, контур нулевой последовательности сети, резонансное заземление нейтрали, фазовая автоподстройка частоты, фазовые автоматические регуляторы компенсации, унификация.

**ANNOTATION**

Nikiforov A.P. The perfection of automatic compensating regulators in the networks of zero succession resonance. - Manuscript.

Thesis as a copy for the scientific degree of the candidate of technology on speciality 05.09.03 - electric technical complexes and systems. The State Technical University of Donetsk, 1998.

In the thesis on the basis of critical analysis applied schemes and elements the structure of phase automatic compensating regulators, special formulas for the estimation of qualitative and quantitative behaviour in the zone of resonance and algorithms and ways of realization of unified system of phase automatic compensating regulation and selfcontrol were discovered.

Key words: power supply, circuit of the network zero succession, networks of zero succession resonance, phase automatic frequency trim, phase automatic compensatory regulators, unification.

---

Подп. к печати 3.12.97 г.  
Ризографическая печать.  
Уч. -изд. л. 0,80.

Формат 60x84  $\frac{1}{16}$ .  
Усл. печ. л.0,93.  
Тираж 50 экз.

Бумага Polspeed.  
Усл. кр.-отт. 1,16.  
Заказ № 12/97.





AB 39.121

**AB 39.121**