

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УКРАИНЫ
“КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ”**

На правах рукописи
УДК 621.316.925.2 .

**БАДДУР ЗАХЕД
(СИРИЯ)**

**БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ ГРУППОВЫЕ ЗАЩИТЫ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ**

Специальность 05.14.02 - Электрические станции (эл. ктрическая часть), сети, электроэнергетические системы и управление ими.

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев 1996



00376151 (N)

21.31
Диссертация является рукописной.
Работа выполнена на кафедре
Национального технического универ

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор В.Я. Синельников

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор А.В. Праховник

- кандидат технических наук, старший
научный сотрудник М.Ф. Сопель

Ведущая организация - "Научный инженерный центр
"Электросеть", УНПО энергопрогресс

Защита диссертации состоится " _____ " *апрель* 1996 г.
в _____ часов на заседании специализированного Совета К 01.02.19
в Национальном техническом университете Украины "КПИ" (корпус
№ 20, ауд. № _____).

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью
учреждения, просим направлять по адресу: 252056, г. Киев-56,
пр.Победы, 37, НТУУ "КПИ", Ученому секретарю.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Национального технического университета Украины "КПИ".

Автореферат разослан "14" *марта* 1996 г.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

Ученый секретарь
специализированного Совета
к.т.н., профессор

Б.Н.Кондра

Общая характеристика работы.

Актуальность темы. Развитие электроэнергетической системы в Сирийской Арабской Республике (САР) идет по пути увеличения протяженности и пропускной способности электрических сетей напряжением $U_{C,i} \in \{0,38; 20; 66; 220\}$ кВ, числа и мощности трансформаторных подстанций напряжением $U_{П/СТ,j} \in \{220/66/20; 220/20; 66/20; 20/0,38\}$ кВ, а также по пути повышения эффективности функционирования вторичных защитных систем (ВЗС), к которым, в первую очередь, относятся устройства релейной защиты (УРЗ). Распределительные электрические сети среднего напряжения (РЭССН) (20 и 66) кВ являются большой подсистемой энергосистемы САР, протяженность этих сетей составляет более 75% от протяженности сетей всех других классов напряжений вместе взятых. В связи с этим, надежность электроснабжения потребителей электрической энергии в значительной степени определяется надежностью функционирования РЭССН-20 кВ.

Анализ эффективности защит РЭССН САР показывает, что наиболее низкими надежностными характеристиками обладают дифференциальные защиты шин ОРУ-66 кВ, защиты шин ЗРУ-20 кВ и, особенно, защиты ВЛ-20 кВ.

Для защиты шин ОРУ-66 кВ подстанций 220/66/20 кВ в САР, также как и на Украине, используются дифференциальные токовые защиты на реле РНТ. Эти защиты критичны к погрешностям измерительных трансформаторов тока (ТТ), используемых в дифференциальных контурах на циркуляцию токов. В соответствии с нормами, эти погрешности не должны превышать 10%. Фактически, при мощных близких КЗ в развивающейся энергосистеме САР, погрешности ТТ могут значительно превышать указанную величину.

В сетях САР практически отсутствуют быстродействующие защиты шин 20 кВ, что приводит к значительной повреждаемости электрооборудования при коротких замыканиях (КЗ) и длительным отключениям потребителей.

Защиты отходящих ВЛ-20 кВ выполняются на реле с независимой и зависимой характеристиками срабатывания, имеют повышенные (до 2 с) времена срабатывания, обусловленные требованиями селективности, из-за чего дуговые КЗ отключаются долго и успевают разрушить изоляторы и токоведущие части, что приводит к крайне низкой эффективности АПВ (до 40% успешности).

Таким образом получается, что задача разработки и внедрения специальных защит сетей 20 кВ и совершенствование существующих защит шин РУ-20, 66 кВ для САР является актуальной и современной задачей.

Цель работы. Целью работы является повышение технического совершенства защит сетей 20 кВ и шин РУ подстанций, в первую очередь, за счет увеличения их быстродействия и селективности.

Метод исследований. При выполнении работы использовались основные системотехнические методы и положения, применяемые при синтезе технических систем; методы и приемы алгебры логики, электротехники и системотехники. Экспериментальные исследования проводились на кафедре "Электрические сети и системы" НГУУ "КПИ" на специальной поверочной релейной установке и другой аппаратуре.

Научная новизна.

1. Разработаны обобщенные функциональные модели структур быстродействующих групповых защит электрических сетей 20 кВ и защиты шин ЗРУ-20 кВ (системы селективного ускорения штатных защит присоединений) и дифференциальной фазной защиты шин ОРУ-66 кВ.

2. Проведены теоретические исследования, подтвердившие возможность синтеза пусковых токовых органов повышенной чувствительности для групповой предупредительной быстродействующей защиты на вводных выключателях 20 кВ на подстанциях для распознавания токов КЗ на фоне суммарных токов нагрузки в 5-6 раз превышающих токи отдаленных КЗ.

3. Разработан алгоритм построения варианта быстродействующей защиты сетей 20 кВ на основе общих пусковых токовых органов повышенной чувствительности в цепях ТТ вводных выключателей 20кВ на подстанциях.

4. Разработан новый способ повышения селективности дифференциальной фазной защиты шин, основанный на восстановлении искаженных форм импульсов токов в фазных контурах при мощных внешних КЗ путем введения в эти контура токов намагничивания ТТ от дифференциальных контуров на циркуляцию токов.

5. Получены новые схематические решения узлов и блоков быстродействующих защит сетей 20 кВ и шин РУ на подстанциях.

Практическая ценность. Ценность диссертационной работы обусловлена ее направленностью на повышение надежных и технико-экономических характеристик РЭССН САР средствами релейной защиты. Внедрение результатов работы уменьшает размер повреждений ВЛ-20 кВ, шин и оборудования РУ подстанций, снижает частоту и длительность перерывов электроснабжения, капитальные и эксплуатационные затраты в сетях. Разработанные защиты, после опытно-промышленных испытаний, могут найти применение в энергосистеме САР.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались: на научном семинаре "Методы автоматизации энергосистем на базе микропроцессорной техники" Института электродинамики НАН Украины - (г. Киев, 1995 г.), а также на объединенном заседании кафедр НТУУ "КПИ" "Электрические сети и системы", "Автоматизация энергосистем", с участием представителей Института электродинамики НАН Украины.

Публикации. Результаты диссертационной работы освещены в четырех статьях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 137 страницах печатного текста, списка литературы из 76 наименований, 2-х приложений и иллюстрируется 58 рисунками и 23 таблицами.

Во введении приводятся результаты анализа современного состояния проблемы, сформулированы цель и задачи исследований, отражены результаты диссертационной работы в части научной новизны и практической ее ценности.

В первой главе диссертации проведены исследования РЭСН как объекта защиты. Выполнен анализ повреждаемости ВЛ-20 кВ, шин РУ подстанций и эффективности их защит.

Вторая глава посвящена общим вопросам построения эффективных УРЗ РЭСН, проведен анализ оценки аппаратурной надежности статических УРЗ, проведено теоретическое обоснование для реализации пусковых токовых органов групповых защит электрических сетей 20 кВ и оценка эффективности пусковых органов этих защит, реагирующих на токи высших гармоник при дуговых КЗ в электрических сетях 0,4; 20 кВ, выполнено теоретическое обоснование построения дифференциальной фазной защиты шин повышенной селективности с восстановлением формы искаженных импульсов тока в фазных контурах защиты.

В третьей главе приведены результаты разработки новой автономной быстродействующей групповой защиты (БГЗ-20-2) с пусковыми органами повышенной чувствительности.

В четвертой главе приведены результаты схемотехнической разработки защиты шин РУ-20 кВ - устройства ускорения действия защиты присоединений 20 кВ подстанций (220/66/20, 220/20, 66/20) кВ (УДЗ-20), а также дифференциальной токовой фазной защиты шин 66 кВ (ДФЗШ) повышенной селективности.

В заключении изложены основные выводы, предложения и результаты диссертационной работы.

В приложении 1 приводится анализ и расчет схемы расщепления для построения пусковых органов быстродействующих групповых защит.

В приложении 2 приводится анализ и расчет фильтров для выделения третьей гармоники тока КЗ в пусковых органах быстродействующей групповой защиты.

Основное содержание работы

I. В работе приводятся результаты исследования распределительных электрических сетей, как объекта защиты, выполнен анализ эффективности и выбор направлений по совершенствованию основных защит РЭССН, от всех видов междуфазных КЗ.

Повышение надежности функционирования РЭССН может быть достигнуто двумя основными путями:

1. Повышение надежности на стадиях конструирования и производства элементов, блоков и устройств; проектирование систем распределения и электроснабжения потребителей; монтажа, наладки и эксплуатации сетей.

2. Обеспечение требуемых (нормируемых) надежностных характеристик сетей за счет повышения эффективности ВЗС: в первую очередь УРЗ от всех видов КЗ; устройств противоаварийной и технической автоматики, контроля, технической диагностики и других устройств системы.

Отметим высокую эффективность второго направления, позволяющего при минимальных (по отношению к стоимости защищаемых объектов) затратах и издержках на эксплуатацию получить существенное повышение надежности функционирования первичных, по отношению к ВЗС, объектов РЭССН.

В связи с вышеизложенным, задачу повышения совершенства и эффективности УРЗ наиболее слабых звеньев РЭССН САР, к которым относятся ВЛ-20 кВ и шины ЗРУ-20 кВ и ОРУ-66 кВ подстанций, целесообразно решать как многокритериальную оптимизационную задачу с максимально достижимой в настоящее время экстремизацией параметрических и других критериев эффективности УЗР при некоторых фиксированных ограничениях, например, по стоимости в % от стоимости защищаемого оборудования и ВЛ.

II. При проведении анализа оценки аппаратурной надежности статических УРЗ использовался алгоритм вычисления вероятности $P(t)$ исправной работы устройств, основанный на DN-распределении случайных отказов (по Стрельникову В.П.)

$$F(t) = \Phi\left(\frac{at-1}{V\sqrt{at}}\right) + e^{2V^2} \Phi\left(-\frac{at+1}{V\sqrt{at}}\right),$$

где V - коэффициент вариации процесса деградации; a - средняя скорость изменения определяющего параметра; $\Phi(x)$ - табулированная функция распределения. Приведены результаты расчетов (рис.1)

вероятности безотказной работы условных структур ВЗС состоящих из $n \in \{1, \dots, 40\}$ микросхем средней интеграции, работающих в предельных, по длительности, режимах эксплуатации ($T_i \in \{5, \dots, 20\}$ лет), с разной степенью резервирования устройств. Для обеспечения высоких уровней надежности $P(t) \geq 0.9$, в устройствах защиты необходимо использовать микросхемы средней интеграции с $\lambda_0 \leq 0.4 \cdot 10^{-7}$, что может быть достигнуто путем применения обесточенного режима эксплуатации в период "дежурства". При этом внезапные отказы электрического происхождения практически отсутствуют, а деградиационные процессы протекают крайне медленно.

III. В наиболее общем виде функционирование максимальных токовых защит (МТЗ) объектов РЭССН от всех видов КЗ может быть представлено математическими моделями вида:

$$\begin{aligned}
 1. \quad F(t) &= \begin{cases} \varphi(X_i^H) < [K]X_i^P D^{\uparrow t(\varphi(X_i^H))} = Y(0) \\ \varphi(X_i^{ab}) \geq [K]X_i^P D^{\uparrow t(\varphi(X_i^{ab}))} = Y(1) \end{cases}; \\
 2. \quad F(t) &= \begin{cases} \varphi(X_i^H) < [K]X_i^P D^{\uparrow t} = Y(0) \\ \varphi(X_i^{ab}) \geq [K]X_i^P D^{\uparrow t} = Y(1) \end{cases}; \\
 3. \quad F(t) &= \begin{cases} \varphi(X_i^H) < [K]X_i^P(\tau, t) D^{\uparrow t(\varphi(X_i^H))} = Y(0) \\ \varphi(X_i^{ab}) \geq [K]X_i^P(\tau, t) D^{\uparrow t(\varphi(X_i^{ab}))} = Y(1) \end{cases}; \\
 4. \quad F(t) &= \begin{cases} \varphi(X_i^H) < [K]X_i^P(\tau, t) D^{\uparrow t} = Y(0) \\ \varphi(X_i^{ab}) \geq [K]X_i^P(\tau, t) D^{\uparrow t} = Y(1) \end{cases},
 \end{aligned}$$

где $F(t)$ - функция переключения; $\varphi(X_i^H)$, $\varphi(X_i^{ab})$ - функции преобразования векторов фазных токов защищаемых объектов, соответственно, в нормальных и аварийных режимах; $[K]$ - обобщенный коэффициент, характеризующий конструктивные параметры защит и условия их применения: $[K] = (K_H \cdot K_{CX} \cdot K_{П} / K_B)$, здесь K_H , K_{CX} , $K_{П}$, K_B - коэффициенты, соответственно, надежности, схемы, самозапуска, возврата; X_i^P - значения расчетных токов нагрузки, от которых отстраняется защита, при этом $X_i^P = (S_{H.P.max} / \sqrt{3}U)$; $\tau = \{\tau_i\}$ - вектор-функция запаздывания вектора X_i^P при изменении величины нагрузки в функции времени; D^{\uparrow} - оператор задержки; $t(\varphi(X_i^{ab}))$ - величина выдержки времени срабатывания защиты в функции X^{ab} ; Y - выходные сигналы защиты. Модель 1 соответствует условиям функционирования МТЗ объектов РЭССН с зависимой от тока КЗ выдержкой времени срабатывания. Модель 2 - МТЗ с независимой выдержкой времени срабатывания. Модель 3 соответствует условиям функционирования максимальной токовой адаптивной защиты объектов РЭССН, у которых вектор поля

токов нагрузок зависит (с запаздыванием τ) от фактических, текущих, токов нагрузок с зависимой от тока КЗ выдержкой времени срабатывания. Модель 4 - адаптивной МТЗ с независимой выдержкой времени срабатывания.

При анализе входных сигналов в цепях пусковых токовых органов групповых защит при несимметричных КЗ использовалась расчетная схема приведенная на рис. 2, где $I_A^{(2)} \approx \sum I_{AHn} + I_A^{(2)} = \sum I_{AHn}$;

$$I_B^{(2)} \approx \sum I_{BHn} + I_B^{(2)}; \quad I_C^{(2)} \approx \sum I_{CHn} + I_C^{(2)}; \quad I_{Bn}^{(2)} = I_{Cn}^{(2)} = I_n^{(2)}, \quad \text{где } \sum I_{AHn},$$

$\sum I_{BHn}, \sum I_{CHn}$ - суммарный ток нагрузки неповрежденных линий.

Без учета нагрузки I'_{AH} и R_g дуги КЗ токи при 2-х фазных КЗ составят:

$$\left. \begin{aligned} I_B^{(2)} &\equiv \frac{\dot{E}_{BC} [(Z_{ВЛ}^3 + Z_{ВН}^3) + Z'_{ВЛ}]}{2 [Z_{ВП} (Z_{ВЛ}^3 + Z_{ВН}^3) + Z_{ВП} \cdot Z'_{ВЛ} + (Z_{ВЛ}^3 + Z_{ВН}^3) Z'_{ВЛ}]} \\ I_C^{(2)} &\equiv \frac{\dot{E}_{BC} [(Z_{СЛ}^3 + Z_{СН}^3) + Z'_{ВЛ}]}{2 [Z_{СП} (Z_{СЛ}^3 + Z_{СН}^3) + Z_{СП} \cdot Z'_{СЛ} + (Z_{СЛ}^3 + Z_{СН}^3) Z'_{СЛ}]} \\ I_B^{(2)} &\equiv \frac{-j\sqrt{3} \cdot \dot{E}_A}{2(Z_C + Z'_L)} + \frac{\dot{E}_A}{Z_C + Z'_L + Z'_N} \\ I_C^{(2)} &\equiv \frac{j\sqrt{3} \cdot \dot{E}_A}{2(Z_C + Z'_L)} + \frac{\dot{E}_A}{Z_C + Z'_L + Z'_N} \end{aligned} \right\}$$

С учетом симметрирующего влияния токов нагрузки I'_{AH} и R_g :

$$\left. \begin{aligned} I_B^{(2)} &\equiv \frac{-j\sqrt{3} \cdot \dot{E}_A}{2(Z_C + Z'_L)} + \frac{\dot{E}_A}{Z_C + Z'_L + Z'_N} - \frac{\dot{E}_A}{2(Z_C + Z'_L + Z'_N)} \\ I_C^{(2)} &\equiv \frac{j\sqrt{3} \cdot \dot{E}_A}{2(Z_C + Z'_L + R_g/2)} + \frac{\dot{E}_A}{Z_C + Z'_L + Z'_N} - \frac{\dot{E}_A}{2(Z_C + Z'_L + Z'_N)} \end{aligned} \right\}$$

здесь $Z_{АП}, Z_{ВП}, Z_{СП}, Z_C$ - продольные предвключенные сопротивления и обобщенное сопротивление системы; $Z_{АЛ}^3, Z_{ВЛ}^3, Z_{СЛ}^3, Z'_L$ - продольные эквивалентные сопротивления неповрежденных линий и обобщенное сопротивление линии; $Z_{АН}^3, Z_{ВН}^3, Z_{СН}^3, Z'_N$ - продольные эквивалентные сопротивления нагрузки неповрежденных линий и обобщенное сопротивление нагрузки; $Z'_{АЛ}, Z'_{ВЛ}, Z'_{СЛ}, Z'_L$ - продольные и обобщенное сопротивления поврежденных линий; $Z'_{АН} = Z'_{ВН} = Z'_{СН} = Z'_N$ - продольные и обобщенное сопротивления нагрузки поврежденных

линий; $I_A^{(2)}, I_B^{(2)}, I_C^{(2)}$ - суммарный ток двухфазных КЗ; $I'_{Bn}^{(2)}, I'_{Cn}^{(2)}, I'_n^{(2)}$ - токи двухфазных КЗ поврежденных линий, соответственно, в фазах В, С и обобщенный ток двухфазного КЗ; $\dot{E}_A, \dot{E}_B, \dot{E}_C$ - фазные Э.Д.С.

При построении пускового органа односистемной защиты используется шестифазный выпрямительный мост (рис.3). Проведенный анализ показал, что при двухфазных КЗ в любой точке защищаемой сети 20 кВ на выходе моста, особенно при подавлении постоянной составляющей четко фиксируются импульсы токов несимметричных КЗ при соотношении тока нагрузки к току КЗ до 6, что позволяет обеспечить требуемую чувствительность групповой защиты при самых удаленных КЗ в сети 20 кВ (рис.4).

При КЗ на линиях и за трансформаторами подстанций 20/0.4 кВ уровень токов третьей гармоники возрастает, что является весьма информативным признаком распознавания дуговых КЗ. При этом, возможно создание эффективных органов реагирующих на токи третьей гармоники, которые могут быть использованы в качестве основных пусковых, или при необходимости, блокирующих органов быстродействующих защит.

Произведен синтез быстродействующей предупредительной групповой защиты сетей 20 кВ (БПГЗ-20). Блок-схема этой защиты приведена на рис.5. При КЗ в любой точке защищаемой сети, например, в K_1 , срабатывает пусковой орган групповой защиты и с минимально возможной выдержкой времени t_3 производится отключение выключателя В. После этого запускается устройство трехкратного АПВ. В случае неуспешного третьего крата АПВ, например, при металлических КЗ, выключатель В включается на КЗ и поврежденная ВЛ1 отключается своей селективной защитой З1 с выдержкой времени t_{31} . При КЗ в точке K_2 на шинах 20 кВ подстанции, от пусковых органов штатной защиты через выдержку времени t_2 отключается вводный выключатель В. В этом случае от пусковых органов защиты и других цепей запускается устройство однократного АПВ1 шин. При применении рассматриваемой защиты эффективность успешных трехкратных АПВ, с учетом минимального времени отключения дуговых КЗ (0.05-0.1 с) достигает 0.95 и более. Это означает, что практически все КЗ в защищаемых электрических сетях будут проходить без последствий и, соответственно, без длительных отключений потребителей.

IV. В работе рассмотрен вариант реализации системы защиты шин РУ-20 кВ - системы ускорения действия защиты присоединений РУ-20 кВ с помощью пусковых органов основных штатных защит присоединений с использованием логической функции "ЗАПРЕТ" (рис.6). Устройство обеспечивает избирательное отключение выключателей ближайших к точке КЗ за время порядка 0,05-0,1с.

Логические формулы функционирования системы, например, для послеаварийного режима 2-х трансформаторной подстанции при отключенном трансформаторе 1Т1, имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} X_1(t) &= (1T_{1A} \vee 1T_{1C} \vee 1T_{1A+C}) D^{\uparrow t_1}, \\ X_2(t) &= [(1T_{2A} \vee 1T_{2C} \vee 1T_{2A+C}) \wedge \overline{(1T_{1A} \vee 1T_{1C} \vee 1T_{1A+C})}] D^{\uparrow t_1}, \\ X_3(t) &= [(1T_{3A} \vee 1T_{3C} \vee 1T_{3A+C}) \wedge \overline{(1T_{2A} \vee 1T_{2C} \vee 1T_{2A+C})}] D^{\uparrow t_1}, \\ X_4(t) &= [(1T_{4A} \vee 1T_{4C} \vee 1T_{4A+C}) \wedge \overline{(1T_{3A} \vee 1T_{3C} \vee 1T_{3A+C})}] D^{\uparrow t_1}. \end{aligned} \right\}$$

где t_1 - время ускоренного отключения выключателей 1В1, 1В2, 2В3, 2В4; $(1T_{1A} \vee 1T_{1C} \vee 1T_{1A+C})$, $(1T_{2A} \vee 1T_{2C} \vee 1T_{2A+C})$, $(1T_{3A} \vee 1T_{3C} \vee 1T_{3A+C})$, $(1T_{4A} \vee 1T_{4C} \vee 1T_{4A+C})$ - сигналы от токовых пусковых органов, включенных на токи I_A , I_C и I_A+I_C трансформаторов тока в цепях соответственно, выключателей 1В1, 1В2, В3 и 2В4.

На рис.6, $(1T_1 \div 1T_n)$, $(2T_1 \div 2T_n)$, $(1T_2, 2T_2)$, T_3 , $(1T_4, 2T_4)$ - пусковые токовые органы штатных защит, соответственно, по ступеням блокировки; $\{(1Y_1 \div 1Y_n) \div (2Y_1 \div 2Y_n)\}$, $(1Y_2 - 2Y_2)$, Y_3 , $(1Y_4 - 2Y_4)$ - устройства ускорения действия защит (УДЗ) по ступеням блокировки; $(U_{c_{b_1}} \div U_{c_{b_4}})$, $(U_{b_1} \div U_{b_4})$ - напряжения, соответственно, выходных и приемных напряжений блокировки в линии связи между комплектами УДЗ. Для нормального функционирования системы необходимо соблюдение условий: $(U_{c_{b_1}} > U_{c_{b_2}} > U_{c_{b_3}})$ и $(U_{b_1} > U_{c_{b_1}})$, $(U_{b_2} > U_{c_{b_2}})$, $(U_{b_3} > U_{c_{b_3}})$, $(U_{b_4} > U_{c_{b_4}})$, выполнение которых не связано с техническими трудностями.

Кроме этого, в работе рассмотрен вариант новой дифференциальной токовой фазной защиты шин 66 кВ повышенной селективности. Защита обеспечивает селективность при мощных внешних КЗ, сопровождающихся большими погрешностями измерительных ТТ, доходящими до 95% из-за глубокого насыщения магнитопроводов ТТ периодической и аperiodической составляющей токов КЗ.

При анализе сигналов на входе дифференциальной токовой фазной защиты шин (ДФЗШ) выполнены расчеты мгновенных значений вторичных токов i_2 от ТТ и токов намагничивания i_0 перегружаемых ТТ. При этом использовались соотношения:

$$\left. \begin{aligned} i_{2n} &= \frac{\omega L_{0,S}}{\sqrt{R_{2n}^2 + \omega^2 L_{0,S}^2}} I'_{m,2n} \sin\left(\omega t - \arctg \frac{1}{\omega T_2}\right) - A_{2n} \exp\left(-\frac{t-t_S^n}{T_2}\right); \\ i_{2n(0)} &= \frac{R_{2n}}{\sqrt{R_{2n}^2 + \omega^2 L_{0,S}^2}} I'_{m,2n} \sin(\omega t - \arctg \omega T_2) - A_{2n} \exp\left(-\frac{t-t_S^n}{T_2}\right), \end{aligned} \right\}$$

где i_{2n} , $i_{2n(0)}$, $I'_{m.2n}$, A_{2n} - соответственно, искаженный вторичный ток, ток намагничивания, амплитудные значения синусоидального первичного приведенного тока и экспоненциальной составляющей вторичного тока перегружаемых ТТ, возникающей при их насыщении; R_{2n} - активное сопротивление вторичных обмоток ТТ; $L_{0,S}$ - индуктивность ветви намагничивания ТТ при его насыщении. Из проведенного анализа сделан вывод о целесообразности использования тока намагничивания $i_{2n(0)}$ для "восстановления" формы импульсов вторичного тока, что может существенно повысить селективность дифференциальной токовой фазной защиты шин.

Блок-схема защиты и графики изменения значений токов от ТТ, соответственно, при внешнем КЗ и при КЗ в зоне действия приведены на рис. 7, 8. На графиках аperiodические токи КЗ ($-I_a$, $+I_a$), для наглядности, условно показаны незатухающими. Повышение эффективности этой защиты осуществляется путем "исправления" формы импульсов тока в дифференциальных контурах защиты с помощью введения в эти контура токов намагничивания ТТ от дифференциальных контуров на циркуляцию токов.

Логическая формула срабатывания такой защиты имеет вид:

$x(I) = (TO \cap \Phi O1 \cap \Phi O2) \cdot D^{\uparrow 1/2}$ Можно записать, что $i_n = i'_n + i_{n(0)}$, где i'_n - вторичный ток ТТ на "идеальном" участке трансформации до насыщения ТТ в точках $\pm I_S$; $i_{n(0)}$ - ток намагничивания ТТ. При внешних КЗ ток $i_{n(0)}$ на выходе контура I "дополнит" в фазных контурах защиты искаженный ток i'_n до i_n . В этом случае величина паузы $t_{(+II)}$ и $t_{(-II)}$ существенно сокращается до величины $t'_{(+II)}$ и $t'_{(-II)}$. Защита надежно отключает поврежденную секцию (систему) шин, при условиях: $I_d > I_c$; $t_{(+II)} > t_c$; $t_{(-II)} > t_c$; здесь I_c - уставка срабатывания органа ТО по току; I_d - дифференциальный ток на выходе контура I; t_c - уставка срабатывания фазных органов $\Phi O1$, $\Phi O2$ по длительности пауз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе решена важная задача повышения эффективности и технического совершенства устройств релейной защиты от всех видов междуфазных коротких замыканий наиболее массовых распределительных электрических сетей среднего напряжения применительно к условиям Сирийской Арабской Республики.

Из всего множества устройств релейной защиты электрических сетей на основе статистического анализа выделены защиты ВЛ-20 кВ, защиты шин РУ - 20, 66 кВ, подстанций { 220/66/20, 220/20, 66/20 } кВ, имеющие самые низкие показатели в части быстродействия, селективности - надежности функционирования. На основе теоретичес-

ких исследований предложены методы и подходы для реализации эффективных устройств и систем релейных защит указанных объектов распределительных электрических сетей 20 кВ, в результате чего повышается надежность и качество электроснабжения потребителей, снижаются приведенные затраты на строительство и эксплуатацию электрических сетей.

При этом получены следующие результаты.

1. На основе анализа статистических данных показано, что наиболее слабыми звеньями в системе является ВЛ-20 кВ и шины РУ-20, 66 кВ подстанций. Существующие индивидуальные защиты ВЛ-20 кВ на подстанциях имеют повышенные, измеряемые секундами, времена срабатывания, что приводит к разрушению изоляторов и других элементов ВЛ при КЗ, и низкой эффективности АПВ, доходящей до 40% успешных АПВ. В энергосистеме республики практически отсутствуют быстродействующие защиты шин ЗРУ-20 кВ, а существующие защиты шин ОРУ-66 кВ имеют самые низкие показатели эффективности по сравнению с другими защитами.

2. Показано, что для построения вышеуказанных эффективных УРЗ следует использовать основные положения теорий эволюционного развития систем и системотехники, в том числе:

- целесообразность широкого использования группового принципа построения системы;
- объективность перехода наиболее совершенных устройств и систем в состав сложных систем и развитие их в составе последних;
- повышение эффективности технических систем при использовании принципа "созидательного симбиоза" и др.

3. Аппаратурная надежность УРЗ существенно возрастает при использовании во время эксплуатации пассивного, обесточенного, режима. При расчетах аппаратурной надежности УРЗ целесообразно использование двухпараметрической модели отказов на основе диффузионно-немонотонного DN-распределения, наиболее адекватно характеризующего физические деградационные процессы в компонентах УРЗ.

4. На основании теоретических исследований показано, что при синтезе быстродействующей групповой защиты сетей от дуговых КЗ целесообразно использование пусковых органов, реагирующих непосредственно на форму токов (напряжений) и на третью гармонику тока КЗ, являющихся достаточно информативными признаками распознавания дуговых КЗ в сетях 20 кВ.

5. Проведенный графо-аналитический анализ формы токов (напряжений) в дифференциальных и фазных контурах дифференциально-токовых, фазных защит шин ОРУ выявил возможность существенного повышения селективности указанных защит шин путем

“исправления” формы импульсов вторичного тока (напряжения) в фазных контурах защит с помощью введения в эти контура токов намагничивания трансформаторов тока от дифференциальных контуров на циркуляцию токов.

6. Предложен алгоритм функционирования и синтезирования новой быстродействующая групповая предупредительная защита на вводных выключателях 20 кВ в цепях трансформаторов на подстанциях { 220/66/20, 220/20, 66/20 } кВ без использования пусковых органов штатных МТЗ отходящих линий 20 кВ. Разработана принципиальная схема и изготовлен опытный лабораторный образец защиты БГЗ-20-2.

7. Показана целесообразность использования для шин ЗРУ-20кВ подстанций защиты на токовом принципе действия с использованием функции “ЗАПРЕТ”, предложен новый алгоритм структуры дифференциальной токовой фазной защиты шин 66 кВ повышенной селективности, допускающей практически любую погрешность ТТ присоединений при их глубоком насыщении, разработаны принципиальная схема и конструкция, изготовлен опытный образец указанной защиты.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах

1. Синельников В.Я., Баддур З. Оценка аппаратурной надежности статических устройств релейной защиты и автоматики / Автоматизация и релейная защита в энергосистемах: Сб. Науч. тр.- Киев, 1992.

Соискателем лично проведены расчеты надежностных характеристик исследуемых защит и показаны пути повышения их надежности.

2. Синельников В.Я., Баддур З. Система быстродействующей защиты электрических сетей от коротких замыканий / Автоматизация и релейная защита в энергосистемах: Сб. Науч. тр.- Киев, 1994. - С.86-94.

Соискателем предложены варианты структур защиты, намечены схематические способы и их реализация.

3. Синельников В.Я., Казанский С.В., Баддур З. Синтез системы селективного ускорения защит распределительных устройств сетевых подстанций в электрических сетях // Автоматизация и релейная защита в энергосистемах Сб. науч. тр.- Киев, 1994.

Соискателем выполнен анализ существующих способов построения защит шин 20 кВ, в том числе и на подстанциях Сирии, послуживший основой для разработки варианта системы ускорения действия штатных защит присоединении в РУ-20 кВ подстанций.

4. Синельников В.Я., Баддур З. Оценка эффективности защитных устройств / Автоматизация и релейная защита в энергосистемах: Сб. Науч. тр. - Киев, 1995.

Соискателем разработаны математические модели эффективности МТЗ через критерии чувствительности и селективности действия; произведены практические расчеты значений функционала минимизации ступеней селективности по времени между смежными компонентами защит с учетом погрешности органов выдержки времени рассматриваемых защит.

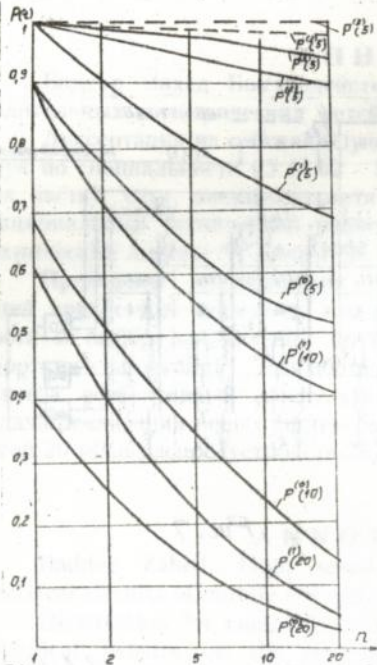


Рис. 1

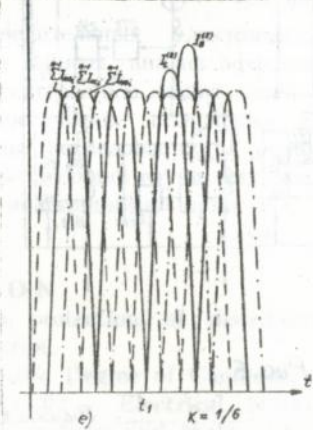
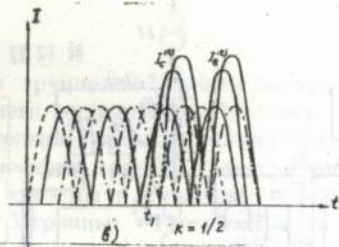


Рис. 4

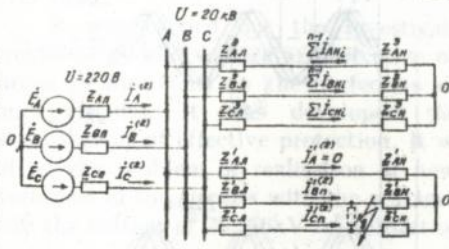


Рис. 2

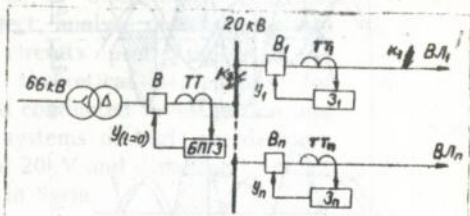


Рис. 5

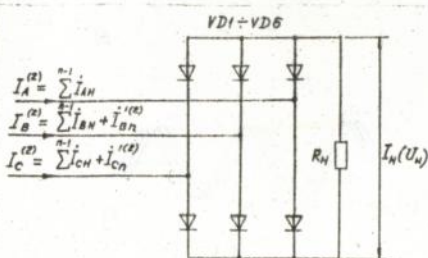


Рис. 3

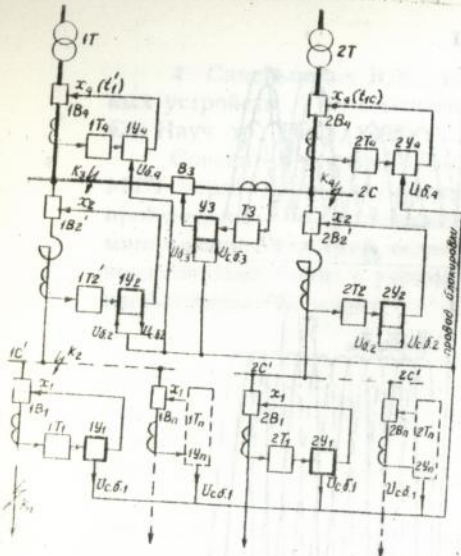


Рис. 6

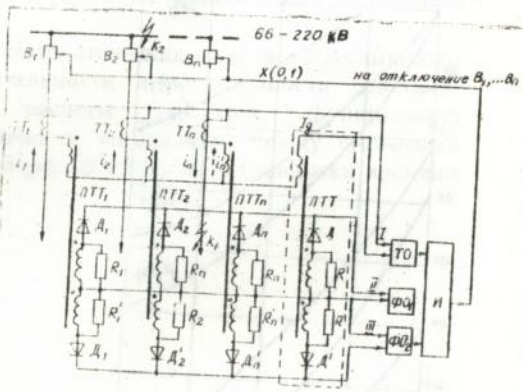


Рис. 7

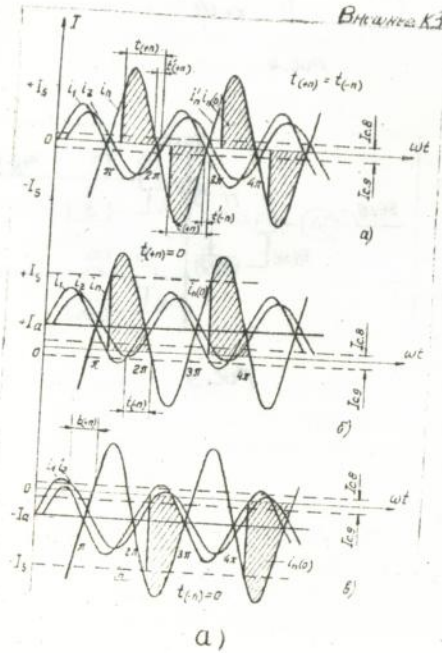
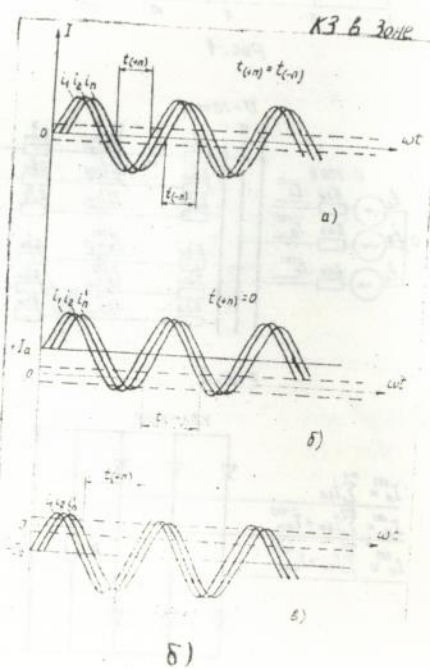


Рис. 8



8)

АННОТАЦІЯ

Баддур Захед. Быстродействующие групповые защиты распределительных электрических сетей среднего напряжения. Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 - Электрические станции (электрическая часть), сети, электроэнергетические системы и управление ими. Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", Киев 1996 г.

Проведены исследования распределительных электрических сетей среднего напряжения, как объекта защиты, анализ эффективности и выбор направлений по совершенствованию защит сетей от коротких замыканий. Разработаны теоретические положения для синтеза эффективных защит, выполнены исследования и решена задача реализации новых систем быстродействующих групповых защит сетей 20 кВ и распреедурств 20, 66 кВ подстанций в Сирии.

ANNOTATION

Baddur Zahed. High speed group protection of distributive electrical circuits of middle voltage. Manuscript.

Dissertation for competition of Scientific Degree of Candidate of Technical Science on the speciality 05.14.02 - Electrical Stations (electrical part), circuits, electrical power systems and their control. National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv 1996.

It was carried out the investigations of distributive electrical circuits of middle voltage as protective object, analyse of efficiency and choose of directions on the perfection of circuits' protection from the short circuits. It was developed the theoretical statements for establishment of effective protection. It was conducted investigation and solved the problem of realisation of new systems of high speed group protection of the circuits with the voltage of 20kV and distributive boxes with the voltage of 20, 66kV for substation in Syria.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

AB 34.360