

6.
А-60

327

7

РИЖСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

В. Г. ГАРКЕ

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛЕЙНЫХ
ОРГАНОВ ИМПУЛЬСНОГО ТИПА**

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ № 05-254 - АВТОМАТИЧЕСКОЕ
УПРАВЛЕНИЕ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ПО ОТРАСЛИ
„ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ“

АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

РИГА - 1971

РИЖСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

В. Г. ГАРКЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛЕЙНЫХ
ОРГАНОВ ИМПУЛЬСНОГО ТИПА

(№ 05.254 - автоматическое управление и
регулирование по отрасли "Электрические
системы")

Автореферат диссертации на
соискание ученой степени кандидата
технических наук

РИГА - 1971



Работа выполнена в Рижском ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте.

Научный руководитель доктор технических наук,
 профессор ФАБРИКАНТ В.Л.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
 профессор КАГАНОВ З.Г.,
 г. Новосибирск,

 кандидат технических наук,
 ПОПОВ И.Н., г. Москва.

Ведущая организация - Всесоюзный научно-исследовательский институт релестроения, г. Чебоксары.

Автореферат разослан "9" сентября 1971 года. Защита диссертации состоится "11" октября 1971 года на заседании Совета по присуждению ученых степеней факультетов электроэнергетического, радиотехники и связи, автоматики и вычислительной техники Рижского политехнического института, бульвар Кронвальда, I, электроэнергетический факультет, актовый зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РПИ (улица Ленина, Ia).

Ваш отзыв в двух экземплярах, заверенный печатью, просим направлять по адресу:

Рига, 226047, ул. Ленина, I, Рижский политехнический институт.

Ученый секретарь РПИ

/И.Г. Ермолин/

В В Е Д Е Н И Е

Бурный рост энергетики приводит к качественным изменениям в энергосистемах, ставит все более усложняющиеся задачи перед релейной защитой. Одним из наиболее важных требований к устройствам релейной защиты, приобретающим решающее значение в последние годы, является их быстродействие. Малое время действия реле позволяет, с одной стороны, повысить устойчивость энергосистем либо пропускную способность линий электропередач, с другой стороны, снизить размеры повреждений либо предупредить развитие аварии. В любом из вышеперечисленных случаев достигается значительный экономический эффект.

Все устройства релейной защиты, установленные в энергосистемах, а также подавляющее большинство из проектируемых, рассчитаны на работу при синусоидальных входных величинах, то есть в установившихся режимах. В то же время повреждения в энергосистемах сопровождаются переходными процессами. С ростом мощности и протяженности энергосистем время существования переходных процессов растет, так как мощные генераторы, трансформаторы, линии электропередачи имеют малые активные сопротивления. Так, при повреждениях на зажимах мощного генератора постоянная времени цепи короткого замыкания достигает 0,5 сек. Наличие же емкостных элементов в энергосистеме (устройства продольной компенсации, поперечная емкость протяженных линий электропередачи) приводит к сложному характеру переходных процессов.

Во многих работах, как отечественных, так и зарубежных, показано, что существующие релейные устройства во время сложного переходного процесса могут работать неправильно.

Поэтому для получения быстродействующих устройств релейной защиты (время срабатывания в пределах одного периода промышленной частоты) необходимо, чтобы они работали правильно и в переходном режиме при сложной форме кривой тока повреждения.

Известно несколько принципов построения устройств релейной защиты, действие которых не зависит от формы кривой тока

повреждения. В настоящей работе рассматривается принцип измерения в фиксированные моменты времени (ИФМВ). Исследуется возможность построения на этом принципе дистанционного измерительного органа для защиты линий электропередач.

Диссертация состоит из пяти глав и шести приложений.

Первая глава посвящена литературному обзору и теоретическому обобщению указанного принципа построения измерительных органов. Анализ работы измерительных органов, выполненных по принципу ИФМВ, приводится во второй главе. Работа измерительных органов рассматривается с учетом вредных факторов, которые оказывают влияние на действие устройств релейной защиты. В третьей главе предлагаются новые разработки дистанционных измерительных органов для защиты линий электропередач. Определяется область их применения. Расчеты конкретных схем измерительных органов даны в четвертой главе, а испытания известных и предлагаемых дистанционных измерительных органов - в пятой главе.

Громоздкие математические выводы и некоторые результаты расчетов приведены в приложениях.

Г Л А В А I

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ОРГАНЫ ИФМВ

Измерительные органы с измерением мгновенных значений величин относятся к реле импульсного типа. Последние появились еще в 1934 году с появлением электронной аппаратуры. С переходом на полупроводниковую технику данные реле получили дальнейшее развитие. До последних лет работа импульсных реле рассматривалась лишь при синусоидальных входных величинах. Для сложных реле с двумя подведенными величинами импульсный принцип построения измерительных органов классифицирован как определение знака одной из величин в момент импульса, полученного от другой, и подробно рассмотрен в отечественной литературе.

В 1966 году во Франции был предложен новый принцип постро-

ения измерительных органов, действие которых не зависит от формы кривой тока повреждения. В данных реле знаки двух величин сравниваются в момент импульса, полученного из третьей величины, то есть производится измерение в фиксированные моменты времени. Принцип измерения в фиксированные моменты времени довольно близок к принципу использования совпадения по знаку четырех (трех) мгновенных величин, также известному из отечественной литературы. Но основное отличие принципа ИФМВ от существующих - возможность работы измерительных органов при любой форме кривой тока повреждения, что позволяет выполнить быстродействующую защиту.

На рис. I показана блок-схема измерительного органа, выполненного по принципу ИФМВ.

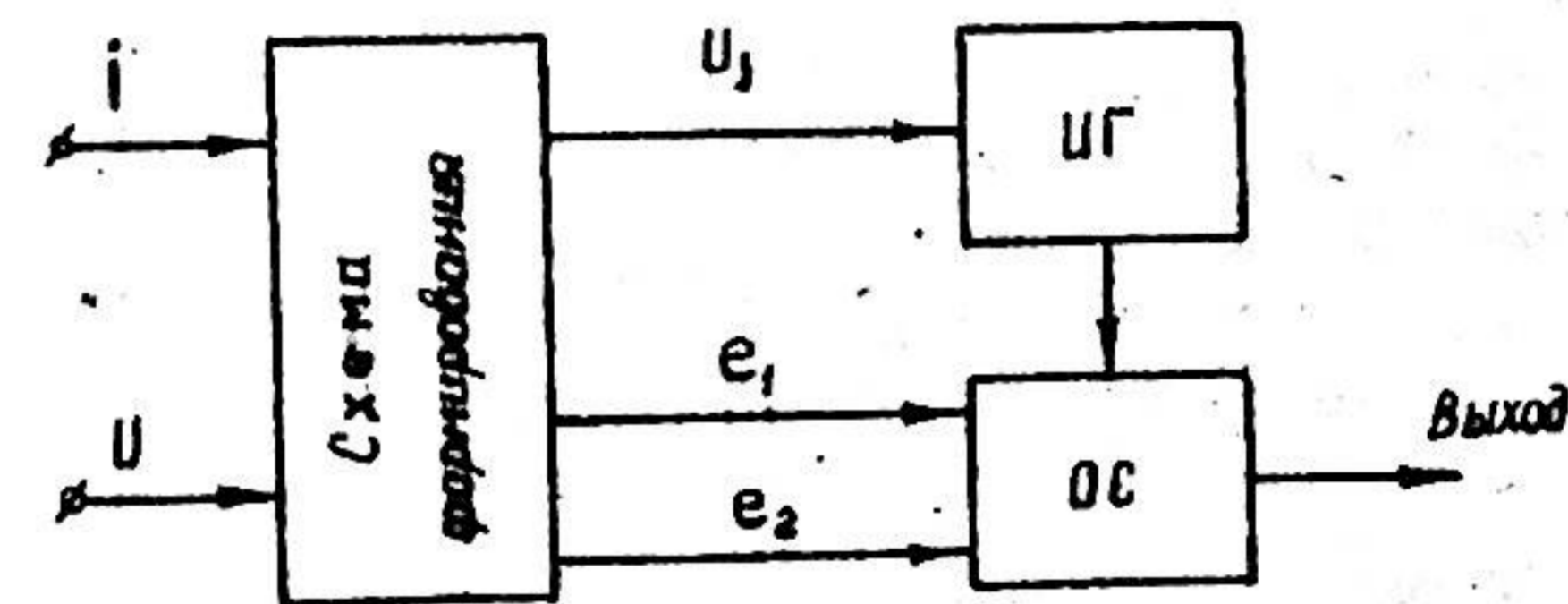


Рис. I. Блок-схема измерительного органа; ИГ - импульсный генератор; ОС - орган сравнения.

На схему формирования подаются напряжение u и ток i защищаемой линии. Со схемы формирования снимаются три величины:

$$u_3 = k_3 u + r_3 i + \frac{x_3}{\omega} \frac{di}{dt}, \quad (1)$$

$$e_1 = k_1 u + r_1 i + \frac{x_1}{\omega} \frac{di}{dt}, \quad (2)$$

$$e_2 = k_2 u + r_2 i + \frac{x_2}{\omega} \frac{di}{dt}, \quad (3)$$

где

u_3 - напряжение, подаваемое на вход импульсного генератора (напряжение запуска),

e_1, e_2 - две сравниваемые величины,

k_3, k_1, k_2 - вещественные безразмерные коэффициенты,

u, i - напряжение и ток защищаемой линии (коэффициенты трансформаторов напряжения и тока приняты равными единице),

$r_3, r_1, r_2, x_3, x_1, x_2$ - параметры токовой цепи измерительного органа, причем x - индуктивное сопротивление при синусоидальном токе частотой 50 гц.,

ω - угловая частота при 50 гц.

Если напряжение в начале линии (в месте установки защиты) при повреждениях равно

$$u = R i + \frac{X}{\omega} \frac{di}{dt}, \quad (4)$$

где R, X - параметры линии электропередачи до места повреждения,

то выражения по (1) + (3) можно записать в виде:

$$u_3 = (k_3 R + r_3) i + \frac{k_3 X + x_3}{\omega} \frac{di}{dt}, \quad (5)$$

$$e_1 = (k_1 R + r_1) i + \frac{k_1 X + x_1}{\omega} \frac{di}{dt}, \quad (6)$$

$$e_2 = (k_2 R + r_2) i + \frac{k_2 X + x_2}{\omega} \frac{di}{dt}. \quad (7)$$

Напряжение запуска подается на импульсный генератор, на выходе которого снимается короткий разрешающий сигнал в момент прохода мгновенного значения u_3 через нуль. Для момента

времени, когда $u_3 = 0$, получаем из (5)

$$\frac{di}{dt} = - \frac{k_3 R + r_3}{k_3 X + x_3} \omega i. \quad (8)$$

Для этого момента времени величины e_1 и e_2 выражаются из (6) и (7) с учетом (8) следующим образом:

$$e_1 = i \left[k_1 R + r_1 - \frac{k_3 R + r_3}{k_3 X + x_3} (k_1 X + x_1) \right], \quad (9)$$

$$e_2 = i \left[k_2 R + r_2 - \frac{k_3 R + r_3}{k_3 X + x_3} (k_2 X + x_2) \right]. \quad (10)$$

Орган сравнения сравнивает знаки мгновенных значений величин e_1 и e_2 : при совпадении знаков e_1 и e_2 и при наличии разрешающего сигнала от импульсного генератора измерительный орган срабатывает (появляется сигнал на выходе органа сравнения), при несовпадении знаков измерительный орган не работает. Условие работы органа сравнения, если пренебречь его потреблением, можно представить как

$$e_1 \cdot e_2 > 0,$$

при $u_3 = 0$.

Подставляя значения e_1 и e_2 из (9) и (10), получим

$$i^2 \left[k_1 R + r_1 - \frac{k_3 R + r_3}{k_3 X + x_3} (k_1 X + x_1) \right] \cdot \left[k_2 R + r_2 - \frac{k_3 R + r_3}{k_3 X + x_3} (k_2 X + x_2) \right] > 0. \quad (II)$$

Знак выражения (II) зависит от членов, заключенных в квадратные скобки, и потому условие срабатывания выражается следующими неравенствами:

$$\begin{cases} K_1 R + r_1 - \frac{K_3 R + r_3}{K_3 X + x_3} (K_1 X + x_1) > 0, \\ K_2 R + r_2 - \frac{K_3 R + r_3}{K_3 X + x_3} (K_2 X + x_2) > 0, \end{cases} \quad (I2)$$

$$\begin{cases} K_1 R + r_1 - \frac{K_3 R + r_3}{K_3 X + x_3} (K_1 X + x_1) < 0, \\ K_2 R + r_2 - \frac{K_3 R + r_3}{K_3 X + x_3} (K_2 X + x_2) < 0. \end{cases} \quad (I3)$$

Если знаки неравенства в (I2) и (I3) заменить знаками равенства, то получим характеристики измерительного органа в плоскости $R, X (L)$

$$X = \frac{K_3 x_1 - K_1 x_3}{K_3 r_1 - K_1 r_3} R + \frac{r_3 x_1 - r_1 x_3}{K_3 r_1 - K_1 r_3}, \quad (I4)$$

$$X = \frac{K_3 x_2 - K_2 x_3}{K_3 r_2 - K_2 r_3} R + \frac{r_3 x_2 - r_2 x_3}{K_3 r_2 - K_2 r_3}.$$

В общем случае, уравнения по (I4) являются уравнениями двух пересекающихся прямых в плоскости $R, X (L)$, рис. 2а.

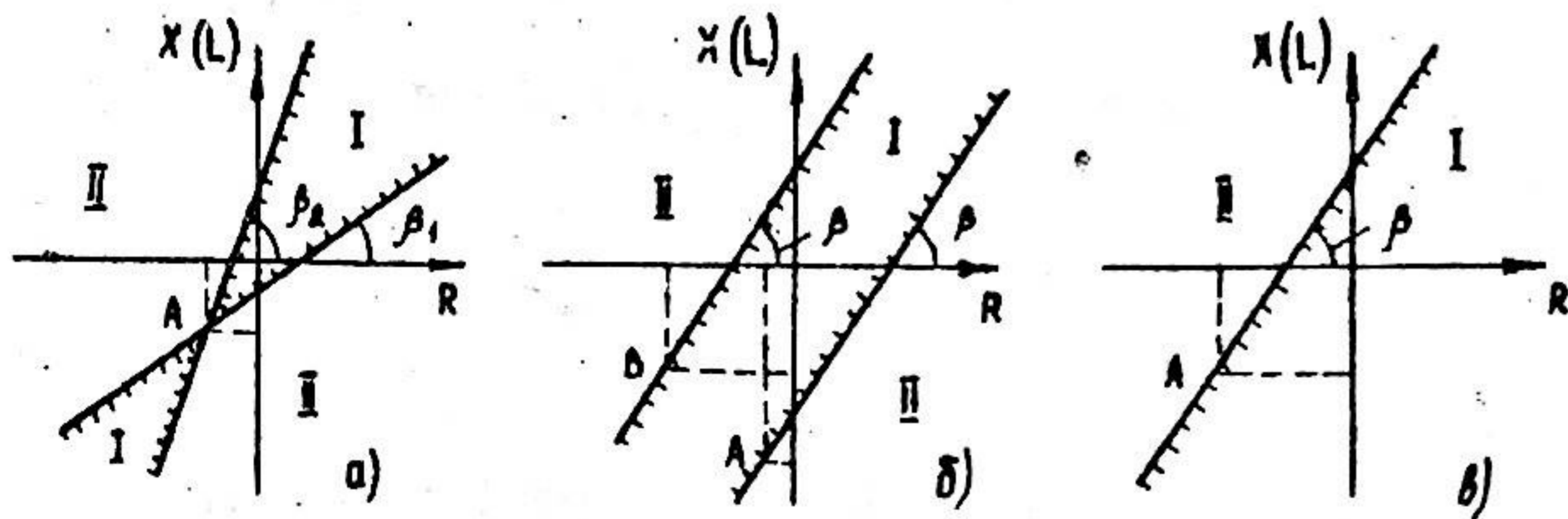


Рис.2. Характеристики измерительных органов:
а) $K_3 \neq 0$, б) $K_3 = 0$, в) $K_3 = 0, K_2 = 0$.

Зона действия I в данном случае представлена двумя областями: одна из них отвечает условию (I2), другая - (I3).

Частные случаи получаются, если какие-либо коэффициенты равны нулю. Так, при $K_1 = 0$ и $K_2 = 0$ имеем (рис. 2а):

$$A \left(-\frac{r_3}{K_3}; -\frac{x_3}{K_3} \right),$$

$$\beta_1 = \arctg \frac{x_1}{r_1}, \quad \beta_2 = \arctg \frac{x_2}{r_2}.$$

В данном случае значительное упрощение схемы формирования ограничило возможные характеристики измерительных органов (лишь две пересекающиеся прямые).

При $K_3 = 0$ имеем (рис. 2б):

$$A \left(-\frac{r_1}{K_1}; -\frac{x_1}{K_1} \right); \quad B \left(-\frac{r_2}{K_2}; -\frac{x_2}{K_2} \right),$$

$$\beta = \arctg \frac{x_3}{r_3}.$$

В данном случае характеристики получаются в виде двух параллельных прямых, причем зона действия I может находиться лишь между прямыми. Она отвечает неравенству (I2) либо (I3). Другое неравенство (I3) либо (I2) автоматически не выполняется, и потому зона недействия II занимает всю плоскость за исключением зоны I.

При $K_3 = 0$ и $K_2 = 0$ получаем данные (рис. 2в):

$$A \left(-\frac{r_1}{K_1}; -\frac{x_1}{K_1} \right),$$

$$\beta = \arctg \frac{x_3}{r_3}.$$

В данном случае второе уравнение (I4) превращается в тождество (отсутствуют переменные члены R и X), и условие действия измерительного органа определяется лишь одним неравенством из пары неравенств (I2) либо (I3). По одну сторону от

прямой - зона действия I, по другую - зона недействия II.

Для того, чтобы получить область действия измерительного органа в виде ограниченной области (характеристика в виде многоугольника), необходимо несколько измерительных органов, рассмотренных выше, объединить логической операцией "И".

Следует указать, что при использовании данного принципа для построения измерительных органов, действующих при синусоидальных входах, можно получить дополнительно характеристики в виде пересечения двух окружностей, прямой и окружности.

Г Л А В А II

АНАЛИЗ РАБОТЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ИФМВ

Принцип измерения в фиксированные моменты времени значительно отличается от существующих принципов и поэтому требует всестороннего изучения с целью выяснения возможности и области его применения для построения измерительных органов релейной защиты. Во всех предыдущих работах принцип ИФМВ рассматривался лишь для идеальных условий, а именно: измерительный орган включался в двухпроводную линию электропередачи с параметрами R , L и короткое замыкание на данной линии принималось металлическим.

В диссертации анализируется работа измерительных органов, выполненных по принципу ИФМВ, в действительных условиях, с учетом всех факторов, влияющих на работу устройств релейной защиты. Метод анализа заключается в следующем: все факторы, которые приводят к отклонениям от идеальных условий, считаются вредными факторами, так как их влияние искажает работу измерительных органов в той или иной мере. Оценив эти искажения, можно дать заключение о возможности применения данного принципа для построения измерительных органов. При анализе исследовались следующие вопросы:

а) способы и схемы включения измерительных органов в трехфазную сеть, работа измерительных органов в неповрежденных фазах,

б) влияние на работу измерительных органов переходного сопротивления в месте повреждения,

в) влияние на работу измерительных органов подпитки, включенной между местом установки защиты и местом повреждения,

г) влияние на работу измерительных органов поперечной емкости линии электропередачи,

д) влияние емкости устройства продольной компенсации линии электропередачи на работу измерительных органов,

е) влияние качаний в энергосистеме на работу измерительных органов,

ж) влияние искажений в измерительных трансформаторах тока и напряжения на работу измерительных органов,

з) время срабатывания измерительных органов.

Измерительные органы, построенные по принципу ИФМВ, могут быть включены в защищаемую трехфазную сеть по тем же схемам, что и обычные измерительные органы:

1) для защиты от междуфазных повреждений - схема включения на междуфазное напряжение и разность токов двух фаз,

2) для защиты от замыканий на "землю" - схема включения на фазное напряжение и ток фазы, скомпенсированный ток нулевой последовательности.

Последняя схема нежелательна из-за зависимости параметров нулевой последовательности линии электропередачи R_0 , L_0 от частоты. Следовательно, при любой форме кривой тока повреждения, содержащей различные гармоники, значения R_0 , L_0 будут меняться.

Измерительные органы, выполненные по принципу ИФМВ, относятся к реле импульсного типа, так как их действие происходит в очень короткие промежутки времени (доли мсек.). Поэтому при рассмотрении влияния переходного сопротивления в месте повреждения, в частности, электрической дуги, на работу измерительных органов необходимо знать мгновенные значения сопротивления дуги, то есть нужно иметь зависимость $R_d = f(t)$. В диссертации данное выражение выведено из уравнения динамического состояния электрической дуги для различных условий работы устройств релейной защиты.

При влиянии переходного сопротивления в месте повреждения,

подпитки, включенной между местом установки защиты и местом повреждения, поперечной емкости линии электропередачи на работу измерительных органов, характеристики последних в плоскости $R, X(L)$ искажаются следующим образом, рис. 3.

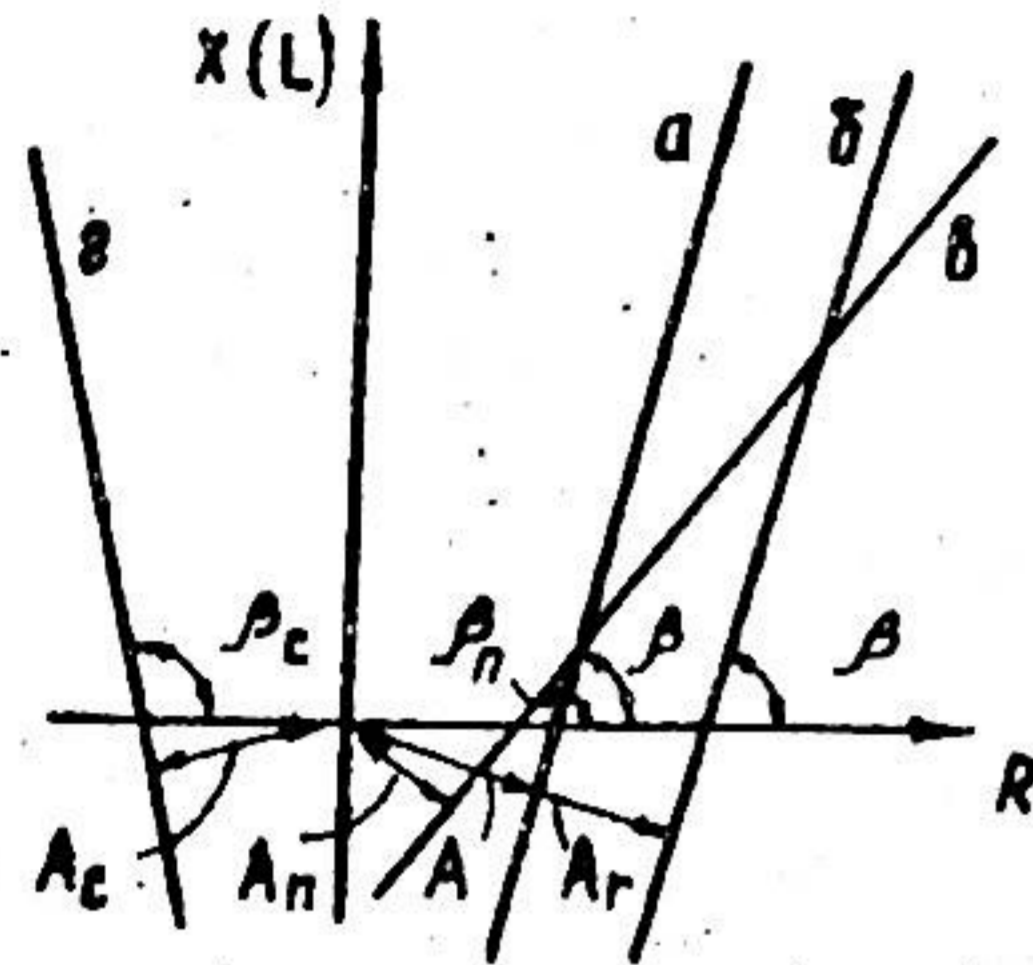


Рис. 3. Характеристики измерительных органов в осях $R, X(L)$: а - при идеальных условиях, б - при р.з. через сопротивление, в - при наличии подпитки, г - при учете поперечной емкости.

Искажения характеристик измерительных органов выражаются формулами:

$$\Delta A_r = \mp F_r r, \quad (15)$$

$$\Delta A_{n*} = 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 2nF_n \cos(\beta + \gamma_n) + n^2 F_n^2}}, \quad (16)$$

$$\Delta \beta_n = \arctg \frac{\sin(\beta + \gamma_n)}{\cos(\beta + \gamma_n) + \frac{1}{nF_n}}, \quad (17)$$

$$\Delta A_{c*} = 1 - \frac{1}{\sqrt{1 - 2F_c \cos(\beta + \gamma_c) + F_c^2}}, \quad (18)$$

$$\Delta \beta_c = \arctg \frac{\sin(\beta + \gamma_c)}{\cos(\beta + \gamma_c) - \frac{1}{F_c}}, \quad (19)$$

где $\Delta A_r = A - A_r$ - абсолютное смещение характеристики под влиянием сопротивления в месте повреждения,

$\Delta A_{n*} = \frac{A - A_n}{A}$ - относительные смещения характеристики под влиянием подпитки и поперечной емкости линии электропередачи, соответственно,

$\Delta A_{c*} = \frac{A - A_c}{A}$ - относительные смещения характеристики под влиянием подпитки и поперечной емкости линии электропередачи, соответственно,

$\Delta \beta_n = \beta - \beta_n$ - углы, на которые поворачивается характеристика под влиянием подпитки и поперечной емкости, соответственно,

$\Delta \beta_c = \beta - \beta_c$ - углы, на которые поворачивается характеристика под влиянием подпитки и поперечной емкости, соответственно,

$$F_r = \frac{\omega |i + i_{en}|}{\sqrt{(\omega l)^2 + \left(\frac{di}{dt}\right)^2}}, \quad (20)$$

i - ток, протекающий со стороны установки защиты,
 i_{en} - ток, протекающий с противоположной стороны,

$$F_n = \sqrt{\frac{(\omega l_n)^2 + \left(\frac{m}{n} \frac{di_n}{dt}\right)^2}{(\omega l)^2 + \left(\frac{di}{dt}\right)^2}}, \quad \gamma_n = \arctg \frac{n \omega l_n}{m \frac{di_n}{dt}}, \quad (21)$$

n, m - относительные части сопротивления R и индуктивности L линии, по которым протекает ток подпитки,
 i_n - ток подпитки,

$$F_c = \sqrt{\frac{(\omega i_c)^2 + \left(\frac{di_c}{dt}\right)^2}{(\omega l)^2 + \left(\frac{di}{dt}\right)^2}}, \quad \gamma_c = \arctg \frac{\omega i_c}{\frac{di_c}{dt}}, \quad (22)$$

i_c - ток, протекающий через поперечную емкость линии электропередачи (линия замещена П-образной схемой замещения).

На рис. 4 показаны максимально-возможные смещения характеристик измерительных органов по (15), (16) и (18), а на рис. 5 - максимально-возможные угловые искажения по (17) и (19).

Из рис. 4 и 5 видно, что при увеличении F_r, F_n и F_c искажения характеристик измерительных органов растут, достигая

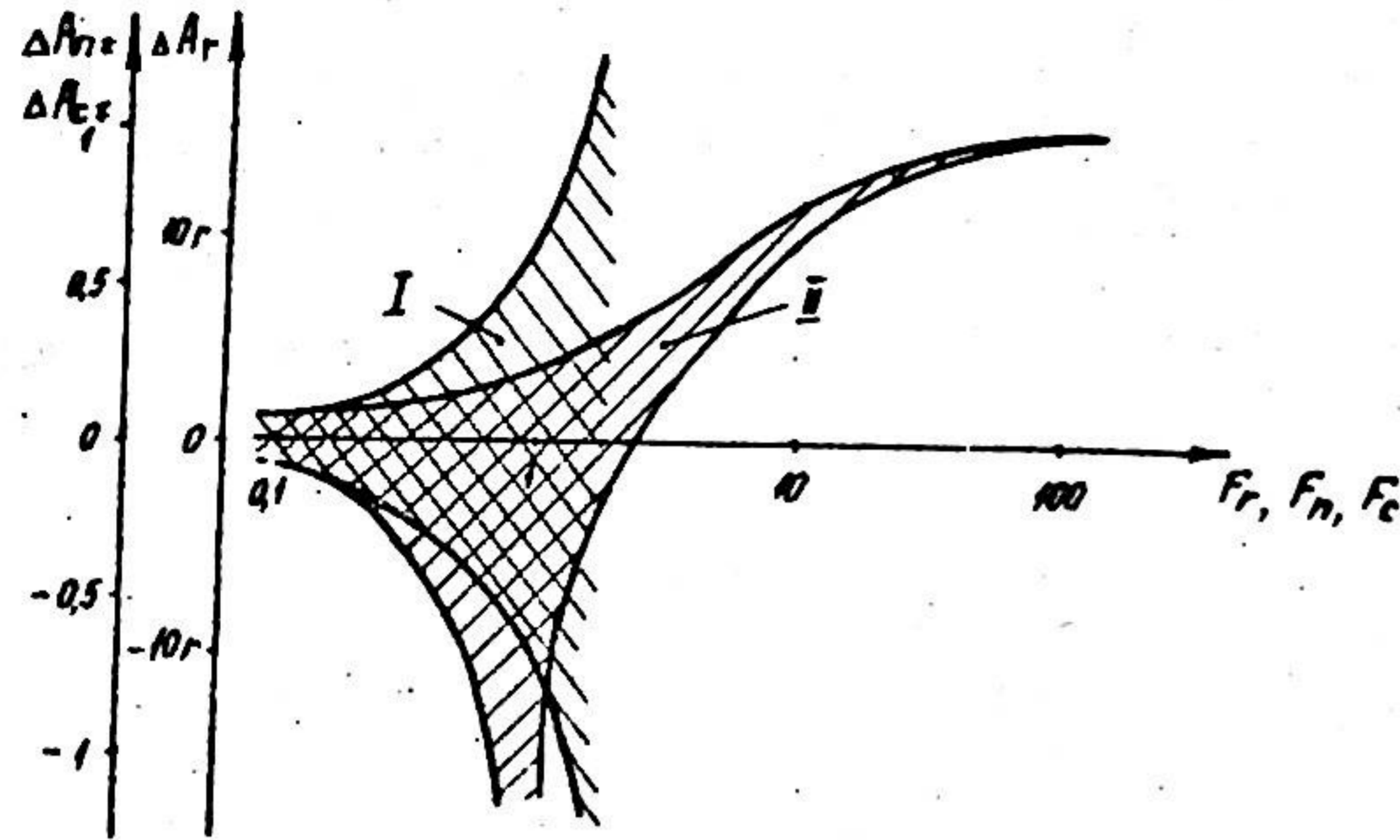


Рис. 4. Смещение характеристик измерительных органов под влиянием вредных факторов: I - $\Delta A_r = f(F_r)$, II - $\Delta A_{r*} (\Delta A_{c*}) = f/F_{II} (F_c)$.

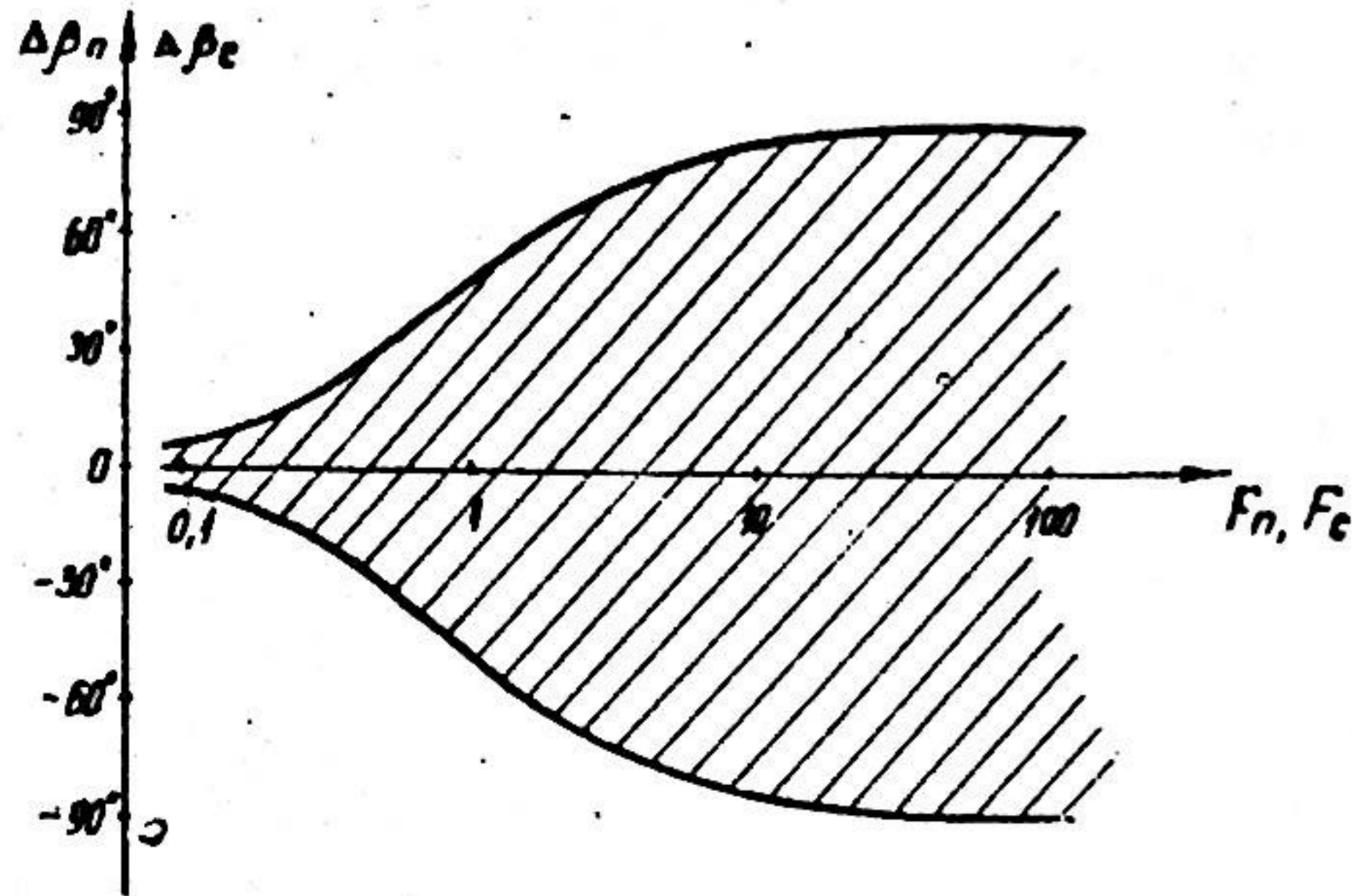


Рис. 5. Угловые искажения характеристик измерительных органов под влиянием вредных факторов.

недопустимых значений. Величины F_r , F_n и F_c зависят от влияния вредных факторов (20), (21) и (22) и от формы кривой тока повреждения. Действительно, знаменатель в выражениях F_r (20), F_n (21) и F_c (22) одинаков и равен

$$\sqrt{(\omega i)^2 + \left(\frac{di}{dt}\right)^2} \quad (23)$$

При синусоидальной кривой тока повреждения выражение по (23) зависит лишь от амплитуды тока повреждения. При сложной форме кривой тока повреждения данное выражение может уменьшаться до нуля при одновременном стремлении i и di/dt к нулю. Следовательно, и F_r , F_n и F_c могут расти до бесконечности, что приводит к недопустимым искажениям характеристик измерительных органов.

Влияние емкости устройства продольной компенсации, качаний в энергосистеме и искажений в измерительных трансформаторах напряжения и тока на работу измерительных органов ИФМВ аналогично влиянию на обычные измерительные органы, выполненные по импульсному типу.

Влияние вредных факторов на работу измерительных органов ИФМВ ограничивает область их применения. Главное достоинство измерительных органов ИФМВ - быстродействие, которое необходимо для защит линий высокого и сверхвысокого напряжений, не может быть использовано, так как на таких линиях влияние вредных факторов, особенно поперечной емкости линии, наиболее значительно.

Г Л А В А . III

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЗАПРЕТА ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ВЛИЯНИЯ ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ НА РАБОТУ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ИФМВ

Срабатывание измерительных органов, выполненных по принципу ИФМВ, происходит в определенные, строго фиксированные моменты времени. При двухполупериодном выполнении измерительных органов и при синусоидальной форме кривой тока повреждения (а

также при наличии в токе повреждения одной аperiodической составляющей, начальное значение которой менее амплитуды периодической составляющей) имеются два момента времени в течение периода промышленной частоты, когда могут срабатывать измерительные органы. При сложной форме кривой число таких моментов увеличивается. Эти моменты времени обычно не равнозначны с точки зрения влияния вредных факторов на работу измерительных органов: в одни моменты времени влияние вредных факторов максимально, в другие - минимально.

Метод запрета заключается в том, что действие измерительных органов запрещается в те моменты времени, когда искажения характеристик измерительных органов могут достигать недопустимых значений. Следовательно, работа блока запрета зависит от формы кривой тока повреждения. На участках кривой тока повреждения, когда работа измерительных органов может искажаться в недопустимых пределах, действие измерительных органов запрещается, на остальных участках данной кривой измерительные органы могут действовать. Условие работы блока запрета описывается выражением

$$\sqrt{(\omega I)^2 + \left(\frac{di}{dt}\right)^2} \leq P_{\text{запр}}, \quad (24)$$

где $P_{\text{запр}}$ - выбранный уровень, при котором запрещается работа измерительных органов.

В диссертации рассматриваются и более простые способы выполнения блока запрета, которые выражаются формулами:

$$\begin{aligned} | \omega I | &\leq P'_{\text{запр}}, \\ \left| \frac{di}{dt} \right| &\leq P'_{\text{запр}}, \end{aligned} \quad (25)$$

где $P'_{\text{запр}}$ - составляет определенную часть от $P_{\text{запр}}$,

$$| \omega I | + \left| \frac{di}{dt} \right| \leq P_{\text{запр}}. \quad (26)$$

Выбор $P_{\text{запр}}$ определяется режимами защищаемой линии. С одной стороны, $P_{\text{запр}}$ должно быть максимальным, чтобы эффективней

отстроиться от влияния вредных факторов, с другой стороны, значения $P_{\text{запр}}$ должны быть ограничены, чтобы полностью не заблокировать действие реле.

Предлагается значение $P_{\text{запр}}$ выбирать по условию

$$P_{\text{запр}} \leq K_z \omega I_{\text{мин}}, \quad (27)$$

где $I_{\text{мин}}$ - амплитуда установившегося тока повреждения в конце защищаемой зоны при минимальном режиме энергосистемы,

K_z - коэффициент запаса, $K_z = 0,8 + 0,9$.

Метод запрета по форме кривой тока повреждения позволяет уменьшить влияние вредных факторов на работу измерительных органов. Но, с другой стороны, влияет на быстроедействие измерительных органов. При совпадении момента срабатывания измерительных органов и зоны запрета измерительные органы замедляют свое действие. Если форма кривой тока повреждения такова, что указанное совпадение происходит в каждый момент, когда должен срабатывать измерительный орган, то реле вообще не работает.

В диссертации показывается, что совпадение всех моментов срабатывания и зоны запрета может происходить в двух случаях:

1. Форма кривой тока повреждения сложная и периодическая,
2. На периодическую кривую тока (простую или сложную)

накладывается постоянная составляющая.

Первый случай не встречается в практике энергосистем, так как кривая сложной формы может быть лишь в установившихся режимах. В переходном режиме кривая обязательно будет непериодическая, так как различные гармоники, которые содержатся в сложной кривой, будут при повреждениях затухать по разному, давая отклонения от периодической формы кривой.

Ко второму случаю близок режим, когда в токе повреждения есть аperiodическая медленнозатухающая составляющая со значительной начальной величиной. В этом случае измерительные органы будут замедлять свое действие до того момента, когда аperiodическая составляющая уменьшится до определенного значения.

Для того, чтобы выполнить измерительные органы ИФМВ быстродействующими, предлагается дифференцировать входные вели-

чины, то есть на измерительный орган подавать величины du/dt и di/dt вместо u и i .

Дифференцирование входных величин позволяет кроме того отстроиться от влияния емкости устройства продольной компенсации и поперечной емкости линии электропередачи (при замещении последней П-образной схемой).

С применением запрета по форме кривой тока повреждения измерительные органы ИФМВ могут успешно работать в устройствах релейной защиты линий электропередач протяженностью до 400 + 500 километров. Измерительные органы могут быть выполнены в двух модификациях:

1) без дифференцирования входных величин - данные органы замедляют свое действие при наличии в токе повреждения большой апериодической составляющей,

2) с дифференцированием входных величин - органы имеют быстроедействие в пределах одного периода промышленной частоты.

Г Л А В А IV

РАСЧЕТ ПРИНЦИПАЛЬНОЙ СХЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ОРГАНА, ВЫПОЛНЕННОГО ПО ПРИНЦИПУ ИФМВ С ЗАПРЕТОМ

На основе предыдущих глав в диссертации рассчитывается измерительный орган ИФМВ с запретом по форме кривой тока повреждения без дифференцирования и с дифференцированием входных величин.

На рис. 6 показана принципиальная схема измерительного органа. Данная схема состоит из двух измерительных органов, каждый из которых имеет характеристику в плоскости $R, X (L)$ в виде двух пересекающихся прямых, объединенных логической операцией "И". Следовательно, общая характеристика измерительного органа имеет вид четырехугольника.

Рассмотрим величины, подаваемые на орган сравнения, импульсный генератор и блок запрета. Напряжение вторичных обмоток промежуточных трансформаторов напряжения ТН равно

$$U_n = \frac{U_{вТ}}{K_n}, \quad (28)$$

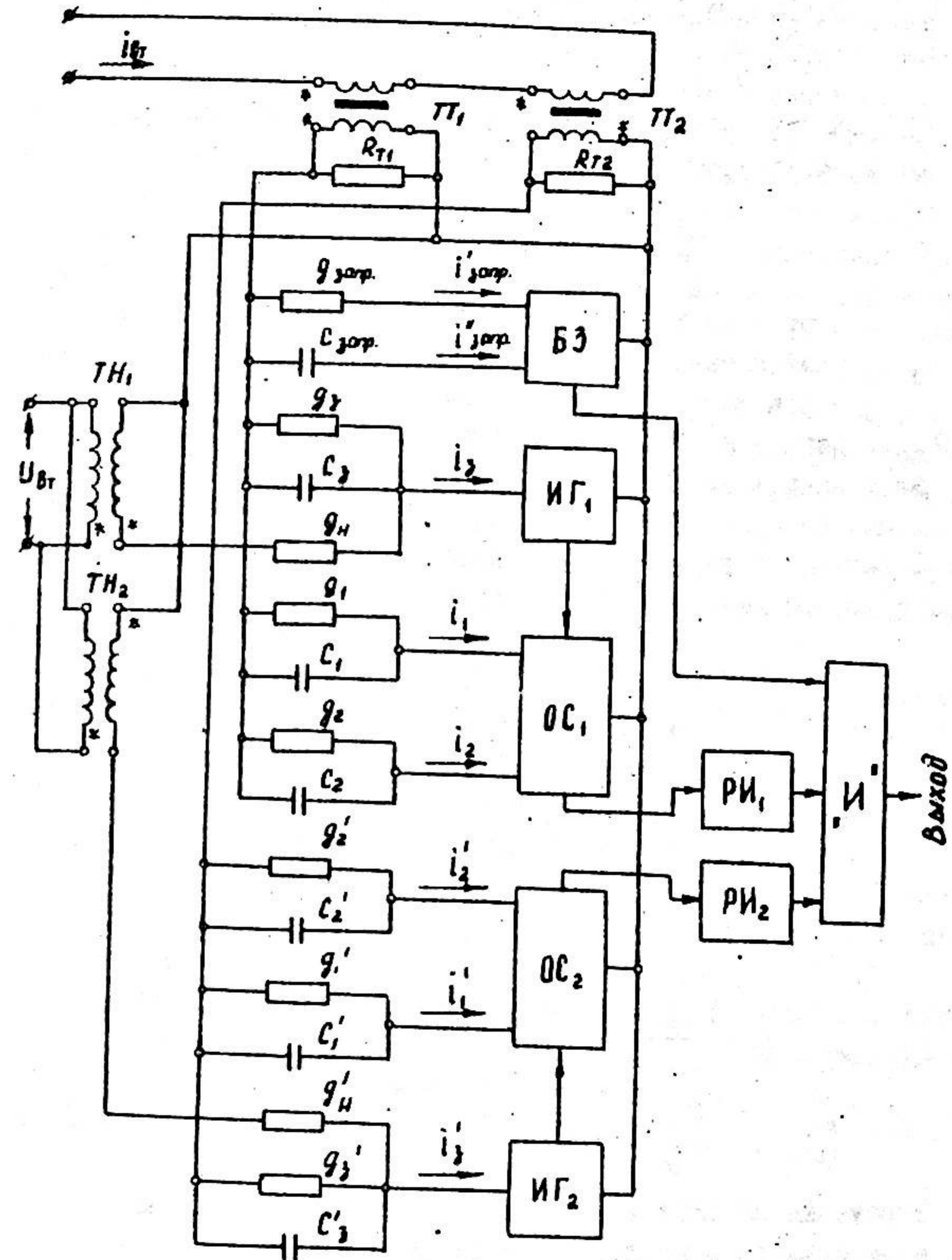


Рис. 6. Принципиальная схема измерительного органа: ТТ - трансформаторы тока, ТН - трансформаторы напряжения, g - активная проводимость, C - емкость, БЗ - блок запрета, ИГ - импульсный генератор, ОС - орган сравнения, РИ - расширитель импульсов, "И" - логическая схема.

где $U_{\text{вТ}}$ - вторичное напряжение, снимаемое с защищаемой линии,
 $K_{\text{н}}$ - коэффициент трансформации промежуточных трансформаторов напряжения $\text{ТН}_{\text{I}(2)}$.

Напряжение, снимаемое с нагрузки промежуточных трансформаторов тока $\text{ТТ}_{\text{I}(2)}$, равно

$$U_{\text{т}} = \frac{i_{\text{вТ}}}{K_{\text{т}}} R_{\text{ТI}(2)}, \quad (29)$$

где $i_{\text{вТ}}$ - вторичный ток, протекающий по защищаемой линии,
 $K_{\text{т}}$ - коэффициент трансформации промежуточных трансформаторов тока $\text{ТТ}_{\text{I}(2)}$,

$R_{\text{ТI}(2)}$ - нагрузки промежуточных трансформаторов тока $\text{ТТ}_{\text{I}(2)}$.

Зная напряжение по (28) и (29), можно определить токи, подаваемые на орган сравнения, импульсный генератор и блок запрета. Если принять, что потребление перечисленных элементов равно нулю, то искомые токи выражаются:

$$i_1 = \frac{R_{\text{ТI}(2)}}{K_{\text{т}}} \left(g_1 i_{\text{вТ}} + C_1 \frac{di_{\text{вТ}}}{dt} \right), \quad (30)$$

$$i_2 = \frac{R_{\text{ТI}(2)}}{K_{\text{т}}} \left(g_2 i_{\text{вТ}} + C_2 \frac{di_{\text{вТ}}}{dt} \right), \quad (31)$$

$$i_3 = \frac{g_{\text{н}}}{K_{\text{н}}} U_{\text{вТ}} + \frac{R_{\text{ТI}(2)}}{K_{\text{т}}} \left(g_3 i_{\text{вТ}} + C_3 \frac{di_{\text{вТ}}}{dt} \right), \quad (32)$$

$$i'_{\text{запр}} = \frac{R_{\text{ТI}(2)}}{K_{\text{т}}} g_{\text{запр}} i_{\text{вТ}},$$

$$i''_{\text{запр}} = \frac{R_{\text{ТI}(2)}}{K_{\text{т}}} C_{\text{запр}} \frac{di_{\text{вТ}}}{dt}. \quad (33)$$

Выражения по (30) + (32) аналогичны выражениям по (1) + (3), если принять в последних $K_1 = K_2 = 0$.

Выражение (33) показывает, что на блок запрета подаются две величины: первая - пропорциональная току повреждения, вторая - первой производной тока повреждения.

Применение двух трансформаторов тока и двух трансформаторов напряжения объясняется тем, что для получения различного

вида характеристик измерительных органов необходимо иметь g_i и C_i с различными знаками. Достигается это подключением соответствующих g_i и C_i либо к положительному, либо к отрицательному зажиму трансформаторов тока (напряжения).

Формирующие цепи состоят из параллельно включенных активной проводимости и емкости по двум причинам: во-первых, в качестве реагирующих элементов (органа сравнения, импульсного генератора и блока запрета) применены полупроводниковые приборы с малым входным сопротивлением (токовый вход), во-вторых, для таких формирующих цепей легко переходить от входных величин u, i к входным величинам $du/dt, di/dt$, то есть просто выполняется дифференцирование входных величин. Для того, чтобы перейти от входных величин u, i к $du/dt, di/dt$, необходимо вместо трансформаторов тока $\text{ТТ}_{\text{I}(2)}$ поставить трансреакторы, а вместо активных проводимостей $g_{\text{н}}(g'_{\text{н}})$ - емкости.

Блок запрета выполняется по (26). Величины, пропорциональные i и di/dt (33), выпрямляются, складываются и подаются на пороговое устройство.

Орган сравнения представляет из себя преобразователи токов i_1, i_2 в прямоугольные импульсы, которые затем сравниваются по совпадению знаков (схема "И").

Импульсный генератор отличается от органа сравнения лишь тем, что прямоугольные импульсы дифференцируются с тем, чтобы на фронтах их получить короткие импульсы.

Расширители импульсов необходимы, так как выходы органов сравнения могут не совпадать по времени.

И, наконец, выходом измерительного органа является схема "И", на которую подаются сигналы от двух органов сравнения через расширители импульсов и от блока запрета.

Г Л А В А У.

ИСПЫТАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ

Испытания измерительных органов, как известных, так и разработанных в данной работе, проводились в лаборатории и на статической модели энергосистемы R, L. Всесоюзного научно-иссле-

довательского института релестроения. Данная модель позволяет получать аперриодическую составляющую, которая накладывается на основную гармонику. Для получения более сложной формы кривой тока повреждения в схему линии электропередачи добавлялись конденсаторы, имитирующие поперечную емкость линии. Питание защищаемой линии электропередачи производилось с двух сторон. Имитировались следующие вредные факторы: переходное сопротивление в месте повреждения; подпитка, включенная между местом установки защиты и местом повреждения; поперечная емкость линии электропередачи.

Испытания измерительных органов подтвердили вывод о невозможности применения известных измерительных органов ИФМВ в защите линий электропередач из-за влияния вредных факторов. Разработанные же измерительные органы ИФМВ с запретом по форме кривой тока повреждения (как с дифференцированием, так и без дифференцирования входных величин) вполне работоспособны и применимы для защиты линий электропередач протяженностью до 400 + 500 километров.

ВЫВОДЫ

1. Принцип измерения в фиксированные моменты времени позволяет получить измерительные органы релейной защиты, действие которых не зависит от формы кривой тока повреждения. Вид характеристик данных измерительных органов в плоскости $R, X(L)$ ограничивается совокупностью прямых линий (одна прямая, две параллельные прямые, две пересекающиеся прямые, многоугольники).

Следует указать, что при применении данного принципа для построения измерительных органов, работающих при синусоидальных входах, их характеристики могут быть дополнены окружностью и всеми сочетаниями окружности и прямой.

2. Использование принципа измерения в фиксированные моменты времени в первоначально предложенном виде для построения измерительных органов релейной защиты недопустимо из-за влияния вредных факторов (сопротивления в месте повреждения; подпитки, включенной между местом установки защиты и местом повреж-

дения,; поперечной емкости линии электропередачи). Влияние вредных факторов искажает характеристики измерительных органов в плоскости $R, X(L)$, а следовательно и их работу, в недопустимых пределах.

3. Выполнение измерительных органов по принципу измерения в фиксированные моменты времени с запретом по форме кривой тока повреждения позволяет уменьшить влияние вредных факторов до допустимых значений. Поэтому данный принцип может быть с успехом применен для построения измерительных органов релейной защиты, например, для дистанционной защиты линий электропередач высокого и сверхвысокого напряжений.

4. Измерительные органы, выполненные по принципу измерения в фиксированные моменты времени с запретом по форме кривой тока повреждения, могут быть двух модификаций: с возможным замедлением и быстродействующие (время действия менее одного периода промышленной частоты). Для последней модификации необходимо производить дифференцирование входных величин.

5. Область применения измерительных органов, выполненных по принципу измерения в фиксированные моменты времени с запретом по форме кривой тока повреждения, ограничивается линиями электропередач любого напряжения протяженностью до 400 + 500 километров.

6. В данной работе показана принципиальная возможность использования принципа измерения в фиксированные моменты времени для выполнения дистанционной защиты линии электропередачи с продольной емкостной компенсацией.

7. Выведена формула сопротивления электрической дуги, по которой можно определить сопротивление дуги в любой момент времени, что необходимо для анализа работы импульсных реле.

Основное содержание диссертационной работы опубликовано в следующих статьях:

1. Гарке В.Г. Дистанционное реле, действие которого не зависит от функции тока. Тезисы докладов на республикан-

ской научной конференции ЛССР "Молодые ученые вузов республики - народному хозяйству", изд-во МВССО ЛССР, Рига, 1970.

2. Гарке В.Г. Анализ работы релейного органа с мгновенным замером в трехфазной сети, Изв. АН ЛССР, серия физ. и техн. наук, №3, 1970.
3. Гарке В.Г. Способы сравнения величин в реле с мгновенным замером, Изв. АН ЛССР, серия физ. и техн. наук, №4, 1970.
4. Гарке В.Г. К вопросу о сопротивлении электрической дуги, Изв. АН ЛССР, серия физ. и техн. наук, №1, 1971.

Некоторые разделы диссертационной работы были доложены на отчетных конференциях по итогам научно-исследовательских работ Рижского политехнического института за 1968 и 1969 гг., а также сделаны сообщения в СионииЭ и ВНИИРе.

Редактор Л. Калустьян, техн. ред. И. Брамберга

Подписано к печати 2 августа 1971г. Формат 60x90/16.
1,75 печ.л., 1,4 изд.л. Тираж 120 экз. Бесплатно. ЯТ 15407.
Отпечатано в типографии РПИ, г. Рига, ул. Ленина, 1.
Заказ № 32/578 , по тематическому плану № 32.