Многомерная релейная защита

Ю.Я. ЛЯМЕЦ, Ю.В. РОМАНОВ, Д.В. КЕРЖАЕВ
ООО «Исследовательский центр «Бреслер»

Г.С. Нудельман
ОАО «ВНИИР»
Россия
romanov_uv@ic-bresler.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Релейная защита, многомерность, информационная теория.

1. ВВЕДЕНИЕ

В 1944 г. на Чебоксарском электроаппаратном заводе было сделано изобретение [1], вошедшее в учебники по релейной защите под названием «реле Бреслера». Выпускавшееся серийно в 50-х–60-х годах на индукционной системе, оно стало родоначальником класса многофазных реле [2,3]. С позиций сегодняшнего дня можно сказать, что в реле Бреслера впервые была выдвинута и реализована идея объединения информации, поступающей в распоряжение релейной защиты. Ограниченные возможности электромеханической элементной базы допускали всего лишь объединение информации, поступающей от разных фаз защищаемого объекта, не более того. Микропроцессорная техника предоставляет неограниченные возможности объединения информации, в том числе разнесенной во времени и в пространстве. Во времени смещены результаты наблюдения режимов, один из которых сменяет другой (текущий и предшествующий режимы). В пространстве – результаты двухстороннего наблюдения линии электропередачи или еще более общего многостороннего наблюдения электрической системы.

На вопросы, связанные с объединением всей информации о защищаемом объекте, поступающей в память микропроцессорного терминала, призвана дать ответы информационная теория релейной защиты. В [4] высказано предположение, что в её понятийном аппарате центральное место принадлежит понятию «многомерность», кстати, естественному обобщению понятия «многофазность». Целью разработки многомерных реле, как в своё время многофазных, было и остаётся повышение технического совершенства релейной защиты [5-7]. Конкретная постановка задачи заключается в том, чтобы при гарантированном недопущении ложной работы (обеспечении селективности) повысить чувствительность релейной защиты к аварийным режимам до максимально возможного уровня. Определения используемых в докладе относительно новых понятий, приведённых в Приложении, обсуждались на протяжении десяти последних лет; в том, что касается теории множеств, руководством служил оказавшийся близким к задачам релейной защиты учебник по математическим основам кибернетики [8].

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Информационные задачи многомерной защиты

Ключевые понятия многомерной защиты связаны с моделями наблюдаемых объектов, имитационными и алгоритмическими.

Пусть m – число варьируемых параметров имитационной модели, а n – число наблюдаемых вещественных компонентов входных величин. Имитационная модель задаётся в m-мерном объектном

пространстве, где определён вектор объектных параметров $\mathbf{x}$, и осуществляет преобразование $F_{им}(\mathbf{x}) = \mathbf{v}$, где $\mathbf{v}$ – вектор замеров (или просто замер), определённый в n-мерном уставочном пространстве A_v. Центральная информационная задача многомерной защиты заключается в определении и задании области срабатывания $S_v \subset A_v$.

Алгоритмическая модель преобразует замер $\mathbf{v}$ в двумерный вектор $z = F_{ал}(\mathbf{v})$, осуществляя тем самым сжатие уставочного пространства. Вектор $\mathbf{z} = \left[z_P, z_Q\right]^1$ образован двумя скалярными величинами z_P и z_Q. Индексы P и Q говорят о том, что величина z_P связана с потреблением энергии в предполагаемом повреждении объекта, а z_Q – с обменом энергией между повреждением и собственно объектом.

Виртуальное реле включается на напряжения и токи повреждения, предполагаемого в определенном месте имитационной модели (рис. 1а). Алгоритмическая модель способствует реализации этой идеи, формируя величины z_P и z_Q, служащие входными сигналами виртуального реле (рис. 1б), характеристика срабатывания которого задаётся на плоскости с координатами z_P и z_Q. Области срабатывания S_z на плоскости вектора $\mathbf{z}$ отвечает область срабатывания $S_v = F_{ал}^{-1}(S_z)$ в пространстве A_v; здесь F^{-1} – обозначение обратного преобразования замера $\mathbf{z}$ в множество замеров $\mathbf{v}$. Соответствие между областями S_z и S_v говорит о том, что виртуальные реле косвенным образом задают условия срабатывания многомерной защиты.

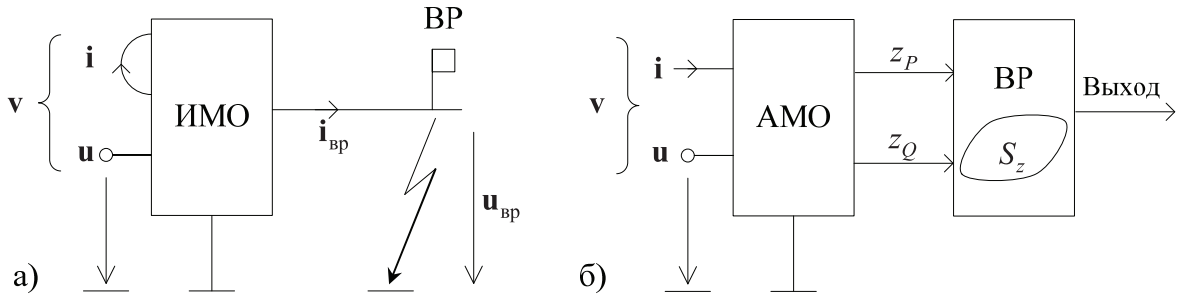

Рис. 1 : Включение виртуального реле:
а – включение в ветвь КЗ имитационной модели объекта (ИМО);
б – включение на сигналы z_P и z_Q алгоритмической модели объекта (АМО);
ВР – виртуальное реле

Разграничим алгоритмические модели прямого, косвенного и промежуточного действия. В модели прямого действия замер выражается через параметры объекта как эквивалентного генератора относительно места КЗ; нагрузкой генератора служит резистивная модель повреждения. После исключения варьируемых параметров остаётся уравнение короткого замыкания

$$z_Q(\mathbf{v}) = 0, \tag{1}$$

отражающее резистивную природу повреждения, и ограничение

$$z_P(\mathbf{v}) \geq 0, \tag{2}$$

отражающее его пассивный характер.

В модели косвенного действия замер $\mathbf{v}$ предварительно преобразуется в промежуточные величины – векторы напряжения $\mathbf{u}_f = F_u(\mathbf{v})$ и тока $\mathbf{i}_f = F_i(\mathbf{v})$ в месте предполагаемого замыкания, и лишь затем определяется вектор $\mathbf{z} = F(\mathbf{u}_f, \mathbf{i}_f)$. Заключительное преобразование F строится в соответствии с критерием резистивности повреждения, что позволяет не вводить в рассмотрение его модель. В модели промежуточного действия для формирования вектора $\mathbf{z}$ используется что-либо одно: или только напряжение $\mathbf{u}_f$, или только ток $\mathbf{i}_f$.

Описание (1), (2) отображает короткие замыкания в указанном месте имитационной модели в правую полуось координаты z_P. Виртуальное реле призвано распознавать замыкания в разных местах, в связи с чем его характеристика должна охватывать прилегающую к этой полуоси область S_z.

Таким образом, в теоретическом плане алгоритмическая модель ассоциируется с формируемым ею уравнением короткого замыкания, а в практическом – с формированием замера $\mathbf{z}$ виртуального реле. Виртуальные реле классифицируются подобно алгоритмическим моделям. Реле прямого действия формирует замер непосредственно из наблюдаемых величин. Реле промежуточного действия формирует замер либо из напряжения $\mathbf{u}_f$, либо из тока $\mathbf{i}_f$, из чего-либо одного. Наконец, реле косвенного действия формирует замер из величин $\mathbf{u}_f$, $\mathbf{i}_f$, вместе взятых.

2.2. Режимы имитационной модели

Информационная база многомерной релейной защиты в общем случае складывается из результатов наблюдения двух режимов. В текущем режиме наблюдается процесс $\mathbf{v}_{тк}(t)$, $t \geq 0$. В предшествующем – процесс $\mathbf{v}_{пд}(t)$, $t < 0$. Смена режимов происходит в момент $t = 0$. Наряду с этими реальными режимами представляют интерес ещё и гипотетические режимы – чисто аварийный и металлического КЗ. В чисто аварийном режиме протекает процесс

$$\underline{v}_{ав}(t) = \underline{v}_{тк}(t) - \underline{v}_{пд}(t), \quad t \geq 0,$$

где $\underline{v}_{пд}(t)$ – предшествующий процесс, экстраполированный на время протекания текущего процесса. Ещё один режим – металлического короткого замыкания $\underline{v}_{кз}(t)$ – частный случай текущего при $R_f = 0$.

Представления о многомерной релейной защите нуждаются в иллюстрациях. В качестве инструмента построения многомерной защиты будем использовать метод алгоритмических моделей и виртуальных реле, теоретические основы которого изложены выше. Ниже будет дана детализация, необходимая для его практического применения. В этой связи потребуется ещё и инструмент исследования распознающей способности релейной защиты, получивший название информационного анализа [9].

2.3. Содержание информационного анализа

В процедурах информационного анализа особую роль играют представления об отслеживаемых и альтернативных режимах (α- и β-режимы). Срабатывание защиты в α-режимах – её основная функция. В β-режимах срабатывание категорически возбраняется. К числу основных процедур принадлежат взаимные преобразования областей объектного и уставочного пространств. Координатами объектного пространства C служат варьируемые параметры x_i, $i = \overline{1,m}$, имитационной модели защищаемого объекта, координатами уставочного пространства A – компоненты z_j, $j = \overline{1,n}$, замера релейной защиты. Векторы соответствующих пространств: m-мерный $\mathbf{x} \in G \subset C$ и n-мерный $\mathbf{z} \in S \subset A$, где G и S – объектная и уставочная области определения векторов $\mathbf{x}$ и $\mathbf{z}$. Далее полагаем, что A – уставочная плоскость ($n = 2$). Преобразование $F(\mathbf{x}) = \mathbf{z}$ режима $\mathbf{x}$ в замер $\mathbf{z}$, называемое прямым, однозначно характеризует совместное действие имитационной и алгоритмической моделей. То же относится и к преобразованию областей: $F(G) = S \subset A$.

Обратное преобразование $F_G^{-1}(\mathbf{z})$ замера $\mathbf{z}$, т.е. поиск отображаемых им режимов, неоднозначно; в общем случае одному значению $\mathbf{z}$ отвечает множество режимов $\mathbf{x}$. Индекс G у оператора F_G^{-1} означает, что поиск режимов $\mathbf{x}$ – оригиналов изображения $\mathbf{z}$ – ведётся только в пределах заданной области G. В отличие от преобразования отдельно взятого замера $\mathbf{z}$, преобразования областей однозначны в двух отношениях. Во-первых, если $S = F(G)$, то $F_G^{-1}(S) = G$. Во-вторых, если разделить область S на части S_1, S_2 и определить затем оригиналы $G_1 = F_G^{-1}(S_1)$ и $G_2 = F_G^{-1}(S_2)$, то благодаря однозначности преобразования $\mathbf{x}$ в $\mathbf{z}$ области G_1 и G_2 не могут иметь пересечений, и $F(G_1) = S_1$, $F(G_2) = S_2$.

В дальнейшем удобно исчислять размеры как объектных, так и уставочных областей, в едином цифровом базисе. Зададим объектную область G конечным множеством режимов имитационной

модели. Пусть N – число режимов. Тогда уставочная фигура S определится ровно таким же числом отображений. Число точек $\mathbf{z}$, отображающих N точек $\mathbf{x}$, может оказаться меньшим N из-за того, что отображения способны накладываться друг на друга. В таком случае можно говорить о высокой информационной плотности соответствующих замеров и подсчитывать их с получающейся кратностью. Снабжая каждый режим индивидуальной меткой, получим возможность проследить за его изображением и получим в итоге на плоской фигуре S оценку её размера всё тем же числом N.

Разделив S на части S_1 и S_2, обнаружим в первой N_1, а во второй – N_2 отображений, при том что $N_1 + N_2 = N$. Теми же числами N_1 и N_2 будут оцениваться и области G_1 и G_2.

2.4. Область распознавания

Рассмотрим одну из основных задач информационного анализа. Предполагается, что имеются имитационные модели наблюдаемого объекта, отдельно для α- и β-режимов. Векторы варьируемых параметров $\mathbf{x}_\alpha$ и $\mathbf{x}_\beta$ каждой модели отображаются в соответствующих объектных пространствах C_α и C_β, где задаются области определения параметров имитационных моделей G_α и G_β. Предположим далее, что выбрана уставочная плоскость A и тем самым определены преобразования режимов имитационных моделей в замеры $\mathbf{z}$ на плоскости A: преобразование α-режимов $F_\alpha(\mathbf{x}_\alpha) = \mathbf{z}$ и преобразование β-режимов $F_\beta(\mathbf{x}_\beta) = \mathbf{z}$. Задача заключается в построении областей $S_\alpha = F_\alpha(G_\alpha)$, $S_\beta = F_\beta(G_\beta)$ – отображений объектных областей G_α и G_β на уставочной плоскости A – и затем в определении области распознавания α-режимов $S_{\alpha\alpha} = S_\alpha \setminus S_\beta$, где косая линия обозначает операцию вычитания области S_β из области S_α. Сопутствующая задача – окаймление области S_β, т.е. определение той части её границы L_β, которая отделяет S_β от $S_{\alpha\alpha}$.

Определяя число $N_{\alpha\alpha}$, отображённых в собственной α-области $S_{\alpha\alpha}$, получаем одновременно оценку размера области распознавания $G_{\alpha\alpha}$ в виде коэффициента распознавания

$$\eta = \lim_{N_\alpha \to \infty} (N_{\alpha\alpha} / N_\alpha),$$

где N_α – число режимов, задающих область G_α и отображенных в области S_α.

Область срабатывания реле может включать в себя лишь ту часть области $S_{\alpha\alpha}$, которая несколько отстроена от линии L_β. Таким образом, $S_{\alpha\alpha}$ содержит в себе предельное число режимов, на которые может прореагировать реле. Следовательно, коэффициент η можно назвать показателем распознающей способности реле, ассоциируемого с преобразованиями F_α, F_β.

2.5. Иерархия реле

Если разнотипные реле работают с одной и той же информационной базой, то показатели их распознающей способности помогают составить мнение об эффективности использования имеющейся информации тем или иным представителем группы реле. Наряду с подобной информационной иерархией реле можно было бы ввести и иерархию режимов, приписывая им весовые коэффициенты в виде знакоположительной функции $\lambda(R_f)$, убывающей с ростом переходного сопротивления R_f в месте короткого замыкания.

В группе реле всегда обнаружится одно, занимающее верхнее положение в их иерархической цепочке. Возможно, это будет реле традиционного исполнения. Возможен и информационный критерий. Допустим, что $N^i_{\alpha\alpha} > N^j_{\alpha\alpha}$, в силу чего i-ое реле получает преимущество перед j-ым и объявляется основным. Важно, что в результате плоскость A_i становится тем местом, где демонстрируются характеристики не только i-го реле, но и объединения i-го и j-го, а возможно, и большего числа реле. Необходимо только убедиться, что j-ое реле не лишнее, а именно, что его объектная область $G^j_{\alpha\alpha}$ не перекрывается областью $G^i_{\alpha\alpha}$ основного реле. Имеет смысл выделить подобласть $G^{ij}_{\alpha\alpha} = G^j_{\alpha\alpha} \setminus G^i_{\alpha\alpha}$, а заодно и $G^{ji}_{\alpha\alpha} = G^i_{\alpha\alpha} \setminus G^j_{\alpha\alpha}$. Число режимов $N^{ij}_{\alpha\alpha}$ в подобласти $G^{ij}_{\alpha\alpha}$ служит оценкой выигрыша от объединения выходов двух реле логической схемой ИЛИ, благодаря чему к собственному коэффициенту распознавания основного реле

$$\eta_{ii} = \lim_{N_\alpha \to \infty} \left(N^i_{\alpha\alpha} / N_\alpha \right)$$

добавляется взаимный коэффициент

$$\eta_{ij} = \lim_{N_\alpha \to \infty} \left(N^{ij}_{\alpha\alpha} / N_\alpha \right).$$

Отсюда следует выражение коэффициента распознавания пары реле

$$\eta_{\cup i,j} = \eta_{ii} + \eta_{ij}, \tag{3}$$

обобщаемое в форме рекурсии на произвольное число реле, объединенных общей имитационной моделью. Индекс $\cup$ в (3) указывает на объединение по схеме ИЛИ.

Результат инвариантен относительно выбора основного реле. Коль скоро

$$N^i_{\alpha\alpha} + N^{ij}_{\alpha\alpha} = N^j_{\alpha\alpha} + N^{ji}_{\alpha\alpha},$$

то и

$$\eta_{ii} + \eta_{ij} = \eta_{jj} + \eta_{ji}.$$

Тем не менее, выбор основного реле призван сыграть свою роль на заключительном этапе информационного анализа – отображении дополнительной подобласти $G^{ij}_{\alpha\alpha} = G^j_{\alpha\alpha} \setminus G^i_{\alpha\alpha}$ на основную плоскость A_i

$$F_{\alpha i}\left(G^{ij}_{\alpha\alpha} \right) = S^{ij}_{\alpha\alpha},$$

дающее наглядное представление о вкладе дополнительного реле в распознающую способность защиты. Расширенная область распознавания защиты на основной плоскости

$$S_{\alpha\alpha} = S^i_{\alpha\alpha} \cup S^{ij}_{\alpha\alpha} = F_{\alpha i}\left(G_{\alpha\alpha} \right),$$

$$G_{\alpha\alpha} = G^i_{\alpha\alpha} + G^{ij}_{\alpha\alpha} = G^j_{\alpha\alpha} + G^{ji}_{\alpha\alpha}$$

служит своеобразной характеристикой защиты, составленной не только из двух, но и из группы реле, расположенных в иерархической последовательности.

2.6. Двухрежимные наблюдаемые величины

Способность учитывать информацию о режиме, предшествовавшем короткому замыканию, очевидным образом повышает распознающую способность релейной защиты. Важно знать, насколько.

Пусть $\underline{V}$ – комплекс наблюдаемой величины – тока или напряжения, $\underline{V}_{\text{пд}}$ и $\underline{V}_{\text{тк}}$ – его значения в предшествующем режиме и в текущем режиме короткого замыкания. Введём эту информацию в алгоритмическую модель прямого действия, связывающую место наблюдения с местом предполагаемого повреждения. Связь описывается уравнением годографа

$$\underline{V}_{\text{ав}} = \underline{V}_{\text{тк}} - \underline{V}_{\text{пд}} = \frac{\underline{V}_{\text{ав,кз}}}{1 + \rho \mathbf{exp}(-\mathrm{j}\varphi_{\text{вн}})}, \tag{4}$$

где $\underline{V}_{\text{ав}}$ – аварийная составляющая наблюдаемой величины, $\underline{V}_{\text{ав,кз}} = \underline{V}_{\text{кз}} - \underline{V}_{\text{пд}}$, $\underline{V}_{\text{кз}}$ – ненаблюдаемая величина металлического КЗ, $\rho = R_f / Z_{\text{вн}}$, R_f – переходное сопротивление КЗ, принадлежащее

наряду с координатой x_f места предполагаемого повреждения к числу аварийных параметров, задаваемых в имитационной модели при обучении релейной защиты, но само собой, неизвестных алгоритмической модели. Внутреннее сопротивление $\underline{Z}_{вн} = Z_{вн}\,\mathbf{exp}j\varphi_{вн}$ имитационной модели как эквивалентного генератора относительно нагрузки R_f относится уже к числу нормальных параметров. Уравнение (4) не предполагает задания модуля $Z_{вн}$. Востребован аргумент $\varphi_{вн}$. В системе без потерь с преобладающей индуктивностью $\varphi_{вн} = 90°$. Потери несколько снижают эту цифру, тем не менее оно поддаётся оцениванию. В проблему выливается оценивание величины $\underline{V}_{ав,кз}$. Ниже будет показано, что алгоритмические модели способны решать подобные задачи.

2.7. Измерительный орган с одной наблюдаемой величиной

В той версии метода алгоритмических моделей, что изложена выше, вне зависимости от числа наблюдаемых величин используются виртуальные реле с двумя входами. Реле образуют группу, объединённую входными величинами и логической операцией ИЛИ. Входные величины формируются по общему правилу. Алгоритмическая модель устанавливает следующую связь между входными величинами $\underline{M}$ и $\underline{N}$ виртуального реле

$$\underline{N}\rho = \underline{M}. \tag{5}$$

Алгоритм действия виртуального реле стереотипен. Определяется взаимная комплексная мощность сигналов

$$\underline{S} = \underline{M}\overset{*}{\underline{N}},$$

где звёздочкой отмечен сопряжённый комплекс. Из комплекса $\underline{S}$ формируются внутренние замеры $\underline{W}$, каждому из которых отвечает своя характеристика срабатывания на той или иной модификации комплексной плоскости $\underline{W}$. Ограничимся вариантами, масштабирующими комплекс $\underline{S}$

$$\underline{W} = \begin{cases} \underline{S}N^{-k} & (6) \\ \overset{*}{\underline{S}}M^{-k} & (7) \end{cases}, k = 0, 1, 2$$

или $\underline{W}_0 = \underline{S}$,

$$\underline{W}_{11} = \underline{M} \cdot \overset{*}{\underline{N}} \cdot N^{-1}, \tag{6а}$$

$$\underline{W}_{12} = \underline{M} \cdot \overset{*}{\underline{N}} \cdot N^{-2} = \underline{M} / \underline{N}, \tag{6б}$$

$$\underline{W}_{21} = \overset{*}{\underline{M}} \cdot \underline{N} \cdot M^{-1}, \tag{7а}$$

$$\underline{W}_{21} = \overset{*}{\underline{M}} \cdot \underline{N} \cdot M^{-2} = \underline{N} / \underline{M} = 1 / \underline{W}_{12}, \tag{7б}$$

где отрицательные степени модулей M и N преобразуют величину типа комплексной мощности в величины типа комплексного сопротивления (проводимости) при $k = 2$ или фазированного напряжения (тока) при $k = 1$.

Алгоритмическая модель (4) приводится к форме (5) с сигналами

$$\underline{M} = (\underline{V}_{ав,кз} - \underline{V}_{ав})\mathbf{exp}j\varphi_{вн} = (\underline{V}_{кз} - \underline{V}_{тк})\mathbf{exp}j\varphi_{вн},$$

$$\underline{N} = \underline{V}_{ав} = \underline{V}_{тк} - \underline{V}_{пд}$$

и замерами по форме (6)

$$\underline{W}_{11} = (\underline{V}_{\text{ав,кз}}\underline{V}^{*}_{\text{ав}}\underline{V}^{-1}_{\text{ав}} - \underline{V}_{\text{ав}})\,\mathbf{exp}j\varphi_{\text{вн}}\,, \tag{8}$$

$$\underline{W}_{12} = \left(\frac{\underline{V}_{\text{ав,кз}}}{\underline{V}_{\text{ав}}} - 1\right)\mathbf{exp}j\varphi_{\text{вн}}. \tag{9}$$

Виртуальные реле с замерами (8), (9) образуют совместно работающую пару, объединяемую единой информационной базой.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Представления о многомерной релейной защите дополняют её информационную теорию. Центральная информационная задача – задание области срабатывания в пространстве вектора замера – имеет общее решение в виде уравнений коротких замыканий, предполагаемых в определённых местах наблюдаемого объекта. Метод виртуальных реле может быть построен на базе этих уравнений (прямое действие) или на базе альтернативных им алгоритмических моделей объекта (косвенное действие). Замер виртуального реле связывает между собой все наблюдаемые величины вне зависимости от их числа и мест наблюдения.

2. Задание областей определения объектных параметров имитационной модели множеством ее режимов создает универсальный критерий оценивания распознающей способности релейной защиты; оценка в виде показателя распознавания сохраняет свое значение в любом из двух задействованных пространств – уставочном и объектном.

3. Двухрежимная величина несет принципиально более высокий объем информации, чем величина одного лишь текущего режима. В условиях хорошего обеспечения априорной информацией о защищаемом объекте возможен контроль зоны КЗ по одной наблюдаемой величине.

4. Показатели распознающей способности релейной защиты при наблюдении элементарных имитационных моделей контролируемых объектов представляют собой типовые оценки информационных свойств алгоритмов защиты при имеющейся информационной базе.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Бреслер А.М. Устройство для защиты высоковольтных линий передачи от замыканий между фазами // Авторское свидетельство СССР № 66343, 1944.

[2] Атабеков Г.И. Теоретические основы релейной защиты высоковольтных сетей. М.: Госэнергоиздат, 1957.

[3] Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. М.: Энергия, 1976.

[4] Лямец Ю.Я., Нудельман Г.С., Подшивалин А.Н, Закончек Я.В. Об информационной теории релейной защиты // Известия Академии электротехнических наук РФ, 2009, № 1, С. 32–44.

[5] Лямец Ю.Я., Нудельман Г.С., Павлов А.О. Эволюция дистанционной релейной защиты // Электричество, 1999, № 3, С. 8-15.

[6] Лямец Ю.Я., Нудельман Г.С., Павлов А.О., Ефимов Е.Б., Закончек Я. Распознаваемость повреждений электропередачи. Ч. 1, 2, 3 // Электричество, 2001, № 2, С. 16-23; № 3, С. 16-24; № 12, С. 9-22.

[7] Liamets Y., Efimov E., Nudelman G., Zakonjšek J. The principle of relay protection information perfection // CIGRE SC 34 Colloquium, Romania, Sibiu, 2001, Paper 112.

[8] Коршунов Ю.М. Математические основы кибернетики. М.: Энергоатомиздат, 1987.

[9] Liamets Y., Ivanov S., Podchivaline A., Nudelman G., Zakonjšek J. Informational analysis – new relay protection tool // Proc. 13th Int. Conf. Power System Protection, Slovenia, Bled, 2002, P. 197-210.