

## Критерии распознавания повреждения контролируемой зоны линии электропередачи

ЛЯМЕЦ Ю.Я., МАРТЫНОВ М.В., МАСЛОВ А.Н.

Рассматривается применение алгоритмических моделей для распознавания коротких замыканий в заданной зоне линии электропередачи. Алгоритмические модели формируют электрические величины в произвольном месте предположительно неповреждённой части линии, в том числе на границе защищаемой зоны. Модель такого типа адекватна объекту, если замыкание происходит за пределами защищаемой зоны, а при замыкании в пределах зоны наступает неадекватность, дающая ключ к распознаванию аварийного режима. Из выходных напряжений алгоритмической модели в предшествующем, текущем и чисто аварийном режимах формируются замеры, отображаемые на комплексных плоскостях в виде координатных годографов. Помимо годографов инструментом распознавания коротких замыканий являются характеристики места короткого замыкания.

Ключевые слова: линии электропередачи, режим, дистанционная защита, алгоритмическая модель

В электрической системе месту короткого замыкания (КЗ) присуща своеобразная взаимосвязь между величинами двух сменяющих друг друга режимов – текущего и предшествующего [1–3]. Далее рассматривается приложение к задаче релейной защиты – распознаванию повреждения контролируемого участка электропередачи.

**Инструмент годографов.** Годограф места КЗ и годограф места предполагаемого замыкания входят в арсенал метода алгоритмических моделей [3]. Первый представляет собой характеристику реального КЗ с варьируемым переходным сопротивлением; второй – совокупность замеров того же типа, что и характеристика, но в произвольном месте. Пересечение характеристики с координатным годографом определяет место КЗ.

В месте КЗ с координатой  $x_f$  и переходным сопротивлением  $R_f$  существуют взаимосвязи между напряжениями трёх режимов – предшествующего  $\underline{U}_{\text{пд}}(x_f)$ , текущего  $\underline{U}_{\text{тк}}(x_f)$  и чисто аварийного  $\underline{U}_{\text{ав}}(x_f) = \underline{U}_{\text{тк}}(x_f) - \underline{U}_{\text{пд}}(x_f)$  [4]. Электрическая система представляет собой относительно места КЗ эквивалентный генератор с внутренним сопротивлением  $\underline{Z}_{\text{вн}}(x_f) = Z_{\text{вн}}(x_f) \exp(j\varphi_{\text{вн}}(x_f))$  и ЭДС, равной напряжению предшествующего режима  $\underline{U}_{\text{пд}}(x_f)$ . Сопротивление  $R_f$  является нагрузкой эквивалентного генератора (рис. 1).

Характеристика места КЗ задаётся соотношениями между напряжениями разных режимов:

$$\underline{K}(x_f, \lambda_f) = \frac{\underline{U}_{\text{тк}}(x_f)}{\underline{U}_{\text{ав}}(x_f)} = \lambda_f e^{j(\pi - \varphi_{\text{вн}}(x_f))}; \quad (1)$$

$$\underline{M}(x_f, \lambda_f) = \frac{\underline{U}_{\text{ав}}(x_f)}{\underline{U}_{\text{пд}}(x_f)} = \frac{-1}{1 + \lambda_f \exp(-j\varphi_{\text{вн}}(x_f))}, \quad (2)$$

где  $\lambda_f$  – вещественный положительный параметр:

$$\lambda_f = \frac{R_f}{Z_{\text{вн}}(x_f)}. \quad (3)$$

Зависимости (1), (2) от параметра  $\lambda_f$ , изменяющегося в пределах от нуля до бесконечности, представляют собой годографы в виде луча на плоскости  $\underline{K}$  и в виде дуги на плоскости  $\underline{M}$  (рис. 2).

Дуга радиуса

$$r(x_f) = \frac{1}{2 \sin(j\varphi_{\text{вн}}(x_f))}$$

с центром в точке

$$\underline{M}_{\text{ц}}(x_f) = 0,5(-1 + j \operatorname{ctg}(j\varphi_{\text{вн}}(x_f)))$$

опирается на неизменную хорду  $\underline{M}_0 = -1$ .

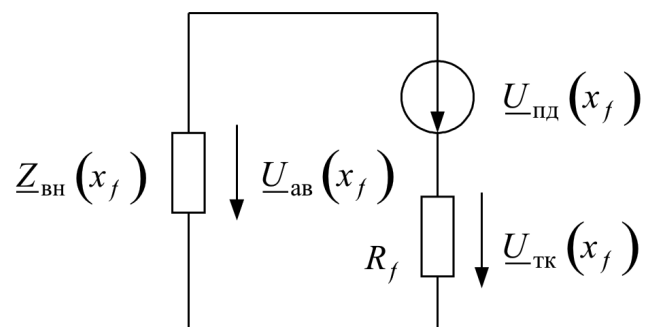


Рис. 1. Контур нагрузки эквивалентного генератора

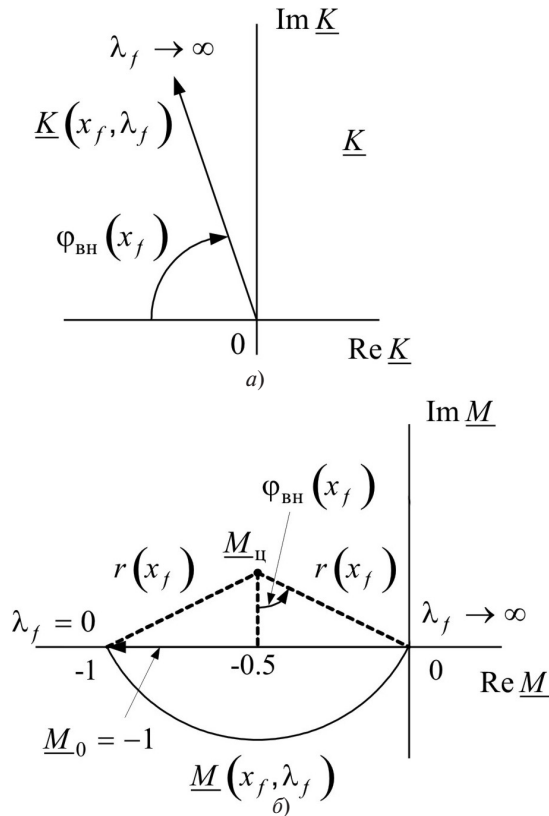


Рис. 2. Характеристики места КЗ с координатой: а – годограф (1); б – годограф (2)

Описание годографа (2) в полярной форме:

$$\underline{M}(x_f, \theta) = \underline{M}_H(x_f) + r \exp(j\theta);$$

$$-90^\circ - \varphi_{\text{вн}}(x_f) \leq \theta \leq -90^\circ + \varphi_{\text{вн}}(x_f).$$

Круговые диаграммы (2) с общей хордой  $\underline{M}_0 = -1$ , но разными углами  $\varphi_{\text{вн}}(x_f)$  не пересекаются друг с другом, как не пересекаются и лучи (1). Вариации пассивных параметров электрической системы при неизменном месте КЗ приводят к изменениям угла  $\varphi_{\text{вн}}(x_f)$ , создавая тем самым сегменты годографов. Однородной сети присущи инвариантные характеристики – один луч и одна дуга. В сети без потерь луч идёт по оси мнимых, а дуга становится полуокружностью.

**Координатные годографы.** Любое место, находящееся в зоне защиты с произвольной координатой  $x$ , следует рассматривать как место предполагаемого КЗ. Гипотеза о КЗ в точке  $x$  нуждается в проверке, для чего требуется сопоставить параметры  $\underline{K}$  и  $\underline{M}$  этой точки, определённые по результатам наблюдения, с характеристикой (1) или (2), заданной для точки  $x = x_f$ . Преобразователь, связывающий место наблюдения  $x=0$  с произвольным местом  $x$  наблюдаемого объекта, получил название алгоритмической модели данного объекта [2, 3]. Алгоритмические модели двухпроводной линии являются

четырёхполюсниками в режиме обратной передачи сигналов:

$$\underline{U}_{\text{пд}}^*(x) = \underline{D}_{\text{пд}}(x) \underline{U}_{\text{пд}}(0) + \underline{A}_{\text{пд}}(x) \underline{I}_{\text{пд}}(0); \quad (4)$$

$$\underline{U}_{\text{ав}}^*(x) = \underline{D}_{\text{ав}}(x) \underline{U}_{\text{ав}}(0) + \underline{A}_{\text{ав}}(x) \underline{I}_{\text{ав}}(0), \quad (5)$$

где  $\underline{U}(0)$ ,  $\underline{I}(0)$  – результаты наблюдения;  $\underline{A}(x)$  и  $\underline{D}(x)$  – коэффициенты четырёхполюсников формы  $A$ , в общем случае разные для величин предшествующего и чисто аварийного режимов.

Преобразование, совершаемое алгоритмическими моделями, завершается формированием замеров в базисе параметров  $\underline{K}$  и  $\underline{M}$ :

$$\underline{K}^*(x) = \frac{\underline{U}_{\text{тк}}^*(x)}{\underline{U}_{\text{ав}}^*(x)} = 1 + \frac{\underline{U}_{\text{пд}}^*(x)}{\underline{U}_{\text{ав}}^*(x)}; \quad (6)$$

$$\underline{M}^*(x) = \frac{\underline{U}_{\text{ав}}^*(x)}{\underline{U}_{\text{пд}}^*(x)}. \quad (7)$$

Выходные величины (4), (5) алгоритмических моделей и определяемые по ним замеры (6), (7) отмечены звёздочкой для того, чтобы отличить их от соответствующих параметров имитационной модели электрической системы.

Разделение режимов электропередачи на предшествующий, текущий и чисто аварийный продиктовано физическими особенностями процесса КЗ. Что же касается информационных особенностей, то с точки зрения наблюдателя всё множество режимов разделяется на подмножество контролируемых режимов ( $\alpha$ -режимы) и подмножество альтернативных им режимов ( $\beta$ -режимы) [5]. Первоочередные условия селективности действия предъявляют к наблюдателю жёсткие требования: запрет срабатывания на всём подмноестве  $\beta$ -режимов и как можно более высокая чувствительность к  $\alpha$ -режимам. Характеристики места КЗ (1) и (2), с одной стороны, и координатные годографы (6) и (7), с другой стороны, способны при совместном использовании разграничить  $\alpha$ - и  $\beta$ -режимы. Рассмотрим простейший пример, допускающий аналитическое решение: имитационная модель ненагруженной линии без потерь (рис. 3,а); её  $\alpha$ -режимы – короткие замыкания в защищаемой зоне  $x_{f\alpha} \in (0, x_z)$ , где  $x_z$  – координата границы защищаемой зоны;  $\beta$ -режимы – замыкания вне зоны  $x_{f\beta} \in (x_z, l)$ , где  $l$  – длина линии.

В начале линии ( $x=0$ ) наблюдаются ток  $\underline{I}(0)$  и напряжение  $\underline{U}(0)$ . В предшествующем режиме  $\underline{I}_{\text{пд}}(0)=0$ ;  $\underline{U}_{\text{пд}}(0)=\underline{E}$ ; в чисто аварийном и текущем режимах:

$$\underline{I}_{\text{ТК}}(0) = \underline{I}_{\text{ав}}(0) = \frac{\underline{E}}{R_f + j(X_s + X^0 x_f)};$$

$$\underline{U}_{\text{ав}}(0) = -jX_s \underline{I}_{\text{ав}}(0);$$

$$\underline{U}_{\text{ТК}}(0) = \underline{E} + \underline{U}_{\text{ав}}(0),$$

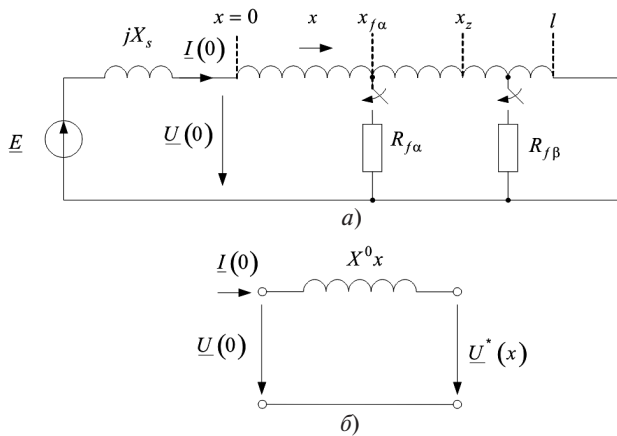


Рис. 3. Примеры моделей: а – имитационная модель с односторонним наблюдением; б – соответствующая алгоритмическая модель

где  $jX_s$  – сопротивление источника  $\underline{E}$ ;  $jX^0$  – удельное сопротивление линии.

Алгоритмическая модель линии (рис. 3, б) формирует выходное напряжение при любых  $x \in (0, l)$ :

$$\underline{U}_{\text{ав}}^* = \underline{U}_{\text{ав}}(0) - jX^0 x \underline{I}_{\text{ав}}(0) = \frac{-j(X_s + X^0 x)\underline{E}}{R_f + j(X_s + X^0 x_f)};$$

$$\underline{U}_{\text{ТК}}^* = \underline{U}_{\text{ТК}}(0) - jX^0 x \underline{I}_{\text{ТК}}(0) = \frac{R_f + jX^0(x_f - x)}{R_f + j(X_s + X^0 x_f)} \underline{E}$$

и далее – замер:

$$\underline{K}^*(x) = \frac{-X^0(x_f - x) + jR_f}{X_s + X^0 x}. \quad (8)$$

В имитационной модели рис. 3, а:

$$\underline{Z}_{\text{вн}}(x_f) = \underline{Z}_{\text{ав}}(x_f) = j(X_s + X^0 x_f);$$

$$\varphi_{\text{вн}}(x_f) = \varphi_{\text{ав}}(x_f) = 90^\circ,$$

и параметр (1) принимает вид:

$$\underline{K}(x_f) = j\lambda(x_f) = j \frac{R_f}{X_s + X^0 x_f}. \quad (9)$$

На рис. 4, а приведены характеристика (9), идущая вдоль положительной полуоси мнимых, и два координатных годографа (8), соответственно при

замыканиях в зоне и вне зоны защиты. Годографы берут начало в точках

$$\underline{K}^*(0) = (1/X_s)(-X^0 x_f + jR_f)$$

и завершаются в точках

$$\underline{K}^*(x_z) = \frac{-X^0(x_f - x_z) + jR_f}{X_s + X^0 x_f}.$$

В случае КЗ вне зоны годограф остаётся в пределах второго квадранта, а при КЗ в зоне пересекает характеристику  $\underline{K}(x_f)$  и переходит в первый квадрант. Точка пересечения  $\underline{K}^*(x_{\text{ГР}})$  определяет граничные значения  $x_{\text{ГР}}$  и  $\lambda_{\text{ГР}}$  координаты  $x$  и параметр  $\lambda$ . В рассматриваемом примере:

$$x_{\text{ГР}} = x_{f\alpha};$$

$$\lambda_{\text{ГР}} = \frac{R_{f\alpha}}{Z_{\text{вн}}(x_{f\alpha})} = \frac{R_{f\alpha}}{X_s + X^0 x_{f\alpha}}.$$

**Локализация альтернативных режимов.** Линейная характеристика (1), уходящая в бесконечность на плоскости  $\underline{K}$ , очевидным образом предназначена для решения задачи определения места КЗ или выявления факта КЗ в зоне защиты, т.е. ориентирована на распознавание  $\alpha$ -режимов и выдачу разрешения на срабатывание защиты. В отличие от неё ограниченная круговая характеристика (2) столь же очевидным образом предназначена для выполнения противоположной функции – распознавания  $\beta$ -режимов путём локализации их отображений в малой области на плоскости  $\underline{M}$  с целью блокирования действия защиты в этих режимах.

В любом месте  $x$  имитационной модели объекта аварийные составляющие электрических величин, в частности напряжения  $\underline{U}_{\text{ав}}(x)$ , создаются единственным источником напряжения  $\underline{U}_{\text{ПД}}(x_f)$ , воздействующим из места замыкания на пассивную электрическую цепь индуктивного характера с малыми

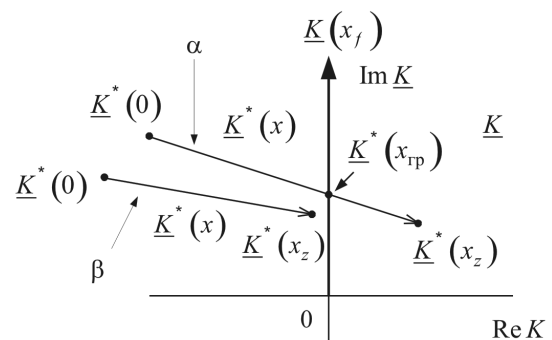


Рис. 4. Характеристика  $\underline{K}(x_f)$  места КЗ и координатные годографы  $\alpha$  – при КЗ в зоне,  $\beta$  – при КЗ вне зоны

потерями (рис. 1). Реакция  $\underline{U}_{ав}(x)$  на ЭДС  $\underline{U}_{пд}(x_f)$  в такой цепи по модулю уступает воздействию:

$$U_{ав}(x) \leq U_{пд}(x_f). \quad (10)$$

Знак равенства относится к случаю металлического КЗ в начале линии. Модуль напряжения в предшествующем режиме  $U_{пд}(x_f)$  зависит от координаты заведомо слабее и иначе, чем модуль аварийной составляющей  $U_{ав}(x)$ : напряжение  $U_{пд}(x_f)$  несколько возрастает при движении от точки  $x_f$  к началу линии, а  $U_{ав}(x)$  – уменьшается, притом более резко. Отсюда следует обобщение неравенства (10):

$$U_{ав}(x) \leq U_{пд}(x). \quad (11)$$

Алгоритмическая модель адекватно воспроизводит аварийные составляющие электрических величин линии электропередачи на участке от места наблюдения  $x=0$  до места КЗ  $x_f$ , что позволяет принять неравенство (11) и для выходного напряжения алгоритмической модели

$$U_{ав}^*(x) \leq U_{пд}^*(x) \quad (12)$$

и, как следствие, для координатного годографа (7):

$$M^* = \text{mod } \underline{M}^*(x) = \frac{U_{ав}^*(x)}{U_{пд}^*(x)}. \quad (13)$$

Рассмотрим соотношения (10)–(13) на примере линии электропередачи с двухсторонним питанием. Параметры имитационной модели по рис. 5,а:  $l=100$  км,  $\underline{Z}^0=0,1+j0,4$  Ом/км;

$E_s = E_r = 110$  кВ. Варьируемые параметры:  $\underline{Z}_s = Z_s \exp(j\varphi_s)$  Ом;  $Z_s = 1 \div 10$  Ом;  $\varphi_s = 75 \div 85^\circ$ ;  $\underline{Z}_r = Z_r \exp(j\varphi_r)$ ,  $Z_r = 1 \div 10$  Ом;  $\varphi_r = 75 \div 85^\circ$ ;  $\delta = \arg(\underline{E}_s / \underline{E}_r) = -35 \div 35^\circ$ ;  $R_f \geq 0$ .

В модели чисто аварийного режима (рис. 5,б) наибольшее по модулю напряжение создаёт единственный источник  $\underline{U}_{пд}(x_f)$ . Модуль наблюдаемого напряжения  $U_{ав}(0)$ , очевидно, удовлетворяет условиям (10) и (11). Что касается фазовых соотношений между напряжениями  $U_{ав}(0)$  и  $U_{пд}(0)$ , то они не столь однозначны, как соотношения между модулями. На фазовые соотношения влияет угол передачи  $\delta = \arg(\underline{E}_s / \underline{E}_r)$ . Векторные диаграммы на рис. 6 показывают значения аргументов  $\varphi_K(0) = \arg \underline{K}(0)$ ,  $\varphi_M(0) = \arg \underline{M}(0)$ ,  $\underline{K}(0) = \underline{U}_{тк}(0) / \underline{U}_{ав}(0)$ ,  $\underline{M}(0) = \underline{U}_{ав}(0) / \underline{U}_{пд}(0)$ . На

рис. 6,а при  $\delta > 0$  угол  $\varphi_K(0)$  оказался во второй четверти, а  $\varphi_M(0)$  – в третьей; на рис. 6,б при  $\delta < 0$  угол  $\varphi_K(0)$  – в первой четверти, а  $\varphi_M(0)$  – в четвёртой.

Алгоритмическая модель (рис. 5,в) формирует выходные напряжения  $\underline{U}_{пд}^*(x)$ ,  $\underline{U}_{ав}^*(x)$ ,  $\underline{U}_{тк}^*(x)$  при любых значениях  $x \in (0, l)$ . По ним определяются замеры (6) и (7). Как напряжения, так и замеры, создаваемые алгоритмической моделью, адекватно воссоздают состояние линии на всём протяжении участка от места наблюдения  $x=0$  до места КЗ  $x_f$ , за которым при  $x > x_f$  адекватность нарушается; между напряжениями  $U^*(x)$  и  $U(x)$  алгоритмической и имитационной моделей, как и между отношениями  $\underline{K}^*(x)$  и  $\underline{K}(x)$ ,  $\underline{M}^*(x)$  и  $\underline{M}(x)$ , нарушается соответствие. Напряжение  $U_{ав}^*(x)$  при  $x > x_f$  возрастает с ростом координаты, между тем как в имитационной модели всё происходит наоборот.

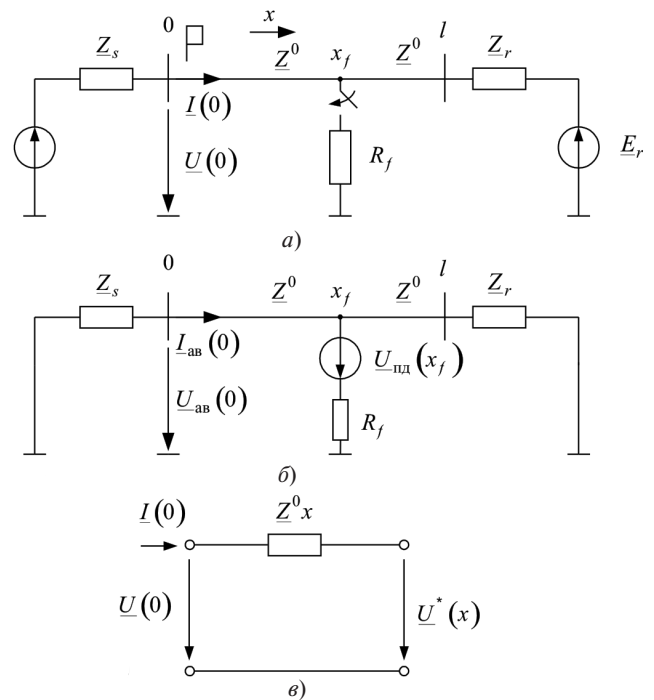


Рис. 5. Модели линии с двухсторонним питанием: а – имитационная модель в предшествующем и текущем режимах; б – в чисто аварийном режиме, в – алгоритмическая модель

Годографы рассматриваются только в пределах зоны защиты  $\underline{M}^*(0 \leq x \leq x_z)$ , разграничивая подмножество  $\beta$ -годографов, получаемых при  $x_f \in (x_z, l)$ , и подмножество  $\beta$ -годографов, которые создаются при  $x_f \in (0, x_z)$ . Задача локализации  $\beta$ -режимов сводится к определению на плоскости области локализации  $\beta$ -годографов  $S_M$  с граничной линией  $L_M$ , которая в отличие от характери-

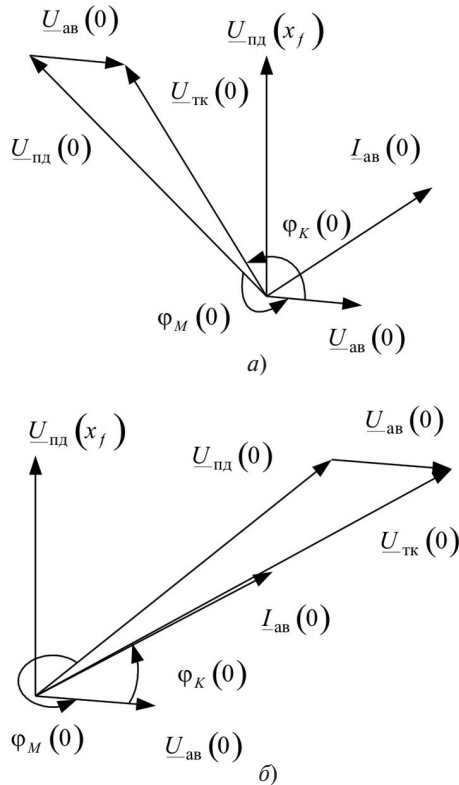


Рис. 6. Диаграммы напряжений предшествующего и чисто аварийного режимов при разных углах передачи: а – при  $\delta=30^\circ$ ; б – при  $\delta=-30^\circ$ ;  $x_f=60$  км;  $R_f=40$  Ом;  $Z_s=1+j10$  Ом;  $Z_r=1+j10$  Ом

стики места КЗ имеет замкнутый характер и, в свою очередь, является характеристикой блокирования дистанционной защиты. Отметим некоторые свойства области  $S_M$ . Во-первых, она включает в себя характеристику КЗ на границе зоны – дугу  $\underline{M}^*(x_{fz}, \lambda_{fz})$  (рис. 2,б). Во-вторых, в неё должна быть включена окрестность начала координат плоскости  $\underline{M}$ , где концентрируются точки  $\underline{M}^*(0)$ . Немаловажно, что по отношению к дуге  $\underline{M}^*(x_{fz}, \lambda_{fz})$  координатные годографы ориентированы по большей части одним и тем же образом – они направлены изнутри области  $S_M$ . На рис. 7,а показана область  $S_M$  в форме круга, где линия  $L_M$  – окружность радиусом  $r=51$  и центром в точке  $\underline{M}_{Ц}=-0,49$  (рис. 7,а иллюстрирует именно такой ход годографов). Иной ход демонстрируют короткие годографы, которые идут к дуге  $\underline{M}^*(x_{fz}, \lambda_{fz})$  от границы  $L_M$  (рис. 7,б).

**Дополнительный критерий распознавания КЗ в зоне.** Блокировка от  $\beta$ -режимов не исключает необходимости в непосредственной проверке наблюдаемого режима на принадлежность к подмножеству  $\alpha$ -режимов. Воспользуемся для этой цели характеристикой (1) для конца зоны как места КЗ. Харак-

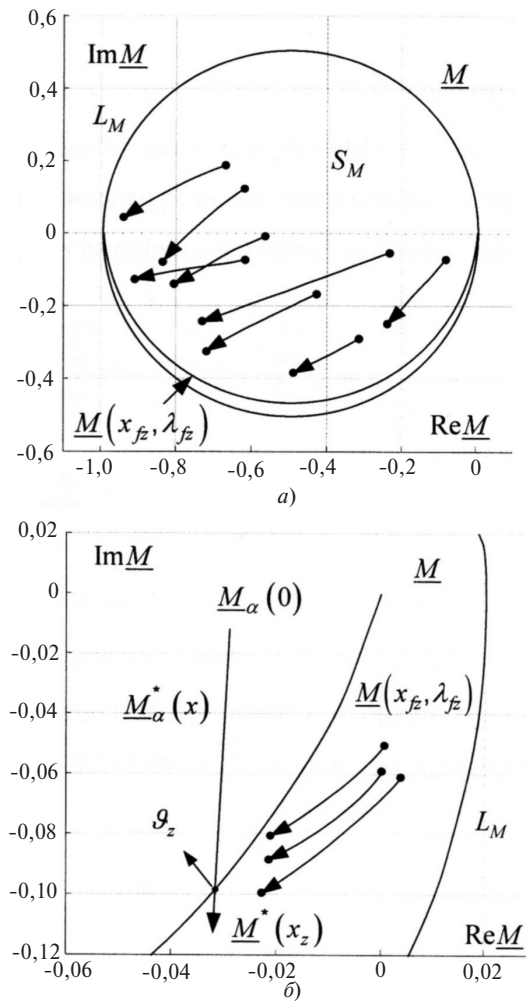


Рис. 7. Область локализации альтернативных режимов: а – общая область; б – часть области с обратным ходом годографов

теристика имеет вид зависимости  $\underline{K}(x_{fz}, \lambda_{fz})$ , которая отображается сегментом  $H_K$  лучей:

$$\underline{K}(x_{fz}, \lambda_{fz}) = \lambda_{fz} e^{j(\pi - \varphi_{вн}(x_{fz}, x_{нм}))}, \quad (14)$$

где  $\mathbf{x}_{нм} = [\delta, Z_s, Z_r]^T \in \mathbf{G}_{нм}$ ;  $\mathbf{x}_{нм}$  – вектор нормальных варьируемых параметров имитационной модели;  $\mathbf{G}_{нм}$  – область определения этих параметров.

Алгоритмическая модель ставит в соответствие наблюдаемому режиму координатный годограф  $\underline{K}^*(x)$  на протяжении защищаемой зоны  $x \in (0, x_z)$ . Если годограф пересекает сегмент  $H_K$  лучей (14), то это обстоятельство свидетельствует о КЗ в зоне. Общие условия срабатывания ограничиваются значениями  $x_{кр}$  и  $\lambda_{fzкр}$  – параметрами годографа и граничного луча при выходе годографа из сегмента (рис. 8).

Блокирующая область  $S_M$  (рис. 7) захватывает не только годографы  $\beta$ -режимов, но и некоторые малопротяжённые годографы  $\alpha$ -режимов. Они проявляют себя пересечением с характеристикой



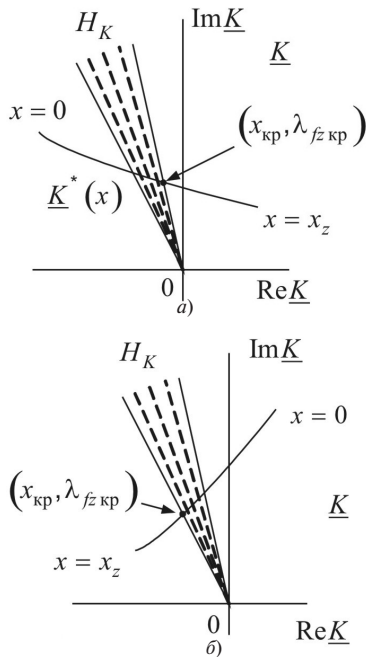


Рис. 8. Признаки КЗ в зоне защиты: а – при  $\delta > 0$ ; б – при  $\delta < 0$

$\underline{M}(x_{fz}, \lambda_{fz})$ , но дополнительная проверка на плоскости  $\underline{K}$  повышает надёжность распознавания КЗ в защищаемой зоне. Именно такой годограф  $\alpha$ -режима  $\underline{M}_\alpha^*(x)$  показан на рис. 7,б. Его пересечение с характеристикой КЗ  $\underline{M}(x_{fz}, \lambda_{fz})$  отмечено выдачей логического сигнала  $\vartheta_z$ , между тем как о попадании любого годографа в заданную область  $S_M$  информирует логический сигнал  $\vartheta_S$ , выполняющий блокирующую функцию.

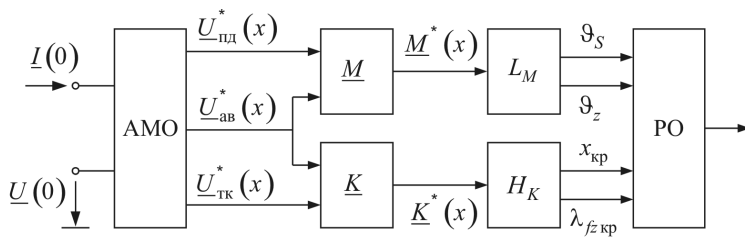


Рис. 9. Структурная схема защиты

**Структура дистанционной защиты.** Базисным структурным элементом является алгоритмическая модель защищаемого объекта (АМО), преобразующая наблюдаемые величины  $\underline{I}(0)$ ,  $\underline{U}(0)$  в напряжения произвольного места линии  $\underline{U}_{пд}^*(x)$ ,  $\underline{U}_{ав}^*(x)$ ,  $\underline{U}_{тк}^*(x)$  (рис. 9). В двухканальной структурной схеме первоочередную задачу решает канал замера  $\underline{M}$ , где имеется исполнительный орган с заданной характеристикой  $L_M$ , а также, возможно, и внутренней линией – области  $S_M$  (рис. 7) – дугой  $\underline{M}(x_{fz}, \lambda_{fz})$ . Вспомогательную задачу решает канал замера  $\underline{K}$  со своим исполнительным органом  $H_K$ , располагающим параметрами граничных лучей одноименного

сегмента. Орган  $L_M$  фиксирует попадание замера  $\underline{M}^*(x_z)$  в область  $S_M$ , выдавая сигнал  $\vartheta_S$ , а в качестве опции определяет пересечение  $\underline{M}^*(x)$  с дугой  $\underline{M}(x_{fz}, \lambda_{fz})$ , выдавая сигнал  $\vartheta_z$ . Орган  $H_K$  фиксирует пересечение годографом  $\underline{K}^*(x)$  сегмента  $H_K$  и определяет значение параметров  $x_{кр}$  и  $\lambda_{fзкр}$ . Решение о срабатывании защиты принимает реагирующий орган  $PO$ , анализирующий ситуацию на основании поступивших в его распоряжение логических сигналов  $\vartheta_S$  и  $\vartheta_z$  и значений  $x_{кр}$  и  $\lambda_{fзкр}$ .

**Вывод.** Алгоритмические модели, характеристики места КЗ, координатные годографы, взятые вместе, предоставляют такие критерии распознавания факта повреждения, случившегося в защищаемой зоне, которые ведут к унифицированным характеристикам дистанционной защиты. Срабатывание защиты определяется двумя условиями – основным и дополнительным. Основное условие обеспечивается локализацией альтернативных режимов замыкания вне зоны защиты. Дополнительное условие предоставляется характеристиками границы зоны как места КЗ совместно с координатными годографами на протяжении зоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лямец Ю.Я., Ильин В.А., Подшивалин Н.В. Программный комплекс анализа аварийных процессов и определения места повреждения линии электропередачи. – Электричество, 1996, № 12, с. 2–7.
2. Лямец Ю.Я., Воронов П.И., Мартынов М.В., Атнишкин А.Б., Широкин М.Ю. Модель неповреждённого энергообъекта как индикатор повреждения. – Электротехника, 2017, № 7, с. 60–65.
3. Лямец Ю.Я., Мартынов М.В., Маслов А.Н. Метод алгоритмических моделей. – Релейщик, 2017, № 3, с. 16–19.
4. Fikri M., El-Sayed M. New algorithm for distance protection of high voltage transmission lines. – IEEE Proc., 1998, vol.135, No. 5, pp.436–440.
5. Лямец Ю.Я., Воронов П.И., Атнишкин А.Б. Распознавание аварийных состояний энергообъекта посредством локализации альтернативных режимов. – Электричество, 2018, № 9, с. 29–38.

[25.04.2018]

Авторы: Лямец Юрий Яковлевич окончил в 1962 г. энергетический факультет Новочеркасского политехнического института. В 1994 г. защитил во ВНИИЭ докторскую диссертацию «Адаптивные реле: теория и приложение к задачам релейной защиты и автоматики электрических систем». Председатель НТС ООО «Релематика». Профессор кафедры ТОЭ и РЗА Чувашского государственного университета (ЧГУ).

Мартынов Михаил Владимирович окончил в 2011 г. магистратуру на факультете энергетики и электротехники ЧГУ. В 2014 г. в ЧГУ защитил кандидатскую диссертацию «Исследование и разработка обучаемых модулей микропроцессорных защит ли-

ний электропередачи». Инженер-исследователь ООО «Релематика».

Маслов Александр Николаевич – магистрант ЧГУ, инженер-исследователь ООО «Релематика».

*Elektrichestvo*, 2018, No. 11, pp. 10–16

DOI:10.24160/0013-5380-2018-11-10-16

## Fault Recognition Criteria for an Electric Power Line Monitored Zone

**LIAMETS Yury Ya.** (*Chuvash State University (ChSU), Cheboksary, Russia*) – Professor, Dr. Sci. (Eng.);  
Chairman of the Scientific and Technical Council LLC «Relematika»

**MARTYNOV Mikhail V.** (LLC «Relematika», Cheboksary, Russia) – Research Engineer, Cand. Sci. (Eng.)

**MASLOV Aleksander N.** (LLC «Relematika», Cheboksary, Russia) – Research Engineer

*The use of algorithmic models for recognizing short-circuit faults in the specified zone of an electric power line is considered. The algorithmic models reproduce the electric quantities in an arbitrary place of the supposedly healthy part of the line, including those at the protected zone boundary. The model of such type is adequate to the modeled system if a fault occurs beyond the protected area boundaries. If a fault occurs within the monitored zone limits, an inadequacy emerges, which gives a clue to recognizing an emergency mode. The voltages produced at the algorithmic model output in the previous, current, and purely emergency modes are used to generate measurements imaged on complex planes in the form of coordinate loci. Apart from the loci, parameters characterizing the short circuit fault location are also used as a fault recognition tool.*

**Key words:** *electric power lines, operating mode, distance protection, algorithmic model*

### REFERENCES

1. Lyamets Yu.Ya., P'in V.A., Padshivalin N.V. *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 1996, No. 12, pp. 2–7.
2. Lyamets Yu.Ya., Voronov P.I., Martynov M.V., Atnishkin A.B., Shirokin M.Yu. *Elektrotehnika – in Russ. (Electrical Engineering)*, 2017, No. 7, pp. 60–65.
3. Lyamets Yu.Ya., Martynov M.V., Maslov A.N. *Releishchik – in Russ. (Relayer)*, 2017, No. 3, pp. 16–19.

4. Fikri M., El-Sayed M. New algorithm for distance protection of high voltage transmission lines. – *IEEE Proc.*, 1998, vol.135, No. 5, pp. 436–440.

5. Lyamets Yu.Ya., Voronov P.I., Atnishkin A.B. *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 2018, No. 9, pp. 29–38.

[25.04.2018]