

# АЛГОРИТМ АВТОМАТИКИ ЛИКВИДАЦИИ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА В СОСТАВЕ МКПА

## 1. *Общее описание алгоритма АЛАР*

Автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР) предназначена для прекращения двухмашинного асинхронного режима путем формирования управляющих воздействий (УВ) на ресинхронизацию (РСХ) и (или) деление системы (ДС). Алгоритм позволяет выявлять угрозу, момента начала и факта возникновения асинхронного режима (АР). Для выполнения указанных функций алгоритм выполнен многоступенчатым и включает в себя три основные ступени и одну резервную (четвертая ступень).

Алгоритм формирует следующие виды команд УВ:

- отключение линейного выключателя (одного или двух) при ДС (выход DSL);
- отключение обходного выключателя при ДС (выход DSO);
- ДС в точке, удаленной от места установки АЛАР (выход DSU);
- РСХ при АР с ускорением (выход RSH\_1);
- РСХ при АР с торможением (выход RSH\_2).

В простейшем варианте исполнения устройство АЛАР контролирует *три фазных* тока ( $I_{ном}=5$  А) и *три фазных* напряжения ( $U_{ф.ном}=100/\sqrt{3}=58$  В).

Первая ступень служит для обнаружения угрозы и факта развития АР уже на начальном цикле. При этом осуществляется расчет моделируемого угла электропередачи и скольжения. Вторая ступень алгоритма должна выявлять АР через несколько циклов. В основу этой ступени положен дистанционно-угловой принцип с контролем периода АР. Третья ступень задействуется только в случае неуспешной ресинхронизации, инициируемой второй ступенью. В алгоритме присутствует также токовая ступень, предназначенная для резервирования трех вышеуказанных ступеней по принципу действия. Для повышения селективности по отношению к синхронным качаниям, в ней отслеживается степень затухания колебаний амплитуды тока. Третья и резервная ступени действуют только на ДС.

В основу работы первых трех ступеней положен дистанционно-угловой принцип. Его сущность заключается в том, чтобы получать информацию о параметрах распознавания АР, к которым относятся угол  $\delta$  и сопротивление  $Z_c$  до ЭЦК, непосредственно из полного сопротивления  $Z$ , не прибегая к моделированию напряжений в смежных узлах энергосистемы. Такой принцип позволяет объединить достоинства известных углового и дистанционного принципов и нивелировать их недостатки, отмеченные выше.

Для реализации дистанционно-углового принципа разработан метод ортогональных функций, согласно которому параметры распознавания АР вычисляются через проекции  $Z_m$  и  $Z_{0m}$  вектора  $Z$  на оси  $R'$  и  $jX'$ , соответственно, повернутые в комплексной плоскости относительно осей  $R$  и  $jX$  на некоторый угол  $\varphi_k$ , дополняющий угол  $\varphi_3$  эквивалентного сопротивления  $Z_3$  электропередачи до  $90^\circ$

$$\varphi_3 = 90^\circ - \varphi_k. \quad (1.1)$$

При этом искомые проекции, представленные на рисунке 1.1, вычисляются по формулам

$$Z_m = Z \cdot \sin(\varphi_3 - \varphi), \quad (1.2)$$

$$Z_{0m} = Z \cdot \cos(\varphi_3 - \varphi). \quad (1.3)$$

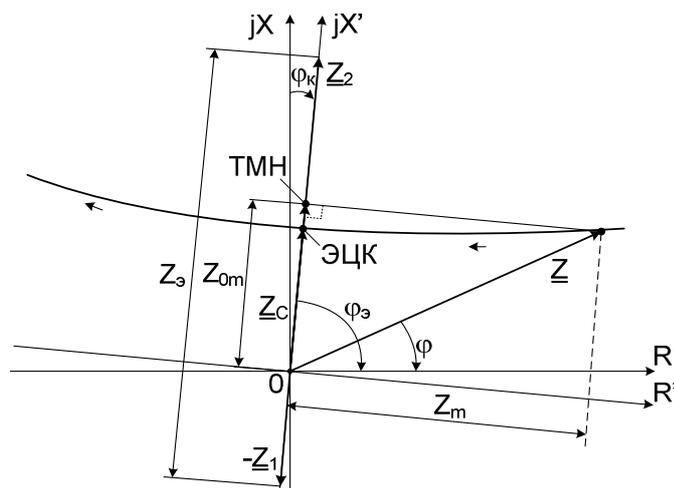


Рис. 1.1. Ортогональные составляющие входного сопротивления сети

Фактически  $Z_m$  и  $Z_{0m}$  относятся к точке минимального напряжения (ТМН) на электропередаче, определяя сопротивление до места подключения автоматики (контроля  $Z$ ) и сопротивление, которое можно было бы измерить непосредственно в ТМН.

В предложенном методе принято допущение о совпадении с несущественной погрешностью ТМН и ЭЦК в диапазоне рабочих углов  $90^\circ < \delta < 270^\circ$ , где производится выявление АР. Как показали расчёты, при изменении отношения к эквивалентных ЭДС по концам электропередачи (рис. 1.2) в пределах от 0,8 до 1,25 погрешность  $\Delta Z = Z_{0m} - Z_c$ , отнесённая к  $Z_3$ , не превышает в среднем  $\pm 2\%$ . При приближении  $\delta$  к  $180^\circ$  погрешность  $\Delta Z$  стремится к нулю, принимая экстремальные значения при граничных значениях  $\delta$  и  $k$ .

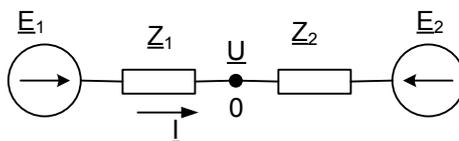


Рис. 1.2. Схема замещения электропередачи

По методу ортогональных функций основополагающей для вычисления  $\delta$  является его простая тригонометрическая связь с напряжением в ЭЦК (ТМН), которая может быть установлена с помощью векторной диаграммы, приведённой на рисунке 1.3 для схемы замещения электропередачи, эквивалентирующей ЭЭС при двухчастотном АР.

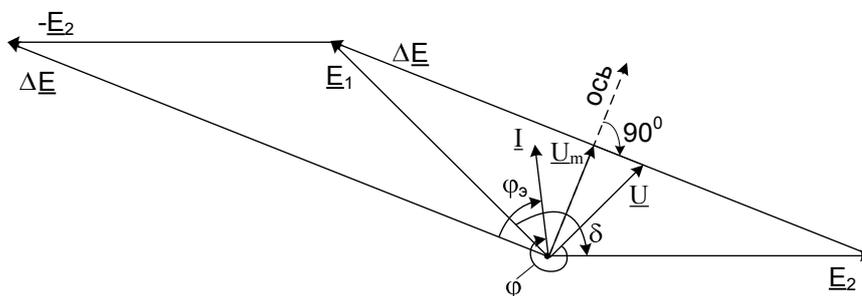


Рис. 1.3. векторная диаграмма для АР электропередачи

Напряжение  $U_m$  в ТМН может быть получено как проекция вектора напряжения  $U$  в контролируемом узле на ось, перпендикулярную вектору  $\Delta E$ , или определено из треугольника, образуемого векторами  $E_1$  и  $E_2$ , с высотой  $U_m$

$$U_m = U \cdot \sin(\varphi_3 - \varphi), \quad (1.4)$$

$$U_m = U_{m.\max} \cdot \cos \frac{\delta}{2}, \quad (1.5)$$

где  $U_{m.\max} = \sqrt{2} \cdot E_1 \cdot E_2 / \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \approx U_{\text{ном}}$ .

При выводе формулы (5) применены упрощения, вносящие погрешность менее 1%.

Напряжение  $U_m$  в методе ортогональных функций вычисляется через проекцию  $Z_m$

$$U_m = Z_m \cdot I, \quad (1.6)$$

где  $I$  – ток электропередачи.

Из (1.4–1.6) следует, что есть прямая тригонометрическая связь между  $Z_m$  и углом  $\delta$

$$\delta = 2 \cdot \arccos \left( \frac{Z_m \cdot I}{U_{m.\max}} \right). \quad (1.7)$$

Работа алгоритма АЛАР (за исключением резервной ступени) начинается при вхождении режимных параметров в зону срабатывания (ЗС), которая задается условиями

$$|U_m| < U_{\text{ср}}, \quad (1.8)$$

$$Z_{\text{down}} < Z_{0m} < Z_{\text{up}}, \quad (1.9)$$

где  $U_{\text{ср}}$  – напряжение срабатывания по величине напряжения в точке ЭЦК  $U_m$ ;  $Z_{\text{up}}$  и  $Z_{\text{down}}$  – сопротивления, ограничивающие ЗС по величине сопротивления  $Z_{0m}$  сверху и снизу соответственно.

С помощью условия (1.8) контролируется нахождение угла  $\delta$  в области 180 градусов (приблизительно от 90 до 270°). При этом уставка  $U_{\text{ср}}$  подбирается таким образом, чтобы нижняя граница по углу  $\delta$  составляла 90±120°. Тогда  $U_{\text{ср}}$  должен находиться в диапазоне  $(0,7 \div 0,5) \cdot U_{\text{ном}}$  соответственно, где  $U_{\text{ном}}$  – номинальное фазное напряжение в месте установки устройства. Для второй и третьей ступеней величина  $U_{\text{ср}}$  задается в виде константы равной  $0,5 \cdot U_{\text{ном}}$  (30 В).

Благодаря условию (1.9) осуществляется контроль сечения, по которому нарушается устойчивость параллельной работы генераторных групп энергосистемы. Уставки  $Z_{\text{up}}$  и  $Z_{\text{down}}$  определяют границы контролируемого сечения и выбираются таким образом, чтобы ЗС по  $Z_{0m}$  охватывала все годографы сопротивления в АР для полного пакета схем электропередачи. При этом ЗС должна быть отстроена от внешних АР. Задаваемые величины  $Z_{\text{up}}$  и  $Z_{\text{down}}$  могут быть как положительными (выше оси R), так и отрицательными (ниже оси R), но всегда необходимо соблюдать условие  $Z_{\text{up}} > Z_{\text{down}}$ .

Действие алгоритмов трех первых ступеней разрешается только при одновременном выполнении условий (1.8)–(1.9). Каждая из этих ступеней в момент срабатывания формирует управляющие воздействия (УВ) в зависимости от знака скольжения при АР с ускорением и с торможением.

Выражения (1.3)–(1.4), используя известные тригонометрические преобразования, можно записать через активную  $R$  и реактивную  $X$  составляющие измеряемого сопротивления  $Z$

$$U_m = I \cdot (R \cdot \sin \varphi_3 - X \cdot \cos \varphi_3), \quad (1.10)$$

$$Z_{0m} = R \cdot \cos \varphi_3 + X \cdot \sin \varphi_3. \quad (1.11)$$

В алгоритме предусмотрена возможность смещения оси эквивалентного сопротивления передачи по активной составляющей на величину  $R_{\text{см}}$ . Это способствует повышению точности определения величин  $U_m$  и  $Z_{0m}$  при наличии неоднородных линий вблизи места установки устройства АЛАР. В (1.10)–(1.11) подставляется значение  $R$ , из которого вычитается  $R_{\text{см}}$ . На рисунке 1.3 показан пример, когда  $R_{\text{см}} > 0$  (здесь  $Z_{31}$ ,  $Z_{32}$  и  $Z_{33}$  – сопротивления отдельных участков контролируемой передачи).

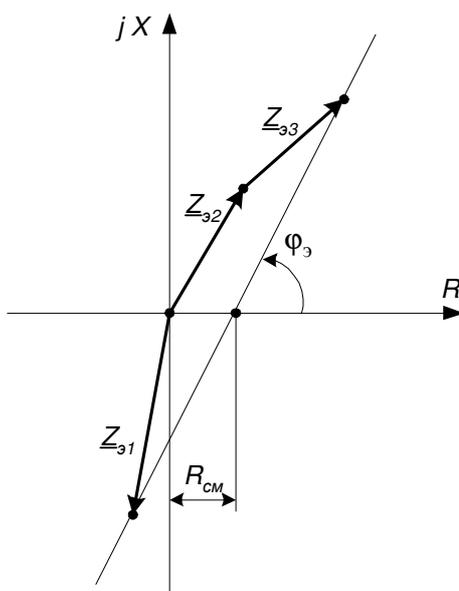


Рис. 1.4. Смещение оси эквивалентного сопротивления при неоднородности электропередачи.

Неоднородность линий, расположенных по обе стороны от места установки АЛАР, нужно учитывать с помощью задания в качестве уставки угла  $\varphi_э$  эквивалентного сопротивления контролируемой электропередачи, используемой в (1.10)–(1.11).

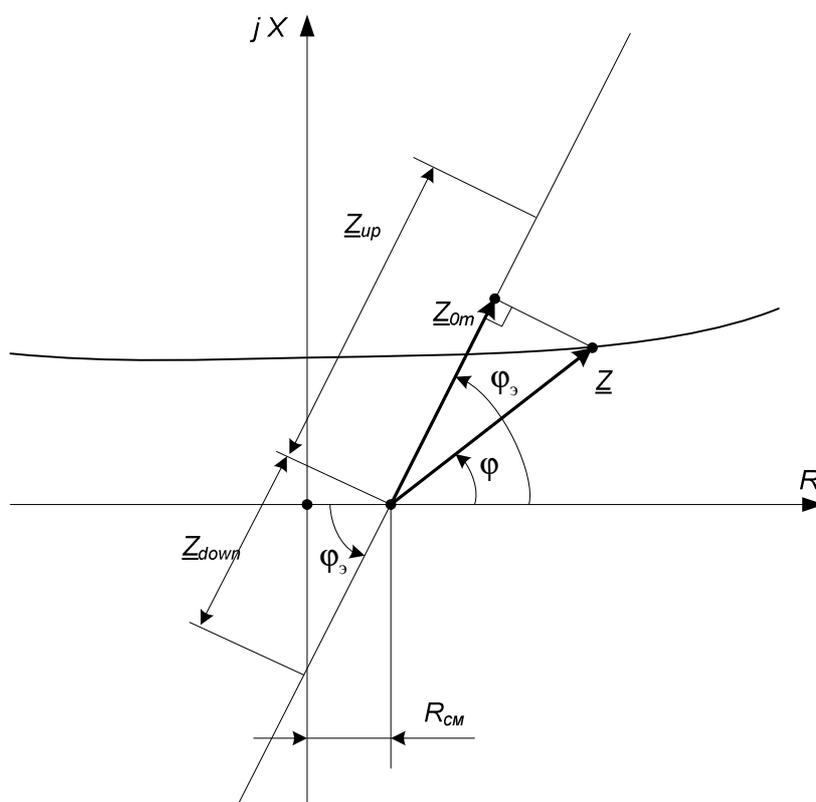


Рис. 1.5. Графическое определение  $Z_{0m}$  с учетом  $R_{см}$ .

Работа первой ступени основана на вычислении моделируемого угла  $\delta_m$  электропередачи по выражению

Скольжение вычисляется по двум значениям моделируемого угла  $\delta_m$  как отношение

$$s = (\delta_{m1} - \delta_{m0}) / \Delta t, \quad (1.12)$$

где  $\delta_{m1}$  и  $\delta_{m0}$  – усредненные значения угла  $\delta_m$ , рассчитанные по измеренным данным соответственно в начале и в конце рассматриваемого интервала времени;  $\Delta t$  – длительность этого интервала.

Скорость изменения скольжения (ускорение) определяется на основании информации о двух величинах скольжения следующим образом:

$$ds/dt = (s_1 - s_0) / \Delta t, \quad (1.13)$$

где  $s_1$  и  $s_0$  – значения скольжений  $s$ , определяемые (1.12) в начале и в конце рассматриваемого интервала времени.

Обнаружение угрозы АР до его начала, т.е. до перехода через критический угол производится по фазовым траекториям в координатах «угол-скольжение» (рис. 1.6). Поскольку в АР траектория идет выше, чем при синхронных качаниях (СК), то выявление АР можно осуществлять по условию превышения углом  $\delta_m$  линейной характеристики срабатывания (ХС):

$$\delta_m > \delta_{cp} - \tau \cdot s_m, \quad (1.14)$$

где  $\delta_{cp}$  – угол срабатывания при  $s_m = 0$  (смещение ХС по оси  $\delta_m$ );  $\tau$  – величина, задающая наклон ХС. Параметры  $\delta_{cp}$  и  $\tau$  вводятся в алгоритм в качестве уставок и подбираются так, чтобы обеспечить отстройку от СК во всех возможных установившихся режимах, предшествующих асинхронному.

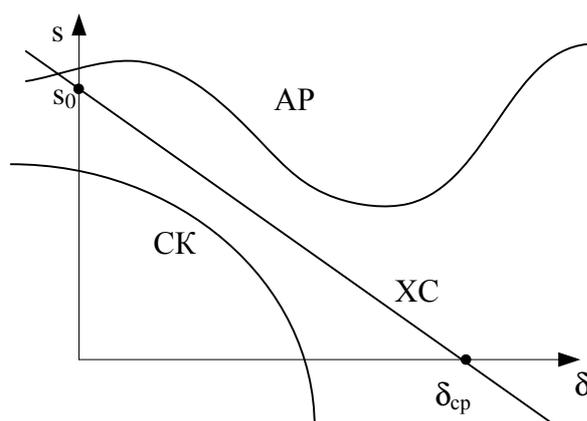


Рис. 1.6. Фазовые траектории в координатах «угол-скольжение».

Факт начала АР после прохождения критического угла распознается по совпадению знаков  $\delta$ ,  $s$  и  $ds/dt$  внутри ЗС, т.е. при выполнении равенств

$$\text{sign}(s) = \text{sign}(ds/dt) = \text{sign}(U_{in}), \quad (1.15)$$

где  $U_{in}$  – напряжение  $U_m$  в момент входа в ЗС. Здесь и в дальнейшем знак угла  $\delta$  и скольжения АР определяется по знаку  $U_{in}$ .

Для повышения гибкости в алгоритме предусмотрен вывод логики обнаружения момента возникновения АР.

Чтобы обеспечить дополнительную надежность выявления АР, первой ступенью осуществляется дополнительный контроль угла  $\delta$ , с помощью которого отслеживается переход его через 180 градусов. Факт АР обнаруживается при выполнении одного из следующих условий:

$$\delta_m > 200^\circ \text{ при } U_{in} > 0, \quad (1.16)$$

$$\delta_m < 160^\circ \text{ при } U_{in} < 0. \quad (1.17)$$

Условие (1.16) проверяется при положительном скольжении, соответственно условие (1.17) – при отрицательном.

После срабатывания первой ступени ее дальнейшая работа блокируется до исчезновения условий АР (см. описание второй ступени).

Отстройка первой ступени от КЗ осуществляется по абсолютной величине скольжения

$$|s| > s_{кз}, \quad (1.18)$$

где  $s_{кз}$  – скольжение срабатывания отстройки от КЗ. Величина  $s_{кз}$  подбирается таким образом, чтобы исключить блокировку алгоритма первой ступени на первом цикле АР при различных вариантах развития аварии. Обычно принимается  $s_{кз} = 2\pi \cdot f$ , где частота  $f = 3 \div 5$  Гц.

Отстройка от несимметричных КЗ осуществляется также при наличии несимметрии тока или напряжения

$$U_2 / U > U_{21}, \quad (1.19)$$

$$I_2 / I > I_{21}, \quad (1.20)$$

где  $U_2$  и  $I_2$  – действующие значения напряжения и тока обратной последовательности;  $U_{21}$  и  $I_{21}$  – уставки срабатывания блокировки по несимметрии. Чтобы избежать отказов, условия (1.19)–(1.20) выводятся при низком уровне величин  $U$  и  $I$ .

В основу работы второй ступени положен подсчет числа ( $n$ ) циклов АР с контролем периода колебаний режимных параметров  $T$ . Циклы отсчитываются по количеству сквозных проходов параметров  $U_m$  и  $Z_{0m}$  через зону срабатывания (1.8)–(1.9), если на входе и на выходе из зоны величина  $U_m$  имеет различный знак. Выявление АР происходит при

$$n \geq N_2, \quad (1.21)$$

где  $N_2$  – количество циклов АР, отсчитываемых до срабатывания второй ступени. Для повышения гибкости в алгоритме используется два счетчика циклов. Один из них работает при положительном скольжении, второй – при отрицательном. Соответственно, у каждого счетчика своя уставка  $N_2$ . Это может потребоваться для согласования работы алгоритма с устройствами АЛАР, находящихся на противоположной стороне контролируемой электропередачи или на смежных сечениях.

Величина  $n$  увеличивается в момент смены знака  $U_m$  внутри ЗС, т.е. когда угол  $\delta_m$  переходит через  $180^\circ$ . Между этими же моментами двух соседних циклов измеряется период  $T$ . Исключением является самый первый цикл, который фиксируется только при выходе из ЗС, если знаки  $U_m$  в момент входа и в момент выхода из ЗС не равны между собой.

Количество отсчитанных циклов сбрасывается, если исчезают условия АР, т.е. при

$$T > T_{кр}, \quad (1.22)$$

где  $T_{кр}$  – допустимый по условиям ресинхронизации период АР. Величина  $T_{кр}$  задается в качестве уставки. Помимо условия (1.22), обнуление  $n$  происходит также при совпадении знаков  $U_m$  в момент входа и в момент выхода из ЗС, благодаря чему осуществляется надежная отстройка второй ступени от СК

$$\text{sign}(U_{in}) = \text{sign}(U_{out}), \quad (1.23)$$

где  $U_{out}$  – напряжение  $U_m$  в момент выхода из ЗС.

После срабатывания второй ступени ее работа блокируется на время ресинхронизации (РСХ)  $T_{РСХ}$ , задаваемого в виде уставки. Величина  $n$  при этом обнуляется и остается в таком состоянии до снятия блокировки, после чего отсчет циклов начинается заново, если АР не прекратился в результате РСХ.

Для отстройки второй ступени от симметричных КЗ используется контроль скорости перехода через две половины зоны срабатывания (до и после перехода через  $\delta=180^\circ$ ). Кроме того, отслеживается спад действующего значения тока, сигнал о котором поступает от резервной ступени (см. ниже описание резервной ступени). При несимметричных КЗ во второй ступени должна срабатывать блокировка по несимметрии токов и напряжений (1.19)–(1.20). Во избежание отказов срабатывания АЛАР проверка условий отстройки от КЗ после фиксации первого цикла АР прекращается до

исчезновения условий АР (1.22)–(1.23). Для тех случаев, когда возможны несинхронные включения с большим скольжением, предусмотрен вывод отстройки от КЗ для второй ступени.

Срабатывание третьей ступени происходит только в результате повторного действия второй ступени после неуспешной РСХ. Выходы алгоритма второй ступени при этом блокируются, а вместо этого сигнал о выявлении АР поступает на один из выходов третьей ступени в зависимости от знака скольжения. После начального срабатывания второй ступени уставка  $N_2$  в выражении (1.21) автоматически заменяется на  $N_3$ , что позволяет ускорить процесс выявления АР после неуспешной РСХ.

Третья ступень всегда работает только на отключение, поэтому ее имеет смысл использовать в том случае, когда вторая ступень действует на РСХ (при выведенной первой ступени). Однако в алгоритме АЛАР предусмотрен вариант, когда первая ступень работает на РСХ (после включения специальной логической уставки  $FRSH=1$ ). С помощью другой логической уставки ( $RSH=0$ ) алгоритм АЛАР может быть настроен только на деление системы, тогда третья ступень будет выведена.

Резервная ступень действует на основе анализа характера изменения только одной измеряемой величины – действующего значения фазного тока  $I$ . Из-за недостаточной информативности одного параметра алгоритм данной ступени не позволяет определять скольжение АР, поэтому выход, по которому идет срабатывание ступени, всего один. Кроме того, основываясь на измерениях только величины тока, невозможно контролировать сечение АР.

Срабатывание резервной ступени происходит после отсчета заданного уставкой  $n_p$  числа колебаний тока

$$n \geq N_p. \quad (1.24)$$

Величина  $N_p$  должна быть не менее 4.

Отсчет циклов осуществляется при периодическом изменении тока от малого ( $I_{\min} < I_{\text{cp}}$ ) до большого ( $I_{\max} > I_{\text{cp}}$ ) значения и обратно, где  $I_{\text{cp}}$  – ток срабатывания резервной ступени. Уставка  $I_{\text{cp}}$  выбирается таким образом, чтобы в полном пакете схем электропередачи при  $\delta \approx 0$  гарантированно выполнялось  $I < I_{\text{cp}}$ , а при  $\delta \approx 180^\circ$  было  $I > I_{\text{cp}}$ .

Счетчик циклов резервной ступени сбрасывается ( $n=0$ ) при исчезновении условия АР (1.22). Уставка  $T_{\text{кр}}$  здесь та же, что и в алгоритме второй ступени, а период  $T$  колебаний тока отсчитывается между моментами двух соседних циклов АР, когда  $I = I_{\text{cp}}$  при возрастании тока.

Чтобы лучше отстроиться от СК, в алгоритме резервной ступени осуществляется контроль степени затухания колебаний тока. Для этого запоминаются экстремальные значения тока на каждом цикле колебаний.

Во время АР по контролируемой электропередачи происходят колебания действующего значения тока  $I$  в широком диапазоне. Поэтому должны выполняться следующие условия:

$$I_{\min.i} / I_{\max.i} < B_{\text{cp}}, \quad (1.25)$$

$$I_{\max.i} / I_{\max.0} > B_{\text{вз}}, \quad (1.26)$$

где  $I_{\min.i}$  и  $I_{\max.i}$  – соответственно минимум и максимум действующего значения тока на последнем цикле колебаний;  $I_{\max.0}$  – наибольший максимум тока из всех циклов с начала их отсчета;  $B_{\text{cp}}$  – наибольшее возможное в АР отношение минимума к максимуму тока;  $B_{\text{вз}}$  – наименьшее возможное в АР отношение максимумов тока. Уставка  $B_{\text{cp}}$  обычно задается равной  $0,2 \div 0,35$ . Величина  $B_{\text{вз}}$  принимается равной  $0,8$ .

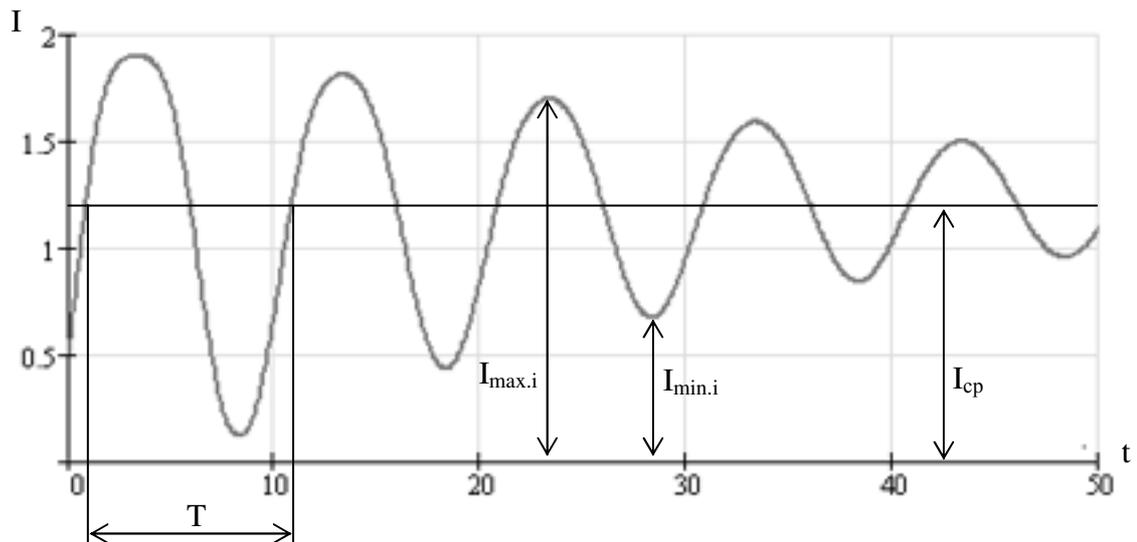


Рис. 1.7. Затухание тока во время СК при большом перетоке.

Контроль условия (1.25) позволяет отстроиться от СК при большом перетоке мощности на электропередачи (рис. 1.7), когда отношение  $I_{\min.i}/I_{\max.i}$  быстро возрастает. Через отслеживание (1.26) исключается срабатывание при СК с малой загруженностью линии (рис. 1.8) благодаря снижению промежуточных максимумов тока.

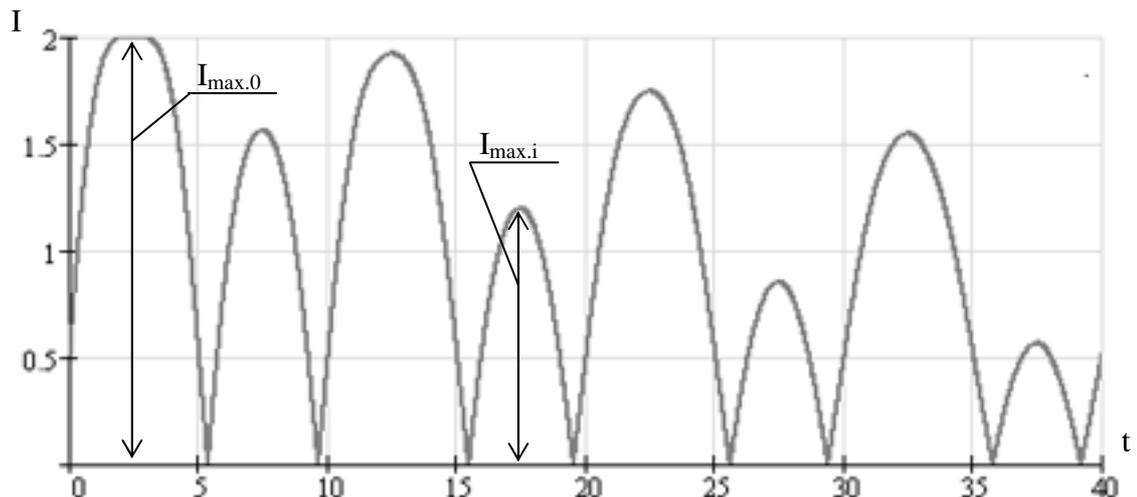


Рис. 1.8. Затухание тока во время СК при малом перетоке.

Чтобы повысить надежность отсчета циклов АР, после фиксации трех первых циклов осуществляется увеличение (загрубление) уставки  $V_{cp}$  до 0,4, а также замена  $I_{\max.0}$  на  $I_{\max.i}$  в условии (1.25).

Для отстройки от КЗ в алгоритме резервной ступени предусмотрен контроль скорости спада тока после отключения КЗ. Эта блокировка срабатывает, если скорость снижения  $I$  очень высока:

$$I_{m-1} - I_m > \alpha_1 \cdot I_0 + \alpha_2 \cdot (I_0 - I_{m-1}), \quad (1.27)$$

где  $I_m$  и  $I_{m-1}$  – действующие значения тока отстоящие друг от друга во времени на величину примерно равную длительности полупериода изменения мгновенного тока, причем  $I_{m-1}$  соответствует более раннему моменту времени (когда происходит спад тока,  $I_{m-1} - I_m > 0$ );  $I_0$  – значение последнего максимума тока, после которого наступает снижение  $I$ . Принимается  $\alpha_1 = 0,08$  и  $\alpha_2 = 0,1$ . После отсчета первого цикла АР проверка условия (1.27) прекращается вплоть до исчезновения условия АР (1.22). Предусмотрен вывод контроля наличия КЗ с помощью специальной логической уставки, чтобы обеспечить

устойчивую работу резервной ступени при несинхронных включениях с большой разностью частот.

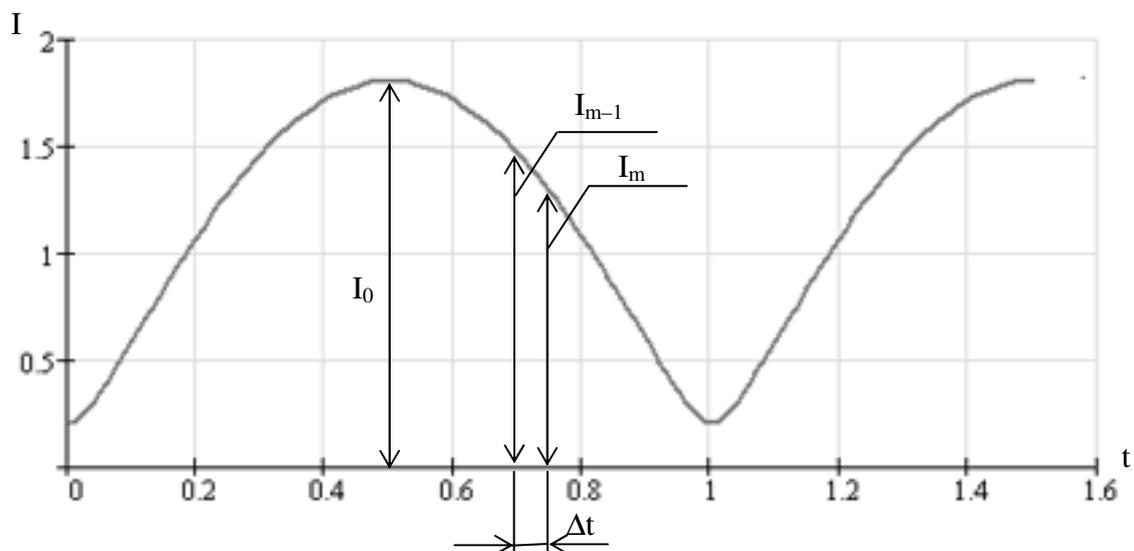


Рис. 1.9. Контроль скорости спада тока.

Для выявления неполнофазных АР в алгоритме резервной АЛАР используется три блока резервной ступени, каждый из которых включен на ток своей фазы.

## 2. Методика выбора уставок

### Порядок расчёта уставок

- а. Определение пакета расчетных схем (нормальная, ремонтные, послеаварийные) и исходных режимов нагрузки для этих схем (максимальное, минимальное).
- б. Выбор видов возмущений, вызывающих асинхронные режимы (АР) по контролируемому сечению (первая группа АР) и по смежным внешним сечениям (вторая группа АР).
- в. Выполнение расчетов по программам динамической устойчивости (ДАКАР, МУСТАНГ и т.п.) для пакета расчетных схем.
- г. Построение годографов входного сопротивления  $\underline{Z}$  и мощности  $\underline{S}$  для контролируемого узла при АР первой и второй группы.
- д. Построение графиков изменения во времени тока линии при АР первой и второй группы.
- е. Построение по годографам  $\underline{S}$ ,  $\underline{Z}$  для АР первой группы характеристики в плоскости  $P$ ,  $jQ$  в виде прямой линии по критерию наибольшего приближения к точкам годографов  $\underline{S}$ , соответствующим  $\delta=0$  и  $\delta=180^\circ$ , где  $\delta$  – угол между эквивалентными ЭДС асинхронно идущих частей системы.
- ж. Выбор уставок.

### Рекомендации по выбору уставок

$\Gamma_{i_e}$  ( $\varphi_3$ ) – угол эквивалентного сопротивления  $\underline{Z}_3$  электропередачи для расчетных АР, град. Выбирается таким образом, чтобы прямая, образующая этот угол с осью абсцисс (ось  $R$  или  $P$ ), для полного пакета схем отвечала критерию наибольшего приближения к точкам годографов  $\underline{Z}$  или  $\underline{S}$ , соответствующим  $\delta=0$  и  $\delta=180^\circ$ .

$R_{см}$  – смещение оси эквивалентного сопротивления вдоль оси  $R$ , Ом. Величина уставки должна вводиться с учётом знака. В большинстве случаев можно принимать  $R_{см}=0$ .

$Z_{up}$  ( $Z_{up}$ ) – уставка сопротивления, ограничивающая «сверху» зону размещения ЭЦК в АР по контролируемому сечению, Ом. В этих режимах выделяют самые верхние расчётные годографы  $\underline{Z}$  при  $\varphi=\varphi_3$  ( $\delta_3=180^\circ$ ) и определяют для этих условий значения  $Z_h$  в точке пересечения с осью эквивалентного сопротивления  $\underline{Z}_3$  электропередачи (см. рис. 2.1). Уставку вычисляют по формуле

$$Z_{up} = K_h \cdot Z_h + K_{отс} \cdot Z_0, \quad (2.1)$$

где  $K_h = X_h / |X_h|$ ;  $K_{отс} = 0,2$ ;  $Z_0 = 2 \cdot U_{ф.ном} / I_{max}$ ;  $I_{max}$  – максимальный ток в расчётных АР по контролируемому сечению. Коэффициент  $K_h$  задает знак  $Z_h$ . Если  $\underline{Z}_h$  располагается над осью  $R$ , то  $K_h=1$ , в противном случае  $K_h=-1$ .

$Z_{down}$  ( $Z_{down}$ ) – уставка сопротивления, ограничивающая «снизу» зону размещения ЭЦК в АР по контролируемому сечению, Ом. В этих режимах выделяют самые нижние расчётные годографы  $\underline{Z}$  при  $\varphi=\varphi_3$  ( $\delta_3=180^\circ$ ) и определяют для этих условий значения  $Z_g$  в точке пересечения с осью эквивалентного сопротивления  $\underline{Z}_3$  электропередачи (см. рис. 2.1). Уставку вычисляют по формуле

$$Z_{down} = K_g \cdot Z_g - K_{отс} \cdot Z_0, \quad (2.2)$$

где  $K_g = X_g / |X_g|$ . Коэффициент  $K_g$  задает знак  $Z_g$ . Если  $\underline{Z}_g$  располагается над осью  $R$ , то  $K_g=1$ , в противном случае  $K_g=-1$ .

Необходимо проверить отсутствие прохождения годографов внешних АР через зону, ограниченную  $Z_{up}$  и  $Z_{down}$ .

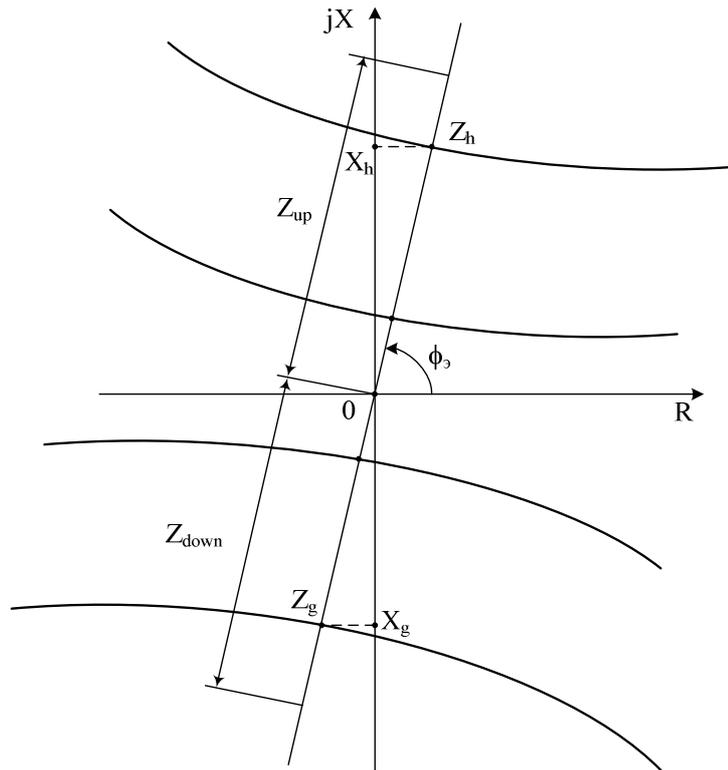


Рис. 2.1. Графическое определение  $Z_{up}$  и  $Z_{down}$ .

$T_{кр}$  ( $T_{кр}$ ) – критический период АР допустимый по условиям РСХ, с. Для выбора  $T_{кр}$  необходимо расчётным путём найти максимально возможный период АР по контролируемому сечению (по кривым изменения тока в АР), и величину  $T_{кр}$  задавать чуть больше найденного периода с небольшим запасом 20 %. Как правило, величина находится в пределах 1÷2 с.

$U_{ср}$  ( $U_{ср}$ ) – напряжение срабатывания, В. Задается только для первой ступени в диапазоне (0,5÷0,7) от  $U_{ф.ном}$  и вычисляется по формуле

$$U_{ср} = K_{отс} \cdot U_{ф.ном} \cdot \sin(\varphi_3 - \varphi_{н.мах}), \quad (2.3)$$

где  $K_{отс}=0,8$ ;  $\varphi_{н.мах}$  – максимальный угол между векторами  $\underline{U}$  и  $\underline{I}$  в нагрузочном режиме при большом перетоке (обычно  $\varphi_{н.мах} \leq 30^\circ$ ).

$d_{ср}$  ( $\delta_{ср}$ ) – смещение линейной характеристики срабатывания (ХС) первой ступени по углу  $\delta$ , рад. Определяют по граничным фазовым траекториям «скольжение – угол» для выявления угрозы АР.

$\tau_{ау}$  ( $\tau$ ) – коэффициент наклона линейной ХС первой ступени, с. Определяют по граничным фазовым траекториям «скольжение – угол» для выявления угрозы АР.

Параметры  $\delta_{ср}$  (задается в радианах) и  $\tau$  необходимо подбирать таким образом, чтобы обеспечить надёжную отстройку от всех возможных СК по контролируемому сечению. При этом допускается снижение чувствительность логики обнаружения угрозы АР. Т.о., ХС должна располагаться выше всех фазовых траекторий, соответствующих СК. Выбрав значения  $\delta_{ср}$  и  $s_0$  (рис. 1.6), далее можно вычислить величину уставки  $\tau = \delta_{ср}/s_0$ . Скольжение  $s_0$  при этом должно быть выражено в рад./с. Если в конкретном месте установки АЛАР нет необходимости скорейшего прекращения развивающегося АР (при  $\delta < \delta_{кр}$ ), рекомендуется в целях обеспечения более устойчивой работы АЛАР не задействовать логику обнаружения угрозы АР, для чего достаточно задать  $\delta_{ср}=0$  и  $\tau=0$ . Для настройки неселективного устройства АЛАР необходимо задать только величину  $\delta_{ср}$ , скольжение в этом случае учитываться не будет.

$s_{kz}$  ( $s_{k3}$ ) – скольжение блокировки первой ступени, рад./с. Уставка  $s_{k3}$  вычисляется по формуле

$$s_{k3} = K_{отс} \cdot (2\pi / T_{min}), \quad (2.4)$$

где  $T_{min}$  – минимальный период АР на первом цикле,  $T_{min} \geq 0,2$  с. Обычно принимают  $s_{k3} \leq 35$  рад/с.

$N2\_1$  ( $N_{2,1}$ ) – количество циклов АР до срабатывания второй ступени при  $s > 0$ . Положительным скольжение будет, если до АР мощность передавалась от шин в контролируруемую линию.

$N2\_2$  ( $N_{2,2}$ ) – количество циклов АР до срабатывания второй ступени при  $s < 0$ .

Величины  $N_{2,1}$  и  $N_{2,2}$  должны быть согласованы с настройками устройств АЛАР, находящихся на противоположной стороне линии и на смежных сечениях. Необходимо выбирать значения этих уставок не менее 2. Если нет разницы в том, с какой стороны отключать линию, то нужно задать  $N_{2,1} = N_{2,2}$ .

$N3\_1$  ( $N_{3,1}$ ) – количество циклов АР до срабатывания третьей ступени после неуспешной РСХ при  $s > 0$ .

$N3\_2$  ( $N_{3,2}$ ) – количество циклов АР до срабатывания третьей ступени после неуспешной РСХ при  $s < 0$ .

Если нет необходимости ускорять работу третьей ступени, то принимают  $N_{3,1} = N_{2,1}$  и  $N_{3,2} = N_{2,2}$ . Величины  $N_{3,1}$  и  $N_{3,2}$  должны быть не менее 2.

$T_{PCX}$  ( $T_{PCX}$ ) – время блокировки третьей ступени после срабатывания АЛАР на РСХ. Величина уставки должна быть достаточной для отработки всех УВ с учетом времени втягивания в синхронизм. В то же время здесь необходимо учитывать допустимость продолжительного АР. Если РСХ не предусматривается, то необходимо задать  $T_{PCX} = 0$ .

$RSH$  – ввод РСХ. Если  $RSH = 0$ , то действие АЛАР на РСХ запрещено. Если  $RSH = 1$ , то действие АЛАР на РСХ разрешено.

$FRSH$  – ввод действия первой ступени на РСХ. Если  $FRSH = 0$ , то первая ступень будет действовать на ДС. Если  $FRSH = 1$ , то первая ступень будет действовать на РСХ. В последнем случае необходимо, чтобы было задано  $RSH = 1$ . После неуспешной РСХ будет работать третья ступень на ДС.

$SD$  – знак скольжения, при котором происходит отключение ВЛ с контролируемой стороны. Если  $SD = -1$ , то ДС с контролируемой стороны происходит при отрицательном скольжении, а ДС в удаленном месте – при  $s > 0$ . Если  $SD = 1$ , то ДС с контролируемой стороны будет при положительном скольжении, а ДС в удаленном месте – при  $s < 0$ . При  $SD = 0$  не зависимо от скольжения ДС происходит только с контролируемой стороны и в удаленном месте.

$U\_21$  ( $U_{21}$ ) – допустимое отношение напряжения обратной последовательности к напряжению прямой последовательности  $U_2/U_1$  (блокировка). Выбирается по условиям отстройки от рабочих режимов с учетом максимально возможной несимметрии. Как правило  $U_{21} \geq 0,1$ .

$I\_21$  ( $I_{21}$ ) – допустимое отношение тока обратной последовательности к току прямой последовательности  $I_2/I_1$  (блокировка). Выбирается по условиям отстройки от рабочих режимов с учетом максимально возможной несимметрии. Как правило  $I_{21} \geq 0,3$ .

$I_{1nomL}$  – номинальный ток первичной обмотки трансформатора тока в цепи линейного выключателя, А.

$I_{2nomL}$  – номинальный ток вторичной обмотки трансформатора тока в цепи линейного выключателя, А.

$I_{1nomO}$  – номинальный ток первичной обмотки трансформатора тока в цепи обходного выключателя, А.

$I_{2nomO}$  – номинальный ток вторичной обмотки трансформатора тока в цепи обходного выключателя, А.

AVR – ввод автоматического переключения каналов напряжения на второй ТН при исчезновении измерительного напряжения на первом ТН. AVR=1 означает «введено», AVR=0 – «выведено». Рекомендуется использовать данную опцию (AVR=1) только при отсутствии внешнего резервирования цепей измерительного напряжения, подводимого к устройству.

$I_{cp}$  ( $I_{cp}$ ) – ток срабатывания пускового органа резервной ступени, А. Задается во вторичных значениях. Величина  $I_{cp}$  определяется по двум условиям:

$$I_{cp} < (I_{max})_{nm} \cdot K_{отс1}, \quad (2.5)$$

$$I_{cp} > (I_{min})_{nb} \cdot K_{отс2}, \quad (2.6)$$

где  $(I_{max})_{nm}$  – наименьшее из максимальных значений тока в цикле АР для расчетных режимов;  $(I_{min})_{nb}$  – наибольшее из минимальных значений тока в цикле АР для расчетных режимов;  $K_{отс1}=0,8$ ;  $K_{отс2}=1,2$ .

$V_{cp}$  ( $V_{cp}$ ) – допустимое отношение минимального значения тока к максимальному в цикле его колебаний. Величина  $V_{cp}$  вычисляется для тех же режимов и условий, что и  $I_{cp}$  по формуле

$$V_{cp}=(I_{min}/I_{max})_{max} + 0,05; \quad (2.7)$$

где  $(I_{min}/I_{max})_{nb}$  – наибольшее в цикле АР отношение минимального значения тока к максимальному.

$N_r$  ( $N_r$ ) – количество циклов АР до срабатывания резервной ступени. Величина уставки должна быть согласованы с настройками устройств АЛАР, находящихся на противоположной стороне линии и на смежных сечениях.

$T_{кр}$  ( $T_{кр}$ ) – критический период АР допустимый по условиям РСХ, с. Для выбора  $T_{кр}$  необходимо расчётным путём найти максимально возможный период АР по контролируемому сечению (по кривым изменения тока в АР), и величину  $T_{кр}$  задавать чуть больше найденного периода с небольшим запасом 20 %. Как правило, величина находится в пределах  $1 \div 2$  с.

$T_r$  ( $T_{доп}$ ) – дополнительная задержка срабатывания резервной ступени, с. Уставка может использоваться для согласования с другими устройствами АЛАР. Если предусматривается действие основной АЛАР на РСХ, то величина  $T_{доп}$  должна превышать  $T_{РСХ}$ . Эта выдержка начинает отсчитываться после того, как будет зафиксировано заданное число  $N_r$  циклов АР. В большинстве случаев  $T_{доп}$  можно принимать равной нулю.