

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»  
«Академия электротехнических наук Чувашской Республики»

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ  
ЭНЕРГЕТИКИ, ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ  
И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

**Материалы  
III Международной научно-технической  
конференции**

Чебоксары  
2019

УДК 621.3(06)  
ББК 31я43  
П78

*Редакционная коллегия:*

**В.Г. Ковалев**, канд. техн. наук, профессор (гл. редактор);  
**Г.С. Нудельман**, канд. техн. наук, профессор;  
**В.А. Щедрин**, канд. техн. наук, профессор (зам. гл. редактора);  
**В.В. Афанасьев**, д-р техн. наук, профессор;  
**Ю.М. Миронов**, д-р техн. наук, профессор;  
**Г.П. Свинцов**, д-р техн. наук, профессор;  
**А.А. Ильин**, канд. техн. наук, доцент;  
**О.А. Онисова**, канд. техн. наук, доцент

*Печатается по решению Научно-технического совета  
Чувашского государственного университета*

**П78 Проблемы** и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности: материалы III Междунар. науч.-техн. конф. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. – 618 с.

ISBN 978-5-7677-2998-2

Представлены статьи и доклады третьей Международной научно-технической конференции, проведенной совместно с «Академией электротехнических наук Чувашской Республики», в которых приводятся и обсуждаются результаты актуальных научных исследований в области энергетики, электротехники и энергоэффективности, а также рассматриваются вопросы подготовки инженерных кадров.

Для преподавателей, аспирантов, магистрантов, студентов старших курсов энергетических специальностей вузов, инженерно-технического персонала предприятий и энергосистем.

ISBN 978-5-7677-2998-2

УДК 621.3(06)  
ББК 31я43

© Издательство  
Чувашского университета, 2019

2. Перрин Б., Бутенко А.П. Интерфейс RS-485 - наука и искусство! // Автоматизация в промышленности. - 2007. - №1. - С. 16-22.

3. Ремнев П.Ю., Васильева Л.Н. Проектирование защищенной сети предприятия // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: Материалы XI Всерос. науч.-техн. конф.– Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та – 2018. – С. 494-496.

**Авторы:**

**Курбатова Анастасия Сергеевна**, студент 3 курса факультета радиоэлектроники и автоматики. E-mail: [nastyusha-kurbatova@mail.ru](mailto:nastyusha-kurbatova@mail.ru).

**Васильева Лидия Николаевна**, кандидат педагогических наук, доцент кафедры автоматики и управления в технических системах. Математический факультет Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова, 2000 г. Специальность 13.00.02 Теория и методика обучения и воспитания, 2015 г. E-mail: [oln2404@mail.ru](mailto:oln2404@mail.ru).

## **РАЗГРАНИЧЕНИЕ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА И РЕЖИМА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

**Никитина А.Н., Петров В.С., Антонов В.И.,** Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары, Россия.

***Аннотация.** Селективность действия автоматики ликвидации асинхронного режима (АЛАР) обеспечивается локализацией места электрического центра качаний (ЭЦК) на контролируемом участке. Поскольку короткое замыкание (КЗ) на контролируемом участке воспринимается АЛАР как возникновение ЭЦК, то для исключения ложного действия АЛАР необходимо разграничить короткое замыкание и асинхронный режим. В работе исследуется метод разграничения асинхронного режима (АР) и режима короткого замыкания в электрической сети, основанный на контроле приращенния сопротивления.*

***Ключевые слова:** асинхронный режим, короткое замыкание, автоматика ликвидации асинхронного режима.*

Короткое замыкание, произошедшее на контролируемом участке, рисует для АЛАР такую же информационную картину, как и в асинхронном режиме электрической сети, когда напряжение в электрическом центре качаний снижается до нуля.

Общность информационной картины режимов может привести к неправильным действиям АЛАР [0]. Поэтому для исключения ложного срабатывания АЛАР используются специальные блокировки, основанные на разграничении режима короткого замыкания и появления центра качаний на контролируемом участке.

Популярным признаком, положенным в основу принципа действия большинства блокировок, является характер изменения контролируемой блокировкой величины. Как известно, при КЗ электрические величины изменяются скачкообразно, а в асинхронном режиме – плавно. Контрольная величина блокировки АЛАР наследует характер изменения электрических величин, поэтому блокировки учитывают это обстоятельство и используют его в своих алгоритмах, реагируя на скорость приращения контрольной величины [0].

Рассмотрим характеристики блокировок, использующих в качестве критерия величину приращения сопротивления на входе АЛАР (рис. 1):

$$\Delta \underline{Z} = \underline{Z}_R(t-T) - \underline{Z}_R(t), \quad (3)$$

где  $t$  – время текущего замера сопротивления,  $T$  – период измерения сопротивления,  $\underline{Z}_R(t)$  – измеряемое сопротивление в АР:

$$\underline{Z}_R = \frac{\underline{Z}_\Sigma}{1 + \frac{1}{q} e^{j[180^\circ - \delta(t)]}} - jx_{S1}, \quad (4)$$

$\underline{Z}_\Sigma = jx_{S1} + \underline{Z}_L + jx_{S2}$  – эквивалентное сопротивление электропередачи,  $q = E_{S1}/E_{S2}$  – отношение амплитуд ЭДС систем  $S1$  и  $S2$ ,  $\delta(t) = \delta_0 + \Delta\omega t$  – угол между  $\underline{E}_{S1}$  и  $\underline{E}_{S2}$  в АР,  $\delta_0$  – начальный угол передачи,  $\Delta\omega$  – частота скольжения вектора  $\underline{E}_{S1}$  относительно  $\underline{E}_{S2}$ .

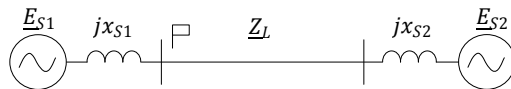


Рис. 1. Расчетная схема электрической сети:  $\underline{E}_{S1}$  и  $\underline{E}_{S2}$ ,  $x_{S1}$  и  $x_{S2}$  эквивалентные ЭДС систем;  $\underline{Z}_L$  – сопротивление линии, флажком обозначено место установки АЛАР

Для обнаружения АР на контролируемом участке используется пусковой и выявительный измерительные органы АЛАР (рис. 2) [0]. Пусковой орган служит для прогнозирования появления ЭЦК на контролируемом участке путем контроля вхождения годографа сопротивления в область характеристики срабатывания органа. Выявительный орган фиксирует возникновение АР с ЭЦК на контролируемом участке при преодолении углом  $\delta(t)$  уставки (обычно  $180^\circ$ ).

При возникновении КЗ на контролируемом участке годограф сопротивления также входит в характеристику срабатывания пускового ИО (рис. 2). Однако при этом скорость приращения сопротивления (1) намного больше, чем при АР. Поэтому момент возникновения режима КЗ может быть установлен, если скорость изменения сопротивления (1) превышает максимально возможную для данного энергорайона скорость изменения сопротивления в АР.

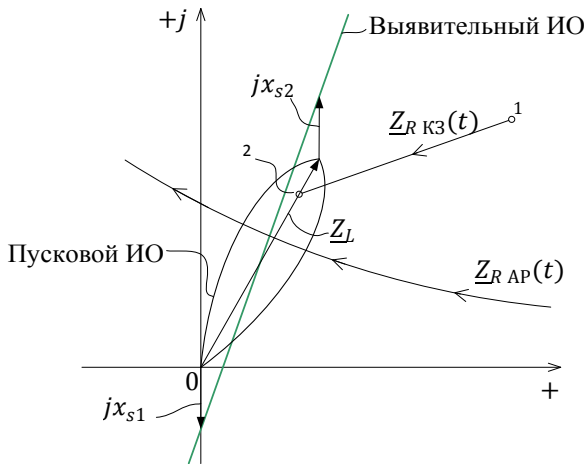


Рис. 2. Годограф сопротивления в АР и в режиме КЗ:  
1 – нагруженный режим, 2 – режим КЗ

Из анализа выражений (3) и (4) видно, что значение приращения в АР зависит от нескольких факторов:

1. Эквивалентного сопротивления электропередачи  $\underline{Z}_\Sigma$ .  
 Причем максимальное значение приращения (3) достигается при  
 наибольшем  $\underline{Z}_\Sigma$ , т.е. при максимально возможных значениях  
 $x_{S1}$  и  $x_{S2}$ .

2. Отношения  $q$  модулей ЭДС. Поскольку  $E_{S1}$  и  $E_{S2}$  могут  
 изменяться от  $0,9U_{\text{ном}}$  до  $1,1U_{\text{ном}}$  [0], где  $U_{\text{ном}}$  – номинальное  
 напряжение сети, то  $q$  меняется в диапазоне от 0,82 до 1,22. При  
 этом наибольшему приращению сопротивления соответствует  
 $q = 1$  (рис. 3).

3. Максимальной частоты скольжения  $f_s$ , характерной для  
 рассматриваемого энергорайона и рассчитываемой на основе  
 моделирования режимов ЭЭС. Чем выше частота скольжения,  
 тем больше приращение сопротивления.

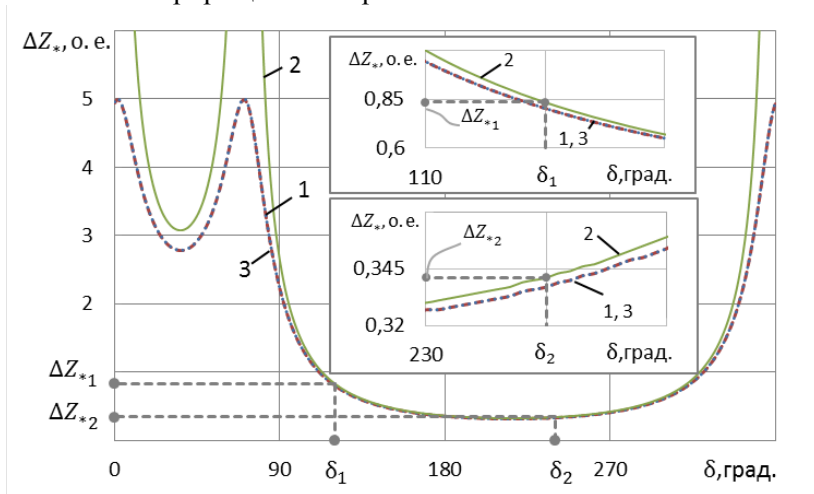


Рис. 3. Зависимость приращения сопротивления  $\Delta Z_*$  (задано относи-  
 тельно эквивалентного сопротивления электропередачи) от угла  $\delta$  при  
 $\max f_s = 10$  Гц для различных значений  $q$ : 1 –  $q = 0,82$ ; 2 –  $q = 1$ ; 3 –  
 $q = 1,22$ ;  $\delta_1$  и  $\delta_2$  – соответствуют углу в АР между  $\underline{E}_{S1}$  и  $\underline{E}_{S2}$  в мо-  
 мент пересечения годографом сопротивления  $\underline{Z}_R(t)$  характеристики  
 пускового ИО

В зависимости от условий по пп. 1–3 в АР приращение сопротивления (3) меняется в широких пределах (рис. 3). Поскольку расчетными режимами являются КЗ, при которых годограф сопротивления оказывается внутри характеристики срабатывания пускового органа, то при определении максимального приращения сопротивления в АР ограничимся рассмотрением области рис. 3, охваченной характеристикой пускового органа (углы  $\delta_1$  и  $\delta_2$  в моменты пересечения годографом сопротивления  $\underline{Z}_R(t)$  границ характеристики срабатывания). Из рис. 3 видно, что приращение сопротивления выше на границах характеристики пускового органа. Поэтому для оценки максимального приращения сопротивления в АР нужно в выражении (4) принять угол  $\delta(t)$  равным  $\delta_1$ .

### **Выводы**

Уставка блокировки АЛАР в режиме короткого замыкания на контролируемом участке, основанном на контроле приращения сопротивления, должна выбираться с учетом максимально возможной частоты скольжения, диапазона изменения сопротивлений и ЭДС энергосистем.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов В.И. Новая блокировка АЛАР в режиме КЗ / В.И. Антонов [и др.] // Труды академии электротехнических наук ЧР – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2017. – С 101-104.
2. Шнейерсон Э.М. Цифровая релейная защита. – М. Энергоатомиздат, 2007. – 549 с.
3. Никитина А.Н. Способ ликвидации асинхронного режима при электрическом центре качания в месте установки устройства / А.Н. Никитина, В.С. Петров // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: материалы XIII Всерос. науч.-техн. конф. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. С. 348–350.
4. Гоник Я.Е. Автоматика ликвидации асинхронного режима / Я.Е. Гоник, Е.С. Иглицкий. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 112 с.

### **Авторы:**

**Никитина Анастасия Николаевна**, инженер департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА», магистрант ЧГУ

им. И.Н. Ульянова по направлению «Автоматика энергосистем». Окончила в 2018 г. факультет энергетики и электротехники ЧГУ им. И.Н. Ульянова, получила степень бакалавра по направлению «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем». E-mail: nikitina\_an@ekra.ru.

**Петров Владимир Сергеевич**, руководитель группы департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА», доцент кафедры электроснабжения и интеллектуальных электроэнергетических систем им. А.А. Федорова ЧГУ им. И.Н. Ульянова. В 2015 г. защитил в Чувашском государственном университете имени И.Н. Ульянова кандидатскую диссертацию «Цифровая система автоматического ограничения повышения напряжения сетей 110-750 кВ». E-mail: petrov\_vs@ekra.ru.

**Антонов Владислав Иванович**, главный специалист департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА», профессор кафедры теоретических основ электротехники и релейной защиты и автоматики Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова. В 2018 г. защитил докторскую диссертацию «Теория и приложения адаптивного структурного анализа сигналов в интеллектуальной электроэнергетике». E-mail: antonov\_vi@ekra.ru.