

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ  
В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ  
И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

**Материалы  
XI Всероссийской научно-технической  
конференции**

---

---

***ИТЭЭ–2018***

---

---

*ЧЕБОКСАРЫ 2018*

УДК 621.3:681.518(043.2)  
И74

**Редакционная коллегия:**

ректор А.Ю. Александров,  
д-р техн. наук, профессор Г.А. Белов,  
канд. техн. наук, доцент Н.М. Лазарева

*Печатается по решению Ученого совета  
Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова*

**Информационные** технологии в электротехнике и электро-  
**И74** энергетике: материалы 11-й Всерос. науч.-техн. конф.  
Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2018. 512 с.

ISBN 978-5-7677-2686-8

Обсуждаются вопросы информатизации в электротехнике и электроэнергетике, построения систем управления электротехническими объектами, проблемы математического моделирования процессов в электротехнических системах, цифровой обработки сигналов электротехники и радиоэлектроники, информационной безопасности в электроэнергетике, применения информационных технологий в высшем электротехническом и электроэнергетическом образовании.

Для научных работников, инженеров, менеджеров и студентов старших курсов.

ISBN 978-5-7677-2686-8

УДК 621.3:681.518(043.2)  
© Издательство  
Чувашского университета, 2018

## **ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ**

### **Председатель оргкомитета:**

Александров А.Ю. – ректор ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»

### **Заместители председателя оргкомитета:**

Кадышев Е.Н. – д-р экон. наук, профессор, проректор по научной работе (Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова)

Белов Г.А. – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой промышленной электроники (Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова)

### **Члены оргкомитета:**

Дмитриков В.В. – д-р техн. наук, профессор (Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича)

Потапов А.А. – д-р физ.-мат. наук, профессор, гл. ред. международного журнала «Нелинейный мир» (Институт радиотехники и электроники РАН)

Евдокимов Ю.К. – д-р техн. наук, профессор (Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева)

Шихин В.А. – канд. техн. наук, доцент (Национальный исследовательский университет «МЭИ»)

Андрянов А.И. – канд. техн. наук, доцент (Брянский государственный технический университет)

Шевелев В.С. – технический директор ООО «Релематика»

Охоткин Г.П. – д-р техн. наук, доцент, декан факультета радиотехники и автоматики (Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова)

Семенов Ю.М. – д-р физ.-мат. наук, доцент (Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова)

Галанина Н.А. – д-р техн. наук, доцент (Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова)

Казенов А.А. – директор ООО «Элтехсистем»

Сергеев А.Г. – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник ОАО «ВНИИР»

Лазарева Н.М. – канд. техн. наук, доцент (Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова)

Малинин Г.В. – канд. техн. наук, доцент (Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова)

Серебрянников А.В. – канд. техн. наук, доцент (Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова)

М.И. Александрова, В.И. Антонов, В.А. Наумов, В.С. Петров  
(Чебоксары, ЧГУ, ООО НПП «ЭКРА»)

## ОСНОВЫ ВЫБОРА УСТАВОК АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛИКВИДАЦИИ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА В МНОГОСВЯЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

В асинхронном режиме (АР) в электроэнергетической системе возникают две несинхронно работающие части. Устранение асинхронного хода этих частей многосвязной электрической сети осуществляется путем разделения на выделенные области с помощью устройств автоматической ликвидации асинхронного режима (АЛАР) [1–3]. Для выбора уставок АЛАР производится эквивалентирование многосвязной электрической сети и ее преобразование к эквивалентной двухмашинной схеме. В докладе рассматриваются основы выбора уставок углового АЛАР в многосвязных электрических сетях с большим количеством источников питания.

Устройство АЛАР, пользуясь измерениями напряжения  $\underline{U}_1$  и тока  $\underline{I}_1$  (рис. 1), по известному сопротивлению контролируемого участка  $\alpha \underline{Z}_F$  оценивает напряжение на его конце

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_1 - \underline{Z}_S \underline{I}_1. \quad (1)$$

Здесь  $\underline{Z}_S = \alpha \underline{Z}_F$  – уставка;  $\alpha$  – доля эквивалентного сопротивления

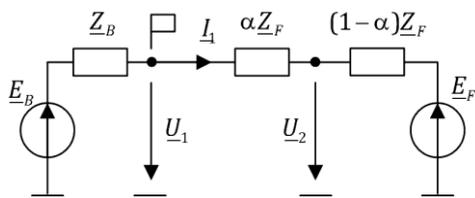


Рис. 1. Двухмашинная схема замещения ЭЭС: флажком обозначено место установки устройства АЛАР

твления  $\underline{Z}_F$ , определяемая как относительное электрическое расстояние до электрического центра качаний (ЭЦК) в эквивалентной схеме.

Если контролируемый участок содержит промежу-

точный отбор мощности, то это обстоятельство учитывается в выражении (1) с помощью комплексного коэффициента  $\underline{k}$ , и напряжение в конце зоны определяется следующим образом:

$$\underline{U}_2 = \underline{k}U_1 - \underline{Z}_S I_1. \quad (2)$$

При достижении углом между векторами  $\underline{U}_1$  и  $\underline{U}_2$  заданного значения устройство АЛАР фиксирует АР. Для расчета уставок АЛАР многосвязную электрическую систему нужно привести к ее двухмашинному эквиваленту (рис. 1). Для эквивалентирования могут использоваться известные алгоритмы, однако при этом необходимо соблюдать следующие правила:

1. Источники, имеющие одну частоту, необходимо эквивалентировать совместно.

2. Режимы измерения устройством напряжения и тока в исходной и эквивалентной схеме должны совпадать.

В момент разворота векторов эквивалентных ЭДС  $\underline{E}_B$  и  $\underline{E}_F$  на 180 градусов устройство измеряет сопротивление до ЭЦК в эквивалентной схеме (рис. 1)

$$\underline{Z}_{180} = \underline{Z}_F - \frac{\underline{Z}_B + \underline{Z}_F}{q+1}, \quad (3)$$

где  $q = E_B/E_F$  – отношение модулей ЭДС.

Конец вектора сопротивления  $\underline{Z}_{180}$  должен лежать в точке пересечения годографа измеряемого сопротивления с вектором эквивалентного сопротивления электропередачи, и, как следует из рис. 2, его положение определяется отношением модулей ЭДС  $q$ . В зависимости от режима работы энергосистемы значение  $q$  меняется, и его можно задать в эквивалентной схеме с запасом, принимая в расчет уход напряжений источников от номинального напряжения в исходной схеме ЭЭС на (+10%) источников, учтенных источником  $\underline{E}_B$ , и на (-10%) источников, учтенных источником  $\underline{E}_F$ .

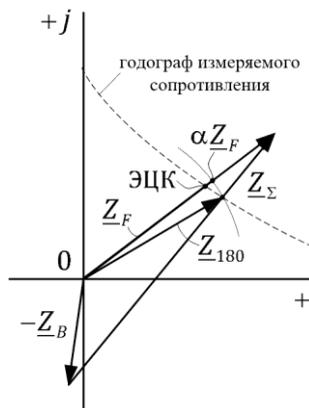


Рис. 2. Векторы сопротивлений на комплексной плоскости

Из рис. 2 видно, что определенное таким образом значение сопротивления  $\underline{Z}_{180}$  близко к сопротивлению до ЭЦК на защищаемом участке. Поэтому коэффициент  $\alpha$  определяется как

$$\alpha = \frac{|\underline{Z}_{180}|}{|\underline{Z}_F|}.$$

Обычно значение уставки берут с запасом

$$\underline{Z}_S = k_3 \underline{Z}_{180},$$

где  $k_3 = 1,2$  – коэффициент запаса.

В общем случае схема после эквивалентирования может иметь вид, приведенный на рис. 3. Инвариантность измеряемых величин в эквивалентной схеме обеспечивается за счет сохранения электрического режима в точке установки устройства АЛАР.

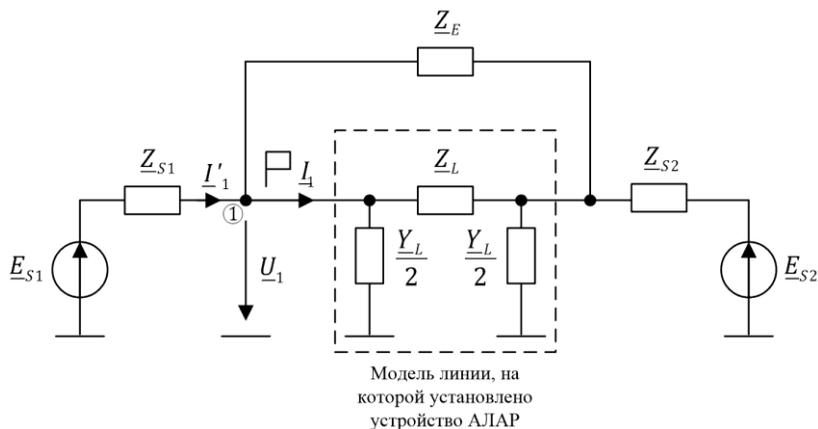


Рис. 3. Схема замещения сети с обходной связью: флажком обозначено место установки устройства АЛАР

Чтобы привести схему на рис. 3 к схеме на рис. 1, устройство виртуально переносится за узел 1 и включается на сумму токов линии и обходной связи. В этом случае напряжение в конце зоны должно определяться с учетом отбора мощности по цепи  $\underline{Z}_E$ , т.е. по выражению (2). Уставки  $\underline{k}$  и  $\underline{Z}_S$  вычисляются по следующим выражениям:

$$\underline{k} = 1 + k_3 Z_{180} \frac{\underline{Z}_L \underline{Y}_L}{2 \underline{Z}_E};$$

$$\underline{Z}_S = k_3 Z_{180} \left( 1 + \frac{\underline{Z}_L}{\underline{Z}_E} \right),$$

где  $\underline{Z}_L$  – продольное сопротивление контролируемого участка,  $\underline{Y}_L$  – поперечная проводимость контролируемого участка.

Обходная связь, представленная на рис. 3 сопротивлением  $\underline{Z}_E$ , может отсутствовать. При этом  $\underline{Z}_E = \infty$ , тогда  $\underline{k} = 1$  и  $\underline{Z}_S = k_3 Z_{180}$ .

### Литература

1. *Гоник Я.Е.* Автоматика ликвидации асинхронного режима / Я.Е. Гоник, Е.С. Иглицкий. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 112 с.
2. *Антонов В.И.* Выбор характеристики срабатывания вывешивательного органа автоматики ликвидации асинхронного режима / В.И. Антонов, В.А. Наумов, В.С. Петров, М.И. Александрова // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: материалы 10-й Всерос. науч.-техн. конф. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2016. – С. 225–228.
3. *Антонов В.И.* Выбор уставки блокировки АЛАР по минимальному напряжению в режиме потери устойчивости в энергосистеме / В.И. Антонов, В.А. Наумов, В.С. Петров, А.В. Солдатов, М.И. Александрова // Труды академии электротехнических наук ЧР. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2017. – С. 104–106.

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА  
И АВТОМАТИКА ЭНЕРГОСИСТЕМ.....242

*Ванин В.К., Ванин И.В., Попов М.Г., Сиренко Н.В.,  
Хабаров А.А.* Расширение функциональных возможностей,  
улучшение метрологических характеристик измерительных  
трансформаторов тока и напряжения, обеспечение  
их информационной и физической безопасности  
в процессе эксплуатации .....242

*Иванов Н.Г., Антонов В.И., Наумов В.А., Солдатов А.В.*  
Анализ структуры напряжения компенсированной ЛЭП  
в паузе цикла автоматического повторного включения .....249

*Александрова М.И., Антонов В.И., Наумов В.А.,  
Петров В.С.* Основы выбора уставок автоматической  
ликвидации асинхронного режима в многосвязных  
электрических сетях .....254

*Лямец Ю.Я., Мартынов М.В., Маслов А.Н.* Критерий  
селективности релейной защиты энергообъекта .....258

*Лямец Ю.Я., Мартынов М.В., Маслов А.Н.*  
Разграничение режимов энергообъекта в ходе  
их регистрации и идентификации .....263

*Смирнова И.В., Абрамов Д.А., Белянин А.А.* Применение  
метода локализации в условиях насыщения  
измерительных трансформаторов .....266

*Кочетов И.Д., Мартынов М.В.* Абсолютная  
нераспознаваемость как критерий блокировки защиты .....270

*Никонов И.Ю.* Способ защиты дальнего резервирования ...274

*Атншишкин А.Б., Петров С.Г., Терентьев Г.В.* Проверка  
цепей дифференциальной защиты трансформатора .....277

*Лукина К.В., Таныгин С.А., Широкин М.Ю.* Влияние  
способов компенсации на содержание второй гармоники  
в дифференциальном токе .....279

*Петрушин Д.Е., Попов М.Г.* Повышение  
эффективности системных средств противоаварийного  
управления энергосистем Мурманской области  
и республики Карелия .....283