

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

**ДИНАМИКА
НЕЛИНЕЙНЫХ
ДИСКРЕТНЫХ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ
И ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ**

**Материалы
XII Всероссийской научно-технической
конференции**

ДНДС–2017

ЧЕБОКСАРЫ

2017

УДК 681.511.42.033(082)

ББК 3965.6Я43

Д44

Редакционная коллегия:

А.Ю. Александров, Г.А. Белов, Н.М. Лазарева

Печатается по решению Ученого совета

Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова

Динамика нелинейных дискретных электротехнических
Д44 и электронных систем: материалы 12-й Всерос. науч.-техн.
конф. –Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2017. – 428 с.

ISBN 978-5-7677-2480-2

Рассматриваются вопросы математических основ и математического моделирования нелинейных дискретных систем, цифровой обработки сигналов, построения и анализа устройств и систем силовой электроники, систем электроэнергетики и электропривода.

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

УДК 681.511.42.033(082)

ББК 3965.6Я43

ISBN 978-5-7677-2480-2

© Издательство
Чувашского университета, 2017
© Коллектив авторов, 2017

ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель оргкомитета:

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

заместители председателя оргкомитета:

Кадышев Е.Н. – д-р экон. наук, профессор, проректор по научной работе ЧГУ,

Белов Г.А. – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой промышленной электроники (ЧГУ),

члены оргкомитета:

Афанасьев В.П. – д-р техн. наук, профессор (Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»),

Дмитриков В.Ф. – 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, главный редактор международного журнала «Нелинейный мир» (Институт радиотехники и электроники РАН),

Евдокимов Ю.К. – д-р техн. наук, профессор (Казанский национальный исследовательский технический университет имени 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),

Герасимов В.А. – главный инженер ООО «НПП «Динамика»;

Охоткин Г.П. – д-р техн. наук, доцент, декан факультета радиоэлектроники и автоматики (ЧГУ),

Семенов Ю.М. – д-р физ.-мат. наук, доцент (ЧГУ),

Булычев А.В. – д-р техн. наук, профессор, технический директор ООО «НПП Бреслер»,

Казенов А.А. – директор ООО «Элтехсистемс»,

Сергеев А.Г. – канд. техн. наук, старший научный сотрудник ОАО «ВНИИР»,

Лазарева Н.М. – канд. техн. наук, доцент (ЧГУ),

Малинин Г.В. – канд. техн. наук, доцент (ЧГУ),

Серебрянников А.В. – канд. техн. наук (ЧГУ).

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

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК БЛОКИРОВКИ АЛАР
ПО МИНИМАЛЬНОМУ НАПРЯЖЕНИЮ
НА КОМПЛЕКСНОЙ ПЛОСКОСТИ**

Во избежание ложного срабатывания устройства автоматической ликвидации асинхронного режима (АЛАР) при близком внешнем электрическом центре качаний (ЭЦК) применяется блокировка по минимальному напряжению [1]. В настоящей работе изучаются основные теоретические вопросы, связанные с выбором уставки этой блокировки.

Устройство АЛАР, пользуясь измерениями напряжения \dot{U} и тока \dot{I} прямой последовательности (рис. 1), и по известному сопротивлению контролируемого участка αZ_{Σ} оценивает напряжение на его конце \dot{U}_k . Здесь Z_{Σ} – эквивалентное сопротивление электропередачи, α – относительное электрическое расстояние от конца участка до места установки АЛАР.

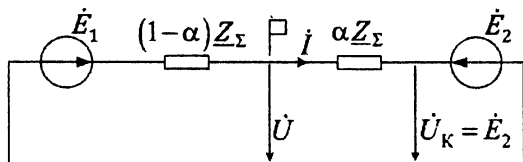


Рис. 1. Расчетная схема электрической сети:
флажком обозначено место установки
устройства АЛАР

(АР) состоит из двух составляющих частот ω_1 и ω_2 . Примем, что $E_1 = E_2$, поскольку в этом случае, как будет показано ниже, погрешность измерительного органа будет больше. Также принято, что частота источника \dot{E}_1 неизменна и равна номинальной, т.е. $\omega_1 = \omega_0$. Удобно рассматривать напряжение на месте установки устройства АЛАР \dot{U} относительно напряжения на конце участка \dot{U}_k , поскольку оно известно ($\dot{U}_k = \dot{E}_2$). Учитывая это, зафиксируем вектор источника \dot{E}_2 (рис. 2) на действительной оси. Тогда вектор \dot{E}_1 вращается относительно вектора \dot{E}_2 со скоростью $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_0$. Напряжение на входе АЛАР можно выразить через составляющие напряжения, вызванные источниками \dot{E}_1 и \dot{E}_2 :

$$\dot{U} = \dot{U}_{E1} + \dot{U}_{E2} = \alpha \dot{E}_2 e^{j(\delta_0 - \Delta\omega t)} + (1-\alpha)\dot{E}_2, \quad (1)$$

где δ_0 – начальный угол передачи системы.

Блокировка по минимальному напряжению также выполняется с контролем прямой последовательности.

Напряжение на входе устройства АЛАР \dot{U} в асинхронном режиме

Из соотношения (1) видно, что вектор напряжения в месте установки устройства АЛАР \dot{U} скользит вдоль окружности радиуса $|\alpha \dot{E}_2|$ с центром в точке $(1-\alpha)\dot{E}_2$ (рис. 2). Начало координат расположено в точке ЭЦК.

По рис. 2 можно определить характер изменения угла между напряжением в месте установки устройства и напряжением в точке с любым α . Например, если место установки устройства АЛАР соответствует $\alpha = 0,75$, а конец контролируемого участка соответствует точке с $\alpha = 0,25$, то угол между векторами $\overline{OA_2}$ и $\overline{OA_4}$ соответствует углу, измеряемому АЛАР.

В момент возникновения близкого внешнего ЭЦК оценка напряжения прямой последовательности на месте установки АЛАР мала и подвержена сильному влиянию ухода частоты. Это может служить причиной его ложного срабатывания.

Рассмотрим данный режим более подробно.

Полагаем, что ЭЦК расположен вблизи АЛАР слева от места установки ($\alpha_{\text{ЭЦК}} = 0,5+$). При отсутствии погреш-

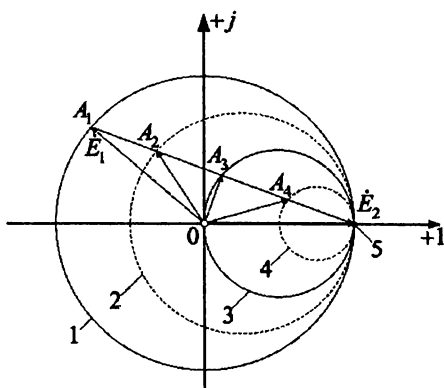


Рис. 2. Движение векторов напряжения \dot{U} в зависимости от места измерения: 1 - $\alpha = 1$; 2 - $\alpha = 0,75$; 3 - $\alpha = 0,5$; 4 - $\alpha = 0,25$; 5 - $\alpha = 0$

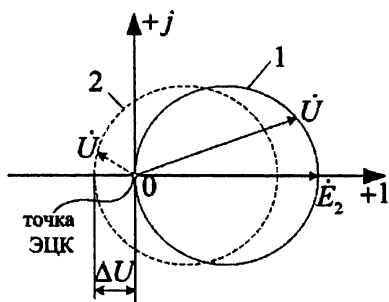


Рис. 3. Движение вектора напряжения на месте установки устройства АЛАР \dot{U} относительно вектора напряжения \dot{E}_2 : 1 - в точке ЭЦК; 2 - по измерениям АЛАР

ности в измерениях, движение вектора напряжения \dot{U} происходит по годографу 1 (рис. 3, $\alpha = 0,5$). В этом случае годограф 1 не охватывает точку ЭЦК (точки линии годографа не входят в зону действия АЛАР), и угол поворота вектора \dot{U} относительно \dot{E}_2 не превышает 90° . Поэтому устройство АЛАР не фиксирует асинхронный режим.

Из-за погрешности в тракте измерения годограф \dot{U} переместится из положения 1 в положение 2; значение перемещения определяется погрешностью ΔU . Теперь вектор напряжения \dot{U} будет перемещаться по годографу 2, охватывающему точку ЭЦК. Поэтому угол разворота вектора \dot{U} относительно \dot{E}_2 уже будет более 180° , и устройство АЛАР зафиксирует ложный ЭЦК на контролируемом участке.

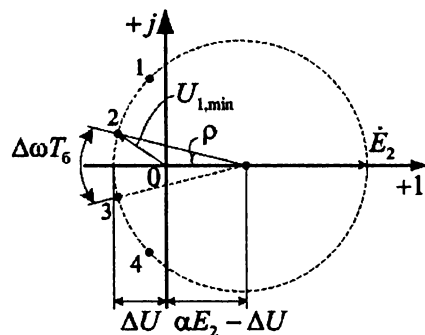


Рис. 4. Оценка уставки $U_{1,\min}$; точки 1-4 – измерения АЛАР

симимальной частоты скольжения 10 Гц [3].

Поэтому уставка блокировки по минимальному напряжению должна рассчитываться по напряжению на границе зон.

Учитывая, что $\rho = \frac{\Delta\omega T_s}{2}$, уставка должна быть определена, согласно теореме косинусов, по формуле

$$U_{1,\min} = \sqrt{(\alpha E_2)^2 + (\alpha E_2 - \Delta U)^2 - 2\alpha E_2(\alpha E_2 - \Delta U) \cos \frac{\Delta\omega T_s}{2}}. \quad (2)$$

При выборе уставки (рис. 4) зона блокировки должна быть симметрична относительно оси поворота, т.е. оси отрицательных действительных чисел. Очевидно, что ширина зоны определяется интервалом времени между двумя измерениями $\Delta\omega T_s$ (центральный угол, опирающийся на дугу $\cup 23$). Максимальная ширина зоны достигается в условиях мак-

Здесь

$$E_2 = \frac{1,1n_{ph}U_{ном}}{3}, \quad (3)$$

где n_{ph} – коэффициент, зависящий от режима работы контролируемого участка (в симметричном режиме $n_{ph} = 3$; в двухфазном – значение $n_{ph} = 2$; в однофазном – $n_{ph} = 1$).

Формула (2) не учитывает движение вектора суммарной частоты $\omega_2 + \omega_0$ в ошибке ΔU и дает завышенное значение уставки $U_{1,min}$.

В двухфазном режиме погрешность имеет максимальное значение и определяется по формуле

$$\Delta U = \frac{1,1U_{ном}}{3} (|H(\omega_2 - \omega_0) - 1| + 0,5H(\omega_2 + \omega_0)), \quad (4)$$

где $H(\omega_2 - \omega_0)$, $H(\omega_2 + \omega_0)$ – коэффициенты передачи фильтра скользящего среднего, входящего в состав фильтра Фурье [2] при частотах $\omega_2 - \omega_0$ и $\omega_2 + \omega_0$ соответственно.

Подставив выражения (3) и (4) в формулу (2), получаем относительную максимальную погрешность

$$U_{1,min}^* = \frac{U_{1,min}}{U_{ном}} = \frac{1,1}{3} \sqrt{k_\omega^2 + 4\alpha^2 - 4\alpha k_\omega \cos \frac{\Delta\omega T_S}{2}}, \quad (5)$$

где k_ω – коэффициент, определяющий зависимость погрешности от частоты скольжения $\Delta\omega$; $k_\omega = 1 - |H(\omega_2 - \omega_0) - 1| - 0,5H(\omega_2 + \omega_0)$.

Принятые допущения при $\alpha = 0,5$ с позволяют получить зависимость погрешности $U_{1,min}^*$ от частоты скольжения Δf (рис. 5). Рабочий диапазон изменения скольжения Δf заимствован из стандарта [3].

Таким образом, значение уставки блокировки устройства АЛАР по минимальному напряжению в асинхронном

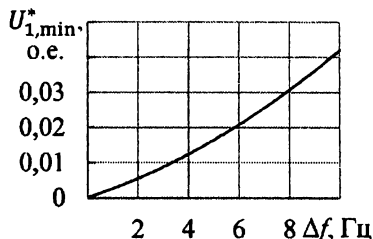


Рис. 5. Зависимость уставки от частоты скольжения

режиме должна рассчитываться исходя из расположения ЭЦК вне контролируемого участка вблизи АЛАР. Она зависит от частоты скольжения и должна быть не менее $0,044U_{\text{ном}}$ при максимально возможной $\Delta f = 10$ Гц в данном энергорайоне.

Литература

1. СТО 59012820.29.020.008-2015. Стандарт организации. Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Автоматика ликвидации асинхронного режима нормы и требования. – М.: ОАО «СО ЕЭС», 2015.

2. Антонов В.И. Общие начала теории фильтров ортогональных составляющих / В.И. Антонов, В.А. Наумов, Н.Г. Иванов, А.В. Солдатов, А.И. Фомин // Релейная защита и автоматизация. – 2016. – № 1 (22).

3. СТО 56947007-33.040.20.123-2012. Стандарт организации. Аттестационные требования к устройствам противоаварийной автоматики (ПА) – М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2012.

<i>Самсонов А.И.</i> Обзор компонентов автомобильной электроники	374
<i>Полутова Н.А., Васильева Л.Н.</i> Перевод вещественных чисел из восьмеричной системы в шестнадцатеричную и обратно	378
<i>Антонов В.И., Наумов В.А., Петров В.С., Солдатов А.В., Никитина А.Н.</i> Новый способ выявления момента изменения режима электрической сети	382
<i>Антонов В.И., Наумов В.А., Солдатов А.В., Иванов Н.Г., Анисимова В.С.</i> Быстрое определение действующего значения основной гармоники искаженного тока короткого замыкания.....	386
<i>Антонов В.И., Наумов В.А., Солдатов А.В., Иванов Н.Г., Николаева О.П.</i> Фильтры симметричных составляющих с широким рабочим диапазоном частот для цифровой релейной защиты	388
<i>Антонов В.И., Наумов В.А., Петров В.С., Солдатов А.В., Александрова М.И.</i> Исследование характеристик блокировки АЛАР по минимальному напряжению на комплексной плоскости.....	391
<i>Шевцов В.М., Солдатова Н.А.</i> Адаптивная электронная база знаний – эффективный инструмент научно-образовательного процесса	396
<i>Мочалов М.Ю.</i> Реализация системы синхронизации времени для цифровой подстанции на основе протокола РТР	399
<i>Белов Г.А., Абрамов С.В., Земсков Е.Д.</i> Экспериментальное исследование понижающего импульсного преобразователя с синхронным переключателем	402
<i>Серебрянников А.В., Севриков Л.С.</i> Несимметричное управление транзисторами преобразователя с последовательным резонансным инвертором на микроконтроллере	409
<i>Белов Г.А., Егоров А.А.</i> Автогенератор типа LC на двух перекрёстно-связанных биполярных транзисторах.....	416