



23-26 АПРЕЛЯ 2019 ГОДА

Россия, Чувашская Республика, г. Чебоксары,
пр-т Тракторостроителей, д. 103 «А»

СБОРНИК ДОКЛАДОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Организаторы



ИИТЭК



При поддержке



Генеральные спонсоры

ЭКРА



Официальный спонсор

ЧЭАЗ

ЧЕБОКСАРСКИЙ ЭЛЕКТРОТРАНСФОРМАТОРНЫЙ ЗАВОД

При участии



РосГидро

Спонсоры

ЭМАРА



iGrids



Официальные медиа-партнеры



ЦИФРОВАЯ
ПОДСТАНЦИЯ



Медиа-партнеры



Партнер регистрации



УДК 621.311-52+621.316.925](063)

ББК 27-051я43

С23

Редакционная коллегия:

Г.С. Нудельман, кандидат технических наук, гл. редактор;

В.Г. Ковалев, кандидат технических наук, доцент;

А.В. Жуков, кандидат технических наук;

В.А. Шуин, доктор технических наук, профессор;

А.А. Наволочный, кандидат технических наук, доцент;

О.А. Онисова, кандидат технических наук

Сборник докладов научно-технической конференции
С23 молодых специалистов. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та,
2019. – 310 с.

ISBN 978-5-7677-2895-4

Представлены статьи и доклады научно-технической конференции молодых специалистов, проведенной в рамках форума РЕЛАВ-ЭКСПО-2019, в которых приводятся и обсуждаются результаты актуальных научных исследований в области релейной защиты и автоматики, интеллектуальных энергосистем и повышения энергетической эффективности, моделирования электротехнических устройств.

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

УДК 621.311-52+621.316.925](063)

ББК 27-051я43

© Издательство

Чувашского университета, 2019

ISBN 978-5-7677-2895-4

«Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике». – 2014 г. – С. 240-242.

Авторы:

Степанова Дарья Александровна, техник группы разработки интеллектуальных электрических устройств сектора научного сопровождения продукции департамента отдела автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА», бакалавр электроэнергетического факультета ЧГУ им. И.Н. Ульянова по профилю 140400 «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем». E-mail: stepanova_da@ekra.ru.

Иванов Николай Геннадьевич, руководитель группы разработки интеллектуальных электрических устройств сектора научного сопровождения продукции департамента отдела автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА», аспирант ЧГУ им. И.Н. Ульянова по профилю 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергетические системы». E-mail: ivanov_ng@ekra.ru.

Солдатов Александр Вячеславович, заместитель директора департамента автоматизации энергосистем по научному сопровождению продукции ООО НПП «ЭКРА». E-mail: soldatov_av@ekra.ru.

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ТОКА ДЛЯ ОЦЕНКИ УСПЕШНОСТИ УПРАВЛЯЕМОЙ КОММУТАЦИИ

Александрова М.И., Наумов В.А., ООО НПП «ЭКРА», Чебоксары, Россия.

Антонов В.И., ООО НПП «ЭКРА», ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия.

Аннотация. В современных устройствах управляемой коммутации определение момента замыкания электрической цепи основано на измерении тока или напряжения на коммутируемом объекте с высокой частотой дискретизации. Такое решение усложняет реализацию устройств.

В работе предложен новый подход к решению задачи определения реального момента коммутации на основе адаптивного структурного анализа тока переходного режима, не требующий увеличения частоты дискретизации тракта АЦП.

Ключевые слова: управляемая коммутация, успешность управляемой коммутации, структурный анализ тока.

Введение

Управляемая коммутация силового электрооборудования предназначена для ослабления переходных процессов и предотвращения нарушений работы сети и повреждения оборудования [1, 2]. Снижение интенсивности переходных процессов достигается за счет выбора оптимального момента (фазы) коммутации.

К устройству подводят сигналы обратной связи, по которым оно получает информацию о фактических условиях коммутации. Эта информация используется для оценки успешности управляемой коммутации и коррекции расчетного времени действия выключателя. Вследствие этого очень важной является задача оценивания момента проведенной коммутации.

Для обеспечения высокой точности при мониторинге фактических условий коммутации входы сигналов обратной связи современных устройств имеют высокую частоту опроса (порядка 10 кГц) [3]. Это обстоятельство может вызвать технические сложности при реализации функции управляемой коммутации в устройствах автоматики, имеющих, как правило, относительно низкую частоту дискретизации. В связи с этим существует задача определения реального момента коммутации без увеличения частоты дискретизации тракта АЦП.

В настоящей работе предлагается новый способ определения реального момента коммутации на основе адаптивного структурного анализа тока переходного режима.

Структурный анализ тока при включении шунтирующего реактора

Рассмотрим процесс включения реактора (рис. 1) в сеть синусоидального напряжения

$$u_s(t) = U \sin(\omega t + \psi),$$

принимая в момент включения $t = 0$.

Ток в реакторе после коммутации содержит принужденную

$$i_{st}(t) = \frac{U}{Z_\Sigma} \sin(\omega t + \psi - \varphi) = I_1 \sin(\omega t + \psi - \varphi) \quad (1)$$

и свободную

$$i_{fr}(t) = I_0 e^{-t/\tau} \quad (2)$$

составляющие, где

$$\underline{Z}_{\Sigma} = (R_S + R_R) + j\omega(L_S + L_R) = Z_{\Sigma} e^{j\varphi} -$$

суммарное сопротивление всего контура.

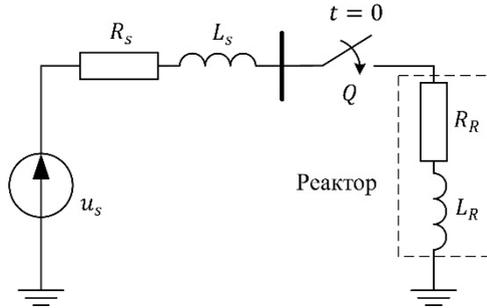


Рис. 1. Эквивалентная схема сети при включении реактора

Сопротивление реактора намного больше сопротивления системы $Z_R \gg Z_S$, поэтому ток определяется, в основном, сопротивлением реактора. Существующие реакторы имеют невысокий уровень активных потерь (согласно данным [4] $R_R \leq 0,0036X_R$), поэтому можно считать, что модуль суммарного сопротивления

$$Z_{\Sigma} \approx X_R = \omega L_R \quad (3)$$

и угол

$$\varphi = \arg\{Z_{\Sigma}\} \approx \pi/2. \quad (4)$$

До включения реактора ток в нем равен нулю, поэтому в начальный момент замыкания электрической цепи выполняется равенство

$$i(0) = i_{fr}(0) + i_{st}(0) = 0.$$

Поэтому

$$i_{fr}(0) = -i_{st}(0). \quad (5)$$

Из (1), (2) и (5) с учетом (3) и (4) следует, что относительное начальное значение свободной составляющей тока реактора

$$\frac{I_0}{I_1} = -\cos \psi. \quad (6)$$

Оптимальным будет включение выключателя в моменты, соответствующие фазам напряжения $\psi = \pi/2$ или $\psi = 3\pi/2$. В этом случае создаются условия, предотвращающие возникновение апериодической слагаемой в токе реактора. Обычно в качестве уставки принимается угол

$$\psi_{set} = \pi/2.$$

Идея предлагаемого метода определения фактической фазы включения ψ заключается в использовании зависимости (6), при этом начальное значение свободной составляющей тока реактора I_0 берется со знаком. Точность метода зависит от точности оценки отношения начального значения свободной и амплитуды принужденной составляющих. Высокую точность может обеспечить метод структурного анализа [5].

Инструментом распознавания структуры сигнала в адаптивном структурном анализе является цифровая структурная модель [6]

$$a_0 \hat{x}(k) = - \sum_{m=1}^M a_m x(k-m), \quad k \geq M, \quad (8)$$

где $a_0 \hat{x}(k)$ – взвешенная с коэффициентом a_0 оценка текущего отсчета сигнала $x(k)$, a_m – искомые коэффициенты модели, $M \geq 3$ – порядок структурной модели. Коэффициент a_0 выбирается произвольным, обычно $a_0 = 1$.

По коэффициентам a_m структурной модели (8) формируется характеристический полином

$$P_M(\underline{\zeta}) = - \sum_{m=0}^M a_m \underline{\zeta}^{-m},$$

корни которого определяют частоты ω_i и коэффициенты затухания α_i слагаемых сигнала

$$(\alpha_i + j\omega_i)T_s = \ln \underline{\zeta}_i.$$

Здесь T_s – интервал дискретизации.

Комплексные амплитуды слагаемых сигнала определяют из компонентной модели сигнала, составляемой для элементов эффективного ядра структурной модели. В нашем случае модель

будет следующей:

$$\hat{x}(k) = c \cos(k\omega T_s) + s \sin(k\omega T_s) + I_0 e^{-k\alpha T_s},$$

где I_0 – амплитуда аperiodической составляющей, c и s – косинусная и синусная ортогональные составляющие сигнала соответственно.

Амплитуда принужденной составляющей определяется как

$$I_1 = \sqrt{c^2 + s^2}.$$

По полученным значениям I_0 и I_1 согласно зависимости (6) оценивается фактическая фаза коммутации шунтирующего реактора (рис. 2).

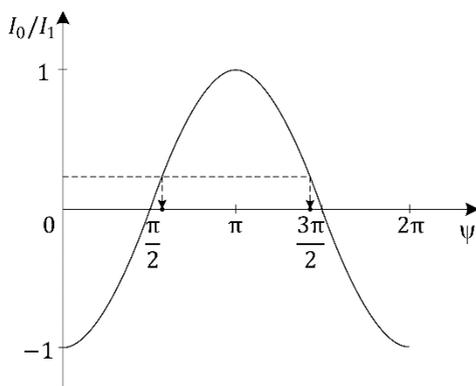


Рис. 2. Зависимость относительного начального значения свободной составляющей тока реактора (6) от фазы питающего напряжения ψ в момент включения

Заключение

Структурный анализ тока оборудования позволяет повысить точность оценивания фактического момента включения шунтирующего реактора при управляемой коммутации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. CIGRE WG 13.07, «Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers. Guide for Application Lines, Reactors, Capacitors, Transformers». 1st Part, «ELECTRA», No. 183, April 1999, pp. 65–96.

2. CIGRE WG 13.07, «Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers. Guide for Application Lines, Reactors, Capacitors, Transformers». 2nd Part, «ELECTRA», No. 185, August 1999, pp. 36–61.

3. CIGRE WG A3.07, «Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers. Planning, Specification and Testing Of Controlled Switching Systems». CIGRE Technical Brochure No. 264, December 2004, 55 p.

4. СТО 56947007-29.180.078-2011 Стандарт организации. Типовые технические требования к шунтирующим реакторам 110, 220, 330, 500 кВ. – М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2018.

5. Антонов В.И. Адаптивный структурный анализ электрических сигналов: теория и ее приложения в интеллектуальной электроэнергетике / В.И. Антонов. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та. – 2018. – 334 с.

6. Антонов В.И., Ильин А.А., Лазарева Н.М. Адаптивные структурные модели входных сигналов релейной защиты и автоматики // Электротехника. № 1. 2012. С. 52-55.

Авторы:

Александрова Марина Ивановна, инженер департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА». В 2018 г. получила степень магистра по направлению «Электроэнергетика и электротехника» по профилю «Автоматика энергосистем» в ЧГУ им. И.Н. Ульянова. E-mail: aleksandrova_mi@ekra.ru.

Наумов Владимир Александрович, заместитель генерального директора – технический директор ООО НПП «ЭКРА». Получил диплом инженера в 2001 г., защитил магистерскую диссертацию в 2002 г. на электроэнергетическом факультете ЧГУ им. И.Н. Ульянова. В 2005 г. защитил во ВНИИЭ кандидатскую диссертацию «Анализ и совершенствование продольных дифференциальных защит генераторов и блоков генератор-трансформатор». E-mail: naumov_va@ekra.ru.

Антонов Владислав Иванович, доцент кафедры теоретических основ электротехники и релейной защиты и автоматики ЧГУ им. И.Н. Ульянова, главный специалист департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА». Получил диплом инженера-электрика в 1978 г. на факультете электрификации и автоматизации промышленности ЧГУ им. И.Н. Ульянова. В 2018 г. защитил докторскую диссертацию «Теория и приложения адаптивного структурного анализа сигналов в интеллектуальной электроэнергетике» в ЧГУ им. И.Н. Ульянова. E-mail: antonov_vi@ekra.ru.

Александрова М.И., Наумов В.А., Антонов В.И. (ООО НПП «ЭКРА», ЧГУ им. И.Н. Ульянова) Структурный анализ тока для оценки успешности управляемой коммутации	50
Атнишкин А.Б., Павлова К.В., Петров С.Г. (ООО «Релематика», ЧГУ им. И.Н. Ульянова) Алгоритм коррекции нелинейно искаженного сигнала трансформатора тока	56
Белянин А.А., Смирнова И.В., Широкин М.Ю. (ООО «Релематика», ЧГУ им. И.Н. Ульянова) Применение координат Эдит Кларк в задачах релейной защиты	60
Лебедев А.А., Климова Т.Г. (НИУ Московский Энергетический институт) Анализ аварийных ситуаций в электроэнергетических системах по данным УСВИ	64
Елкин С.В., Колобродов Е.Н., Климова Т.Г. (НИУ Московский Энергетический институт) Применение векторных измерений для определения параметров АЛАР	68
Никитина А.Н., Петров В.С. (ООО НПП «ЭКРА», ЧГУ им. И.Н. Ульянова) Асинхронный режим электрической сети и способы его выявления	72
Алексеев В.С., Петров В.С. (ООО НПП «ЭКРА», ЧГУ им. И.Н. Ульянова) Выбор характеристики срабатывания АЛАР с учётом влияния погрешностей измерения входных величин	78
Наумов И.А., Онисова О.А. (ОАО «ВНИИР», ЧГУ им. И.Н. Ульянова) Исследование функционирования дистанционных защит при отклонениях частоты	83
Данилов С.А., Волошин А.А., Благоразумов Д.О., Коваленко А.И. (НИУ Московский Энергетический институт) Релейная защита распределительной сети при использовании обратной трансформации	88