

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»

**ДИНАМИКА  
НЕЛИНЕЙНЫХ  
ДИСКРЕТНЫХ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ  
И ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ**

**Материалы  
XIV Всероссийской научно-технической  
конференции**

---

---

**ДНДС–2021**

---

---

Чебоксары  
2021

УДК 621.3:004(063)

ББК 381:321Я73

Д44

**Редакционная коллегия:**

ректор, канд. экон. наук, доцент *А.Ю. Александров*;

д-р техн. наук, профессор *Г.А. Белов*;

канд. техн. наук, доцент *А.В. Серебрянников*

*Печатается по решению Ученого совета*

*Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова*

**Динамика** нелинейных дискретных электротехнических  
**Д44** и электронных систем: материалы XIV Всерос. науч.-техн.  
конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2021. 536 с.

ISBN 978-5-7677-3286-9

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 621.3:004(063)

ББК 381:321Я73

© Издательство

Чувашского университета, 2021

ISBN 978-5-7677-3286-9

3. Небаланс в переходных режимах при внешних КЗ может существенно превышать ток срабатывания ДО. Для сохранения селективности нужны специальные алгоритмы блокирования отсечки при внешних КЗ.

4. При внутреннем КЗ с тяжелым насыщением ТТ происходит замедление чувствительной ступени ДЗТ на время до 1,2 с. Быстрое отключение повреждения в этих режимах должна обеспечивать ДО. Срабатывание ДО с быстродействием не хуже 40 мс обеспечивается при временах до насыщения ТТ не менее 5-8 мс (в зависимости от кратности тока КЗ).

#### Литература

1. Об утверждении требований к оснащению линий электропередачи и оборудования объектов электроэнергетики классом напряжения 110 кВ и выше устройствами и комплексами релейной защиты и автоматики, а также к принципам функционирования устройств и комплексов релейной защиты и автоматики: Приказ Минэнерго России № 101 от 13 февраля 2019 г. 44 с.

2. Determining CT Requirements for Generator and Transformer Protective Relays / R. Chowdhury [et al.] // 46th Annual Western Protective Relay Conference. Spokane, Washington. 2019. PP. 1–14.

3. Засыпкин А. С. Релейная защита трансформаторов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 240 с.

4. СТО 56947007-29.120.70.241-2017. Технические требования к микропроцессорным устройствам РЗА (с изменениями от 11.12.2019), ПАО «ФСК ЕЭС» 357 с.

Иванов М.О.<sup>1,2</sup>, Кудряшова М.Н.<sup>1</sup>, Солдатов А.В.<sup>1,2</sup>,  
Антонов В.И.<sup>1,2</sup>, Иванов Н.Г.<sup>1,2</sup>  
(Чебоксары, <sup>1</sup>ООО НПП «ЭКРА», <sup>2</sup>ЧГУ)

### ЦИФРОВАЯ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ГЕНЕРАТОРА ОТ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ НА БАЗЕ ТЕРМИНАЛОВ ЭКРА 200

Сложность обеспечения селективности и чувствительности защиты от однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) статора генератора, работающего на сборные шины, обусловлена наличием гальванической связи с сетью и другими генераторами. С другой стороны,

возникновение ОЗЗ статора генератора не сопровождается значительными изменениями фазных токов, усложняя тем самым задачу достижения необходимой чувствительности защиты.

Традиционные защиты генератора, работающего на сборные шины, разделяют на два типа. К первому типу относятся защиты, контролирующие основную и третью гармоники тока и напряжения нулевой последовательности. Опыт эксплуатации таких защит показал, что высокий уровень небаланса сети в нормальном режиме может приводить к ложному срабатыванию. К другому типу относятся защиты, принцип действия которых основан на наложении контрольного тока низкой частоты, требующие дополнительного места для установки специального дорогостоящего оборудования [1].

В настоящее время разработана цифровая многопараметрическая дифференциальная защита [2]. Входными сигналами защиты являются фазные токи со стороны нулевых и линейных выводов генератора (рис. 1). Принцип действия защиты основан на пофазном сравнении 3, 5 и 7 гармоник дифференциальных токов. Признаком наличия ОЗЗ, на который реагирует защита, является превышение одной одноименной гармоники фазы над двумя другими одноименными гармониками двух других фаз. Структурная схема защиты приведена на рис. 2.

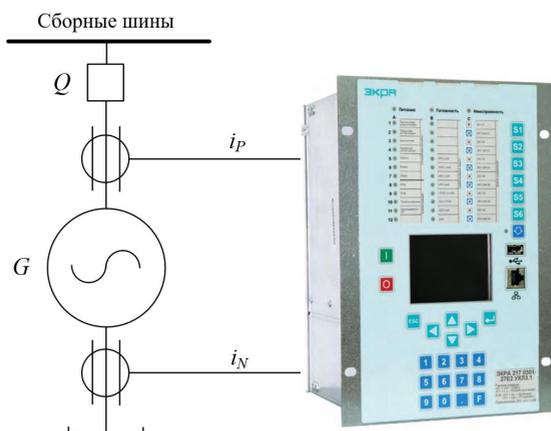


Рис. 1. Принципиальная схема подключения защиты  
 $i_P$  и  $i_N$  – трехфазные токи со стороны линейных  
и нулевых выводов генератора соответственно

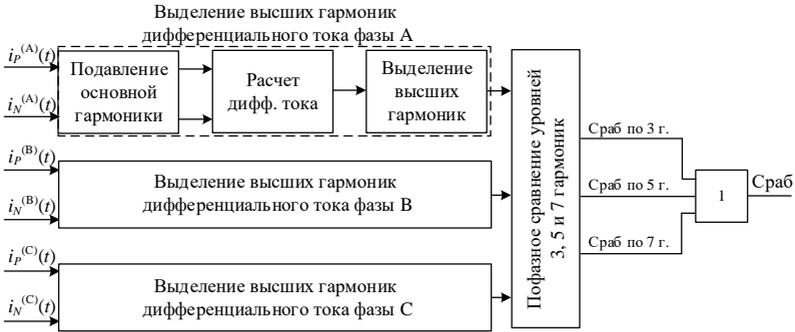


Рис. 2. Структурная схема многопараметрической дифференциальной защиты от ОЗЗ генератора, работающего на сборные шины

Таким образом, селективность защиты в любой точке обмотки статора генератора достигается благодаря разделению высших гармоник дифференциального тока на множество параметров и контролированию их по отдельности.

Рассматриваемая защита была реализована на линейке многофункциональных терминалов ЭКРА 200 производства ООО НПП «ЭКРА».

Для обеспечения высокой чувствительности многопараметрической защиты необходимо прецизионно измерять высшие гармоники на фоне преобладающей основной гармоники. С этой целью был разработан новый измерительный тракт АЦП с активно-адаптивным распознаванием, обеспечивающий измерение гармоник с высокой точностью на фоне преобладающей основной гармоники [3].

Суть работы такого тракта заключается в подавлении основной гармоники входного тока до его аналого-цифрового преобразования. Это позволяет оптимизировать диапазон измерения АЦП для измерения высших гармоник и значительно уменьшить уровень шумов квантования АЦП. Блок датчиков тока с активно-адаптивным трактом АЦП приведен на рис. 3.

Испытания блока датчиков показали, что он обеспечивает подавление сигнала основной гармоники более чем в  $10^5$  раз, практически полностью удаляя её из измеряемого тока в рабочем диапазоне частот от 45 до 55 Гц [3].

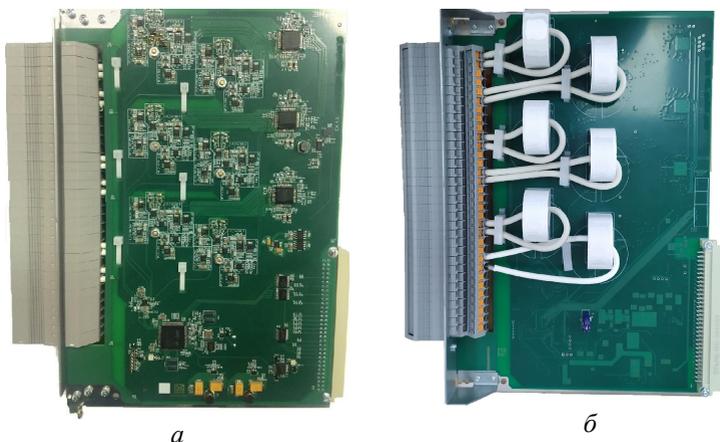


Рис. 3. Блок датчиков активно-адаптивного распознавания тока: вид спереди (а), вид сзади (б)

Техническое совершенство многопараметрической дифференциальной защиты обеспечивается благодаря использованию свойств высших гармоник дифференциального тока генератора и применению специального тракта АЦП с активно-адаптивным распознаванием, позволяющего прецизионно измерять высшие гармоники на фоне преобладающей основной гармоники.

#### Литература

1. Информационные основы алгоритмов защит от однофазных замыканий на землю генератора, работающего на сборные шины. Часть II. Исследование информационных основ алгоритмов, использующих составляющие нулевой последовательности / А. В. Солдатов [и др.] // Электрические станции. 2019. № 2. С. 37–42.

2. Информационные основы многопараметрической дифференциальной защиты от однофазных замыканий на землю генератора, работающего на сборные шины / А. В. Солдатов [и др.] // Электрические станции. 2019. № 10. С. 22–29.

3. Улучшенный метод активно-адаптивного распознавания слабых слагаемых на фоне преобладающей составляющей тока ОЗЗ / М. О. Иванов [и др.] // Современные тенденции развития цифровых систем релейной защиты и автоматики: материалы науч.-техн. конф. молодых специалистов форума «РЕЛАВЭКСПО-2021». Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2021. С. 107–113.

*Научное издание*

**ДИНАМИКА НЕЛИНЕЙНЫХ ДИСКРЕТНЫХ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ**

Материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции

*Материалы публикуются в авторской редакции.*

*Ответственность за достоверность цитат, имён, названий  
и иных сведений, а также за соблюдение законов  
об интеллектуальной собственности  
несут авторы представленных статей*

Отв. за выпуск *А.В. Серебрянников*

Согласно Закону № 436-ФЗ от 29 декабря 2010 года  
данная продукция не подлежит маркировке

Подписано в печать 28.05.2021. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Times.

Усл. печ. л. 31,15. Уч.-изд. л. 30,88. Тираж 300 экз. Заказ № 604

Отпечатано в соответствии с представленным оригинал-матетом  
в типографии Чувашского государственного университета  
428015 Чебоксары, Московский просп., 15