

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, А.В. Солдатов,
Н.Г. Иванов, О.П. Николаева
(Чебоксары, ЧГУ, ООО НПП «ЭКРА»)

ФИЛЬТРЫ СИММЕТРИЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ С ШИРОКИМ РАБОЧИМ ДИАПАЗОНОМ ЧАСТОТ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Во многих алгоритмах релейной защиты используют симметричные составляющие высших гармоник. Особенность этих защит заключается в необходимости оценки информационной составляющей невысокого уровня на фоне преобладающей основной гармоники. Кроме того, задача выделения информационной составляющей усложнена тем, что частота сети может изменяться в широких пределах.

Классическая схема оценки симметричных составляющих гармоники включает в себя фильтры ортогональных составляющих (ФОС) и оператор симметричной составляющей (ОСС) (рис. 1, а). При номинальной частоте гармоники сигнала не влияют на точность измерения, поскольку они полностью подавляются ФОС. В условиях отклонения частоты от номинальной способность ФОС подавлять гармоники ухудшается [1], и на выходе схемы появляется небаланс.

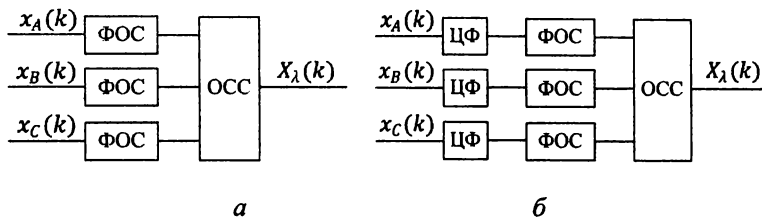


Рис. 1. Классическая (а) и усовершенствованная (б) схемы оценки симметричных составляющих

В связи с тем, что уровень основной гармоники во входном сигнале доминирует, величина небаланса может быть рассчитана с достаточной точностью без учета влияния высших гармоник

$$X_{\lambda}^{res}(f) = X_1 H_1(f) + X_2 H_2(f) + X_0 H_0(f), \quad (1)$$

где X_1 , X_2 , X_0 – действующие значения симметричных составляющих основной гармоники; $H_1(f)$, $H_2(f)$, $H_0(f)$ – значения амплитудно-частотных характеристик схемы оценки для симметричных составляющих на частоте f основной гармоники; $\lambda = 1, 2, 3$ – номера последовательностей.

Необходимость отстройки от небаланса (1) классической схемы оценки симметричных составляющих высшей гармоники делает релейную защиту недостаточно чувствительной.

Для преодоления этого недостатка была предложена усовершенствованная схема, содержащая дополнительный цифровой фильтр (ЦФ) (рис. 1, б). Его задачей является подавление основной гармоники во всем рабочем диапазоне частот (обычно от 45 до 55 Гц). Параметры фильтра выбираются таким образом, чтобы небаланс (1) на выходе усовершенствованной схемы не ограничивал чувствительность защиты.

Пример: применение новой схемы в защите ротора турбогенератора от замыканий на землю в двух точках. Работа защиты основана на измерении уровня напряжения обратной последовательности второй гармоники на выводах статора.

Напряжение нулевой последовательности основной гармоники не влияет на величину небаланса, поскольку оно полностью подавляется оператором обратной последовательности при любой частоте входного сигнала ($H_0(f) = 0$). Тогда согласно (1) небаланс на выходе схемы

$$U_{2,2h}^{res}(f) = U_1 H_1(f) + U_2 H_2(f), \quad (2)$$

где U_1 и U_2 – действующие значения напряжений прямой и обратной последовательностей на входе схемы соответственно.

Максимальный небаланс возникает при наибольших возможных в нормальном режиме генератора значениях U_1 и U_2 [2, 3]:

$$U_{1,max} = 1,1U_r, \quad U_{2,max} = 0,06U_r.$$

Здесь U_r – номинальное фазное напряжение генератора.

В классической схеме небаланс (2) достигает максимума при $f = 55$ Гц (рис. 2, а):

$$H_1(f = 55) = 0,033, \quad H_2(f = 55) = 0,11$$

и составляет

$$U_{2,2h}^{res}(f = 55) \approx 5\% U_r.$$

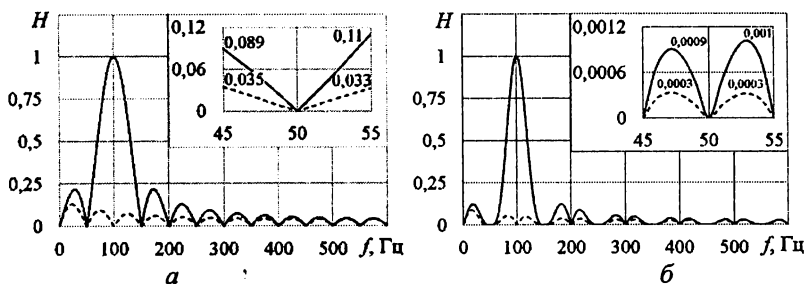


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики классической (а) и усовершенствованной (б) схем оценки напряжения обратной последовательности второй гармоники:

- 1 – по прямой последовательности $H_1(f)$;
- 2 – по обратной последовательности $H_2(f)$

В случае усовершенствованной схемы небаланс максимален при $f = 52,9$ Гц (см. рис. 2, б)

$$H_1(f = 52,9) = 0,0003, \quad H_2(f = 52,9) = 0,001,$$

$$U_{2,2h}^{res}(f = 52,9) \approx 0,05\%U_r.$$

Как видно из примера, дополнительная фильтрация в схеме оценки симметричных составляющих высших гармоник позволяет реализовать защиту, обладающей повышенной точностью в широком диапазоне измерения частоты сети.

Литература

1. 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. – С. 14–23.

2. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Изд-во стандартов, 2014.

3. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 1. Защита генераторов, работающих на сборные шины. – М.: Энергия, 1961. – 69 с.

<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