

УДК 621.316.925

ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ГИБКИХ ФОРМИРОВАТЕЛЕЙ ОРТОГОНАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВХОДНЫХ ВЕЛИЧИН В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ЗАЩИТАХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Докт. техн. наук, проф. РОМАНЮК Ф. А.,
канд. техн. наук, доц. РУМЯНЦЕВ В. Ю., магистрант РОМАНЮК К. Ф.

Белорусский национальный технический университет

В микропроцессорных защитах электроустановок для формирования ортогональных составляющих (ОС) входных величин широко применяются методы, обеспечивающие достаточную степень достоверности результатов при интервале наблюдения за ними, равном периоду T_0 сигнала основной частоты ω_0 . Это означает, что достоверное формирование ОС может быть достигнуто при использовании для выделения ОС N отсчетов входного сигнала $N = T_0/\Delta t$, где Δt – шаг дискретизации. Для моментов времени $t < T_0$ формирование ОС осуществляется с заметными погрешностями. Использование в микропроцессорных защитах формирователей ОС, обеспечивающих необходимую степень достоверности результатов для моментов времени $t < T_0$, т. е. при интервале наблюдения, меньшем периода сигнала, будет способствовать повышению их быстродействия. Выполнение таких формирователей ОС возможно с применением элементов теории идентификации [1] при упрощенном представлении входной величины с учетом ее основных компонент. Общие принципы их реализации изложены в [2].

Если на интервале наблюдения за входной величиной T ($T < T_0$) зафиксировано n отсчетов ее мгновенных значений через шаг Δt , то, используя из этой совокупности m отсчетов ($m \leq n$), разделенных друг от друга интервалом ΔT ($\Delta T/\Delta t$ – целое число), можно определить синусную $x_{sm} = X_m \sin \psi_m$ и косинусную $x_{cm} = X_m \cos \psi_m$ ортогональные составляющие на конец интервала наблюдения:

$$x_{sm} = \sum_{i=1}^m a_i x_i; \quad (1)$$

$$x_{cm} = \sum_{i=1}^m b_i x_i,$$

где a_i, b_i – постоянные.

Выражения (1) являются формирователями ОС и представляют собой пару цифровых фильтров. Постоянные a_i и b_i называются коэффициентами фильтров, а их численные значения определяются ω_0 , m , ΔT . Возможно большое число комбинаций коэффициентов a_i и b_i указанных формирователей ОС. При оценке эффективности использования конкретного варианта формирователей необходимо в первую очередь учитывать их частотные и динамические свойства, которые соответственно определяют точность и быстродействие, а также возможность практической реализации в рамках соответствующей микропроцессорной защиты.

Основным достоинством формирователей ОС рассмотренного принципа выполнения является возможность получения первых результатов в течение времени, не превышающего 0,5–1,0 периода основной частоты входного сигнала. Известно, что достоверность формирования ОС во многом определяется числом используемых для этой цели отсчетов мгновенных значений входной величины. При этом с увеличением количества указанных отсчетов ухудшаются собственные динамические свойства формирователей ОС, что обуславливает снижение быстродействия микропроцессорной защиты.

Наиболее оптимальное сочетание между достоверностью и быстродействием может быть достигнуто в гибких формирователях ОС. Принцип их выполнения основывается на том, что в переходных режимах повреждений электроустановок в действие вводятся формирователи ОС с малым интервалом наблюдения. Их функционирование прекращается по истечении определенного промежутка времени, например равного периоду основной частоты, или при наступлении установившегося режима. Дальнейшее формирование ОС осуществляется с изначально принятым интервалом наблюдения, который будем называть основным.

Реализация гибкого формирования ОС предполагает наличие пускового органа (ПО), фиксирующего наступление переходного режима и запускающего выполнение этой процедуры с малым интервалом наблюдения. В основу действия ПО может быть положено измерение модуля приращения входной величины путем сравнения ее текущего значения X_m со значением, имевшимся за один или несколько интервалов ΔT ранее X_{m-l} ($l = 1, 2, \dots$). Указанное приращение появляется вследствие скачкообразного изменения входной величины при возникновении переходного режима. При этом условие срабатывания ПО будет иметь вид

$$\Delta X_m = |X_m - X_{m-l}| \geq A, \quad (2)$$

где A – уставка срабатывания ПО.

Следует отметить, что численное значение A не должно быть большим, должно обеспечивать четкую фиксацию переходного режима. При этом ПО должен быть надежно отстроен от скачкообразных изменений входной величины в нагрузочных режимах.

Как отмечалось выше, переход на основной интервал наблюдения при формировании ОС осуществляется по истечении определенного промежутка времени либо при наступлении установившегося режима, который может быть зафиксирован тем же ПО. В этом случае условие возврата ПО будет иметь вид

$$\Delta X_m = |X_m - X_{m-1}| < B, \quad (3)$$

где B – уставка возврата ПО.

Численное значение B должно быть по возможности малым и обеспечивать достоверную фиксацию наступления установившегося режима. Скачкообразные изменения входной величины в нагрузочных режимах не должны оказывать влияния на работу ПО.

В переходных режимах повреждений малый интервал наблюдения при формировании ОС может быть обеспечен одним из следующих подходов:

- путем уменьшения количества отсчетов мгновенных значений входной величины, участвующих в формировании ОС при сохранении неизменным интервала между ними ΔT ;
- за счет уменьшения интервала между отсчетами мгновенных значений входной величины, участвующими в формировании ОС, при неизменном их количестве.

При практической реализации этих методов необходимо, чтобы шаг дискретизации мгновенных значений входной величины Δt был равен или в целое число раз оставался меньше интервала ΔT между мгновенными значениями, участвующими в формировании ОС. Изменение интервала наблюдения при использовании любого из методов сопровождается необходимостью выбора других коэффициентов a_i , b_i , содержащихся в (1). Уменьшение указанного интервала приводит к улучшению собственных динамических и ухудшению частотных свойств формирователя ОС.

Следует отметить, что формирование ОС в начальные моменты переходных режимов повреждений будет производиться с динамической погрешностью, обусловленной недостаточностью информации.

Проверку работоспособности и эффективности изложенных выше принципов выполнения гибких формирователей ОС в микропроцессорных защитах электроустановок проводили методом вычислительного эксперимента. В основу реализации этого метода были положены математические модели гибких формирователей ОС, включающие модели входных преобразователей, аналоговых фильтров нижних частот и цифровых фильтров, представленных выражением (1). Данным методом исследованы частотные и динамические свойства гибкого формирователя ОС, основанного на уменьшении количества отсчетов мгновенных значений входной величины, используемых в вычислениях, в переходных режимах до $m = 6$ против $m = 10$ в установившихся режимах, неизменном интервале между указанными отсчетами $\Delta T = 0,00222$ с и шаге дискретизации $\Delta t = 0,00111$ с.

Амплитудно-частотные (АЧХ) и переходные характеристики формирователя ОС с указанными выше параметрами, полученными в результате вычислительного эксперимента, представлены на рис. 1, 2.

Приведенные на рис. 1 АЧХ определены как

$$H(f) = \frac{[x_s^2(f) + x_c^2(f)]^{\frac{1}{2}}}{X_{\max}}, \quad (4)$$

где $X_{\max}$ – амплитуда входной величины.

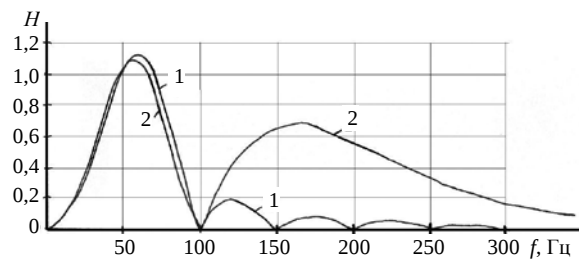


Рис. 1. Амплитудно-частотная характеристика формирователя ОС:
1 – $m = 10$; 2 – 6

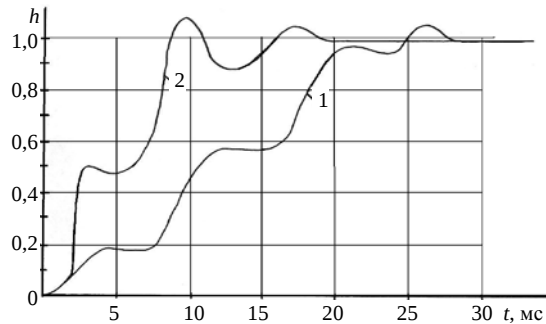


Рис. 2. Переходная характеристика гибкого формирователя ОС
с изменяемым числом отсчетов:
1 – формирователь ОС с $m = 10$; 2 – гибкий формирователь ОС

Анализ рис. 1, 2 показывает, что в переходных режимах повреждений, когда формирование ОС осуществляется с использованием шести отсчетов, имеет место ослабление подавления высших гармоник. Для исключения неправильных действий защиты это необходимо учитывать при выборе характеристик срабатывания цифровых измерительных органов. Приведенные на рис. 2 переходные характеристики представляют собой реакцию обычного (1) и гибкого (2) формирователей на синусоидальную входную величину. Из сопоставления указанных характеристик следует, что быстроедействие гибкого формирователя примерно в 1,5 раза выше, чем обычного с $m = 10$. При этом переходная характеристика обычного формирователя ОС с $m = 10$ имеет меньшую неравномерность по сравнению с аналогичной характеристикой гибкого формирователя.

На рис. 3, 4 представлены АЧХ и переходная характеристика гибкого формирователя ОС, основанного на уменьшении интервала между отсчетами мгновенных значений входной величины ΔT , используемыми в вычислениях, в переходных режимах при сохранении неизменным их количества, полученные в результате вычислительного эксперимента. В данной реализации формирователя ОС с $m = 8$ интервал между используемыми отсчетами ΔT в установившемся режиме равен 0,003 с, а в переходном – 0,002 с при шаге дискретизации $\Delta t = 0,001$ с.

Из анализа АЧХ следует, что в переходном режиме повреждений при малом интервале наблюдения отмечается ухудшение частотных свойств формирователя ОС. Однако степень подавления высших гармоник таким формирователем ОС в указанном случае более высокая, чем в рассмотренном выше.

Анализ переходной характеристики формирователя ОС данной реализации показывает, что его быстродействие в переходном режиме возрастает примерно в 1,5 раза. Однако при этом увеличивается степень неравномерности указанной характеристики.

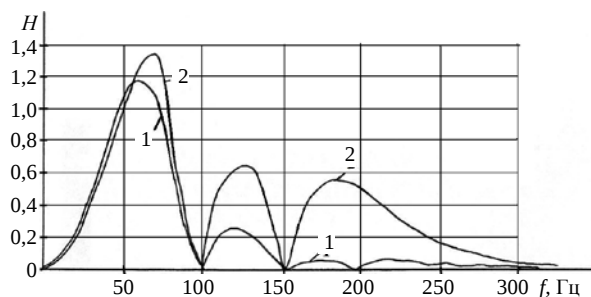


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика гибкого формирователя ОС с изменяемым интервалом между отсчетами:
1 – $\Delta T = 0,003$ с; 2 – $0,002$ с

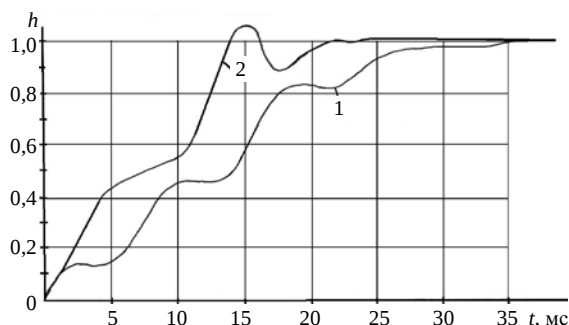


Рис. 4. Переходная характеристика гибкого формирователя ОС с изменяемым интервалом между отсчетами: 1 – $\Delta T = 0,003$ с; 2 – гибкий формирователь ОС

Следует также отметить, что в отдельные моменты времени переходная характеристика может иметь существенные выбросы. Их степень возрастает с уменьшением интервала ΔT при неизменном числе отсчетов m . Данное обстоятельство обуславливает необходимость принятия дополнительных мер, исключающих неправильные действия защиты в переходных режимах повреждений.

Возможны и более сложные реализации гибких формирователей ОС, например с наращиванием до определенного момента времени числа используемых отсчетов и изменяемыми коэффициентами [3].

ВЫВОДЫ

1. Одним из способов повышения быстродействия микропроцессорных защит электроустановок является использование гибких формирователей ортогональных составляющих входных величин, включаемых в переходных режимах повреждений.

2. Выполнение гибких формирователей ОС может быть основано на сокращении интервала наблюдения за входной величиной путем уменьшения в переходных режимах повреждений количества обрабатываемых отсчетов ее мгновенных значений или временного интервала между указанными отсчетами.

3. Результаты выполненных исследований свидетельствуют о принципиальной возможности и реальной практической эффективности использования в микропроцессорных защитах электроустановок гибких формирователей ортогональных составляющих входных величин.

ЛИТЕРАТУРА

1. S a s h d e v, M. S. A new algorithm for digital impedance relays / M. S. Sashdev, M. A. Baribeau // IEEE Trans. on PAS. – 1979. – Vol. 98, № 6.
2. Р о м а н ю к, Ф. А. Информационное обеспечение микропроцессорных защит электроустановок: учеб. пособие / Ф. А. Романюк. – Минск: Технопринт, 2001. – 133 с.
3. Ш н е е р с о н, Э. М. Цифровая релейная защита / Э. М. Шнеерсон. – М: Энергоатомиздат, 2007. – 547 с.

Представлена кафедрой
электрических станций

Поступила 06.11.2012

УДК 621.316

ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СООРУЖЕНИЯ ПОДСТАНЦИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 330 кВ С ТРЕМЯ СИЛОВЫМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ

**Докт. техн. наук, проф. КОРОТКЕВИЧ М. А.,
канд. техн. наук СТАРЖИНСКИЙ А. Л.**

Белорусский национальный технический университет

При выборе схем распределительных устройств подстанции учитываются число присоединений (количество присоединений линий и трансформаторов), требования надежности электроснабжения потребителей и обеспечения транзита мощности через подстанцию в нормальных, ремонтных и послеаварийных режимах. В Белорусской энергосистеме большое количество подстанций напряжением 330/110/10 кВ имеют три автотрансформатора, один из которых обычно находится в отключенном состоянии (в резерве). Трехтрансформаторные подстанции позволяют снизить не только суммарную, но и, что более существенно, единичную мощность трансформаторов. Это дает возможность проще решать проблемы строительства, эксплуатации и ограничения токов короткого замыкания на шинах вторичного напряжения [1, с. 79].

Оценка эффективности сооружения трехтрансформаторных подстанций напряжением 330/110/10 кВ вместо двухтрансформаторных подстанций аналогичной мощности должна проводиться на основе сравнения капитальных вложений, потерь мощности и электроэнергии в элементах подстанции, а также исходя из достижения максимума надежности подстанции. Капитальные затраты на строительство подстанции без учета стоимости компенсирующих устройств могут быть определены по формуле [2, с. 531]