



Авторы:

к.т.н. Антонов В.И.^{1,2},
к.т.н. Наумов В.А.^{1,2},
Васильева Д.Е.²,
Иванов Н.Г.^{1,2},
Солдатов А.В.^{1,2},
к.т.н. Васильева В.Я.¹,

¹ Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова,
² ООО НПП «ЭКРА»,
г. Чебоксары, Россия.

Ph. D. Antonov V.I.^{1,2},
Ph. D. Naumov V.A.²,
Vasilieva D.E.²,
Ivanov N.G.^{1,2},
Soldatov A.V.²,
Ph.D. Vasilieva V. J.¹,

¹ Chuvash State University,
² EKRA Research and Production Enterprise LTD,
Cheboksary, Russia.

Abstract: in SCADA systems and disturbance recorders a lot of oscillograms do not contain an information component. Algorithms of recognition of the electrical signal information image are applied to reject such oscillograms. The signal information image is considered to be operational if it contains an information component, otherwise the signal image is considered to be non-operational. Classical filters, based on non-adaptive models, bring estimates of the information component

even if it is missing in the signal. This drawback is aggravated when recognizing the image of a signal which contains the free process components. In this case algorithms using adaptive structural analysis models, which structure is unknown a priori, have the advantage. This article offers the method of

РАСПОЗНАВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБРАЗА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СИГНАЛА В УСЛОВИЯХ ЕГО СТРУКТУРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

THE ELECTRICAL SIGNAL INFORMATION IMAGE RECOGNITION UNDER CONDITIONS OF STRUCTURAL AMBIGUITY

Аннотация: в SCADA-системах и регистраторах аварийных событий многие осциллограммы не содержат информационной составляющей. Для отбраковки таких осциллограмм применяются алгоритмы распознавания информационного образа электрического сигнала. Информационный образ сигнала считается рабочим, если в нем присутствует информационная составляющая, в противном случае образ сигнала считается нерабочим.

Классические фильтры, основанные на неадаптивных моделях, приносят оценки информационной составляющей, даже если она отсутствует в сигнале. Этот недостаток усугубляется при распознавании образа сигнала, содержащего составляющие свободного процесса. В этом случае преимущество имеют алгоритмы адаптивного структурного анализа, использующие модели, структура которых априори не известна.

В статье предлагается метод распознавания информационного образа сигнала. Он основан на предположении, что присутствие в сигнале информационной составляющей всегда усиливает оценку ее мощности. При этом противодействие остальных, зачастую доминирующих, компонентов сигнала преодолевается адаптивным структурным анализом путем извлечения информационной составляющей из сигнала.

Распознавание образа сигнала осуществляется путем сравнения оценки мощности шума с адаптивным порогом, пропорциональным оценке мощности информационной составляющей. Считается, что информационный образ сигнала рабочий, если мощность шума ниже порога, иначе полагают, что информационный образ сигнала нерабочий.

Кроме полного адаптивного структурного анализа рассмотрены варианты реализации с помощью составного и гибридного фильтров.

Вычислительный эксперимент подтвердил, что предлагаемый метод распознавания информационного образа сигнала обеспечивает достоверность и стабильность результата в условиях структурной неопределенности сигнала.

Ключевые слова: распознавание информационного образа сигнала, адаптивный структурный анализ сигнала, цифровая обработка сигналов, SCADA, регистратор аварийных событий.

Введение

Распознавание информационного образа сигнала как одна из важнейших операций присутствует во многих приложениях, связанных с обработкой осциллограмм аварийных процессов. Особенно оно актуально в SCADA-системах, аккумулирующих осциллограммы различного происхождения, или в регистраторах аварийных событий, многие из осциллограмм которых

часто и вовсе не содержат информационной составляющей. Для отбраковки подобных осциллограмм используется операция распознавания информационного образа сигнала.

В зависимости от предназначения осциллограмм в качестве информационной составляющей могут использоваться различные компоненты сигнала. Например, при реализации функции определения места повреждения в качестве информацион-

recognition of the information image of the signal. It is based on the assumption that the presence of the information component in the signal always enhances the estimation of its power. In this case adaptive structural analysis overcomes the opposition of the dominant signal components by extracting the information component from the signal. Recognition of the signal image is carried out by comparing the noise power estimate with the adaptive threshold, proportional to the estimation of the information component power. The signal information image is considered to be operational, if the noise power is below the threshold, otherwise the signal image is considered to be non-operational.

In addition to the full adaptive structural analysis embodiments with composite and hybrid filters are considered.

The computational experiment confirmed that the proposed method of recognition of the signal information image ensures the reliability and stability of the result under conditions of structural ambiguity of the signal.

Keywords: signal information image recognition, signal adaptive structural analysis, digital signal processing, SCADA, disturbance recorder.

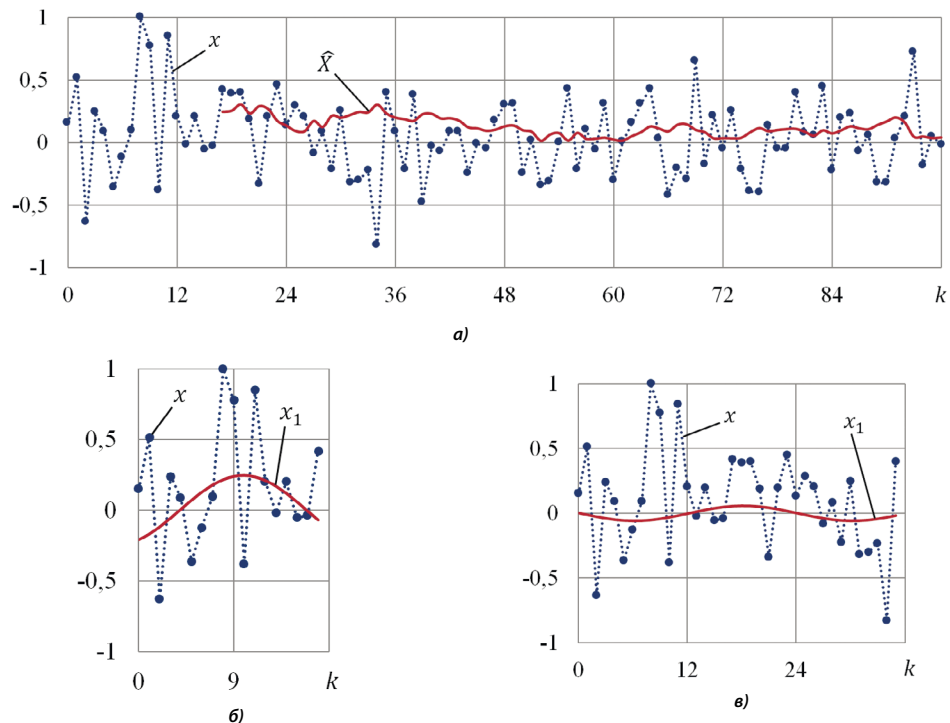


Рис. 1. Оценка первой гармоники в сигнале, состоящем только из белого шума, с помощью неадаптивного фильтра: (а) – сигнал шума $x(k)$ и обнаруженная оценка амплитуды первой гармоники $\hat{X}(k)$ (окно настройки фильтра N равно $3/4$ периода основной гармоники), (б) и (в) – сигнал шума $x(k)$ и обнаруженный сигнал первой гармоники $x_1(k)$ (окно настройки фильтра N равно $3/4$ и $3/2$ периода основной гармоники соответственно)

ной составляющей используется основная гармоника [1], а при проверке правильности срабатывания некоторых видов релейной защиты – высшие гармоники сигнала [2, 3].

Классические фильтры, основанные на оценке ортогональных составляющих, например, фильтры Фурье, используют неадаптивные модели. Как известно [4], они аппроксимируют входной сигнал моделью в виде совокупности гармоник частот, кратных частоте основной гармоники. В этом и заключается их основной изъян, и именно поэтому они часто приносят оценки информационной составляющей, даже если она отсутствует в сигнале. Причем уровень оценок зависит от длины выборки, на которой настраивается неадаптивный фильтр (рис. 1).

Кроме того, если сигнал наряду с информационной составляющей содержит и другие компоненты, то фильтры, основанные на неадаптивных моделях, будут иметь недопустимо большое смещение в оценке. В этом случае не обойтись без алгоритмов структурного анализа, использующих модели, структура которых априори не известна.

Целью настоящей статьи является исследование методов распознавания сигнала в условиях его структурной неопределенности. Предпочтение отдается адаптивному структурному анализу сигналов [5].

Адаптивный структурный анализ сигнала

При адаптивном структурном анализе сигнала распознавание информационного образа осуществляется на основе оценивания всех компонентов сигнала, в том числе информационной составляющей.

Структурный анализ включает в себя несколько этапов.

На первом этапе адаптивный нерекурсивный фильтр

$$e(k) = \sum_{m=0}^M a_m x(k-m), a_0 = 1 \quad (1)$$

настраивают на полное подавление цифрового сигнала $x(k)$ таким образом, чтобы невязка $e(k)$



Антонов

Владислав Иванович

Окончил в 1978 г. факультет электрификации и автоматизации промышленности ЧГУ им. И.Н. Ульянова.

В 1985 г. защитил в Ленинградском политехническом институте кандидатскую диссертацию «Разработка и исследование новых принципов построения измерительных органов направленных защит линий электропередачи». Доцент кафедры теоретических основ электротехники и релейной защиты и автоматики ЧГУ им. И.Н. Ульянова, главный специалист отдела РЗА станционного оборудования ООО НПП «ЭКРА».



Наумов

Владимир Александрович

Окончил в 2001 г. электроэнергетический факультет ЧГУ им. И.Н. Ульянова по специальности «Инженер». В 2002 г. защитил магистерскую диссертацию. В 2005 г. защитил во ВНИИЭ кандидатскую диссертацию «Анализ и совершенствование продольных дифференциальных защит генераторов и блоков генератор-трансформатор». Заместитель генерального директора – технический директор ООО НПП «ЭКРА».

удовлетворяла критерию наименьших квадратов [6]. Это достигается решением переопределенной системы

$$e(l) = x(l) - \hat{x}(l) = 0, \quad l = \overline{k - N + 1, k} \quad (2)$$

по методу наименьших квадратов. Размер окна настройки фильтра $N = L - M$, причем он может быть меньше порядка модели M [7]. Здесь и далее L – размер выборки отсчетов сигнала, используемых для настройки. Порядок фильтра выбирают M заведомо больше порядка сигнала. На втором этапе определяют корни

$$\underline{z}_1, \underline{z}_2, \dots, \underline{z}_i, \underline{z}_{i+1}, \dots, \underline{z}_M \quad (3)$$

характеристического уравнения фильтра (1), приведенного к форме, отражающей физический смысл составляющих сигнала ($\underline{z}^{-M} \neq 0, |\underline{z}_m| < 1$):

$$\underline{z}^{-M} \sum_{m=0}^M a_m \underline{z}^{M-m} = 0. \quad (4)$$

По корням (4) формируют компонентную модель сигнала

$$\hat{x}(k) = - \sum_{m=1}^M A_m \underline{z}_m^k. \quad (5)$$

Комплексные амплитуды A_m компонентов сигнала, в том числе и для информационной составляющей A_r , определяются также путем решения системы (2) после подстановки в нее выражения для модели (5). Поскольку для настройки компонентной модели доступны все отсчеты выборки, то в этом случае $N = L$.

Вычислительных ресурсов потребуется меньше, если извлечение информационной составляющей поручить составному фильтру. В этом случае пользуются результатом работы первого этапа структурного анализа.

Составной фильтр представляет собой линейный оператор, сконструированный из множества (3) за исключением корней \underline{z}_i и \underline{z}_{i+1} , ассоциированных с информационной составляющей. Новому характеристическому полиному

$$P_{M-2}(\underline{z}) = (\underline{z} - \underline{z}_1)(\underline{z} - \underline{z}_2) \dots (\underline{z} - \underline{z}_{i-1}) \cdot (\underline{z} - \underline{z}_{i+2}) \dots (\underline{z} - \underline{z}_M) = \sum_{m=0}^{M-2} b_m \underline{z}^{-m}$$

соответствует составной фильтр следующего вида:

$$e(k) = \sum_{m=0}^{M-2} b_m x(k-m), \quad b_0 = 1. \quad (6)$$

В то же время, если характеристические параметры информационной составляющей и части гармоник сигнала известны, то удобно применять гибридные модели. Они сочетают в себе универсальность адаптивных и эффективность неадаптивных моделей, поскольку содержат неадаптивный и адаптивный операторы:

$$\hat{x}(k) = - \sum_{r=1}^R [\hat{c}_r \cos(r\omega_1 k T_s) - \hat{s}_r \sin(r\omega_1 k T_s)] - \sum_{m=1}^M a_m x(k-m), \quad (7)$$

где, как и прежде, $a_0 = 1$, а ортогональные составляющие $\hat{c}_r = X_r \cos \psi_r$ и $\hat{s}_r = X_r \sin \psi_r$ [4], X_r и ψ_r – амплитуда и начальная фаза r -ой гармоники.

Порядок неадаптивной части модели выбирается исходя из числа гармоник R , подлежащих распознаванию ею, а адаптивная часть должна обеспечивать определение аperiodической и других составляющих, неучтенных в неадаптивном операторе, и нивелирование влияния шума в сигнале. Искомые параметры гибридной модели определяются также в результате решения системы (2). Число доступных уравнений $N = L - M - 2R$ в этом случае тоже больше, чем в случае настройки адаптивного фильтра (1), поскольку благодаря работе неадаптивной части порядок адаптивной части M выбирается гораздо меньше.

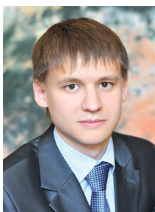
Эффективность гибридных моделей обоснована, прежде всего, той особенностью, что характеристические параметры (частоты гармоник) ее неадаптивной части полностью определены и согласованы с периодическими слагаемыми сигнала. Поэтому неадаптивная часть модели оптимально подготовлена для извлечения из сигнала гармоник, хотя, быть может, что ее порядок и избыточен для моделирования периодической части распознаваемого сигнала. Задачей адаптивной части будет лишь распознавание составляющих свободного процесса. В большинстве практических случаев, когда свободный процесс представлен только аperiodической составляющей, адаптивная часть может иметь минимальный порядок $M = 1$.

Оценки параметров неадаптивной части модели (7) будут иметь смещение, вызванное действием адаптивного оператора на входной сигнал. Оно устраняется с учетом частотной характеристики адаптивного оператора, путем следующей замены переменных [8]:



**Васильева
Динара Евгеньевна**

Окончила в 2015 г. факультет энергетики и электротехники ЧГУ им. И.Н. Ульянова, специальность «Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем». Инженер отдела РЗА станционного оборудования ООО НПП «ЭКРА».



**Иванов
Николай Геннадьевич**

Окончил в 2013 г. кафедру ТОЭ и РЗА электроэнергетического факультета ЧГУ им. И.Н. Ульянова, получил степень магистра техники и технологии по направлению «Электроэнергетика и электротехника». Инженер 2 категории отдела РЗА станционного оборудования ООО НПП «ЭКРА», аспирант ЧГУ им. И.Н. Ульянова по профилю 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергетические системы».

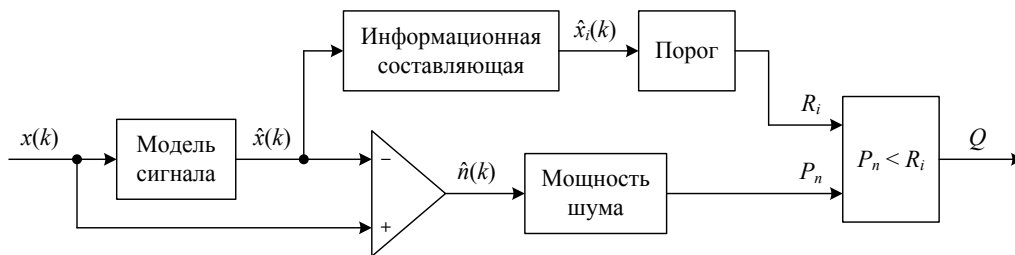


Рис. 2. Блок-схема системы распознавания информационного образа сигнала

$$\hat{c}_r' + j\hat{s}_r' = (\hat{c}_r + j\hat{s}_r) / \underline{H}(jr\omega_1 T_s). \quad (8)$$

Распознавание информационного образа сигнала

Идея метода основана на предположении, что присутствие в сигнале информационной составляющей всегда усиливает оценку ее мощности. Противодействие остальных, зачастую доминирующих, компонентов сигнала преодолевается адаптивным структурным анализом путем извлечения информационной составляющей из сигнала.

Распознавание образа сигнала осуществляется путем сравнения оценки мощности шума с порогом, пропорциональным оценке мощности информационной составляющей. Считается, что информационный образ сигнала соответствует рабочему, и анализируемая выборка отсчетов сигнала содержит информационную составляющую сигнала, если мощность шума ниже порога, иначе полагают, что информационный образ сигнала нерабочий и упомянутая выборка не содержит информационной составляющей.

Рассмотрим более подробно основы метода (рис. 2).

Пусть электрический сигнал представлен отсчетами

$$x(k) = x_i(k) + x_r(k) + n(k), \quad (9)$$

где $x_i(k)$ – информационная составляющая сигнала, $x_r(k)$ – сумма остальных компонентов сигнала, $n(k)$ – сигнал шума, k – номер отсчета. Система распознавания работает с выборкой отсчетов размера L

$$x(k) = [x(k-L+1), x(k-L+2), \dots, x(k)]^T, \quad (10)$$

формируемой для каждого дискретного момента на оси времени сигнала.

Модель сигнала

$$\hat{x}(k) = \hat{x}_i(k) + \hat{x}_r(k), \quad (11)$$

настраиваемая на этой выборке, в общем случае содержит оценку информационной составляющей сигнала $\hat{x}_i(k)$ и сумму оценок остальных компонентов сигнала $\hat{x}_r(k)$.

Сигнал шума в принципе недоступен, поэтому его оценку получают как невязку между соответствующими отсчетами выборки (10) и модели (11):

$$\hat{n}(k) = x(k) - \hat{x}(k). \quad (12)$$

Как уже отмечалось, метод распознает информационный образ электрического сигнала на данной выборке $x(k)$ (10), сравнивая мощность P_n шума (12) с порогом R_i , пропорциональным уровню мощности оценки $\hat{x}_i(k)$ информационной составляющей. Если в выборке $x(k)$ присутствует информационная составляющая, то порог R_i будет высокого уровня, намного превосходящего мощность шума P_n . Это будет сигнализировать, что информационный образ сигнала определен как рабочий. Если в сигнале информационная составляющая отсутствует, то порог R_i , определяемый лишь уровнем ошибок и шумов вычисления, будет мал. Поэтому его уровень будет близок, а может быть, и ниже уровня мощности шума P_n . В этом случае способ определит информационный образ сигнала выборки как нерабочий.

Важно, что порог R_i не фиксируется и полностью определяется только уровнем информационной составляющей сигнала. Поэтому метод приобретает избирательность по отношению к информационной составляющей, и его работа не зависит от других составляющих $x_r(k)$ сигнала (9).

Метод может быть реализован по-разному. Варианты его реализации зависят от принципа построения модели сигнала, метода оценки мощности шума P_n и принципа формирования порога R_i .



Солдатов Александр Вячеславович

Окончил в 2006 г. электроэнергетический факультет ЧГУ им. И.Н. Ульянова, по специальности «Инженер». Заместитель заведующего отделом РЗА станционного оборудования ООО НПП «ЭКРА».



Васильева Валентина Яковлевна

Окончила в 1972 г. факультет электрификации и автоматизации промышленности ЧГУ им. И.Н. Ульянова. В 1978 г. защитила в Московском энергетическом институте кандидатскую диссертацию «Исследование электрических цепей с переменной структурой при вероятностном задании параметров». Доцент кафедры теоретических основ электротехники и релейной защиты и автоматики ЧГУ им. И.Н. Ульянова.

Начнем с рассмотрения методов оценки мощности шума и принципа формирования порога, поскольку они методически связаны друг с другом. Здесь и далее под мощностью шума понимается условная средняя величина, служащая мерой интенсивности шума в сигнале в пределах взятой выборки отсчетов (10). Для упрощения изложения сути метода принимается, что информационная составляющая сигнала $x_i(k)$ представляет собой гармонику (например, третью гармонику)

$$x_i(k) = A_i \cos(\omega_i T_s k + \psi_i), \quad (13)$$

где A_i – амплитуда, ω_i – угловая частота, ψ_i – начальная фаза, T_s – интервал дискретизации. Тогда оценка информационной составляющей сигнала $\hat{x}_i(k)$ в модели (11) тоже будет гармоникой

$$\hat{x}_i(k) = \hat{A}_i \cos(\hat{\omega}_i T_s k + \hat{\psi}_i), \quad (14)$$

параметры которой будут близки к параметрам составляющей (13).

Одним из методов оценки мощности шума (12) является вычисление ее среднев्यпрямленного значения

$$P_n(k) = \frac{1}{L} \sum_{l=k-L+1}^{l=k} |\hat{n}(l)|$$

Порог

$$R_i(k) = \lambda P_i(k) \quad (15)$$

в этом случае должен определяться также пропорционально среднев्यпрямленному значению оценки информационной составляющей

$$P_i(k) = \frac{1}{L} \sum_{l=k-L+1}^{l=k} |\hat{x}_i(l)| \quad (16)$$

Коэффициент λ (коэффициент чувствительности) определяет чувствительность метода: чем он больше, тем выше чувствительность способа к уровню информационной составляющей. Выбор коэффициента чувствительности зависит от конкретных условий применения метода.

В случае гармонической информационной составляющей (13) величина (16) может быть определена по оценке ее амплитуды:

$$P_i(k) = \frac{2}{\pi} \hat{A}_i$$

Другим методом определения мощности шума является вычисление ее среднеквадратичного значения

$$P_n(k) = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{l=k-L+1}^{l=k} \hat{n}^2(l)} \quad (17)$$

Порог (15) в этом случае определяется также пропорционально среднеквадратичному значению информационной составляющей

$$P_i(k) = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{l=k-L+1}^{l=k} \hat{x}_i^2(l)} \quad (18)$$

или, в случае гармоники (13), пропорционально действующему значению, определенному по оценке амплитуды:

$$P_i(k) = \frac{1}{\sqrt{2}} \hat{A}_i$$

Теперь рассмотрим методы выделения информационной составляющей $\hat{x}_i(l)$ и определения шума $\hat{n}(k)$.

В общем случае информационную составляющую выделяют в результате структурного анализа отсчетов выборки (10). Поскольку с информационной составляющей (13) ассоциированы два корня $\zeta_i = e^{j\omega_i T_s}$ и $\zeta_i^* = e^{-j\omega_i T_s}$, то модель информационной составляющей (14) будет входить в компонентную модель (5) как

$$\hat{x}_i(k) = \hat{B}_i \zeta_i^k + \hat{B}_i^* (\zeta_i^*)^k \quad (19)$$

Для метода важно определить оценку амплитуды \hat{A}_i информационной составляющей (13), и, как следует из (19), она будет равна $\hat{A}_i = 2|\hat{B}_i| = 2|\hat{B}_i^*|$. Шум сигнала в этом случае может быть определен либо как невязка адаптивного фильтра (1), либо как невязка компонентной модели (5), т.е. $\hat{n}(k) = e(k)$.

В другой реализации метода модель сигнала формируется в виде гибридного фильтра (7). Оценка амплитуды информационной составляющей сигнала формируется согласно (8) по найденным ортогональным составляющим \hat{c}_i и \hat{s}_i неадаптивной модели с учетом модуля коэффициента передачи адаптивной части фильтра

$$|H(j\omega_i T_s)| = \left| \sum_{m=0}^M a_m e^{j\omega_i T_s m} \right|$$

на частоте информационной составляющей:

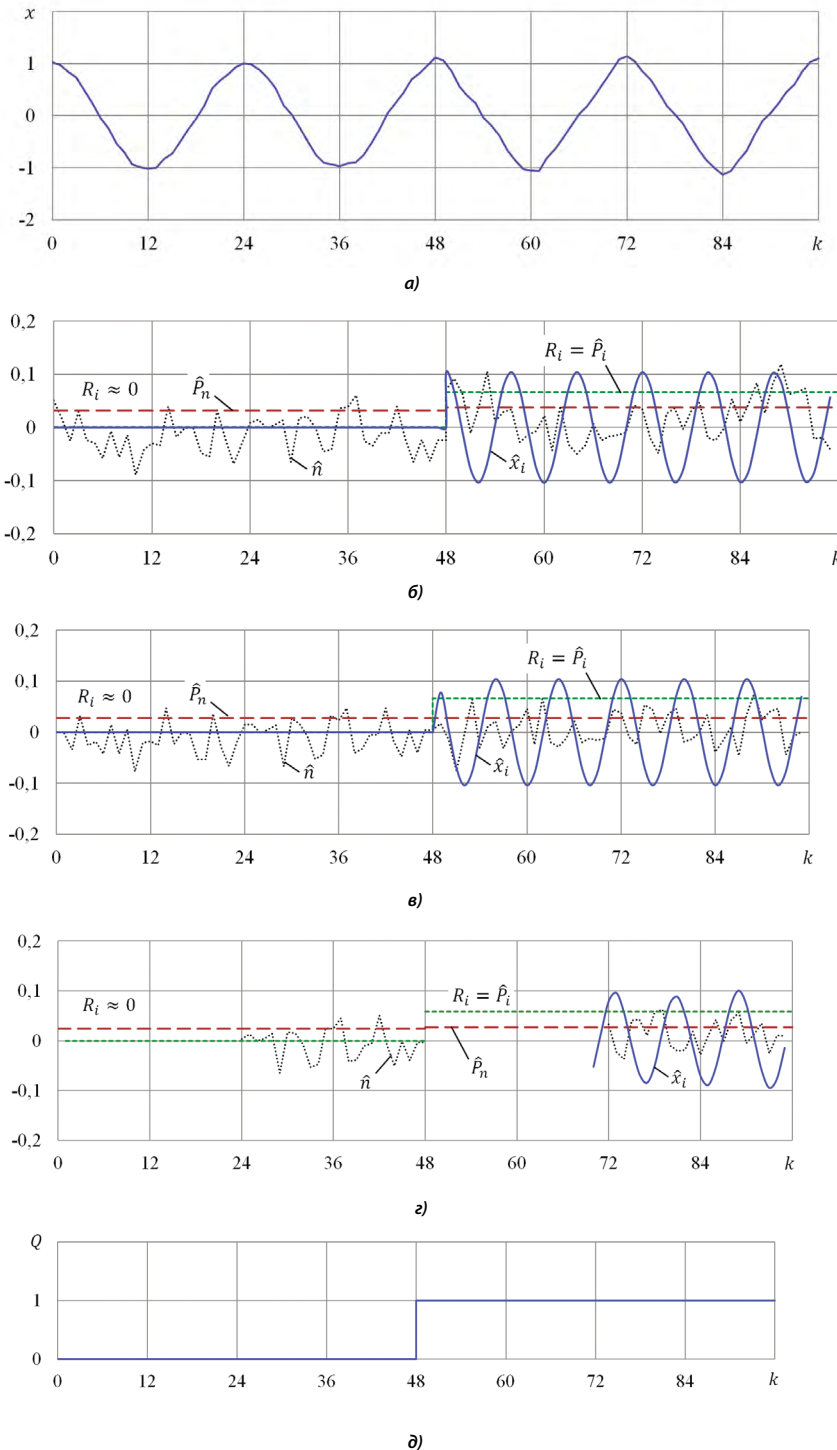


Рис. 3. Сигнал (а) и распознавание его информационного образа: (б) – оценивание информационной составляющей и шума адаптивным фильтром (полный структурный анализ), (в) – моделью в виде гибридного фильтра и (г) – составной моделью. Информационный образ (д) соответствует рабочему, если сигнал $Q=1$, а нерабочему – если $Q=0$

$$\hat{A}_i = (c_i^2 + s_i^2)^{1/2} / |H(j\omega_i T_s)|, \quad (20)$$

В этой реализации метода предполагается, что шум сигнала также равен невязке: $\hat{n}(k) = e(k)$.

В следующей реализации метода информационную составляющую выделяют с помощью составной модели. Искомая информационная составляющая появляется как результат преобразования сигнала совокупностью заграждающих фильтров составной модели, подавляющего все компоненты $x_r(k)$ сигнала (9). Выходной сигнал составного фильтра будет пропорционален искомой информационной составляющей сигнала:

$$\hat{w}_i(k) = \hat{B}_i \cos(\hat{\omega}_i T_s k + \hat{\psi}_w). \quad (21)$$

Поскольку для работы способа важно правильно оценить только амплитуду информационной составляющей, то для корректной работы способа достаточно восстановить лишь амплитуду сигнала (21):

$$\hat{A}_i = \hat{B}_i / |W(j\omega_i T_s)|,$$

где

$$|W(j\omega_i T_s)| = \left| \sum_{m=0}^{M-2} a_m e^{j\omega_i T_s m} \right|$$

модуль коэффициента передачи составного фильтра (6) на частоте ω_i информационной составляющей.

Шум сигнала определяется по невязке адаптивного фильтра (1).

Вычислительный эксперимент

Проиллюстрируем работу метода при разных вариантах выделения информационной составляющей сигнала (рис. 3, а), состоящего из двух интервалов однородности. На первом интервале информационная составляющая в сигнале отсутствует: сигнал содержит только основную гармонику частоты 50 Гц с амплитудой 1,0 о.е. и белый шум (отношение сигнал/шум = 10). На втором интервале к ним добавляется



еще и информационная составляющая – 3-я гармоника с амплитудой 0,1 о.е.

Поскольку все модели так или иначе определяют амплитуду информационной составляющей, все они хорошо справляются с задачей распознавания информационного образа сигнала. На первом интервале однородности (рис. 3, б-г) информационная составляющая отсутствует, и порог $R_i \approx 0$. Мощность шума P_n (17) достаточно высока и превышает порог, поэтому метод фиксирует информационный образ этого интервала как нерабочий, устанавливая признак $Q = 0$. На втором интервале в сигнале обнаруживается информационная составляющая достаточной мощности, чтобы ее уровень, учитываемый в пороге R_i (18), превышал мощность шума P_n . Поэтому все модели формируют достаточные условия для фиксации признака, что информационный образ сигнала на втором интервале рабочий, т.е. $Q = 1$.

Вычислительный эксперимент подтвердил эффективность алгоритма распознавания образа сигнала и при остальных способах оценки мощ-

ности шума и формирования порога.

Нужно отметить особенность применения составного фильтра. Она состоит в способе формирования оценки информационной составляющей составным фильтром, заключающемся в получении ее как результата преобразования входного сигнала. Поэтому на части оси времени оценка информационной составляющей отсутствует (рис. 3, г).

Задача разделения сигнала на интервалы здесь не рассматривается, поскольку она имеет самостоятельное значение.

Выводы

1. Для распознавания информационного образа сигнала могут применяться различные структурные модели, но все они используют результаты адаптивного структурного анализа.

2. Вычислительный эксперимент подтвердил эффективность всех вариантов реализации распознавания информационного образа сигнала.

Литература:

1. Лямец Ю.Я., Антонов В.И., Ефремов В.А., Нудельман Г.С., Подшивалин Н.В. Диагностика линий электропередачи // Электротехнические микропроцессорные устройства и системы: Межвузовский сб. науч. тр. // Чебоксары: Изд-во Чувашского ун-та. – 1992.
2. Кискачи В.М., Кискачи В.В., Иванова Т.А. Селективная защита от замыканий на землю в обмотке статора генераторов, работающих на сборные шины. // В сб. ВНИИЭ: Релейная защита и автоматика ВЛ сверхвысоких напряжений и мощных генераторов. – М.: Энергоатомиздат. – 1988. – С. 63-71.
3. Шуин В.А., Гусенков А.В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6-10 кВ. – М.: НТФ «Энергопрогресс». – 2001. – 104 с.: ил. – [Библиотечка электротехника; Вып. 11 (35)].
4. Антонов В.И., Наумов В.А., Иванов Н.Г., Солдатов А.В., Фомин А.И. Общие начала теории фильтров ортогональных составляющих // Релейная защита и автоматизация. – 2016. – №1. – С. 16-25.
5. Антонов В.И., Наумов В.А., Фомин А.И., Солдатов А.В. Адаптивный структурный анализ входных сигналов цифровой релейной защиты и автоматики // Электротехника. – 2015. – №7. – С. 28-35.
6. Антонов В.И., Лазарева Н.М., Пуляев В.И. Методы обработки цифровых сигналов энергосистем - М.: НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик». – 2000. – 83 с.
7. Антонов В.И., Наумов В.А., Иванов Н.Г., Солдатов А.В. Характеристики методов настройки адаптивных структурных моделей аварийных сигналов электрической сети // Релейная защита и автоматизация. – 2017. – №1. – С. 23-30.
8. Антонов В.И., Лямец Ю.Я. Разрешающая способность метода наименьших квадратов при оценивании основной гармоники тока короткого замыкания – Изв. вузов. Энергетика. – 1990. – №2. – С. 48-51.



БИЗНЕС-МИССИЯ РОССИЙСКИХ
ПРЕДПРИНИМАТЕЛЕЙ В РЕСПУБЛИКУ СЕРБИЯ

5-Я ЮБИЛЕЙНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ
ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

EXPO-RUSSIA SERBIA 2018

5-Й БЕЛГРАДСКИЙ БИЗНЕС-ФОРУМ

РЕСПУБЛИКА СЕРБИЯ
БЕЛГРАД, КОНГРЕСС ЦЕНТР

14-16 МАРТА

При раннем бронировании
выставочных
площадей предусмотрены
специальные цены

ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА

Белградский бизнес-форум, конференция, биржа контактов, тематические круглые столы совместно с отраслевыми министерствами

ТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ:

Энергетика и энергосберегающие технологии, машиностроение, химическая промышленность, металлургия, авиация, железнодорожный транспорт, агропромышленный комплекс, нефтегазовая промышленность, горнодобывающая промышленность, высокотехнологичные и инновационные отрасли, банковская деятельность, телекоммуникации, медицина, образование, сфера услуг (туризм, автоперевозки, транспортная логистика).

Отдельным блоком представлены товары народного потребления



РЕКЛАМА



Организатор: ОАО «Зарубеж-Экспо»

Москва, ул. Пречистенка,10 +7 (495) 721-32-36 info@zarubezhexpo.ru www.zarubezhexpo.ru