

**ПОДСИСТЕМА КОНТРОЛЯ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ
ЦИФРОВОЙ АППАРАТУРЫ ПЕРЕДАЧИ
КОМАНД РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ «СТРЕЛА»**

Докт. техн. наук ЗАБЕНЬКОВ И. И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

В настоящее время на рынке оборудования для объектов энергосистем существует множество разновидностей аппаратуры передачи команд релейной защиты и противоаварийной автоматики (РЗ и ПА). Большинство из них представляет собой сложные многофункциональные комплексы, способные выполнять не только свое непосредственное предназначение, но и множество сопутствующих функций, таких как измерения, контроль работоспособности и др. Одной из важнейших функций контроля параметров высокочастотного сигнала является функция непрерывного измерения относительного уровня шумов и помех в канале передачи информации. В настоящей статье будет смоделирован алгоритм измерения отношения сигнал/шум (ОСШ) в канале связи по высоковольтной линии (ВЛ), используемый в цифровой аппаратуре передачи команд РЗ и ПА «Стрела». Эта система разработана совместно лабораторией цифровой радиосвязи БГУИР и СКБ предприятия «Белэлектромонтажналадка» [1, 2].

К каналам передачи команд РЗ и ПА предъявляются самые высокие требования по безопасности и надежности. В данном контексте безопасность означает отсутствие ложных срабатываний аппаратуры, исключение (с определенной вероятностью) возможности выделения сигнала команды из шумов на входе приемника либо подмены, когда при передаче одной из команд РЗ и ПА принимается другая. Надежность означает минимизацию пропусков команд приемником в случае их передачи. Шумовая обстановка в каналах по ВЛ является очень нестабильной, возможны как импульсные помехи и длительные (значительные) возрастания шумов в линии, так и резкие затухания самого сигнала. В такие моменты вероятность ложного срабатывания значительно повышается (на порядок). Чтобы обеспечивать высокую безопасность подобных систем в любой ситуации, необходима оценка ОСШ, в результате которой приемник оценивает необходимость блокирования во избежание ложного срабатывания.

Это, безусловно, ведет к ухудшению надежности приема команд РЗ и ПА, к увеличению числа пропусков. Но это необходимая для повышения безопасности цена, которая в данном случае является приоритетной, поскольку ложные срабатывания могут иметь более катастрофические последствия.

Построение канала передачи команд РЗ и ПА по ВЛ. Подавляющее большинство действующих, вводимых в эксплуатацию и проектируемых каналов являются аналоговыми. В этих каналах команды передаются с помощью аналоговых видов модуляции (как правило, одно- или двухчастотным кодированием). В отсутствие команд по каналу связи передается пилот-сигнал (или охранный сигнал), который также представляет собой тональную частоту и служит для контроля работоспособности канала на при-

емной стороне. Отсутствие контрольного сигнала является признаком передачи сигнала команды РЗ и ПА либо аварии канала. Многие производители подобной аппаратуры предлагают в полосе частот, отводимой для РЗ и ПА, в отсутствие команд передавать иные виды сигналов (речь, телемеханику). Однако не всегда это необходимо потребителю, поэтому в статье будет рассматриваться выделенный канал сугубо для целей РЗ и ПА. Стандартная ширина канала связи по ВЛ составляет 4 кГц, контрольный пилот-сигнал представляет собой тональную частоту, расположенную в полосе канала.

Описание модели. Моделирование проводится в среде MATLAB/Simulink. Модель приведена на рис. 1. Аппаратура «Стрела» осуществляет прием сигнала методами цифровой обработки. Это означает, что в структуре приемного тракта присутствует АЦП – аналого-цифровой преобразователь, после которого вся логика работы реализована программно на сигнальном процессоре. Источники сигнала и шума моделируем как последовательности цифровых отсчетов.

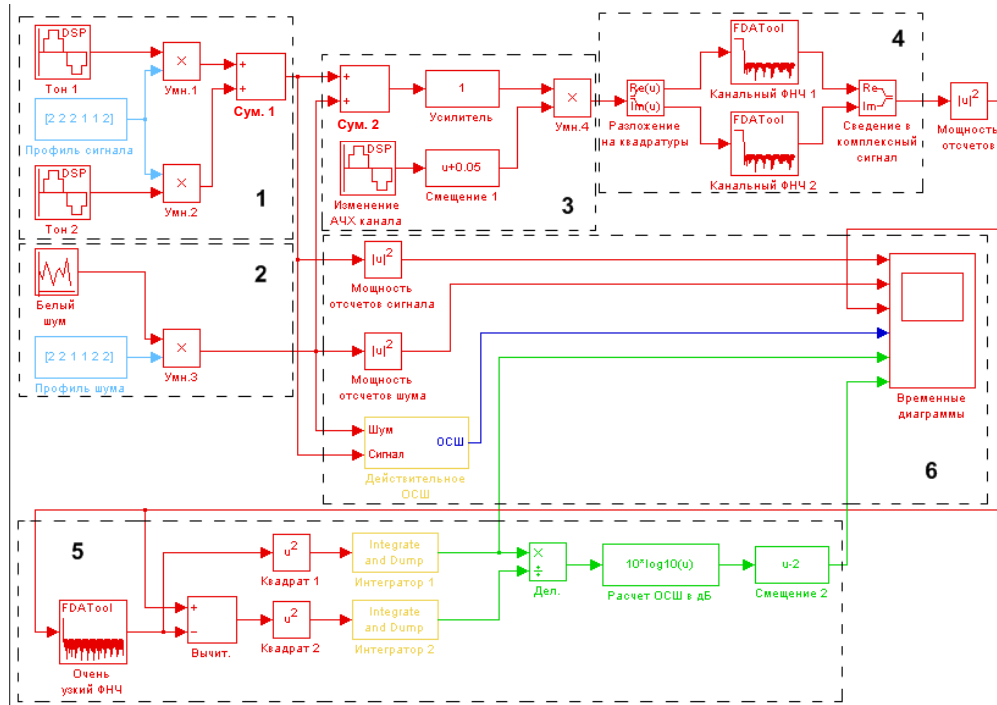


Рис. 1. Модель Simulink алгоритма измерения ОСШ

На рис. 1 штриховой линией выделены функциональные модули, которые будут далее описаны при пояснении логики работы алгоритма.

Источники. В функциональном модуле 1 расположен источник сигнала, который представляет собой двухтоновую комбинацию (блоки Тон 1 и Тон 2). В модуле 2 находится генератор шума – блок Белый шум. Они суммируются при помощи сумматоров Сум. 1 и Сум. 2, моделируя таким образом канал РЗ и ПА по ВЛ с шумами.

Профили. В модулях 1 и 2 также расположены блоки Профиль сигнала и Профиль шума. Они предназначены путем умножения на источники моделировать различные изменения канала связи по ВЛ. Эти изменения на протяже-

нии всего времени моделирования, а также связанное с ними изменение ОСШ можно представить табл. 1.

Таблица 1

Начало: некоторый уровень сигнала	Сигнал без изменения	Сигнал без изменения	Снижение сигнала в два раза	Сигнал остается сниженным	Восстановление исходного уровня сигнала
Начало: некоторый уровень шума	Шум без изменения	Снижение шума в два раза	Шум остается сниженным	Восстановление исходного уровня шума	Шум без изменения
Начало: некоторое значение ОСШ	ОСШ без изменения	Рост ОСШ на 6 дБ	Снижение ОСШ на 6 дБ	Снижение ОСШ еще на 6 дБ	Рост ОСШ на 6 дБ

Все периоды изменений в модели приняты равными 0,4 с.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) канала. Уровень сигнала в канале связи по ВЛ подвержен медленным изменениям в связи с погодными условиями, временами года и т. п. Для моделирования этого процесса в модуле 3 умножим смесь полезного сигнала с шумом с выхода Сум. 2 на АЧХ канала, медленные вариации которой моделируются синусоидой на пьедестале (блоки Изменение АЧХ канала и Смещение 1). Эта часть модели предназначена показать, что результат оценки ОСШ не будет зависеть от текущего коэффициента передачи канала связи. Период изменений АЧХ канала заметно меньше принятых выше интервалов моделирования в 0,4 с.

Канальный фильтр приемника. В модуле 4 реализован канальный фильтр приемника. Оцифрованная смесь полезного сигнала с шумом из канала связи умножена на комплексную синусоиду, равную несущей частоте канала, в результате чего выполняется перенос спектра и модель оперирует с комплексным сигналом на видеочастоте. Для наглядности комплексный сигнал разделен на мнимую и действительную (квадратурную и синфазную) части, а блоки Канальный ФНЧ 1 и 2 идентичны. После канального фильтра выполняется вычисление мгновенной мощности цифровых отсчетов.

Алгоритм оценки ОСШ. Непосредственно алгоритм реализован в модуле 5. Логика, приведшая к построению данной модели, следующая: если в канале связи присутствует стабильный тональный (или двухтональный) сигнал, его мощность является относительно стабильной величиной. Если же к сигналу подмешивается шум значительного уровня, это приводит к флуктуациям мощности. Выделение этих флуктуаций и их сравнение со средней величиной мощности тона дает величину, соответствующую действительному значению ОСШ в канале, и характер изменения этой величины должен соответствовать характеру изменения ОСШ.

На основе изложенной логики построена модель. Блок Очень узкий ФНЧ выполняет выделение постоянной составляющей мощности. Чем уже полоса пропускания данного фильтра, тем более точен, однако и более инерционен результат (получен с большей задержкой). В настоящей модели полоса пропускания принята равной 10 Гц. Затем при вычитании выхода фильтра из исходных отсчетов мощности получаем чистые флуктуации. Поскольку мы удалили постоянную составляющую, флуктуации происходят около нулевого значения. Для оценки мощности данных флуктуаций возведем их в квадрат. Кроме того, необходимо интегрирование по времени, то есть некоторое

накопление результата. Эти процедуры выполняются в канале, состоящем из блоков Квадрат 2 и Интегратор 2. В канале Квадрат 1 + Интегратор 1 те же операции выполняются над постоянной составляющей мощности с выхода ФНЧ, где мы оцениваем величину полезного сигнала. Затем вычисляем ОСШ в размах (блок Дел.) и в децибелах.

Контроль результата. Для этой цели служит модуль 6, где мощности источника полезного сигнала и источника шума рассчитываются отдельно, а результат затем также представляется в логарифмической шкале (блок Действительное ОСШ). Осциллограммы сигналов в контрольных точках можно посмотреть с помощью блока Временные диаграммы.

Результаты моделирования. Сравним результат работы алгоритма с расчетной величиной ОСШ. На рис. 2а приведены результаты расчета ОСШ по прямой формуле, а на рис. 2б – по моделируемому алгоритму.

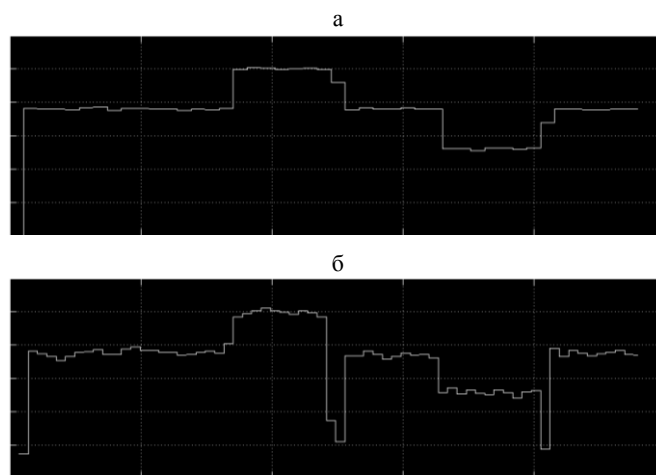


Рис. 2. Результаты: а – аналитического расчета; б – моделирования

Как видно из графиков, форма зависимости получилась идентичной, однако оценочное ОСШ отличается от истинного на постоянную составляющую, которая была скомпенсирована в блоке Смещение 2.

Функция контроля и блокировки приема по ОСШ в системах передачи команд РЗ и ПА предназначена реагировать на медленные изменения ОСШ в канале, поскольку при недостаточном времени интегрирования невозможно получить точный результат оценки. Следовательно, это может ухудшить оба существенных показателя (безопасность и надежность) системы. Здесь возможен поиск некоторого оптимума по точности оценки и времени, затраченному на накопление сигнала.

Поскольку наша оценка (с учетом корректировки на постоянную составляющую) получилась в некоторой степени эмпирической, при реализации данного алгоритма на цифровом сигнальном процессоре его можно свести к табличной подстановке целочисленных значений ОСШ из некоторого набора, тем более что требования высокой точности расчета ОСШ к таким системам не предъявляются (обычно блокировку приема производят при снижении ОСШ до 6–12 дБ).

В изложенном алгоритме нигде не фигурирует конкретная частота тонального (или обе частоты двухтонального) сигнала, фильтры имеют полосу про-

пускания 4 кГц (канальный) и 10 Гц (фильтр выделения постоянной составляющей), поэтому он представляется достаточно гибким.

Однако изложенный алгоритм подходит только для выделенных каналов РЗ и ПА (когда в отсутствие команд ничего, кроме пилот-сигнала, не передается) и не применим для каналов, которые совмещают в одном спектре передачу, например команд и речи, поскольку оценка тогда будет носить совсем иной характер.

ВЫВОД

В статье подробно рассмотрен алгоритм работы подсистемы оценки отношения сигнал/шум, который используется в цифровой микропроцессорной аппаратуре передачи команд релейной защиты и противоаварийной автоматики по высоковольтным линиям «Стрела». Непрерывный и быстродействующий контроль относительного уровня помех значительно повышает надежность и безопасность работы аппаратуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ц и ф р о в а я архитектура аппаратуры передачи команд, данных и речи по ЛЭП / И. И. Забеньков [и др.] // Электроника инфо. – 2010. – № 1. – С. 29–30.
2. Е н ь к о в, Д. А. Система передачи команд релейной защиты по высоковольтным линиям / Д. А. Еньков // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2009. – № 3. – С. 14–21.

Поступила 06.02.2012