

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ СОЗДАНИЯ ФАЗОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ С УЧЕТОМ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОВРЕМЕННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

Панченко А.Ю., Слипченко Н.И., Чернышев Н.Н.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

61166, Харьков пр. Ленина 14, тел.: (057) 702-13-62,

e-mail: mepu@kture.kharkov.ua

The advantages and disadvantages of realization of the built-in phase meters based on application of the analogue and digital component base are considered.

Введение

Развитие современной компонентной базы обеспечивает широкие возможности для совершенствования радиоэлектронных устройств, в которых используются все более сложные алгоритмы обработки и выделения информации. [1]. Однако до настоящего времени преобладает или интуитивный выбор схемных решений [2], или несколько устаревшие и чрезвычайно громоздкие методы анализа. [3]. Интегральная компонентная база позволяет сосредоточить внимание на конечном результате и использовать более эффективные критерии оценки качества РЭА и методов их разработки. Поскольку РЭА предназначена, в основном, для обработки информационных потоков, то информационные критерии должны доминировать при оценке качества электронных устройств.

В основе ряда методов обработки сигналов лежит измерения разности фаз. Поэтому фазовые преобразователи являются одними из широко распространенных устройств, используемых в трактах измерительных приборов, приемников и формирователей сигналов. Обычно фазовые измерения используются в трактах узкополосных сигналов. Это обуславливает их специфическую особенность – диапазон частот сигналов на входе лежит существенно выше частотного диапазона выходного сигнала. Поэтому для прохождения даже небольших объемов информации, необходимы компоненты, имеющие высокие значения предельных рабочих частот.

Информационная оценка качества электронных фазовых компараторов

В настоящее время используются два основных метода преобразования разности фаз. Первый – преобразование величины фазового сдвига в постоянное напряжение, без ограничения сигнала, которое может использоваться преобразователях и формирователях сигналов, в приемопередающих трактах, в излучателях с электрически управляемыми параметрами. При таком преобразовании исходный сигнал может быть полностью восстановлен. Второй – преобразование в цифровой код с использованием ограничения сигнала. В этом случае информация об амплитуде сигнала теряется. Этот метод используется в устройствах, которыми оканчивается тракт обработки аналоговых сигналов и далее производится цифровая обработка информации, например, в датчиках и измерительных приборах.

Поскольку фазовые преобразователи относятся к классу информационных преобразователей, то основным критерием является количество информации I , которое может передать данный преобразователь. Как известно, величину I в одном сообщении можно оценить как логарифм отношения диапазона изменения сигнала Δu к погрешности преобразователя $I = \ln(\Delta u / \delta u)$. В цифровых устройствах это отношение эквивалентно числу разрядов преобразователя. Поток информации пропорционален скорости прохождения сообщений, и максимальное его значение ограничивается верхней рабочей частотой f_{\max} . Специфика фазовых измерений состоит в том, что информация содержится во временных параметрах сигналов, а их уровни являются промежуточным носителем информации, необходимым для соответствия физической природе электронных устройств.

В аналоговых преобразователях фазы используются нелинейность вольтамперных характеристик (ВАХ) электронных приборов. В выходном сигнале нелинейного преобразователя (НП) содержатся все возможные комбинации частот входных сигналов, но только НЧ составляющая, определяемая второй смешанной производной по обоим входным сигналам, содержит полезную информацию. Остальные четные производные обуславливают формирование сигнала помехи, которая лежит в диапазоне полезного сигнала, поэтому фильтрами ее выделить нельзя. Нечетные производные формируют спектр высших гармоник, которые ослабляются НЧ фильтром на выходе НП. Таким образом, качество НП зависит от отношения

$$\frac{u_n}{u} = \sum_n \frac{\partial^{2n} u}{\partial u_1^{2n-m} \partial u_2^m} \bigg/ \frac{\partial^2 u}{\partial u_1 \partial u_2}, \quad (1)$$

где u, u_1, u_2 – соответственно выходной и входные сигналы,
 u_n – уровень помех.

Для обеспечения минимального соотношения (1) современные НП выполняют по схеме перемножителя и выпускают в виде серийных полупроводниковых интегральных микросхем (ИМС). Схемотехническими методами и тщательной отработкой технологии изготовления обеспечивают максимальные коэффициенты подавления внеполосных сигналов и синфазной помехи. Их значения указывают в паспортных данных изделия. Однако, для использования перемножителей в качестве НП аналоговых фазовых компараторов необходимо знать коэффициент прямого детектирования по каждому входному сигналу. Схема определения этого параметра изображена на рис.1.

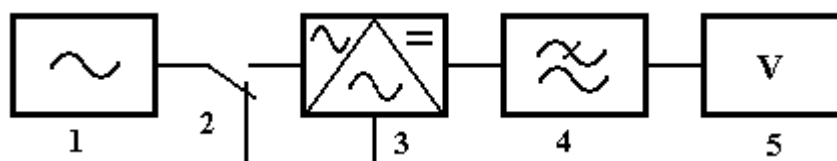


Рисунок 1 – Схема измерения коэффициента прямого детектирования

1 – генератор, 2 – переключатель входов ИМС НП, 3 – исследуемая ИМС, 4 – фильтр НЧ, 5 – вольтметр постоянного тока

Этот параметр является существенной составляющей погрешности выходного сигнала, и он ограничивает поток информации так же, как и другие, входящие в погрешность величины.

Вторым, не менее важным фактором, ограничивающим поток информации в фазовых детекторах, является ограниченность их временных характеристик. Прежде всего, к ним относится диапазон частот ИМС НП. Если факторы, определяемые ВАХ НП, относятся только к аналоговым фазометрам, то эти являются общими и для преобразователей в цифровой код. Причем, временные факторы более жестко ограничивают возможности выделения информации, содержащейся в разности фаз сигналов, поскольку сама разность фаз является временным интервалом, и период поступления информации не может быть увеличен произвольным образом. В аналоговых устройствах, проводящих обработку фазы и амплитуды сигнала, существует принципиальная возможность компенсации данного ограничения перераспределением информационных потоков между этими параметрами.

В паспортных данных ИМС указывается верхняя граничная частота f_g или постоянная времени τ_{mc} . Для оценки погрешности можно считать, что этот фактор обусловлен включением в идеальное устройство RC-цепочки. Тогда неконтролируемый сдвиг фазы, обуславливающий погрешность НП равен:

$$\Delta\varphi_n = 2\pi\tau_{mc}/T_c = 2\pi f_c/f_g, \quad (2)$$

где f_c и T_c – несущая (средняя) частота и период входного сигнала.

Требуемая величина погрешности определяет рабочую частоту сигнала для данного типа ИМС.

С другой стороны величину f_c ограничивает полоса входного сигнала. НЧ фильтр на выходе НП должен пропустить весь спектр изменений фазы, но в достаточной степени подавить f_c . Если используется простейший RC-фильтр, то для отношения напряжения пульсаций $\Delta u_{\text{вых}}$ к выходному напряжению $u_{\text{вых}}$ имеем следующее:

$$\Delta u_{\text{вых}} / u_{\text{вых}} = T_c / \tau_\phi . \quad (3)$$

Информация об изменении фазового сдвига сигнала φ_c содержится в полосе равной

$$\Delta f_c = \frac{\partial \varphi_c}{\partial t}_{\text{max}} . \quad (4)$$

Очевидно, что скорость поступления сообщений ограничивается частотным диапазоном сигналов (4). При этом в каждом сообщении количество информации определяется согласно (2) и (3). При удовлетворении критериям, которые в первом приближении представлены последовательностью выражений (1)–(4), можно снизить потери информации. Предварительные расчеты показывают, что оптимизировать параметры тракта обработки фазомодулированных сигналов можно подбором значения f_c . Однако это в ряде случаев для этого нужен перенос исходной частоты сигнала. Для этого потребуются устройства предварительной обработки информационного и опорного сигналов, которые должны иметь идентичные параметры. Микроэлектронная технология и выполнение каналов на одном кристалле при соответствующем подборе топологии обеспечивает высокую идентичность трактов.

При цифровой обработке сигналов предварительно ограничивают их амплитуду. Потери информации при первичных амплитудно-временных преобразованиях обусловлены скоростью нарастания сигнала на выходе предшествующего преобразователя $u'_{\text{вых}}$, погрешностью порога переключения Δu_n и временем задержки сигнала τ_3 . Неконтролируемое время переключения можно оценить как

$$\tau_n = \frac{\Delta u_n}{u'_{\text{вых}}} + \tau_3 . \quad (5)$$

Полезно заметить, что здесь τ_3 эквивалентно τ_{mc} в выражении (2). При одинаковом технологическом уровне изготовления ИМС эта величина выше, чем τ_{mc} у аналогового НП.

Далее может производиться преобразование информации в цифровую последовательность, что соответствует термину цифровой преобразователь, но может быть преобразование в постоянное напряжение. Однако здесь величина пульсаций выходного напряжения существенно больше, чем при аналоговом преобразовании, поскольку отсутствует подавление сигнала прямого детектирования и нечетных гармоник. Использование таких устройств может быть оправдано в случаях значительных изменений амплитуды сигнала, которые не несут полезной информации и при применении компараторов с малым значением Δu_n . Критерием такого выбора может быть сопоставление ослабления входного сигнала при прямом детектировании с диапазоном изменения амплитуды.

При прямом преобразовании фазового сдвига в последовательность импульсов их минимальный период можно оценить как

$$T_u = (3 \dots 10) \tau_3 . \quad (6)$$

Тогда максимальная скорость изменения фазы, которую идентифицирует данный преобразователь может быть не более чем

$$\frac{\partial \varphi_c}{\partial t}_{\text{max}} < \frac{2\pi}{T_u} . \quad (7)$$

Кроме того, необходимо учитывать неидентичность каналов преобразования опорного и информационного сигналов. Частично компенсировать «гонки» сигналов можно при

индивидуальном подборе идентичных по временным параметрам ИМС или созданием специализированных ИМС, имеющих два канала с согласованными параметрами.

В целом подобные преобразователи уступают аналоговым, и их использование оправдывается серийноспособностью цифровых устройств.

Выводы

В докладе предложен информационный критерий оценки качества измерителей разности фаз. Это обобщенный подход, который наиболее полно учитывает возможности тех или иных схемных реализаций, конструкционных и технологических исполнений. Малый объем доклада не позволяет полностью осветить данный вопрос, поэтому выше указаны только основные критерии оценки качества и элементы последовательности создания функциональных схем данного типа преобразователей, показаны соотношения для простейших реализаций фазоизмерительных устройств.

Список литературы

1. Лидовский В.В. Теория информации / В.В. Лидовский. – М.: Компания Спутник+, 2004. – 111 с. – ISBN 5-93406-661-7.
2. Хоровиц П. Искусство схемотехники. Т.1 [Текст] : пер. с англ. – М. Гальперин ; М. : Мир, 1983. – 598 с. – Библиогр.: с. 486–487.
3. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем / И.П. Степаненко И.П. – М.: Энергия, 1973. – 608 с.