

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫХ МНОЖИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ В ЭЛЕКТРОННЫХ СЧЕТЧИКАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Авраменко А.В., группа ПЭ-01

Руководитель доц. каф ЭТ Хламов М.Г.

До недавнего времени проблема, связанная с измерением расхода электроэнергии, сводилась к применению электромеханических счётчиков. Стремительное развитие микроэлектроники наметило качественный переворот в области создания промышленных и бытовых систем контроля, который, в первую очередь, связан с использованием встраиваемых систем управления на базе микроконтроллеров (МК).

Для расчёта электрической энергии, потребляемой за определённый период времени ( $T$ ), необходимо интегрировать во времени мгновенные значения активной мощности  $p(t)$ , которая определяется произведением напряжения  $u(t)$  и тока нагрузки  $i(t)$ :

$$p(t) = u(t) \cdot i(t), \quad E(T) = \int_0^T p(t) \cdot dt. \quad (1)$$

Операция умножения в том или ином виде будет присутствовать в любой схеме счетчика. В одном из вариантов структуры сигнал мгновенной мощности получается непрерывно, с помощью аналогового перемножения, преобразуется в цифровую форму и передается в МК для накопления (интегрирования по времени). В другом варианте сигналы тока и напряжения сразу преобразуются в цифровую форму, и произведение выполняется в цифровом виде.

Погрешность первого варианта определяется нелинейностью аналогового перемножителя. Например, по международному стандарту IEC1036 (1996-09) счетчики 1-го класса точности должны иметь максимальную погрешность 1% в диапазоне токов от  $0.1 \cdot I_b$  до  $10 \cdot I_b$ , а это потребует аналогового перемножителя с нелинейностью по входу меньше 0.01%. Такие устройства довольно дороги.

Второй вариант структурной схемы для счетчика 1-го класса точности требует применения в канале измерения тока минимум 14 разрядного АЦП. Кроме того, для осуществления гальванической развязки от сети необходимо выделить АЦП и схему умножения в отдельный модуль, применяя еще один МК или специализированную ИМС счетчика (например, серии ADE775x фирмы Analog Devices).

Одним из вариантов перемножителя является широтно-импульсное множительное устройство (ШИМУ), описанное в [1]. Принцип его работы основан на том, что развертывающие функции зависят от одного входного сигнала ( $x$ ), а пороговые уровни от другого ( $y$ ). В результате получается последовательность разнополярных импульсов относительная разность которых пропорциональна произведению входных сигналов:

$$\frac{\tau_2 - \tau_1}{\tau_2 + \tau_1} = k_{xy} \cdot x \cdot y. \quad (2)$$

Если входные сигналы зависят от времени, то формула (2) становится не точной, поскольку за один период развертывания значения сигнала  $y(t)$  учитываются только в двух точках. Дополнительную погрешность вносит нелинейность развертывающих функций из-за изменения  $x(t)$ . Математическое вычисление этих погрешностей затруднено, так как период развертывания зависит от входного сигнала  $x(t)$ .

В среде MathCad мною была создана модель для исследования работы ШИМУ, с целью определения погрешности метода и ее зависимости от уровней входных сигналов, их гармонического состава, а также от начальной скорости развертывания (при  $x=0$ ). Ввиду большого количества влияющих величин моделирование проводилось в несколько этапов.

Вначале были получены зависимости погрешности метода от амплитуд синфазных синусоидальных входных сигналов ( $X_m$  и  $Y_m$ ) частотой 50 Гц, при начальной частоте развертывания 5 кГц. Ниже приведены некоторые общие закономерности:

- при  $X_m < 0.1$  и  $Y_m > 0.01$  погрешность метода стремится к предельному значению (примерно 0.4 %);
- при  $X_m > 0.1$  предельное значение погрешности резко возрастает;
- при  $Y_m < 0.001$  погрешность неоднозначно зависит от  $X_m$ , она меньше предельного значения, но ее модуль может превышать этот предел (например, при  $X_m = 0.1$  и  $Y_m = 0.0001$  погрешность составляет — 3.6%).

Для получения наименьшей погрешности необходимо, чтобы  $X_m < 0.1$ , а  $Y_m$ , как можно ближе к 1 ( $Y_m < 1$ ).

Применяя эти результаты к задаче измерения потребленной электроэнергии, был сделан вывод о целесообразности использования канала  $X$  для ввода сигнал тока, учитывая его большой динамический диапазон, а для сигнала напряжения, соответственно, канал  $Y$ .

Зависимости погрешности от фазового сдвига входных сигналов ( $\varphi_x - \varphi_y$ ) представлены на рис. 1,а.

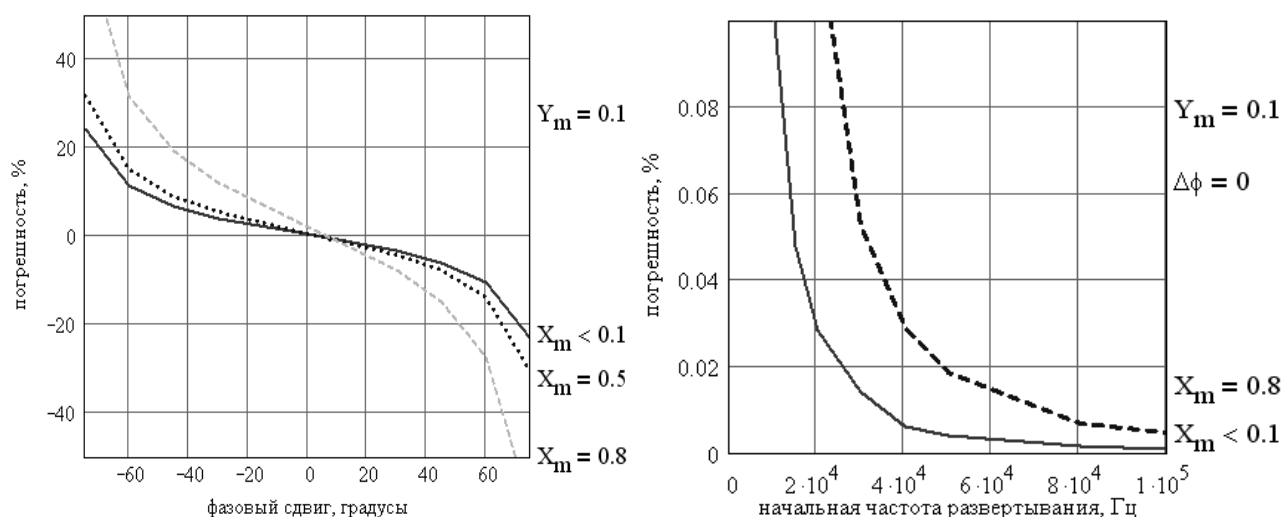


Рисунок 1 — Зависимость погрешности от фазового сдвига (а)  
и от начальной частоты развертывания (б)

При  $X_m < 0.1$  в диапазоне фазовых сдвигов ( $-37^\circ$ ;  $60^\circ$ ), нормируемом международным стандартом IEC1036 (1996-09), погрешность достигает 10 % (по абсолютному значению).

Зависимость погрешности от начальной частоты развертывания при нулевом фазовом сдвиге представлена на рис. 1,б. Увеличение частоты на порядок привело к уменьшению погрешности на два порядка. Однако при фазовом сдвиге входных сигналов  $60^\circ$ , при увеличении частоты на порядок погрешность уменьшается также на порядок. Попутно замечу, что при  $X_m < 0.1$  колебания частоты развертывания относительно начального значения составляют максимум 10 %.

При полигармоническом составе входных сигналов максимальное влияние на погрешность (при одинаковом уровне гармоник) оказывает последняя гармоника. Например, при наличии 10 гармоник сетевого напряжения и тока, для подсчета мощности с погрешностью меньше 1% начальная частота развертывания должна быть больше 500 кГц. Однако учитывая быстрое уменьшение амплитуды гармоники с ростом ее номера (особенно для напряжения), имеющее место на практике, этой частоты вполне достаточно.

В заключение несколько слов о сопряжении ШИМУ с МК. Поскольку выходным сигналом ШИМУ является последовательность импульсов, то возможно прямое измерение длительности каждого импульса, но учитывая что тактовая частота МК составляет 10–20 МГц, погрешность такого измерения может оказаться значительной. Поэтому целесообразно произвести осреднение импульсной последовательности ШИМУ с помощью фильтра низкой частоты (ФНЧ), и повторное преобразование в импульсную форму с помощью преобразователя напряжение-частота (ПНЧ). Выход ПНЧ легко согласовать с МК через оптопару, а так как информацию будет нести не длительность каждого импульса, а частота, то погрешность при большом времени измерения будет незначительная.

#### Перечень ссылок

1. Синтез структур широтно-импульсных множительных устройств / А. С. Давыдов, В. У. Кизилов, И. И. Смилянский. — ЭТВА, 1986. — Вып. 17. — С. 238–248.