

## МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ СИГНАЛОВ С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

И. В. Чашечкин

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Д. И. Зализный

На кафедре «Электроснабжение» планируется создание лабораторного стенда «Измерительные органы направления мощности», одним из основных элементов которого будет электронный фазорегулятор, позволяющий изменять фазовый сдвиг между напряжением и током в диапазоне  $\pm 360^\circ$ .

Электронный фазорегулятор разрабатывается на кафедре и будет выполнен на основе микроконтроллера, формирующего два сигнала с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) с последующим преобразованием в сигналы синусоидальной формы.

Цель данного исследования: изучение существующих методов, позволяющих получить сигналы синусоидальной формы из сигналов с широтно-импульсной модуляцией.

Широтно-импульсная модуляция (англ. *Pulse-Width Modulation PWM*) – это способ изменения длительности прямоугольных импульсов с целью их последующего преобразования. Применение ШИМ позволяет повысить КПД электрических импульсных преобразователей, составляющих сегодня основу вторичных источников питания различных электронных аппаратов. Широтно-импульсную модуляцию применяют для регулировки яркости подсветки жидкокристаллических дисплеев сотовых телефонов, смартфонов, ноутбуков. Широтно-импульсная модуляция также используется в сварочных аппаратах, в автомобильных инверторах, в зарядных устройствах и т. д.

Одними из важнейших параметров ШИМ-сигналов являются скважность импульсов и коэффициент заполнения импульсов. Скважность  $S$  – это отношение периода сигнала  $T$  к длительности импульса  $t_{и}$ :

$$S = \frac{T}{t_{и}} = \frac{1}{D},$$

где  $D$  – коэффициент заполнения импульсов.

Несмотря на то что скважность и коэффициент заполнения могут использоваться в одинаковом контексте, их физический смысл отличается. Коэффициент заполнения обычно выражают в процентах (рис. 1).

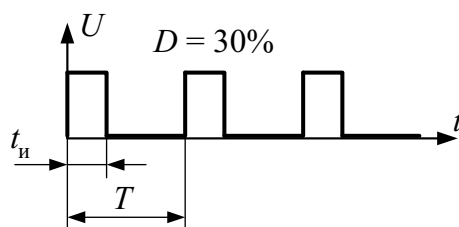


Рис. 1. ШИМ-сигнал с коэффициентом заполнения 30 %

Бывают ШИМ-сигналы с неизменной и изменяющейся частотой. В зависимости от этого существуют разные способы их получения. Во всех этих способах необходимым условием является применение операции сравнения опорного сигнала, задающего частоту ШИМ, и модулирующего сигнала, задающего значения скважно-

сти. В качестве опорного сигнала может использоваться линейно нарастающий сигнал (рис. 2, а) или синусоидальный сигнал (рис. 2, б).

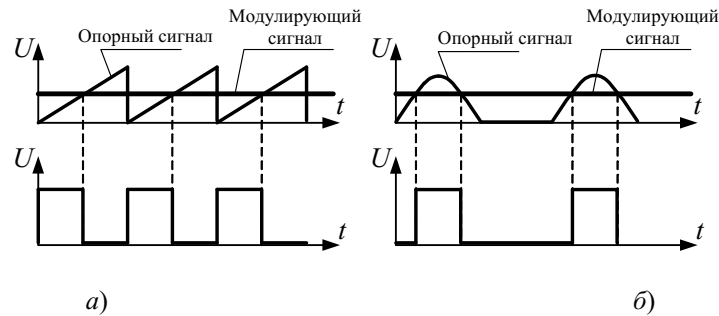


Рис. 2. Способы получения ШИМ-сигнала:  
а – нарастающий; б – синусоидальный сигнал

С помощью микроконтроллеров эти способы реализуют программным путем, т. е. изменению опорного и модулирующего сигналов соответствуют изменения двоичных кодов.

Если модулирующий сигнал имеет синусоидальную форму, то коэффициент заполнения полученного ШИМ-сигнала будет пропорционален синусу.

Для обратного выделения модулирующего сигнала из ШИМ-сигнала используют фильтры низких частот. При подаче на вход такого фильтра периодического сигнала  $U(t)$  с периодом  $T$  на его выходе будет присутствовать постоянная составляющая входного сигнала:

$$U_0 = \frac{k}{T} \cdot \int_0^T U(t) dt,$$

где  $k$  – коэффициент передачи фильтра.

Если  $U(t)$  – это ШИМ-сигнал с амплитудой  $U_m$  и длительность импульсов  $t_n$ , то:

$$U_0 = \frac{k}{T} \cdot \int_0^T U_m dt = \frac{kU_m}{T} \cdot \int_0^{t_n} dt = \frac{kU_m t_n}{T} = kU_m D.$$

Таким образом, мгновенные значения  $U_0$  прямо пропорциональны коэффициенту заполнения, т. е. определяются формой модулирующего сигнала. В силу того что фильтр низких частот частично пропускает и высокочастотные составляющие ШИМ-сигнала, на выходе фильтра будут присутствовать пульсации.

Для изучения особенностей получения синусоидальных сигналов на основе ШИМ-сигналов можно воспользоваться программой *Electronics Workbench*. На рис. 3 приведена схема, собранная в этой программе, для исследования ШИМ-сигналов с изменяющейся частотой.

Схема работает следующим образом. На входы компаратора DA1 подаются сигналы синусоидальной формы: опорный сигнал G2 с частотой 1 кГц и модулирующий сигнал G1 с частотой 50 Гц. На выходе компаратора формируется ШИМ-сигнал, имеющий уровни напряжения 0 и 5 В, что соответствует уровням, формируемым цифровыми схемами, например, микроконтроллерами. Далее полученный

сигнал поступает на фильтр низких частот, собранный на операционном усилителе  $DA2$  и элементах  $R1-R3$ ,  $C1-C2$ . Элементы фильтра рассчитаны как звено Рауха, настроенное на частоту 50 Гц.

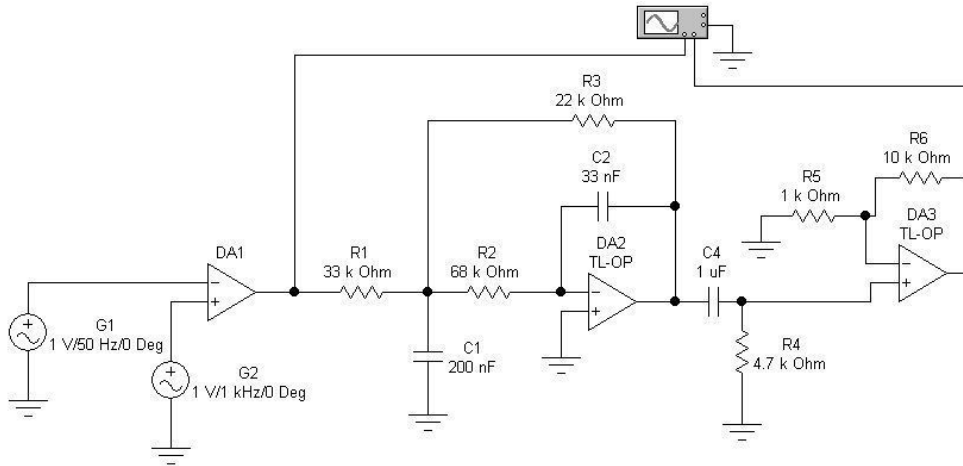


Рис. 3. Схема для исследования ШИМ-сигнала в программе *Electronics Workbench*

На элементах  $R4$ ,  $C4$  собран фильтр высоких частот, срезающий постоянную составляющую напряжения на выходе фильтра низких частот для получения синусоидального сигнала.

На операционном усилителе  $DA3$  и элементах  $R5-R6$  выполнен усилитель напряжения для увеличения амплитуды выдаваемого напряжения до уровня 10 В.

Осциллограммы работы схемы на выходах  $DA1$  и  $DA3$ , полученные с помощью элемента «*Oscilloscope*», показаны на рис. 4.

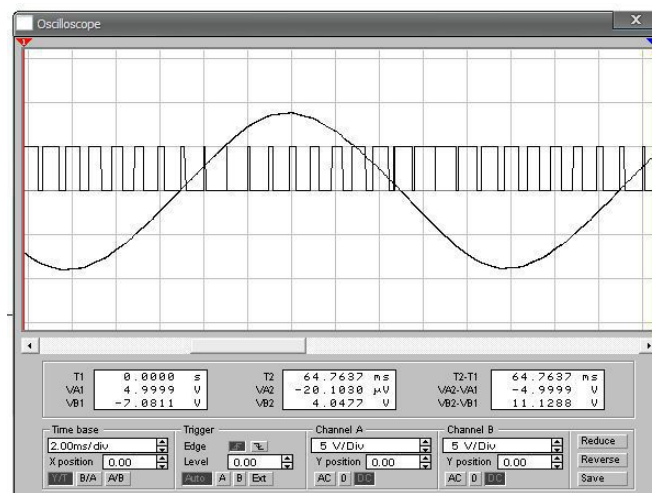


Рис. 4. Осциллограммы работы исследуемой схемы

Коэффициент искажения синусоидальности полученного сигнала составил 3,6 %.

Предложенная методика исследования будет использована для разработки алгоритмов программного обеспечения микроконтроллера и реализации аппаратной части в электронном фазорегуляторе.