

**Б.М. ГОРКУНОВ**, канд. техн. наук, проф. НТУ "ХПИ"  
**С.Г. ЛЬВОВ**, канд. техн. наук, доц. НТУ "ХПИ"

## РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЦЕССОРНОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ВИХРЕТОКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

В роботі розглядається побудова мікропроцесорних генераторів синусоїдального струму для живлення вихорострумівих перетворювачів. Розглянутий метод побудови із застосуванням прямого синтезу. Запропонована схема побудови генератора синусоїдального сигналу з автоматичною корекцій заданого вихідного струму

The construction of microprocessor generators of sinewave current is in-process examined for the feed of eddy-current transformers. The method of construction is considered with the use of Direct Digital Synthesizers. The chart of construction of generator of sinewave signal is offered with automatic corrections of the set output current

**Введение.** При построении систем контроля с использованием вихретоковых преобразователей одной из актуальных задач является построение высокостабильного генератора синусоидальных колебаний для питания намагничивающих обмоток преобразователя с возможностью программного задания частоты и амплитуды сигнала. Кроме этого возникает необходимость согласования выходного сопротивления генератора с сопротивлением нагрузки и требуется постоянство питающего тока вне зависимости от изменения комплексного сопротивления нагрузки [1].

Известно несколько основных принципов построения низкочастотных генераторов синусоидального сигнала. Это генераторы на RC элементах, генераторы на биениях и генераторы с диапазонно-кварцевой стабилизацией частоты [2]. Кроме этого в настоящее время широкое развитие получают методы цифрового синтеза сигнала. Рассмотрим этот вариант построения генератора синусоидального низкочастотного сигнала.

**Основная часть.** Прямой цифровой синтез (DDS – Direct Digital Synthesizer) – метод, позволяющий получить аналоговый сигнал (обычно это синусоидальный сигнал) за счет генерации временной последовательности цифровых отсчетов и их дальнейшего преобразования в аналоговую форму посредством ЦАП. Так как сигнал сначала синтезируется в цифровой форме, такое устройство может обеспечить быстрое переключение частоты, высокое разрешение по сетке частот, работу в широком диапазоне частот. Благодаря развитию микросхемотехники и технологии на сегодняшний день синтезаторы DDS представляют собой очень компактные микросхемы с низким энергопотреблением.

Достаточно часто требуется синтезировать сигналы различной частоты и формы и точно управлять параметрами этих сигналов, в этом случае важными параметрами являются удобство применения, компактность и

низкая стоимость. Существует много способов синтеза сигналов – от генераторов на основе петли ФАПЧ (при синтезе сигналов высокой частоты) до динамического цифрового управления цифро-аналоговым преобразователем (при синтезе низкочастотных сигналов). Технология DDS быстро завоевывает популярность в качестве средства синтеза сигналов благодаря тому, что стало возможным реализовать на одной микросхеме программируемый генератор с высоким разрешением по частоте и с высоким качеством сигнала.

Структурная схема генератора синусоидального сигнала низкой частоты выглядит следующим образом.

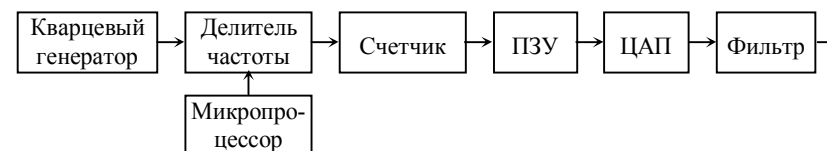


Рис. 1 Структурная схема генератора низкой частоты, реализующая метод прямого синтеза

Такой метод синтеза обладает рядом недостатков. Во-первых, шаг перестройки зависит от частоты. Для получения приемлемой точности установки частоты вверху рабочего диапазона требуется выбирать частоту опорного генератора очень большой и во-вторых, при изменении выходной частоты меняется и частота дискретизации, что затрудняет построение аналогового фильтра, так как его частота среза должна быть переменной [3, 4].

Гораздо логичнее для формирования синусоидального сигнала подавать на входы ЦАП мгновенные значения функции  $\sin$  с постоянной частотой дискретизации. Непосредственное вычисление значений функции  $\sin$  затруднено, так как закон, по которому она изменяется нелинеен и непосредственно трудно реализуем. Намного проще вычислять мгновенные значения фазы (аргумент функции  $\sin$ ), которая изменяется линейно, а затем преобразовывать ее в значения функции с помощью перекодировочной таблицы в ПЗУ.

Поскольку фаза изменяется линейно, ее вычисление сводится к прибавлению в каждом такте некоторой добавки к текущему значению фазы.

Величина приращения фазы определяет частоту сигнала:

$$f = \Delta \text{Phase} \cdot f_{\text{clk}} / 2\pi,$$

где  $f_{\text{clk}}$  – частота дискретизации

Этот метод синтеза называют методом накопления фазы. Реализация этого метода показана на рис. 2.

Регистр фазы 2, содержимое которого в каждом такте увеличивается на величину приращения фазы. Величина приращения фазы хранится в регистре 1.

В каждом такте к содержимому регистра 2 с помощью сумматора прибавляется содержимое регистра 1.

Таким образом, происходит линейное увеличение (накопление) мгновенной фазы. При формировании синусоидального сигнала имеет смысл вычислять фазу только в диапазоне от нуля до  $360^\circ$  ( $2\pi$ ).

Значение мгновенной фазы преобразуется в мгновенное значение синусоидального сигнала с помощью перекодировочной таблицы, хранящейся в ПЗУ. Для экономии места хранится только 1/4 часть периода, так как функция  $\sin$  обладает свойствами симметрии. Однако, в результате несколько усложнился алгоритм. Код мгновенной фазы используется как адрес ПЗУ, а выходной код ПЗУ представляет собой мгновенное значение синусоидального сигнала.

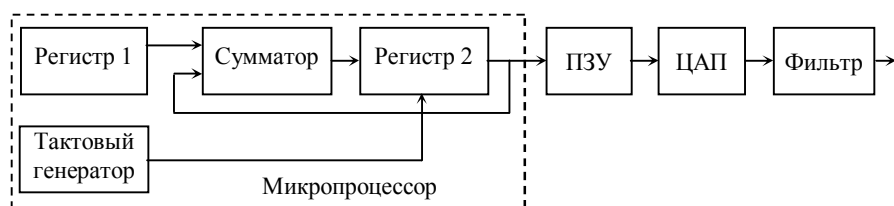


Рис. 2 Структурная схема, реализующая метод накопления фазы

Этот код подается на вход ЦАП. С появлением быстродействующих микроконтроллеров стало возможным реализовать всю цифровую часть такого генератора сигналов программно. При этом стоимость генератора, при вполне приемлемых параметрах, получается низкой.

Поскольку ЦАП работает в однополярном режиме, необходима схема сдвига уровня (см. рис. 3), построенная на операционном усилителе, имеющем довольно большое напряжение смещения нуля, резисторы, обеспечивающие заданный сдвиг выбираются прецизионными.

В качестве активного фильтра применен фильтр Баттерворта 4-го порядка. Чтобы получить порядок фильтра больше 2-го, звенья соединяют последовательно. Порядок следования звеньев фильтра может быть произвольным. Для получения наилучшего отношения сигнал/шум звенья включают в порядке снижения частоты среза.

Генератор должен иметь достаточно низкое выходное сопротивление. Для этого на выходе включен буферный усилитель. Поскольку нагрузка генератора может быть переменной, от буферного усилителя требуется устойчивая работа на индуктивную нагрузку. Этим требованиям удовлетворяет схема, представляющая собой повторитель на операционном усилителе с двухтактным эмиттерным повторителем на транзисторах. Эмиттерный повторитель выполнен составным на транзисторах разной структуры. В такой схеме падения напряжения на переходах база-эмиттер

разных транзисторов компенсируют друг друга. Автоматически получается смещение для всех транзисторов, поэтому ток покоя выходного каскада не равен нулю. Это обеспечивает малый коэффициент гармоник. Дополнительно обеспечивается защита от короткого замыкания на выходе. Для того, чтобы коэффициент усиления можно было изменять программно, в цепи обратной связи операционного усилителя установлен программно управляемый потенциометр МСР41010, что позволяет плавно изменять уровень выходного сигнала генератора по коду микропроцессора.

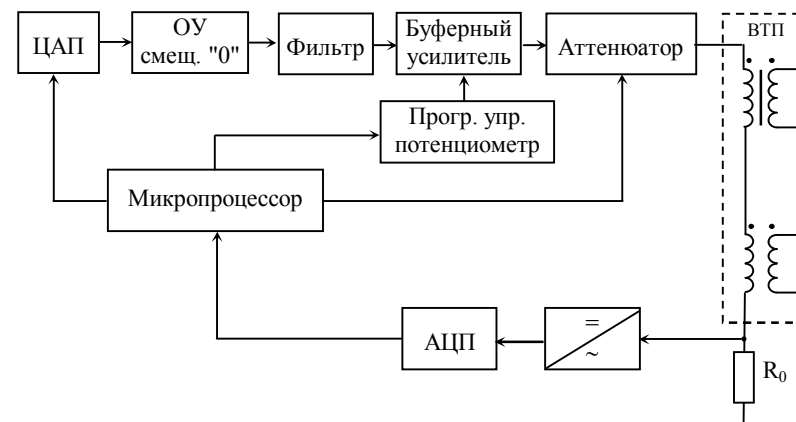


Рис. 3 Структурная схема генератора синусоидальных колебаний

На выходе буферного усилителя включен аттенуатор П-типа. По сравнению с простым делителем он требует меньшего диапазона сопротивлений применяемых резисторов, но имеет несколько большее выходное сопротивление на нижних пределах. Переключения звеньев производятся программно, для этого используются электронные ключи, управляемые микропроцессором.

Для контроля питающего тока снимается напряжение с образцового резистора  $R_0$ , подается на преобразователь переменного напряжения в постоянное, затем подается на АЦП и поступает на микропроцессор. **Заключение.** Разработанный микропроцессорный генератор может применяться для питания различных типов вихрековых преобразователей, применяемых при неразрушающем контроле.

**Список литературы:** 1. Бесконтактное измерение удельной электрической проводимости / А.А. Авраменко, Б.М. Горкунов, В.П. Себко – Дефектоскопия, 1988, №12, с. 77-80. 2. Горкунов Б.М., Пушай И.А. Генератор синусоидального тока для питания трансформаторных вихрековых преобразователей. Вісник НТУ "ХП". – Харків: НТУ "ХП", 2005. – Вип. 44, С.19-24. 3. А.Н.Морозевич, Б.Б.Трибуховский, А.Н.Дмитриев. Гармонические сигналы в цифровых системах контроля и испытаний. Минск, Наука і тэхніка, 1990. 4. В.С.Гутников. Фильтрация измерительных сигналов. Энергоатомиздат, 1990.