

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Касаткин А. С., Немцов М. В.* Электротехника: Учеб. для вузов. 6-е изд., перераб. М.: Высш. шк., 2000. 542 с.
2. *Меркушев Д. В., Хасцаев Б. Д.* Система оптимального управления асинхронным двигателем // Материалы 3-ей межрегиональной конференции: Студенческая наука – экономике России. Ставрополь, 2002. Ч. 1. С. 100–101.
3. *Поздеев А. Д.* Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых асинхронных электроприводах. Чебоксары: изд. Чувашского университета, 1998. 172 с.
4. *Меркушев Д. В.* Система оптимального управления асинхронным двигателем с коррекцией параметров регулятора на базе нечетких множеств // Материалы 4-й межрегиональной конференции: Студенческая наука – экономике России. Ставрополь, 2003. С. 105–106.
5. *Меркушев Д. В.* Система оптимального управления асинхронным двигателем с коррекцией параметров регулятора на базе нечетких множеств / Анализ и моделирование развивающихся интеллектуальных систем: Межвуз. сб. науч. трудов. Вып. 4. Ростов н/Д. Изд-во СКНЦ ВШ, 2003. С. 77–82.



УДК 621.38

**АНАЛОГОВЫЙ ФАЗОМЕТР НА МИКРОСХЕМАХ**

Проф. *Хасцаев Б. Д.*,  
студ. *Королев А. Л.*,  
асп. *Тинаев В. В.*

Северо-Кавказский горно-металлургический институт  
(государственный технологический институт),  
г. Владикавказ, РСО-Алания, Россия

*Предлагаются два варианта исполнения устройства, предназначенного для преобразования разности фаз между двумя синусоидальными сигналами в амплитуду постоянного напряжения и выполняемого на базе широко применяемых микросхем.*

Как в АСУ ТП, так и в локальных системах сбора данных, в автономных измерительных средствах часто в качестве информативного параметра используется разность фаз между двумя синусоидальными сигналами одной частоты. И в этих случаях важно

применение так называемых фазометров [1, 2]. Разработка устройств данного класса возможна на базе различных элементов электронной техники. В данной работе предлагаются два варианта реализации фазометра на основе недорогих широко применяемых интегральных микросхем.

Фазометр или фазо-амплитудный преобразователь (ФАП), представляет собой устройство, преобразующее фазовый сдвиг между двумя синусоидальными сигналами в амплитуду постоянного напряжения или тока. В работе предлагается реализация преобразования фазового сдвига в напряжение, изменяющегося в пределах от 0 до 5 В. Как правило, фазовый сдвиг легче всего определять между сигналами, имеющими как можно более простую форму. Такую форму имеют прямоугольные импульсы. Поэтому для определения разности синусоидальных сигналов, вначале их преобразовывают в прямоугольные импульсы. В работе реализация преобразования фазового сдвига в напряжение рассматривается на примере двух схем, приведенных на рис. 1 и 2. Опишем принципы построения этих схем.

Для преобразования синусоидальных сигналов, поступающих на вход устройства, в прямоугольные импульсы в схемах ФАП применены инвертирующие усилители на основе операционного усилителя с применением глубокой обратной связи (участок 1, рис. 1 и 2). Элементы обратной связи выбираются таким образом, чтобы усиление сигнала достигало величины 700–900. В реальности амплитуды выходных импульсов не увеличиваются в указанное число раз, так как амплитуды импульсов ограничиваются напряжением питания операционных усилителей. Таким образом, в результате усиления входных сигналов на выходах операционных усилителей формируются прямоугольные импульсы, амплитуда которых соответствует напряжению источника питания операционного усилителя.

Для формирования прямоугольных импульсов, длительность которых пропорциональна фазовому сдвигу между прямоугольными импульсами с выходов инвертирующих операционных усилителей, используется дифференциальный усилитель. Он также построен на операционном усилителе (участок 2, рис. 1 и 2). В дифференциальных усилителях коэффициенты усиления по обоим

входам выбраны одинаковыми и равными единице, что обеспечивается выбором номиналов элементов обратной связи усилителей. Здесь не приводятся математические выражения для доказательства соответствия длительности импульсов на выходе дифференциального усилителя разности фаз синусоидальных сигналов.

Следующей функцией ФАП является выпрямление прямоугольных импульсов с выхода дифференциального усилителя, что возможно на базе любого выпрямителя: от простого диода (как показано на рис. 1, в начале участка 3) до мостовой диодной схемы (как показано на рис. 2, участок 3). Амплитуда постоянного напряжения с выходов выпрямителей должна соответствовать длительности импульсов на входе выпрямителей.

Для преобразования полученных после выпрямления однополярных импульсов в напряжение от 0 до 5 В возможно применение повышающего автономного импульсного регулятора постоянного напряжения (участок 3 на рис. 1) или понижающего импульсного регулятора напряжения (участок 4 на рис. 2). Функции этих участков заключаются в преобразовании выпрямленных напряжений в унифицированные сигналы постоянного напряжения. К примеру, в регуляторе, показанном на рис. 1, в зависимости от поступающего на его вход выпрямленного напряжения, на выходе изменяется амплитуда постоянного напряжения в диапазоне от 0 до 5 В. При этом напряжение на выходе равно 0, если фазовый сдвиг будет равен 180 электрическим градусам (так как в этом случае импульсы на входе выпрямителя непрерывны) и 5 В, если фазовый сдвиг будет равен 0 электрических градусов (из-за отсутствия в данном случае на входе выпрямителя импульсов).

Чтобы сгладить остаточные пульсации, можно применить на выходе конденсатор с емкостью  $C$  или  $LC$ -фильтр.

Таким образом, алгоритм работы аналоговых ФАП, схемы которых приведены на рис. 1 и 2, заключается следующем. На вход ФАП от аналоговых датчиков поступают два сигнала синусоидальной формы, отличных друг от друга только по фазе. Отличие возможно и по амплитуде, тогда, понятно, необходимо усиление слабого сигнала. На выходе ФАП в зависимости от величины разности фаз должно присутствовать напряжение амплитудой от 0 до 5 В.

Как следует из рис. 1 и 2, формирователь прямоугольных импульсов в обеих схемах построен на основе инвертора с глубокой отрицательной обратной связью, для чего соотношение между резисторами  $R2/R1$ , а следовательно, и между  $R4/R3$  должно составлять 700–900 (это отмечено и выше).

Резисторы  $R5–R8$  дифференциального усилителя по номиналам сопротивлений выбираются равными друг другу.

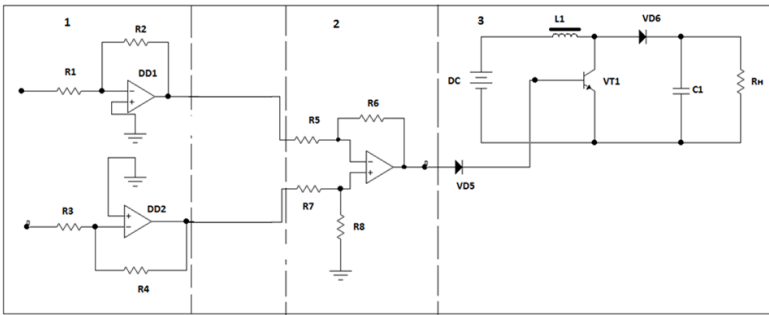


Рис. 1. Схема фазометра с полупроводниковым диодом и повышающим импульсным регулятором напряжения.

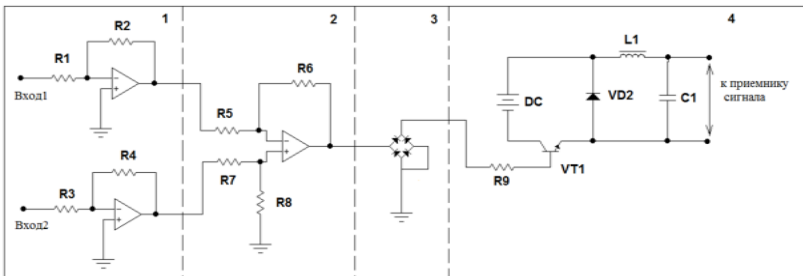


Рис. 2. Схема фазометра с мостовым выпрямителем и понижающим импульсным регулятором напряжения.

Кратко работу повышающего импульсного регулятора напряжения схемы, приведенной на рис. 1, можно описать следующим образом. При замыкании регулирующего ключа путем подачи сигнала на базу транзистора  $VT1$ , ток от источника, протекая через катушку индуктивности  $L1$ , запасает энергию в катушке.

Энергия в нагрузку поступает от конденсатора  $CI$  фильтра, который на этом этапе разряжается через нагрузку  $R_n$ .

При размыкании регулирующего ключа из-за прекращения подачи сигнала на базу транзистора  $V_{T1}$ , ток дросселя  $L1$  переключается через диод  $VD_6$  на нагрузку  $R_n$ , а к ключу  $V_{T1}$  прикладывается высокое напряжение. Энергия, потребляемая на этом этапе от источника постоянного напряжения  $DC$ , восполняет потери энергии конденсатора  $CI$  на этапе его разряда. На этапе включенного состояния ключа  $V_{T1}$  к дросселю  $L1$  прикладывается постоянное высокое напряжение, поэтому и к концу этапа ток дросселя  $L1$  возрастает до максимума. На этапе, когда ключ  $V_{T1}$  выключен, ток дросселя  $L1$  уменьшается до минимального значения. Таким образом, на выходе импульсного регулятора напряжения схемы формируются сигналы амплитудой от 0 до 5 В.

Предлагаемые в работе устройства по сравнению с аналогами отличаются высокой точностью преобразования, малыми габаритными размерами. Они просты в эксплуатации и экономичны.

Работа представляет интерес студентам и аспирантам, занимающимся разработкой электронной аппаратуры для научно-исследовательских целей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лаврентьев Б. Ф. Схемотехника электронных средств: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: издательский дом «Академия», 2010. 336 с.
2. Бонни Бэйкер. Что нужно знать цифровому инженеру об аналоговой электронике. Перевод с англ. Ю. С. Магды. М.: Додэка. XXI, 2010. 360 с.

