

ПРОГРАММИРУЕМЫЙ НАНОВОЛЬТМЕТР

Андреев С.А.

Томский политехнический университет

xcemaxx@gmail.com

Введение

Повышение точности измерений напряжений переменного тока в нано- и микровольтовом диапазоне возможно методом синхронного детектирования [1, 2].

На рынке существует ряд приборов – синхронные усилители, нановольтметры [3], отличающихся высокими техническими характеристиками. Однако они в силу своей многофункциональности отличаются высокой стоимостью, громоздкостью и низкой ремонтоспособностью (как правило, отсутствует техническая и программная документация).

В лаборатории дискретной и микропроцессорной техники Томского политехнического университета был создан синхронный усилитель с встроенным генератором синусоидального напряжения (рис. 1).

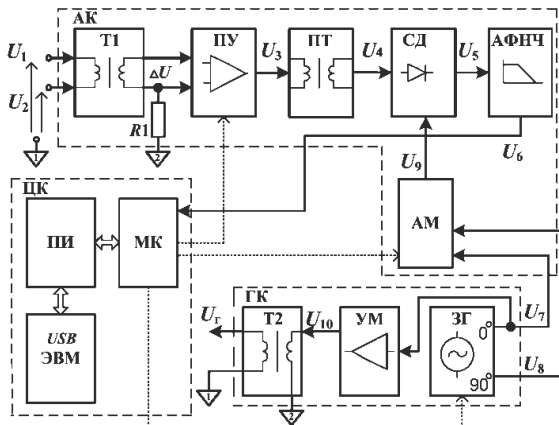


Рис. 1. Структурная схема синхронного усилителя

Одним из основных назначений устройства является использование его в качестве прибора сравнения при калибровке и поверке индуктивных делителей напряжения (ИДН) [4]. Например, усилитель позволяет измерять синфазную и квадратурную составляющие разности двух напряжений тестируемого и эталонного индуктивных делителей напряжения.

Синхронный усилитель состоит из основного измерительного канала (ИК) и дополнительного генераторного канала (ГК). Управление каналов осуществляется цифровой подсистемой (ЦПС), содержащей микроконтроллер (МК), преобразователь интерфейса RS232/USB (ПИ) и персональную ЭВМ верхнего уровня (ЭВМ).

В основном канале входной двухобмоточный трансформатор Т1 с коэффициентом трансформации 1:1 обеспечивает гальваническую развязку синхронного усилителя от источников напряже-

ний $U_1(t)$, $U_2(t)$, подключаемых к дифференциальному входу устройства. Разностное напряжение $\Delta U(t)$ поступает на программируемый трехкаскадный инструментальный усилитель ПУ с коэффициентом усиления 50, 10^2 , 10^3 , 10^4 , 10^5 , 10^6 , 10^7 . Такое многокаскадное построение усилительного тракта позволяет установить диапазон измерения синхронного детектора СД в пределах (0,5–5) В. Режим работы ПУ по постоянному току обеспечивается резистором R1. Передача переменной составляющей напряжения $U_3(t)$ с выхода ПУ на СД осуществляется при помощи переходного трансформатора ПТ с коэффициентом трансформации 1:1 (рис. 1). Заметим, что использование такого трансформатора вместо переходной C,R-цепи на входе СД позволяет практически полностью устранить влияние сравнительно большого входного тока и его дрейфа на стабильность работы СД. Так как ПТ не вносит фазовых искажений, то напряжение на его выходе равно входному, т. е. $U_4(t) = U_3(t)$.

Далее выходное напряжение $U_5(t)$ синхронного детектора фильтруется посредством активного фильтра низких частот АФНЧ второго порядка с частотой среза 5 Гц. Выходное напряжение $U_6(t)$ фильтра поступает на вход АЦП микроконтроллера ЦПС.

Генераторная часть прибора формирует синусоидальное напряжение частотой 0,2...2 кГц и состоит из задающего генератора ЗГ, усилителя мощности УМ с выходным трансформатором Т2 с коэффициентом трансформации 1:1 и аналогового мультиплексора АМ. Выходное напряжение $U_7(t)$ генератора, формируемое на вторичной обмотке Т2 поступает на объект исследования, например, сличаемые рабочий и эталонный ИДН.

ЗГ построен по схеме инвертора и двух интеграторов [5]. Такие генераторы обеспечивают малые нелинейные искажения (десять доли процента) синусоидального напряжения, что является условием точной работы СД. Другая отличительная особенность ЗГ – генерирование двух квадратурных напряжений. Напряжение $U_7(t)$ поступает на вход УМ и на один из входов АМ. Выходное напряжение $U_{10}(t)$ усилителя мощности подается на первичную обмотку трансформатора Т2. Напряжение $U_8(t)$, сдвинутое на 90° относительно $U_7(t)$, подается на второй вход мультиплексора. Таким образом, при измерении синфазной или квадратурной составляющей разностного напряжения $\Delta U(t)$ напряжение $U_6(t)$ на опорном входе СД будет равно $U_7(t)$ или $U_8(t)$ соответственно.

Цифровой код управления работой программируемого усилителя, задающего генератора и

аналогового мультиплексора поступает от микроконтроллера (Atmega 128). Связь последнего с ЭВМ верхнего уровня осуществляется посредством ПИ (FT232RL).

Основными элементами устройства являются синхронный детектор, параметры и характеристики которого определяют потенциальную разрешающую способность сравнения двух синусоидальных напряжений $U_1(t)$, $U_2(t)$, и задающий генератор, генерирующий напряжения $U_7(t)$ и $U_8(t)$.

Целесообразно в качестве СД использовать микросхему AD630, представляющую собой прецизионный балансный модулятор-демодулятор с полосой частот до 350 кГц. Кроме своего основного назначения микросхема применима при синхронном, фазовом, квадратурном детектировании, а также в синхронных усилителях. Одним из основных недостатков AD630 является сравнительно большие входные токи (до 300 нА) и напряжение смещения (до 500 мкВ), что приводит к снижению чувствительности СД при работе с высокоомными источниками сигнала. Поэтому, как упоминалось выше, на входе СД используется переходный трансформатор, обеспечивающий малое омическое сопротивление на входе СД.

Полоса пропускания АФНЧ, подключенного к выходу СД, определяется элементами R_2 , R_3 , C_1 и C_2 , т. е. частота среза равна $f_{cp} = \frac{1}{2\pi R_2 C_1} = \frac{1}{2\pi R_3 C_2}$.

Коэффициент усиления на постоянном токе равен $|K_0| = \frac{R_2}{R_1}$.

От частоты среза АФНЧ зависит выбор частоты дискретизации АЦП микроконтроллера. Заметим, что стремление уменьшить полосу пропускания фильтра ведет к повышению его инерционности, а, следовательно, и увеличению времени реакции всего устройства. Как показали экспериментальные исследования, при частоте среза АФНЧ, равной 5 Гц, время установления переходного процесса устройства не превышает 2 сек.

При работе микросхемы СД в режиме синхронного детектирования на вход SEL В второго демодулятора поступает сигнал опорной частоты U_9 . Синфазную составляющую разности входных напряжений $U_1(t)$, $U_2(t)$ можно определить в случае, когда фаза этих сигналов практически равна фазе напряжения U_7 , генерируемого задающим генератором ГК. Для этого необходимо, аналоговый мультиплексор АМ находился в положении S1. Если же сигналом управления, поступающим на вход IN мультиплексора от микроконтроллера цифровой подсистемы, АМ переводится в положение S2, то $U_9 = U_8$. Последнее напряжение сдвинуто на 90 градусов относительно U_7 , поэтому СД измеряет квадратурную составляющую разности напряжений $U_1(t)$, $U_2(t)$.

В задающем генераторе инвертор выполнен на операционном усилителе и сопротивлениях,

интеграторы – на двух операционных усилителях и емкостях.

В приборе использованы микросхемы AMP01EX, AD620BN, OP27G, OP37G, LM3886T, AD630ARZ, 525PC2A, Atmega128, FT232RL.

Программное обеспечение разработано на языке C++.

Описанный синхронный усилитель был использован при поверке исходного ИДН, входящего в состав Государственного первичного эталона единицы ослабления электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 0 до 178 ГГц (ГЭТ93-2011).

Другие области применения – определение погрешностей преобразования ЦАП, АЦП, коэффициентов усиления операционных усилителей и ослабления аттенуаторов, испытания измерительных каналов аппаратно-программных комплексов.

Основные технические характеристики:

Диапазон рабочих температур, °С	20±5
Диапазон рабочих частот, кГц.....	0,2...2
Диапазон входных напряжений (амплитудное значение), В	0,01...10
Максимальная разность входных напряжений, мВ..	1
Разрешающая способность сравнения напряжения, нВ	50
Максимальная относительная погрешность измерения разности входных напряжений, %	5
Максимальное время измерения, с.....	3
Выходное напряжение встроенного генератора (амплитудное значение), В	10
Максимальный выходной ток генератора (амплитудное значение), А	1
Нестабильность напряжения генератора в течении 15 мин., не более %.....	0,5
Коэффициент гармоник напряжения генератора, не более %	0,2

Работа выполнена в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы». Государственный контракт № 14.578.21.0032.

Список литературы

1. Ким В.Л., Цимбалист Э.И., Чебуренко Д.С. Дифференциальный нановольтметр Датчики и системы. – 2011. – № 9. – С. 49-51.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – 3-е изд. – БХВ-Петербург, 2011. – 768 с.
3. Used-Line: сайт: URL: http://www.used-line.com/used-lock-in-amplifiers/bb_74 (дата обращения 03.09.2014)
4. Ким В.Л. Методы и средства повышения точности индуктивных делителей напряжения: монография – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2009. – 214 с.
5. Борилов В.Н., Ким В.Л., Меркулов С.В. Генераторы тестовых напряжений // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2010. – № 1. – С. 23–26.