УДК 621.382

Дворников О.В.[1], Бахур В.Н.[1], Бахир А.Г.[1], Лозовский В.М.[1], Чеховский В.А.[2]

# КОНСТРУКТИВНО-СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ БЛОКИ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

*[1]Открытое акционерное общество “МНИПИ”, Республика Беларусь*
*[2]“Институт ядерных проблем” Белорусского государственного университета, Республика Беларусь*

*Для измерения среднеквадратического значения напряжения произвольной формы разработан набор конструктивно-схемотехнических блоков, включающий микросхему и микросборку термоэлектрического преобразователя и реализованные на печатных платах преобразователь переменного напряжения в постоянное по уровню среднеквадратического значения, входной усилитель, несколько вариантов масштабирующих усилителей. Приведены результаты оценки основных параметров компонентов ПСКЗ, определяющих погрешность, устойчивость к механическим и радиационным воздействиям, стоимость при малосерийном производстве. Сравнение компонентов проведено на основе экспериментальных данных и представлено в виде таблиц и графиков результатов измерений, использование которых позволяет провести синтез измерительных преобразователей напряжения с различным сочетанием технико-экономических показателей.*

*3 рис., 3 табл.*

В радиоэлектронной аппаратуре (РЭА) часто необходимо оценивать уровень электрических сигналов различной формы, наиболее адекватной характеристикой которых является среднеквадратическое значение напряжения $V_{RMS}$. Для определения $V_{RMS}$ предпочтительно применение преобразователей переменного напряжения в постоянное по уровню среднеквадратического значения (ПСКЗ) на основе термоэлектрических преобразователей (ТЭП).

Целью доклада является рассмотрение разработанных конструктивно-схемотехнических блоков, позволяющих синтезировать ПСКЗ с разным сочетанием технико-экономических параметров.

Экспериментально апробированная электрическая схема измерительного ПСКЗ приведена на рис. 1. Заметим, что минимальная погрешность ПСКЗ обеспечивается при относительно больших значениях $V_{RMS}$, поэтому на вход (узел in на рис. 1) целесообразно подавать напряжение через входной усилитель. В то же время при необходимости регистрации малых сигналов перед входным усилителем целесообразно располагать масштабирующие усилители с коэффициентом усиления, зависящим от величины измеряемого сигнала.

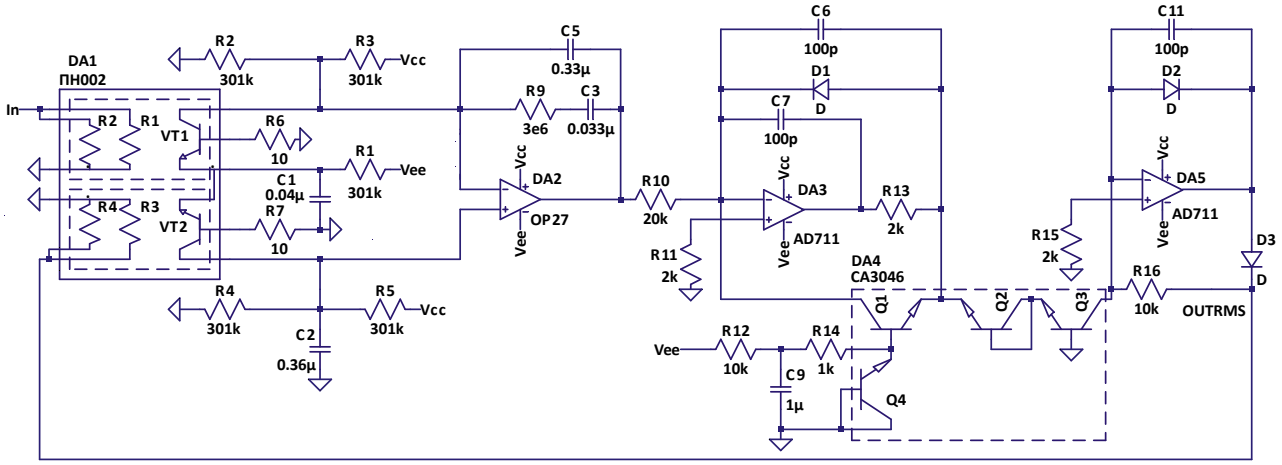

Рисунок 1. Упрощенная электрическая схема измерительного преобразователя переменного напряжения

Термоэлектрический преобразователь DA1 на рис. 1 содержит два одинаковых полупроводниковых кристалла, каждый из которых включает n-p-n-транзистор и нагревательные резисторы. В ТЭП ПН002-01, ПН002-02 имеется два поликремниевых резистора с сопротивлением 350 ± 70 Ом и 250 ± 50 Ом соответственно, в ПН002-03 – один полупроводниковый резистор с сопротивлением 300 ± 60 Ом. Кристаллы могут быть размещены на теплоизолирующей эбонитовой подложке толщиной 400 мкм в 16-ти выводном корпусе Н04.16-1, в этом случае ТЭП будет представлять собой микросхему, или на теплоизолирующей полиимидной пленке толщиной 50 мкм при реализации ТЭП в виде микросборки.

Необходимость реализации двух конструкций ТЭП объясняется тем, что микросхемы обычно обеспечивают высокий уровень стойкости к механическим воздействиям, а требования по стойкости к внешним воздействующим факторам микросборок устанавливаются в соответствии с техническими требованиями к конкретной РЭА и поэтому могут быть существенно ниже. В тоже время коэффициент термоэлектрического преобразования мощности, рассеиваемой на нагревательных резисторах, в напряжение на прямосмещенном эмиттерном переходе n-p-n-транзистора больше для микросборки.

При выборе конкретного исполнения ТЭП следует принимать во внимание информацию, содержащуюся в табл. 1, и результаты измерений погрешности преобразования ПСКЗ на рис. 2, на котором кривая 1 соответствует ПСКЗ с ТЭП варианта 1 и $V_{RMS}$≈2 В, а 2 - ПСКЗ с ТЭП варианта 3 и $V_{RMS}$≈1,25 В.

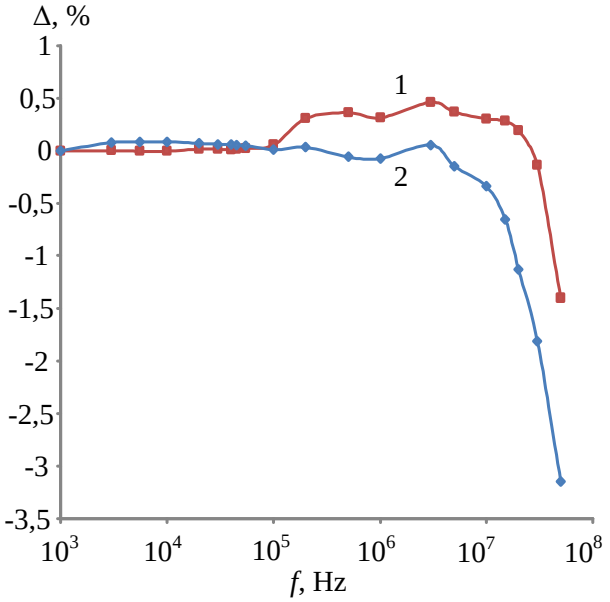


Рисунок 2. Нелинейность амплитудно-частотной характеристики ПСКЗ

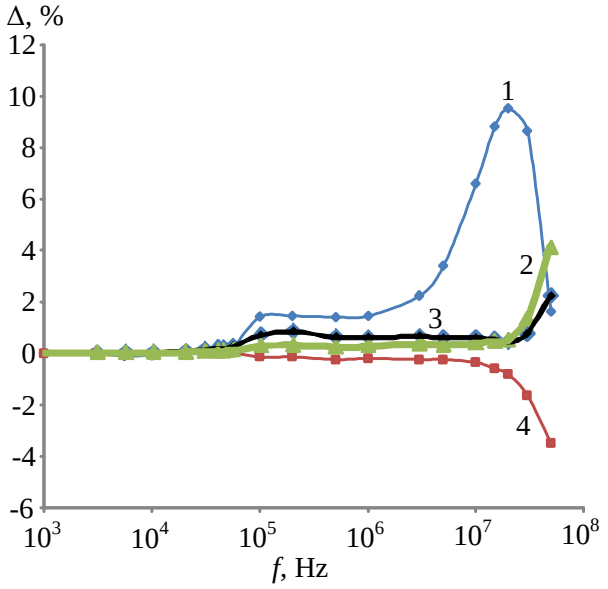


Рисунок 3. Нелинейность амплитудно-частотной характеристики различных типов входных усилителей

Главными требованиями, предъявляемыми к входному усилителю, являются обеспечение малой нелинейности амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), желательно менее 1 %, в полосе частот синусоидального сигнала до 50 МГц, и размаха выходного сигнала 12 В при работе на нагрузку около 150 Ом.

Для обеспечения указанных требований экспериментально исследовались несколько вариантов входных усилителей с разными операционными усилителями (ОУ) и коэффициентами усиления $K_V$, работающие на нагрузку 150 Ом.

Таблица 1. Основные технико-экономические параметры термоэлектрических преобразователей

| Вариант | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| Тип прибора | микросборка | микросхема | микросборка |
| Особенности конструкции | полиимидная подложка, два параллельно соединенных поликремниевых резистора | эбонитовая подложка, два параллельно соединенных поликремниевых резистора | полиимидная подложка, один полупроводниковый резистор |
| Сопротивление нагревательного резистора, Ом | 146 | 155 | 328 |
| Коэффициент преобразования, мВ/мВт | 3,18 | 3,12 | 2,73 |
| Стойкость к механическим воздействиям | низкая, ГОСТ 22261-94 | высокая, ГОСТ 18725-83 | низкая, ГОСТ 22261-94 |
| Радиационная стойкость | средняя | средняя | средняя |
| Стоимость, $ | 82,24 | 22,94 | 82,24 |

Таблица 2. Основные технико-экономические параметры операционных усилителей, предназначенных для преобразователя переменного напряжения и входного усилителя

| Наименование параметра | OAmp 11.3 | OAmp 11.31 | OP27AE | AD711C | THS 3091 | THS 3491 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ток потребления в режиме холостого хода, мА | 2,304 | 2,873 | 4,7 | 2,8 | 9,5 | 17,3 |
| Напряжение смещения нуля, мкВ | 123 | 55 | 25 | 250 | 3000 | 2000 |
| Входной ток | 34,7пА | 4,1пА | ±40нА | 25пА | 15мкА | 5мкА |
| Частота единичного усиления, МГц | 3,84 | 2,85 | 5,0 | 3,4 | 675 | 320 |
| Спектральная плотность напряжения шума,нВ/Гц$^{0,5}$ | 8,24 | 11,58 | 3,8 | 16,0 | 2,0 | 1,7 |
| Стоимость, $ | 16,6 | 16,6 | 1,99 | 3,67 | 21,71 | 45,86 |
| Радиационная стойкость | высокая | высокая | низкая | низкая | высокая | высокая |

Таблица 3. Особенности масштабирующих усилителей

| Особенности | Вариант | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Коэффициент усиления напряжения | 10 | 4,7 | 2,6 | 2,2 |
| Количество усилительных каскадов | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Применяемый ОУ | THS3491 | THS3491 | AD9632 | AD9632 |
| Компенсация напряжения смещения нуля с помощью | OP2177 | OP2177 | потенциометра | потенциометра |
| Напряжение питания, В | ±7,5 | ±7,5 | ±7,5 | ±7,5 |

Результаты измерений входных усилителей приведены на рис. 3 для следующих исполнений: 1 - трехкаскадный усилитель с $K_V \approx 10$ на THS3091AR2 с тремя параллельно соединенными микросхемами на выходе; 2 - усилитель с $K_V \approx 4{,}5$ на двух параллельно соединенных микросхемах THS3491AR2; 3 - двухкаскадный усилитель с $K_V \approx 8$ на THS3491AR2 с двумя параллельно соединенными микросхема на выходе; 4 - усилитель с $K_V \approx 2$ на двух параллельно соединенных микросхемах THS3091AR2.

Все разработанные масштабирующие усилители имели схему неинвертирующего усилителя напряжения с разным $K_V$ и схемой компенсации напряжения смещения нуля в автоматическом режиме на ОУ и ручном режиме на потенциометрах. Исследования их характеристик будут завершены в ближайшее время.

Сравнение нелинейности АЧХ в полосе частот, количества применяемых ОУ, тока потребления ОУ и их цены, параметров ТЭП, приведенные в табл. 1-3, позволяет разработать ПСКЗ с требуемым сочетанием технико-экономических параметров.