

# Измерительный преобразователь для широкополосных вольтметров переменного тока

Олег Дворников, Владимир Чеховский,  
Юрий Шульгевич (г. Минск, Беларусь)

Рассмотрен измерительный преобразователь переменного напряжения произвольной формы в постоянное по уровню среднеквадратического значения, имеющий погрешность менее 3% для синусоидальных сигналов с эффективным значением от 0,3 до 2,5 В и частотой от 20 Гц до 100 МГц.

Измерительные преобразователи среднеквадратического значения напряжения (ПСКЗ) являются основой различных электроизмерительных приборов – вольтметров переменного тока ВЗ, преобразователей напряжения В9 и др. Серийно выпускаемые микросхемы экспоненциально-логарифмических ПСКЗ (AD536, AD636, AD637) обладают высокой точностью, но небольшим частотным диапазоном, пропорциональным уровню входного сигнала [1]. Микросхемы преобразователей, использующих аналоговые умножители напряжения (AD834, AD8361, AD8362, AD8317), могут обрабатывать высокочастотные сигналы, однако не допускают наличия постоянной и низкочастотной составляющих в спектре сигнала, и их погрешность довольно велика [2].

В связи с этим для высокоточного преобразования сигналов произвольной формы обычно используются термоэлектрические преобразователи [3], из которых наилучшим соотношением качество/цена характеризуются полупроводниковые транзисторные термопреобразователи. На основе теоретического анализа [4] разработаны раз-

личные электрические схемы ПСКЗ с транзисторными термопреобразователями [4, 5]. Однако исследования показали, что для обеспечения технологичности изготовления при массовом производстве и стабильности характеристик такие ПСКЗ должны быть модифицированы, а именно: увеличена эффективность преобразования мощности входного сигнала в выходное напряжение термопреобразователя и максимально уменьшена площадь печатной платы, предназначенной для размещения ПСКЗ в термостате. Необходимо также разработать методику регулировки, обеспечивающую высокую линейность передаточной характеристики транзисторных ПСКЗ.

Для решения указанных задач была разработана и изготовлена микросборка полупроводникового дифференциального термоэлектрического преобразователя РБПН001 [6] с коэффициентом преобразования от 2,5 до 3,0 мВ/мВт и электронный модуль ПСКЗ на её основе.

Микросборка РБПН001 (см. рис. 1) состоит из двух кремниевых кристаллов, размещённых на теплоизолирующей подложке. Каждый кристалл содержит два нагревательных резистора и *n-p-n*-транзистор. При необходимости резисторы можно соединить параллельно для увеличения выходного сигнала термоэлектрического преобразователя либо последовательно для увеличения входного сопротивления и ослабления требований к усилителю, находящемуся перед термоэлектрическим преобразователем [5]. Особое внимание при проектировании микросборки уделялось увеличению коэффициента

термоэлектрического преобразования. Для этого максимально уменьшено расстояние между нагревательным резистором и датчиком температуры – эмиттерным переходом *n-p-n*-транзистора, значительно уменьшен отвод тепла от кристаллов за счёт выбора материала теплоизолирующей подложки, минимизации площади и толщины полупроводниковых кристаллов, уменьшения длины и диаметра проводников, соединяющих контактные площадки кристалла и выводы корпуса [7].

Преобразователь, выполненный на микросборке РБПН001, функционирует следующим образом. Известно, что температура резистора является линейной функцией от рассеиваемой резистором мощности и, следовательно, определяется квадратом среднеквадратического значения приложенного напряжения или тока:

$$P = \frac{1}{TR} \int_0^T V_{\text{INP}}^2(t) dt, \quad (1)$$

где  $P$  – средняя мощность, рассеиваемая напряжением  $V_{\text{INP}}(t)$  на резисторе  $R$  за время  $T$ .

Если изменяющийся во времени сигнал  $V_{\text{INP}}(t)$  приложен к нагревательному резистору  $R_A$  (см. рис. 2), то мощность, рассеиваемая на этом резисторе, приводит к его нагреванию, передаче тепла к транзистору  $Q_A$  и изменению напряжения на прямо смещённом эмиттерном переходе  $Q_A$ . В том случае, когда напряжение на резисторе  $R_B$  отличается от напряжения на  $R_A$ , сигнал разбаланса, равный разности коллекторных напряжений  $Q_A$  и  $Q_B$ , будет усиливаться  $DA_2$ , поступать через схему извлечения квадратного корня  $DA_3-DA_5$  на резистор  $R_B$  и приводить к изменению мощности, рассеиваемой  $R_B$ . При этом изменяется температура  $R_B$ ,  $Q_B$ , напряжение на прямо смещённом эмиттерном и, следовательно, обратно смещённом коллекторном переходе  $Q_B$ .

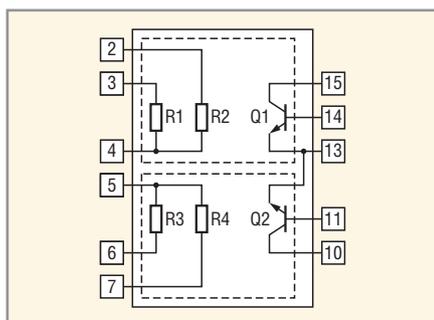


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема микросборки РБПН001



## ПРЕВОСХОДСТВО В ЖЁСТКИХ УСЛОВИЯХ

### УСТОЙЧИВОСТЬ К ТЕМПЕРАТУРАМ

Новая технология применения жидких кристаллов и оптимизация теплоотвода

|                              | Обычный LCD  | Strong LCD1  | Strong LCD2  |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Рабочий диапазон температур  | 0 до +50°C   | -10 до +65°C | -30 до +80°C |
| Диапазон температур хранения | -25 до +60°C | -30 до +70°C | -30 до +80°C |

### УСТОЙЧИВОСТЬ К УДАРАМ И ВИБРАЦИИ

Усилена модульная конструкция

|                                  | Обычный LCD                    | Strong LCD1                    | Strong LCD2                              |
|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|
| Устойчивость к вибрации          | От 57 до 500 кГц, ускорение 1g | От 57 до 500 кГц, ускорение 1g | От 57 до 500 кГц, ускорение от 1,5 до 2g |
| Устойчивость к ударным нагрузкам | 50g, 11 мс                     | 50g, 11 мс                     | от 60 до 70g, 11 мс                      |

### ЯРКОСТЬ

Значительно повышена благодаря улучшению прозрачности панели и разработке яркой системы задней подсветки

|         | Обычный LCD           | Strong LCD1                      | Strong LCD2                      |
|---------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Яркость | 300 кд/м <sup>2</sup> | Больше чем 300 кд/м <sup>2</sup> | Больше чем 400 кд/м <sup>2</sup> |

### КОНТРАСТНОСТЬ

Подавляя яркость экрана при отображении чёрного и адаптируя новую систему управления, получаем повышенную контрастность

|          | Обычный LCD | Strong LCD1 | Strong LCD2 |
|----------|-------------|-------------|-------------|
| Контраст | 350 : 1     | 350 : 1     | 600 : 1     |

### SHARP Strong2 LCD-панели

| № модели    | Размер дисплея | Разрешение, пикс. | Контраст | Яркость, кд/м <sup>2</sup> | Входной сигнал     |
|-------------|----------------|-------------------|----------|----------------------------|--------------------|
| LQ057V3DG01 | 5,7" TFT       | 640 × 480         | 600 : 1  | 400                        | Цифровой 6-бит RGB |
| LQ075V3DG01 | 7,5" TFT       | 640 × 480         | 600 : 1  | 400                        | Цифровой 6-бит RGB |
| LQ084V3DG01 | 8,4" TFT       | 640 × 480         | 600 : 1  | 400                        | Цифровой 6-бит RGB |
| LQ104V1DG61 | 10,4" TFT      | 640 × 480         | 600 : 1  | 450                        | Цифровой 6-бит RGB |
| LQ121S1DG61 | 12,1" TFT      | 800 × 600         | 600 : 1  | 450                        | Цифровой 6-бит RGB |

Официальный дистрибьютор SHARP на территории России с стран СНГ

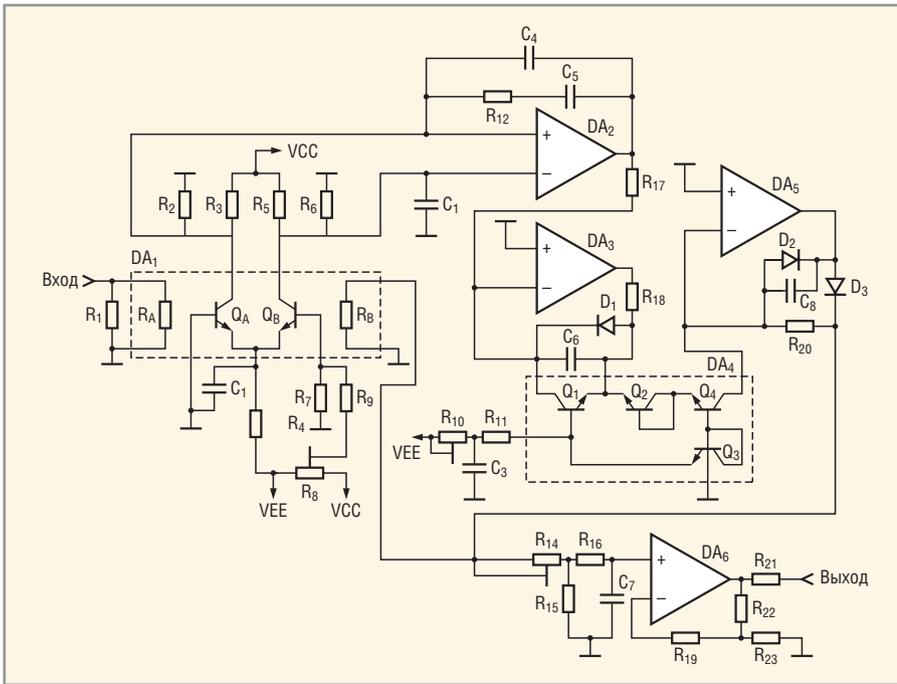


Рис. 2. Принципиальная схема электронного модуля ПСКЗ

D<sub>1</sub>–D<sub>3</sub> – BAV99; DA<sub>1</sub> – РБПН001; DA<sub>2</sub> – ОП-27; DA<sub>3</sub>, DA<sub>5</sub> – AD711; DA<sub>4</sub> – CA3046; DA<sub>6</sub> – LTC1150

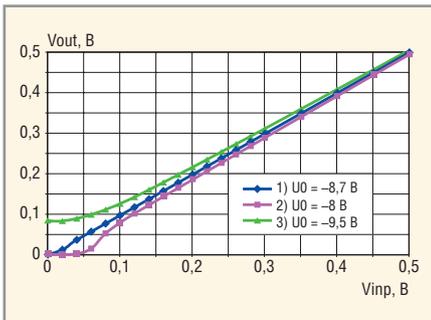


Рис. 3. Передаточная характеристика ПСКЗ при различном напряжении (V<sub>0</sub>) на входе делителя R<sub>7</sub>, R<sub>9</sub>

Обратная связь через цепь DA<sub>2</sub>–DA<sub>5</sub> приведёт к такому изменению напряжения на резисторе R<sub>B</sub>, при котором коллекторные напряжения Q<sub>A</sub> и Q<sub>B</sub> будут одинаковыми. Если резисторы R<sub>A</sub>, R<sub>B</sub> и транзисторы Q<sub>A</sub>, Q<sub>B</sub> имеют идентичные характеристики, то при нулевом напряжении разбаланса напряжение постоянного тока на R<sub>B</sub> (V<sub>RB</sub>) будет прямо пропорционально среднему значению изменяющегося во времени входного сигнала V<sub>INPRMS</sub>. Другими словами, мощность напряжения постоянного тока, подаваемая на резистор R<sub>B</sub>, равна мощности, рассеиваемой резисто-

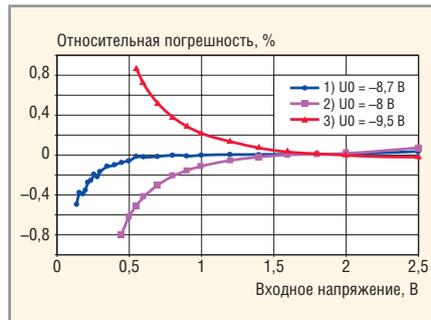


Рис. 4. Относительная погрешность ПСКЗ при различном напряжении (V<sub>0</sub>) на входе делителя R<sub>7</sub>, R<sub>9</sub>

ром R<sub>A</sub> от изменяющегося во времени сигнала:

$$P_{RA} = P_{RB}, \quad (2)$$

$$\frac{1}{TR_A} \int_0^T V_{INP}^2(t) dt = \frac{V_{RB}^2}{R_B}, \quad (3)$$

при R<sub>A</sub> = R<sub>B</sub>

$$V_{RB} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_{INP}^2(t) dt} \equiv V_{INPRMS}. \quad (4)$$

Для средне- и высокочастотных сигналов происходит усреднение входной мощности благодаря тепловой постоянной времени полупроводниковых кристаллов, что обеспе-

чивает постоянное напряжение на коллекторе Q<sub>A</sub>.

Схема ПСКЗ, приведённая на рисунке 2, имеет ряд особенностей. В неё включен диод D<sub>3</sub> для устранения положительной обратной связи, возникающей при отрицательном напряжении на R<sub>B</sub>, и конденсаторы C<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>, C<sub>5</sub>, обеспечивающие устойчивую работу дифференциального каскада (Q<sub>A</sub>, Q<sub>B</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>5</sub>, R<sub>6</sub>) и усилителя DA<sub>2</sub>. Источник тока дифференциального каскада выполнен на высокоомном резисторе R<sub>4</sub>, зашунтированном конденсатором C<sub>1</sub>. Такое схемотехническое решение обладает меньшим уровнем шума по сравнению с активным источником тока. Для улучшения переходной характеристики ПСКЗ введена схема извлечения квадратного корня на операционных усилителях (ОУ) DA<sub>3</sub>, DA<sub>5</sub> и наборе п–р–п-транзисторов DA<sub>4</sub>.

Преобразователь реализован на печатной плате размером 30 × 45 × 5 мм. Для подачи сигналов и напряжения питания применяются проводники, присоединяемые к плате через монтажные отверстия.

Особое внимание уделено достижению линейности передаточной характеристики с помощью регулировочных элементов, для чего:

- потенциометром R<sub>8</sub> компенсируется напряжение смещения всего ПСКЗ, а именно устанавливается близкое к нулю напряжение в узле «Выход» при нулевом напряжении в узле «Вход»;
  - резистивным делителем R<sub>14</sub>, R<sub>15</sub> и масштабирующим усилителем DA<sub>6</sub>, R<sub>19</sub>, R<sub>22</sub>, R<sub>23</sub> задаётся требуемый коэффициент преобразования во всём динамическом диапазоне;
  - потенциометром R<sub>10</sub> корректируется режим по постоянному току схемы извлечения квадратного корня, что позволяет выбрать область вольтамперных характеристик транзисторов DA<sub>4</sub>, гарантирующую максимальную линейность передаточной характеристики.
- Возможность выполнения высокоточной настройки ПСКЗ иллюстрируют результаты измерений передаточной характеристики (см. рис. 3) и относительной погрешности (см. рис. 4) ПСКЗ для входного напряжения постоянного тока и одного регулируемого потенциометром R<sub>8</sub> параметра – напряжения (V<sub>0</sub>) на входе делителя R<sub>7</sub>, R<sub>9</sub>. При небольшом входном напряже-

Таблица 1. Зависимость относительной погрешности преобразования Δ от уровня входного напряжения постоянного тока V<sub>INPDC</sub>

| V <sub>INPDC</sub> , B | 0,1    | 0,2    | 0,3    | 0,5    | 0,7    | 1,0    | 1,5    | 2,0    | 2,5    |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Δ, %                   | -1,500 | -0,350 | -0,167 | -0,060 | -0,043 | -0,020 | -0,013 | -0,010 | -0,004 |

