

В. К. БУТЕНКО, В. Г. ЮРЬЕВ, д. т. н. В. Н. ГОДОВАНЮК,  
И. В. ДОКТОРОВИЧ, С. Г. ФЕДОТОВ

Украина, г. Черновцы, ЦКБ «Ритм»,  
Черновицкий нац. университет им. Юрия Федьковича  
E-mail: rhythmrs@chv.ukrpack.net

Дата поступления в редакцию  
02.07 2007 г.

## НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ «ТОК—НАПРЯЖЕНИЕ» ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ФОТОСИГНАЛОВ

*Новое поколение преобразователей «ток—напряжение» имеет малое входное сопротивление (<10 Ом) и обеспечивает измерения темновых и фототоков фотодиодов от  $1 \cdot 10^{-12}$  до  $1 \cdot 10^{-3}$  А.*

При измерениях основных фотоэлектрических параметров фотодиодов — таких как темновой ток ( $I_T$ ), чувствительность ( $S_{инт}$ ,  $S_{ил}$ ), динамический диапазон чувствительности ( $d$ ) и др., согласно требованиям [1], сопротивление нагрузки в цепи фотодиода (ФД) выбирается значительно меньшим собственного сопротивления ФД ( $R_n \ll R_{фд}$ ). Для измерений перечисленных параметров используются нестандартизованные средства измерений, в состав которых входят контактирующие устройства, блоки выбора резисторов нагрузки, разнообразные предусилители, источники излучения, а также стандартизованное серийное оборудование.

Так, для измерений выходного сигнала с ФД используются: универсальные вольтметры — В7-21А, -23, -30, -34А, -40 и т. д., микровольтметры — В3-38, -39, -47, У2-8, осциллографы — С1-68, -64, -114, С8-13. Однако каждый из них имеет определенные ограничения. Например, из-за несогласованности фотоприемника и измерительного тракта на краях поддиапазонов универсальных вольтметров В7-21А, -30, -40 возрастает погрешность измерений. Кроме того, из-за высокой чувствительности к электромагнитным полям (В7-30) усложняются измерения фотосигналов (фототоков) во всем диапазоне изменения входных оптических сигналов. Некоторые вольтметры (В7-23, -34А) не имеют режима измерения тока, другие (В3-38, -39, -47, У2-8) чувствительны только к модулированным сигналам, часть средств измерений не обеспечивают заданного уровня погрешности измерений (осциллографы) и т. д.

При измерениях немодулированных фотосигналов неплохим согласующим элементом между фотоприемником и измерительным прибором является преобразователь «ток—напряжение» АДБ7.0243.00 и ППТН-01 [2], которые имеют высокий уровень технических характеристик, но являются лишь промежуточным звеном в установках для измерений параметров фотоприемника; для измерения самой величины фотосигнала необходимо применять вольтметр постоянного тока. Кроме этого, часто возникает по-

требность в измерениях токов, меньших пороговой чувствительности АДБ7.0243.00 и ППТН-01.

Разработанный преобразователь «ток—напряжение» ППТН-02 построен на современной отечественной и зарубежной элементной базе, имеет расширенный диапазон преобразования малых уровней тока в напряжение, улучшенные технические характеристики. Он представляет собой малогабаритное измерительное средство, в котором собраны блок питания, предусилитель и вольтметр.

Структурная схема ППТН-02 приведена на рис. 1. При подаче на вход ППТН-02 (Вх.) постоянного тока предусилитель преобразует его в пропорциональное ему напряжение постоянного тока, аналого-цифровой преобразователь преобразует это напряжение в цифровой код, который выводится на индикатор встроенного вольтметра. В случае перегрузки АЦП в старшем разряде цифрового табло вольтметра появляется индикация в виде 1 при отсутствии показаний в остальных разрядах.

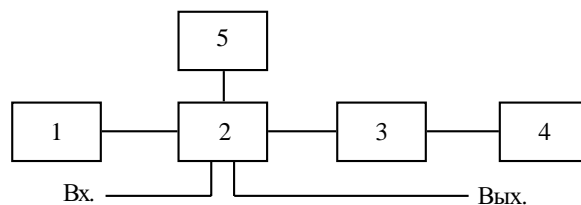


Рис. 1. Структурная схема ППТН-02:

1 — блок питания; 2 — операционный усилитель (ОУ); 3 — аналого-цифровой преобразователь (АЦП); 4 — жидкокристаллический индикатор (ЖКИ), 5 — переключатель выбора коэффициента преобразования ( $K_{пр}$ )

Блок питания, ОУ и вольтметр представляют собой отдельные узлы, которые легко монтируются и заменяются при настройке.

Преобразователь ППТН-02 (см. рис. 2) прост в эксплуатации. Для измерения величины тока на вход ППТН-02 подается сигнал, и по встроенному вольтметру (с учетом необходимой чувствительности) измеряется напряжение.

Измеряемый ток рассчитывается по формуле

$$I = \frac{U}{K_{пр}}, \quad (1)$$

где  $I$  — входной ток, А;

$U$  — напряжение, В;

$K_{пр}$  — коэффициент преобразования ППТН-02, В/А.

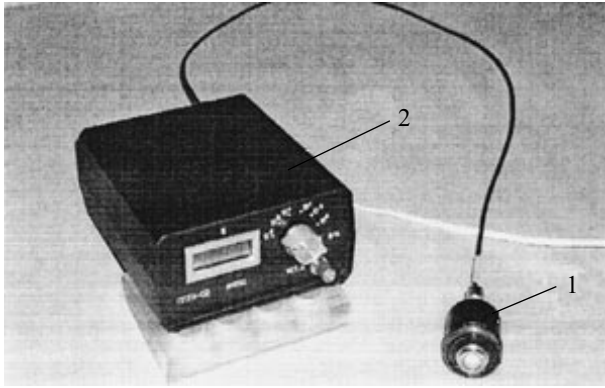


Рис. 2. Радиометрическая головка 1 (генератор тока), подключенная на вход 2 преобразователя «ток—напряжение» ППТН-02

Для более точных измерений напряжения в ППТН-02 предусмотрен дополнительный выход (Вых.) для подсоединения ППТН-02 к внешнему цифровому вольтметру.

Для определения основной относительной погрешности ( $\delta_k$ ) проведены измерения относительной погрешности ( $\delta$ ), нестабильности коэффициента преобразования ( $\delta_n$ ), нелинейности коэффициента преобразования ( $\delta_n$ ) и погрешности встроенного вольтметра ( $\delta_v$ ).

Измерения проводились на установке, структурная схема которой приведена на рис. 3. Токозадающие резисторы с номинальным сопротивлением 10 кОм и 10 МОм (далее  $R_r$ ) последовательно соединяются с блоком питания и входом ППТН-02; фактические значения их измеряются при помощи цифрового вольтметра В7-34А с точностью не меньше четырех значащих цифр.

Коэффициент преобразования ( $K_{пр1}$ ) определялся по формуле

$$K_{пр1} = \frac{U_1' R_{r1}}{U_1} \quad (2)$$

где  $U_1$ ,  $U_1'$  и  $R_{r1}$  — измеренные значения напряжения и сопротивления.

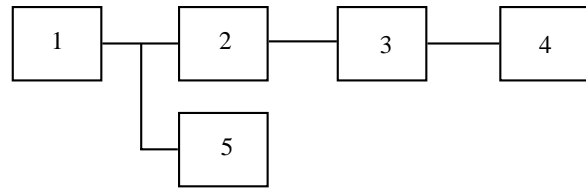


Рис. 3. Структурная схема измерительной установки: 1 — блок питания Б5-43 (Б5-44); 2 — токозадающий резистор; 3 — ППТН-02; 4, 5 — вольтметр цифровой В7-34А (В7-28)

Относительную погрешность коэффициента преобразования ( $\delta_1$ ) определяли по формуле

$$\delta_1 = \left( 1 - \frac{K_{пр1}}{K_{пр}} \right) \times 100\% \quad (3)$$

где  $K_{пр}$  — номинальное значение коэффициента преобразования.

Меняя напряжение на блоке питания и резисторе  $R_r$ , определяли величину коэффициента преобразования ( $K_{пр}$ ) и относительную погрешность ( $\delta$ ) преобразователя ППТН-02 в каждом диапазоне. Типичные значения относительной погрешности, коэффициента преобразования и другие метрологические и технические характеристики ППТН-02 приведены в таблице.

По результатам измерений коэффициента преобразования ППТН-02 во всем диапазоне в качестве нелинейности ( $\delta_n$ ) приняли максимальное из значений  $\delta$ .

Нестабильность коэффициента преобразования ( $\delta_n$ ) определялась как отношение максимального отклонения значения коэффициента преобразования от среднего его значения на протяжении 8 часов непрерывной работы:

$$\delta_n = \frac{|K_{\max(\min)} - K_{cp}|}{K_{cp}} \times 100\% \quad (4)$$

где  $K_{\max(\min)}$  — максимальное (минимальное) значение коэффициента преобразования из всех значений  $K_{пр}$ ;  $K_{cp}$  — среднее значение коэффициента преобразования.

Метрологические и технические характеристики преобразователей «ток—напряжение»

Характеристика	Преобразователи «ток—напряжение»		
	АДБ7.0243.00	ППТН-01	ППТН-02
Диапазон изменения коэффициента преобразования, $K_{пр}$ , В/А	$10^2—10^8$	$10^2—10^8$	$10^4—10^9$
Диапазон токов, преобразуемых в напряжение, А	$10^{-11}—10^{-2}$	$10^{-11}—10^{-2}$	$10^{-12}—2 \cdot 10^{-4}$
Минимальный входной ток, $I_{\min}$ , пА	10	10	1,0
Основная относительная погрешность, $d_k$ , %:			с встроенным вольтметром
			с внешним вольтметром
Относительная погрешность, $d$ , %	1,0	1,0	0,3
Нестабильность коэффициента преобразования, $d_n$ , %	1,0	1,0	0,3
Нелинейность коэффициента преобразования, $d_n$ , %	1,0	1,0	0,3
Погрешность встроенного вольтметра, $d_v$ , %	—	—	1,0
Масса, кг	3,5	2,0	1,5
Габаритные размеры, мм	280×250×125	180×150×80	150×200×80
Питание (потребляемая мощность)	220 В, 50 Гц (10 Вт)	220 В, 50 Гц (5 Вт)	220 В, 50 Гц (4 Вт)

При измерениях коэффициента преобразования ППТН-02 на одном из диапазонов преобразователя определялась погрешность встроенного вольтметра. Для этого при помощи внешнего вольтметра (В7-34А) измерялось напряжение на выходе ППТН-02 ( $U_1'$ ) и сравнивалось с напряжением на табло ППТН-02 ( $U_B$ ). Погрешность вольтметра ППТН-02 ( $\delta_U$ ) определялась по формуле

$$\delta_U = \left(1 - \frac{U_1'}{U_B}\right) \times 100\%. \quad (5)$$

Основная относительная погрешность измерений  $\delta_k$  определялась по формуле [3, с. 89—91; 4]

$$\delta_k = 1,1 \cdot \sqrt{\delta^2 + \delta_r^2 + \delta_n^2 + \delta_U^2}. \quad (6)$$

\*\*\*

По результатам, приведенным в таблице, можно сделать вывод, что преобразователь ППТН-02 имеет на порядок меньше минимальный входной ток, он меньше, легче и потребляет меньшую мощность.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. ГОСТ 17772—88. Методы измерения фотоэлектрических параметров и определения характеристик.
2. Бутенко В. К., Годованюк В. М., Докторович І. В. Прецизійний перетворювач струм—напруга // Науковий вісник ЧНУ.— Чернівці: 2001.— Вип. 102: Фізика. Електроніка.— С. 84—85.
3. Кассандрова О. Н., Лебедев В. В. Обработка результатов наблюдения.— М.: Наука, 1970.
4. ГОСТ 8.207—76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.