

НОВЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ТОЧНОГО ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ НЧ- И ВЧ-СИГНАЛОВ



В практике измерений широко используются приборы, предназначенные для контроля электрических характеристик радио- и электроаппаратуры в условиях воздействия гармонических испытательных сигналов переменного напряжения низкой и высокой частоты. Однако многие из существующих приборов устарели и имеют ограниченную точность. В статье рассказывается о новых приборах с улучшенными метрологическими характеристиками.

В Российской Федерации приборы, измеряющие переменные напряжения, в соответствии с ГОСТ 15094 [1] классифицируются, как измерители напряжения (вольтметры видов В3, В4, В6, В7 и преобразователи вида В9), а также как источники переменного напряжения калиброванного уровня (калибраторы видов Н4 и Н5). Приборы высшей точности используются в качестве эталонов (образцовых приборов) при поверке многочисленных средств измерения, таких как вольтметры, измерительные генераторы, калибраторы, осциллографы, частотомеры, анализаторы спектра, измерители нелинейных искажений, измерительные усилители и многие другие.

В измерительных схемах упомянутых вольтметров и преобразователей используются устройства, осуществляющие преобразование переменного напряжения сигнала в эквивалентное постоянное напряжение по уровню среднеквадратического, средневыпрямленного или амплитудного значения. Эти устройства имеют нормированное значение передаточной характеристики, определяемое как отношение выходного напряжения к напряжению входного сигнала. Такие же устройства часто встраиваются в систему автоматического регулирования уровня выходного напряжения калибраторов Н4 и Н5. Зная передаточную характеристику устройства преобразования и величину эквивалентного постоянного напряжения, можно определить уровень переменного напряжения сигнала.

Устройства преобразования с ненормированной передаточной характеристикой часто используют в качестве автономных приборов разновременного сравнения (компараторов) переменного напряжения сигнала с вспомогательным постоянным напряжением, поочередно подаваемых на

М.Гуревич, д.т.н.
gurevitch@inbox.ru

вход компаратора. В процессе измерений вначале подают на вход компаратора переменное напряжения сигнала, а затем переключают вход компаратора на источник вспомогательного постоянного напряжения и изменяют его значение до тех пор, пока на выходе компаратора не будет получено то же напряжение, что и при подаче переменного сигнала. Это значение постоянного напряжения и считают равным переменному напряжению сигнала. К приборам с ненормированной передаточной характеристикой относятся, например, отечественные эталонные преобразователи (компараторы) ПНТЭ-6А и ПНТЭ-12 высшей точности, которые широко используются при поверке средств измерений.

При использовании компараторов к выполнению измерений привлекаются два вспомогательных прибора постоянного напряжения: высокостабильный источник постоянного напряжения (калибратор), сигнал которого замещает переменное напряжение сигнала, и цифровой милливольтметр, подключаемый к выходу устройства для фиксации равенства двух попеременно подаваемых напряжений.

Известно [2, 3], что наивысшая точность измерения напряжений достигается с помощью приборов, использующих электротепловые устройства преобразования. Такие приборы нечувствительны к искажениям гармонического сигнала. В них применяются термоэлементы косвенного подогрева, которые содержат объединенные тепловой связью электрический подогреватель и термопару (одиночную или многоэлементную). Выходное напряжение термопары, реагирующей на разогрев подогревателя подведенным к нему электрическим сигналом, пропорционально среднеквадратическому уровню сигнала. Для идеального термоэлемента выходное напряжение, образуемое через тепловую связь, одинаково для сигналов постоянного и переменного напряжений, если одинаков их среднеквадратический уровень. Поэтому измерение переменного напряжения может быть заменено измерением постоянного напряжения, обеспечивающего тот же сигнал на выходе термопары.

Однако устаревшим электровакуумным элементам типа ТВ5, используемым во многих отечественных вольтметрах и



преобразователях, включая упомянутые эталоны ПНТЭ-6А и ПНТЭ-12, свойственны существенные недостатки, отражающиеся на результирующих метрологических характеристиках изделий. В ТВБ повышение эффективности передачи сигнала по тепловому каналу достигнуто за счет вакуумной конструкции. При этом подача номинального напряжения сигнала на подогреватель вызывает повышение рабочей температуры термоэлемента на несколько сот градусов. При столь высокой температуре достаточно небольшого сигнала перегрузки, чтобы вывести термоэлемент из строя. Значительный температурный градиент вследствие эффектов Томсона и Пельтье [4] приводит к изменению выходного напряжения термопары при изменении полярности подаваемого постоянного напряжения (погрешность асимметрии). В результате возрастает погрешность, связанная с переходом от переменного напряжения сигнала к постоянному напряжению, поскольку одному и тому же выходному напряжению термопары, полученному при переменном напряжении сигнала, соответствуют два отличающихся по значению постоянных напряжения различной полярности. В соответствии с регламентом измерений, оговоренном в ГОСТ 8.458, в качестве эквивалентного значения переменного напряжения выбирают полусумму постоянных напряжений различной полярности. При этом в результат измерений вносится погрешность, зависящая от погрешности асимметрии. Метрологические характеристики ухудшаются и из-за того, что коэффициент тепловой передачи (около 3 мВ/мВт) изменяется во времени, а небольшое выходное напряжение термопары (единицы милливольт при типовом сигнале 0,5 В) затрудняет фиксацию момента точного равенства переменного и постоянного напряжений.

Поэтому, прежде чем приступить к созданию новых высочайших приборов переменного напряжения взамен приборов устаревших типов, необходимо было разработать новый термоэлемент с улучшенными характеристиками и новую схему электротеплового преобразования, построенную на его основе. Поставленная задача была решена на базе многочисленных работ, выполненных ранее [3]. Специализированная интегральная микросхема пленочного многоэлементного дифференциального термопреобразователя (типа ДТПС) свободна от основных недостатков элемента ТВБ. Она содержит два идентичных блока многоэлементных термопар, напыленных на одной стороне тонкой (40 мкм) слюдяной подложки. Подогреватель каждого блока напылен на другой стороне подложки и связан со своей термопарой жесткой тепловой связью. В этой конструкции тот же коэффициент тепловой передачи каждого блока (около 3 мВ/мВт) обеспечен при температурном градиенте всего в несколько градусов, а погрешность, связанная с изменением полярности постоянного напряжения сигнала, уменьшена в несколько раз. В результате в несколько раз снижена погрешность перехода от постоянного напряжения к переменному и существенно увеличена устойчивость к сигналам перегрузки.

Дополнительные возможности повышения точности, основанные на идентичности составляющих блоков термопар, реализованы в новой измерительной схеме устройства электротеплового преобразования, построенной по методу взаимных преобразований [2] (рис.1).

В этом устройстве микросхема ДТПС охвачена общей обратной связью с прецизионным дифференциальным усилителем постоянного тока (УПТ). Сигнал переменного тока подается на первый подогреватель, а на второй подогреватель подается постоянное напряжение обратной связи с выхода УПТ. Разность выходных напряжений термопар подводится ко входу УПТ. Благодаря идентичности передаточных характеристик двух термопар и значительному петлевому усилению, среднеквадратический уровень переменного напряжения сигнала первого подогревателя в точности равен постоянному напряжению второго подогревателя. Таким образом, передаточная характеристика устройства линейна, а коэффициент передачи равен единице. Выходное напряжение при типовом уровне сигнала 0,5 В также составляет 0,5 В. Такая значительная величина выходного сигнала достаточна, чтобы с помощью цифрового измерителя постоянного напряжения с высокой точностью определить уровень входного сигнала.

Идентичность термопар обеспечила и повышенную стабильность выходного напряжения устройства, поскольку одинаковые температурные и временные изменения характеристик двух блоков термопар не вызывают изменения выходного напряжения.

Разработанное устройство электротеплового преобразования легло в основу ряда новых измерительных приборов, которые предназначены для замены устаревших отечественных приборов. Многие из них давно выработали свой ресурс и имеют технический уровень, не соответствующий современным требованиям.

Новый ряд включает несколько типов приборов. Три из них (В9-25; В9-14 и В9-27) используются при точном изме-

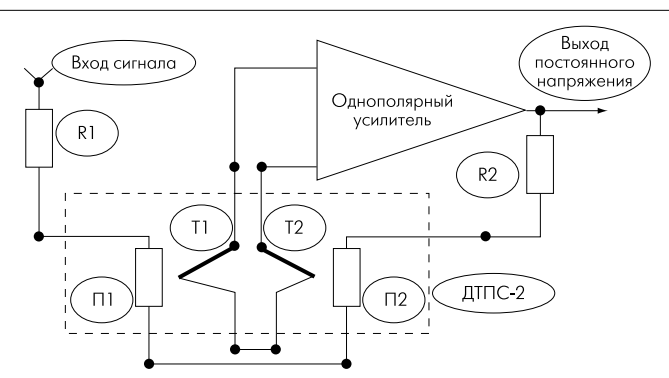


Рис.1. Функциональная схема устройства электротеплового преобразования. П1 и П2 – подогреватели 1-й и 2-й многоэлементных термопар Т1 и Т2 соответственно; R1 – масштабный резистор в цепи входного сигнала; R2 – добавочный резистор в цепи выходного напряжения. Резисторы R1 и R2 определяют номинальный уровень входного сигнала каждого модуля и величину коэффициента преобразования

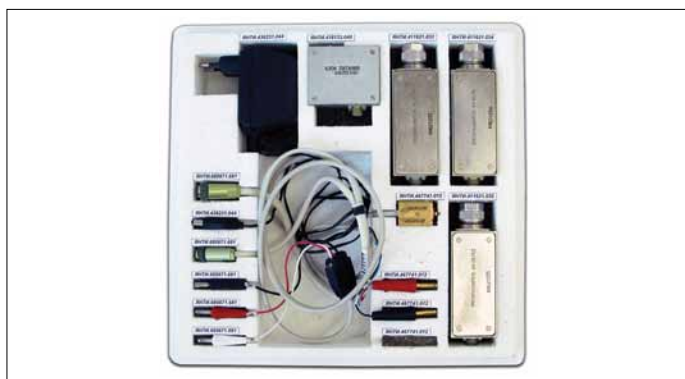


Рис.2. Внешний вид модулей преобразования комплекта B9-25

рении среднеквадратического уровня напряжений гармонических и искаженных сигналов низкой и повышенной частоты. Прибор B9-26 предназначен для точного измерения среднеквадратического уровня гармонических СВЧ-сигналов напряжения. Еще один прибор (B7-83) обеспечивает точное измерение как среднеквадратического уровня гармонических и искаженных сигналов напряжения низкой и повышенной частоты, так и среднеквадратического уровня высокочастотных гармонических сигналов напряжения и мощности. Кроме того, он позволяет измерять уровень радиоимпульсных сигналов напряжения и мощности высокой частоты.

Последний из приборов этого ряда, калибратор напряжений Н5-4, является источником высокостабильного гармонического напряжения переключаемой частоты и предназначен для использования в качестве многозначной меры такого напряжения.

Комплект электротепловых преобразователей напряжения B9-25 [5] содержит три независимых модуля B9-25/0,2; B9-25/2 и B9-25/10 (рис.2, табл.1), рассчитанных на номи-

нальный среднеквадратический уровень сигналов 0,2 В; 2 В и 10 В соответственно. Модули построены по схеме преобразования среднеквадратических значений переменных напряжений сигнала в пропорциональное постоянное напряжение (см. рис.1). Кроме измерительного канала каждый модуль имеет канал калибровки, содержащий опорный источник постоянного напряжения калибровки и схему коммутации. Новый комплект может использоваться взамен модулей устаревшего комплекта преобразователей напряжения ПНТЭ-6А.

Помимо трех модулей преобразования в состав комплекта B9-25 входит модуль промежуточного источника питания, сетевой адаптер и контрольный детектор, используемый при поверке.

В отличие от модулей комплекта ПНТЭ-6А, модули комплекта B9-25 имеют нормированное значение коэффициента преобразования (отношение выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ к входному $U_{\text{вх}}$). Это позволяет использовать их не только для сравнения напряжений номинального уровня, но и для прямого измерения уровня сигнала в широком диапазоне его изменения. Нормированное значение входного сопротивления модулей позволяет учитывать шунтирующее влияние модулей на измерительную цепь.

Комплекты преобразователей B9-25 изготавливаются в трех вариантах (отличающихся по точности в диапазоне частот от 20 Гц до 30 МГц): или как рабочие средства измерения (B9-25 РСИ), или как эталоны 1-го разряда (B9-25 РЭ1), или как эталоны 2-го разряда (B9-25 РЭ2).

Комплекты преобразователей B9-25 РЭ1 и B9-25 РЭ2 при этом подвергаются дополнительной поверке в соответствии с ГОСТ 8.452 [6] в аккредитованных метрологических службах.

Таблица 1. Основные технические характеристики комплекта преобразователей B9-25 РСИ

Наименование характеристики	Значение характеристики для модулей		
	B9-25/0,2	B9-25/2	B9-25/10
Диапазон среднеквадратических напряжений сигналов U_x	От 10 мВ до 0,5 В	От 0,2 до 3, 5 В	От 1 до 10 В
Коэффициент преобразования ($K=U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$)	1	1	0,1
Предел допускаемой основной погрешности коэффициента преобразования	$\pm 0,1\%$ при $0,2 \text{ В} < U_x < 0,5 \text{ В}$; $\pm(0,1-0,15)\%$ при $0,1 \text{ В} < U_x < 0,2 \text{ В}$; $\pm(0,15-18)\%$ при $0,01 \text{ В} < U_x < 0,1 \text{ В}$	$\pm 0,05\%$ при $2 \text{ В} < U_x < 3,5 \text{ В}$; $\pm(0,05-0,1)\%$ при $1 \text{ В} < U_x < 2 \text{ В}$; $(0,1-18)\%$ при $0,1 \text{ В} < U_x < 1 \text{ В}$	$\pm 0,05\%$ при $U_x=10 \text{ В}$; $\pm(0,05-0,1)\%$ при $5 \text{ В} < U_x < 10 \text{ В}$; $\pm(0,1-18)\%$ при $0,5 \text{ В} < U_x < 5 \text{ В}$
Входное сопротивление, Ом	$50 \pm 0,125$	$50 \pm 0,125$	600 ± 3
Диапазон частот сигналов	От 5 Гц до 200 МГц		
Предел допускаемой частотной погрешности преобразования в диапазоне частот f	$\pm 0,5\%$ при $5 \text{ Гц} < f < 10 \text{ Гц}$; $\pm 0,15\%$ при $10 \text{ Гц} < f < 20 \text{ Гц}$; $\pm 0,05\%$ при $20 \text{ Гц} < f < 100 \text{ кГц}$; $\pm 0,1\%$ при $0,1 \text{ МГц} < f < 5 \text{ МГц}$; $\pm 0,15\%$ при $5 \text{ МГц} < f < 10 \text{ МГц}$; $\pm 0,25\%$ при $10 \text{ МГц} < f < 30 \text{ МГц}$; $\pm 0,4\%$ при $30 \text{ МГц} < f < 50 \text{ МГц}$; $\pm 1\%$ при $50 \text{ МГц} < f < 100 \text{ МГц}$; $\pm 5\%$ при $100 \text{ МГц} < f < 200 \text{ МГц}$		
Выходное сопротивление, Ом	Менее 1		
Мощность, потребляемая от сети питания 220В, ВА	Не более 9		
Габариты; масса	каждого блока преобразования – $115 \times 40 \times 30$ мм; 0,3 кг AC-DC адаптера – $60 \times 60 \times 60$ мм; 0,3 кг промежуточного модуля питания – $40 \times 40 \times 20$ мм; 0,3 кг		



Нормы точности для эталонов 1-го и 2-го разряда можно найти в приложении №3 к ГОСТ 8.452.

Более широкий диапазон уровней сигнала (от 0,2 до 1000 В) перекрывает прибор "Комплект преобразователей напряжения В9-14" [7] (рис.3, табл.2), который, помимо модулей преобразования, имеет в своем составе цифровой измерительный блок В9-14-00. Этот блок содержит устройство приема, обработки и индикации выходных напряжений модулей преобразования, а также многозначную меру постоянного напряжения обеих полярностей, используемую при измерениях в качестве эталона для сравнения с сигналом переменного напряжения. При измерениях в ряде случаев стало возможным отказаться от привлечения вспомогательных приборов повышенной точности (цифрового вольтметра и калибратора постоянного напряжения) и повысить уровень автоматизации процесса измерений. Кроме того, модули преобразования комплекта В9-14 отличаются низким потреблением тока из измерительной цепи.

Комплект преобразователей В9-14 содержит 5 независимых модулей одиночных (одноблочных) преобразователей (П1–П5), рассчитанных на номинальные уровни сигналов небольшого уровня 0,5; 1; 3; 10 и 30 В и 5 модулей составных (двухблочных) преобразователей (С1–С5), рассчитанных на номинальные напряжения сигналов повышенного уровня 50; 100; 300; 500 и 1000 В. Модули одиночных преобразователей (П1–П5) построены по той же схеме, что и у преобразователей В9-25 (см. рис.1), но имеют повышенные значения входного сопротивления (номинальное значение входного тока составляет 5 мА для каждого модуля). Это снижает требования к нагрузочной способности источников сигналов, а также уменьшает время тепловых переходных процессов, связанных с включением-выключением сигнала и изменением его уровня. Сохраняя все преимущества модулей комплекта В9-25, модули одиночных преобразователей П1–П5 комплекта В9-14 могут использоваться вместо модулей комплекта ПНТЭ-6А.

Модули составных преобразователей С1–С5 образуются при последовательном включении одного из пяти блоков добавочных резисторов БДР-50, БДР-100; БДР-300; БДР-500 и БДР-1000 (соответственно на напряжения 50; 100; 300; 500 и 1000 В) и модуля электротеплового преобразователя тока П6, содержащего прецизионный усилитель тока и ус-



Рис.3. Комплект преобразователей напряжения В9-14

Таблица 2. Метрологические характеристики комплекта преобразователей напряжения В9-14 – эталонов 1-го разряда

Наименование характеристики	Численное значение характеристики
Номинальные значения U_n поддиапазонов преобразования, В	0,5; 1; 3; 10; 30; 50; 100; 300; 1000
Диапазон частот	от 10 Гц до 200 МГц при $U_n = 0,5; 1; 3$ В; от 10 Гц до 30 МГц при $U_n = 10$ и 30 В; от 10 Гц до 100 кГц при $U_n = 50; 100; 300; 500$ и 1000 В
Входное сопротивление, не менее	200 Ом/В при $U_n = 0,5; 1; 3; 10; 30$ В; 1,4 кОм/В при $U_n = 50; 100; 300; 500; 1000$ В
Пределы допускаемой погрешности преобразования напряжений для сигналов нормальной области частот 0,02–20 кГц	$\pm 0,01$ %
Пределы допускаемой погрешности преобразования напряжений для сигналов расширенных областей частот ΔF	$\pm 0,15$ % для $\Delta F = 10\text{--}20$ Гц при $U_n = 0,5; 1; 3; 10; 30; 50; 100; 300; 500; 1000$ В. $\pm 0,01$ % для $\Delta F = 20$ кГц – 0,1 МГц при $U_n = 0,5; 1; 3; 10; 30; 50; 100$ В. $\pm 0,01$ % для $\Delta F = 20$ кГц – 0,05 МГц при $U_n = 300$ В. $\pm 0,02$ % для $\Delta F = 20$ кГц – 0,05 МГц при $U_n = 500$ В. $\pm 0,03$ % для $\Delta F = 20$ кГц – 0,1 МГц при $U_n = 500$ В. $\pm 0,02$ % для $\Delta F = 20$ кГц – 0,05 МГц при $U_n = 1000$ В. $\pm 0,05$ % для $\Delta F = 20$ кГц – 0,1 МГц при $U_n = 1000$ В. $\pm 0,03$ % для $\Delta F = 20$ кГц – 1 МГц при $U_n = 0,5; 1; 3; 10; 30$ В. $\pm 0,1$ % для $\Delta F = 20$ кГц – 10 МГц при $U_n = 0,5; 1; 3; 10; 30$ В. $\pm 0,15$ % для $\Delta F = 20$ кГц – 30 МГц при $U_n = 0,5; 1; 3; 10; 30$ В. $\pm 1,5$ % для $\Delta F = 20$ кГц – 100 МГц при $U_n = 0,5; 1; 3$ В. ± 5 % для $\Delta F = 20$ кГц – 200 МГц при $U_n = 0,5; 1; 3$ В.
Характеристики встроенного в измерительный блок В9-14-00 генератора-калибратора	Калиброванное напряжение от –30 В до 30 В с минимальной дискретностью 0,001. Пределы допускаемой погрешности номинальных уровней напряжения $\pm 0,003$ %
Характеристики встроенного в измерительный блок В9-14-00 цифрового вольтметра	Диапазон индицируемых напряжений от 10 мВ до 1000 В с минимальной дискретностью отсчета 10 мкВ. Погрешность отсчета 0,0002–0,001%

тройство электротеплового преобразования, выполненного по схеме рис.1. Каждый из блоков БДР представляет собой безреактивный составной многоэлементный резистор, выполненный с применением безвыводных чип-резисторов, заключенных в коаксиальную конструкцию. Блоки БДР обеспечивают преобразование напряжения сигнала в пропорциональное значение тока.

Встроенный в блок П6 прецизионный усилитель тока позволил в несколько раз снизить ток, потребляемый составными преобразователями из измерительной цепи сигнала, и в 4–5 раз уменьшить мощность, рассеиваемую на составных резисторах блоков БДР. Следствием такого уменьшения явилась сниженная частотная погрешность составного резистора БДР и уменьшенное время переходных тепловых процессов.

Модули составных преобразователей С1–С5 могут использоваться взамен модулей комплекта ПНТЭ-12.

Как и модули комплекта В9-25, модули комплекта В9-14 изготавливаются в трех вариантах (В9-14 РСИ; В9-14 РЭ1; В9-14 РЭ2).

Наряду с поставкой прибора В9-14 в полном варианте, содержащем одиночные и составные преобразователи, а также

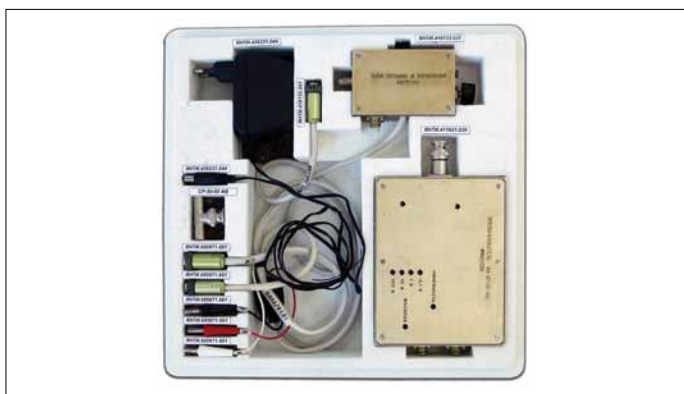


Рис.4. Внешний вид преобразователя напряжения В9-27 в укладочном ящике. Вместе с блоком преобразования поставляется модуль сетевого адаптера, а также промежуточный модуль питания

блок индикации В9-14, предусмотрены также варианты поставки только одиночных модулей (на диапазон 0,5–30 В) или только составных модулей (на диапазон 50–1000 В).

В отличие от приборов В9-25 и В9-14, модули которых в случае значительного изменения уровня сигнала требуют отключения от измерительной цепи и замены на модули, рассчитанные на другое номинальное значение сигнала, преобразователь напряжения В9-27 [8] (рис.4, табл.3)

Таблица 3. Основные технические характеристики преобразователя напряжения В9-27

Наименование характеристики	Значение характеристики
Нижний и верхний пределы поддиапазонов преобразования и номинальные напряжения сигнала U_n	От 0,01 до 0,15 В на поддиапазоне №1 ($U_n=0,1$ В); от 0,1 до 1,5 В на поддиапазоне №2 ($U_n=1$ В); от 1 до 15 В на поддиапазоне №3 ($U_n=10$ В); от 10 до 150 В на поддиапазоне №4 ($U_n=100$ В)
Диапазон среднеквадратических напряжений преобразуемых сигналов U_x на поддиапазонах №1, №2, №3, №4, В	От 0,01 до 150
Коэффициент преобразования на поддиапазонах	1 на поддиапазоне №1; 0,1 на поддиапазоне №2; 0,01 на поддиапазоне №3; 0,001 на поддиапазоне №4
Предел допускаемой основной погрешности коэффициента преобразования в диапазоне частот от 20 Гц до 100 кГц	$\pm 0,3\%$ при $1 < U_x/U_n < 1,5$ $\pm 0,3\% [1 + (U_x/U_n - 1)]$ при $0,1 < U_x/U_n < 1$
Диапазон частот входных сигналов	От 5 Гц до 20 МГц
Предел допускаемой частотной погрешности преобразования в диапазоне частот	$\pm 0,5\%$ в диапазоне от 5 Гц до 1 МГц $\pm 1\%$ в диапазоне от 1 до 3 МГц $\pm 2\%$ в диапазоне от 3 до 5 МГц $\pm 3\%$ в диапазоне от 5 до 10 МГц $\pm 5\%$ в диапазоне от 10 до 20 МГц
Входное сопротивление и емкость	1 МОм; 20–30 пФ
Выходное сопротивление, Ом	Менее 1
Потребляемая от сети питания 220В мощность, ВА	9
Масса, кг	Блока преобразования – 0,3; АС-DC адаптера – 0,3; промежуточного модуля питания – 0,3
Габариты, мм	Блока преобразования – 120×120×20; АС-DC адаптера – 60×60×60; промежуточного модуля питания – 40×40×20

не требует подобной замены, поскольку содержит встроенное переключаемое масштабное устройство и перекрывает очень широкий диапазон уровней сигналов. Благодаря этому экономится время на выполнение измерений.

Измерительный канал преобразователя имеет нормированный коэффициент передачи, обладает высоким входным импедансом и построен по традиционной для широкополосных вольтметров схеме, содержащей электронный масштабный усилитель с переключаемым коэффициентом усиления, а также устройство электротеплового преобразования (см. рис.1). Значения коэффициента усиления усилителя могут выбираться оператором, а его вход защищен от перегрузок специальной схемой. Преобразователь В9-27 используется вместе с внешним цифровым вольтметром постоянного напряжения для измерения переменных напряжений в диапазоне частот от 5 Гц до 20 МГц при уровнях сигнала от 10 мВ до 150 В.

Хотя точность преобразователя В9-27 снижена из-за дополнительных погрешностей, вносимых широкополосным масштабным усилителем, все же она остается довольно высокой (см. табл.3). Это позволяет использовать В9-27 не только в качестве рабочего средства измерений, но и в качестве рабочего эталона при поверке широкого класса других видов рабочих средств измерения.

Следует особо подчеркнуть, что, как и все электротепловые преобразователи, приборы В9-25, В9-27 и В9-14 сохраняют высокую точность измерений не только при гармонических, но и искаженных сигналах. Поэтому, если частота сигнала не выходит за пределы установленного частотного диапазона, то их использование является предпочтительным. При частоте сигнала, превышающей несколько десятков мегагерц, точность преобразователей В9-25, В9-14 и В9-27 может оказаться недостаточной, особенно если речь идет о поверке высокочастотных приборов.

Так как применяемые в РФ высокочастотные вольтметры (ВЗ-49, ВЗ-63, ВЗ-36, ВЗ-43, ВЗ-52, ВЗ-62 и др.) охватывают диапазон частот до 1500 МГц, то преобразователи В9-25, В9-14 и В9-27 не могут использоваться для поверки таких вольтметров во всем диапазоне частот.

Традиционно для поверки высокочастотных вольтметров использовались аттестованные в качестве рабочих эталонов диодные компенсационные вольтметры (ВЗ-63 Э и ВЗ-49 Э), однако они давно не выпускаются. В ограниченном диапазоне уровней сигналов (до 3 В) поверка обеспечивалась также установкой для поверки высокочастотных вольтметров В1-15, однако и она снята с производства.

Задачу поверки высокочастотных вольтметров в диапазоне частот и напряжений от 10 кГц до 1000 МГц и от 0,1 В до 10 В соответственно решает преобразователь напряжения В9-26 [9] (рис.5, табл.4). Он обеспечивает линейное преобразование среднеквадратического уровня гармоническо-



Рис.5. Внешний вид преобразователя напряжения В9-26 в укладочном ящике. Вместе с блоком преобразования В9-26/10 поставляется модуль сетевого АС-DC адаптера, промежуточный модуль питания, а также контрольный детектор, используемый при поверке

Таблица 4. Основные технические характеристики преобразователя напряжения В9-26

Наименование характеристики	Значение характеристики
Диапазон среднеквадратических напряжений преобразуемых гармонических сигналов $U_{вх}$, В	От 0,1 до 10
Номинальный коэффициент преобразования ($K=U_{вых}/U_{вх}$)	1
Предел допускаемой основной погрешности коэффициента преобразования в диапазоне частот до 10 МГц	$\pm[0,2\%+2\text{ мВ}/U_{вх}]$
Диапазон частот f входных сигналов	От 10 кГц до 1000 МГц
Предел допускаемой частотной погрешности преобразования в диапазоне частот $f > f_{10} = 10$ МГц	$\delta_f = \pm [0,08 (f/f_{10} - 1)]\%$
Активное входное сопротивление	От 100 кОм до 1 МОм
Выходное сопротивление, Ом	Менее 1
Потребляемая от сети питания 220 В мощность, ВА	9
Масса, кг	Блока преобразования – 0,3; АС-DC адаптера – 0,3; промежуточного модуля питания – 0,3
Габариты, мм	Каждого блока преобразования – 120×120×30; АС-DC адаптера – 60×60×60; промежуточного модуля питания – 40×40×20

го сигнала в постоянное напряжение и применяется вместе с внешним цифровым вольтметром постоянного напряжения. В электрической схеме преобразователя В9-26 используется двухканальный амплитудный детектор, построенный на диодах Шоттки [3, 10]. Преобразователь выполнен в специальной конструкции, которая при поверке обеспечивает подключение пробника поверяемого вольтметра в ту же точку измерительного тракта, в которую подключен двухканальный амплитудный детектор. Это исключает ошибку измерений, обусловленную наличием стоячих волн в измерительном тракте передачи СВЧ-сигналов. Двухканальный амплитудный детектор обеспечивает высокую линейность передаточной характеристики и стабильность коэффициента преобразования в течение времени и в условиях действия климатических факторов окружающей среды. Малая погрешность преобразования

сигналов высокой частоты обусловлена отличными частотными свойствами и малыми реактивностями примененных диодов Шоттки, а также широкополосной полосковой конструкцией устройства преобразования. Сохранению долговременной стабильности характеристик способствует встроенный в блок промежуточного модуля питания источник высокостабильного переменного напряжения калиброванного уровня, используемого при подготовке прибора к измерениям.

Вольтметр универсальный высокочастотный В7-83 [11] (рис.6, табл.5) совмещает в себе достоинства вольтметров, обладающих предельно широкой полосой пропускания, что свойственно вольтметрам с диодными детекторами, и достоинства вольтметров, не чувствительных к искажениям гармонического сигнала, что свойственно вольтметрам с электротепловыми преобразователями. В отличие от преобразователей В9-25, В9-26, В9-27, вольтметр В7-83 позволяет проводить прямое измерение уровня переменных напряжений, не привлекая для этих целей вспомогательные средства измерения. Разработанный взамен диодных компенсационных вольтметров В3-63 и В3-49, он обладает повышенной точностью (пределы допускаемой основной погрешности $\pm 0,2\%$) и обеспечивает поверку средств измерения напряжения в диапазоне частот от 5 Гц до 1500 МГц, перекрывая диапазон уровней сигнала от 10 мВ до 100 В.

Высокая стабильность характеристик позволяет проводить аттестацию рабочего средства измерения (вольтметра В7-83 РСИ) в качестве высокочастотного вольтметра – рабочего эталона 1-го или 2-го разряда (В7-83 РЭН). Для него можно нормировать уменьшенную погрешность (пределы допускаемой основной погрешности $\pm 0,05\%$), а также повышенную точность измерения высокочастотных напряжений за счет использования индивидуальных частотных коэффициентов, определяемых при аттестации.

Сигналы низких и повышенных частот (от 5 Гц до 20 МГц), имеющие среднеквадратический уровень от 10 мВ до 150 В, подаются на вход первого измерительного тракта вольтметра (канал №1), снабженного масштабным усилителем с переключаемыми пределами и устройством электротеплового преобразования (см. рис.1), встроенными в измерительный блок вольтметра БИ В7-83.



Рис.6. Вольтметр универсальный высокочастотный В7-83

Таблица 5. Основные технические характеристики вольтметра высокочастотного В7-83 — эталона 1-го разряда

Наименование характеристики	Численное значение характеристики для измерительных каналов		
	Канал №1	Канал №2	Канал №3
Диапазон уровней U_x сигналов напряжения	От 10 мВ до 150 В на пределах $U_n = 0,1; 1; 10; 100$ В	От 10 мВ до 10 В на пределах $U_n = 1В; 10 В$	От 1В до 100 В на пределах $U_n = 10 В; 100 В$
Диапазон частот	От 5 Гц до 20 МГц	От 10 кГц до 1500 МГц	От 10 кГц до 1000 МГц
Нормальная область частот	От 20 Гц до 20 кГц	От 10 кГц до 10 МГц	От 10 кГц до 10 МГц
Пределы допускаемой основной погрешности измерения уровня напряжений U_x в нормальной области частот	$\pm 0,05$ % при $U_n < U_x < 1,5U_n$; $\pm (0,05-0,06)$ % при $0,3U_n < U_x < 1U_n$; $\pm (0,5-1,5)$ % при $0,1U_n < U_x < 0,3U_n$	$\pm (0,05-0,06)$ % при $0,3U_n < U_x < 1U_n$; $\pm (0,1-0,3)$ % при $0,3U_n < U_x < 1U_n$; $\pm (0,45-1,5)$ % при $0,01 В < U_x < 0,1 В$	$\pm (0,05-0,06)$ % при $0,3U_n < U_x < 1U_n$; $\pm (0,1-0,3)$ % при $0,3U_n < U_x < 1U_n$
Пределы допускаемой погрешности измерения уровня напряжений в расширенных областях частот	От $\pm 0,5$ % до ± 5 % в диапазоне частот от 5 Гц до 20 Гц и от 0,1 до 20 МГц	От $\pm 0,2$ % до ± 3 % в диапазоне частот от 10 МГц до 1500 МГц	От $\pm 0,2$ до ± 3 % в диапазоне частот от 10 МГц до 1000 МГц
Диапазон уровней P_x сигналов мощности, проходящей в согласованном 50-омном коаксиальном тракте	Не нормируется	От 0,2 мВт до 2 Вт на пределах $P_n = 20$ мВт; 2 Вт	От 20 мВт до 50 Вт на пределах $P_n = 2$ Вт; 200 Вт
Пределы допускаемой погрешности измерения непрерывной мощности, проходящей в согласованном 50-омном коаксиальном тракте	Не нормируется	± 5 % при частотах до 300 МГц; ± 10 % при частотах от 300 до 500 МГц, ± 15 % при частотах от 500 до 700 МГц, ± 25 % при частотах от 700 до 1000 МГц	± 5 % при частотах до 300 МГц; ± 10 % при частотах от 300 до 500 МГц, ± 15 % при частотах от 500 до 700 МГц, ± 25 % при частотах от 700 до 1000 МГц
Диапазон уровней импульсно-модулированных сигналов напряжения	Не нормируется	от 1 В до 10 В на пределах $U_n = 1В; 10В$	Не нормируется
Диапазон уровней импульсно-модулированных сигналов мощности	Не нормируется	От 20 мВт до 2 Вт на пределах $P_n = 20$ мВт; 2 Вт	Не нормируется
Диапазон несущих частот импульсно-модулированных сигналов, МГц	Не нормируется	От 1 до 1500	Не нормируется
Диапазон частот следования импульсно-модулированных сигналов	Не нормируется	От 10 кГц до 100 МГц	Не нормируется
Диапазон скважностей Q импульсно-модулированных сигналов	Не нормируется	От 1 до 1000	Не нормируется
Диапазон длительностей радиоимпульсов	Не нормируется	От 100 нс до 100 мкс	Не нормируется
Пределы допускаемой погрешности измерения напряжений при переходе от непрерывного сигнала к импульсно-модулированному	Не нормируется	± 2 % при $Q=1-100$; ± 4 % при $Q=1-1000$	Не нормируется
КСВН входа	Не нормируется	От 1,1 до 1,8 в диапазоне частот до 1500 МГц	От 1,1 до 1,3 в диапазоне частот до 1000 МГц
Входное сопротивление и емкость	Более 1 МОм; менее 12 пФ	От 0,5 до 3 МОм, менее 2,5 пФ	От 0,5 до 3 МОм; менее 2,5 пФ
Вид интерфейса связи	КОП ГОСТ 26.003-80		
Габариты измерительного блока В7-83, мм	220×90×245		
Масса измерительного блока В7-83, кг	Менее 2,5		
Характеристики встроенного генератора-калибратора	Напряжение от 1 мВ до 10 В с дискретностью 1 мВ, частота (9–11) кГц		

Высокочастотные сигналы (частота от 10 кГц до 1500 МГц) большого уровня (от 10 мВ до 10 В) подаются на вход второго измерительного тракта вольтметра (канал №2), образованного выносным пробником П1, использующим двухканальный амплитудный преобразователь на диодах Шоттки [5, 6, 7]. Схема измерительного тракта №2 во многом аналогична схеме, используемой в преобразователе В9-26. Высокочастотные сигналы большого уровня (частота от 10 кГц до 1000 МГц, а уровень от 1 до 100 В) подаются на вход третьего измерительного тракта (канал №3). Он образован выносным пробником П2, использующим одноканальный амплитудный преобразователь на диодах Шоттки.

Когда вольтметр В7-83 применяется для проверки высокочастотных вольтметров, снабженных пробниками, то исполь-

зуются измерительные каналы №1 и №2, при этом пробник поверяемого вольтметра и пробник вольтметра В7-83 (П1 или П2) подключаются к измерительному тракту сигнала через специальный коаксиальный тройниковый соединитель С1, который поставляется вместе с прибором.

Калибратор высокочастотных напряжений Н5-4 [12] (рис.7, табл.6) является источником высокостабильного гармонического напряжения повышенного уровня изменяемой частоты, уровень которого может дискретно изменяться в широких пределах и плавно подстраиваться. Основным назначением прибора является использование при проверке средств измерения.

Достоинством этого калибратора, позволяющим повысить производительность поверочных работ, является подде-



Рис.7. Калибратор напряжений высокочастотный Н5-4

ржание с высокой точностью заданного уровня сигнала в условиях изменения частоты, величины нагрузки, а также других влияющих факторов.

В эксплуатации поверочных служб находятся отечественные калибраторы В1-9; В1-20; В1-27; В1-28; Н4-6; Н4-7; В1-16; В1-29; Н5-3, а также многочисленные зарубежные калибраторы таких известных фирм, как Fluke, Datron, Agilent Technology и других. Однако частотный диапазон большинства калибраторов переменного напряжения ограничен частотой 100 кГц, а высокочастотные калибраторы, работающие в диапазоне до 50–100 МГц (В1-16, В1-29; Н5-3), имеют ограниченный максимальный выходной уровень сигнала (3–3,5 В), недостаточный для комплексной проверки приборов этого диапазона частот. При этом погрешность выходного уровня калибраторов, работающих в диапазоне частот до 100 кГц, составляет $\pm(0,002–0,05)\%$, а работающих в диапазоне частот до 100 МГц составляет $\pm(0,1–1)\%$. Калибратор Н5-4 работает в диапазоне частот от 0,1 до 50 МГц и обеспечивает выдачу высокостабильного переменного напряжения точно заданного и плавно регулируемого уровня в диапазоне значений от 0,166 до 30 В при токе нагрузки до 20 мА. Предусмотрен также режим работы калибратора в режиме усиления и стабилизации уровня внешнего задающего генератора, подаваемого на разъем "Вход" измерительного блока.

Калибратор построен по схеме перестраиваемого по уровню и частоте генератора, содержащего встроенную следящую систему автоматического регулирования уровня выходного напряжения, в которой используется электротепловой преобразователь (см. рис.1).

Новые приборы повышенной точности найдут широкое применение, как в качестве рабочих эталонов, применяемых для проверки средств измерений, так и в качестве рабочих средств измерения, применяемых для контроля метрологических характеристик радиоаппаратуры и каналов связи, а также параметров компонентной базы электроники.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ15094-86 Средства измерений электронные. Наименования и обозначения.

Таблица 6. Основные технические характеристики калибратора Н5-41

Наименование характеристики	Значение характеристики	
	В режиме №1, работа от внутреннего задающего генератора	В режиме №2, работа от внешнего задающего генератора
Нижний и верхний пределы диапазона частот сигнала, МГц	0,1–50	0,1–30
Частоты сигнала, МГц	0,1; 0,2; 0,5; 1; 3; 5; 10; 15; 20; 30; 50	В соответствии с частотой генератора
Нижний и верхний пределы диапазона среднеквадратических уровней напряжения основного выхода, В	5–30	5–20
Напряжения основного выхода, В	5; 10; 15; 20; 25; 30	5; 10; 15; 20
Номинальный коэффициент ослабления N сигнала при использовании придаваемых делителей	N1 = 10; N2 = 30	N1 = 10; N2 = 30
Нижний и верхний пределы диапазона среднеквадратических уровней напряжения при использовании придаваемых делителей, В	$\frac{5}{N} \div \frac{30}{N}$	$\frac{5}{N} \div \frac{30}{N}$
Предел допускаемой основной погрешности основного выхода калибратора на опорной частоте, %	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$
Предел допускаемой основной погрешности делителей напряжения, %	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$
Изменение выходного напряжения основного выхода при изменении частоты, %	$\pm 0,1$ до 10 МГц; $\pm 0,3$ до 50 МГц	$\pm 0,1$ до 10 МГц; $\pm 0,3$ до 30 МГц
Изменение выходного напряжения при работе с придаваемыми делителями при изменении частоты, %	$\pm 0,2$ до 10 МГц; $\pm 0,5$ до 50 МГц	$\pm 0,2$ до 10 МГц; $\pm 0,5$ до 30 МГц
Уровень гармонических искажений по 2-й и 3-й гармоникам, дБ	-30 до 10 МГц; -25 до 50 МГц	-25 до 10 МГц; -20 до 30 МГц
Допустимая активная нагрузка, кОм	0,5–1,5	
Допустимая емкость нагрузки, пФ	10	
Потребляемая от сети питания 220В мощность, ВА	80	
Масса прибора, кг	5	
Габариты, мм	155×135×315	
Условия эксплуатации	Группа 2 ГОСТ 22261-94	

2. Волгин Л.И. Измерительные преобразователи переменного напряжения в постоянное. — М.: Радио и связь, 1977.

3. Грязнов М.И., Гуревич М.Л., Рябинин Ю.А. Измерение параметров импульсов. — М.: Радио и связь, 1991.

4. Гуревич М.Л. Некоторые особенности схемно-конструктивного построения термоэлектри-

ческих компараторов напряжения комплекта В9-14. – Радиоизмерения и электроника, 2008, №14.

5. **Гуревич М.Л.** Комплект измерительных преобразователей напряжения В9-25 – Радиоизмерения и электроника, 2008, №12.

6. ГОСТ 8.458-82. Преобразователи и компараторы термоэлектрические образцовые. Методы и средства поверки.

7. **Гуревич М.Л., Чермохин А.В.** Комплект электротепловых преобразователей В9-14 для высокоточного измерения сигналов переменного напряжения низких и высоких частот. – Радиоизмерения и электроника, 2008, №13.

8. **Гуревич М.Л.** Измерительный преобразователь напряжения В9-27 – Радиоизмерения и

электроника, 2008, №12.

9. **Гуревич М.Л.** Измерительный преобразователь напряжения В9-26 – Радиоизмерения и электроника, 2008, №12.

10. **Гуревич М.Л.** Двухканальный метод измерения ВЧ гармонических напряжений. – Петербургский журнал электроники, 2004, №2.

11. **Гуревич М.Л., Чермохин А.В.** Новый высокочастотный цифровой вольтметр В7-83 для точного измерения напряжения и мощности непрерывных и импульсно-модулированных сигналов. – Радиоизмерения и электроника, 2008, №13.

12. **Гуревич М.Л., Горшков А.В.** Калибратор напряжений высокочастотный Н5-4. – Радиоизмерения и электроника, 2008, №13.

Новый анализатор сигналов эконом-класса для базовых ВЧ-измерений компании Agilent Technologies



Agilent Technologies выпустила новое семейство анализаторов сигналов эконом-класса N9000A серии CXA, в которое входят две модели на диапазон до 7,5 ГГц. Новые анализаторы обеспечивают исключительную гибкость благодаря целому ряду встроенных и опциональных измерительных возможностей, которые можно настраивать в соответствии с требованиями заказчика. Анализаторы перспективны для применения в электронной промышленности, в учебных целях в технических вузах, при проведении исследований и разработок.

Анализаторы серии CXA позволяют выполнения разнообразных одноклавишных измерения. В анализаторах доступны такие широко известные приложения, как измерение коэффициента шума, фазового шума, аналоговая демодуляция и многое другое. Все приложения для анализаторов серии CXA идентичны приложениям, работающим на анализаторах сигналов компании Agilent серий EXA, MXA и PXA. Они поддерживают программное обеспечение компании 89600 (VSA), предназначенное для векторного анализа сигналов, что позволяет анализировать сигналы с более 50 видами модуляции.

При использовании на производстве анализатор функционирует на 200% быстрее, чем любой другой прибор эконом-класса. Например, он выполняет поиск максимума менее чем за 5 мс, проводит настройку, измерение и передачу данных по каналу GPIB менее чем за 12 мс (интерфейсы LAN и USB 2.0 также включены). Вре-

мя переключения между режимами обычно занимает менее 75 мс.

Анализаторы сигналов серии CXA эконом-класса отличаются отличные рабочие характеристики, такие как:

- абсолютная погрешность измерения уровня составляет $\pm 0,5$ дБ;
- уровень точки пересечения третьего порядка (TOI) – 13 дБмВт;
- средний уровень собственного шума (DANL) – -157 дБм;
- динамический диапазон измерения относительной мощности в соседнем канале (ACLR) системы WCDMA – 65 дБн;
- частотный диапазон – от 9 кГц до 3,0 ГГц или 7,5 ГГц для моделей N9000A-503 или N9000A-507 соответственно.

Как опция, доступно ПО для анализа данных MATLAB, которое можно заказать вместе с прибором непосредственно у компании Agilent для всех анализаторов сигналов X-серии. Программные пакеты позволят пользователям создавать специфические измерительные схемы, разрабатывать собственные приложения с использованием реальных данных, получаемых анализатором сигналов. Анализаторы сигналов серий CXA и PXA – первые, которые можно заказать вместе с ПО MATLAB с момента их выхода.

Более подробную информацию по анализаторам сигналов серии CXA можно найти на сайте www.agilent.com/find/CXA.