

УДК 621.317.353:389.1

НОВЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕРВИЧНЫЙ ЭТАЛОН ЕДИНИЦЫ КОЭФФИЦИЕНТА АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Ю.Ф. Павленко, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ННЦ “Институт метрологии”, г. Харьков

В.Д. Красовский, ведущий научный сотрудник ННЦ “Институт метрологии”, г. Харьков

С.А. Бурдовицын, младший научный сотрудник ННЦ “Институт метрологии”, г. Харьков

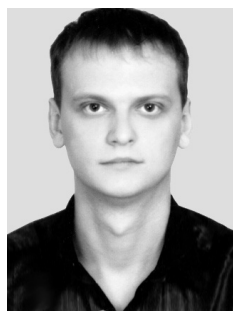
В.И. Огарь, кандидат технических наук, доцент Харьковского национального университета радиоэлектроники



Ю.Ф. Павленко



В.Д. Красовский



С.А. Бурдовицын



В.И. Огарь

Рассматриваются структура и метрологические характеристики усовершенствованного первичного эталона единицы коэффициента амплитудной модуляции. Приводятся описания модифицированных и обновленных приборов эталона, новых методических решений.

The structure and metrological characteristics of a new improved primary measurement standard for the unit of the peak modulation coefficient are considered. The descriptions of the modified and updated devices of the measurement standard as well as new systematic decisions are given.

Введение

Основным информативным параметром электрических сигналов, которые применяются при передаче информации методом амплитудной модуляции (АМ) радиосигналов (телевидение, радиовещание, радиосвязь и другие радиотехнические системы), является коэффициент амплитудной модуляции (КАМ). Основными средствами измерительной техники в этой области являются генераторы сигналов (группа Г4), которые генерируют сигналы с нормированным значением КАМ, а также измерители коэффициента амплитудной модуляции и комбинированные измерители модуляции (группы С2, СК3). В стране их насчитываются тысячи единиц отечественного и зарубежного производства.

Диапазон измерений КАМ находится в пределах от десятых долей до 100 процентов. Основной диапазон частот несущей, в котором необходимо наиболее точно измерять КАМ, лежит в пределах

от 0,01 до 500 МГц. Требования к точности измерений КАМ зависят от частот модуляции, несущей и значения КАМ.

Для обеспечения единства измерений КАМ в ННЦ “Институт метрологии” были созданы государственный первичный эталон (ГПЭ) единицы коэффициента амплитудной модуляции ВЧ-колебаний и поверочная схема. Эталон был утвержден как государственный с шифром ДЕТУ 09-02-96 в 1996 г., поверочная схема – ДСТУ 3393-96 [1].

С начала его эксплуатации прошло 17 лет. Все эти годы эталон успешно работал и подтвердил правильность заложенных в нем принципов работы. На нем осуществлялось порядка 10 поверок и калибровок рабочих и вторичных эталонов в год. Эталон успешно прошел процедуру международных сличений.

Однако управляющая вычислительная система эталона, созданная на базе персональной электронно-вычислительной машины “Нейрон И9-66”, практически пришла в негодность, морально и физически устарела. Поэтому вся работа с эталоном велась в ручном режиме, который довольно сложен и создавал возможность появления субъективных ошибок из-за необходимости коммутации множества элементов. Кроме того, физически устарел ряд узлов и блоков, что приводило к нестабильности работы эталона, необходимости дополнительных регулировок, более частого контроля работоспособности. Так возникла необходимость усовершенствования эталона, модернизации либо замены ряда узлов

и блоков. Эта работа была начата в 2008 г. в рамках Государственной программы развития эталонной базы Украины на 2006–2010 гг. Завершение работы вошло в аналогичную Программу на 2011–2016 гг.

Основными целями работы, таким образом, были модификация и обновление ряда узлов и приборов эталона, дополнение некоторыми новыми методическими решениями, разработка новой управляющей вычислительной системы на базе современного персонального компьютера (ПК). В статье приведены основные результаты этой работы. Более подробно с ними можно ознакомиться в [2–4].

1. Общие сведения о синусоидальных АМ-сигналах

Для начала заметим, что исторически первичный и рабочие эталоны построены как высокоточные генераторы АМ-сигналов с коммутацией номинальных значений КАМ, параметров модуляции и несущей, а передача размера единицы осуществляется методом компарирования [5]. Такое построение обусловлено тем, что при условии одинаковой точности создавать аппаратуру для измерения КАМ существенно сложнее, чем генератор с нормированными параметрами. А к измерителям КАМ, которые осуществляют компарирование, требование по точности может быть существенно снижено из-за практически полной компенсации систематической составляющей погрешности.

Идеализированную математическую модель радиосигнала с АМ для синусоидальных напряжений несущей и модуляции, применяемых при эталонных измерениях КАМ, можно представить в следующем виде:

$$U(t) = U_0(1 + M\sin\Omega t)\sin\omega t, \quad (1)$$

где U_0 – амплитуда сигнала несущей частоты; M – коэффициент амплитудной модуляции; Ω – круговая частота модуляции; ω – круговая частота несущей.

По определению коэффициент амплитудной модуляции $M = U_M/U_0$, где U_M – амплитуда огибающей сигнала модуляции. Для простоты рассмотрения начальные фазы не приведены. При этом выражение (1) можно преобразовать к виду

$$U(t) = U_0\sin\omega t + U_M\sin\Omega t\sin\omega t. \quad (2)$$

Из (2) вытекает, что при формировании АМ-сигнала необходимо осуществить перемножение синусоидальных сигналов модуляции и несущей. При этом в балансном модуляторе происходит образование сигналов $U_H(t) = 0,5U_M\cos(\omega - \Omega)t$ и $U_B(t) = 0,5U_M\cos(\omega + \Omega)t$, известных как нижняя и верхняя боковые составляющие, и глубокое подавление входных сигналов, а именно, несущей и модуляции. И в заключение нужно просуммировать сигналы боковых и несущей $U_0\sin\omega t$ для ее восстановления. На рис. 1 приведена иллюстрация мгновенного значения АМ-сигнала. Левая часть отображает отсутствие модуляции ($M = 0$), правая – синусоидальную модуляцию с $M = 1$ (100 %).

Если теперь перед балансным модулятором (перемножителем) включить прецизионный делитель сигнала модуляции, то его коэффициент деления будет определять значение КАМ. Именно этот алгоритм был заложен в процесс формирования АМ-сигнала эталона.

2. Принцип действия эталона

Генерация АМ-сигнала

Практическая реализация этого алгоритма потребовала учета некоторых нюансов. Так, коэффициент передачи перемножителя никогда не равен строго единице, его значение станет множителем U_M в выражении (2). Другими словами, значение КАМ

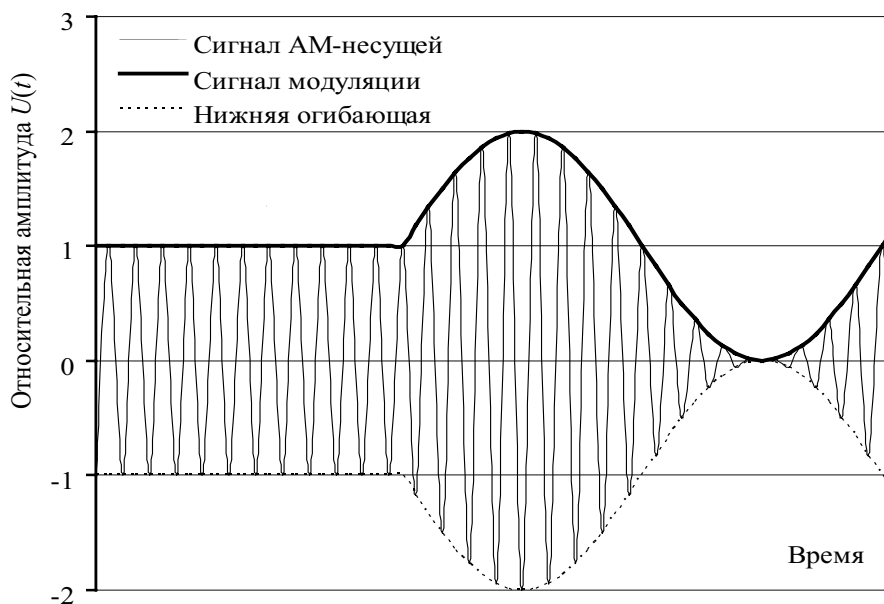


Рис. 1. Иллюстрация мгновенного значения АМ-сигнала

отличается от нормированного, что требует подстройки напряжения модуляции. Критерием этой регулировки является уменьшение до нуля сигнала несущей в точке фазового значения модуляции 270° при $M = 100\%$ (см. рис. 1), то есть касание в этой точке верхней и нижней огибающих. Визуальный контроль процесса очень эффективен при использовании осциллографического индикатора, когда для точной установки $M = 100\%$ производится увеличение чувствительности осциллографа.

Отметим, что высокочастотный сигнал несущей с нормированными значениями 4, 10 и 25 МГц поступает на сумматор для ее восстановления и при этом проходит по разным цепям – через множитель и напрямую. А в множителе присутствуют заметные реактивности, которые приводят к появлению фазового сдвига $\Delta\varphi$. В результате выражение (2) примет вид

$$U(t) = U_0 \sin(\omega t + \Delta\varphi) + U_M \sin\Omega t \sin\omega t.$$

В результате несложных преобразований получим следующее выражение:

$$U(t) = U_0 \sin\omega t \cos\Delta\varphi + U_0 \cos\omega t \sin\Delta\varphi + U_M \sin\Omega t \sin\omega t,$$

из которого следует, что этот фазовый сдвиг приводит к искажениям амплитудных и фазовых соотношений между несущей и боковыми составляющими. Эти искажения являются одной из составляющих неисключенной систематической погрешности эталона из-за уменьшения точности установки значения $M = 100\%$ и увеличения индекса паразитной фазовой модуляции. Для устранения этого явления в формирователь эталона были введены устройства управляемой коррекции фазового сдвига. Коррекция с помощью системы авторегулирования является нетривиальной задачей с учетом того, что анализу подвергаются сигналы, разнесенные по частоте, плюс необходимость подстройки значения напряжения модуляции. Эти обстоятельства заставили отказаться от попыток автоматизации установки значения $M = 100\%$ и остановиться на ручном режиме.

Процедура регулирования состоит из следующих этапов:

- регулятором напряжения модуляции “М” устанавливается значение $M > 100\%$. При наличии паразитного фазового сдвига ($\Delta\varphi \neq 0$) наблюдается осциллограмма, приведенная на рис. 2;
- регулятором фазового сдвига “ φ ” производится его коррекция так, чтобы верхняя и нижняя огибающие пересекались в локальных точках (рис. 3);
- регулятором напряжения модуляции “М” устанавливается значение $M = 100\%$ в соответствии с осциллограммой, представленной на рис. 4.

Регулирование производится с одновременным увеличением чувствительности осциллографа. При ее значении 5 мВ/дел. сигнал, приведенный на рис. 4, имеет такую погрешность установки значения $M = 100\%$, которой можно пренебречь.

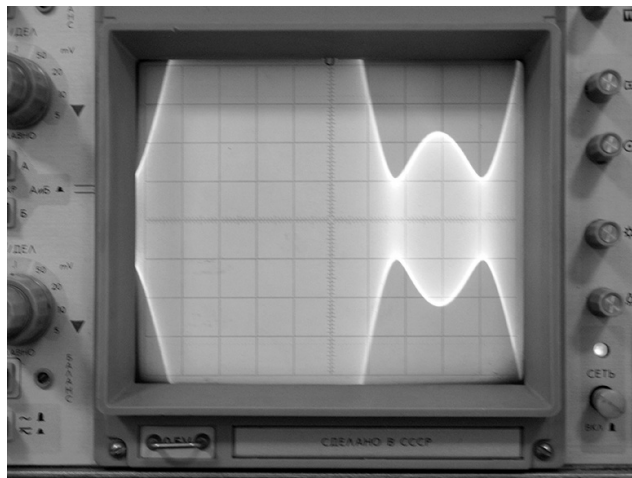


Рис. 2. Осциллограмма АМ-сигнала при $M > 100\%$, $\Delta\varphi \neq 0$

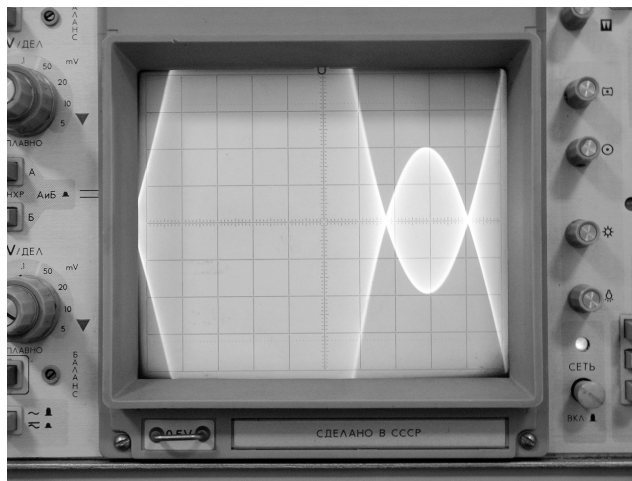


Рис. 3. Осциллограмма АМ-сигнала при $M > 100\%$, $\Delta\varphi = 0$

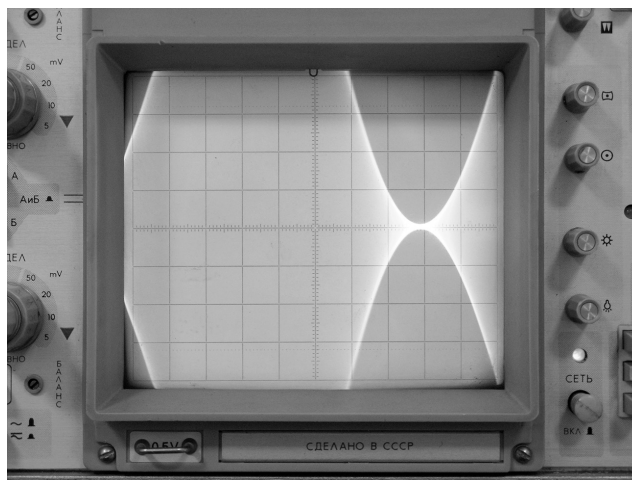


Рис. 4. Осциллограмма АМ-сигнала при $M = 100\%$, $\Delta\varphi = 0$

Настройка эталона таким образом может показаться очень громоздкой. Однако при работе с эталоном она осуществляется только при переключениях частот модуляции и значений несущей 4, 10 и 25 МГц. Коммутация значений КАМ не требует настройки. Процедура иллюстрируется четкими осциллограммами при надежной синхронизации осциллографа, которая обеспечена инструментально.

Аппаратное решение эталона в части генерации АМ-сигнала [6] иллюстрируется структурной схемой на рис. 5.

Источник напряжения модуляции предназначен для генерации синусоидального модулирующего напряжения с номинальными значениями фиксированных частот, низкими уровнями шума и коэффициента гармоник (КГ), стабильным уровнем. Построен на основе задающего кварцевого генератора на 4 МГц, цифрового делителя с управляемым переменным коэффициентом деления и многосвязными фильтрами низкой частоты, которые обеспечивают значение КГ < 0,01 %.

Регулятор напряжения модуляции предназначен для грубого и точного управления напряжением модуляции при установке $M = 100$ %.

Делитель напряжения модуляции предназначен для установки напряжения модуляции при выборе номинального значения КАМ. Параметры управляемого резистивного делителя выбраны так, чтобы свести к пренебрежимо малому минимуму неравномерность амплитудно-частотной характеристики в диапазоне частот модуляции от 20 Гц до 200 кГц.

Генератор АМ-сигнала 4, 10, 25 МГц предназначен для формирования АМ-сигнала с номинальными значениями КАМ на частотах несущей 4, 10 или 25 МГц во всем диапазоне частот модуляции. В состав блока входят три одинаковых канала с опорными кварцевыми генераторами несущих на 4, 10 или 25 МГц, балансными смесителями (перемножителями) и многосвязными фильтрами низкой частоты, которые обеспечивают подавление гармоник несущей и боковых.

Корректор фазы и осциллограф подключены к генератору с целью грубой и точной коррекции паразитного сдвига фазы и контроля установки режима $M = 100$ %.

Преобразователи 25/500 МГц и 4/(0,01 – 1) МГц осуществляют перенос АМ-сигналов на другие частоты несущей: первый – с 25 на 500 МГц, второй – с 4 МГц на одну из пяти частот в диапазоне от 0,01 до 1 МГц.

Измерительный комплекс

Для облегчения восприятия структурной схемы эталона она разбита на две части: рассмотренный выше генератор прецизионного АМ-сигнала и измерительный комплекс. Структурная схема последнего в сочетании с генератором эталона и поверяемым рабочим эталоном (РЭ) представлена на рис. 6. Измерительный комплекс эталона предназначен для реализации измерительных и управляющих функций эталона. Его работа состоит в измерении значений КАМ и компарировании коэффициентов модуляции ГПЭ и РЭ. Кроме того, в персональном компьютере формируются управляющие сигналы, которые транслируются в измерительные приборы и генератор АМ-сигнала эталона. В состав комплекса входят: измеритель модуляции СКЗ-45, мультиметр KEITHLEY 2000, персональный компьютер и адаптер интерфейса KUSB-488A.

Измеритель модуляции предназначен для измерения значений КАМ ГПЭ и поверяемого РЭ. На вход измерителя модуляции поочередно через блок коммутации подключаются АМ-сигналы, которые сформированы в обоих эталонах. Так происходит компарирование значений КАМ, когда их разность представляет собой погрешность воспроизведения размера единицы рабочим эталоном.

При использовании измерителя модуляции несколько модифицирована процедура измерения ма-

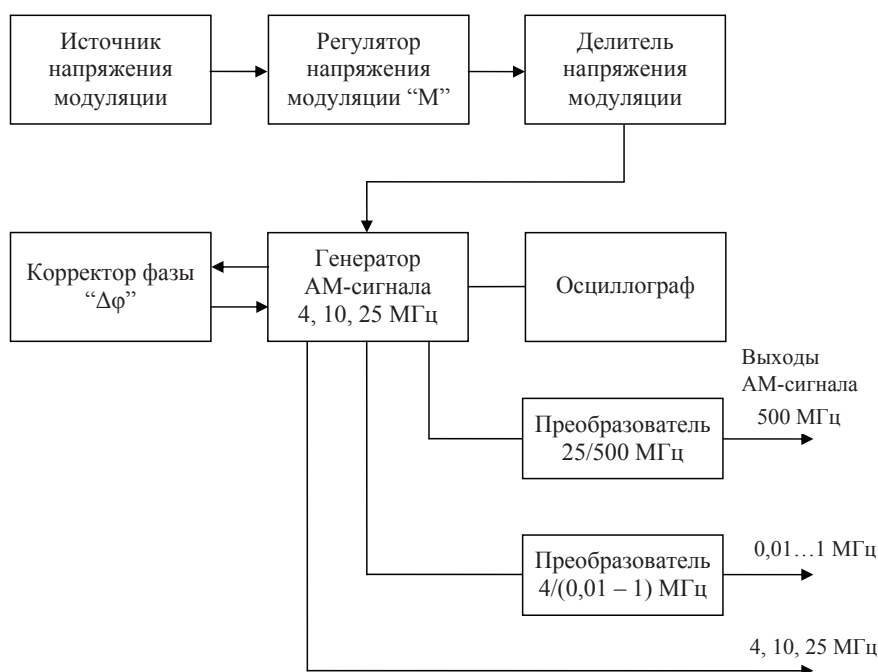


Рис. 5. Структурная схема генератора АМ-сигнала

лых значений КАМ ($\leq 2\%$), когда не хватает разрешающей способности индикатора и коэффициента амплитудного шума, который является источником вклада в НСП эталона. Для этого используется выходной демодулированный сигнал, напряжение которого измеряется внешним вольтметром с использованием тех же систем фильтрации, что и при измерении больших значений КАМ.

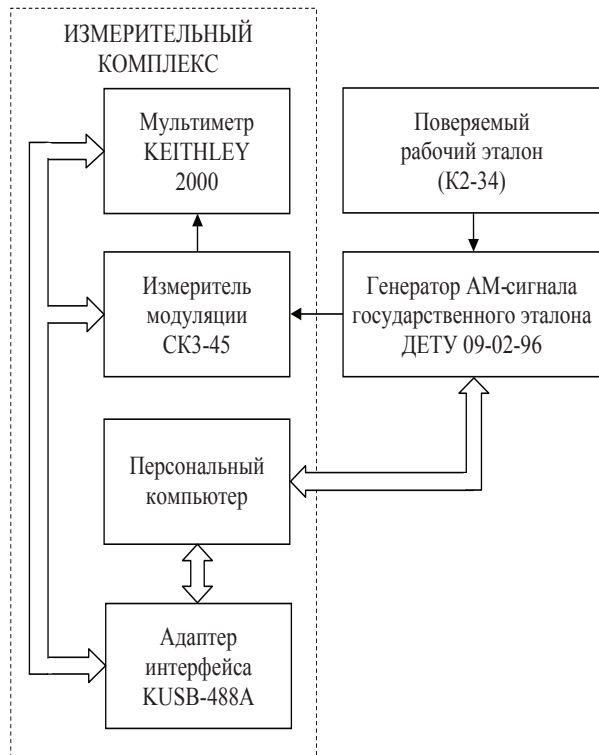


Рис. 6. Структурная схема измерительного комплекса эталона

Измеритель модуляции типа СКЗ-45 является новым элементом в составе эталона. Его фото приведено на рис. 7.

На *мультиметр* возложено решение ряда важных для работы эталона задач. Во-первых – это измерение переменного напряжения демодулированного сигнала и среднего квадратического значения напряжения шумов на выходе измерителя модуляции. Значения напряжения этих сигналов лежат в пределах от десятков микровольт до единиц вольт. Обычно вольтметры переменного напряжения при малых уровнях имеют существенную нелинейность передаточной характеристики, что учитывалось при выборе типа прибора, который должен иметь и малую неравномерность амплитудно-частотной характеристики для рабочего диапазона частот от 20 Гц до 200 кГц.

Во-вторых – это измерение постоянного напряжения при проведении метрологической аттестации для определения погрешности коэффициента деления прецизионного делителя напряжения модуляции. При этом вольтметр должен обеспечивать относительную погрешность измерения порядка 0,03 % в диапазоне напряжений от 1 мВ до 1 В.

И третья задача – это измерение сопротивления и тока при проведении ремонтных, профилактических, исследовательских и других работ на эталоне.

При разработке измерительного комплекса был выбран мультиметр типа KEITHLEY 2000 [7] производства одноименной фирмы (рис. 8). Выбор основан на том, что прибор удовлетворяет перечню выполняемых функций, метрологическим требованиям и содержит схему управления по КОП.



Рис. 7. Измеритель модуляции типа СКЗ-45

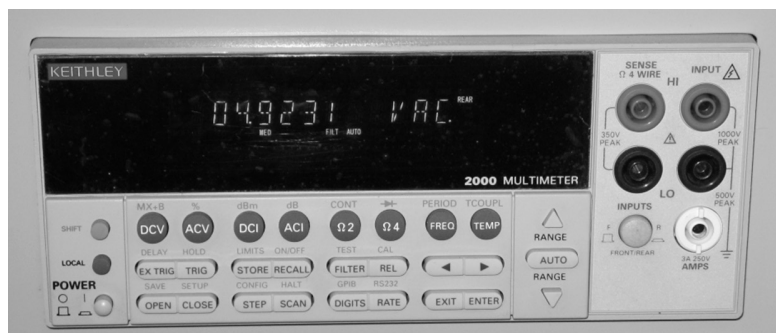


Рис. 8. Мультиметр KEITHLEY 2000

К тому же, в нем заложена возможность эффективного применения ряда математических операций по обработке результатов измерений [7].

Персональный компьютер предназначен для управления большим количеством устройств эталона, включая приборы промышленного производства, и обработки результатов измерений: расчетов, протоколирования, распечатки, хранения и т. д. Эталон укомплектован современным компьютером в обычной конфигурации.

Задача модернизации управляющей системы эталона была решена путем разработки и внедрения нового адаптера на основе микроконтроллера ATmega8515 - 16AI корпорации "Atmel", который связал блоки эталона с ПК через стандартный COM-порт. Были разработаны новый адаптер – контроллер АМШК 431.295.024 Э3 и его программное обеспечение. Разработка проведена так, чтобы полностью сохранить электрические схемы управления эталона, продемонстрировавшие высокую надежность, так как за долгие годы работы эталона отказов замечено не было. Адаптер, представленный на рис. 9, был изготовлен и вмонтирован в блок эталона "Калибратор 100 %".

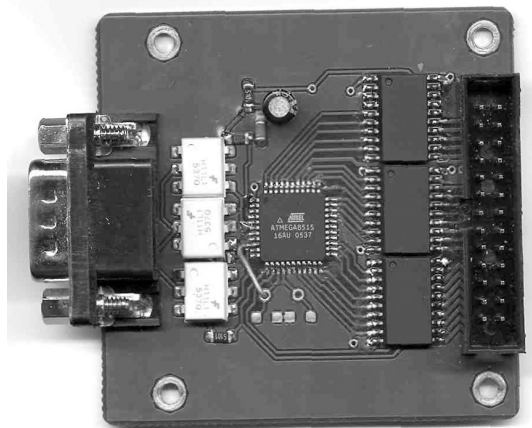


Рис. 9. Адаптер COM-порта

Адаптер интерфейса типа KUSB-488A предназначен для управления промышленными измерительными приборами (рис. 6), входящими в состав эталона. Управление осуществляется с помощью стандартного интерфейса IEEE-488.2. Для этого эталон укомплектован современным адаптером типа KUSB-488A фирмы "KEITHLEY", предназначенным для передачи сигналов цифрового управления режимами работы мультиметра и измерителя модуляции по каналу общего пользования. Адаптер подключается к одному из USB-портов компьютера.

3. Состав и метрологические характеристики эталона

Эталон состоит из комплекса средств измерительной техники, которые приведены в табл. 1.

Государственный первичный эталон единицы коэффициента амплитудной модуляции высокочас-

Таблица 1

Наименования блоков (приборов)	Децимальный номер или тип	Количество
Источник калиброванных АМ-сигналов	X82.081.325	1
Источник модулирующих напряжений	X82.084.014	1
Преобразователь несущих частот	X82.206.324	1
Калибратор 100 %	X82.085.010	1
Преобразователь калибратора	X82.406.067	1
Блок коммутации	X82.070.038	1
Блок питания	X82.087.270	3
Измеритель коэффициента АМ СК2-24	ВР2.740.011	1
Измеритель модуляции СК3-45	2.740.008	1
Осциллограф универсальный С1-114/1	X85.044.003	1
Вольтметр СКЗН	Keithley 2000	1
Управляющая вычислительная система: персональный компьютер интерфейс СОМ-порта	АМШК.431.295.024	1
Стойка 1, 2, 3	X81.400.009	3
Стойка 4	X81.400.052	1

тотных колебаний ДЕТУ 09-02-96, фото которого представлено на рис. 10, имеет следующие метрологические характеристики:

- диапазон значений коэффициента амплитудной модуляции, в котором воспроизводится, хранится и передается единица измерений, составляет от 0,1 до 100 %;
- относительное среднее квадратическое отклонение результата измерений S_0 при воспроизведении единицы КАМ не превышает 0,0003 для 10 независимых наблюдений;
- границы относительной неисключенной систематической погрешности государственного эталона Θ_0 не превышают значений, которые содержатся в интервале от $\pm 0,0015$ до $\pm 0,003$. Значения Θ_0 , в зависимости от частот несущей и модуляции, приведены в табл. 2;

Таблица 2

Частоты несущей, МГц	Частоты модуляции, кГц	Коэффициент АМ, %	Θ_0	S_0
0,01...1	0,02...30 ($\leq 0,05 \cdot f$)	$M > 10$ $M \leq 10$	0,0020 0,0025	
4, 10, 25	0,02...30	$M > 10$ $M \leq 10$	0,0015 0,0020	0,0003
	30...200	$M > 10$ $M \leq 10$	0,0020 0,0025	
425, 500	0,02...30	$M > 10$ $M \leq 10$	0,0020 0,0025	
	30...200	$M > 10$ $M \leq 10$	0,0025 0,0030	

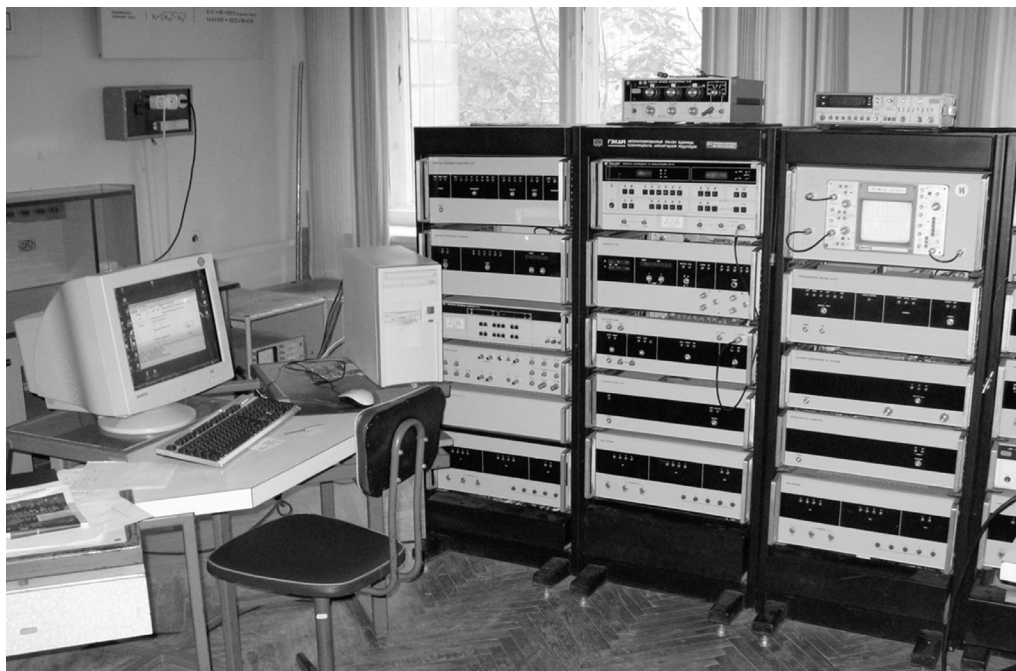


Рис. 10. Государственный первичный эталон единицы КАМ ДЕТУ 09-02-96

Таблица 3

Частоты несущей, МГц	Частоты модуляции, кГц	Коэффициент АМ, %	Неопределенность эталона, % КАМ			
			типа А u_A	типа В u_B	суммарная u_C	расширенная U
0,01...1	0,02...30 ($\leq 0,05f$)	$M > 10$ $M \leq 10$	$0,0003 \cdot M$	$0,0010 \cdot M$ $0,0013 \cdot M$	$0,0011 \cdot M$ $0,0014 \cdot M$	$0,0022 \cdot M$ $0,0027 \cdot M$
4, 10, 25	0,02...30	$M > 10$ $M \leq 10$	$0,0003 \cdot M$	$0,0008 \cdot M$ $0,0010 \cdot M$	$0,0008 \cdot M$ $0,0011 \cdot M$	$0,0017 \cdot M$ $0,0022 \cdot M$
	30...200	$M > 10$ $M \leq 10$	$0,0003 \cdot M$	$0,0010 \cdot M$ $0,0013 \cdot M$	$0,0011 \cdot M$ $0,0014 \cdot M$	$0,0022 \cdot M$ $0,0027 \cdot M$
425, 500	0,02...30	$M > 10$ $M \leq 10$	$0,0003 \cdot M$	$0,0010 \cdot M$ $0,0013 \cdot M$	$0,0011 \cdot M$ $0,0014 \cdot M$	$0,0022 \cdot M$ $0,0027 \cdot M$
	30...200	$M > 10$ $M \leq 10$	$0,0003 \cdot M$	$0,0013 \cdot M$ $0,0016 \cdot M$	$0,0014 \cdot M$ $0,0016 \cdot M$	$0,0027 \cdot M$ $0,0032 \cdot M$

Таблица 4

Частоты несущей, МГц	Частоты модуляции, кГц	Коэффициент АМ, %	S_{Σ} , %
0,01...1	0,02...20	0,1...100	0,010
4...25	0,02...30		0,015
	30...200		0,020
425, 500	0,02...30		0,015
	30...200		0,020

• неопределенность измерений эталона (в % КАМ) не превышает значений, которые приведены в табл. 3. Расширенная неопределенность эталона

$U = k_{\text{ок}} \cdot u_C$ приведена для коэффициента охвата $k_{\text{ок}} = 2$ при доверительной вероятности $P = 0,95$;

• среднеквадратическая абсолютная погрешность передачи единицы КАМ S_{Σ} непосредственно от эталона не превышает значений, приведенных в табл. 4;

• нестабильность эталона за год ν составляет не более $0,5 \Theta$ для данного значения коэффициента амплитудной модуляции, значений частот несущей и модуляции.

4. Сравнение эталона с известными аналогами

Проведенная метрологическая аттестация эталона и результаты исследования усовершенствованных блоков аппаратуры подтвердили полное соответствие метрологических характеристик эталона паспортным данным. Поэтому можно рассмотреть

Таблица 5

Параметры	ДЕТУ 09-02-96, Украина	ГЭКАМ, Российская Федерация	Эталон фирмы “Hewlett-Packard” 11715 НР, США	Эталон фирмы “Markoni”, Ве- ликобритания
Диапазон частот несущей, МГц	0,01...500	0,01...25	11...13,5	0,1...1000
Диапазон частот модуляции, кГц	0,02...200	0,02...200	0,02...100	0,02...20
Коэффициент АМ, %	0,1...100	0,1...100	0,1...99	1...95
Неопределенность типа А, %	$\leq 3 \cdot 10^{-4}$	$\leq 3 \cdot 10^{-4}$	—	—
Неопределенность типа В, %	$1 \cdot 10^{-3} \dots 1,5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
Расширенная неопределенность (относительная)	$2 \cdot 10^{-3} \dots 3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$
Коэффициент гармоник K_p , %	0,1...0,13	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$
Амплитудный шум $M_{ш}$, %	0,1...0,14	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$

их в сопоставлении с известными аналогами ведущих стран в этой области измерений. Метрологические характеристики сравниваемых эталонов представлены в табл. 5. В двух нижних строках таблицы приведены значения доминирующих составляющих неисключенной систематической погрешности.

Сопоставление метрологических характеристик позволяет сделать вывод о соответствии эталона единицы КАМ Украины уровню мировых аналогов.

5. Международные сличения эталона

В 2011–2012 гг. в рамках Проекта КООМЕТ № 468/RU/09 эталон принимал участие в международных сличениях. Цель проекта – подтверждение доверия к сертификатам калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами (НМИ) стран-участниц КООМЕТ в области измерений КАМ ВЧ-колебаний, и определение неопределенности измерений и калибровок, выполняемых на эталонах НМИ.

Участники проекта:

- организация-пилот – Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ), Российская Федерация;
- Национальный научный центр «Институт метрологии», Украина;
- Белорусский государственный институт метрологии (БелГИМ), Беларусь.

Основные параметры проекта: тип сличения – дополнительное (Supplementary), схема проведения сличений – круговые, базовые документы – технический протокол и методика измерений.

Транспортируемый эталон-переносчик – генератор сигналов SMB100A фирмы “Rohde&Schwarz” (рис. 11), который воспроизводит сигналы сложной формы, в том числе АМ-сигналы. Принцип построения – прямой цифровой синтез (Direct Digital Synthes – DDS).

Диапазон частот несущей – от 9 кГц до 23,43 МГц с частотой модуляции до 200 кГц. На несущих частотах от 23,43 МГц до 6 ГГц принцип действия другой, и в качестве эталона-переносчика генератор не применялся.

Высокая точность и стабильность воспроизведения КАМ генератором сигналов SMB100A подтверждены независимыми исследованиями ВНИИФТРИ и ННЦ “Институт метрологии”.

Результатом измерений при проведении сличений являлась разница между установленным на эталоне-переносчике значением КАМ и его значением, измеренным на эталоне НМИ. Эти данные, одновременно со значением расширенной неопределенности для всех сочетаний параметров частот несущей, модуляции и значений КАМ в соответствии с техническим протоколом, предоставлялись организации-пилоту.

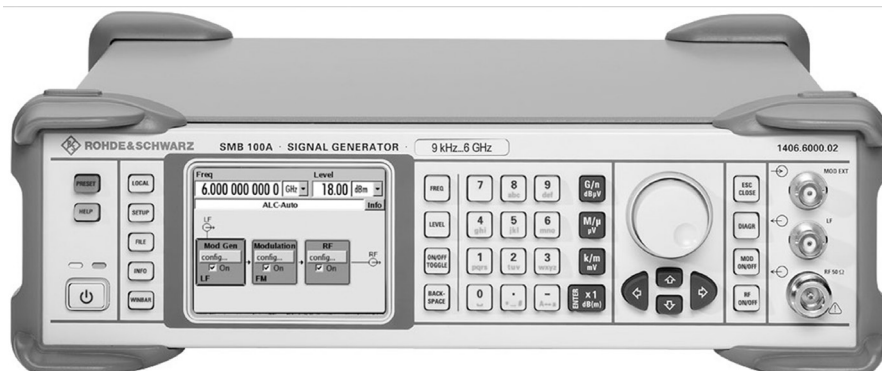


Рис. 11. Эталон-переносчик – генератор сигналов SMB100A

Предварительные выводы, сформулированные организацией-пилотом, следующие:

- впервые получены экспериментальные данные по размеру воспроизводимых единиц коэффициента АМ тремя первичными государственными эталонами;

- при большом объеме выполненных измерений размер единицы коэффициента АМ согласуется для каждого из 186 значений, воспроизводимых национальными эталонами;

- отличие результатов сличений от среднего значения не превышает расширенной неопределенности в каждом из измеренных значений, что подтверждает как размер воспроизводимых единиц коэффициента АМ, так и правильность оценки неопределенности измерений.

Эти выводы можно дополнить следующим:

- сличения показали обоснованность выбора в качестве эталона-переносчика генератора сигналов с прямым цифровым синтезом, обладающим высокой стабильностью и разрешающей способностью;

- доступность устройств прямого цифрового синтеза и положительные результаты сличений говорят о том, что цифровой метод можно считать весьма перспективным при формировании эталонных сигналов с амплитудной модуляцией.

Выводы

При усовершенствовании государственного первичного эталона единицы коэффициента амплитудной модуляции ВЧ-колебаний (ДЕТУ 09-02-96) были выполнены следующие работы:

- разработана принципиально новая управляющая вычислительная система эталона, при этом решен ряд научно-технических задач стыковки, программирования и информационного обеспечения;

- проведены модернизация и замена технически и морально устаревших узлов и приборов;

- внедрены новые технические средства для установки $M = 100$ % эталонных сигналов;

- проведены отладка и регулирование электронных блоков эталона;

- проведены экспериментальные исследования метрологических характеристик основных частей эталона и метрологическая аттестация эталона;

- проведена разработка комплекса технической документации к эталону;

- проведены международные сличения эталона.

В результате проведенной работы создана существенно усовершенствованная аппаратура эталона. Проведены дополнительные исследования методов измерения и аппаратуры эталона. Общий вывод: заложенные в эталон методы сохраняют свою эффективность и способны обеспечивать необходимые для поверки существующих средств измерительной техники метрологические и технические характеристики, которые находятся на уровне мировых аналогов.

Список литературы

1. Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань коефіцієнта амплітудної модуляції високочастотних коливань: ДСТУ 3393-96. – [Чинний від 1996-07-31]. – К.: Держстандарт України, 1996. – 20 с. – (Державний стандарт України).
2. Удосконалення державного первинного еталона одиниці коефіцієнта амплітудної модуляції високочастотних коливань ДЕТУ 09-02-96: звіт з НДДКР (заключний) / ННЦ “Інститут метрології”; кер. Ю. Ф. Павленко. – ДР 0108U008344. – Харків, 2010. – 91 с.
3. Удосконалення державного первинного еталона одиниці коефіцієнта амплітудної модуляції високочастотних коливань ДЕТУ 09-02-96: звіт з НДДКР (заключний) / ННЦ “Інститут метрології”; кер. Ю. Ф. Павленко. – ДР 0111U004909. – Харків, 2011. – 26 с.
4. Удосконалення державного первинного еталона одиниці коефіцієнта амплітудної модуляції високочастотних коливань ДЕТУ 09-02-96: звіт з НДДКР (заключний) / ННЦ “Інститут метрології”; кер. Ю. Ф. Павленко. – ДР 0112U008246. – Харків, 2012. – 49 с.
5. Новый государственный первичный эталон единицы коэффициента амплитудной модуляции высокочастотных колебаний / В.А. Беликов, В.Ш. Дейч, В.С. Климашевский [и др.] // Измерительная техника. – 1985. – № 11. – С. 4–5.
6. Государственный эталон единицы коэффициента амплитудной модуляции (ГЭКАМ): техническое описание и инструкция по эксплуатации X81.400.014 ТО. – 1992.
7. Model 2000 Digital Multimeter. Quick Start Guide / Keithley Instruments, inc. – 2007.