

*И. И. КРИВАЛЬ, А. И. СКРИПНЮК, А. В. РУДКОВСКИЙ,
к. т. н. В. А. ПРОЦЕНКО, О. А. ПРИСЯЖНЮК*

Украина, г. Киев, ОАО «Меридиан» им. С. П. Королева
E-mail: Feedback@meridian.kiev.ua

ОСОБЕННОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ЧАСТОТОМЕРА UA ЧЗ-101

Описаны технические решения по замене трудоемких СВЧ-узлов морально устаревшего частотомера UA ЧЗ-101 8-миллиметрового диапазона длины волны, таких как входные СВЧ-преобразователи в микрополосковом и волноводном исполнении, а также оптимизированный алгоритм процесса измерения частоты входного сигнала, что позволило провести модернизацию прибора.

Ключевые слова: частотомер, преобразователь частоты, модернизация, миллиметровый диапазон длины волны.

В свое время в ОАО «Меридиан» им. С. П. Королева был разработан и серийно выпускался широкодиапазонный СВЧ-частотомер 8-миллиметрового диапазона длины волны UA ЧЗ-101. Однако со временем прибор по ряду причин морально устарел, и возник вопрос о его замене. Стоимость имеющихся на рынке зарубежных моделей частотомеров с аналогичными параметрами (например, CNT90-XL (40 ГГц), Pendulum, Швеция [1]), составляет порядка 20 тыс. долл. США, поэтому были рассмотрены собственные возможности в решении этого вопроса. Анализ показал, что разработка нового аналогичного частотомера также обойдется достаточно дорого, а вот модернизация имеющегося — в два-три раза дешевле, поскольку на предприятии имеется вся необходимая для серийного выпуска модернизированного частотомера инфраструктура.

В настоящей статье описаны технические решения по замене трудоемких СВЧ-узлов частотомера UA ЧЗ-101, таких как входные СВЧ-преобразователи в микрополосковом и волноводном исполнении, а также оптимизация алгоритма процесса измерения частоты входного сигнала, что позволило провести модернизацию прибора в соответствии с выдвигаемыми требованиями.

Общий принцип построения частотомера был рассмотрен в [2], а в [3] были приведены рекомендации по выбору оптимальных параметров основных узлов прибора, таких как входной преобразователь частоты, полосовой усилитель промежуточной частоты, синтезатор частот.

Рассмотрим кратко проблемные вопросы, которые имели место при серийном выпуске частотомера UA ЧЗ-101.

Особенности производства частотомера UA ЧЗ-101

С точки зрения трудоемкости изготовления и связанной с нею стоимости прибора, на первом месте стоят входные СВЧ-преобразователи частоты, которые переносят входную измеряемую частоту в диапазон промежуточных частот непосредственного счета счетчиком частотомера. В диапазоне частот до 18 ГГц функцию преобразователя частоты выполняет стробоскопический смеситель, реализованный в микрополосковом исполнении в виде микросборки. Для его изготовления необходимо иметь специфическое, дорогостоящее производство — микроэлектронику.

Еще одна проблема связана с тем, что в генераторе стробирующих импульсов пикосекундной длительности используются диоды с накоплением заряда типа 2Д528А и диод 2Д528Ж, которые в настоящее время не выпускаются.

В диапазоне частот от 18 до 40 ГГц в частотомере используются трудоемкие в изготовлении СВЧ-преобразователи, реализованные в волноводном исполнении с сечением канала волноводов 7,2×3,4 и 11×5,5 мм, перестраиваемые волноводные аттенюаторы с сечением канала волновода 7,2×3,4 и 11×5,5 мм, а также волноводные переходы с сечения на сечение. На замену им был разработан сверхширокополосный модуль преобразователя частоты (стробоскопический смеситель) в диапазоне частоты от 0,2 до 40 ГГц с коаксиальным входом с сечением 2,92×1,27 мм, который с успехом заменил микросборку и волноводные преобразователи частоты.

Практическая реализация модуля преобразователя частоты

Модуль преобразователя частоты, работающий по принципу стробоскопического смесителя, построен на микросхеме типа RTN090 фирмы Teledyne

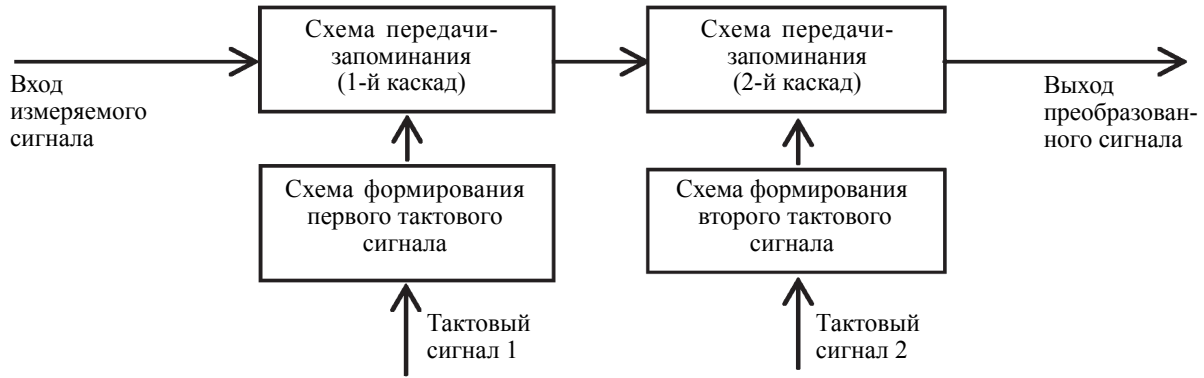


Рис. 1. Функциональная схема преобразователя частоты на микросхеме RTH090

Scientific Company, США. Он представляет собой два последовательно соединенных каскада передачи и запоминания (track-and-hold), построенных на дифференциальных транзисторных усилителях, управляемых тактовыми сигналами. В частотомере в качестве тактовых сигналов используются сигналы с выхода синтезатора частот, автоматически перестраиваемого в диапазоне от 329 до 476 МГц.

Функциональная схема преобразователя частоты приведена на рис. 1. Работа первого каскада передачи-запоминания происходит следующим образом. На положительной полуволне тактового сигнала входной измеряемый сигнал передается с заданным коэффициентом передачи на выход (режим передачи). При отрицательной полуволне тактового сигнала на выходной емкости $C_{зап1}$ (рис. 2, а) каскада запоминается постоянный уровень напряжения ΔU_1 (рис. 2, б, в), равный по величине входному измеряемому сигналу в момент перехода тактового сигнала с положительной полуволны на отрицательную (режим

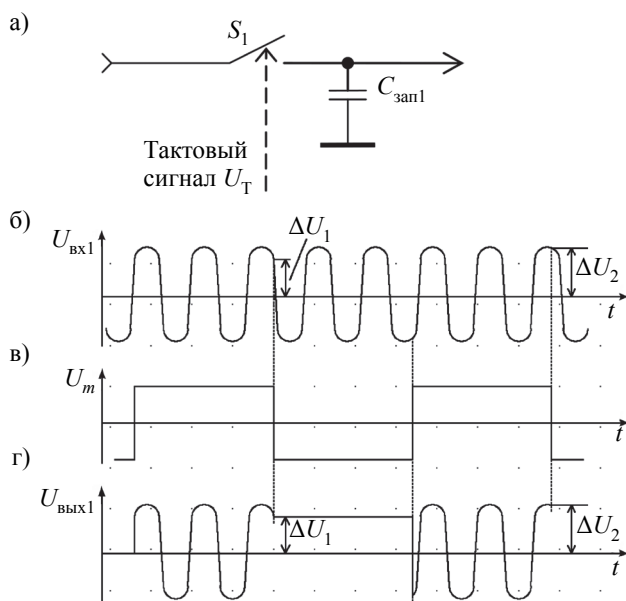


Рис. 2. Схема и эпюры напряжений первого каскада передачи-запоминания

запоминания). Это можно представить в виде условного разомкнутого ключа S_1 (рис. 2, а).

Второй каскад передачи-запоминания также можно условно представить в виде ключа S_2 и запоминающей емкости $C_{зап2}$ (рис. 3, а). Он работает аналогично первому, отличие заключается в том, что тактовый сигнал на него подается в противофазе тактовому сигналу, поступающему на первый каскад. Условно это показано в виде инвертора D на рис. 3, а. Следовательно, когда первый каскад находится в режиме запоминания (тактовый сигнал U_T отрицательный), второй каскад находится в режиме передачи (тактовый сигнал положительный) и передает постоянное напряжение ΔU_1 на выход преобразователя. Когда же фаза тактового сигнала изменится на противоположную, второй каскад перейдет в режим запоминания и на его выходе будет удерживаться напряжение ΔU_1 . В следующем

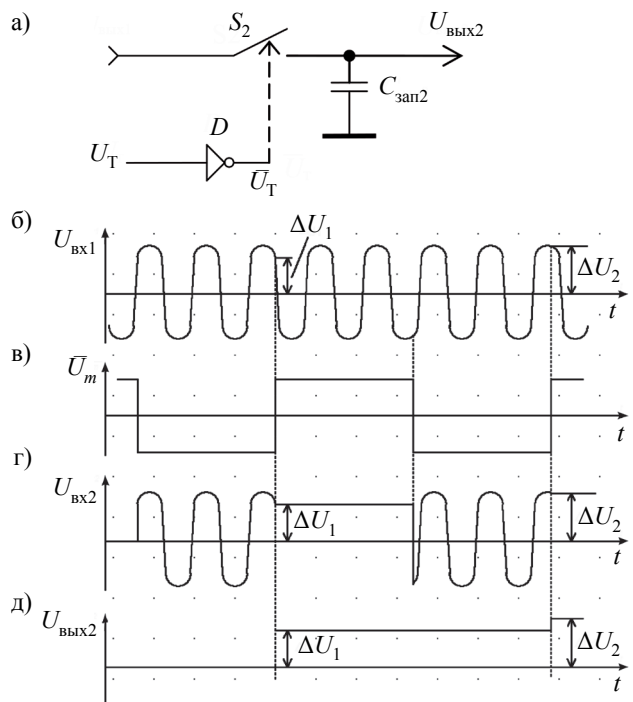


Рис. 3. Схема и эпюры напряжений второго каскада передачи-запоминания

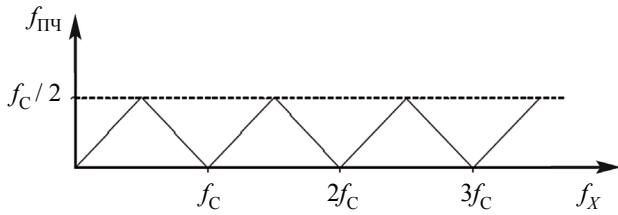


Рис. 4. График зависимости промежуточной частоты $f_{ПЧ}$ от частоты входного сигнала f_X

периоде тактового сигнала первый каскад запомнит напряжение ΔU_2 на выходе (рис. 3, б, з, д), которое поступает на вход второго каскада.

Таким образом, на выходе микросхемы получается ступенчатое напряжение с значениями напряжения ступенек $\Delta U_1, \Delta U_2$ и т. д., равными величине входного сигнала (умноженного на коэффициент передачи микросхемы) в моменты перехода тактового сигнала с положительной полуволны на отрицательную. По сути происходит ступенчатая аппроксимация входного сигнала только в увеличенном во времени масштабе. Значения частоты ступенек равны частоте тактового сигнала, то есть частоте синтезатора f_C частотомера. После фильтрации частоты синтезатора и его гармоник фильтром нижних частот в усилителе промежуточной частоты на его выходе будет иметь место преобразованный сигнал промежуточной частоты $f_{ПЧ}$.

Из рис. 4 видно, что при стробоскопическом преобразовании максимальная преобразованная частота $f_{ПЧ \max}$ будет равна половине частоты синтезатора f_C :

$$f_{ПЧ \max} = f_C / 2. \quad (1)$$

В преобразователе частоты синтезатор перестраивается в диапазоне от 329 до 476 МГц, а промежуточная частота лежит в полосе от 39 до 135 МГц.

Конструктивно преобразователь выполнен в виде экранированного модуля размерами 53×48×15 мм. Плата преобразователя частоты находится в корпусе модуля, она изготовлена из сверхвысокочастотного фольгированного диэлектрика N9000 фирмы Nelco Products, США. На боковых стенках модуля расположены две розетки типа МСХ: одна предназначена для подачи сигнала тактовой частоты синтезатора f_C , другая — для съема выходного сигнала промежуточной частоты $f_{ПЧ}$ (продукт преобразования). Входной измеряемый сигнал частотой f_X подается на розетку сечением 2,92×1,27 мм, расположенную на боковой стенке модуля. Питание на модуль (напряжением –5,2 В) поступает через фильтр типа МЗЛ333А, расположенный на боковой поверхности модуля.

Оптимизация алгоритма процесса измерения частоты входного сигнала

В связи с использованием в модернизированном частотомере широкополосного входного преобразователя частоты с коаксиальным входом возникла не-

обходимость в оптимизации алгоритма процесса измерений.

В общем виде алгоритм измерения приведен в [2]. Вычисление входной измеряемой частоты происходит по формуле

$$f_X = N f_C \pm f_{ПЧ}, \quad (2)$$

где N — номер гармоники частоты синтезатора f_C , на которой произошло преобразование входного сигнала f_X .

Алгоритм измерения частоты в диапазоне частот от 0,2 до 18 ГГц будет выглядеть следующим образом.

1. Синтезатор частоты автоматически перестраивается до получения промежуточной частоты $f_{ПЧ1}$ при частоте синтезатора f_{C1} .

2. Частота синтезатора увеличивается или уменьшается на 1,6 МГц, проверяется наличие признака ПЧ, и это повторяется до получения признака ПЧ.

2.1. Если условие п. 2 не выполняется, то частота синтезатора возвращается в положение f_{C1} . После этого дается приращение Δf_C , равное «+» или «-» 0,6 МГц, до получения признака ПЧ. Если признак ПЧ имеет место, то выполняется переход к п. 3. Если признак ПЧ отсутствует, то частота синтезатора возвращается в положение f_{C1} , которому соответствует промежуточная частота $f_{ПЧ1}$.

2.2. Дается приращение частоты синтезатора Δf_C , равное «+» или «-» 0,4 МГц, до получения признака ПЧ. Если признак ПЧ имеет место, то выполняется переход к п. 3. Если признак ПЧ отсутствует, то частота синтезатора возвращается в положение f_{C1} .

2.3. Дается приращение частоты синтезатора Δf_C , равное –0,2 МГц, до получения признака ПЧ. Если признак ПЧ имеет место, то выполняется переход к п. 3.

3. Измеряется $f_{ПЧ2}$, которой будет соответствовать частота синтезатора f_{C2} .

4. Определяется номер гармоники N_1 :

$$N_1 = \frac{|f_{ПЧ2} - f_{ПЧ1}|}{|f_{C2} - f_{C1}|} = \frac{|f_{ПЧ2} - f_{ПЧ1}| \text{ МГц}}{1,6 \text{ МГц}}. \quad (3)$$

Для определения 2-го номера гармоники N_2 частота синтезатора приравнивается к первоначальному значению f_{C1} , для определения 3-го номера гармоники N_3 делается приращение частоты синтезатора на 1,6 МГц, и так продолжается пять циклов до получения всех пяти номеров гармоник: от N_1 до N_5 .

В общем виде формула определения номера гармоники N_i выглядит следующим образом:

$$N_i = \frac{|f_{ПЧ(i+1)} - f_{ПЧ_i}| \text{ МГц}}{1,6 \text{ МГц}}, \quad (4)$$

где $i = 1-5$.

В процессоре происходит округление значения номера гармоники до целого числа.

5. Проверяется равенство $N_1 = N_2 = N_3 = N_4 = N_5 = N$.
 6. При выполнении равенства определяется искомая частота f_X :

$$f_X = N f_{C6} \pm f_{ПЧ6} \quad (5)$$

Знак «+» или «-» перед $f_{ПЧ6}$ берется в зависимости от того, как изменяется $f_{ПЧ}$ от знака приращения частоты синтезатора Δf_C . Если при уменьшении частоты синтезатора значение $f_{ПЧ}$ уменьшается, то перед $f_{ПЧ6}$ ставится знак «+», если же наоборот — знак «-».

Следует отметить, что в формуле (5) промежуточная частота $f_{ПЧ6}$ используется по той причине, что она соответствует частоте синтезатора f_{C6} в последнем цикле измерения номера гармоники и учитывает все «уходы» измеряемой частоты за время измерения.

Алгоритм измерения частоты в других диапазонах аналогичен приведенному, разница лишь в величине приращений частот синтезатора Δf_C .

При измерении частоты в диапазоне от 18 до 25 ГГц первое приращение Δf_C равно $\pm 1,2$ МГц, а последующие, при необходимости, равны ± 400 и -200 кГц соответственно. Синтезатор в этом случае перестраивается от значения 458,4 до значения 470,4 МГц.

При измерении частоты в диапазоне от 25 до 40 ГГц первое приращение Δf_C равно 800 кГц, далее ± 200 и -400 кГц, а синтезатор перестраивается от значения 470,4 до 458,4 МГц.

Результаты модернизации

Использование в модернизированном частотомере UA ЧЗ-101А (см. рис. 5, таблицу) разработанного широкополосного малогабаритного преобразователя частоты позволило максимально упростить схему и сам процесс измерения частоты, использовать только один входной СВЧ-преобразователь, значительно уменьшить массогабаритные показатели прибора, отказаться от трудоемких и дорогостоящих волноводных узлов прибора, в два раза увеличить чувствительность модернизированного частотомера.

Предложенное техническое решение позволило упростить процесс производства частотомера, сделать прибор более удобным в эксплуатации. Кроме того, за счет оптимизации схемных и конструкторских решений в модернизированном частотомере уда-

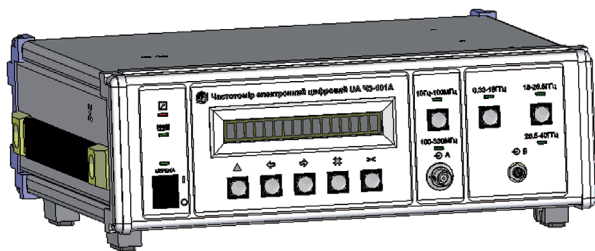


Рис. 5. Модернизированный частотомер UA ЧЗ 101А

Технические характеристики модернизированного частотомера UA ЧЗ-101А

Диапазон измеряемых частот	10 Гц — 40 ГГц
Уровень мощности в импульсе входных ИМ сигналов: минимальный максимальный	40 мВ, 10 мкВт, 50 мкВт 10 мВт
Стабильность частоты опорного генератора в течение 30 суток 12 месяцев	$\pm 10^{-8}$ $\pm 10^{-7}$
Разрешающая способность	1 Гц/с
Потребляемая мощность	45 В·А
Питание прибора	220 \pm 22 В, 50 Гц
Условия эксплуатации	от -10 до +50°C
Масса	4,5 кг
Габариты	307×115×312 мм
Интерфейс	КОП, RS-232
Вход прибора	Коаксиальный с сечением 2,92×1,27 мм

лось совместить на одной плате счетчик и формирователь строка, блок опорных частот совместить с перестраиваемым генератором 100 МГц, отказаться от коммутатора, что позволило уменьшить энергопотребление и повысить надежность прибора.

Заключение

Таким образом, разработанные технические решения позволили заменить трудоемкие СВЧ-узлы частотомера UA ЧЗ-101 и оптимизировать алгоритм процесса измерения частоты входного сигнала.

Модернизированный прибор выполнен на современной элементной базе, малогабаритен, обладает высокими точностными характеристиками и параметрами надежности, при том что его стоимость намного меньше, чем у имеющихся на рынке аналогов.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. *Pendulum Instruments*. <https://pendulum-instruments.com/products/frequency-counters-analyzers/cnt-90x1-microwave-frequency-counter-analyzer/>
2. Криваль И.И., Скрипнюк А.И., Проценко В.А., Марьенко А.В. Малогабаритные цифровые частотомеры сверхвысокочастотного диапазона. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, 2009, № 5, с. 54–57.
3. Криваль И.И., Скрипнюк А.И., Проценко В.А., Марьенко А.В. Выбор оптимальных параметров некоторых узлов частотомеров СВЧ-диапазона. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, 2011, № 3, с. 10–13.

Дата поступления рукописи в редакцию 12.02 2020 г.

DOI: 10.15222/ТКЕА2020.1-2.03
УДК 621.317-761-029.6.083.92-181-4

I. I. КРИВАЛЬ, А. I. СКРИПНЮК, А. В. РУДКОВСЬКИЙ,
В. А. ПРОЦЕНКО, О. А. ПРИСЯЖНЮК

Україна, м. Київ, ВАТ «Меридіан» ім. С. П. Корольова
E-mail: Feedback@meridian.kiev.ua

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЧАСТОТОМІРА UA ЧЗ-101

Свого часу в ВАТ «Меридіан» ім. С. П. Корольова був розроблений і серійно випускався широкодіапазонний НВЧ-частотомір 8-міліметрового діапазону довжини хвилі UA ЧЗ-101. Однак з часом прилад з ряду причин морально застарів, і постало питання необхідності його заміни. Оскільки вартість наявних на ринку зарубіжних моделей частотомірів з аналогічними параметрами є досить великою, були розглянуті можливості підприємства у вирішенні цього питання. Аналіз показав, що розробка нового аналогічного частотоміру також обійдеться досить дорого, а ось модернізація наявного — набагато дешевше, оскільки на підприємстві є вся інфраструктура для серійного випуску модернізованого частотоміра.

У статті описані технічні рішення по заміні трудомістких НВЧ-вузлів частотоміра UA ЧЗ-101, як от вхідні НВЧ-перетворювачі в мікросмушкових і хвилеводному виконанні, а також оптимізація алгоритму процесу вимірювання частоти вхідного сигналу, що дозволило провести модернізацію приладу відповідно до висунутих вимог.

Використання в модернізованому частотомірі UA ЧЗ-101А розробленого широкосмугового малогабаритного перетворювача частоти дозволило максимально спростити схему та сам процес вимірювання частоти, використовувати тільки один вхідний НВЧ-перетворювач, значно зменшити масогабаритні показники приладу, відмовитися від трудомістких і дорогих хвилеводних вузлів приладу, в два рази збільшити чутливість модернізованого частотоміра.

Запропоноване технічне рішення дозволило спростити процес виробництва частотоміра, зробити прилад більш зручним в експлуатації. Крім того, за рахунок оптимізації схемних і конструкторських рішень в модернізованому частотомірі вдалося поєднати на одній платі лічильник і формувач стробу, блок опорних частот поєднати з перестроюваним генератором 100 МГц, відмовитися від комутатора, що дозволило зменшити енергоспоживання і підвищити надійність приладу.

Ключові слова: частотомір, перетворювач частоти, модернізація, міліметровий діапазон довжини хвилі.

DOI: 10.15222/ТКЕА2020.1-2.03
UDC 621.317-761-029.6.083.92-181-4

I. I. KRIVAL', A. I. SKRIPNYUK, A. V. RUDKOVSKIY,
V. A. PROTSENKO, O. A. PRISYAZHNYUK

Ukraine, Kyiv, JSC «Meridian» n.a. S. P. Korolyov
E-mail: Feedback@meridian.kiev.ua

ASPECTS OF MODERNIZATION OF UA ЧЗ-101 FREQUENCY METER

JSC «Meridian» n. a. S. P. Korolyov at one point developed and mass-produced a wide-range microwave frequency meter of the 8-mm wavelength range UA ЧЗ-101. Over time, however, the device has become obsolete for a number of reasons, and the question arose of the need to replace it. Since the cost of foreign models of frequency meters with similar parameters available on the market is quite high, the enterprise's capabilities in solving this issue were considered. The analysis showed that the development of a new similar frequency meter will also be quite expensive, but the modernization of the existing one might be much cheaper, since the enterprise has all the infrastructure for serial production of the upgraded frequency meter.

This article describes technical solutions for the replacement of labor-consuming microwave components of the UA ЧЗ-101 frequency meter, such as microstrip and waveguide input microwave converters, as well as optimization of the frequency measuring process of the input signal, which allowed us to upgrade the device according to the requirements.

The use of the developed broadband small-sized frequency converter in the modernized UA ЧЗ-101A frequency meter made it possible to simplify the circuit and the frequency measurement process as much as possible, to use only one input microwave converter, to significantly reduce the weight and size of the device, to abandon the labor-consuming and expensive waveguide components of the device, and to double the sensitivity upgraded frequency meter.

The proposed technical solution allowed simplifying the production process of the frequency meter, making the device more convenient to use. In addition, due to the optimization of circuit and design solutions in the upgraded frequency meter, it was possible to combine the counter and the gate driver on the same board, combine the reference frequency block with a 100 MHz tunable generator, abandon the switch, which allowed reducing power consumption and increasing the reliability of the device.

Key words: frequency meter, frequency converter, modernization, millimeter wavelength range.

REFERENCES

1. Pendulum Instruments. <https://pendulum-instruments.com/products/frequency-counters-analyzers/cnt-90x1-microwave-frequency-counter-analyzer/>

2. Krival I. I., Skrypnyuk A. I., Protsenko V. A., Marjenko A. V. Small size digital frequency counters of high-frequency range.

Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature, 2009, no. 5, pp. 54–57 (Rus)

3. Krival I. I., Skrypnyuk A. I., Protsenko V. A., Marjenko A. V. Choosing the optimal parameters of some frequency meter's units of microwave band. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2011, no. 3, pp. 10–13 (Rus)

Описание статьи для цитирования:

Криваль И. И., Скрипнюк А. И., Рудковский А. В., Проценко В. А., Присяжнюк О. А. Особенности модернизации частотомера UA ЧЗ-101. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, 2020, № 1–2, с. 3–7. <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2020.1-2.03>

Cite the article as:

Krival' I. I., Skripnyuk A. I., Rudkovskiy A. V., Protsenko V. A., Prisyazhnyuk O. A. Aspects of modernization of UA ЧЗ-101 frequency meter. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2020, no. 1–2, pp. 3–7. <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2020.1-2.03>