

# ИЗМЕРИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ РАДИОИМПУЛЬСОВ

*Э. Р. Галеев, В. Д. Кукуш*

Харьков

В связи с широким применением в многоканальной радиосвязи и радиолокации импульсно-модулированных колебаний важно знать, какие параметры однозначно характеризуют сверхвысокочастотные радиоимпульсы и какими методами эти параметры измерять.

До настоящего времени для энергетической оценки радиоимпульсов определялась их импульсная мощность (чаще всего по измеренному значению средней мощности и известным временным параметрам: длительности импульса, периоду повторения). Однако импульсная мощность сигнала характеризует энергетический режим

в тракте лишь при безыскаженной передаче. В случае значительных искажений формы импульса импульсная мощность не может быть определена с достаточной точностью, а следовательно, не может быть контролируемым параметром.

В импульсных радиосистемах, работающих с оптимальной полосой пропускания или в режиме локации при значительных искажениях формы сигналов, показатели качества, такие как дальность действия, помехоустойчивость, определяются энергией радиоимпульса.

Описанные в литературе методы измерения энергии радиоимпульсов (осциллографические, калориметрические и др.) по ряду причин не позволяют создать на их основе малогабаритные, надежные измерительные устройства для прямого измерения энергии радиоимпульса в последовательности как с постоянной, так и с переменной скважностью при рассогласованной нагрузке. Этим требованиям удовлетворяет измеритель, основанный на непрерывном определении отношения электрических сигналов, один из которых пропорционален средней мощности радиоимпульсов за период их повторения, второй — частоте их следования.

**Принцип действия.** Энергия радиоимпульса в последовательности может быть определена как

$$W_{\text{и}} = P_{\text{и}} \tau_{\text{и}} = P_{\text{ср}} T = \frac{P_{\text{ср}}}{F}, \quad (1)$$

поскольку

$$W_{\text{и}} = \int_0^{\tau_{\text{и}}} p(t) dt; \quad (2)$$

$$P_{\text{и}} = \frac{1}{\tau_{\text{и}}} \int_0^{\tau_{\text{и}}} p(t) dt; \quad (3)$$

$$P_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_0^{\tau_{\text{и}}} p(t) dt, \quad (4)$$

где  $W_{\text{и}}$  — энергия радиоимпульса;

$P_{\text{и}}$  — средняя мощность за длительность импульса  $\tau_{\text{и}}$  (импульсная мощность);

$P_{\text{ср}}$  — средняя мощность за период повторения  $T$ ;

$F = \frac{1}{T}$  — частота следования импульсов;

$p(t)$  — мгновенная мощность.

С точки зрения приборной реализации наиболее удобным в тождестве (1) является последнее соотношение, так как непрерывное измерение средней мощности и частоты следования импульсов производится проще и точнее, чем непрерывное измерение импульсной мощности, длительности импульса, периода повторения импульсов.

## Устройство для реализации соотношения

$$W_{и} = \frac{P_{ср}}{F} \quad (5)$$

выполнено по блок-схеме, приведенной на рис. 1.

При прохождении радиоимпульсов по тракту с выхода измерителя средней мощности на одну из рамок двухмоментного магнито-электрического логометра, создающую вращающий момент, поступает сигнал в виде постоянного тока, величина которого пропорциональна средней мощности импульсов за период повторения. Одновременно на другую рамку, создающую противодействующий момент, с выхода измерителя частоты подается сигнал в виде постоянного тока, пропорционального по величине частоте следования импульсов. Показания логометра соответствуют энергии радиоимпульса, поскольку угол отклонения подвижной части  $\alpha$  связан с токами, протекающими в рамках, следующей зависимостью:

$$\alpha = f \left( \frac{J_1}{J_2} \right). \quad (6)$$

В измерителе среднего значения проходящей мощности радиоимпульсов используется принцип электрического перемножения сигналов, пропорциональных поперечным компонентам электромагнитного поля в контролируемом тракте [1]. Для прямоугольного волновода, по которому распространяется волна  $H_{10}$ , можно записать

$$\frac{1}{T} \int_0^T E_y H_x dt = \bar{P}_{\text{прох}}, \quad (7)$$

где  $E_y$ ,  $H_x$  — мгновенные значения поперечных компонент соответственно электрического и магнитного полей;  $\bar{P}_{\text{прох}}$  — среднее значение проходящей мощности радиоимпульсов.

Электрическая схема измерителя приведена на рис. 2. Схема осуществляет перемножение двух сигналов по алгоритму

$$ab \sim [(a + b)^2 - (a - b)^2].$$

Высокочастотные сигналы, пропорциональные по величине напряжениям поперечных составляющих электромагнитного

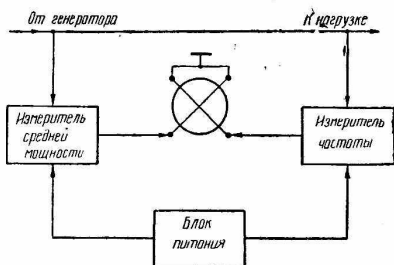


Рис. 1. Блок-схема прибора.

поля, получаются с помощью электрического и магнитного зондов и подаются в  $E$ - и  $H$ -плечи двойного волноводного тройника. В одном из боковых плеч тройника высокочастотные колебания складываются, в другом — вычитаются. Сигналы суммы и разности детектируются квадратичными детекторами. Для постоянной составляющей тока на вы-

ходе дифференциального усилителя, включенного по входу между нагрузками детекторов, справедливо соотношение

$$I = kP_{\text{прох.}} \quad (8)$$

Измеритель частоты выполнен по схеме конденсаторного частотомера с обратной связью (рис. 3) [2].

Видеоимпульсы с выхода СВЧ-детектора подаются на усилитель-ограничитель, затем дифференцируются. Кратковременные импульсы измеряемой частоты поступают на вход триггера, управляющего работой ключа на транзисторе Т4. При разомкнутом ключе происходит заряд конденсатора  $C$  от источника питания.

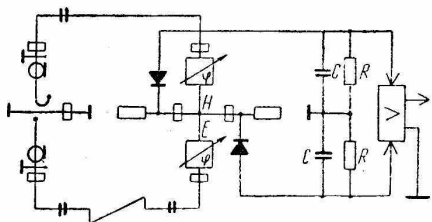


Рис. 2. Схема измерителя среднего значения проходящей мощности.

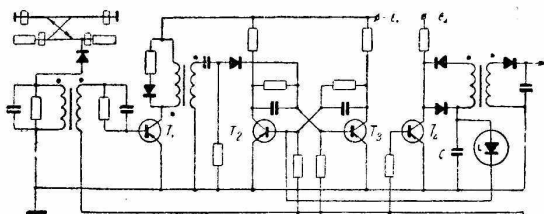


Рис. 3. Схема измерителя частоты.

Параллельно конденсатору включен стабилитрон. Когда напряжение на конденсаторе достигает величины напряжения пробоя стабилитрона, его ток резко возрастает и перебрасывает триггер. Ключ при этом замыкается, и происходит разряд конденсатора. Импульсы строго постоянной вольт-секундной площади измеряемой частоты следования детектируются диодным детектором. Постоянная составляющая тока на выходе детектора определяется выражением

$$I = kCU_{\text{ст}}F, \quad (9)$$

где  $U_{\text{ст}}$  — напряжение пробоя стабилитрона.

Поскольку  $k$ ,  $C$  и  $U_{\text{ст}}$  — постоянные величины, то

$$I \sim F. \quad (10)$$

**Конструкция прибора.** Конструктивно прибор состоит из трех частей: секции с датчиками, операционного и электронного блоков.

Секция в виде отрезка волновода с установленными на ней датчиками включается в разрыв контролируемого тракта. Электрический и магнитный датчики измерителя средней мощности установлены в одном сечении волновода посередине его широких стенок встречно. Чувствительными элементами электрического и магнитного датчиков являются соответственно штырь и петля. Для устранения взаимного влияния датчики экранированы друг от друга диафрагмой из фольги, впаянной в волновод вдоль его



Рис. 4. Блок-схема испытаний прибора.

оси. Датчиком для измерителя частоты служит крестообразный направленный ответвитель с крестовидным отверстием связи. В плече ответвителя, возбуждаемом падающей волной, установлена детекторная головка.

Операционный блок включает в себя двойной волноводный тройник, в боковых плечах которого установлены оконечные согласованные нагрузки и детекторные головки, плату нагрузок СВЧ детекторов, а также волноводные изгибы и скрутку, обеспечивающие жесткое соединение  $E$ - и  $H$ -плечей тройника с датчиками. Кроме того, тройник имеет в  $E$ - и  $H$ -плечах диафрагму и винт для широкополосного согласования и пластинчатые фазовращатели для регулировки сдвига фаз сигналов.

Печатные платы, на которых собраны низкочастотные электрические схемы измерителей средней мощности и частоты, а также источников питания, составляют электронный блок. Электрические схемы выполнены на транзисторах.

Узлы прибора установлены в металлическом кожухе. На переднюю панель выведены органы управления и высокочувствительный магнитоэлектрический логометр.

**Результаты исследований.** Целью исследований была экспериментальная проверка принципа действия описанного измерителя энергии радиоимпульсов, определение основных его характеристик и оценка погрешности измерения. Испытания прибора проводились по блок-схеме, приведенной на рис. 4.

При градуировке энергия радиоимпульса определялась расчетным путем по показаниям образцовых измерителей средней мощности и частоты на шкале логометра находилось соответствующее положение стрелки. В качестве образцовых приборов использовались пондеромоторный ваттметр крутильного типа с погрешностью аттестации  $\pm 3,5\%$  и цифровой частотомер типа Ф551А. Прибор измеряет энергию радиоимпульсов в пределах от 4 до 400 мдж при максимальной пиковой мощности  $\leq 100$  квт в волноводных трактах сечением  $28,5 \times 12,6$  мм. Частота следования импульсов может изменяться в пределах 100—10 000 гц. Собственный КСВН прибора  $\leq 1,1$ .

Поскольку примененный логометр имеет логарифмическую шкалу, уравнение измерения запишется в виде

$$\alpha = k_0 \lg k_1 W_u, \quad (11)$$

где  $k_0$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от конструкции логометра;  $k_1$  — коэффициент пропорциональности между энергией радиоимпульса и отношением токов в рамках.

Относительная погрешность показаний прибора включает погрешности преобразования средней мощности и частоты следования импульсов в постоянный ток и погрешность измерения отношения токов логометром. Исследования погрешности преобразования средней мощности в ток с учетом неполного согласования плеч двойного волноводного тройника, изменения частоты несущего колебания, неидентичности характеристик детекторов, аттестации образцового измерителя средней мощности и других факторов показали, что ее величина не превышает  $\pm 8\%$  при КСВН нагрузки  $\leq 20$ .

Погрешность преобразования частоты следования импульсов в ток была определена на основании исследований, проведенных в работе [2], и составляет  $\pm 1\%$ . Погрешность измерения отношения токов определяется классом точности логометра, а вследствие вариации показаний в режимах градуировки и измерения может достигать удвоенного значения, т. е.  $\pm 3\%$ . Предельная погрешность измерения энергии радиоимпульса составляет  $\pm 12\%$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. В. Д. Кукуш, В. В. Толстов. Устройство для измерения проходящей мощности СВЧ. Авт. свид. № 251086, «Бюллетень изобретений», № 27, 1969.
2. Ю. М. Цодиков. Преобразователь частоты в постоянный ток. «Автоматика и телемеханика» № 4, 1962.