

ИЗМЕРЕНИЕ ВЫХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ СИГНАЛОВ

Уточнена методика измерений выходного сопротивления источников сигналов для диапазона частот до 10 МГц.

Ключевые слова: источники сигналов, выходное сопротивление, схема измерений, методика измерений, расчетные формулы.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из главных параметров радиоэлектронных устройств является выходной импеданс $Z_{\text{вых}}$, значение которого определяет условие передачи сигналов между отдельными устройствами.

Кроме того, при измерениях энергетических параметров сигналов значение выходного импеданса устройств генерации и обработки сигналов определяет погрешность взаимодействия средства измерений и объекта измерений [1, 2].

Измерения выходного импеданса пассивных устройств осуществляются через прямые измерения и не представляют особого труда. Иначе обстоит дело с измерениями выходного импеданса активных устройств, на выходе которых генерируются или формируются сигналы. В этом случае приходится прибегать к косвенным измерениям.

По одной из методик [3] выходное сопротивление источников синусоидальных сигналов определяют по схемам рис. 1 при разных значениях нагрузки R_d и вычисляют по соотношению:

$$R_{\text{вых}} = R_d \frac{U_1 - U_2}{U_2} = R_d \frac{1 - n}{n}, \quad (1)$$

где $n = U_2/U_1$; U_1 – напряжение выходного сигнала при нагрузке $R_d = \infty$, т. е. без дополнительной нагрузки; U_2 – напряжение выходного сигнала при подключении дополнительного резистора сопротивлением R_d .

Значение резистора R_d выбирается таким образом, чтобы изменение показаний вольтметра при подключении резистора составило не менее 10 %.

По другой методике [4] к выходу источника сигнала подключают резистор сопротивлением R_{d1} и фиксируют показания вольтметра U_1 . Затем подключают резистор сопротивлением $R_{d2} = R_{d1}/2$ и фиксируют показания вольтметра U_2 . После чего значение выходного сопротивления вычисляют по выражению:

$$R_{\text{вых}} = R_{d1} \frac{U_1 - U_2}{2U_2 - U_1} = R_{d1} \frac{1 - n}{2n - 1}. \quad (2)$$

При этом подключаемые резисторы R_{d1} и R_{d2} следует выбирать таким образом, чтобы не перегрузить исследуемую схему и не вывести ее из строя.

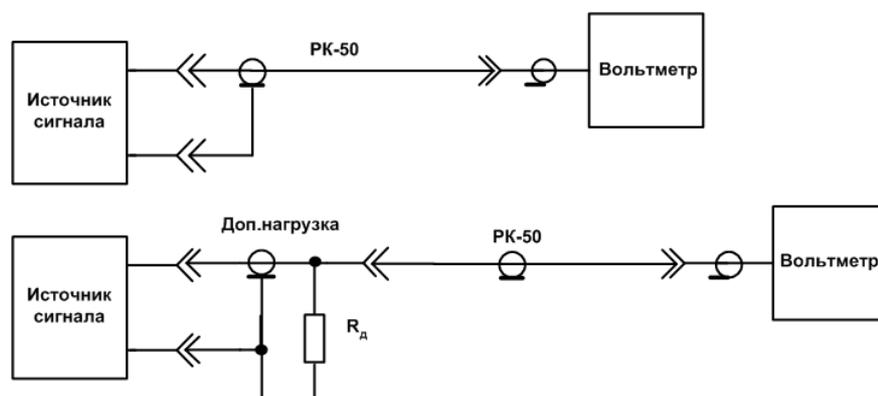


Рис. 1. Схемы измерения выходного сопротивления

Результаты моделирования показывают, что при использовании соотношений (1) и (2) приемлемая погрешность измерений соответствует выполнению условий $f_c \leq 1$ МГц, $R_{\text{вых}} f_c \leq 10^8$ Ом·Гц, где f_c – частота сигнала.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ЕЕ РЕШЕНИЕ

В упомянутых методиках не учитываются параметры входной цепи вольтметра $R_{\text{вх}}, C_{\text{вх}}$, а также параметры радиочастотного кабеля, что обуславливает значительную погрешность измерений выходного сопротивления в более широком диапазоне частот как устройств, формирующих сигналы синусоидальной формы, так и устройств, генерирующих сигналы с формой, значительно отличающейся от гармонической.

Схема, эквивалентная схеме измерений рис. 1, в диапазоне частот до 10 МГц, когда радиочастотный кабель, нагруженный на высокое входное сопротивление вольтметра $Z_{\text{вх}}$, может быть заменен емкостью $C_{\text{каб}}$ порядка 100 пФ/м, представлена на рис. 2.

Из данной схемы следует, что до подключения дополнительного резистора R_d показания вольтметра действующего напряжения при условии, что сигнал на выходе схемы – гармонический, а выходное сопротивление – чисто активное, будут равны

$$U_{d1} = \frac{E\Gamma}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R_{\text{вых}}^2}}, \tag{3}$$

где $C = C_{\text{каб}} + C_{\text{вх}}$.

После подключения резистора R_d показания вольтметра будут соответствовать значению:

$$U_{d2} = \frac{E\Gamma}{\sqrt{(1 + R_{\text{вых}}/R_d)^2 + \omega^2 C^2 R_{\text{вых}}^2}}. \tag{4}$$

Решая данные уравнения относительно $R_{\text{вых}}$, получим

$$R_{\text{вых}} = R_d \frac{-n^2 + \sqrt{n^2 - a^2(n^2 - 1)^2}}{n^2 + a^2(n^2 - 1)^2}, \tag{5}$$

где $a = 2\pi f C R_d$.

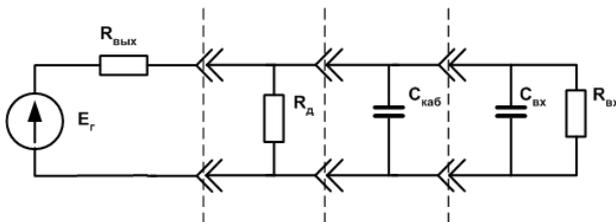


Рис. 2. Эквивалентная схема измерений выходного сопротивления

Результаты моделирования показывают, что если выходное сопротивление источников гармонических сигналов можно полагать чисто активным и выполняются условия $R_{\text{вых}} f_c \leq 10^9$ Ом·Гц и $f_c \leq 10$ МГц, погрешность измерений $R_{\text{вых}}$ по выражению (5) не превысит долей процента, в то время как при использовании соотношения (1) погрешность измерений превышает 25 %.

При измерении выходного сопротивления источников сигналов сложных форм при частотах более 1 МГц следует учитывать, что радиочастотный кабель с волновым сопротивлением Z_0 в рассогласованном режиме ($Z_{\text{вх}} \neq Z_0$) может значительно исказить сигнал. На рис. 3 представлены осциллограммы исходного сигнала частотой 10 МГц и сигнала на входе вольтметра для кабеля длиной $l = 0,8$ м при $R_{\text{вых}} = 10$ Ом; $C_{\text{вх}} = 30$ пФ; $Z_0 = 50$ Ом. При этом результаты измерений напряжений U_1 и U_2 вольтметром действующего напряжения будут содержать значительные погрешности, приводящие к неверным результатам измерений выходного сопротивления.

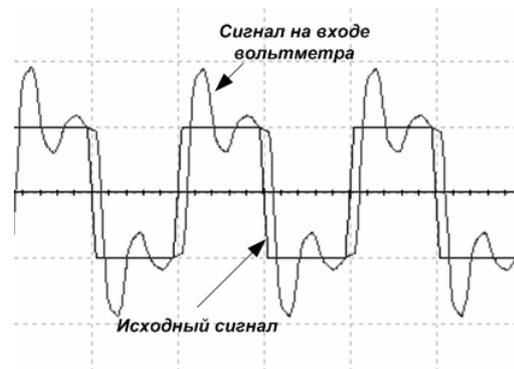


Рис. 3. Искажения сигнала частотой 10 МГц при рассогласовании линии передачи

Поэтому для измерений выходного сопротивления источников сигналов сложных форм в схему измерений рис. 1 вместо обычного вольтметра необходимо подключать селективный вольтметр или анализатор спектра с настройкой на частоту первой гармоники сигнала.

ВЫВОДЫ

Данная методика косвенных измерений выходного сопротивления источников сигналов любых форм позволяет значительно уменьшить погрешность измерений в диапазоне частот до 10 МГц за счет учета параметров соединительного кабеля и входной цепи вольтметра.

В діапазоні частот вище 10 МГц радіочастотний кабель не можна розглядати як концентровану ємність, а необхідно розглядати як лінію з розподіленими параметрами і для виконання правильних вимірювань в більш широкому діапазоні частот вирішувати аналогічну задачу з урахуванням розподіленого характеру лінії передачі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений. Нормативно-технические документы. – М. : Стандарты, 1988. – 152 с.
2. *Петрищев А. А.* К выбору нормируемых метрологических характеристик вольтметров действующего напряжения / А. А. Петрищев // *Радиоэлектроника, информатика, управління.* – 1999. – № 1. – С. 27–30.
3. *Collinson A.* Measuring Input and Output Impedance [Электронный ресурс] / Andy Collinson. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.zen22142.zen.co.uk/Theory/inzoz.htm>. – Загл. с экрана.

4. ОСТ 45.9096. Стыки цифровых каналов и групповых трактов первичной сети взаимовязанной сети связи Российской Федерации. Методы испытаний основных параметров. – Введ. 19970101. – М. : ЦНИИС, 2006. – 16 с.

Надійшла 01.09.2009
Після доробки 18.09.2009

Петрищев О. О.

ВИМІРЮВАННЯ ВИХІДНОГО ОПОРУ ДЖЕРЕЛ СИГНАЛІВ

Уточнено методику вимірювань вихідного опору джерел сигналів для діапазону частот до 10 МГц.

Ключові слова: джерела сигналів, вихідний опір, схема вимірювань, методика вимірювань, розрахункові формули.

Петрищев А. А.

MEASUREMENT OF SIGNAL SOURCES OUTPUT RESISTANCE

The signal sources output resistance measurement technique is improved for the range of frequencies up to 10 MHz.

Key words: signal sources, output resistance, metering circuit, measurement technique, calculation formulae.

УДК 621.372.852.001.11

Фурманова Н. І.¹, Антоненко О. С.², Шинкаренко Е. М.³, Фарафонов О. Ю.⁴, Воропай О. Ю.⁵

¹Аспірант Запорізького національного технічного університету

²Канд. техн. наук, доцент Запорізького національного технічного університету

³Старший викладач Запорізького національного технічного університету

⁴Канд. техн. наук, доцент Запорізького національного технічного університету

⁵Старший викладач Запорізького національного технічного університету

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ХВИЛЬОВИХ ОПОРІВ МІКРОСМУЖКОВИХ СМУГОПРОПУСКАЮЧИХ ФІЛЬТРІВ НА ЗВ'ЯЗАНИХ ЛІНІЯХ З ОТВОРАМИ В ЕКРАНІ ВІД ТОВЩИНИ СМУЖКИ МІКРОСМУЖКОВОЇ ЛІНІЇ

Виконано синтез смуго пропускаючих фільтрів (СПФ) на зв'язаних мікросмужкових лініях різної товщини з отворами в екрані. Проаналізовано вплив товщини смужки мікросмужкової лінії на хвильові опори СПФ. За результатами розрахунків побудовано номограму, завдяки якій спрощується процес проектування СПФ на мікросмужкових лініях з отворами в екрані. Представлена номограма наочно показує залежність хвильових опорів фільтра з отвором в екрануючому шарі від товщини смужки.

Ключові слова: синтез фільтрів, мікросмужкові лінії, екрануючий шар, хвильовий опір фільтра.

Фільтри на паралельних зв'язаних мікросмужкових лініях часто використовуються як компоненти в мікрохвильових інтегрованих ланцюгах завдяки їхній відносно простій конструкції та універсальності. Проте, при їх реалізації у традиційному вигляді на одношарових підкладках у мікросмужковій технології такі фільтри мають два істотних недоліки. По-перше, існування паразитної смуги пропускання на частоті $2f_0$ (f_0 – центральна частота фільтра) [1–3].

Друга проблема пов'язана з труднощами виробництва широкосмугових фільтрів у зв'язку зі слабким зв'язком між смужками в традиційних структурах. У літературі пропонується досить багато способів поліпшення позасмугових властивостей фільтрів. В цілому, більшість способів придушення небажаної смуги пропускання в цих фільтрах, описаних в літературі, можна розділити на дві групи: перші базуються на використанні підбору зосередженого на-

© Фурманова Н. І., Антоненко О. С., Шинкаренко Е. М., Фарафонов О. Ю., Воропай О. Ю., 2010