

Исследование характеристик цифровых СВЧ аттенюаторов

Д.А. Шестерикова, А.Е. Шестериков

ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»

Аннотация: в данной работе представлены принципы определения СВЧ параметров цифровых аттенюаторов (6 бит), рассчитанных на диапазон частот от 0,1 ГГц до 14 ГГц, через параметры рассеяния.

Ключевые слова: СВЧ аттенюатор, коэффициент ослабления, фазовый сдвиг, коэффициент стоячей волны

1. Введение

Аттенюаторы используются для фиксированного ослабления уровня мощности СВЧ сигнала для его дальнейшего измерения. Также явление ослабления используется для изменения коэффициента передачи схемы, балансировки каналов электронной аппаратуры [1]. Аттенюаторы имеют достаточно простое функциональное назначение, но при этом технические требования к их параметрам отличаются значительным разнообразием [2]. В процессе производства очень важно правильно контролировать и интерпретировать СВЧ параметры, полученные в процессе измерений на векторном анализаторе цепей (ВАЦ). В связи с этим, целью данной статьи является демонстрация принципов определения основных параметров СВЧ цифровых аттенюаторов через параметры рассеяния.

2. Описание конструкции СВЧ аттенюатора

Цифровые СВЧ аттенюаторы благодаря логическому переключению каналов позволяют реализовывать ослабление сигнала в широком диапазоне коэффициента ослабления с минимальным шагом, соответствующим его разрядности. Таким образом, 6-разрядный СВЧ аттенюатор состоит из секций, рассчитанных на ослабление 0,5 дБ; 1 дБ; 2 дБ; 4 дБ; 8 дБ; 16 дБ. Это позволяет реализовать ослабление сигнала от 0 до 31,5 дБ с шагом 0,5 дБ. Электрическая схема аттенюатора представляет из себя каскадное включение ячеек с соответствующим ослаблением сигнала (рисунок 1) [3].

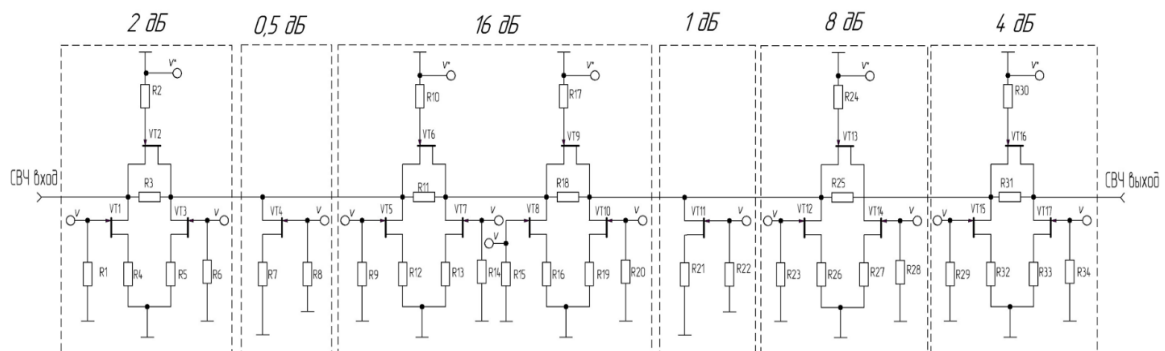


Рисунок 1. Электрическая схема ячеек аттенюатора

Все ячейки кроме 0,5 дБ и 1 дБ используют П-образную схему ослабления, поэтому характеристики аттенюатора должны быть симметричными относительно входа и выхода МИС. Для включения и отключения ячеек ослабления используется драйвер управления на основе ТТЛ логики.

Основными характеристиками аттенюатора являются [1]:

- коэффициент ослабления $k = |S_{21}|$ (Insertion Loss – IL);
- фазовый сдвиг сигнала $\varphi = \arg(S_{21})$ (Phase shift);
- коэффициент стоячей волны (Voltage standing wave ratio – VSWR) по входу (1) и выходу (2):

$$VSWR_{in} = \frac{1 + \Gamma_{in}}{1 - \Gamma_{in}}, \quad (1)$$

$$VSWR_{out} = \frac{1 + \Gamma_{out}}{1 - \Gamma_{out}}, \quad (2)$$

где Γ_{in} – коэффициент отражения от входа ($\Gamma_{in} = |S_{11}|$), Γ_{out} – коэффициент отражения от выхода ($\Gamma_{out} = |S_{22}|$).

- ошибка коэффициента ослабления в полосе рабочих частот $\varepsilon = (k - k_{ном}) / k_{ном}$, где $k_{ном}$ – номинальное значение коэффициента ослабления.

3. Результаты испытаний и их анализ

Измерения производились на цифровых аттенюаторах (6-бит) с рабочим диапазоном частот от 0,1 ГГц до 14 ГГц. СВЧ параметры рассеяния определялись с помощью векторного анализатора цепей (ВАЦ). На рисунке 2 представлена частотная панорама коэффициента ослабления аттенюатора (а) и ошибки коэффициента ослабления (б) в полосе рабочих частот.

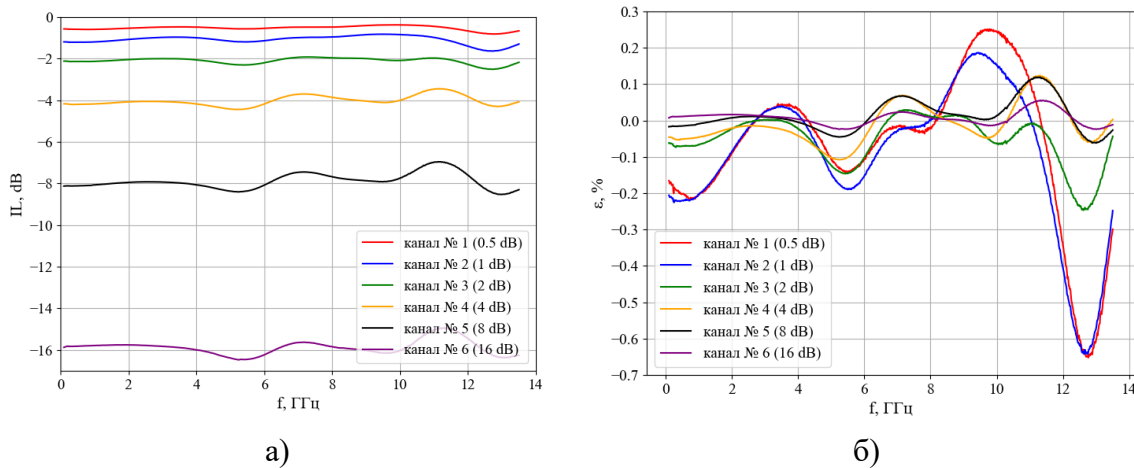


Рисунок 2. Частотная панорама коэффициента ослабления аттенюатора (а) и ошибки коэффициента ослабления (б) в полосе рабочих частот

Как видно из рисунка 2б ошибка коэффициента ослабления составляет не более 0,7 % от номинальных значений. При этом ошибка больше на каналах с ослаблением 0,5 дБ и 1 дБ. На рисунке 3 представлена частотная панорама фазового сдвига ячеек аттенюатора.

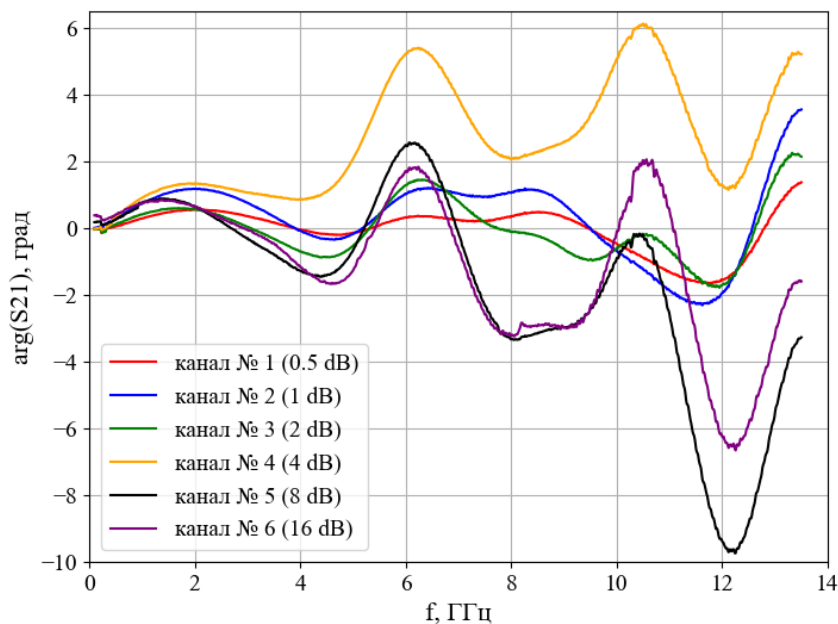


Рисунок 3. Частотная панорама фазового сдвига ячеек аттенюатора

Из рисунка 3 видно, что фазовый сдвиг ячеек аттенюатора находится в пределах от -10° до 6° . На рисунке 4 представлена зависимость коэффициента стоячей волны по входу (а) и выходу (б) аттенюатора от частоты.

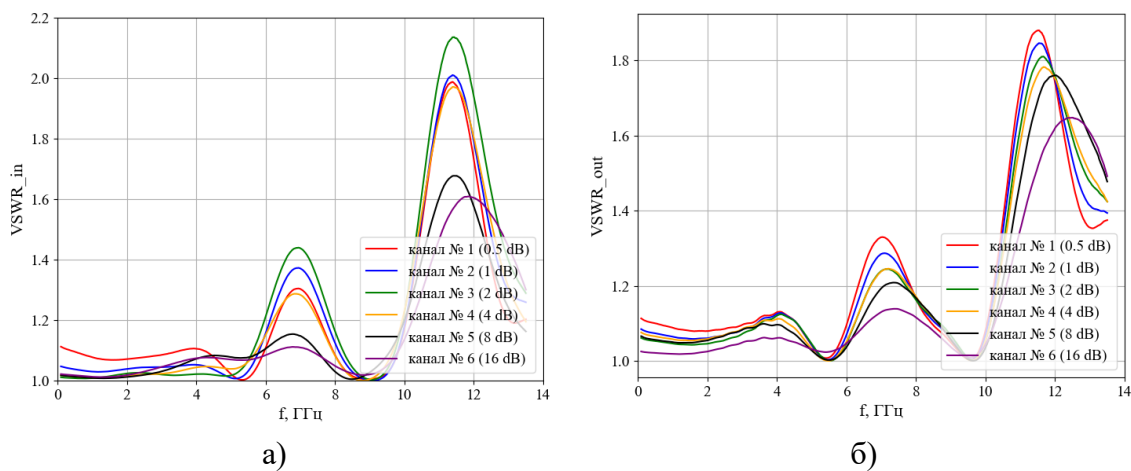


Рисунок 4. Зависимость коэффициента стоячей волны по входу (а) и выходу (б) аттенюатора от частоты

Приемлемые значения VSWR должны находиться в пределах от 1 до 2 [4], что, в целом, соответствует полученным зависимостям на рисунке 4. Результаты определения характеристик аттенюатора представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты определения характеристик аттенюатора

Параметр	Значение
Insertion Loss	0,5 dB; 1 dB; 2 dB; 4 dB; 8 dB, 16 dB
Phase Shift	$-10^\circ \div +6^\circ$
VSWR _{in}	$1 \div 2,15$
VSWR _{out}	$1 \div 1,64$
ϵ	$-0.65 \div 0.25 \%$

4. Заключение

В ходе исследования были рассчитаны характеристики цифрового аттенюатора, рассчитанного на диапазон частот от 0,1 до 14 ГГц и определены его основные характеристики из значений параметров рассеяния, измеренных с помощью ВАЦ.

Список литературы

1. Белов Л. Аттенюаторы СВЧ-сигналов //Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2006. – №. 2. – С. 32-39.
2. Dai Y. S. et al. Research on a novel 2~ 18 GHz PHEMT MMIC digital attenuator with low insertion phase shift //2012 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT). – IEEE, 2012. – Т. 4. – С. 1-4.
3. Алексеев К. А. GaAs МИС цифрового аттенюатора диапазона 1-10 ГГц //Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2014. – №. 1. – С. 86-89.
4. Smolders A. B., Visser H. J., Johannsen U. Modern Antennas and Microwave Circuits--A complete master-level course //arXiv preprint arXiv:1911.08484. – 2019.