УДК 621.375

DOI 10.36845/2073-8250-2020-259-4-56-62

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ОСНАСТКИ НА РАБОТУ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

В.И. Шаломанов, Д.А. Сарapultsev, М.Р. Сизов

*РТУ «МИРЭА», НТЦ «Твердотельная СВЧ-электроника»,
119454, ЦФО, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78*

В статье рассматривается влияние конструкции измерительной оснастки на работу твердотельного усилителя, а конкретно – на возникновение паразитных составляющих в рабочем диапазоне частот. Были исследованы дифференциальный усилитель и малошумящий усилитель. Для обоих устройств разработана измерительная оснастка, экспериментально была решена проблема влияния оснастки на усилители.

Ключевые слова: дифференциальный усилитель мощности, малошумящий усилитель мощности, твердотельная электроника, частота, измерительная оснастка

Сведения об авторах: Шаломанов Вячеслав Иванович, shalomanov@mirea.ru; Д.А. Сарapultsev, sarapulcev@mirea.ru; Сизов Михаил Ростиславович, sizov@mirea.ru

INVESTIGATION OF THE DESIGN OF MEASURING EQUIPMENT INFLUENCE ON THE OPERATION OF A SOLID-STATE POWER AMPLIFIER

V.I. Shalomanov, D.A. Sarapultsev, M.R. Sizov

*Science&Technology Center «Solid state UHF electronics»,
119454, Moscow, Prospekt Vernadskogo, 78*

The measuring equipment influences the operation of solid-state power amplifier by inducing parasitic components in the operating frequency range. Operation of differential amplifier and a low noise amplifier were studied. The measuring equipment for these devices was developed and the issue stated was experimentally solved.

Keywords: differential power amplifier, low-noise power amplifier, solid-state electronics, frequency, measuring equipment

Authors: Shalomanov Vyacheslav Ivanovich, shalomanov@mirea.ru; Sarapultsev Danila Alekseevich, sarapulcev@mirea.ru; Sizov Mikhail Rostislavovich, sizov@mirea.ru

Обычно при разработке усилителей разработчики учитывают влияние измерительной оснастки на работу усилителей. В определенных случаях, невозможно заранее определить и рассчитать этот эффект без проведения соответствующих измерений готовых приборов. В статье демонстрируется влияние применяемой измерительной оснастки на характеристики твердотельных микродвигательных приборов: дифференциального усилителя мощности и маломощного усилителя мощности.

В рамках составной части опытно-конструкторской работы (далее – СЧ ОКР) «Разработка составных частей усилителей мощности с уровнем выходной мощности до 130 мВт в диапазоне частот до 2,7 ГГц с полосами частот более 1 октавы» в Научно-технологическом центре «Твердотельная СВЧ-электроника» РТУ МИРЭА (далее – НТЦ) разрабатывается дифференциальный усилитель с выходной мощностью 130 мВт и диапазоном рабочих частот 0,05 – 1 ГГц. Запланированные и экспериментально подтвержденные электро-технические характеристики усилителя представлены в табл. 1.

Для проведения измерений электро-технических характеристик усилителя в процессе выполнения СЧ ОКР была разработана измерительная оснастка. Как видно из табл. 1 результаты измерений несколько уступают результатам моделирования, хотя и удовлетворяют предъявляемым к разработке требованиям.

На рис. 1 представлен дифференциальный усилитель мощности, к каждому каналу которого проходит цепь питания.

В процессе изучения созданного дифференциального усилителя обнаружился дефект, состоящий в том, что коэффициент усиления в одном из каналов значительно колеблется в рабочем диапазоне частот. На рис. 2 представлены результаты измерений коэффициента усиления прототипа.

График демонстрирует наличие в канале 2 «провала» по коэффициенту усиления. Причиной этого недостатка является применение в цепи питания данного канала более длинного микрополоска.

Дефект был устранен переносом индуктивности (L2) ближе к полоску выходного сигнала (рис. 3).

Таблица 1

Электро-технические характеристики дифференциального усилителя

Параметр	Обозначение	Предъявленные требования	Результаты моделирования	Результаты измерения
Диапазон рабочих частот, ГГц	Δf	0,05-1,0	0-7.6	0,05-2
Коэффициент усиления в диапазоне рабочих частот, дБ	K_y	>9,5	15	13,5
Неравномерность коэффициента усиления, дБ	ΔK_y	1,7	1,3	1,2
Выходная мощность при компрессии коэффициента усиления на 1 дБ, мВт	$P_{1дБ}$	>130	140	136
Коэффициент шума, дБ	$K_{ш}$	<4	2,2	2,45
Точка пересечения интермодуляционных искажений третьего порядка по выходу, дБм	OIP3	>46	47	48

Рис. 1

Дифференциальный усилитель
(IN1 и IN2 – вход 1 и 2, OUT1 и OUT2 – выход 1 и 2)

Рис. 2

Коэффициент усиления в разных каналах прибора

Рис. 3
Измененная измерительная оснастка

После измерений на данной оснастке провал в канале 2 исчез. Прибор начал работать исправно.

В СЧ ОКР также разрабатывается мало-

шумящий усилитель мощности в диапазоне частот 0-3,8 ГГц, где возникла аналогичная проблема. Параметры разрабатываемого усилителя представлены в таблице 2.

Таблица 2

Электро-технические характеристики малошумящего усилителя

Наименование параметра, единица измерения	ТЗ	Результаты моделирования	Измерения
Диапазон частот (Δf), ГГц	0...3,8	0...3,8	0...3,8
Неравномерность коэффициента усиления (ΔK_u), дБ	1,3	1,1	1,25
Коэффициент усиления (K_u), дБ	20,4	22	21
Коэффициент отражения по входу ($\Gamma_{вх}$), дБ	-12,1	12,1	12,1
Коэффициент отражения по выходу ($\Gamma_{вых}$), дБ	-15,0	-15,0	-15,0
Коэффициент шума ($K_{ш}$), дБ	1,5	1,5	1,45
Выходная мощность при компрессии на 1 дБ ($P_{вых1дБ}$), дБм	-9,2	-9,2	-9,2

а)

б)

Рис. 4

Измерительная оснастка для усилителя:

а) L1 далеко от полоска вывода; б) Перенесенный L1 к полоску вывода, на месте прежнего L1 перемычка из припоя

В процессе выполнения СЧ ОКР были проведены измерения одного прототипа разрабатываемого маломощного усилителя мощности на двух разных измерительных оснастках. Результаты, полученные в данных измерениях, совпадают с уже проводимыми экспериментами с дифференциальным усилителем [1]. Можно увидеть в

середине диапазона резкий спад по коэффициенту усиления в оснастке с индуктивностью, которая находится далеко от микрополосковой линии выхода. Результаты измерений представлены на рис. 5.

В данном эксперименте доказано влияние измерительной оснастки на электро-технические параметры маломощного

Рис. 5

Влияние измерительной оснастки на коэффициент усиления

усилителя мощности. Для более стабильной работы прибора по коэффициенту усиления необходимо использовать оснастку с индуктивностью, расположенной ближе к микрополосковой линии выхода.

Схемы включения (измерительная оснастка) представленных выше усилителей были изготовлены на копланарной линии передачи.

Копланарная линия представляет собой трехпроводную полосковую линию передачи, в которой электромагнитная волна распространяется вдоль щелей между полосковыми проводниками, расположенными в одной плоскости. Средний проводник является токонесущим, а два крайних – «заземленными» (рис. 6). Вся система проводников расположена на однослойной диэлектрической подложке или на многослойной подложке из разных материалов.

Рис. 6
Копланарная линия

Рис. 7
Распределение электрических полей

На рис. 7 изображено распределение силовых линий электрического поля в копланарной полосковой линии. Электрический потенциал внешних широких проводников обычно считается равным нулю. Распределение поля в копланарной линии совпадает с распределением поля в коаксиальной линии. Это позволяет легко соединить коаксиальную линию и копланарную полосковую линию. Копланарную линию передач легко согласовать в широкой полосе частот [3].

Разработанные усилители имеют схему включения, показанную на рис. 8 (принципиальная схема измерительной оснастки).

Номиналы дроссельной катушки индуктивности $L1$ и разделительных конденсаторов ($C3$, $C4$) подбираются в соответствии с частотным диапазоном усилителей. Напряжение питания регулируется резистором $R1$ [4].

Рис. 8
Типовая схема включения широкополосных усилителей по схеме Дарлингтона

Таким образом экспериментально доказано, что катушка L1 должна быть как можно ближе к выходному полюсу и С5. Такой перенос катушки обеспечивает отсутствие провалов коэффициента усиления в рабочем диапазоне частот, которые можно было наблюдать до применения соответствующих конструкторских решений.

СВЧ сигнал, проходящий от выхода прибора до выхода измерительной оснастки, возбуждает в длинном полоске цепи питания А (рис. 8) паразитные колебания, которые можно наблюдать на рис. 2 и 5 (провалы по коэффициенту усиления). Перенос L1, приводящий к укорачиванию полоски А, позволяет исключить возможность возникновения таких колебаний.

Существует и иное решение представленной задачи. На рис. 9 показан участок измерительной оснастки, где происходит разветвление копланарной полосковой линии на полосок питания (Уп).

Для решения описанной выше проблемы можно было применить переходные (зем-

Рис. 9

Разветвление копланарной линии

ляные) отверстия вдоль копланарной линии, которая идет к источнику питания. Каждое отверстие образует, так называемую «паразитную» индуктивность. Собственная индуктивность отверстия достаточно мала, но если сигнал в течение своего пути вынужден проходить через несколько переходных отверстий, то их индуктивности складываются (последовательное соединение), что позволяет достичь значительной суммарной индуктивности, позволяющей исключить возможность возникновения паразитных колебаний в полоске питания.

Литература

1. Усилители и преобразователи СВЧ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bukwa.narod.ru/begin-05.pdf>, свободный – (22.10.2020).
2. Техника и полупроводниковые устройства СВЧ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://naukainform.kpi.ua/SiteAssets/Monographia/Техника%20и%20полупроводниковая%20электроника%20СВЧ.pdf>, свободный – (11.10.2020).
3. Теория цепей СВЧ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://core.ac.uk/download/pdf/38647251.pdf>, свободный – (11.10.2020).
4. Составной транзистор (Схема Дарлингтона и Шиклаи) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ldsound.ru/sostavnoj-tranzistor-skhema-darlingtona-i-shiklai/>, свободный – (11.10.2020).

References

1. Usiliteli i preobrazovateli SVCH [Microwave amplifiers and converters], available at: <http://bukwa.narod.ru/begin-05.pdf>, accessed 22 Oct 2020.
2. Tekhnika i poluprovodnikovyye ustroystva SVCH [Microwave engineering and semiconductor devices], available at: <http://naukainform.kpi.ua/SiteAssets/Monographia/Техника%20и%20полупроводниковая%20электроника%20СВЧ.pdf>, accessed 11 Oct 2020.
3. Teoriya tsepey SVCH [Microwave circuit theory], available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/38647251.pdf>, accessed 11 Oct 2020.
4. Sostavnoj tranzistor (Skhema Darlingtona i Shiklai) [Composite transistor (Darlington and Shiklai circuit)], available at: <http://ldsound.ru/sostavnoj-tranzistor-skhema-darlingtona-i-shiklai/>, assessed 11 Oct 2020.