

Эффективное использование наборов конденсаторов на диэлектрических стержнях для настройки СВЧ-устройств

Сародж К. ПАТРО (Saroj K. PATRO)
Ятин БУК (Yatin BUCH)
Рави Б. КИШОР (Ravi B. KISHORE)
Перевод: Станислав ДИДИЛЕВ
sd@etsc.ru

Несмотря на наличие современных средств автоматизированного проектирования электронных устройств (САПР), ручная настройка ВЧ/СВЧ-цепей все еще широко применяется на практике, особенно при оптимизации параметров усилителей мощности.

В данной статье рассматриваются различные аспекты применения широко распространенных многослойных керамических конденсаторов, в частности, особенности применения конденсаторов с большими размерами контактных областей (обладающих значительной собственной индуктивностью). Также в статье приводятся методы определения резонансных эффектов в рабочем диапазоне частот и способы устранения подобных нежелательных эффектов за счет применения более миниатюрных и дешевых конденсаторов с низкими потерями. Теоретические обоснования проиллюстрированы практическими примерами.

Введение

Конструкторы и производители современных ВЧ/СВЧ-усилителей мощности все чаще сталкиваются с ужесточающимися требованиями к линейности усилителей при сохранении высокой эффективности работы последних. В свете этого, использование самых современных технологий по обеспечению высокой линейности в сочетании с качественно проработанной архитектурой усилителя является необходимым условием для создания конкурентоспособного продукта [1–4]. В сложных усилителях мощности выбор используемых пассивных компонентов с низкими потерями так же важен, как и выбор активных приборов. Любые потери в пассивных компонентах требуют добавления дополнительных каскадов усиления, увеличения мощности активных компонентов и, следовательно, приводят к удорожанию усилителя в целом. Поэтому разработчики все чаще используют в своих решениях многослойные керамические конденсаторы с низкими потерями, причем не только в слабосигнальных, но и в выходных цепях. Конденсаторы типоразмера 0603 являются одним из

наиболее оптимальных решений по соотношению эффективного последовательного сопротивления (Effective Series Resistance — ESR) и цены [5–6]. Почти все современные схемотехнические решения усилителей используют преимущественно малогабаритные пассивные компоненты для снижения потерь различного типа, уменьшения габаритов и снижения цены. В связи с этим, конденсаторы больших размеров (110×110 миллидьюмов) становятся все менее популярными среди разработчиков. Тем не менее, подобные конденсаторы могут с успехом использоваться в лабораторных условиях в процессе настройки устройства.

Настройка согласующих цепей

Несмотря на доступность мощных средств автоматизированного проектирования (например, таких как ADS), их применение не дает 100%-ной гарантии достижения необходимых параметров на практике (в тестовых образцах). Подобная ситуация возникает из-за многих факторов: например, из-за неточности моделирования элементов в среде САПР, паразитных связей между элементами и т. д. Не всегда бывают доступны все модели для требуемых компонентов. Зная все это, опытные разработчики почти всегда используют эмпирические методы, на практике подбирая параметры различных элементов схемы для оптимизации ее характеристик. Особенно часто подобная методика используется на этапе утверждения окончательной топологии схемы устройства.

Эмпирический подбор параметров различных элементов применяют достаточно давно, однако он может оказаться особенно полезным в случае, когда можно учесть паразитные эффекты, вносимые настроечными элементами (при настройке в лабораторных условиях). На практике разработчики пользуются двумя методами тестирования: пер-

вый заключается в расположении в определенных местах платы последовательных или параллельных настроечных элементов при поданном на усилитель напряжении и ВЧ-сигнале; второй отличается от первого только тем, что во время установки настроечных элементов отключается напряжение питания и (или) ВЧ-сигнал.

Тестируемая схема и ее настройка

Рассмотрим процесс оптимизации параметров существующего усилителя при использовании его в более высоком диапазоне частот. На рис. 1 приведена схема усилителя, построенного на основе СВЧ ИМС. На этом рисунке также приведены согласующие цепи усилителя, представленные в виде сосредоточенных и распределенных элементов. Ниже описывается пошаговый процесс оптимизации усилителя.

Текущие параметры усилителя

Текущие параметры усилителя, схема которого показана на рис. 1, приведены на рис. 2–4. Данные параметры (S21, S11 и S22) были получены при работе усилителя на частоте 1900 МГц и напряжении питания 5 В.

Параметры усилителя при работе на повышенной частоте (без оптимизации)

Затем мы изменили рабочую частоту усилителя с 1900 на 2100 МГц, не изменяя при этом его компоненты. Полученные при этом данные приведены на рис. 5–7.

Как хорошо видно на рисунках, усиление упало на 1,6 дБ, что очевидно, поскольку на новой частоте схема усилителя неоптимизирована. Наша задача заключается в оптимизации схемы таким образом, чтобы на частоте 2100 МГц получить параметры как минимум не хуже, чем полученные на частоте 1900 МГц.

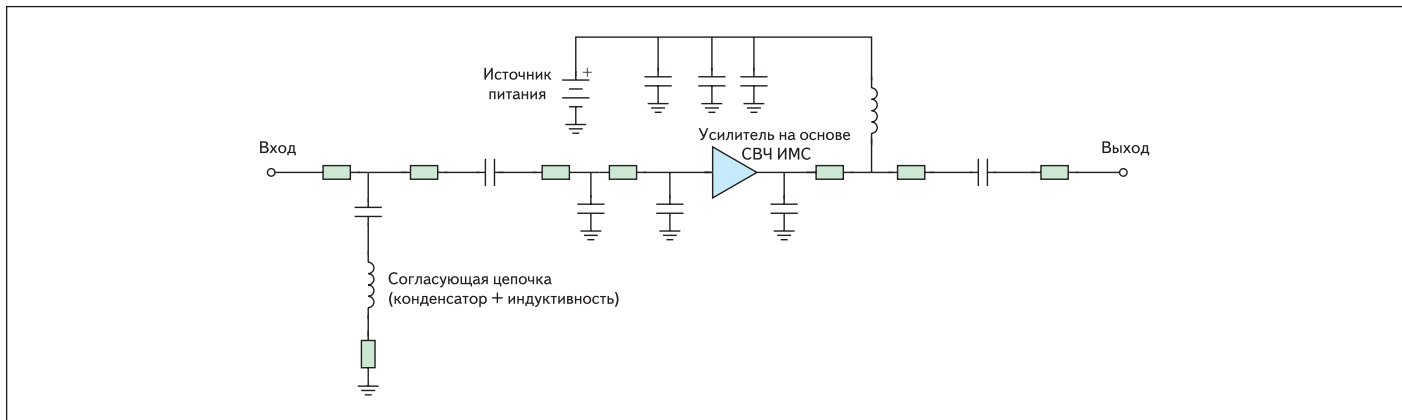


Рис. 1. Схема существующего усилителя на диапазон 1900 МГц

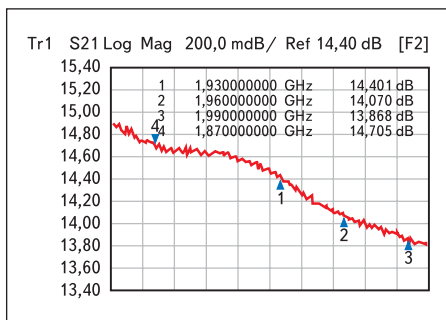


Рис. 2. Значения S21 в диапазоне 1900 МГц

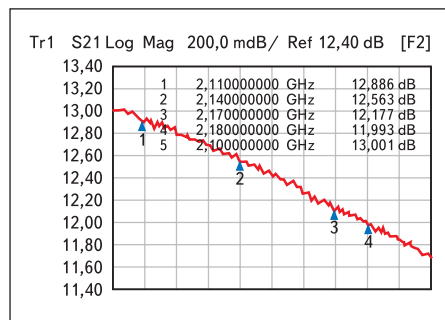


Рис. 5. Значения S21 в диапазоне 2100 МГц (без оптимизации усилителя)

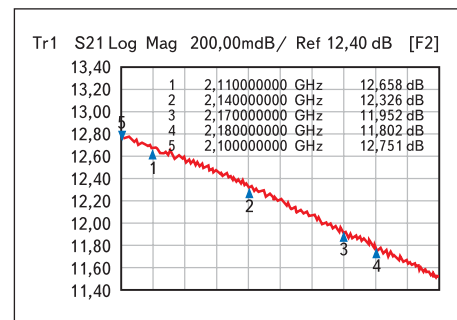


Рис. 8. Значения S21 после замены разделительных конденсаторов

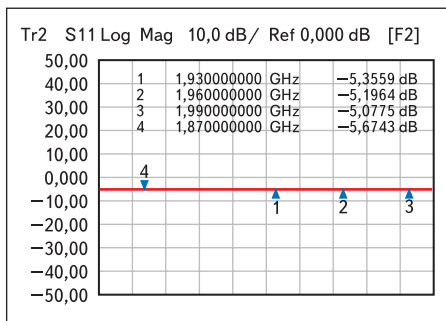


Рис. 3. Значения S11 в диапазоне 1900 МГц

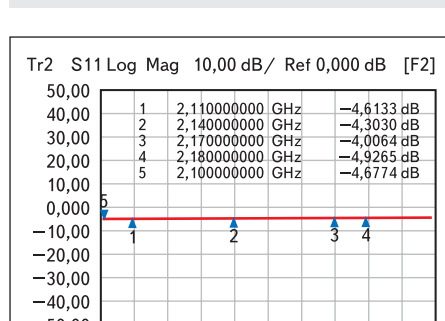


Рис. 6. Значения S11 в диапазоне 2100 МГц (без оптимизации усилителя)

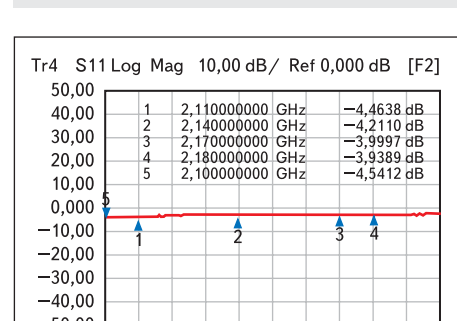


Рис. 9. Значения S11 после замены разделительных конденсаторов

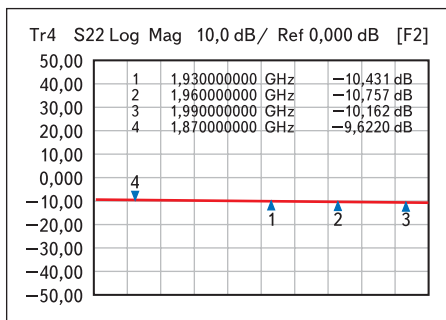


Рис. 4. Значения S22 в диапазоне 1900 МГц

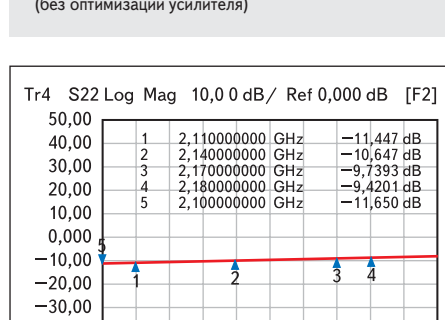


Рис. 7. Значения S22 в диапазоне 2100 МГц (без оптимизации усилителя)

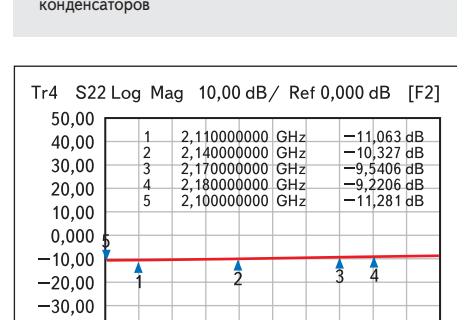


Рис. 10. Значения S22 после замены разделительных конденсаторов

Замена разделительных конденсаторов

Следующим шагом в процессе оптимизации является замена всех разделительных конденсаторов: при работе на частоте 2100 МГц были установлены конденсаторы емкостью 6,8 пФ, что отрицательно сказалось на усилении наше-

го усилителя (оно уменьшилось), причем, весьма незначительно. В принципе, разработчики могут оставить старые конденсаторы емкостью

10 пФ. Параметры усилителя после замены всех разделительных конденсаторов на конденсаторы емкостью 6,8 пФ приведены на рис. 8–10.

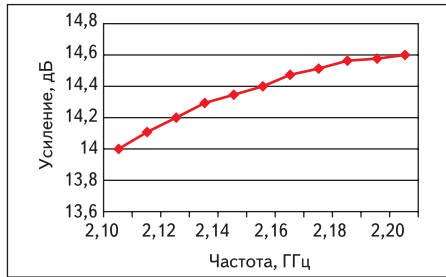


Рис. 11. Значения S21 при установленном конденсаторе 5,6 пФ серии 100В

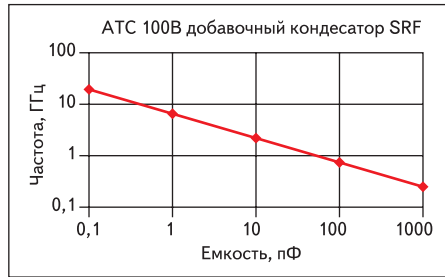


Рис. 12. Зависимость частоты последовательного резонанса от емкости для конденсаторов серии 100В

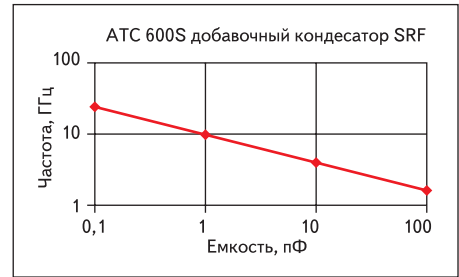


Рис. 13. Зависимость частоты последовательного резонанса от емкости для конденсаторов серии 600S

Использование наборов конденсаторов серии 100В на диэлектрических стержнях для оптимизации параметров

Данный шаг оптимизации заслуживает пристального внимания: мы постараемся достичь нужного усиления, используя имеющийся у нас в наличии набор конденсаторов серии 100В (производства ATC — American Technical Ceramics) на диэлектрических стержнях. Мы будем подбирать согласующую LC-цепочку на входе усилителя (рис. 1). Для обеспечения точности дальнейших измерений после нахождения оптимальной емкости выводы настроечного конденсатора припаиваются к плате. Исходя из проведенных исследований, оптимальная емкость конденсатора составляет 5,6 пФ. Полученные при этом значения S21 приведены на рис. 11.

Замена конденсатора из набора на конденсатор той же емкости серии 600S

На данном этапе, по причинам, рассмотренным ранее, заменяем подобранный нами конденсатор серии 100В на конденсатор серии 600S (меньших размеров, с малыми потерями). Однако после этого обнаружилось значительное изменение значений S21. Данные изменения, в основном, обусловлены двумя причинами: первая заключается в том, что частота последовательного резонанса конденсатора серии 100В (больших размеров) значительно отличается от частоты последовательного резонанса конденсатора серии 600S (рис. 12, 13). При использовании нового конденсатора появилось затухание, а также ухудшились значения обратных потерь на входе и выходе (рис. 14). Вторая причина состоит

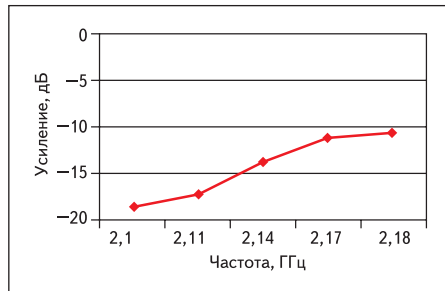


Рис. 14. Значения S21 при установленном конденсаторе 5,6 пФ серии 600S

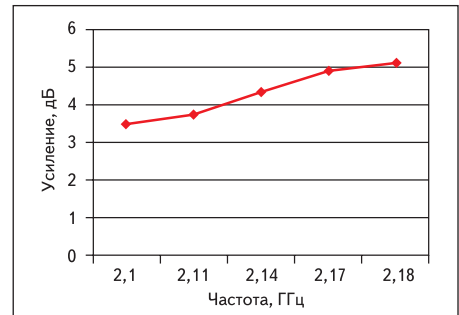


Рис. 15. Значения S21 при установленном конденсаторе 30 пФ серии 600S

в том, что не была учтена индуктивность выводов конденсатора серии 100В из набора.

Сравнивая графики частот последовательного резонанса для двух конденсаторов, мы обнаружили, что конденсатор серии 100В емкостью 5,6 пФ имеет частоту последовательного резонанса 2,7 ГГц, тогда как конденсатор той же емкости серии 600S имеет частоту последовательного резонанса 5,5 ГГц. На графиках видно, что конденсатор серии 600S, имеющий нужную нам частоту последовательного резонанса 2,7 ГГц, должен обладать емкостью приблизительно 30 пФ.

Сопоставление конденсаторов серии 100В и серии 600S

На предыдущем шаге были устранены негативные эффекты, связанные с различными частотами последовательного резонанса заменяемых конденсаторов, путем подбора конденсатора с равной частотой последовательного резонанса. Из справочной литературы по конденсаторам ATC [7–8] было определено, что конденсатор серии 100В емкостью 5,6 пФ можно заменить конденсатором емкостью 30 пФ серии 600S. Полученные после подобной замены результаты (рис. 15) показали, что усиление возросло, хотя и недостаточно для успешного решения поставленной перед нами задачи, поскольку не была учтена вторая причина — индуктивность выводов конденсатора из набора.

Учет индуктивности выводов конденсатора

Далее необходимо учесть индуктивность выводов конденсатора (на диэлектрическом стержне), который мы использовали при первичной настройке. Поскольку длина его выводов составляет порядка 10 мм на обеих сторонах, было установлено, что их суммарная индуктивность составляет порядка 7 нГн [9–11]. Было взято ближайшее стандартное значение в 6,8 нГн. После того как соответствующая индуктивность была установлена, вновь было произведено измерение S-параметров (рис. 16–18), которое показало значи-

Учет индуктивности выводов конденсатора

тельного улучшения параметров. В результате оптимизации удалось достичь требуемого усиления и снизить обратные потери. Это достигнуто за счет введения в цепочку согласующих элементов, которые компенсируют индуктивность выводов конденсатора и обеспечивают оптимальное согласование импедансов.

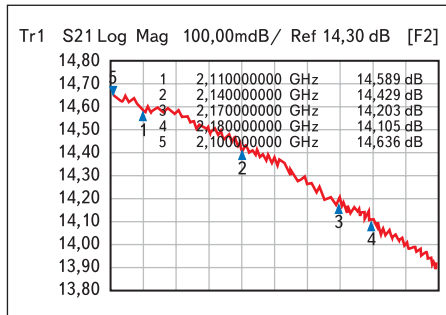


Рис. 16. Значения S21 после проведения оптимизации

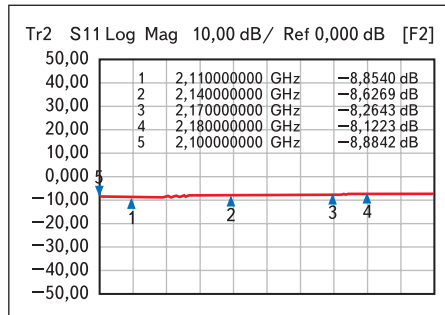


Рис. 17. Значения S11 после проведения оптимизации

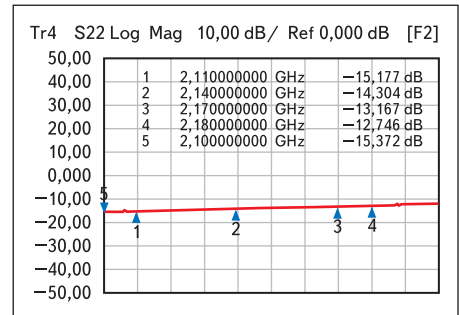


Рис. 18. Значения S22 после проведения оптимизации

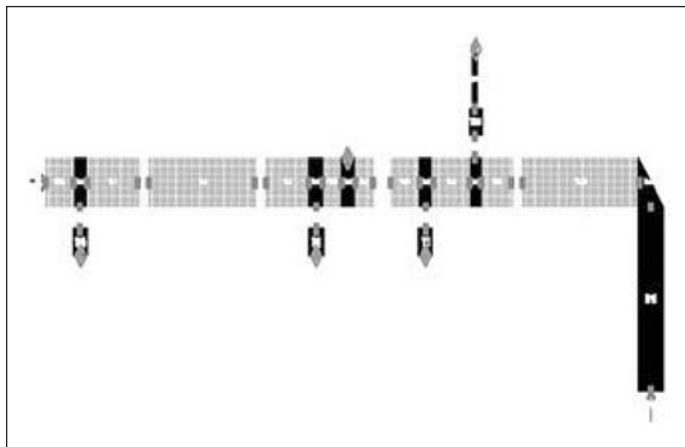


Рис. 19. Окончательная топология усилителя

тельное увеличение усиления. Таким образом, желаемые параметры были, наконец, достигнуты. При этом конденсатор, использовавшийся при первичной настройке, был заменен цепочкой из конденсатора меньшего типоразмера (0603) и индуктивностью (типоразмера 0805). Окончательная топология усилителя приведена на рис. 19.

Заключение

В рамках статьи была описана методика оптимизации параметров с использованием настроечных конденсаторов на диэлектрических стержнях, которая была успешно применена к существующему усилительному модулю. Следует отметить, что теоретически рассчитанные параметры хорошо согласуются с реально полученными результатами. Как показала практика, данная методика применима не только к активным, но и к пассивным ВЧ/СВЧ-устройствам. Представленная методика показала свою эффективность при оптимизации схемы прототипа устройства в лабораторных условиях на стадии разработки. Особенно хорошо это заметно при использовании в процессе настройки как имеющихся в наличии, так и легко доступных «настроечных» наборов конденсаторов, а также других пассивных компонентов. ■

Литература

1. Upton D. M. A New Circuit Topology to Realize High Efficiency, High Linearity, and High Power Microwave Amplifiers. Proceedings 1998, RAWCON.
2. Iwamoto M., Williams A., Chen P. F., Metzger A., Wang C., Larson L.E., Asbeck P.E. An Extended Doherty Amplifier with High Efficiency over a Wide Power range // IEEE MTT-S Digest, 2001.
3. Kim J., Cha J., Kim I., Noh S. Y., Park C. S., Kim B. Advanced Design Methods of Doherty Amplifier for Wide Bandwidth, High Efficiency Base Station Power Amplifiers.
4. Gutierrez R. High-Efficiency Linearized LDMOS Amplifiers Utilize the RFAL Architecture // High Frequency Electronics. February 2006.
5. Fiore R. RF Power Amplifiers Operate Cooler with Improved Reliability Using ATC's EIA 600 Series Ultra-Low ESR Ceramic Capacitors // Microwave Product Digest, May 2003.
6. Fiore R. RF Ceramic Chip Capacitors in High RF Power Applications // Microwave Journal, April 2000.
7. 100B Series data sheet. American Technical Ceramics (<http://www.atceramics.com>).
8. 600S Series ATC data sheet. American Technical Ceramics (<http://www.atceramics.com>).
9. Ray B. When Is A Capacitor Not A Capacitor? // The Physics Teacher. Vol. 44. Feb. 2006.
10. Cain J. Parasitic inductance of multilayer ceramic capacitors. AVX Corp., <http://www.avx.com/docs/techinfo/parasitic.pdf>.
11. Fiore R. Capacitors in Broadband Applications // Applied Microwave & Wireless. May 2007.