

# БЛОКИРОВОЧНЫЕ И «РАЗВЯЗЫВАЮЩИЕ» КОНДЕНСАТОРЫ В ЦЕПЯХ ПИТАНИЯ

*М. Жылкайдарова, К. Наурзалиев*

*А. В. Максимов, старший преподаватель каф. РЗИ.*

*г. Томск, ТУСУР, т. 41-33-65,*

**Проект ГПО РЗИ-0710 Аппаратно программный анализатор сигнала OFDM**

В настоящее время во всем мире широкое распространение получили технологии WiMAX и WiFi. Поэтому для проектирования и качественной эксплуатации этих систем необходимы углубленные знания в области проектирования систем с новыми принципами модуляции и демодуляции сигналов OFDM. Наблюдение и анализ векторных сигналов возможны только с применением векторного анализатора OFDM сигнала. Ниже приведем структурную схему векторного анализатора OFDM сигнала.[2] Структурная схема формирователя OFDM сигнала представлена в приложении.

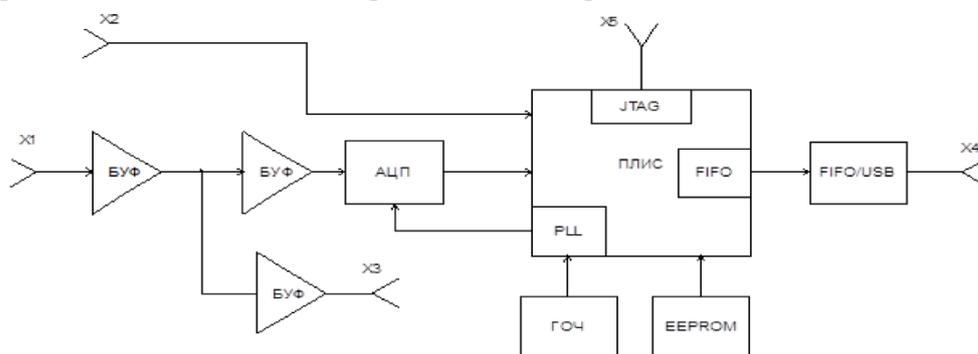


Рис. 1 Структурная схема ВА OFDM сигнала

БуФ – Буферный усилитель, АЦП – Аналого-цифровой преобразователь, ПЛИС – Программируемая логическая интегральная схема, PLL – Phase Locked Loop (Программируемый синтезатор частоты), ГОЧ – Генератор опорной частоты, EEPROM (ЭСППЗУ) – Electrically Erasable Programmable Read Only Memory (электрически стираемое программируемое постоянное устройство), JTAG (Join Test Action Group) – Разъем аппаратного интерфейса стандарта IEEE 1149.1, FIFO (First In, First Out) – ОЗУ с параллельным интерфейсом, FIFO USB – Контроллер USB универсальной последовательной шины с параллельным интерфейсом FIFO, X1, X2, X3 – разъемы с сопротивлением 50 Ом, X4 – USB разъем, X5 – JTAG разъем.[3]

При проектировании высокоскоростных цифровых устройств перед разработчиками остро стоит вопрос о взаимных наводках и влияниях различных компонентов друг на друга. Для корректной работы всего устройства необходимо правильно обеспечить «развязку» по питанию. Не стоит забывать и о собственных шумах, генерируемых компонентами всего устройства.[1]

Одной из основных задач при конструировании цифровых устройств является грамотное подключение (разводка) источника питания на элементы. Источник питания во все время работы устройства должен быть стабильным и не подвергаться влиянию извне. Чистота напряжения достигается путем добавления в цепи питания блокировочных конденсаторов. Термины «блокировочный конденсатор» и «развязка» — не случайные слова, а имеют в данном контексте вполне определенное значение:

«Развязка» — действие, направленное на (частичное) отделение цепей питания микросхемы от общего источника питания; блокировочный конденсатор — конденсатор, установленный таким образом, что он шунтирует питание микросхемы и действует как местный источник питания.

При нестабильности источника питания требуемые показатели сигнала могут быть искажены. Приведена осциллограмма выходного цифрового сигнала генерируемого устройством на входе которого отсутствует блокировочный конденсатор.

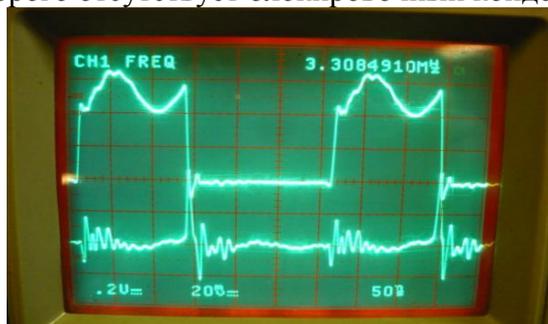


Рис.2 Отсутствие блокировочных конденсаторов

Как видно из рисунка, данная осциллограмма отдаленно напоминает цифровой сигнал. Примечательно то, что похожая картина будет наблюдаться на частоте 1 Гц, 20 кГц или 50 МГц. Включение блокировочных конденсаторов цепи питания приводит к стабилизации напряжения и погашает неровности.



Рис.3 Выходное напряжение (верхний канал) и потребляемый ток (нижний канал)

Сверху — тактовая частота 330 кГц, снизу — 3,3 МГц. Слева — без блокировочного конденсатора, справа — с ним. Как видно из рисунка с помощью блокировочных конденсаторов был выровнен уровень амплитуд, что и нужно для конечного результата.

#### Правильный выбор конденсатора

Обычно проектировщики полагают, что ёмкость конденсатора не зависит от рабочей частоты. Маркируемое значение ёмкости конденсаторов нормируется при заданной частоте производителя. Это значение почти постоянно при низких частотах, но может резко измениться более чем на порядок при ВЧ.

Из-за наличия паразитной индуктивности у конденсатора есть частота последовательного резонанса. По мере приближения рабочей частоты к частоте последовательного резонанса значение ёмкости конденсатора растёт. Что приводит к увеличению эффективного значения ёмкости конденсатора от номинального значения. Чтобы описать явление последовательного резонанса приведем эквивалентную схему высокочастотного конденсатора:

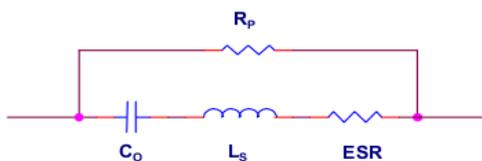


Рис.4 Высокочастотная модель конденсатора

Где:

$C_0$ : номинальное значение ёмкости, нормируемое на частоте, задаваемой изготовителем;  $L_S$ : эквивалентная последовательная индуктивность; ESR: эквивалентное сопротивление;  $R_P$ : параллельное сопротивление (утечки). Эффективная ёмкость  $C_E$  - взаимодействие конденсатора и паразитной индуктивности  $L_S$ . Эквивалентное последовательное сопротивление ESR и сопротивление утечки  $R_P$ , показанные на рисунке 3, почти не влияют на эффективную ёмкость, но оказывают влияние на  $Q$  (добротность) последовательного резонанса конденсатора. Эффективная ёмкость  $C_E$  определяется как:

$$C_E = \frac{C_0}{1 - (2\pi F_0)^2 L_S C_0}$$

Частота последовательного резонанса  $F_{SR}$  равна

$$F_{SR} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_S C_0}}$$

На частоте последовательного резонанса величины реактивного сопротивления  $C_0$  и  $L_S$  равны и противоположны по знаку, а результирующее реактивное сопротивление равно нулю. На частоте собственного последовательного резонанса общий импеданс будет равен  $ESR \parallel R_P$ . На частотах ниже частоты последовательного резонанса импеданс определяется ёмкостью, а выше - индуктивностью. По мере удаления от частоты резонанса импеданс конденсатора стремительно увеличивается и описывается формулой:

$$Z_C = \sqrt{(ESR \parallel R_P)^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Ниже представлена зависимость сопротивления от частоты двух конденсаторов выполненных из разных материалов.

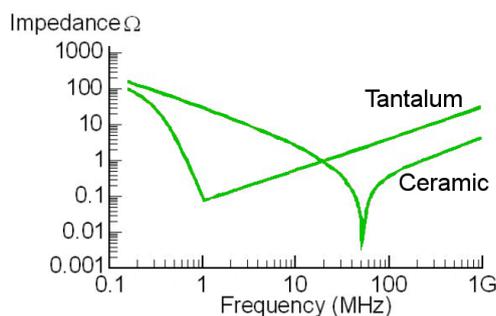


Рис.5 Частотная зависимость импеданса

Как видно из представленного графика на частоте выше последовательного резонанса конденсатора, сопротивление стремительно растет и показывает индуктивный характер, а индуктивность в цепи в свою очередь сопротивляется прохождению и изменению тока. Обычно производители конденсаторов в приложениях к элементам указывают на какой частоте выбрать определенный номинал. Ниже приведена зависимость емкости от частоты «развязывающих» конденсаторов.

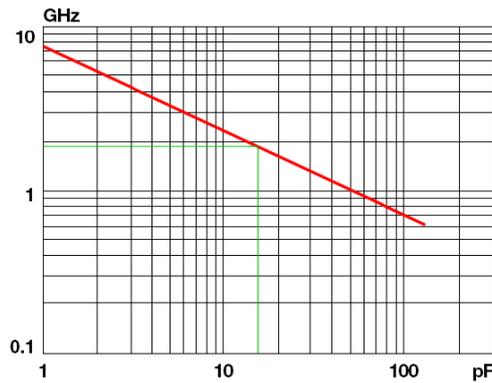


Рис.6 Выбор развязывающих конденсаторов

Можно конечно подключить два конденсатора параллельно, в этом случае можно будет добиться уменьшения сопротивления еще более на высокой частоте, но несколько параллельно включенных конденсатора будут занимать больше места на печатной плате, это в свою очередь приведет к увеличению размеров устройства и к излишней металлизации. Ниже приведем график зависимости сопротивления от частоты параллельно подключенных конденсаторов.[4]

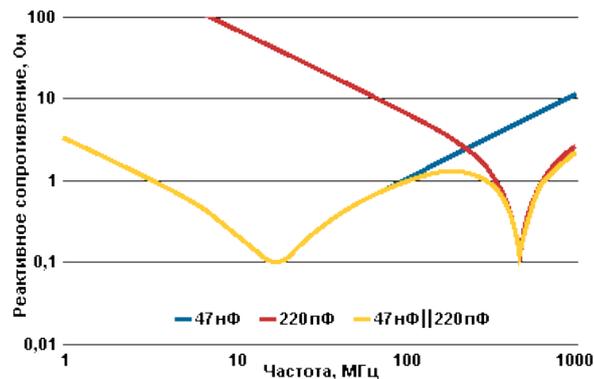


Рис.6. Ожидаемый результат объединения конденсаторов с разными значениями емкости – уменьшение импеданса

Рис.7 Зависимость сопротивления составного конденсатора от частоты

Как видно, из графика применение составного конденсатора по сравнению с одиночным дает большой «выигрыш». Но как уже было сказано ранее применение составного конденсатора не очень удобно. Японские разработчики, учитывая все недостатки, представили на рынке радиоэлектроники свой продукт. Компания «Murata» разработала трехвыводные проходные конденсаторы, которые, по сути, показывают такую же зависимость сопротивления от частоты, что и составные.

### Применение трехвыводных конденсаторов производителя Murata

Многие производители конденсаторов для решения проблемы связанной с паразитной индуктивностью выпускают специальные модели со сниженной эквивалентной последовательной индуктивностью (ESL). Чтобы добиться желаемого эффекта выводы конденсаторов располагают по длинной стороне. В данном случае паразитную индуктивность можно снизить примерно в два раза.

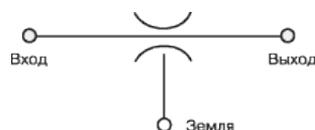


Рис.8 Эквивалентная электрическая схема трехвыводного конденсатора

Для подтверждения эффективности применения трехвыводных моделей по сравнению с обычными керамическими конденсаторами, ниже приведем зависимость полного импеданса (сопротивления) от частоты.

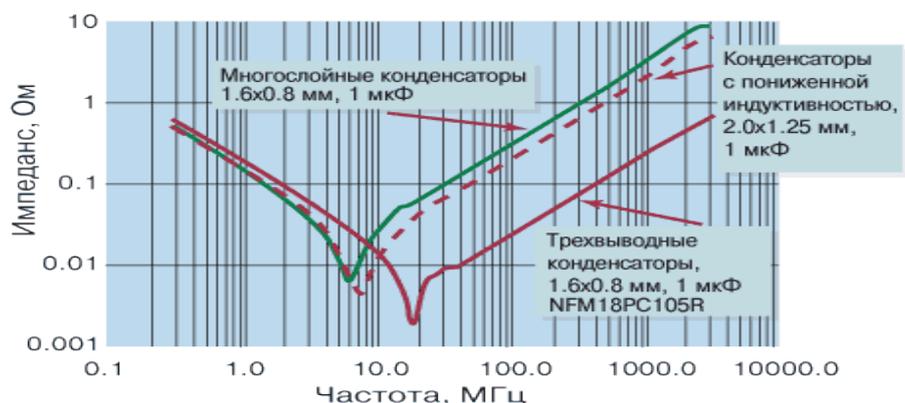


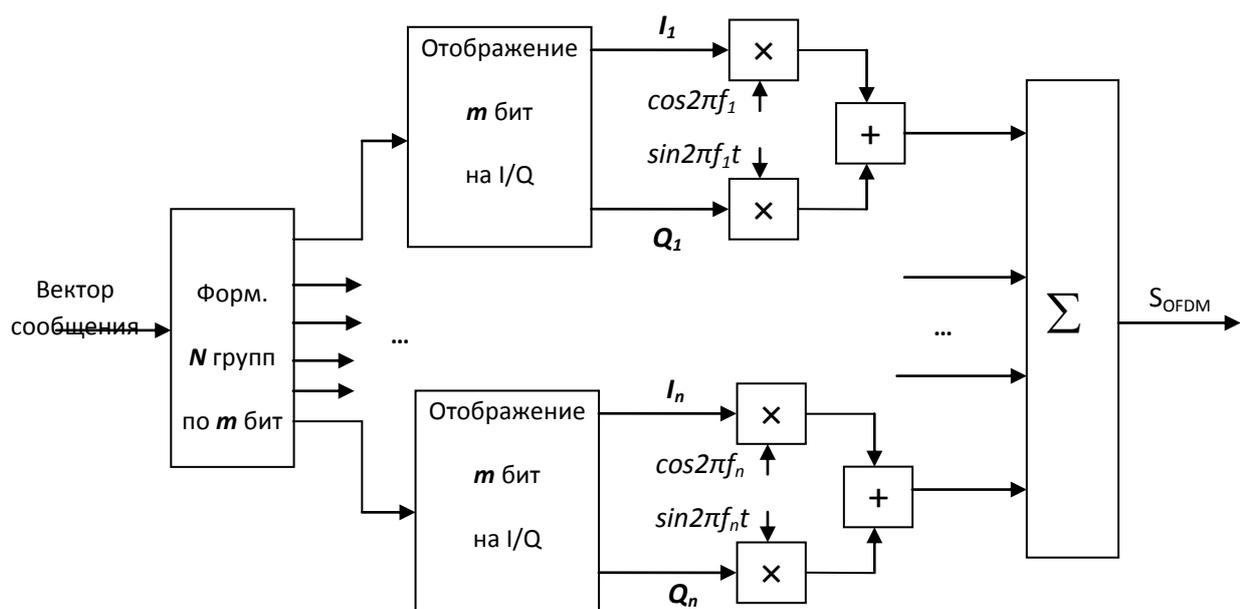
Рис. 9 Частотная зависимость импеданса различных конденсаторов

В электрической схеме векторного анализатора OFDM сигнала для подавления пульсации и стабилизации питания были применены блокирующие и «развязывающие» трехвыводные конденсаторы, о которых шла речь выше.[5]

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Джонсон, М.Грэхэм «Конструирование высокоскоростных цифровых устройств»
2. Г. Джонсон, М.Грэхэм «Передача цифровых данных»
3. Руководство по эксплуатации WIMIC- 6000
4. <http://habrbar.ru>
5. <http://embedders.org>

# ПРИЛОЖЕНИЕ А



Структурная схема формирователя OFDM символа