

# Практический метод выделения синфазных и дифференциальных шумов при измерениях кондуктивных помех

Л. Цзян<sup>1</sup>, Ф. Ван<sup>2</sup>, К. Солуша<sup>3</sup>, К. Мэтьюс<sup>4</sup>

УДК 621.316.722.1 | ВАК 05.27.01

Электромагнитные помехи от импульсных стабилизаторов подразделяются на излучаемые и кондуктивные. Последние также можно разделить на две категории: синфазный шум и дифференциальный шум. Почему нужно различать синфазные и дифференциальные помехи? Методы уменьшения электромагнитных помех, эффективные для синфазного шума, не всегда результативны для дифференциального шума, и наоборот, поэтому определение источника кондуктивного излучения может сэкономить время и деньги. Знание того, где появляются синфазные и дифференциальные шумы в спектре кондуктивного излучения, позволяет разработчикам источников питания эффективно применять методы подавления электромагнитных помех, что в конечном итоге позволит сократить сроки проектирования и стоимость комплектующих. В статье представлен практический метод выделения синфазных и дифференциальных помех в общем спектре кондуктивных помех для импульсного стабилизатора LTC7818 от Analog Devices.

**Н**а рис. 1 показаны пути прохождения синфазного и дифференциального шума для типичного понижающего преобразователя. Дифференциальный шум возникает между линией питания и обратной линией, в то время как синфазный шум создается между линиями питания и заземленной плоскостью (например, медной поверхностью испытательного стола) через паразитную емкость  $C_{STRAY}$ . Цепь стабилизации полного сопротивления линии (LISN) для измерения кондуктивного излучения включается между источником питания и понижающим преобразователем. Сама LISN не может напрямую использоваться для измерения синфазного и дифференциального шума, но она измеряет напряжение шума питающей и обратной линии –  $V_1$  и  $V_2$  соответственно (см. рис. 1). Эти напряжения измеряются на 50-Ом резисторах. Исходя из определения синфазного и дифференциального шума (см. рис. 1),  $V_1$  и  $V_2$  могут быть выра-

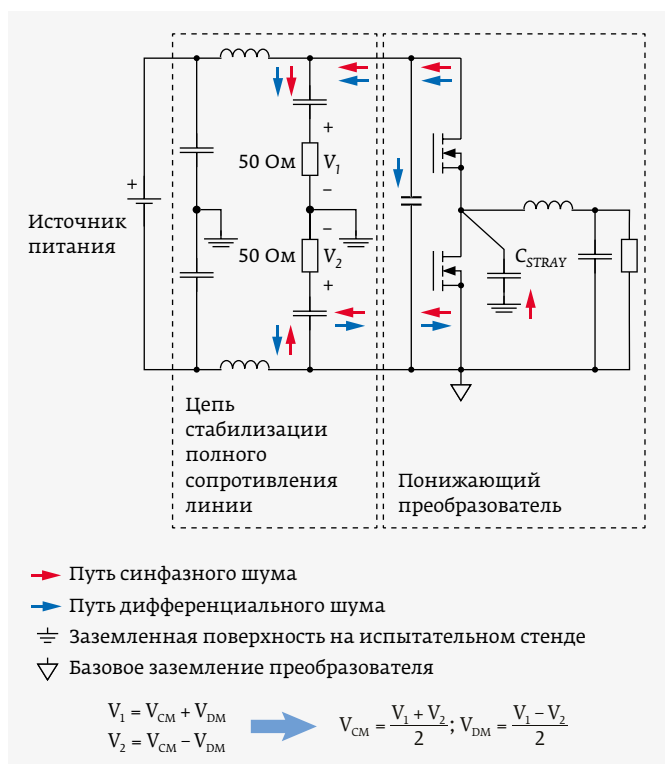


Рис. 1. Пути прохождения синфазного и дифференциального шума в понижающем преобразователе

<sup>1</sup> Analog Devices, специалист по применению, ling.jiang@analog.com.

<sup>2</sup> Analog Devices, инженер по испытаниям, frank.wang@analog.com.

<sup>3</sup> Analog Devices, директор по применению, keith.szolusha@analog.com.

<sup>4</sup> Analog Devices, старший менеджер по применению, kurk.mathews@analog.com.



Рис. 2. Сумматор на 0° (справа) и 180° (слева)

жены в виде суммы и разности напряжения синфазного шума  $V_{CM}$  и напряжения дифференциального шума  $V_{DM}$  соответственно. Это дает возможность рассчитать  $V_{CM}$  как среднюю величину напряжений  $V_1$  и  $V_2$ , а  $V_{DM}$  – как половину разности между  $V_1$  и  $V_2$ .

### ИЗМЕРЕНИЕ СИНФАЗНОГО И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ШУМА

Сумматор мощностей Т-типа – пассивное устройство, которое объединяет два входных сигнала в один выходной порт. Сумматор с разностью фаз сигналов 0° формирует векторную сумму входных сигналов на выходном порте, а сумматор с разностью фаз 180° – векторную разность входных сигналов. Следовательно, 0°-сумматор можно использовать для формирования  $V_{CM}$ , а 180°-сумматор – для формирования  $V_{DM}$ .

Для измерения  $V_{CM}$  и  $V_{DM}$  в диапазоне от 1 до 108 МГц были использованы сумматоры ZFSC-2-1W+ (0°) и ZFSCJ-2-1+ (180°)

от компании Mini-Circuits (рис. 2). Для этих устройств погрешность измерения увеличивается для частот ниже 1 МГц. Для измерений на более низких частотах следует использовать другие сумматоры, например, такие как ZMSC-2-1+ (0°) и ZMSCJ-2-2 (180°).

Схема измерительной установки показана на рис. 3. К стандартной тестовой установке для измерения кондуктивного излучения добавлен сумматор мощности. Выходы LISN для линии питания и обратной линии подключаются к входным портам 1 и 2 сумматора соответственно. Для 0°-сумматора выходное напряжение  $V_{S,CM} = V_1 + V_2$ ; для 180°-сумматора выходное напряжение  $V_{S,DM} = V_1 - V_2$ .

Выходные сигналы сумматоров  $V_{S,CM}$  и  $V_{S,DM}$  должны быть обработаны в измерительном приемнике для того, чтобы сформировать значения напряжений  $V_{CM}$  и  $V_{DM}$ . Следует отметить, что, во-первых, для сумматоров мощности специфицированы вносимые потери, компенсируемые в приемнике. Во-вторых, поскольку  $V_{CM} = 0,5V_{S,CM}$  и  $V_{DM} = 0,5V_{S,DM}$ , измерительный приемник вычитает дополнительные 6 дБ·мкВ из принятого сигнала. После компенсации этих двух показателей измеренные значения синфазного и дифференциального шумов считаются измерительным приемником.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ СИНФАЗНОГО И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ШУМОВ

Для проверки рассматриваемого метода использовалась стандартная демонстрационная плата, оснащенная двумя понижающими преобразователями. Частота переключения составляла 2,2 МГц, при этом  $V_{IN} = 12$  В,  $V_{OUT} = 3,3$  В,

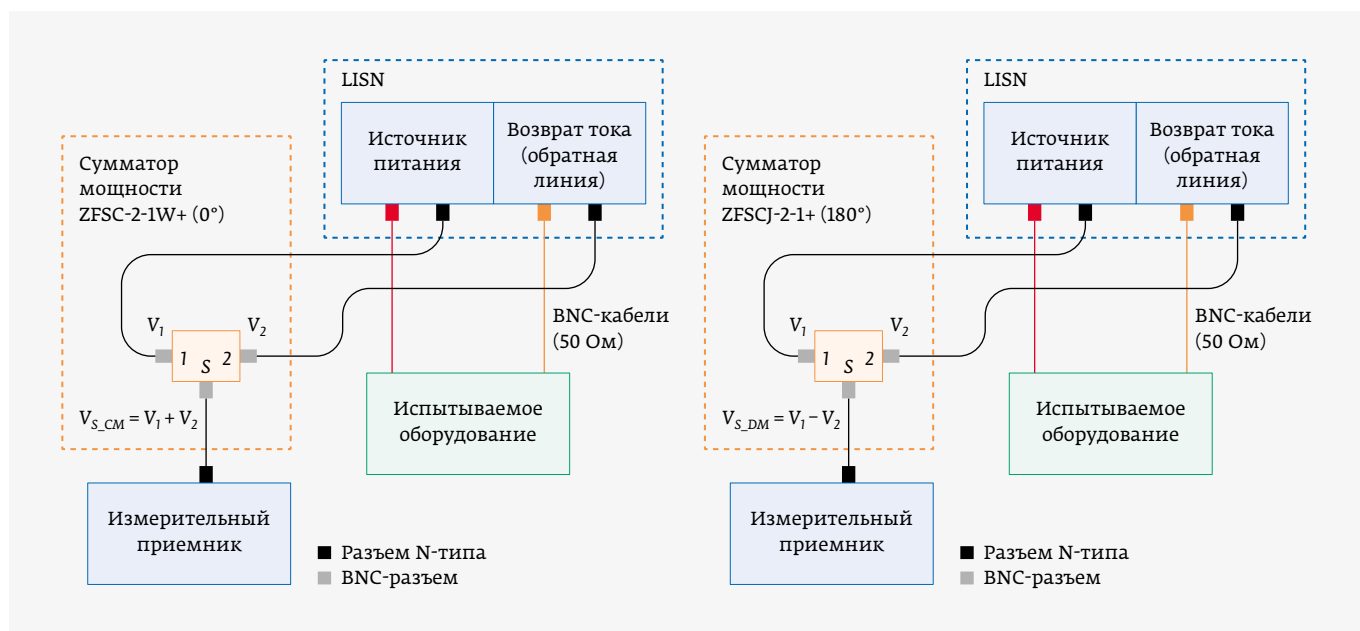


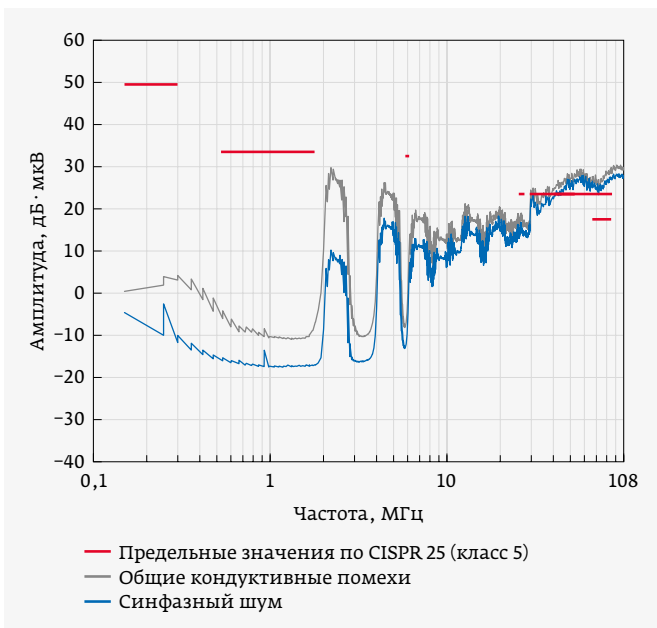
Рис. 3. Схема экспериментальной установки для измерения  $V_{CM}$  (слева) и  $V_{DM}$  (справа)



**Рис. 4.** Стенд для измерения синфазного и дифференциального шумов

$I_{OUT1}=10\text{ A}$ ,  $V_{OUT2}=5\text{ В}$  и  $I_{OUT2}=10\text{ A}$ . На рис. 4 показан измерительный стенд, установленный в камере для испытаний на электромагнитные помехи.

На рис. 5 и 6 приведены результаты измерений. Верхняя кривая на рис. 5 отражает общие кондуктивные помехи, измеренные методом напряжений с помощью стандартной установки CISPR 25, а нижняя кривая – выделенный синфазный шум, измеренный с помощью дополнительного сумматора на  $0^\circ$ . На рис. 6 верхняя кривая отражает общие кондуктивные помехи, а нижняя – выделенный дифференциальный шум, измеренный с помощью добавления сумматора на  $180^\circ$ . Эти результаты



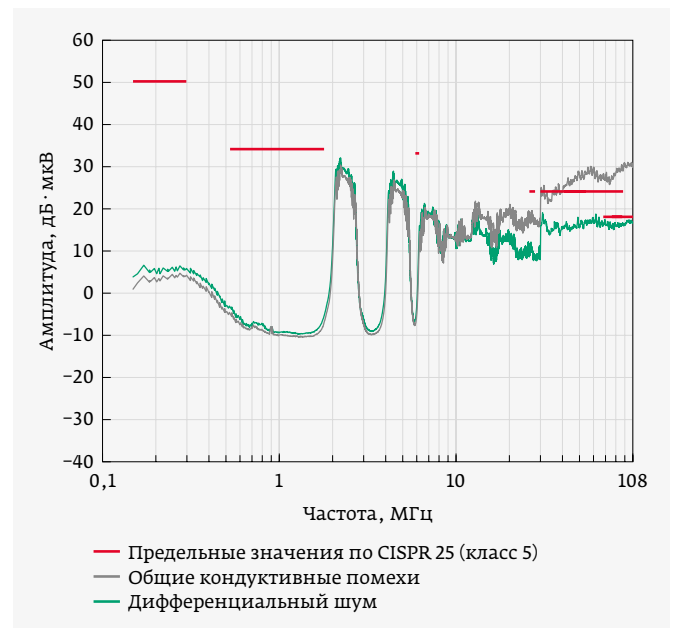
**Рис. 5.** Сравнение результатов измерения синфазного шума и общего шума

соответствуют теоретическому анализу, предполагающему, что дифференциальный шум преобладает в диапазоне более низких частот, а синфазный шум – в более высокочастотном диапазоне.

### ДОРАБОТКА ДЕМОНСТРАЦИОННОЙ ПЛАТЫ ДЛЯ СООТВЕТСТВИЯ СТАНДАРТУ CISPR 25 (КЛАСС 5)

Согласно результатам измерений общий уровень излучаемых помех превышает предельные значения, указанные в CISPR 25 (класс 5) в диапазоне частот от 30 до 108 МГц. За счет разделения измерений синфазного и дифференциального шумов выявлено, что высокий уровень кондуктивных помех в этом диапазоне определяется синфазным шумом. Нет смысла применять или улучшать характеристики фильтра дифференциальных шумов или иным образом уменьшать входные пульсации, поскольку эти методы не снизили бы синфазный шум в этом диапазоне частот.

По этой причине на данной демонстрационной плате были реализованы меры, специально предназначенные для подавления синфазного шума. Одним из источников синфазных шумов в импульсной схеме являются высокие значения  $dV/dt$ . Уменьшение  $dV/dt$  за счет увеличения сопротивления затвора может снизить уровень шума. Как упоминалось ранее, синфазный шум поступает в LISN через паразитную емкость  $C_{STRAY}$ . Чем меньше  $C_{STRAY}$ , тем ниже уровень синфазного шума, детектируемый в LISN. Чтобы уменьшить  $C_{STRAY}$  на данной плате была сокращена площадь медной шины в области коммутационного узла. Кроме того, на входе преобразователя был добавлен



**Рис. 6.** Сравнение результатов измерения дифференциального шума и общего шума

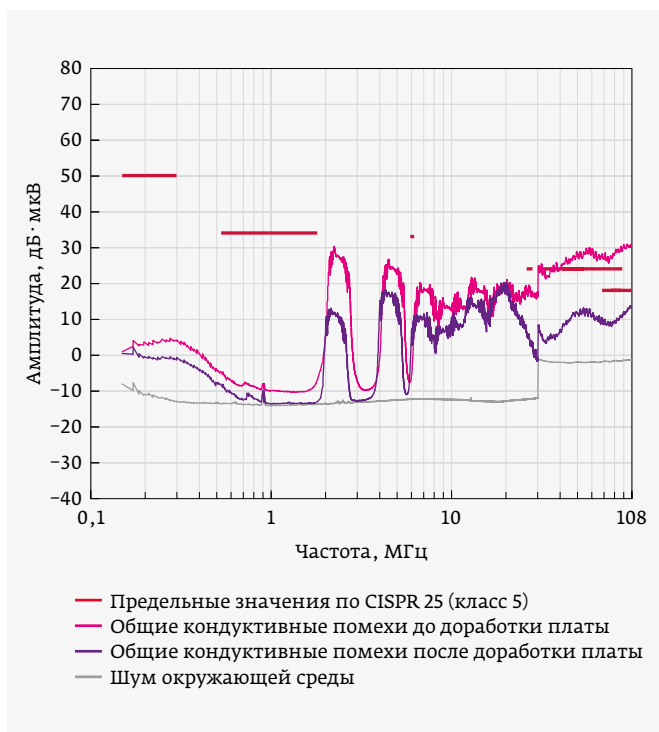


Рис. 7. Спектр помех после доработки платы

фильтр синфазных помех для достижения высокого сопротивления синфазного шума, тем самым снизив синфазный шум, поступающий в LISN. Благодаря применению этих методов шум на частотах от 30 до 108 МГц был снижен до значений, отвечающих требованиям стандарта CISPR 25 (класс 5), как показано на рис. 7.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлен практический метод измерения и выделения синфазного и дифференциального шумов из спектра общих кондуктивных помех, который был подтвержден результатами испытаний. Если разработчик отделит синфазный и дифференциальный шум, то можно реализовать эффективные решения для подавления помех. В целом, этот метод помогает быстро найти основную причину высоких электромагнитных помех, что экономит время на проектирование.

По вопросам поставки продукции Analog Devices обращайтесь в компанию ЭЛТЕХ по электронной почте [analog@eltech.spb.ru](mailto:analog@eltech.spb.ru).

### ЛИТЕРАТУРА

1. AN-10-006: Understanding Power Splitters. – Mini-Circuits. April 2015.

## КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 1600 руб.

### НАСТОЛЬНАЯ КНИГА ИНЖЕНЕРА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СВЧ-УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЕДОВЫХ МЕТОДИК ВЕКТОРНОГО АНАЛИЗА ЦЕПЕЙ

Дансмор Джоэль П.

Издание осуществлено при поддержке компании Keysight Technologies

Пер. с англ. и науч. ред. Е. Ю. Харитонова, Е. В. Андропова, А. С. Бондаренко

М.: ТЕХНОСФЕРА,  
 2019. – 736 с.,  
 ISBN 978-5-94836-505-3

В книге рассмотрен широкий круг измерительных задач в СВЧ-диапазоне. В центре внимания – измерения активных и пассивных устройств с использованием новейших методик векторного анализа цепей, методики их калибровки, подходы к анализу полученных результатов. Приведены практические примеры измерений параметров таких устройств, как кабели и соединители, линии передачи, фильтры, направленные ответвители и др.

Автор книги – инженер-разработчик с 30-летним стажем – работал над широчайшим кругом измерительных задач в СВЧ-диапазоне: от компонентов сотового телефона до спутниковых мультиплексоров.

Книга станет прекрасным практическим руководством для инженеров-метрологов и разработчиков ВЧ / СВЧ-устройств, занимающихся моделированием и тестированием как отдельных узлов радиоэлектронной аппаратуры, так и законченных изделий, к примеру систем спутниковой связи, радиолокации и радионавигации. Крайне полезной данная книга будет и в процессе обучения студентов радиотехнических специальностей.

### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; [knigi@technosphera.ru](mailto:knigi@technosphera.ru), [sales@technosphera.ru](mailto:sales@technosphera.ru)