

ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ КОНДУКТИВНЫХ ПОМЕХ С ПОМОЩЬЮ LTSPICE

CONDUCTED EMISSION MEASUREMENT WITH LTSPICE

В статье приведена краткая информация об особенностях измерения кондуктивных помех, создаваемых импульсными источниками питания. Рассмотрен пример измерения спектра помех в программе LTspice и пересчета его в спектр, соответствующий требованиям для проверки на соответствие стандартам электромагнитной совместимости.

Abstract – The article provides brief information on the features of measuring conducted noise generated by switching power supplies. An example of measuring the interference spectrum in the LTspice program and recalculating it into a spectrum corresponding to the requirements for checking compliance with electromagnetic compatibility standards is considered.

В. Макаренко

V. Makarenko

При разработке импульсных источников питания важным фактором, влияющим на выбор технических решений, является проблема электромагнитной совместимости. Во входную цепь источника питания проникают электромагнитные помехи (ЭМП), которые могут стать причиной повреждения или неустойчивой работы других электронных устройств.

Для обеспечения электромагнитной совместимости и бесперебойной работы электронных систем приняты международные законодательные акты и стандарты, которые ограничивают уровни генерации и излучения различных видов электромагнитных помех [1-6]. Наиболее важными международными стандартами в области электромагнитной совместимости являются стандарт Федеральной комиссии по связи США (Federal Communications Commission – FCC), глава 15 и стандарт Международного специального комитета по борьбе с радиопомехами (International Special Committee on Radio Interference – CISPR 32).

Стандарт CISPR 32:2015 (EN 55032) заменяет стандарты CISPR 22:2008 (EN 55022), EN 55013 (радиовещательные приемники и сопутствующее оборудование) и EN 55103-1 (аудио и студийное оборудование) и объединяет их. Этот новый стандарт вступает в силу как гармонизированный стандарт в соответствии с директивой по электромагнитной совместимости [4]. В частности, любой продукт, ранее испытанный в соответствии с EN 55022, который поставляется в ЕС после 2 марта 2017 г., должен теперь соответствовать требованиям EN 55032.

В ЕС в источниках питания, предназначенных для рынков инфраструктуры связи, в течение многих лет обычно использовался стандарт продукции EN 55022 (CISPR 22).

Изделия, разработанные для рынков Северной Америки, соответствуют ограничениям, установленным FCC, часть 15. Между тем общие стандарты IEC 61000-6-3 и IEC 61000-6-4 по электромагнитной совместимости применяются в легкой промышленности и промышленной среде соответственно [5,6].

Воздействие электромагнитных помех происходит путем кондуктивной связи через нежелательные (паразитные) цепи, посредством индукционной связи (как в трансформаторе) и путем излучения. Кондуктивная связь формируется путем непосредственного контакта через линию передачи, провод, кабель, проводник печатной платы или металлический корпус.

Кондуктивные помехи могут появиться как в синфазном, так и в дифференциальном режимах на двух проводниках. Кондуктивные электромагнитные помехи измеряются в проводах питающей сети в диапазоне частот в диапазонах частот 9 кГц...30 МГц или 150 кГц...30 МГц.

Принято считать, что токи частотой ниже 5 МГц в большинстве случаев являются дифференциальными, а выше 5 МГц – синфазными.

В [7] приведены примеры измерения кондуктивных помех с помощью программы LTpower CAD. Однако с помощью этой программы можно измерить уровень кондуктивных помех и сравнить их с допустимыми нормами CISPR22, CISPR25 или MIL-STD-461F. Однако перечень ИМС DC/DC-преобразователей, для которых можно реализовать заданную процедуру очень ограничен.

В то же время в программе LTspice имеется обширная библиотека таких преобразователей, но сама программа не позволяет измерить уровни ЭМП и проверить преобразователи на соответствие

стандартам электромагнитной совместимости.

В то же время, существует довольно простой путь для измерения кондуктивных помех и проверки их на соответствие стандартам. Для этого необходимо во входной цепи включить устройство LISN (Line Impedance Stabilization Network), выполняющее функцию стабилизации полного сопротивления [8, 9]. Иногда вместо LISN используется термин AMN (Artificial Mains Network). При измерениях кондуктивных помех AC/DC-преобразователей такое устройство в отечественной литературе получило название эквивалент сети.

Устройства LISN различаются для анализа кондуктивных помех в цепях переменного и постоянного токов. На рис. 1 приведена схема универсального LISN-устройства для измерения уровня кондуктивных помех и сопряжения его с источником питания и анализатором спектра [8].

Значение индуктивности LISN основано на ожидаемой индуктивности линии электропередачи в месте предполагаемой установки изделия.

CISPR 16 и ANSI C63.4 определяют индуктивность 50 мкГн для LISN, значение, которое согласуется с индуктивностью линии электропроводки на расстоянии около 50 м в телекоммуникационной установке. В отличие от требований CISPR 16, CISPR 25 определяет индуктивность катушек в LISN равной 5 мкГн, что соответствует приблизительной индуктивности жгута проводов в автомобиле.

На рис. 2 приведена схема подключения LISN для проверки источника питания на соответствие требованиям стандарта CISPR 25 [8].

В [9] приведена упрощенная схема (рис. 3) для проведения измерения дифференциальной составляющей кондуктивной помехи на соответствие требованиям стандарта CISPR 25.

Проведем измерение спектра кондуктивных помех (дифференциальной составляющей) для преобразователя, модель которого приведена на рис. 4. Для этого между источником входного напряжения и фильтром электромагнитных помех включен LISN для измерения по стандарту CISPR 25.

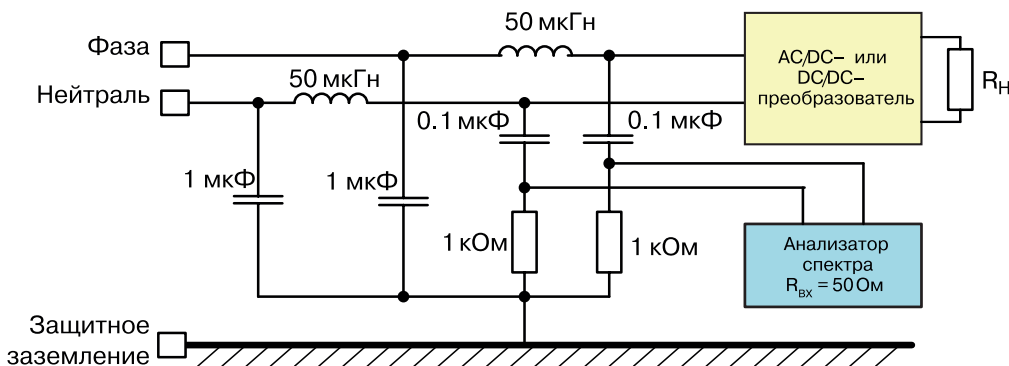


Рис. 1. Схема LISN-устройства для измерения уровня кондуктивных помех

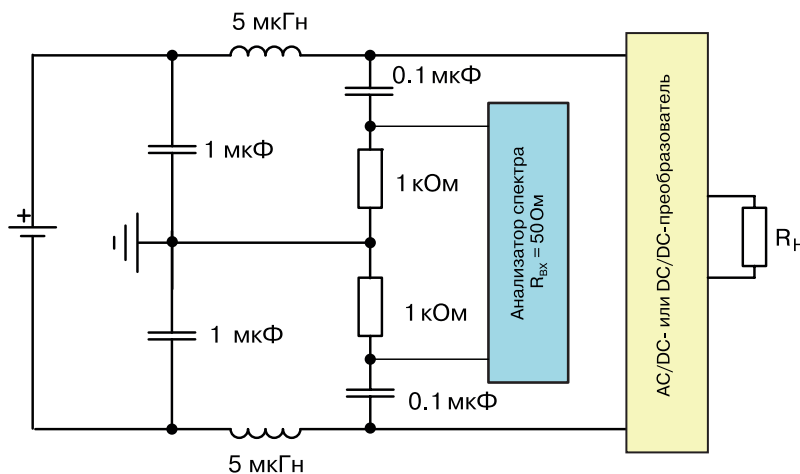


Рис. 2. Схема подключения LISN для проверки источника питания на соответствие требованиям стандарта CISPR 25

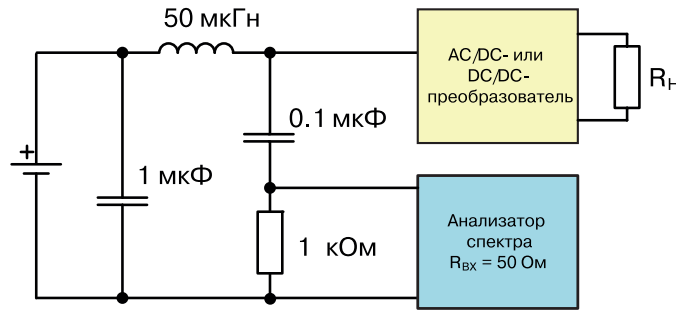


Рис. 3. Упрощенная схема подключения LISN для измерения дифференциальной составляющей кондуктивной помехи на соответствие требованиям стандарта CISPR 25

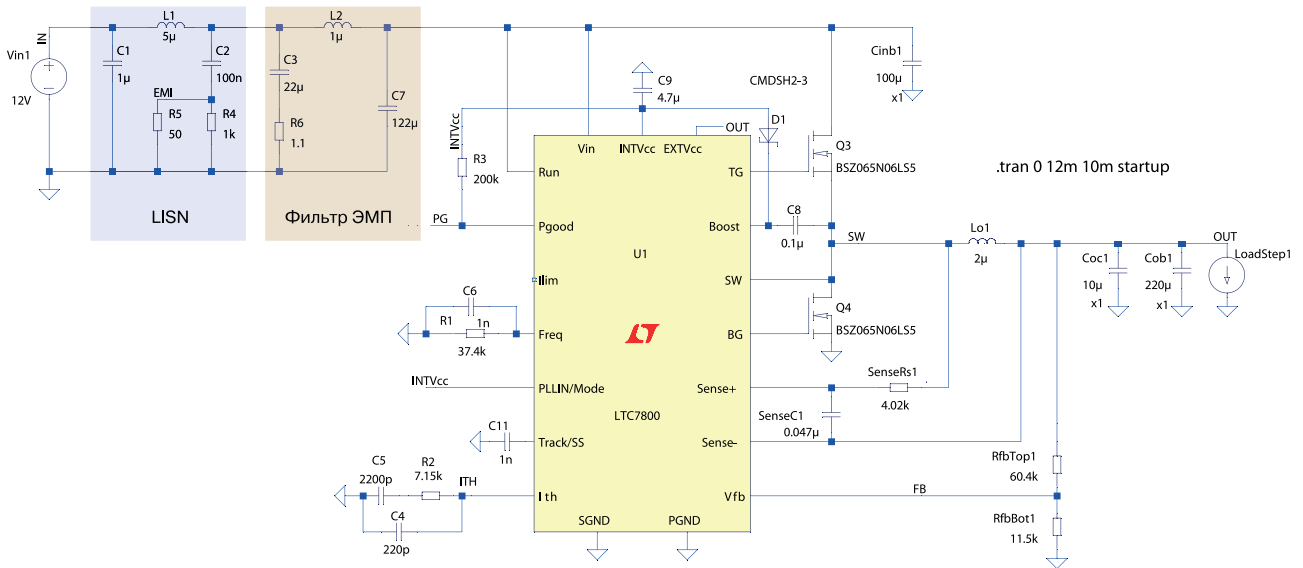


Рис. 4. Модель понижающего DC/DC-преобразователя на основе LTC7800

Напряжение помехи измеряется в точке, помеченной как EMI.

Для измерения спектра необходимо измерить напряжение в точке EMI [11] и затем, разместив курсор в окне результатов моделирования, нажать правую кнопку "мышки". В выпадающем меню [5] необходимо выбрать пункт View/FFT (быстрое преобразование Фурье). На рис. 6 приведен спектр помехи, измеренный в дБ.

Для перевода полученных значений в дБмкВ необходимо проделать несколько простых операций [9]. Вначале необходимо преобразовать полученные значения спектральных составляющих в мкВ. Для этого воспользуемся простым соотношением

$$U_{ЭМП} (В) = 10^{\frac{U_{ЭМП} (дБ)}{20}}$$

Для преобразования в дБмкВ необходимо проделать следующее преобразование

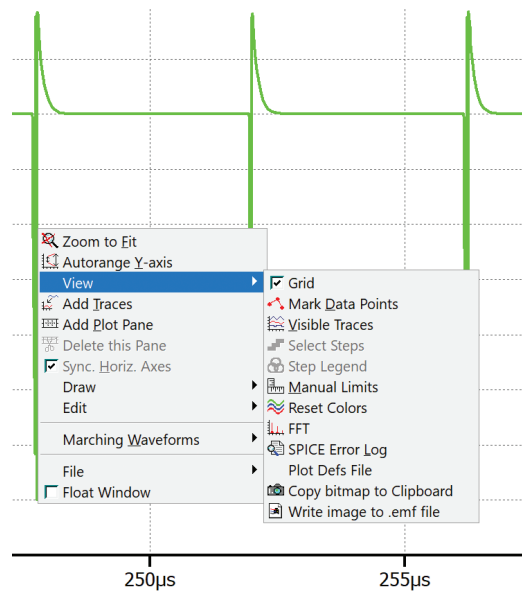


Рис. 5. Выпадающее меню для выбора быстрого преобразования Фурье

$$U_{ЭМП} \text{ (дБмкВ)} = 20 \lg \frac{U_{ЭМП} \text{ (В)}}{1 \cdot 10^{-6} \text{ В}}$$

ЛИТЕРАТУРА

Результаты пересчета приведены в табл. 1.
 Нанесем спектральные составляющие на график с установленными границами допустимых уровней помех в соответствии со стандартом CISPR 25 (рис. 7).

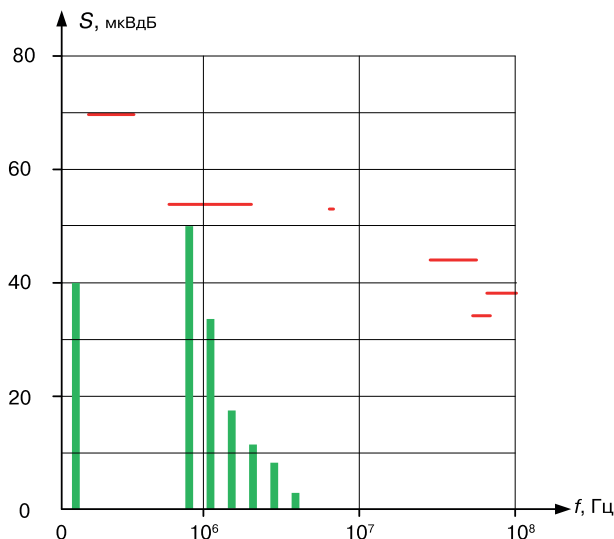


Рис. 7. Спектр кондуктивных помех DC/DC-преобразователя на основе LTC7800

Более высокочастотные составляющие в спектре ЭМП (рис. 5) имеют значительно меньшие амплитуды и смысла их пересчитывать нет необходимости.

Такие измерения можно использовать для предварительной грубой оценки излучаемых помех в источниках питания. Однако следует учесть, что максимальный уровень кондуктивных помех генерируется при максимальной нагрузке. Поэтому моделирование следует проводить при максимальном выходном токе на выходе преобразователя.

1. CISPR 32:2015, 2nd edition (or EN 55032:2015), “Electromagnetic compatibility of multimedia equipment – Emission requirements.”
 url: <https://webstore.iec.ch/publication/22046>
2. CISPR 25:2016, 4th edition (or EN 55025:2017), “Vehicles, boats and internal combustion engines – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers.”
 url: <https://webstore.iec.ch/publication/26122>
3. CISPR 22:2008, 6th edition (or EN 55022:2011), “Information technology equipment – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement.”
 url: https://en.wikipedia.org/wiki/CISPR_22
4. EMC DIRECTIVE 2014/30/EU / url: http://ec.europa.eu/growth/sectors/electrical-engineering/emc-directive_en
5. IEC 61000-6-3:2006, “Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-3: Generic standards – Emission standard for residential, commercial and light-industrial environments.” url: <https://webstore.iec.ch/publication/4247>
6. IEC 61000-6-4:2006, “Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-4: Generic standards – Emission standard for industrial environments.” url: <https://webstore.iec.ch/publication/4251>
7. В. Макаренко Основные возможности программы проектирования импульсных источников питания LTpowerCADII / Электронные компоненты и системы, №3(231), 2020. с. 37-51. url: http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/_2020/3_2020/V.Makarenko_Basic%20features%20of%20the%20LTpowerCADII%20switching%20power%20supply%20design%20program.pdf

Таблица 1. Результаты пересчета спектра ЭМП

Частота, кГц	4	625	1250	1875	2500	3125	3750
UЭМП, дБ	-40	-70	-92	-102	-108	-112	-117
UЭМП, В	0.01	3.16-4	25	7.94	3.98	2.5	1.4
UЭМП, дБмкВ	40	50	28	18	12	8	3

8. Timothy Hegarty The Engineer's Guide To EMI In DC-DC Converters (Part 1): Standards Requirements And Measurement Techniques / How2Power Today, December 2017 issue.

url: <http://www.how2power.com/newsletters/1712/index.html>

9. Е. Буров Измерение напряжения кондуктивных помех импульсных преобразователей / Сборник "Электромагнитная совместимость в электронике", 2019. с. 196-200.

10. Timothy Hegarty The Engineer's Guide To EMI In

DC-DC Converters (Part 15): Standards Requirements And Measurement Techniques / How2Power Today, October 2020 issue.

url: <http://www.how2power.com/newsletters/2010/index.html>

11. В. Макаренко Программа моделирования электронных схем LTSpice, часть 4 / Электронные компоненты и системы, №3(223), 2018. с. 52-62. url: [http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/2018_3/Makrenko_V.V._LTSpice_part4_EKIS_3\(223\)_2018.pdf](http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/2018_3/Makrenko_V.V._LTSpice_part4_EKIS_3(223)_2018.pdf)

Швейцарская инженеринговая компания Oerlikon



По мотивам картины
В.А. Тропинина
"Кружевница"

[От ремесла к искусству]

ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

- проектирование
- производство

VD MAIS – крупнейший поставщик печатных плат на рынке Украины

7 аргументов в пользу печатных плат, поставляемых VD MAIS:

- принцип "все из одних рук"
- стабильное положение фирмы на рынке печатных плат
- высокая квалификация специалистов
- выбор проверенных фирм-изготовителей в зависимости от специфики заказа
- техническое сопровождение проекта при SMD-монтаже
- минимизация цен за счет объединения заказов
- сертификация систем экологического менеджмента и менеджмента качества фирмы согласно требованиям стандартов ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 и ISO 13485:2016.
- предоставление документации по выходному контролю печатных плат

VD MAIS
ДИСТРИБУЦИЯ+
КОНТРАКТНОЕ
ПРОИЗВОДСТВО

VD MAIS
PCB Professionally

тел.: (044) 201-0202, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (095) 283-8246, (048) 734-1954, (095) 274-6897, info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua