

ИЗМЕРЕНИЕ КОНДУКТИВНЫХ ПОМЕХ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ В LTSPICE

MEASUREMENT OF CONDUCTIVE INTERFERENCE USING LTSPICE SIMULATION

В статье приведена краткая информация о способах измерения кондуктивных помех с помощью моделирования в программе LTspice. Показано, как измерить спектр разности сигналов между двумя незаземленными точками модели.

В. Макаренко

V. Makarenko

При разработке импульсных источников питания очень важно обеспечить его параметры, отвечающие требованиям по электромагнитной совместимости соответствующему стандарту. В [1] показано как, воспользовавшись программой LTpowerCADII от компании Analog Devices, спроектировать импульсный источник питания и фильтр подавления кондуктивных помех на компонентах этой компании. Однако для работы с программой доступны не все компоненты компании, а при проектировании фильтра, даже не для всех, доступных для проектирования компонентов, можно получить модель для исследования свойств источника питания. Поэтому желательно иметь возможность проверить уровень кондуктивных электромагнитных помех (ЭМП) любого источника, модель которого можно создать в LTspice.

Как известно, кондуктивные помехи делятся на дифференциальные (возникают из-за дифференциальных токов в паре проводов: ток покидает источник по одной линии и возвращается по обратной линии дифференциальной пары) и синфазные (воз-

Abstract – The article provides brief information about the methods of measuring conductive interference using simulation in the LTspice program. It is shown how to measure the spectrum of the signal difference between two ungrounded points of the model.

никают, когда ток течет вдоль обеих линий в одном направлении и попадает через паразитные цепи на системную "земляную" шину).

Стандарты, определяющие предельные уровни кондуктивных помех, как правило, охватывают более низкий частотный диапазон, чем стандарты для индуктивных ЭМП, а именно 150 кГц – 30 МГц.

На рис. 1 показаны общие пути проводимости синфазных (CM) и дифференциальных (DM) кондуктивных помех импульсного источника питания [2].

Для оценки уровня кондуктивных помех на входе тестируемого устройства включается эквивалент сети (Line Impedance Stabilization Network, LISN), используемый для измерения уровня кондуктивных помех. Для измерения уровня дифференциальных помех, создаваемых DC/DC-преобразователями, схему включения LISN можно упростить так, как показано на рис. 2.

Параметры LISN, приведенные на рис. 1 и 2, соответствуют требованиям измерения ЭМП в соответствии со стандартом CISPR25.

Для иллюстрации возможностей измерения кон-

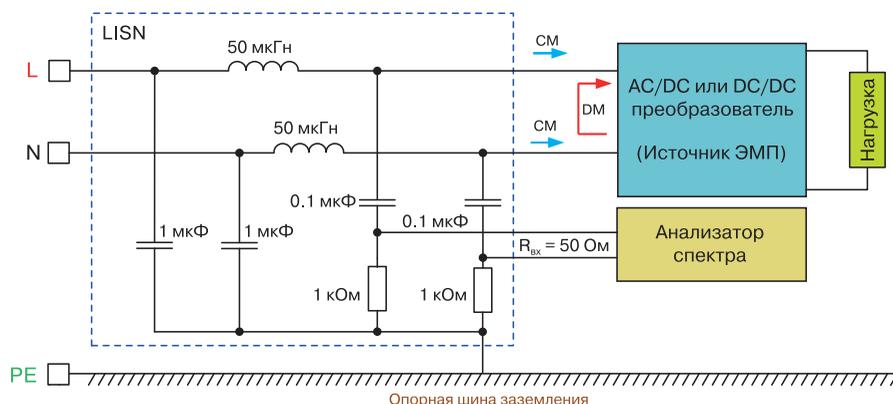


Рис. 1. Включение LISN для измерения синфазных кондуктивных помех

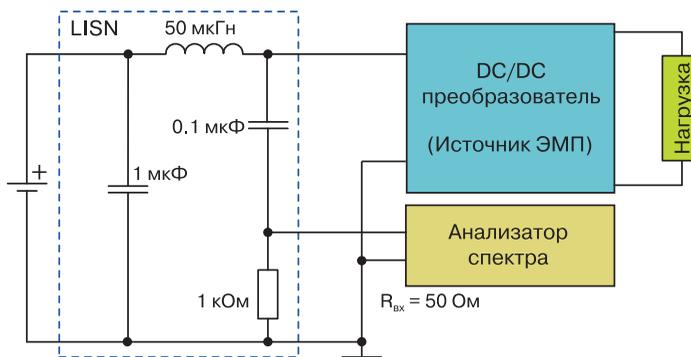


Рис. 2. Схема включения LISN для измерения дифференциальных кондуктивных помех

дуктивных помех с помощью LTspice воспользуемся моделью преобразователя из библиотеки примеров LTspice. На рис. 3 приведена схема модели понижающего преобразователя с двумя выходами, выбранная для иллюстрации возможностей измерения помех.

Для измерения синфазных помех необходимо подготовить модель для подключения LISN. Для этого необходимо удалить все значки общего провода и соединить точки подключения общего провода одним проводником, как показано в [3]. После этого можно подключать LISN.

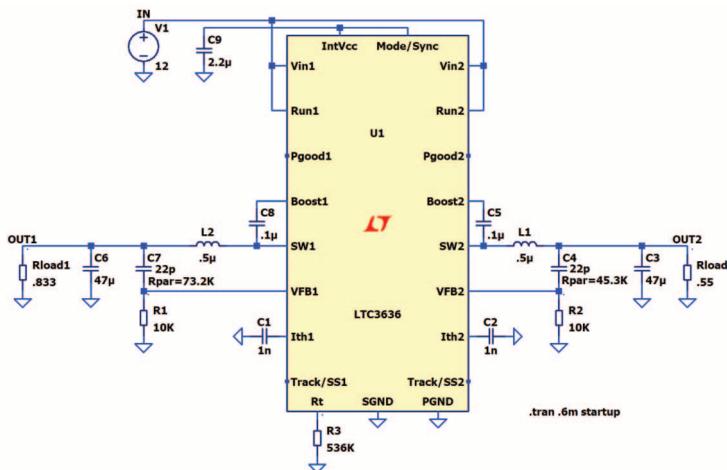


Рис. 3. Модель понижающего DC/DC-преобразователя

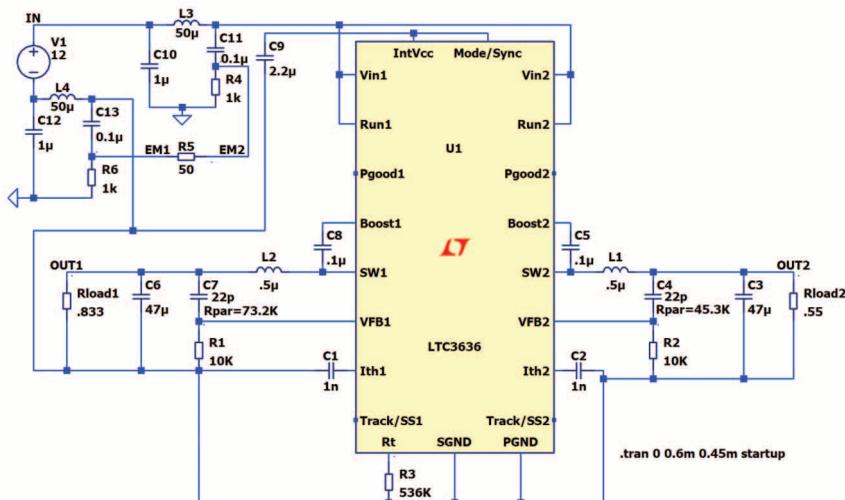


Рис. 4. Модель для измерения синфазных помех понижающего DC/DC-преобразователя

На рис. 4 приведена модель с подключенными узлами LISN для измерения синфазных помех.

Резистор R5 выполняет функцию входного сопротивления анализатора спектра. Напряжение помехи падает на резисторе R5, что соответствует разности напряжений между узлами EM1 и EM2. Для измерения этого напряжения следует щёлкнуть левой кнопкой мыши по первому узлу EM1 и, не отпуская кнопки мыши, переместить курсор ко второму узлу EM2. По мере перемещения, щуп сначала окрасится в серый цвет, а затем, в районе второго узла, в чёрный цвет. После этого отпускаем левую кнопку мыши.

На рис. 5 приведены графики сигналов в точках EM1, EM2 и разностного сигнала между этими точками V(EM1,EM2).

Из графиков следует, что сигналы в точках EM1 и EM2 равны по амплитуде и противофазны, что и дает удвоение амплитуды помехи на измерительном резисторе R5. Так как форма сигнала V(EM1) и V(EM1,EM2) одинакова, а отличаются в два раза по амплитуде, следует ожидать, что и спектры сигналов V(EM1) и V(EM1,EM2), а также V(EM2) будут одинаковы. Различие будет наблюдаться только в уровне спектральных составляющих. В спектре V(EM1) все составляющие будут иметь значения на 6 дБмкВ меньше, чем в спектре сигнала V(EM1,EM2).

Чтобы проверить это, проведем измерения спектра в точке EM1. В LTspice при анализе спектра информация выводится в логарифмических единицах (дБ), которые вычисляются как отношение среднеквадратического значения спектральной составляющей к значению напряжения 1 В. При оценке электромагнитных помех (ЭМП) спектр должен выводиться в значениях дБмкВ. Чтобы автоматически осуществить перерасчет в дБмкВ, необходимо в окне отображения спектра ввести делитель величин

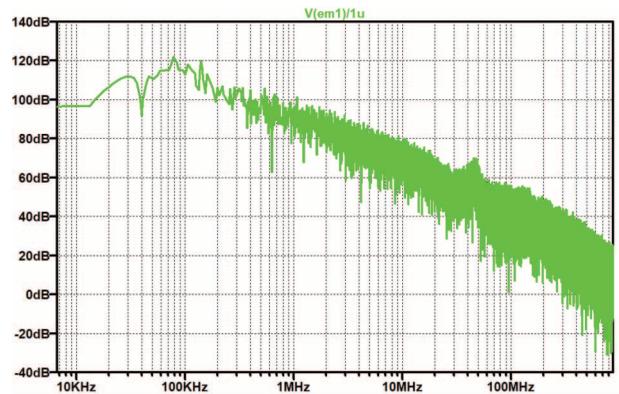


Рис. 6. Спектр помехи в точке EM1

ной 1 мкВ [4], а именно V(em1)/1u, как показано на рис. 6.

Поскольку в LTspice невозможно произвести измерение спектра между двумя точками, то воспользуемся измерением спектра тока, протекающего через измерительный резистор R5, а для получения требуемых значений в окне отображения спектра

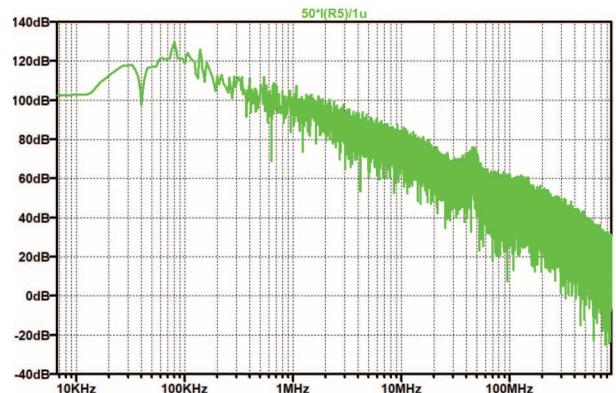


Рис. 7. Спектр синфазной помехи на измерительном резисторе R5

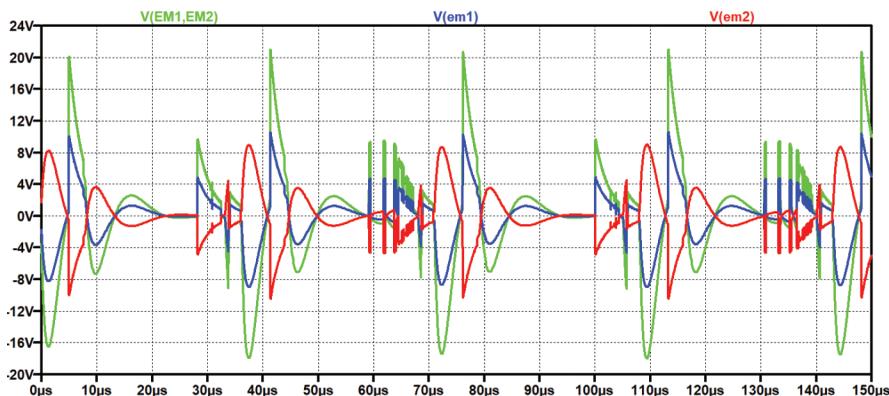


Рис. 5. Графики сигналов в точках EM1, EM2 и между этими точками V(EM1,EM2)

вводим выражение $R5 \cdot I(R5) / 1u$, как показано на рис. 7.

Сравнивая спектры на рис. 6 и 7, можно удостовериться, что они очень похожи, а разница уровней составляет 6 дБ. При малом времени анализа могут наблюдаться небольшие отличия формы спектра в области нижних частот, что объясняется малым временем анализа, заданном при моделировании. При увеличении времени анализа эти расхождения становятся незаметными.

Для измерения дифференциальной помехи модифицируем модель, как показано на рис. 8.

Спектр дифференциальной кондуктивной помехи, измеренный в точке EMI, приведен на рис. 9.

В [5] предложен метод измерения синфазной помехи, при котором из суммарного спектра вырезаются составляющие спектра дифференциальной помехи, как показано на рис. 10.

Модель для проверки такого метода измерения

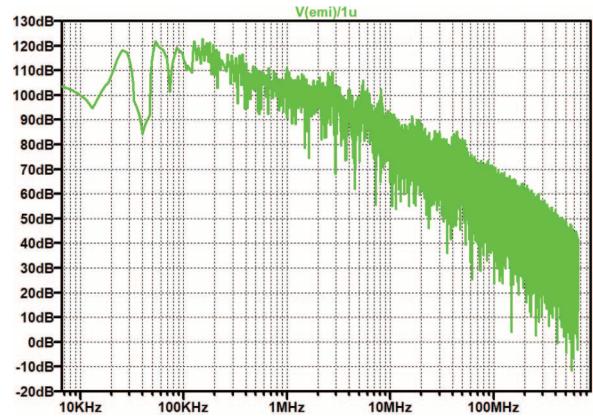


Рис. 9. Спектр дифференциальной кондуктивной помехи, измеренный в точке EMI

помех приведена на рис. 11, а спектр помех – на рис. 12.

Как следует из полученного результата, спектр, отображенный на рис. 12, не соответствует ни одно-

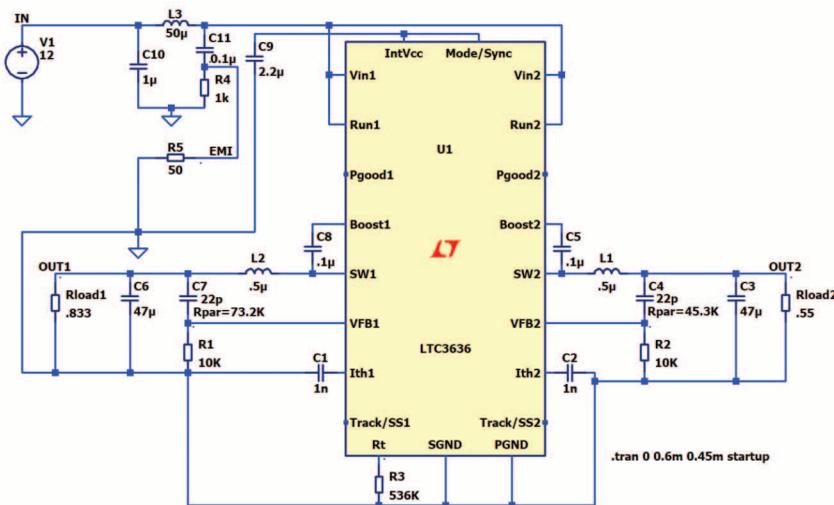


Рис. 8. Модель для измерения дифференциальной кондуктивной помехи

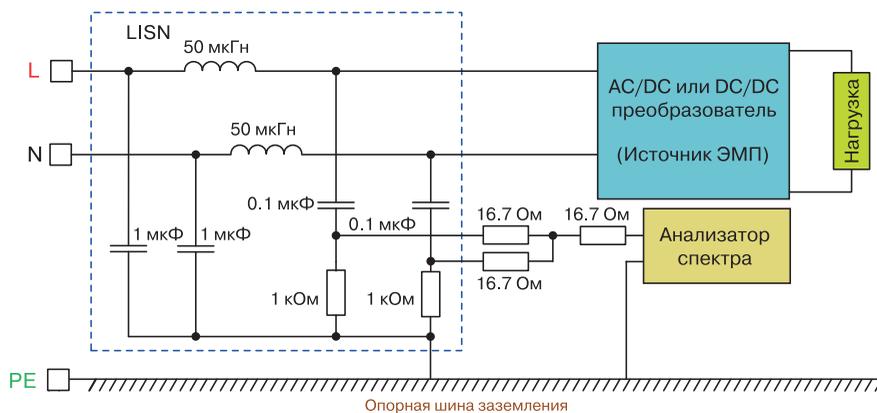


Рис. 10. Метод измерения спектра синфазной помехи с режекцией дифференциальной помехи

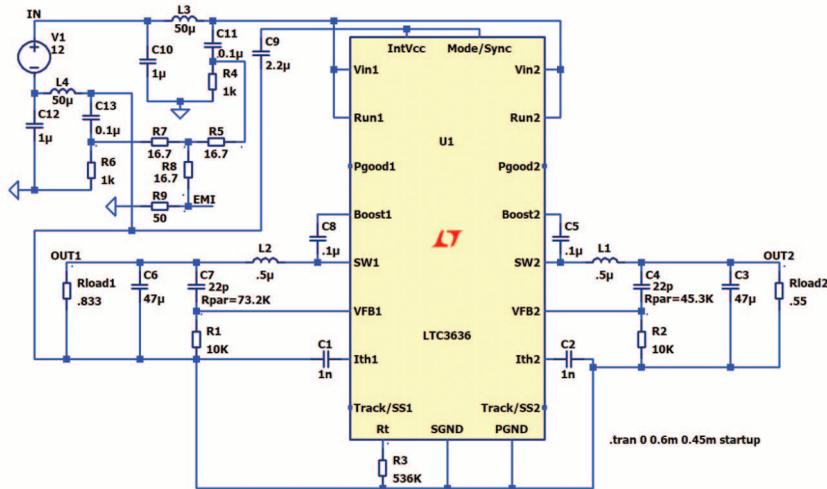


Рис. 11. Модель для измерения спектра синфазной помехи с режекцией дифференциальной помехи

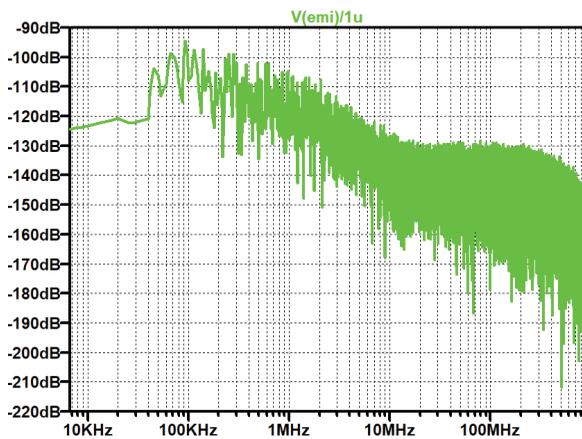


Рис. 12. Спектр синфазной помехи с режекцией дифференциальной помехи

му из спектров кондуктивных помех. Скорее это разница синфазной и дифференциальной помех, о чем свидетельствуют полученные значения спектра, отличающиеся на 200 дБ от спектров, полученных другим способом. Еще один вывод, который можно сделать из анализа рис. 12 заключается в том, что разница между спектрами дифференциальной и синфазной помех весьма незначительна.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Макаренко Основные возможности программы проектирования импульсных источников питания LTpowerCAD II / 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%2

0supply%20design%20program.pdf

2. Henry Zhang, Sam Young Speed Up the Design of EMI Filters for Switch-Mode Power Supplies. url: <https://www.analog.com/media/en/analog-dialogue/volume-54/number-2/speed-up-the-design-of-emi-filters-for-switch-mode-power-supplies.pdf>

3. Timothy Hegarty An overview of conducted EMI specifications for power supplies / <https://www.ti.com/lit/wp/slyy136/slyy136.pdf>

4. В. Макаренко О некоторых особенностях работы с программой LTspice / Электронные компоненты и системы, №3(235), 2021. с. 54-56. url: [http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/2021/3_2021/V.Makarenko_On_some_features_of_working_with_LTSpice_EKIS_3\(235\)_2021.pdf](http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/2021/3_2021/V.Makarenko_On_some_features_of_working_with_LTSpice_EKIS_3(235)_2021.pdf)

5. Henry W. Ott Electromagnetic Compatibility Engineering. A John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2009. – 871 pp.

VD MAIS

Печатные платы



- проектирование печатных плат
- технологическая подготовка производства
- изготовление любого количества плат:
 - по ГОСТ 23752-79
 - по стандарту IPC-A-600J
- проектирование и изготовление трафаретов для нанесения паяльной пасты.

Сертификация на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 и ISO 13485:2016

Цены – оптимальные.

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6
тел.: (0-44) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110
e-mail: info@vdmajs.ua, www.vdmajs.ua