

Рис. 3. Поперечное сечение прямоугольной линии передачи

Погонная емкость линии передачи из рис. 3 и отклонения от [5]

Источник	C , пФ/м
Метод с выбором прямоугольного контура	57,453 (4%)
Метод через запасенную энергию	46,468 (15%)
[5]	55,057

ЛИТЕРАТУРА

1. Куксенко С.П. Электромагнитная совместимость: численные методы решения задач электростатики. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2020. – 268 с.
2. Rylander T. Computational Electromagnetics / T. Rylander, P. Ingelstrom, A. Bondeson. – New York: Springer Science Business Media, 2013. – 301 p.
3. Dworsky L.N. Introduction to Numerical Electrostatics Using MATLAB. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. – 2014. – 438 p.
4. Sadiku M.N.O. Computational Electromagnetics with MATLAB. – London; New York, 2019. – 709 p.
5. Musa S.M. Computation of Electrical Parameters for Different Conducting Bodies Using Finite Element Method / S.M. Musa, M.N. O. Sadiku // Wiley Periodicals, Inc. Microwave Opt Technol Lett. – 2008. – Vol. 50. – PP. 611–614.

УДК 621.391.825

**РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ
СИНФАЗНОЙ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ
СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОМЕХИ**

Д.Е. Харахордина, студентка каф. ТУ;

М.В. Храпцов, аспирант каф. ТУ;

В.П. Костелецкий, м.н.с. НИЛ ФИЭМС, к.т.н.

Научный руководитель А.М. Заболоцкий,

зав. каф. СВЧуКР, д.т.н., доцент

г. Томск, ТУСУР, diana.xararordina@bk.ru

Разработана электрическая принципиальная схема устройства для разделения дифференциальной и синфазной составляющих помехи. Определены геометрические параметры для изготовления синфаз-

ного и дифференциального дросселей. Представлен результат моделирования импеданса обмоток дросселей и трасс печатной платы. Выполнено измерение индуктивности обмоток дросселей. Изготовлен прототип устройства для разделения дифференциальной и синфазной составляющих помехи.

Ключевые слова: радиоэлектронная аппаратура, кондуктивная помехоэмиссия, разделитель шума, дифференциальный режим, синфазный режим, дроссель.

При проектировании современной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) используют быстродействующую электронную компонентную базу. Ее использование позволяет увеличить быстродействие РЭА, но при этом приводит к увеличению уровня электромагнитных помех (ЭМП) [1, 2]. Для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) необходимо еще на этапе прототипирования учитывать возможные помехи, поэтому принято измерять уровень напряжения ЭМП.

При испытаниях на ЭМС, в случаях, когда уровень ЭМП РЭА не удовлетворяет заданным ограничениям, обычно сложно найти источник возникновения помех. Это связано с тем, что произвольная помеха описывается комбинацией компонентов синфазной и дифференциальной составляющих шумового сигнала. Такие компоненты имеют различное происхождение, и для борьбы с ними необходимо их точно разделять [4]. Кроме того, процесс проектирования помехоподавляющих фильтров подразделяют на фильтры синфазного и дифференциального режимов. Поэтому разделение дифференциальной и синфазной составляющих способствует рациональному использованию устройств защиты, что позволяет уменьшить себестоимость и массогабаритные характеристики готового устройства [5].

Целью работы является разработка устройства, позволяющего разделять дифференциальную и синфазную компоненты шумового сигнала.

Данное устройство состоит из параллельно подключенных дифференциального и синфазного дросселей. Принцип работы такого устройства заключается в следующем. На оба дросселя приходит произвольная помеха, при этом на выходе синфазного дросселя выделяется дифференциальная компонента помехового сигнала, а на выходе дифференциального дросселя – синфазная. Такой эффект достигается за счет того, что синфазный дроссель обладает околонулевым импедансом для дифференциальной компоненты помехового сигнала, но при этом ослабляет синфазную, а в дифференциальном дросселе наблюдается противоположное явление. На выходе каждого дросселя установлены разъемы, через которые подключают анализатор спек-

тра, который измеряет амплитуды дифференциальной и синфазной составляющих помехового сигнала. Электрическая схема устройства для разделения синфазной и дифференциальной составляющих помехового сигнала представлена на рис. 1.

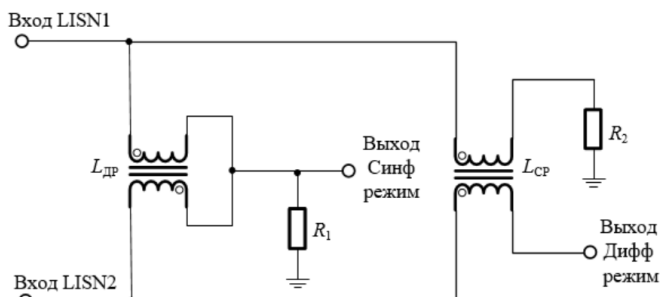


Рис. 1. Электрическая принципиальная схема устройства для разделения дифференциальной и синфазной составляющих помехи

Основываясь на электрической принципиальной схеме, изготовлен прототип разделителя помех (рис. 2). Резисторы R_1, R_2 равны 49,9 Ом. Дроссели выполнены на кольцевом сердечнике марки В64290-L45-X38 с геометрическими размерами 16×9,6×6,3 мм. Начальная магнитная проницаемость $\mu_0=10000$. Дроссели намотаны парой одинаковых проводников. Каждая обмотка состоит из 10 витков. Синфазный дроссель намотан проводом ПЭТВ-2, диаметр провода равен 0,34 мм, а токоведущей жилы – 0,29 мм. Дифференциальный дроссель намотан проводом УТР САТ-5, диаметр провода равен 0,9 мм, а токоведущей жилы – 0,205 мм. Каждая обмотка синфазного дросселя равна 785 мкГн, а дифференциального – 845 мкГн. Такие номиналы индуктивности обусловлены требованиями к ослаблению компонент помехового сигнала.



Рис. 2. Прототип разделителя помех

В ПО ADS рассчитана копланарная линия импедансом 50 Ом, из которой выполнены соединения на печатной плате. Так как намотка дросселей осуществлена парами проводников, в ПО TALGAT вычислен импеданс каждой пары. Для проводов ПЭТВ-2 и UTP CAT-5 диэлектрическая проницаемость изоляции принята равной 3,5. Результаты вычислений сведены в таблицу.

Импеданс проводников

	ПЭТВ-2	UTP CAT-5
Z, Ом	50,8	98,8

Значение импеданса, полученного при моделировании UTP CAT-5, соответствует паспортным данным производителя и составляет 100 ± 15 Ом.

Таким образом, разработана схема и изготовлен прототип разделителя синфазных и дифференциальных помех. Подобраны геометрические параметры для изготовления дросселей, позволяющие получить требуемое значение индуктивности. В ПО ADS и TALGAT выполнено моделирование импеданса обмоток дросселей и дорожек печатной платы. Измерены индуктивности обмоток дифференциального и синфазного дросселей. Результат данной работы будет использован для дальнейшего изготовления стенда для проведения испытаний на ЭМС с учетом синфазного и дифференциального режимов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кечиев Л.Н Проектирование системы распределения питания печатных узлов электронной аппаратуры. – М.: Грифон, 2016. – 402 с.
2. Разработка эквивалента сети для измерения уровня кондуктивной помехоэмиссии радиоэлектронных средств / М.В. Храмов, Д.Е. Харахордина, П.А. Попов // Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления». – Томск: В-Спектр, 2022. – Т. 2. – С. 300–302.
3. ГОСТ Р 51318.11–2006 (СИСПР 11:2004). Совместимость технических средств электромагнитная. Промышленные, научные, медицинские и бытовые (ПНМБ) высокочастотные устройства. Радиопомехи индустриальные. Нормы и методы измерений. – М.: Стандартинформ, 2020. – 43 с.
4. Devices for the Separation of the Common and Differential Mode Noise: Design and Realization / M.C. Caponet; F. Profumo // APEC. Seventeenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition. – 2002. – PP. 100–105.
5. Novel Three-Phase CM/DM Conducted Emission Separator / Marcelo Lobo Heldwein, Jurgen Biela, Hans Ertl, Thomas Nussbaumer, and Johann W. Kolar // Published in: IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2009. – Vol. 56. – PP. 3693–3703.