

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 629.1

Динамический анализ печатного узла

Б.Н. Даулов, А.И. Кузнецов

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Российская Федерация

Аннотация

Исследуются динамические характеристики печатного узла, формулируются основные цели динамического анализа, а также описывается последовательность шагов, необходимых для его проведения. Процесс упрощения разработанной модели печатного узла представлен детально. Проведен расчет динамических характеристик для четырехточечного крепления печатного узла в корпусе блока, при этом была предложена модифицированная конструкция печатного узла, основанная на изменении способа его крепления. Все выводы подкреплены графическими материалами, что подтверждает их обоснованность и точность.

Ключевые слова: моделирование, динамический анализ, собственные частоты, напряжения, перемещения, способ закрепления, печатный узел, вибропрочность

Для цитирования. Даулов Б.Н., Кузнецов А.И. Динамический анализ печатного узла. *Молодой исследователь Дона*. 2025;10(2):23–28.

Dynamic Analysis of a Printed Circuit Assembly

Bekbolat N. Daulov, Andrey I. Kuznetsov

Penza State University, Penza, Russian Federation

Abstract

The dynamic properties of a printed circuit assembly have been studied, the main objectives of the dynamic analysis have been formulated and the sequence of steps envisaged by it has described. The process of simplifying the developed circuit assembly model has been presented in detail. The dynamic properties of a four-point mount for mounting a printed circuit assembly in the block housing have been calculated, and a modified design of the printed circuit assembly envisaging changes in the mounting method has been proposed. To confirm the validity and accuracy of all the conclusions, the graphic materials have been provided.

Keywords: modeling, dynamic analysis, natural frequencies, stresses, displacements, mounting method, printed circuit assembly, vibration strength

For Citation. Daulov BN, Kuznetsov AI. Dynamic Analysis of a Printed Circuit Assembly. *Young Researcher of Don*. 2025;10(2):23–28.

Введение. Динамический анализ в настоящее время представляет собой неотъемлемую часть проектирования любых радиоэлектронных средств [1, 2]. Основными целями динамического анализа являются проектирование структурных и механических систем, обеспечивающих работу без разрушений в динамических условиях [3], а также модификация характеристик системы (форм, механизмов демпфирования, свойств материала и т. п.) для уменьшения влияния вибраций [4]. Динамический анализ в программном пакете SOLIDWORKS осуществляется после определения собственных частот и форм колебаний. Полученные значения перемещений, деформаций и напряжений отражают реакцию модели устройства на действующие нагрузки, в частности, на ускорения.

Цель исследования заключается в проведении анализа отклика системы на механические воздействия и в проработке возможностей повышения виброустойчивости конструкции за счет изменения методов крепления.

Основная часть. Динамический анализ будет проведен для печатного узла (ПУ), изготовленного из фольгированного стеклотекстолита марки FR4, с установленными элементами с обеих сторон. Геометрические размеры узла составляют 110×82×23 мм. Плата разделена на функциональные зоны, которые изолированы друг от друга с помощью металлизации. Крепежные отверстия расположены в зонах металлизации, на которую выведен слой заземления. На плате установлена батарея, предназначенная для хранения служебной информации. В целях защиты от влаги зона установки элементов покрыта лаком, а маркировка платы выполнена печатью.

ПУ является частью прибора, предназначенного для реализации защищенной транспортной среды распределенных информационно-телекоммуникационных систем, обрабатывающих конфиденциальную информацию и обеспечивающих функции контроля передаваемой и принимаемой информации, а также тестирования аппаратных и программных компонентов изделия.

Рассмотрим вариант, при котором ПУ жестко закреплен по четырем углам. В соответствии с техническим заданием, значение ускорения составляет 20 м/с^2 в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Демпфирование всей системы задается на уровне 5 %, что соответствует коэффициенту демпфирования 0,05 (рис. 1).

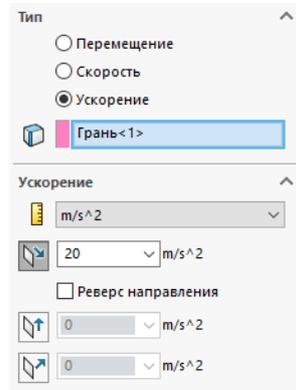


Рис. 1. Задание ускорения на однородную поверхность по оси Y

Расчет производится при приложении нагрузки в каждом направлении (OX, OY, OZ). В качестве примера на рис. 2 приведена эпюра напряжений по оси OZ.

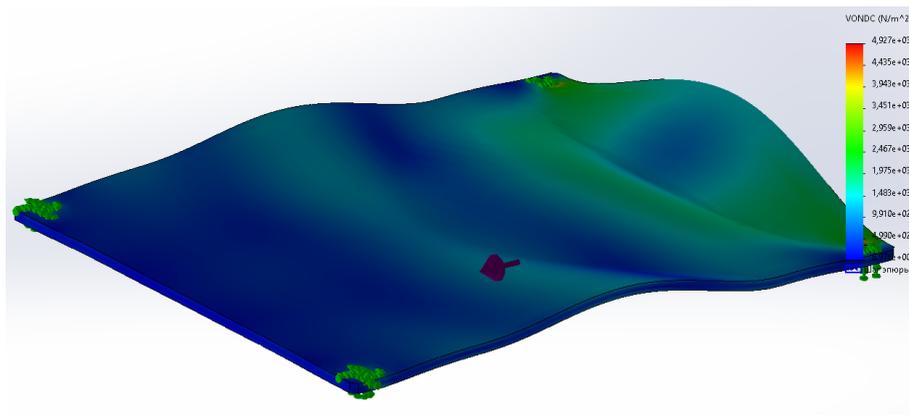


Рис. 2. Эпюра напряжений при воздействии по направлению OZ

Далее строится график отклика в точках наибольшего отклонения на эпюрах на заданной частоте. Графики отклика (механических напряжений) модели печатного узла по осям представлены на рис. 3.

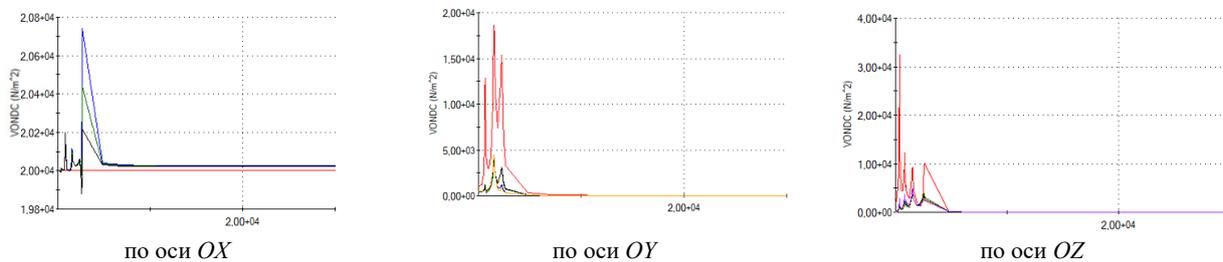


Рис. 3. Графики отклика

Как следует из анализа материалов, представленных на рис. 3, наибольшие значения механических напряжений, действующих в модели ПУ, наблюдаются при более низких частотах. Это связано с тем, что в этих диапазонах величины амплитуд колебаний оказываются значительными. Кроме того, максимальный отклик модели вызывается воздействием, направленным по оси OZ, в то время как для двух других направлений отклик остается менее одного процента.

Таким образом, для обеспечения вибропрочности модели ПУ необходимо начать с увеличения жесткости вдоль оси OZ. Это может быть достигнуто за счет изменения способов крепления, как указывается в работах [5, 6]. В следующем варианте крепления будет предусмотрено добавление дополнительных точек крепления по сторонам (рис. 4). Подобные изменения способствуют увеличению значений собственной частоты, а также количественным изменениям отклика модели [7, 8]. При таком варианте крепления контур ПУ становится более устойчивым к механическим нагрузкам. Далее следует провести модальный анализ для определения собственных частот модели ПУ.

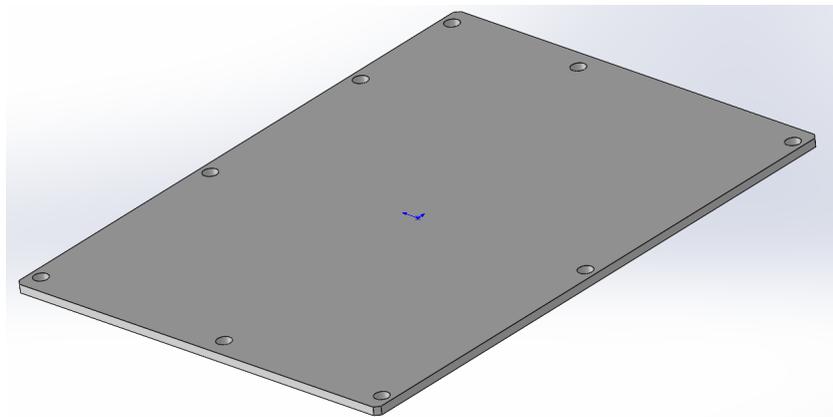


Рис. 4. Создание отверстий по контуру

Для проверки соответствия изделия более жестким условиям эксплуатации задается виброускорение равное 70 м/с^2 . Далее строятся графики отклика в точках наибольшего отклонения на эпюрах на заданной частоте. Графики отклика (механических напряжений) модели печатного узла по осям представлены на рис. 5.

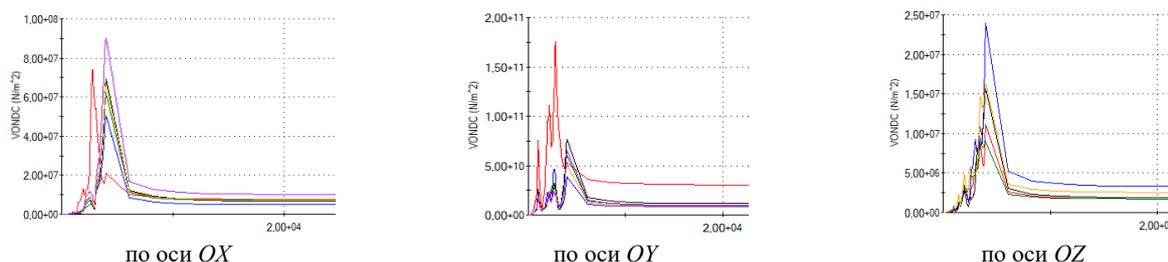


Рис. 5. Графики отклика

Как показали расчеты, изменение способа крепления модели ПУ привело к повышению ее устойчивости с точки зрения собственных частот. Однако при приложении нагрузки наблюдаются достаточно большие значения механических напряжений и ускорений. Следовательно, имеет смысл продолжить работу по увеличению жесткости модели, что позволит еще больше повысить ее характеристики.

Следующий вариант крепления печатного узла предполагает добавление дополнительных винтовых креплений, расположенных в соответствии с размещением элементов на плате (рис. 6). По всем винтовым отверстиям будет устанавливаться жесткое крепление.

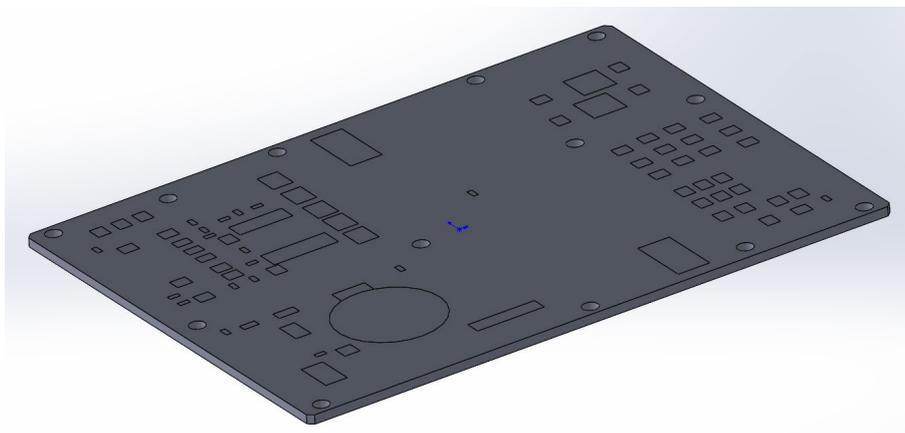
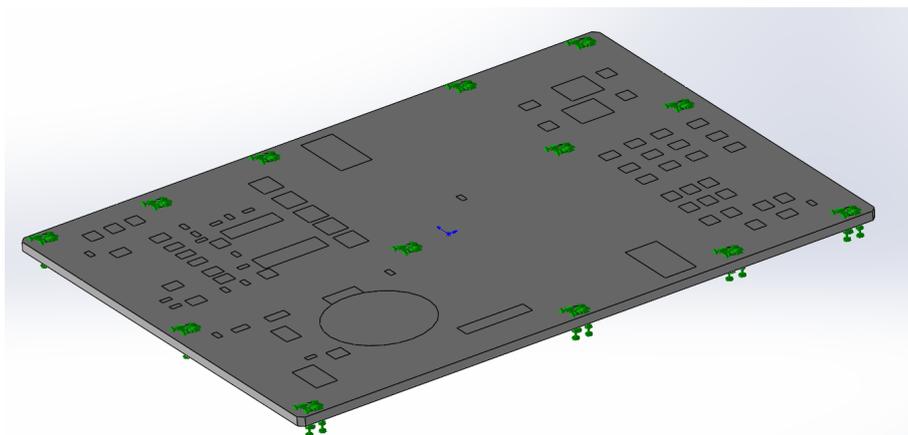


Рис. 6. Модель ПП

Элементы на печатной плате устройства представлены в виде эскизов с заданными соответствующими каждому элементу массами для упрощения и наглядности процесса.

Закрепление ПУ по внутренней поверхности отверстий соответствует винтовому креплению на стойках (рис. 7).



Для повышения эффективности работы применяется автоматическое задание формы элементов с последующим визуальным контролем. После этого производится частотный анализ, результаты которого показали минимальные воздействия на осях X и Y. Значения по оси Z значительно снизились, а максимальная эффективная масса составила 27 процентов, что является значительным улучшением по сравнению с величинами предыдущих вариантов закрепления (78 и 55 процентов).

Суммарная эффективная масса за 10 опытов уменьшилась до 75 процентов. Первая собственная частота возросла до 1 170 Гц. На рис. 8–10 представлены эпюры механических напряжений, возникающих в ПУ при заданном возмущении.

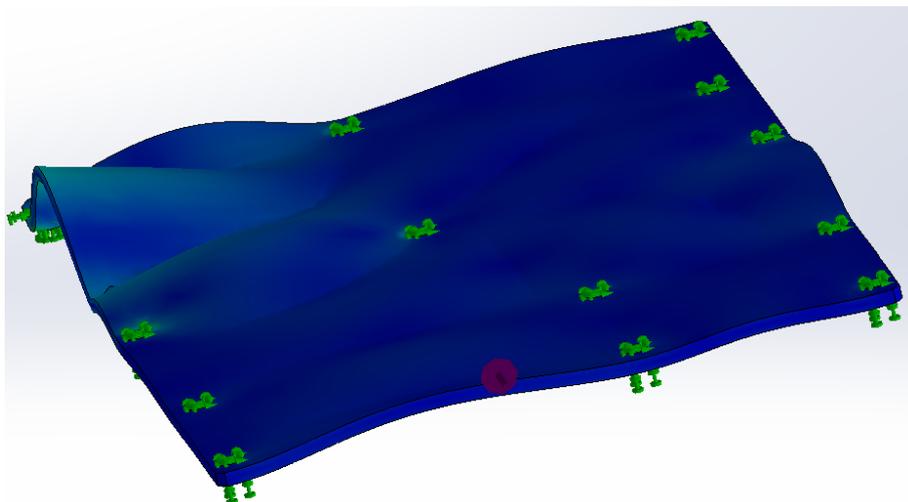


Рис. 8. Эпюра напряжений по X

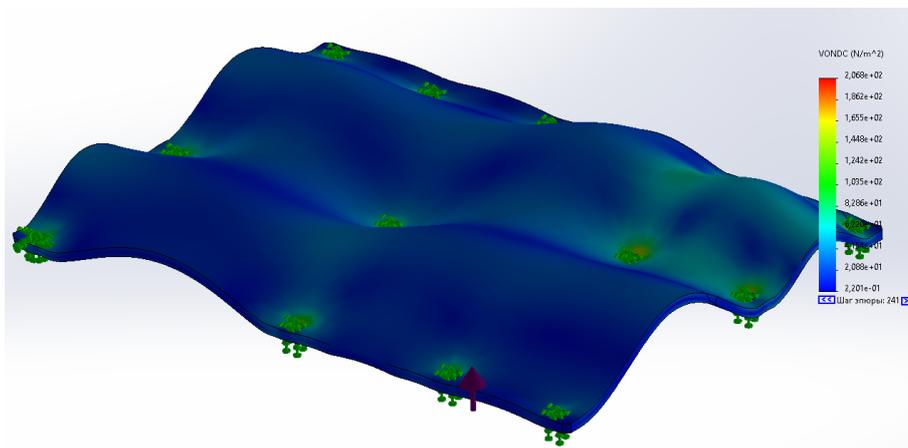


Рис. 9. Эпюра напряжений по Y

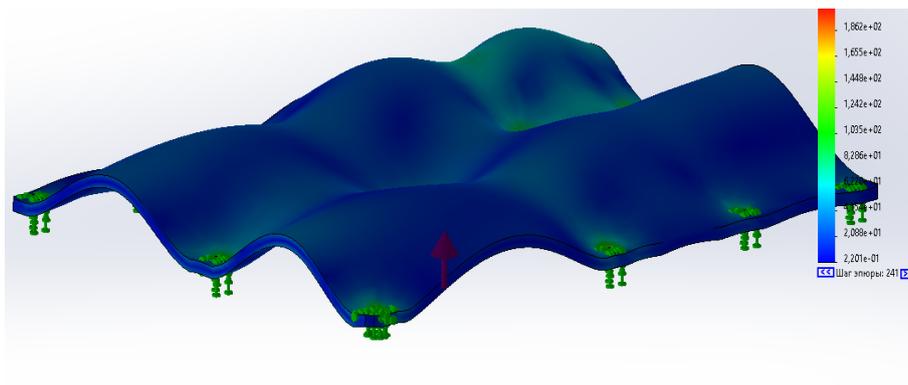


Рис. 10. Эпюра напряжений по Z

Далее по амплитуде колебаний определяются наиболее уязвимые точки печатного узла и строятся графики отклика по соответствующим осям (рис. 11–13).

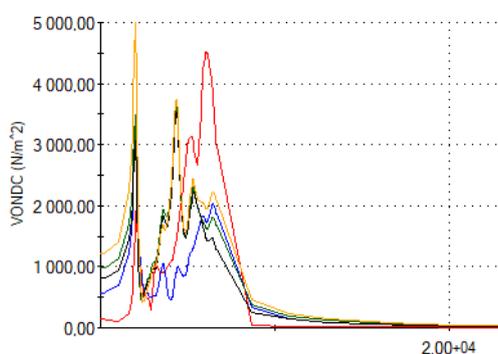
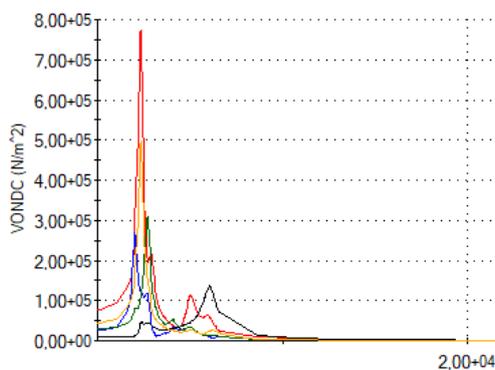
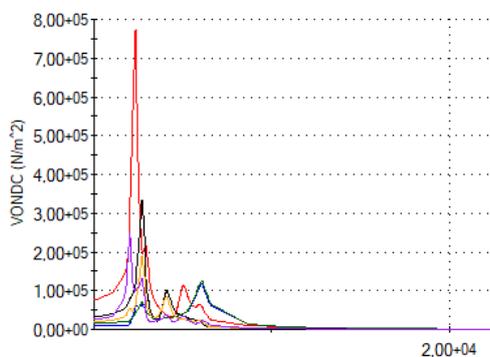


Рис. 11. График отклика в критических точках (ось X)



На графиках отклика иллюстрируется зависимость действующего напряжения от частоты. Как видно из графиков, наиболее высокие значения напряжений наблюдаются на низких частотах, однако максимальные напряжения не превышают установленного предела [9, 10].

Заключение. Анализ вариантов способов закрепления показал, что за счет повышения жесткости закрепления ПУ можно значительно улучшать ее динамические характеристики. Крепление по всему контуру ПУ и по центральным узлам позволило достигнуть наилучших результатов. Такой вариант ПУ конструкционно способен выдерживать большие нагрузки, следовательно, ПУ можно использовать при более жестких условиях эксплуатации.

Список литературы

1. Таньков Г.В., Трусов В.А., Юрков Н.К., Григорьев А.В., Данилова Е.А. *Исследование динамики печатных плат радиоэлектронных средств*. Монография. Пенза: Пензенский государственный университет; 2016. 118 с.
2. Рязанов И.А., Данилова Е.А., Ануар Г.А. *Общие вопросы в моделировании радиоэлектронных средств. Труды международного симпозиума «Надежность и качество»*. 2022;1:91–93.
3. Фролов С.И., Данилова Е.А., Таньков Г.В., Кочегаров И.И., Григорьев А.В. Разработка методики определения резонансных частот тонкостенных цилиндрических конструкций бортовых радиоэлектронных средств. *Надежность и качество сложных систем*. 2021;1(33):102–113. <https://doi.org/10.21685/2307-4205-2021-1-10>
4. Анненков А.А., Данилова Е.А. *Анализ способов обеспечения виброустойчивости печатных узлов. Труды международного симпозиума «Надежность и качество»*. 2019;1:262–264.
5. Таньков Г.В., Гришко А.К., Транковская Н.В., Данилова Е.А., Сысуев В.А. Анализ современных систем защиты РЭС от внешних механических воздействий. *Современные информационные технологии*. 2019;(30):156–159.
6. Казаченко А.А., Данилова Е.А., Малышев В.О., Юрков Н.К., Бростилов С.А. Определение способа защиты РЭС от внешних факторов. В: *Труды XIV Международной научно-технической конференции с элементами научной школы и конкурсом научно-исследовательских работ для обучающихся и молодых ученых «Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шлядинские чтения — 2022»)»*, Пенза, 24–26 октября 2022 года. Пенза: Пензенский государственный университет, 2022. С. 288–290.
7. Фролов С.И., Данилова Е.А., Трусов В.А., Кочегаров И.И., Юрков Н.К. К вопросу моделирования собственных частот колебаний многогранных призм безрезонансных конструкций бортовых радиоэлектронных средств. *Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета*. 2022;80:151–162.
8. Grishko A, Adnreev P, Goryachev N, Trusov V, Danilova E. Reliability Control of Complex Systems at Different Stages of Their Life Cycle. In: *Proceedings of 2018 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT)*. Yekaterinburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers Publ.; 2018. P. 220–223. <https://doi.org/10.1109/USBREIT.2018.8384589>
9. Фролов С.И., Трусов В.А., Таньков Г.В., Данилова Е.А., Юрков Н.К. Методы автоматизированного синтеза компоновки блоков бортовой РЭС. *Труды международного симпозиума «Надежность и качество»*. 2018;2:334–335.
10. Фролов С.И., Кочегаров И.И., Данилова Е.А., Таньков Г.В., Юрков Н.К., Баннов В.Я. Морфологический метод автоматизации структурно-параметрического синтеза блоков бортовых РЭС. *Труды международного симпозиума «Надежность и качество»*. 2018;(2):326–334.

Об авторах:

Бекболат Нурлыбаевич Даулов, магистрант кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры Пензенского государственного университета (440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40), siori@list.ru

Андрей Игоревич Кузнецов, магистрант кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры Пензенского государственного университета (440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40)

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Bekbolat N. Daulov, Master's Degree Student of the Design and Production of Radio Equipment Department, Penza State University (40, Krasnaya Str., Penza, 440026, Russian Federation), siori@list.ru

Andrey I. Kuznetsov, Master's Degree Student of the Design and Production of Radio Equipment Department, Penza State University (40, Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation)

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.