

В.Р. ШАРАФУТДИНОВ, аспирант
П.Е. ОРЛОВ, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник
каф. ТУ, ТУСУР, Томск

МОДАЛЬНОЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОЙ НАВИГАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Разработана печатная плата источника питания системы автономной навигации космического аппарата с реализацией модальной фильтрации. Рассмотрены размеры печатной платы относительно прототипа. Оценены методы компоновки радиоэлементов и определены длины участков цепей, охваченных модальной фильтрацией. По итогам разработки печатной платы получен патент на изобретение.

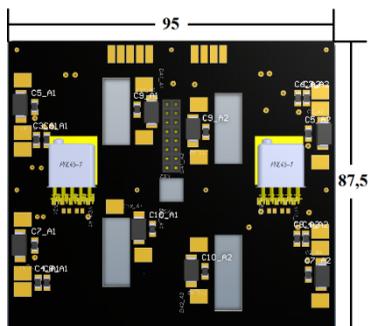
Конструируя радиоэлектронную аппаратуру (РЭА) специального применения, в том числе и для космических аппаратов (КА), уделяют значительное внимание электромагнитной совместимости, а в случаях увеличения ресурса КА – резервированию. Воспользовавшись модальным разложением сигнала в отрезках связанных линий в качестве модальной фильтрации (МФ) [1] и избыточностью холодного резервирования, можно осуществить модальное резервирование цепей печатных плат (ПП). Модальное резервирование в реальной РЭА изучено мало: лишь для двух ПП системы автономной навигации (САН) КА [2, 3]. Однако для источника питания (ИП) САН КА модальное резервирование не рассматривалось. Между тем это актуально для резервируемой РЭА КА.

Цель работы – реализация МФ в ПП ИП САН КА.

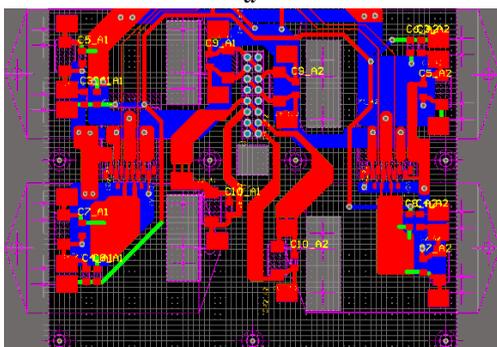
В качестве прототипа использована ПП ИП САН КА. Менялись два типа МФ: с лицевой и торцевой связью. На этапе компоновки ПП выявлено, что для реализации МФ удобно располагать радиоэлектронные компоненты попарно и попарно симметрично. В первом случае следует располагать резервируемые и резервирующие компоненты максимально близко друг к

другу на одной стороне, во втором – на противоположных сторонах ПП.

Компоновка первым способом эффективна, если ПП содержит малое количество компонентов и нет ограничения по ее площади. В случае ПП ИП САН КА (рисунок 1) второй способ предпочтителен и ведет к удобному размещению компонентов на разных сторонах ПП (рисунок 2).



a



б

Рисунок 1. Исходная ПП ИП САН КА: *a* – модель 3D (4 преобразователя DC/DC условно не показаны);
б – модель 2D (2 сигнальных слоя)

Для реализации лицевой МФ потребовалось введение дополнительных слоев, что усложнило структуру ПП. Однако размещение компонентов на разных сторонах ПП позволило уменьшить исходные габариты почти в два раза ($57,5 \times 87,5$ мм против $95 \times 87,5$ мм).

Длины участков трасс с торцевой и лицевой МФ сведены в таблицу. Общее количество цепей на ПП ИП невелико, поэтому реализовать лицевую МФ получилось на двух линиях, а торцевую – на четырех.

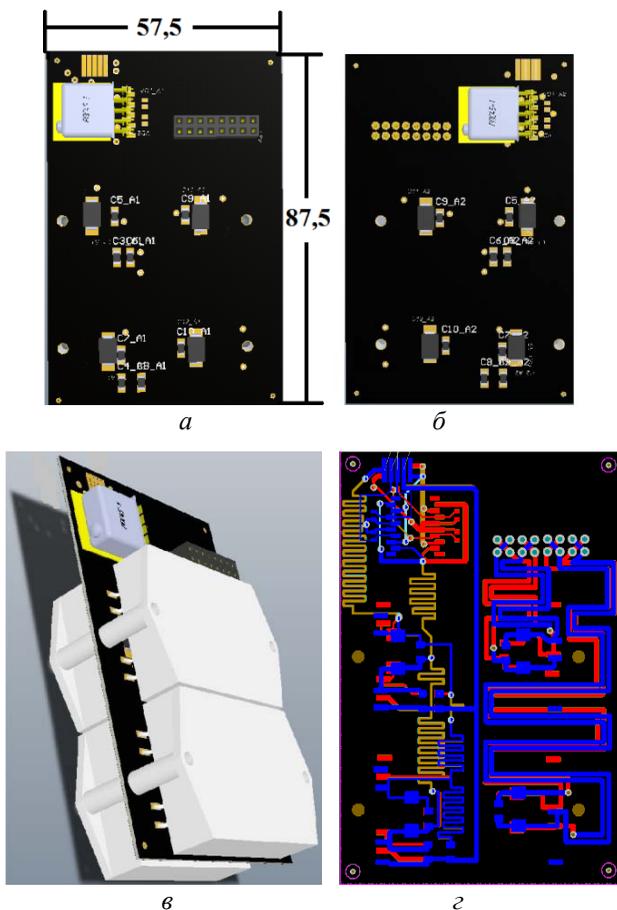


Рисунок 2. ПП ИП с МФ: модели 3D – вид сверху (а) и снизу (б) (преобразователи DC/DC условно не показаны); в – модель 3D (изометрия); г – модель 2D (4 сигнальных слоя, полигоны «земли» условно не показаны)

Длины участков трасс с МФ

Трассы с лицевой МФ			Трассы с торцевой МФ				
Номер	1	2	Номер	1	2	3	4
l , мм	216	116	l , мм	43	43	149	177

В ходе проделанной работы удалось уменьшить площадь ПП ИП почти в два раза, реализовать МФ двумя различными способами: с лицевой и торцевой МФ. При этом установлено, что попарно симметричное расположение элементов способствует реализации лицевой МФ в большей степени, чем торцевой МФ, вследствие удобства зеркальной трассировки резервируемой и резервной цепей, даже с учетом малого числа радиокомпонентов ПП ИП. Возрастающая плотность компоновки радиоэлементов и трассировки цепей ПП, увеличение числа асимметричных элементов с большим количеством выводов ведет к увеличению сложности реализации МФ на ПП. Увеличение количества дискретных симметричных элементов, протяженных цепей, слоев ПП, наоборот, упрощает процесс реализации МФ. По результатам данной работы была подана заявка и получен патент на изобретение [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Gazizov T.R., Zabolotsky A.M. New approach to EMC protection // Proc. of the 18-th Int. Zurich Symp. on EMC. Munich, Germany, 2007. September 24–28. P. 273–276.
2. Шарафутдинов В.Р., Орлов П.Е. Модальное резервирование блока цифровой обработки сигналов системы автономной навигации космического аппарата // Международная научно-техническая конференция «Научная сессия ТУСУР-2016», 25–27 мая. Томск, 2016.
3. Шарафутдинов В.Р., Орлов П.Е., Газизов Т.Р. Модальное резервирование радиоприемного устройства системы автономной навигации космического аппарата // XIX всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы радиоэлектроники», 5–6 мая 2016 г. Красноярск: СФУ, 2016. С. 117–119.
4. Пат. Российская Федерация 2603843. Способ резервирования для печатных плат / Газизов Т.Р., Шарафутдинов В.Р., Кузнецова-Гаджибаева О.М., Заболоцкий А.М., Куксенко С.П., Буичкин Е.Н., Орлов П.Е. Заявка № 2015137547 ; приоритет изобретения 02.09.2015 ; опубл. 10.12.2016, Бюл. № 34.

V.R. Sharafutdinov, P.E. Orlov

Modal reservation of spacecraft automatic navigation system power source

A printed circuit board of a power source of spacecraft autonomous navigation system with the implementation of modal filtering is developed. The dimensions of the printed circuit board relative to the prototype are considered. The methods of electronic components layout are estimated and the lengths of sections of chains using the modal filtration are determined. As a result of the development of the printed circuit board a patent for the invention was obtained.

dovod@bk.ru