

ную информацию о характеристиках цепей с модальным резервированием.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-19-00424) в ТУСУРе.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 51369–99. Методы испытаний на стойкость к климатическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие влажности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200006116>, свободный (дата обращения: 09.03.2021).

2. Study and classification of potential IEMI sources / N. Mora, F. Vega, G. Lugrin, F. Rachidi, M. Rubinstein // System and assessment notes. – Note 41. – July 8, 2014.

3. Sagiyeva I.Y. The influence of temperature on microstrip transmission line characteristics / I.Y. Sagiyeva, A.V. Nosov, R.S. Surovtsev // 21th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. – June 29 – July 3, 2020. – P. 1–4.

УДК 621.316.12

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗВЯЗЫВАЮЩИХ КОНДЕНСАТОРОВ НА ПОЛНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПИТАНИЯ

М.В. Храмов, аспирант каф. ТУ

*Научный руководитель А.М. Заболоцкий, доцент каф. ТУ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, khramtsovmaxim@yandex.ru*

Исследовано влияние развязывающих конденсаторов на профиль полного сопротивления системы распределения питания. Вычислены целевые значения частоты, полного сопротивления и минимальной эффективной емкости. Показаны явление антирезонанса и способ снижения этого эффекта.

Ключевые слова: целостность питания, развязывающий конденсатор, система распределения питания.

Современные микросхемы, работающие на высоких частотах, имеют времена переключения менее наносекунды и используют низкие напряжения питания с высокими переходными токами. Это вызывает помехи и нарушает целостность питания печатных плат (ПП), что может приводить к провалам напряжения питания, появлению помех в сигнальных цепях, наводимых со стороны системы распределения питания (СРП), и нарушению целостности сигналов. Для обеспечения качественной работы быстродействующих узлов важным параметром

является полное сопротивление СРП. Оно должно быть низким, а напряжение электропитания должно быть постоянным [1]. Целью работы является исследование влияния развязывающих конденсаторов на полное сопротивление СРП.

СРП ПП включает стабилизатор или преобразователь питания. Для снижения полного сопротивления СРП применяют: электролитические или танталовые конденсаторы; развязывающие керамические конденсаторы; планарный встроенный конденсатор; конденсаторы в корпусе интегральной микросхемы или установленные на кристалле [2]. Влияние указанных элементов на полное сопротивление представлено на рис. 1.

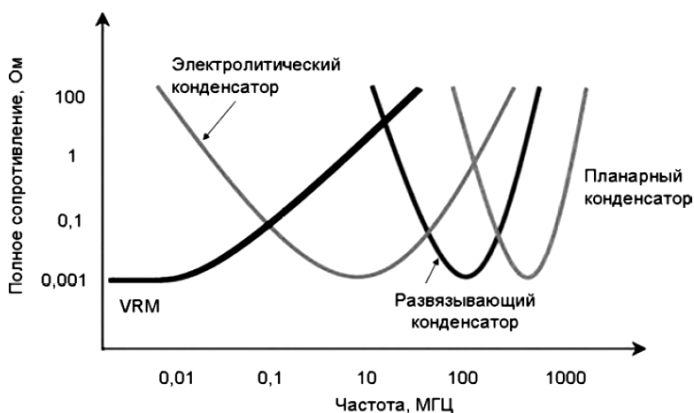


Рис. 1. Влияние элементов на профиль полного сопротивления СРП

Паразитная индуктивность цепей питания и соединений имеет свойство увеличивать полное сопротивление СРП пропорционально частоте. Таким образом, разработчику ПП удобнее всего с помощью развязывающих конденсаторов поддерживать полное сопротивление СРП ниже целевого значения [3].

Далее исследовано влияние развязывающих конденсаторов на полное сопротивление СРП для микросхемы DS92LV18. Важными параметрами являются максимальный переходной ток $I_{\text{max}} = 280$ мА, напряжение питания $V_{\text{cc}} = 3,3$ В, допустимые пульсации $\%_{\text{Rip}} = 0,03$ или $\text{Rip} = 100$ мВ и время нарастания фронта $t_{\text{фр}} = 4$ нс. Целевое значение полного сопротивления зависит от максимального переходного тока, которые вычислены по формуле $Z_{\Gamma} = V_{\text{cc}} \cdot \%_{\text{Rip}} / I_{\text{max}}$, равно 354 мОм. Диапазон частот, в котором необходимо обеспечить полное сопротивление ниже целевого значения, указан в документации либо определяется через длительность фронта сигнала по формуле

$f_{\max} = 0,35/t_{\text{фр}}$. Для микросхемы DS92LV18 – $f_{\max} = 87,5$ МГц. Первое приближение минимальной эффективной емкости развязывающего

конденсатора вычисляется по формуле $C_{\min \text{эфф}} = \frac{I_{t \max} \cdot t_{\text{фр}}}{R_{\text{ip}}}$ и равно

11,2 нФ. В результате, округлив до ближайшего типового значения, выбран конденсатор фирмы Murata с номинальным значением 100 нФ. Результаты моделирования влияния конденсаторов на полное сопротивление СРП представлены на рис. 2. На графике видно, что полное сопротивление СРП ниже целевого в диапазоне частот от 4,58 до 43,8 МГц, что является недопустимым. Понизить полное сопротивление в области низких частот можно путем добавления конденсатора большего номинального значения, например 1000 нФ. В этом случае расширяется полоса частот с полным сопротивлением ниже целевого значения до 61,3 МГц. Однако появляется недопустимый антирезонанс в диапазоне от 8,49 до 9,79 МГц из-за большого изменения добавляемой емкости. Для того чтобы исключить антирезонанс и расширить диапазон частот с низким полным сопротивлением, добавлен конденсатор с промежуточным значением в 680 нФ. Видно, что амплитуда антирезонанса значительно снизилась, а полное сопротивление имеет значение ниже целевого значения до 89,9 МГц, что удовлетворяет предъявленным требованиям.

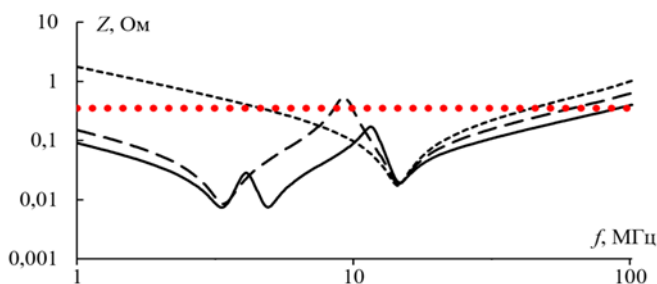


Рис. 2. Полное сопротивление СРП при подключении конденсаторов: 100 нФ (---), 100 и 1000 нФ (-.-.), 100, 680 и 1000 нФ (—), целевое значение (•••)

Таким образом, в данной работе проведено моделирование полного сопротивления СРП с учетом развязывающих конденсаторов в диапазоне частот от 1 до 100 МГц. Выполнены вычисления по определению целевых значений частоты, полного сопротивления и минимальной эффективной емкости. Оценено влияние развязывающих конденсаторов и подобрана сборка, обеспечивающая полное сопро-

тивление ниже целевого значения в диапазоне частот от 1 до 89,9 МГц. Эта сборка состоит из конденсаторов с номинальным значением 100, 680 и 1000 нФ. При этом выявлено, что необходимо вводить дополнительные конденсаторы без резкого перепада емкости между ними. Это необходимо для исключения появления антирезонансов, которые отрицательно влияют на целостность питания.

Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования (проект FEWM-2020-0041).

ЛИТЕРАТУРА

1. Кечиев Л.Н. Проектирование системы распределения питания печатных узлов электронной аппаратуры. – М.: Грифон, 2016. – 400 с.

2. Kim J. Separated Role of On-chip and On-PCB Decoupling Capacitors for Reduction of Radiated Emission on Printed Circuit Boards / J. Kim, B. Choi, H. Kim, W. Ryu, Y. Yun, S. Nam, S. Kim, Y. Lee, J. Kim // Proceedings of the IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. – 2001. – P. 531–536.

3. Goral B. Power Delivery Network Simulation Methodology Including Integrated Circuit Behavior / B. Goral, C. Gautier, A. Amedeo // 2016 IEEE 20th Workshop on Signal and Power Integrity (SPI). – May 2016.

УДК 621.372, 537.874

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАТНЫХ ВОЛН ГЕОРАДАРА, ОТРАЖЕННЫХ ОТ ОБЪЕКТОВ В ВЕРХНЕМ ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ

М.А. Иноземцев, аспирант каф. ТУ

г. Томск, ТУСУР, ma87@sibmail.com

Представлены результаты численного моделирования обратных волн, возникающих при отражении зондирующих сигналов георадара при его работе в условиях горной выработки от границ раздела сред в верхнем полупространстве, а также от проводящих объектов, расположенных в верхнем полупространстве. Описаны параметры модели, приведены полученные в результате моделирования отдельные трассы и радарограммы.

Ключевые слова: георадар, численное моделирование, метод FDTD, отраженный сигнал.

В настоящее время георадары применяются при решении ряда инженерных, научных и других задач. Одной из сфер их применения является контроль состояния состояния кровли и приконтурных массивов горных выработок шахт, рудников. Ограниченные размеры выработки, наличие в ней крупногабаритного оборудования или других объектов