

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАССИВНЫХ РАДИАТОРОВ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ МИКРОСХЕМ В РАЗНЫХ ТИПАХ КОРПУСОВ (QFP, BGA, QFN)

Яцкевич Я.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Пискун Г.А. – к. т. н, доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Проведено сравнение эффективности установки пассивных радиаторов на цифровые микросхемы в трёх различных типах корпусов: QFP, QFN и BGA. На примере микроконтроллеров семейства MSP430 компании Texas Instruments, имеющих идентичную функциональность, но разное конструктивное исполнение, выполнен тепловой расчёт максимально допустимой рассеиваемой мощности. Используются паспортные значения тепловых сопротивлений «кристалл–среда» (θ_{ja}) и «кристалл–корпус» (θ_{jc}), а также рассмотрены три варианта пассивных радиаторов с тепловым сопротивлением 15, 30 и 50 °C/Вт. Установлено, что корпус QFN демонстрирует наилучшие показатели пассивного охлаждения без радиатора благодаря наличию нижней тепловой подушки, однако установка радиатора на него нецелесообразна..

Ключевые слова: пассивный радиатор, тепловое сопротивление, корпус QFP, корпус QFN, корпус BGA, рассеиваемая мощность, охлаждение микросхем, тепловой режим.

Введение. Современная цифровая электроника характеризуется непрерывным увеличением производительности и функциональной плотности микросхем при одновременном уменьшении их геометрических размеров. Микроконтроллеры, логические чипы и процессоры, упакованные в корпуса типов QFP, QFN и BGA, выделяют значительное количество тепла в процессе работы. Превышение максимально допустимой температуры кристалла (T_{jmax}) ведет к деградации характеристик, снижению надежности и выходу устройства из строя. Эффективность отвода тепла определяется тепловым сопротивлением «кристалл–окружающая среда» (θ_{ja}), которое сильно зависит от типа корпуса и условий охлаждения. Дополнительным важным параметром является тепловое сопротивление «кристалл–корпус» (θ_{jc}), которое описывает эффективность передачи тепла от кристалла к верхней поверхности корпуса – именно туда впоследствии устанавливается радиатор. Традиционным методом улучшения теплоотвода является установка пассивных радиаторов, однако, в силу конструктивных особенностей корпусов, прирост допустимой рассеиваемой мощности от установки одного и того же радиатора может кардинально различаться.

Различия корпусов QFP, QFN и BGA. В электронике широко используются три основных типа корпусов, расположенные на рисунке 1.

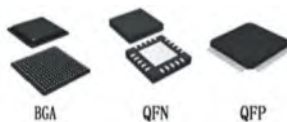


Рисунок 1 – Типы корпусов

QFP (Quad Flat Package) – корпус с выводами по четырём сторонам. Тепло от кристалла передаётся через металлический подложку и выводы на печатную плату, а также через поверхность корпуса в воздух.

QFN (Quad Flat No-leads) – безвыводной корпус с тепловой подушкой (exposed pad) на нижней стороне. Эта подушка припаивается непосредственно к медному полигону на плате, создавая очень эффективный путь отвода тепла.

BGA (Ball Grid Array) – корпус с шариковыми выводами, расположенными матрицей. Тепло проходит через подложку и множество шариков припоя в плату.

Расчёт. Для исследования выбраны три микроконтроллера семейства MSP430 (Texas Instruments), идентичные по функциональности [1, 2]. Для данной микросхемы, во всех исследуемых корпусах, представлены тепловые параметры, в таблице 1.

Таблица 1 – Тепловые параметры выбранных микросхем

Параметр	Обозначение	QFP	QFN	BGA
Тип корпуса		LQFP-48	QFN-40	BGA (ZQE)
Тепловое сопротивление кристалл–среда	θ_{ja} (°C/Вт)	67,6	31,6	55,5
Тепловое сопротивление кристалл–корпус	θ_{jc} (°C/Вт)	24,0	24,1	21,2
Максимальная температура кристалла	T_{jmax} (°C)	85	85	85
Температура окружающей среды	T_a (°C)	25	25	25
Температурный перепад	$\Delta T = T_{jmax} - T_a$	60	60	60

Для расчёта максимальной мощности, которую можно рассеять без превышения, использовалась следующая формула:

$$P_{max} = \frac{T_{jmax} - T_a}{\theta_{ja}} \quad (1)$$

При установке пассивного радиатора тепловая схема замещения имеет вид:

$$\theta_{ja(rad)} = \theta_{jc} + \theta_{cs} + \theta_{sa} \quad (2)$$

где θ_{sa} – тепловое сопротивление радиатора (15, 30 или 50°C/Вт).

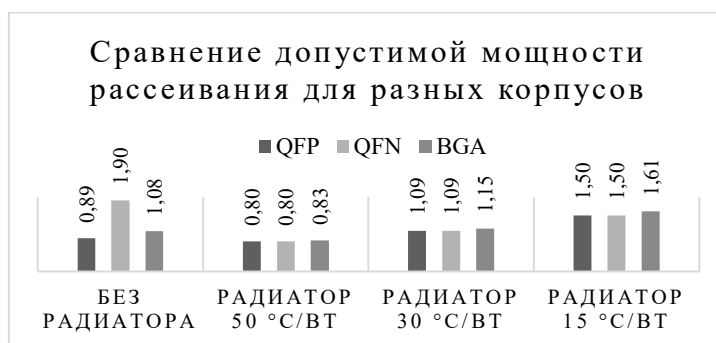


Рисунок 2 – Сравнение допустимой мощности рассеивания для разных корпусов

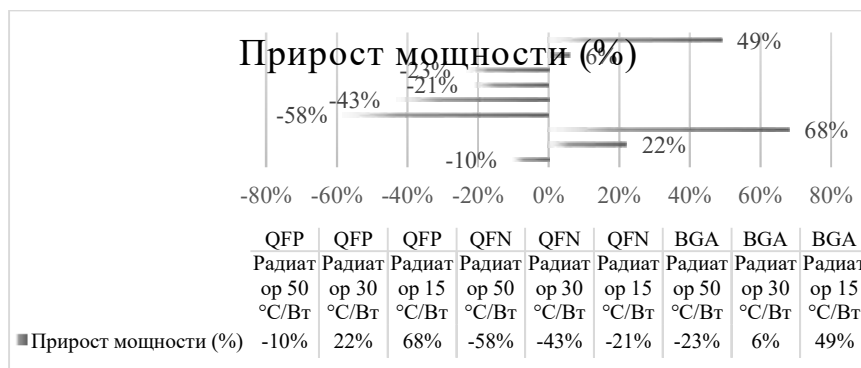


Рисунок 3 – Относительный прирост мощности при использовании радиатора

Заключение. На основе расчётов по реальным данным для микросхем в корпусах QFP, QFN и BGA установлено, что эффективность пассивного радиатора существенно зависит от конструкции корпуса. QFN обеспечивает наилучшее пассивное охлаждение без радиатора

благодаря нижней тепловой подушке, а установка радиатора для него нецелесообразна, поскольку снижает допустимую мощность на 21%. Наибольший абсолютный прирост от радиатора демонстрирует BGA: мощность увеличивается с 1,08 до 1,61 Вт (+49%) за счёт низкого внутреннего теплового сопротивления и слабого отвода тепла через шарики припоя. QFP показывает максимальный относительный прирост (+68%), однако его итоговая мощность остаётся ниже QFN без радиатора. Установлено также, что радиаторы с высоким тепловым сопротивлением ухудшают охлаждение для всех корпусов. Таким образом, наибольшую выгоду от пассивного радиатора получает BGA, тогда как QFN в радиаторе не нуждается, а QFP занимает промежуточное положение.

Список литературы

1. Texas Instruments. MSP430F51x1, MSP430F51x2 Mixed Signal Microcontroller Datasheet (SLAS619R).
2. Texas Instruments. MSP430FG461x Mixed Signal Microcontroller Datasheet (SLAS508K).
3. JEDEC Standard. JESD51-7: High Effective Thermal Conductivity Test Board for Leaded Surface Mount Packages. JEDEC Solid State Technology Association.
4. JEDEC Standard. JESD51-2a: Integrated Circuits Thermal Test Method Environmental Conditions – Natural Convection (Still Air). JEDEC Solid State Technology Association.

UDC 621.396.69: 536.24: 621.382-181.4

COMPARISON OF THE EFFICIENCY OF PASSIVE HEAT SINKS FOR DIGITAL INTEGRATED CIRCUITS IN DIFFERENT PACKAGE TYPES (QFP, BGA, QFN)

Yatskevich Y.S.

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,
Minsk, Republic of Belarus*

Piskun G.A. – Cand. of Sci., Associate Professor, associate professor of the Department of Design of Electronic Computers

Annotation. A comparison of the efficiency of installing passive heat sinks on digital integrated circuits in three different package types (QFP, QFN, and BGA) was carried out. Based on the example of MSP430 family microcontrollers from Texas Instruments, which have identical functionality but different package designs, a thermal analysis of the maximum allowable power dissipation was performed. The datasheet values of junction-to-ambient (θ_{ja}) and junction-to-case (θ_{jc}) thermal resistances were used, and three variants of passive heat sinks with thermal resistances of 15, 30, and 50 °C/W were considered. It was found that the QFN package demonstrates the best passive cooling performance without a heat sink due to the presence of an exposed thermal pad; however, attaching a heat sink to it is impractical.

Keywords: passive heat sink, thermal resistance, QFP package, QFN package, BGA package, power dissipation, integrated circuit cooling, thermal performance.