

## БИПОЛЯРНЫЙ БАЗОВЫЙ МАТРИЧНЫЙ КРИСТАЛЛ ДЛЯ МИКРОСХЕМ ДРАЙВЕРОВ

<sup>1</sup>Открытое акционерное общество “МНИПИ”, Республика Беларусь

<sup>2</sup>“Институт ядерных проблем” Белорусского государственного университета, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Донской государственный технический университет, Российская Федерация

Для ускоренного проектирования аналоговых микросхем повышенной мощности разработан базовый матричный кристалл, содержащий универсальную макроячейку и мощную макроячейку из двух многофункциональных транзисторов и пяти упрочненных р-п-р-горизонтальных транзисторов.

Каждый многофункциональный транзистор содержит один мощный п-р-п-транзистор с максимальным коллекторным током 6А, четыре п-р-п-транзистора средней мощности с максимальным коллекторным током 200 мА, контактные площадки, соединенные с выводами эмиттера и коллектора мощного транзистора, и резистор с сопротивлением 260 Ом.

За счет различных соединений элементов на основе многофункционального транзистора может быть реализована схема Дарлингтона либо мощный транзистор с датчиком температуры.

4 рис., 6 источников

Базовый матричный кристалл (БМК) представляет собой часть полупроводниковой пластины с предварительно сформированными активными и пассивными электронными элементами, соединения между которыми выполняются на предприятии изготовителе полупроводниковых приборов для реализации требуемых для конкретного потребителя функций обработки электрических сигналов. На основе БМК создают как цифровые, так и аналоговые специализированные интегральные микросхемы (ИМС), позволяющие уменьшить массогабаритные параметры, улучшить технические характеристики радиоэлектронной аппаратуры и предотвратить ее несанкционированное копирование.

Наибольший технико-экономический эффект обеспечивает изготовление на БМК аналоговых ИМС, которые определяют статические и динамические параметры создаваемой аппаратуры и требуют схмотехнической оптимизации в зависимости от характеристик источника входного сигнала.

Анализ известных конструкций БМК позволил установить, что в них обычно применяются мощные транзисторы, эмиттерная площадь которых превышает площадь эмиттера маломощного транзистора не более, чем в 20 раз. Другими словами, максимальный коллекторный ток транзисторов практически всех, имеющихся на рынке аналоговых БМК не превышает десятков, редко – сотен миллиампер. Очевидно, что этого совершенно недостаточно для реализации таких устройств, как стабилизаторы и регуляторы напряжения и тока, драйверы двигателей постоянного тока, системы управления светодиодами и матрицами и т.п.

Для удовлетворения существующих потребностей в аналоговых ИМС повышенной мощности был разработан БМК (рис. 1), содержащий универсальную макроячейку (на рисунке 1 справа) и мощную макроячейку (на рисунке 1 слева) из двух многофункциональных транзисторов и пяти упрочненных р-п-р-горизонтальных транзисторов.

Универсальная макроячейка подробно рассмотрена в [1]. Она содержит:

- маломощные п-р-п-вертикальные транзисторы;
- р-п-р-горизонтальные транзисторы с кольцевым коллектором;

- твинстор на основе кольцевого горизонтального p-n-p-транзистора и n-p-n-транзистора;

- набор резисторов с сопротивлением 380 Ом, 6,2 кОм и базового резистора, состоящего из двух последовательно соединенных резисторов с сопротивлением около 1,8 кОм и 3,2 кОм. Последовательно-параллельным соединением на базовом резисторе можно получить сопротивления 1,15 кОм, 1,8 кОм, 3,2 кОм, 5 кОм;

- конденсатор емкостью 2,3 пФ с МОП структурой.

На основе одной универсальной макроячейки можно создать типовые аналоговые ИМС, такие как, операционные усилители, компараторы.

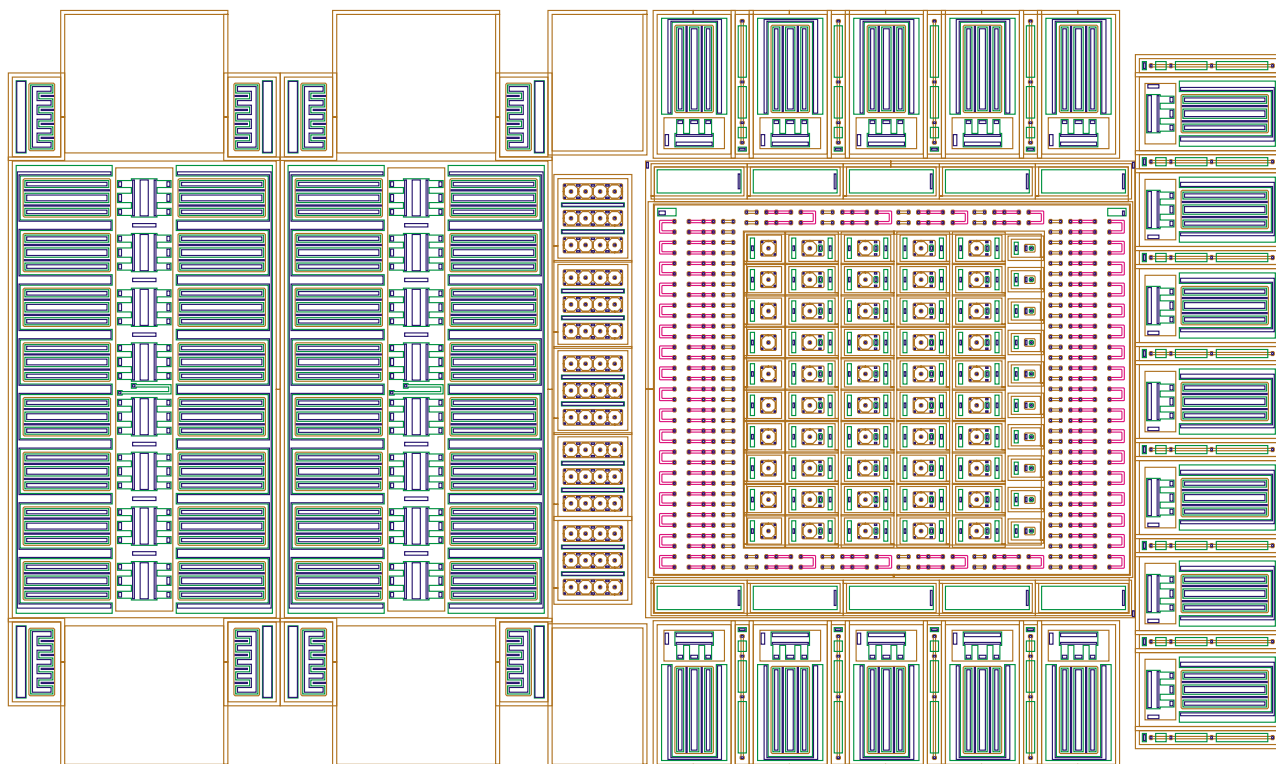


Рисунок 1. Упрощенная топология БМК повышенной мощности

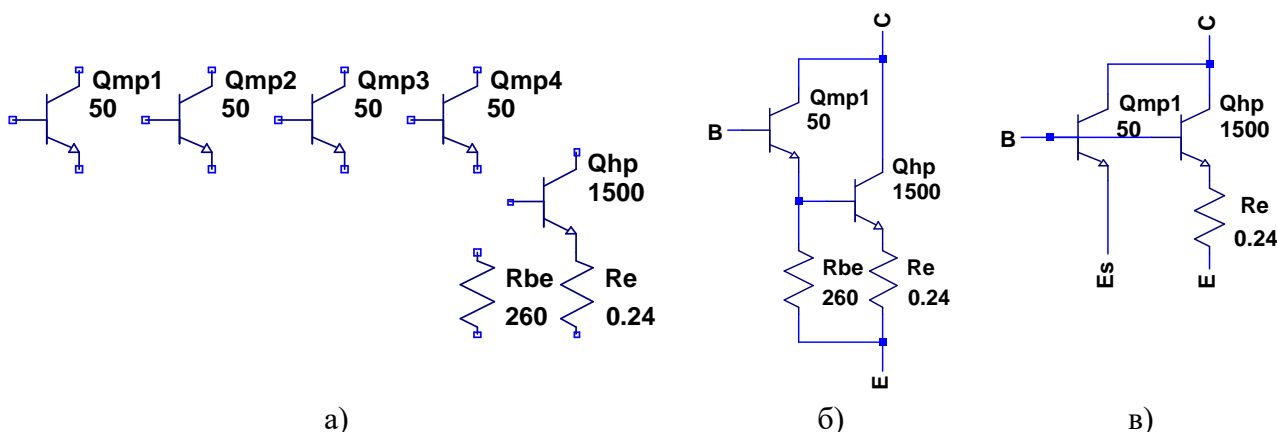


Рисунок 2. Электрическая схема многофункционального транзистора: а) составляющие элементы без соединений, б) соединения элементов по схеме Дарлингтона, в) соединения элементов для мощного транзистора с датчиком температуры

Наибольшие затруднения при создании БМК вызвало проектирование мощной макроячейки, т.к. при этом необходимо было решить ряд проблем, связанных с конструкцией мощных n-p-n-транзисторов и их влиянием на параметры расположенных на

той же полупроводниковой подложке чувствительных к температуре маломощных элементов БМК [2-4].

Увеличение допустимого коллекторного тока вертикальных n-p-n-транзисторов обычно достигается за счет увеличения площади эмиттерного перехода. Однако падение напряжения на областях базы под эмиттером при протекании базового тока приводит к увеличению плотности тока по периметру эмиттера, вплоть до отсутствия тока в центре эмиттерной области. Уменьшение этого эффекта обеспечило формирование эмиттера мощного транзистора в виде соединенных между собой металлом узких полосок p+типа, разделенных контактами к p-базовой области.

Известно, что во многоэмиттерных транзисторах часто возникает эффект "шнурования" тока. Из-за технологических особенностей падение напряжения на прямосмещенном p-n-переходе одного из эмиттеров  $V_{BE}$  может быть меньше, чем на других. Поэтому ток, протекающий через этот эмиттер, растет и увеличивает нагрев полупроводниковой области, что приводит к дальнейшему уменьшению  $V_{BE}$ , лавинообразному нарастанию тока, перераспределению всего эмиттерного тока в один эмиттер и катастрофическому отказу n-p-n-транзистора. Для исключения описанного эффекта "шнурования" тока в каждый их эмиттеров введен стабилизирующий резистор на области p+типа.

Разработанный мощный n-p-n-транзистор, обозначенный  $Q_{HP}$  на рис. 2, содержит 16 p-базовых областей, чередующихся с p+контактами к коллекторной области. Каждая базовая область включает 3 эмиттерные полоски с суммарной площадью около  $6000 \text{ мкм}^2$ , а каждый эмиттер соединен через резистор с сопротивлением около 10 Ом с контактом, который через 1 Ом резистор соединен с выводом эмиттера. Такая конструкция позволяет компенсировать влияние различия  $V_{BE}$  между 3 эмиттерами одной базовой области и между соединенными между собой эмиттерами разных базовых областей.

Суммарное сопротивление всех эмиттерных резисторов мощного транзистора составляет около 0,24 Ом, а суммарная площадь эмиттерных областей в 1500 раз превышает площадь эмиттера маломощного n-p-n-транзистора.

Анализ типовых схем мощных аналоговых ИМС [3-6] показал, что в них применяются датчики температуры, размещенные около мощных транзисторов, и n-p-n-транзисторы средней мощности, обеспечивающие базовый ток выходного мощного транзистора. С учетом этого во многофункциональном транзисторе предусмотрены несоединенные с мощным  $Q_{HP}$  дополнительные элементы: 4 n-p-n-транзистора  $Q_{MP}$  с эмиттерной площадью в 50 раз превышающей площадь эмиттера маломощного n-p-n-транзистора и резистор  $R_{BE} \approx 260 \text{ Ом}$ , - соединения которых между собой обеспечивают реализацию требуемых функций (рис. 2б, 2в).

Основные характеристики элементов многофункционального транзистора иллюстрируют рис. 3, 4. Заметим, что предельные возможности мощного транзистора на рис. 4 ограничены, в основном, типом применяемого корпуса, так как максимальный коллекторный ток соответствует падению  $V_{ETA}$  до 50% от его наибольшего значения, а максимально допустимая рассеиваемая мощность  $P_{MAX}$  определена для теплового сопротивления корпуса, равного  $13^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$  и максимально допустимой температуры кристалла в  $150^{\circ}\text{C}$ .

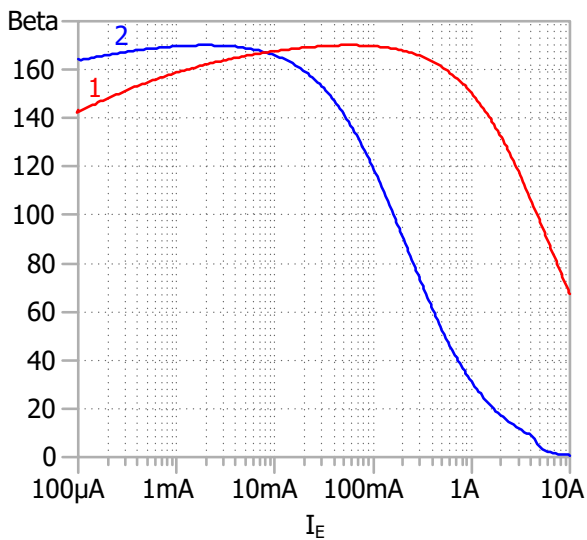


Рисунок 3. Зависимость статического коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером  $BETA=I_C/I_B$  от эмиттерного тока  $I_E$  для: 1 - Q<sub>HP</sub>, 2 - Q<sub>MP</sub>

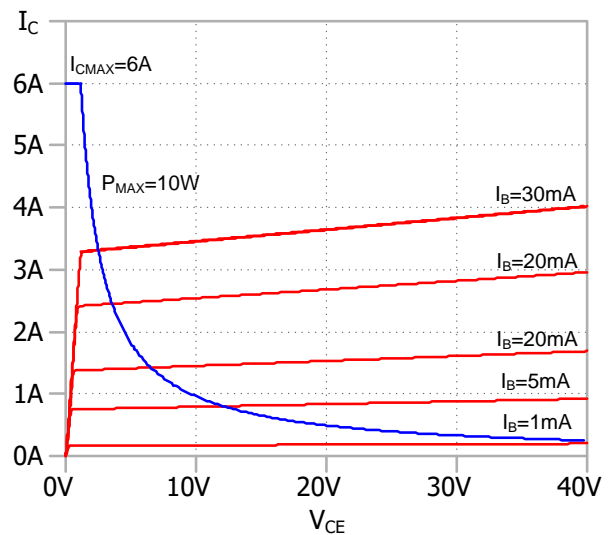


Рисунок 4. Выходная характеристика в схеме с общим эмиттером Q<sub>HP</sub> с отображением зоны безопасной работы

#### Список литературы

1. Проектирование биполярных аналоговых базовых матричных кристаллов / О. Дворников, В. Чеховский, А Попов // Электронные компоненты. 2025. № 1. С. 48-53.
2. R. J. Widlar and M. Yamatake, "Dynamic safe-area protection for power transistors employs peak-temperature limiting," in *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 22, no. 1, pp. 77-84, Feb. 1987, doi: 10.1109/JSSC.1987.1052674.
3. B. Murari, C. Cini and V. Prestileo, "A High-Power HI-FI Monolithic Amplifier," in *IEEE Transactions on Broadcast and Television Receivers*, vol. BTR-20, no. 4, pp. 311-321, Nov. 1974, doi: 10.1109/TBTR1.1974.299863.
4. R. J. Widlar and M. Yamatake, "A monolithic power op amp," in *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 23, no. 2, pp. 527-535, April 1988, doi: 10.1109/4.1018.
5. E. Seevinck, W. De Jager and P. Buitendijk, "A low-distortion output stage with improved stability for monolithic power amplifiers," in *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 23, no. 3, pp. 794-801, June 1988, doi: 10.1109/4.320.
6. R. Koblitz and F. Stefani, "A High Voltage Monolithic HiFi Stereo Audio Driver," *ESSCIRC '86: Twelfth European Solid-State Circuits Conference*, Delft, Netherlands, 1986, pp. 86-88, doi: 10.1109/ESSCIRC.1986.5468310.