

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ СУММИРУЮЩИЙ КОММУТАТОР АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ

О.В. Дворников, В. А. Чеховский
oleg_dvornikov@tut.by

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на то что на рынке электронных компонентов широко представлены сложнофункциональные аналоговые ИС для обработки высокочастотных сигналов, при проектировании различной РЭА часто применяются ИС малой степени интеграции, обеспечивающие реализацию требуемых функций с помощью внешних электрических цепей. Типичными представителями таких приборов являются: усилительный каскад THS9000 фирмы Texas Instruments, позволяющий получить требуемое усиление в полосе частот от 50 до 325 МГц путём последовательного соединения нескольких микросхем THS9000 с внешними RLC-элементами; каскад Джильберта (Gilbert Cell) – микросхема HFA3101 фирмы Intersil; uPA101 фирмы NEC для усиления, умножения, детектирования и выполнения других аналоговых преобразований в полосе частот от 0 до 10 ГГц; наборы n–p–n (HFA3046, HFA3127), p–n–p (HFA3128) и комплементарных (HFA3096) биполярных транзисторов (БТ) фирмы Intersil с граничной частотой от 5 до 8 ГГц. Потребность в таких микросхемах вызвана тем, что малый объём выпуска специальной аппаратуры делает экономически нецелесообразным производство ИС большой степени интеграции.

В настоящей статье описана ИС малой степени интеграции RB1C8KH009, которая предназначена для работы в широкополосных осциллографах, но может найти применение для усиления, коммутации и суммирования аналоговых сигналов с частотой от 0 до 500 МГц.

ОСОБЕННОСТИ СХЕМОТЕХНИКИ И КОНСТРУКЦИИ RB1C8KH009

В различных осциллографах используется гибридная микросхема коммутатора 04KH009, состоящая из двух дифференциальных каскодов – дифференциальных каскодов (ДК), каждое плечо которых образовано последовательным соединением БТ с общим эмиттером и общей базой. Коллекторы выходных транзисторов дифференциальных каскодов в коммутаторе соединены между собой, а коллекторные и эмиттерные резисторы отсутствуют.

Такая схема характеризуется большой универсальностью и позволяет за счёт подключения внешних резисторов осуществлять усиление сигналов в предварительных усилителях и схемах синхронизации осциллографов с полосой пропускания до 100 МГц. Выбирая требуемое сопротивление эмиттерных резисторов, можно существенно уменьшить потребляемую коммутатором мощность в тех узлах осциллографов, где не требуется максимальная полоса пропускания. По указанным причинам коммутатор 04KH009 длительное время применяется при серийном выпуске ряда

моделей осциллографов. Однако в последнее время возникла необходимость его модернизации для увеличения полосы пропускания, надёжности, уменьшения трудоёмкости изготовления и статических погрешностей, а именно, разброса напряжения между выходами коммутатора при отсутствии (V_{OFF1}) и наличии (V_{OFF2}) входного сигнала, которое для 04КН009 нормируется на уровне $V_{OFF1}=V_{OFF2}=\pm 0,1$ В.

Комплексная модернизация коммутатора осуществлена путём его реализации на базовом матричном кристалле (БМК) типа АБМК_1_3. Электрическая принципиальная схема разработанного полупроводникового коммутатора РБ1С8КН009 приведена на рисунке 1, а на рисунке 2 показана его типовая схема включения.

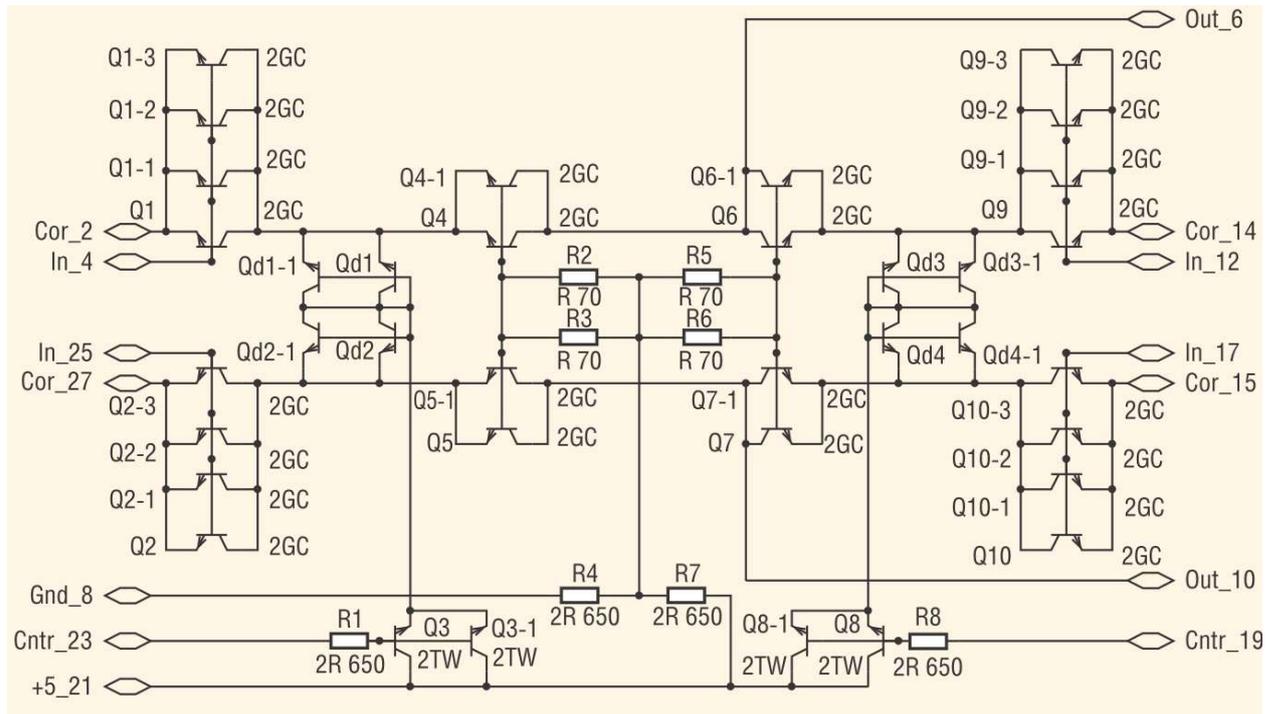


Рис. 1. Электрическая схема коммутатора РБ1С8КН009

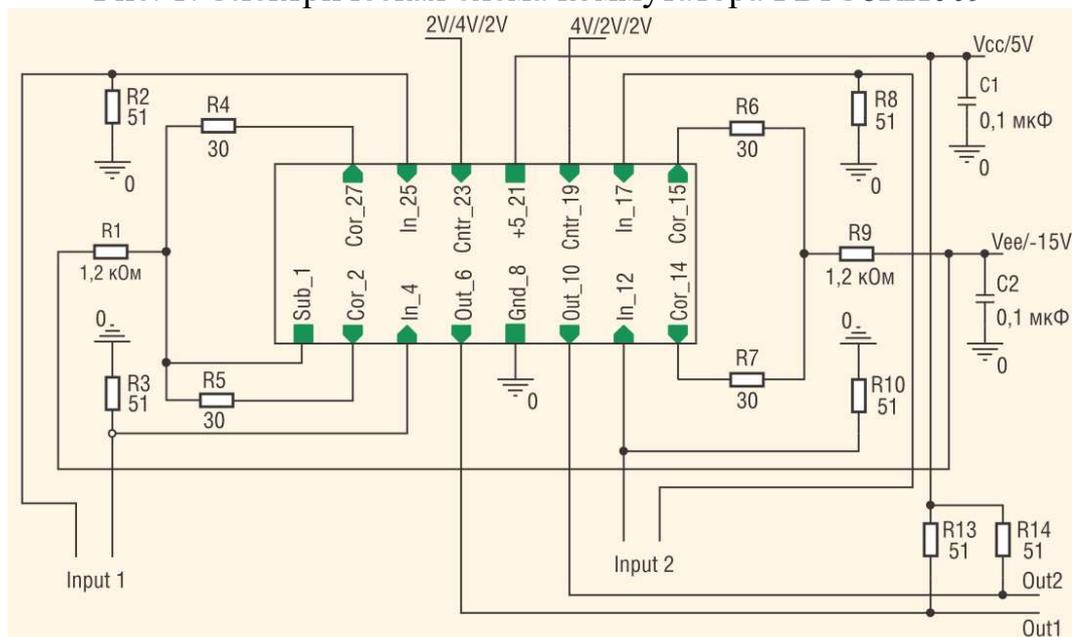


Рис. 2. Типовая схема включения коммутатора РБ1С8КН009

Тип корпуса и назначение выводов РБ1С8КН009 выбраны таким образом, чтобы гибридную микросхему 04КН009 можно было заменить её полупроводниковым аналогом без существенного изменения печатной платы. На рисунках 1 и 2 в названии выводов ИС дополнительно указан номер вывода в 28-выводном двухстороннем металлокерамическом корпусе 4119.28-1.

Коммутатор РБ1С8КН009 состоит из двух дифференциальных каскодов (входные транзисторы Q1, Q2, Q9, Q10 и транзисторы с общей базой Q4, Q5, Q6, Q7), резистивного делителя напряжения R4, R7 и двух эмиттерных повторителей Q3, Q8 с транзисторами в диодном включении Qd1 – Qd4. Для обеспечения требуемых параметров элементы коммутатора образованы параллельным соединением элементов АБМК_1_3. Так, на рисунке 1 входной транзистор Q1 состоит из четырёх элементов 2GC (Q1-Q1-3), Q3 – из двух элементов 2TW (Q3, Q3-1), базовые резисторы транзисторов Q4, Q5 получены параллельным соединением элементов R70.

В типовой схеме включения коммутатора (см. рис. 2) вывод Gnd_8 соединён с шиной нулевого потенциала, а +5_21 – с источником напряжения Vcc, при этом базовый потенциал транзисторов Q4 – Q7 составляет около 2,5 В. Если управляющее напряжение на выводе Cntr_23 (Cntr_19) равно 2 В, то диоды Qd1, Qd2 (Qd3, Qd4) закрыты и коллекторный ток входных транзисторов Q1, Q2 (Q9, Q10) поступает через транзисторы с общей базой Q4, Q5 (Q6, Q7) на выводы Out_6, Out_10, создавая падение напряжения на внешних резисторах R13, R14, т.е. соответствующий канал открыт. Когда управляющее напряжение на выводе Cntr_23 равно 4 В, диоды Qd1, Qd2 открыты, транзисторы Q4, Q5 закрыты и падение напряжения на внешних резисторах R13, R14 близко к напряжению источника питания Vcc. Известно, что коэффициент усиления ДК с резистивной нагрузкой в режиме холостого хода определяется соотношением

$$K \approx \frac{R_{\text{СЕХТ}}}{R_{\text{ЕЕХТ}} + RE + \frac{\varphi_{\text{T}}}{I_{\text{E}}}},$$

где K – коэффициент усиления напряжения (между узлами Out1 и Out2 на рисунке 2), R_{СЕХТ}, R_{ЕЕХТ} – сопротивление внешнего резистора в коллекторе транзистора с общей базой (R13 на рисунке 2) и эмиттере входного транзистора (R5 на рис. 2), RE – сопротивление полупроводниковой области эмиттера входного транзистора, φ_T – температурный потенциал (φ_T ≈ 26 мВ при 300К), I_E – ток эмиттера входного транзистора.

Во многих аналоговых устройствах требуется стабильное усиление каскада, не зависящее от температуры и разброса параметров технологического процесса. Для обеспечения такого усиления (K=R_{СЕХТ}/R_{ЕЕХТ}) необходимо максимально увеличивать эмиттерный ток и уменьшать величину RE, обратно пропорциональную площади эмиттерного перехода.

Несмотря на присущие БМК ограничения по доступным для применения

конструкциям интегральных элементов, с помощью схемотехнического моделирования удалось получить приемлемый компромисс между полосой пропускания и стабильностью коэффициента передачи.

Так, применение в качестве входных транзисторов элементов 2GC (n-p-n-транзисторы АБМК_1_3 с минимальной площадью эмиттера) обеспечивает минимальные паразитные ёмкости БТ, максимальную полосу пропускания по уровню -3 дБ ($f_{-3\text{дБ}} \approx 657$ МГц) и значение $K = 1,21$, хотя $R_{\text{СЕХТ}}/R_{\text{ЕЕХТ}}=1,7$, а $R_{\text{СЕХТ}}/(R_{\text{ЕЕХТ}}+\varphi_{\text{T}}) = 1,48$ для схемы включения на рисунке 2.

В том случае, когда входные транзисторы образованы параллельным соединением четырёх элементов 2GC (см. рис. 1), полоса пропускания уменьшается до $f_{-3\text{дБ}} \approx 600$ МГц, но из-за уменьшения величины RE коэффициент усиления возрастает до $K = 1,35$. Дальнейшее увеличение K за счёт роста количества параллельно соединённых элементов 2GC, образующих входные транзисторы, приводит к снижению $f_{-3\text{дБ}}$, а рост K из-за увеличения I_{E} существенно увеличивает рассеиваемую коммутатором мощность и статические погрешности, вызванные падением напряжения на полупроводниковых областях и межсоединениях. Таким образом, многовариантное схемотехническое моделирование позволило синтезировать схему коммутатора, показанную на рисунке 1.

При проектировании топологии межсоединений коммутатора использованы основные правила, сформулированные ранее при разработке сверхсогласованной четвёрки n-p-n-БТ и микросхемы прецизионного усилителя Джилберта:

- входные транзисторы образованы за счёт параллельного соединения перекрёстно расположенных элементов 2GC;

- максимально выровнено количество, форма переходных контактов и сопротивление металлизированных межсоединений в эмиттерных цепях входных транзисторов, количество параллельно соединённых активных элементов АБМК_1_3 выбрано таким образом, чтобы все n-p-n-транзисторы работали вблизи максимума зависимости граничной частоты от тока эмиттера;

- в базовые цепи транзисторов с общей базой введены небольшие резисторы, препятствующие возникновению самовозбуждения.

Следует заметить, что, в отличие от аналога 04КН009, коммутатор РБ1С8КН009 является полупроводниковой микросхемой, и для обеспечения электрической изоляции элементов на полупроводниковую подложку р-типа (вывод Sub_1) необходимо подать самый отрицательный потенциал схемы, например, как показано на рисунке 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

При измерениях коммутатор был включен по схеме, подобной рисунку 2. Предварительные исследования позволили установить, что стандартное контактирующее устройство существенно влияет на характеристики микросхемы при частоте входного сигнала более 200 МГц, поэтому исследуемая ИС РБ1С8КН009 была смонтирована на печатной плате (см. рис. 3).

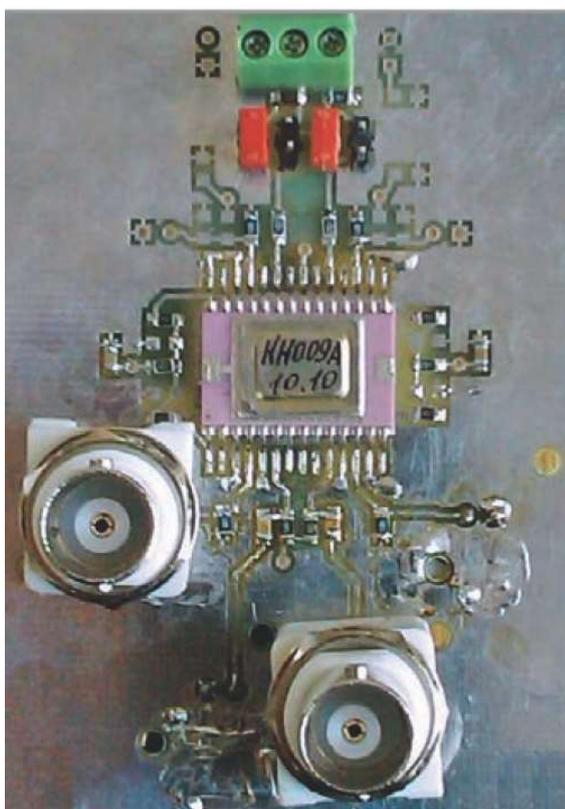


Рис. 3. Электронный модуль для изучения быстродействия ИС РБ1С8КН009

Быстродействие ИС исследовано с помощью двухканального широкополосного осциллографа MSO6102A фирмы Agilent, генератора И1-15 и калибратора Fluke 9500. При этом точность измерения быстродействия была ограничена временем нарастания сигнала осциллографа (около 330 пс для входа 50 Ом).

На рисунках 4 и 5 приведены результаты измерений, характеризующие быстродействие РБ1С8КН009, а именно:

- нормированная АЧХ включенного канала при входном синусоидальном сигнале с размахом 30 и 300 мВ (рис. 4);
- выходное напряжение включенного канала при входном прямоугольном импульсе амплитудой 30 мВ (рис. 5).

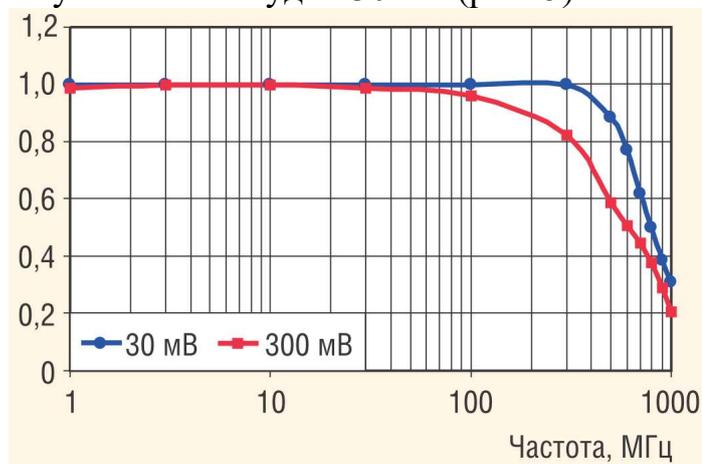


Рис. 4. Нормированная АЧХ включенного канала при входном синусоидальном сигнале размахом 30 и 300 мВ

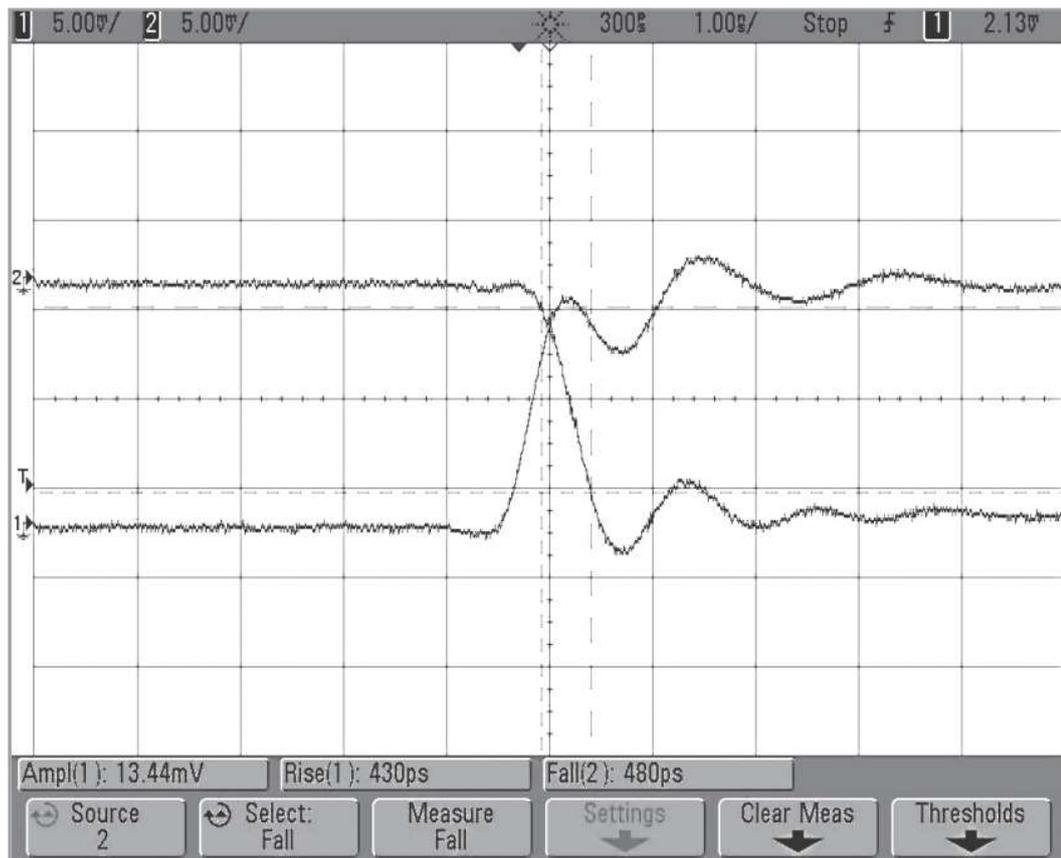


Рис. 5. Напряжение на выводах Out_6, Out_10 включенного канала коммутатора при входном прямоугольном импульсе амплитудой 30 мВ и собственном времени нарастания сигнала осциллографа, равном 330 пс

Как следует из экспериментальных данных, полупроводниковый коммутатор обладает большой полосой пропускания ($f_{-3дБ} > 500$ МГц) и высоким быстродействием ($\tau_R < 0,45$ нс, $\tau_F < 0,5$ нс).

Кроме того, принятые конструктивные меры существенно уменьшили статические погрешности: типовой разброс напряжения между выходами коммутатора составил $VOFF1 \leq \pm 1$ мВ и $VOFF2 \leq \pm 3$ мВ. Для дальнейшего повышения быстродействия можно осуществить сборку кристаллов РБ1С8КН009 в корпус с малыми паразитными параметрами, например, типа Н06.24.