

коллекторной цепи. Нижний предел напряжения питания заявлен +4,5 В, и это обусловлено в первую очередь диодами VD1—VD4, от которых зависит усиление транзисторов. На базах VT1—VT4 присутствует стабилизированное напряжение около +2,6 В, при напряжении питания +4,5 В установлены штатные эмиттерные токи. Поэтому при увеличении напряжения питания для сохранения штатных токов можно между выводом 5 и линией питания установить дополнительный резистор и не допускать лишнего тока потребления. При питании +5 В, +6 В, +9 В, +12 В сопротивление дополнительного резистора будет 2 кОм, 5,6 кОм, 18 кОм, 33 кОм, что обеспечит достаточный ток в цепи смещения — около 0,25 мА.

Работоспособность K174ПС1 "появляется" при напряжении питания +3 В, что может обеспечить аварийную работу аппаратуры. Применить её можно при напряжении питания +3,6 В, и особенности такого режима разъяснены ниже в подробностях.

Режим с увеличенным током покоя влечёт за собой увеличение граничной частоты и скорости коммутации. При токе покоя более 3 мА нужно оставить среднее напряжение у коллекторов VT1—VT4 не более +6 В, чтобы исключить влияние саморазогрева на установленный баланс. Нет особого смысла работать с токами покоя более 4,5 мА, линейность транзисторов уже не улучшается.

По традициям схемотехники с цифровыми ИМС семейства ЭСЛ (серии K100, K500, K1500, K193, K6500) этот смеситель можно применить в аппаратуре с минусовым питанием и напрямую стыковать с элементами ЭСЛ. По сути, двойной балансный смеситель в понятиях цифровой логики является элементом исключающее ИЛИ, и ячейка Гильберта построена по принципу ЭСЛ.

## 4. Подача сигнала на смеситель

Нижеизложенные рекомендации относятся не только к этой ИМС и могут быть применены к многим радиочастотным ИМС, в составе которых работают ДУ.

ИМС K174ПС1 может обеспечить подавление сигналов между портами (входами и выходом, и наоборот) 50...60 дБ на частотах менее 1 МГц и 40...30 дБ на частотах 5...100 МГц. На частотах более 100 МГц подавление очень сильно зависит от топологии печатной платы и импеданса на линиях. Если оценить качество смесителя отсутствием ложных сигналов, то полная симметрия обвязки между всеми входами и выходами смесителя станет обязательным требованием, о чём официальная документация умалчивает. Вместо этого часто предлагается вариант с подачей сигнала на один вход с блокировкой другого входа этого ДУ.

### 4.1. Сигналы в ДУ, общие сведения

ДУ в слаботочном режиме (не более 100 мкА) без межэмиттерной ООС обеспечивает  $IM_3$  на уровне -40(-20) дБ ещё

при размахе двухтонального сигнала 10...12(30...36) мВ и при импедансе источника сигнала для малого уровня шума (около 500 Ом на КВ). То есть стандартный смеситель на ИМС K174ПС1 из документации решит проблемы развязки портов, предотвратит излучение гетеродинного сигнала в эфир, обеспечит подавление спектра части сигналов за счёт симметрии (пока вход не перегружен), даст упрощение схемотехники при изготовлении аппаратуры. Но на самом деле прорыва к новому уровню качества радиоприёма с этими схемами мы не заметили. Аналогично обстоит ситуация с популярными сериями ИМС SA612, SA614, SA615, SA636, SA639, у которых радиосигнал тоже подаётся на ДУ без межэмиттерной ООС. Малым динамическим диапазоном (ДД) также страдают популярные ИМС для УКВ-приёмников TA7368, LA1185, K1079UB1 и BVR-01. Работа ДУ без межэмиттерной ООС обеспечит минимальный уровень собственных шумов, меньше уже не сделать, и для K174ПС1 в документации указывают  $K_{ш} = 6...7$  дБ в лучшем случае.

Даже если применить межэмиттерную ООС для улучшения линейности, подача сигнала к базам остаётся проблематичной тем, что внутри ИМС к базам подключены резисторы узла смещения, которые могут значительную часть сигнального тока отводить от транзисторов. Получается аттенуатор с дополнительным шумом, который входит в общий шум тракта. К примеру, при межэмиттерной ООС с резистором 200 Ом входной импеданс самих транзисторов составит несколько килоом, и это соизмеримо с сопротивлением резисторов узла смещения. Поэтому даже при применении отличных транзисторов в более современной ИМС SA612 не удалось получить  $K_{ш} < 5$  дБ в реальном каскаде. По этой причине в документации на K174ПС1 и K174ПС4 указан  $K_{ш} > 6$  дБ. Поэтому более реалистично стоит изначально предполагать, что  $K_{ш} > 8...9$  дБ для смесителя с небольшим межэмиттерным резистором  $R_{оос}$  сопротивлением до 100 Ом.

Проблема ИМС на основе ДУ состоит в особенности передаточной характеристики. В публикациях приводятся разные цифры по допустимому напряжению входного сигнала, при котором искажения имеют уровень -40 дБ (1 %). Авторы редко уточняют, размах ли это у сигнала между базами или имеется в виду эффективное значение (разница читательской интерпретации — 9 дБ), ещё сильно может повлиять симметричная или несимметричная подача сигнала на базы. По моим измерениям на разных изделиях на разных частотах и при размахе двухтонального сигнала 10...12 мВ между базами искажения  $IM_3$  составляют -40 дБ. Для сравнения, простой транзисторный усилитель в схеме с ОЭ без эмиттерной ООС даёт подобные искажения при размахе 20...25 мВ (транзисторы серий ГТ322, КТ3108А) при том же входном сопротивлении усилителя (зависит от тока эмиттера). Если учесть, что в ДУ шумят два транзистора последовательно, у ДУ нужно признать ДД на 9 дБ меньше, чем

у одного подобного транзистора в схеме ОЭ. Поэтому субъективное наблюдение радиолюбителей, что микросхемные приёмники шумят больше "старых добрых", — вполне объяснимое.

С другой стороны, при размахе сигнала значительно меньше 10 мВ выигрывает ДУ по линейности. В схемах, где ДУ включён по сигналу в петлю общей ООС и разностное напряжение между базами остаётся значительно меньше 10 мВ, получается отличная линейность, которую в схеме с ОЭ с одним транзистором с резистивной ООС не получить. В большинстве аналогичных ИМС выпусков 1970—1980 гг. для ВЧ-диапазона нет цепи ООС для входного ДУ. Удачная ИМС с внутренней ООС — это из середины 1970-х годов —  $\mu A733$  (позже — NE592 с немного худшими параметрами), которая в СССР была выпущена как K171UB2 (K174UB5). Эти ИМС до сих пор в ходу и отлично работают в активных антеннах.

Главный вывод — если возможно, стоит отказаться от подачи радиосигнала на верхний этаж (выводы 7 и 8), где нет возможности адаптировать ДД усилителя к естественной сигнальной динамике источника сигнала.

При разработке ДУ с межэмиттерной ООС стоило бы для начала расчётов предполагать, что через этот резистор протекает сигнальный ток размахом не более  $\pm 50$  % от тока покоя одного транзистора. Для штатного режима ИМС K174ПС1 с токами по 0,5 мА это означало бы межэмиттерный ток не более  $\pm 250$  мкА для искажений с уровнем менее -60 дБ. Если выбрать  $R_{оос} = 100$  Ом, то к нему ещё надо прибавить эмиттерный импеданс двух транзисторов по 50 Ом (при этом токе покоя), и получается 200 Ом между эмиттерами. Следовательно, между базами допускается размах сигнала 100 мВ для искажений -60 дБ при входном импедансе узла 3...0,5 кОм на частотах 0,1...100 МГц соответственно. Даже такое элементарное расширение ДД в ИМС NE612 (и подобных) не реализовать.

Шумящий резистор  $R_{оос}$  можно заменить почти не шумящей катушкой индуктивности, если частотный диапазон полезного сигнала небольшой. Но так как она уменьшит усиление за счёт сдвига сигнала по фазе, рекомендуется входной сигнал подавать симметрично на базы ДУ. Это хороший вариант при увеличенном токе покоя, когда резисторы узла смещения к базам меньше влияют на шум при снижении входного импеданса транзисторов. Чтобы при этом не нарушить баланс, к катушке индуктивности нужно последовательно установить конденсатор с большой ёмкостью. Обычно 100 нФ достаточно, но нужно применить качественное изделие из керамики NP0, так как на нём присутствуют эфирные сигналы вместе с импульсными помехами и керамика NP0 при этом не внесёт интермодуляцию.

### 4.2. Смеситель на ИМС K174ПС1 со встроенным гетеродином

В этой ИМС изначально не был предусмотрен отдельный узел гетеродина,