

О биполярном транзисторе замолвим мы слово...

Продолжим наши эксперименты с транзисторами. В первой части статьи были рассмотрены не совсем современные, но наиболее массовые и дешевые транзисторы, широко применяемые в бытовой и радиолюбительской электронной аппаратуре. Проанализируем характеристики других типов транзисторов, в том числе и более мощных. Их параметры приведены в табл. 2.

Таблица 2

№ образца	Тип транзистора	$h_{21э}$ (измер.)	Ток коллектора, мА	Данные из справочника	
				$h_{21э}$	Режим измерений
I	КТ209Е	239	2,39	80—240	$I_K=1$ мА
II		95	0,95		$U_{КБ}=10$ В
—	КТ3102А	220	2,2	100—200	$I_K=2$ мА, $U_{КБ}=5$ В
—	КТ3107К	504	5	380—800	$I_K=2$ мА, $U_{КБ}=5$ В
—	С9014С	498	4,98	200—600	
—	КТ816Б	110	1,1	25—275	$I_K=1$ А, $U_{КБ}=2$ В
—	КТ817Г	266	2,66		$I_K=1$ А, $U_{КБ}=2$ В

Графические зависимости статического коэффициента передачи тока в диапазоне токов до 150 мА для p-n-p транзисторов КТ3102, КТ3107 и импортного С9014С (полное наименование 2SC9014С) приведены на рис. 11. С9014 широко применяется в бытовой аппаратуре зарубежного производства и является примерным аналогом транзисторов типа КТ3102. На рис. 12 отдельно показаны графики для транзисторов типа КТ209 структуры p-n-p. Очевидно, что они имеют такой же "горб" на характеристике, как и у других транзисторов. Неравномерность $h_{21э} = f(I_э)$ при изменении тока коллектора от 1 до 10...30 мА составляет до 30%.

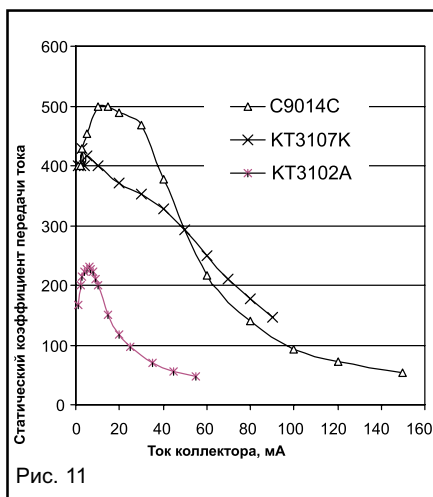


Рис. 11

Общий коэффициент усиления традиционной схемы Дарлингтона на транзисторах типа КТ209 p-n-p достигает 12000...18000 (рис. 13) и имеет примерно такую же нелинейность, но уже в более широком диапазоне токов (до 150 мА). Величина рабочего тока ограничивается еще и допустимой мощностью, поэтому соединение двух транзисторов при большом токе можно использовать только в импульсном режиме.

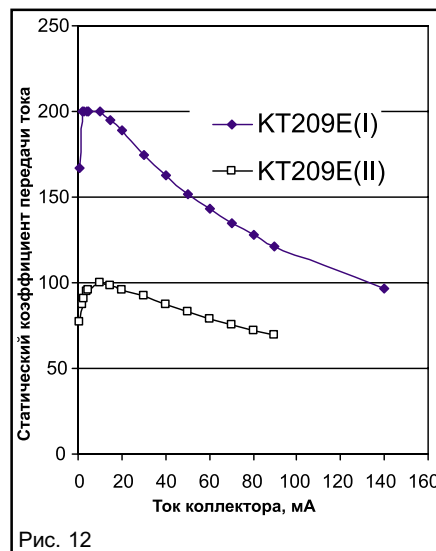


Рис. 12

Транзисторы средней мощности типа КТ816 (p-n-p) и КТ817 (n-p-n) допускают работу при токах до 1 А. Однако, как видно из графика на рис. 14, оптимальным рабочим током, исходя из максимального значения $h_{21э}$, является ток от 5 до 150 мА. В этих пределах неравномерность характеристики $h_{21э} = f(I_э)$ составляет примерно 15%. Следует отметить, что на рис. 14 применен логарифмический масштаб, который часто встречается в справочниках на импортные комплектующие. Для сравнения на рис. 15 и 16 приведены справочные зависимости этих транзисторов $h_{21э} = f(I_э)$. Они близки к экспериментальным результатам [2]. Конструктивно транзисторы типа КТ816 и КТ817 выполнены таким образом, что допускают установку на теплоотвод для предотвращения перегрева при работе с повышенной мощностью. Во многих практических случаях величина базового тока у та-

ких транзисторов неприемлема для предварительного каскада, и ее необходимо уменьшить, не прибегая к уменьшению коллекторного тока. Для этого можно использовать схему Дарлингтона на маломощных транзисторах одного типа проводимости. Графики зависимостей $h_{21э} = f(I_э)$ для составных транзисторов (из маломощного и мощного) разного типа проводимости показаны на рис. 17. Пара транзисторов КТ315Д и КТ817Г (n-p-n) имеет максимальное значение $h_{21э}$ более 16000 при токе 500 мА, которое сильно зависит от тока коллектора. У другой пары транзисторов структуры p-n-p КТ361Г и КТ816Б максимальное значение коэффициента передачи тока не превышает 8000, но характеристика $h_{21э} = f(I_э)$ имеет обычный вид (с "горбом"), поэтому оптимальный ток коллектора для такой пары должен быть в пределах 5...150 мА. Неравномерность характеристики примерно равна 25%.

В связи с тем, что такие пары составных транзисторов часто использовались в бытовой радиоаппаратуре, ста-

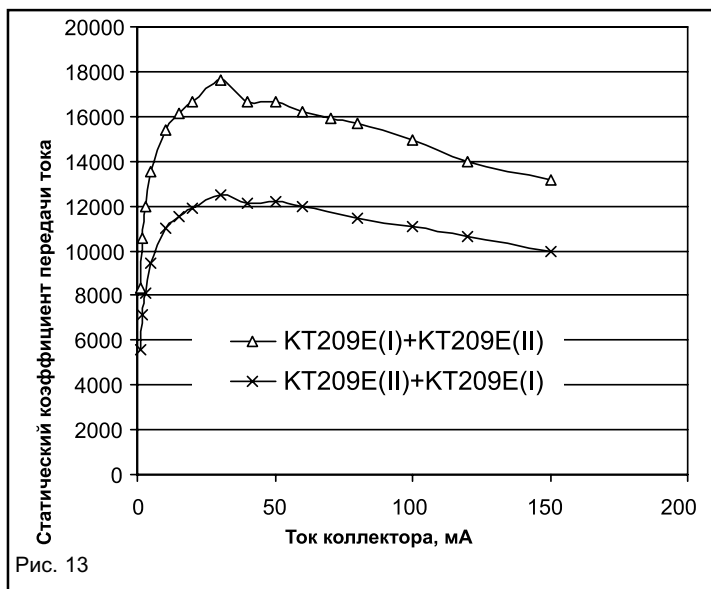


Рис. 13

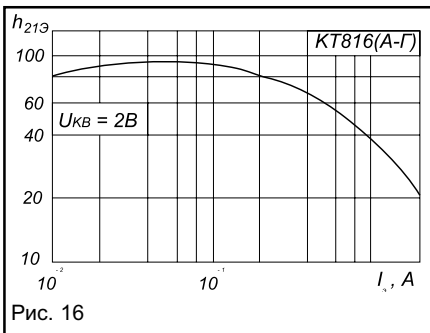
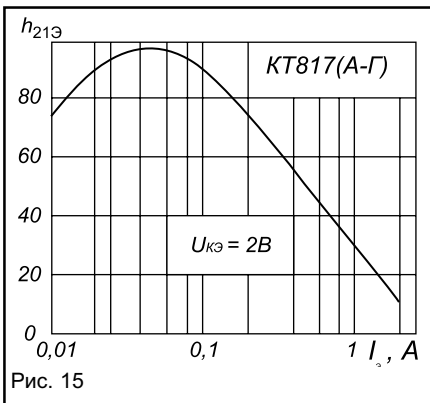
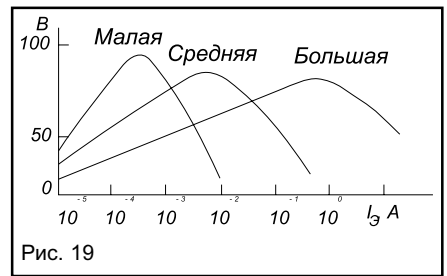
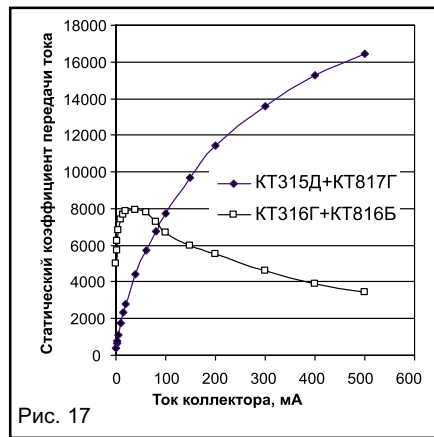
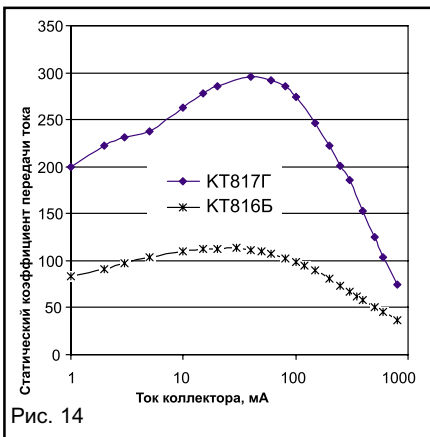


рис. 18. Диапазон рабочих токов составляет 0,1...500 мА. При этом сохраняется достаточно высокое постоянство $h_{21э}$ (h_{FE}). При изменении тока коллектора в пределах одной декады $h_{21э}$ (h_{FE}) различается всего в 1,5 раза, а на два порядка (в 100 раз) — в два раза. И это в диапазоне токов 0,1...10 мА, при котором $h_{21э}$ (h_{FE}) имеет значение 100...250. Из сказанного выше ясно, что таких параметров при таком токе нельзя получить даже при использовании составного транзистора из двух КТ315 или КТ361.

Теперь понятно, какое значение имеет правильный подбор биполярных транзисторов при проектировании электронных устройств. Это важно не только для аппаратуры на дискретных радиоэлементах, но и для микроразнообразных устройств на микросхемах.

В интегральном исполнении разброс параметров транзисторов невелик. Кроме того, хорошая повторяемость параметров интегральных транзисторов позволяет применять другие способы согласования каскадов и методы проектирования электронных узлов.

В продолжение начатой темы приведем график зависимости $h_{21э} = f(I_э)$ для интегральных транзисторов (рис. 19) [3]. Зависимость коэффициента усиления по току для интегральных структур разных геометрических размеров частично подтверждает полученные ранее результаты и дает представление о новых возможностях, предоставляемых интегральной технологией. Как видно

из рис. 19, подбором геометрических размеров транзисторной структуры можно определять электрические параметры транзисторов в микросхеме. При необходимости можно также выполнить каскад с большим коэффициентом усиления, применяя схему Дарлингтона, объединив в ней транзистор с большой площадью (он будет определять максимальный рабочий ток) и транзистор с малыми геометрическими размерами (он будет определять малый базовый ток, так как его режим работы оптимален при малых токах).

На примере дискретных транзисторов мы смогли убедиться в важности серьезного подхода к подбору элементной базы при проектировании узлов электронной аппаратуры. Не менее важен и подбор интегральных микросхем. Применяя их, зачастую не задумываешься, каким образом в них реализованы хорошие электрические параметры. В дальнейшем мы рассмотрим методы схемотехнического проектирования интегральных схем.

Игорь Кольцов,
editor@dian.ru

Литература

1. Полупроводниковые приборы. Транзисторы малой мощности: Справочник. — М.: Радио и связь, 1989.
2. Полупроводниковые приборы. Транзисторы средней мощности: Справочник. — М.: Радио и связь, 1989.
3. В. Л. Шило. Линейные интегральные схемы в радиоэлектронной аппаратуре. — М.: Советское радио, 1974.

новится понятным невысокое качество звука. Ведь применение в выходном каскаде, работающем в классе А или АВ, таких пар транзисторов определяет режим работы с меняющимся в широких пределах коллекторным током, и, как следствие, возникают искажения. Они обусловлены разными коэффициентами передачи верхнего и нижнего плеч двухтактного выходного усилительного каскада при прохождении сигнала от предусилителя.

В зарубежных радиолюбительских схемах часто применяется транзистор типа С2222. Он выпускается многими фирмами. Чем же он заслужил такую популярность? Основное его преимущество очевидно из графика $h_{21э} = f(I_э)$, который приведен на

