

# О биполярном транзисторе замолвим мы слово...

Нет такого радиолюбителя, которому не приходилось работать с транзисторами. А часто ли мы задумываемся над особенностями их использования? Материал данной статьи, подкрепленный проведенными автором опытами, позволит начинающим электронщикам расширить свой кругозор.

**Б**иполярный транзистор — основной усилительный элемент в электронных устройствах — имеет один очень важный параметр, определяющий его функциональное назначение, особенно при работе на постоянном токе. Этот параметр — коэффициент передачи или коэффициент усиления по току (В). Он показывает, во сколько раз изменение тока базы меньше вызванного им изменения тока коллектора. При решении практических задач и выборе режимов работы транзисторов по постоянному току часто требуется правильно и надежно согласовать транзисторные каскады между собой.

Рассмотрим этот вопрос с практической точки зрения. Для применения транзистора в конкретном электронном узле необходимо по электрическим параметрам выбрать его тип. Он определяется режимом работы проектируемого каскада. В качестве основного предмета рассмотрим такой параметр, как коэффициент передачи тока транзистора.

Обычно подбор транзистора начинается с его поиска по требуемому коэффициенту усиления  $h_{21э}$ . В или  $V_{ст}$  — так часто называют статический коэффициент передачи тока транзистора в схеме с общим эмиттером (ОЭ), а в более ответственных случаях необходимо измерить  $h_{21э}$  выбранного транзистора. Это сделать несложно, но следует учесть некоторые особенности. С помощью цифрового мультиметра (ЦММ) с функцией измерения  $h_{21э}$  определим коэффициент передачи тока двух транзисторов типа КТ315Д — I и II. Измерения с помощью ЦММ типа М838 показывают, что у транзистора I  $h_{21э} = 19$ , а у транзистора II  $h_{21э} = 12$ . Такие значения коэффициента усиления очень малы и в большинстве случаев не приемлемы. Включим те же транзисторы по схеме Дарлингтона. Из литературы по электронике известно, что составной транзистор имеет общий коэффициент усиления, равный произведению коэффициентов передачи отдельных транзисторов:

$$h_{21э(I+II)} = h_{21э(I)} \cdot h_{21э(II)}$$

Таким образом, при включении тех же транзисторов по схеме Дарлингтона коэффициент усиления должен быть равен  $19 \cdot 12 = 228$ . Проверив это утверждение с помощью прибора, мы получим значение 870. На всякий случай поме-

нем транзисторы местами и снова измерим  $h_{21э}$ . В результате получим другую величину, равную 734. Какое же из этих значений правильное?

Главный принцип работы в электронике: если непонятно — надо разобраться. Попробуем разобраться с этими результатами. Начнем с уточнения режима измерения прибора М838 (рис. 1). Как выяснилось,  $h_{21э}$  измеряется с постоянным базовым током равным 10 мкА. Следовательно, на индикаторе прибора высвечивается численное значение пропорциональное току коллектора ( $h_{21э} = I_K / I_B$ ). В случае с проверяемыми транзисторами это 190 и 120 мкА соответственно. Данные по первому эксперименту сведены в табл. 1. Для сравнения

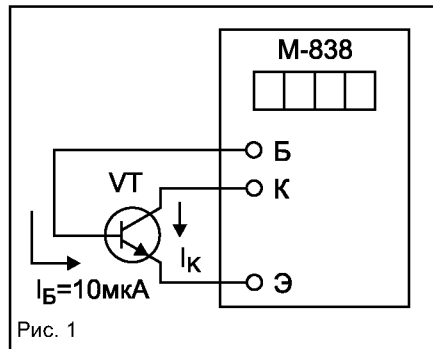


Рис. 1

Таблица 1

№ образца	Тип транзистора	$h_{21э}$ (измер.)	Ток коллектора, мА	Данные из справочника	
				$h_{21э}$	Режим измерений
I	КТ315Д	19	0,19	20—90	$I_K = 1 \text{ мА}$
II		12	0,12		$U_{КБ} = 10 \text{ В}$
III	КТ361Г	70	0,7	50—350	$I_K = 1 \text{ мА}$
IV		156	1,56		$U_{КБ} = 10 \text{ В}$
V	КТ361Е	90	0,9		

аналогичные измерения были проведены с транзисторами КТ361Г другого типа проводимости. Также в таблицу добавлены справочные данные по этим типам транзисторов.

По результатам первых измерений можно сделать несколько выводов относительно значения  $h_{21э}$ :

- у транзисторов I и II типа КТ315Д и транзистора III типа КТ361Г значение  $h_{21э}$  не соответствует справочным данным;

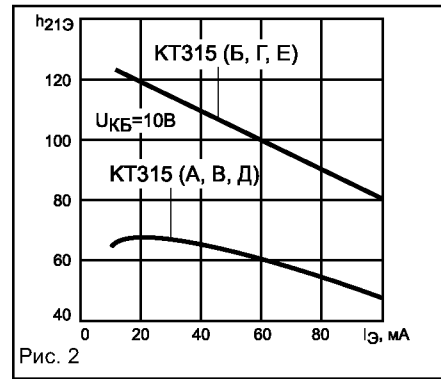


Рис. 2

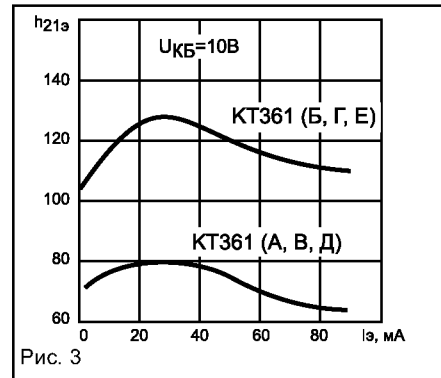


Рис. 3

- у транзистора IV типа КТ361Г  $h_{21э}$  соответствует справочным данным;
- предыдущие выводы нельзя считать правильными, т. к. различаются режимы определения параметра.

Действительно, при измерении прибором М838 ток коллектора превышает 1 мА только в случае с последним транзистором (IV) типа КТ361Г.

Далее рассмотрим более детальную информацию, связанную с коэффициентом передачи тока транзистора в схеме с ОЭ. На рис. 2 и 3 показаны зависимости статического коэффициента передачи тока от тока эмиттера, построенные по измеренным с помощью

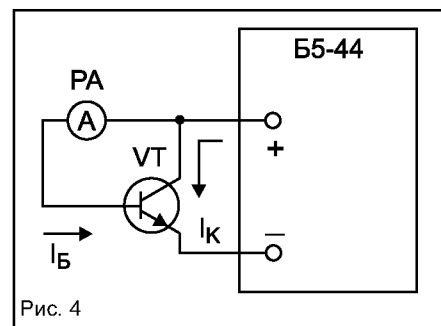


Рис. 4

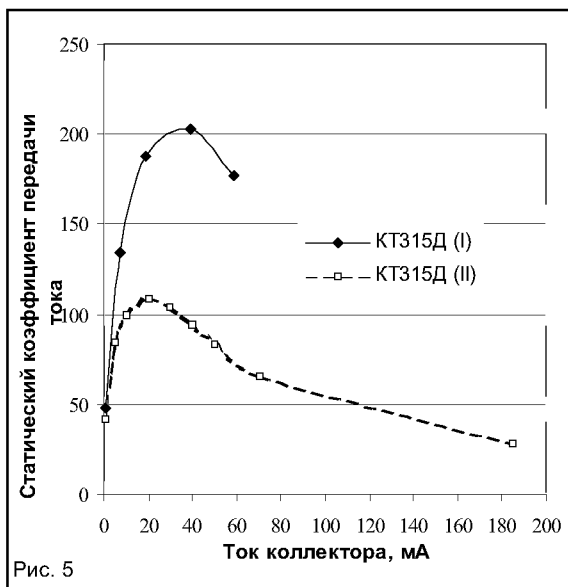


Рис. 5

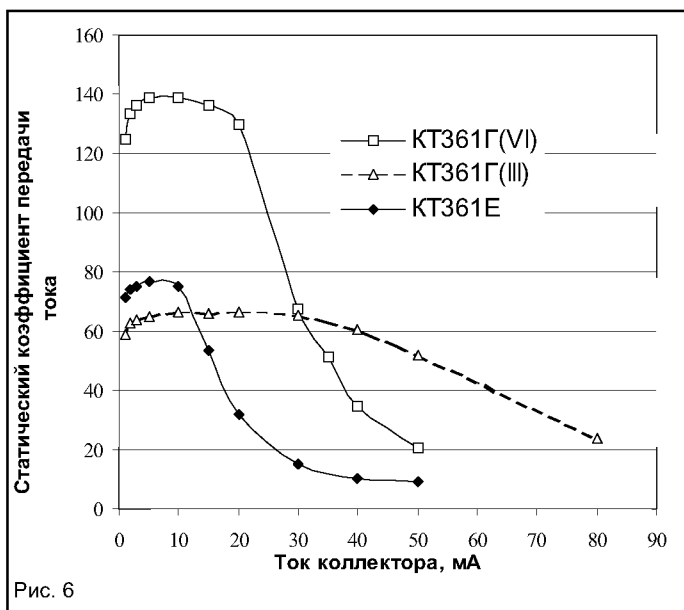


Рис. 6

специального прибора значениям [1]. Из них видно, что коэффициент усиления резко падает при токах меньше 1 мА. Экспериментально с помощью простой измерительной схемы, показанной на рис. 4, снимем аналогичную зависимость для транзисторов из табл. 1 (рис. 5, 6). Максимальное значение  $h_{21Э}$  соответствует току коллектора, примерно равному 20 мА.

Анализируя рассмотренные материалы, сделаем выводы:

- транзисторы KT315 и KT361 выгодно использовать при токе около 20 мА;
- при рабочих токах меньше 1...5 мА значение  $h_{21Э}$  резко падает и эффективность работы транзистора снижается.

Соединение пары транзисторов по схеме Дарлингтона (рис. 7) приводит к тому, что у транзистора VT2 значительно меньший рабочий ток, т. к. ток базы  $I_{Б2}$  является током коллектора транзистора VT1. Поэтому он в  $V_{СТ}$  (или в  $h_{21Э}$ ) раз меньше тока составного транзистора. Следовательно, рабочая точка VT2

находится в самом начале характеристики  $h_{21Э} = f(I_{Э})$ , где величина  $h_{21Э}$  мала.

Несоответствие результатов измерений, проведенных с помощью М838, объясняется разными значениями коллекторных токов транзисторов в схеме Дарлингтона. При измерении  $I_{Б1}$  составил 10 мА, а ток  $I_{Б2}$ , соответственно, в  $h_{21Э}$  раз больше, т. е. 0,19 мА (см. табл. 1). Для второго транзистора, согласно показаниям на дисплее, ток  $I_{К2} = 8,7$  мА, а реальный коэффициент передачи тока в этой рабочей точке –  $8,7 / 0,19 = 46$ .

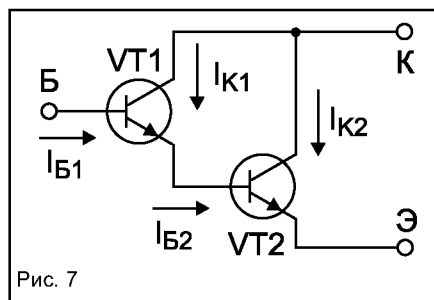


Рис. 7

приведены графики изменения статического коэффициента передачи тока для транзисторов типа KT315, а на рис. 9 – для транзисторов типа KT361. Дополнительно приведены графики при включенном между базой и эмиттером транзистора VT2 резисторе сопротивлением 1 кОм. Такое соединение часто используется в практических схемах.

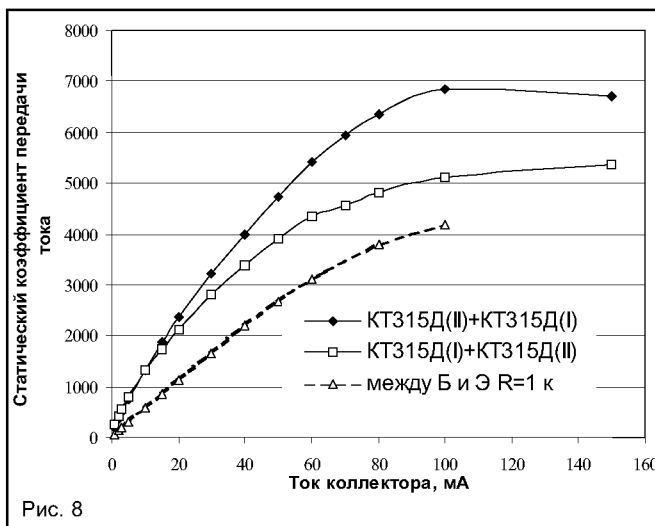


Рис. 8

Следует избегать работы

транзистора при изменяющемся в широких пределах токе коллектора (эмиттера), т. к. из-за нелинейной зависимости  $h_{21Э} = f(I_{Э})$  сильно возрастает базовый ток.

При работе транзистора в области малых токов коллектора лучше применять специальные типы транзисторов, предназначенные для работы в микрорежиме, или сочетать их с полевыми транзисторами. Применение составного транзистора из двух биполярных с одинаковым типом проводимости неэффективно.

Так ли это, и в каких режимах желательно и допустимо применять составные транзисторы? Проведя несложные эксперименты, попробуем ответить на этот вопрос. Соединим однотипные транзисторы по схеме Дарлингтона (рис. 7) и снимем зависимости  $h_{21Э} = f(I_{Э})$ . На рис. 8

Анализ графиков показывает, что у транзисторов типа KT315 (рис. 8) происходит рост  $h_{21Э}$  до 5000–7000 при увеличении тока коллектора до 100 мА, далее кривая идет почти горизонтально, т. е. стабилизируется. А у транзисторов типа KT361 (рис. 9) горизонтальный

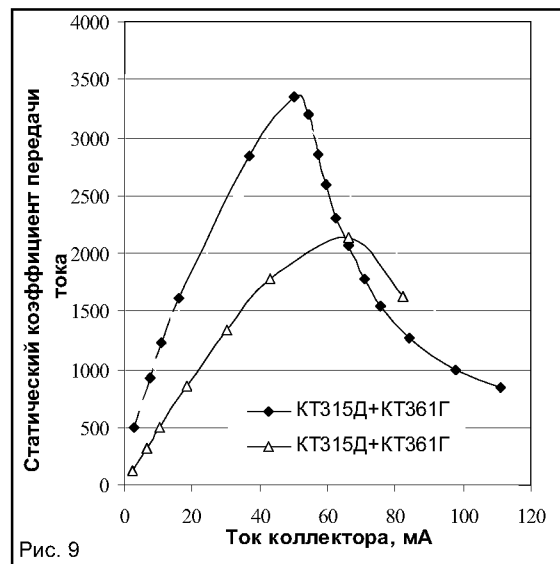


Рис. 9

участок наблюдается при токе коллектора 10...80 мА ( $h_{213} = 10000...11000$ ). Причем у обоих типов транзисторов подключение резистора между базой и эмиттером приводит к падению коэффициента передачи тока. Для транзисторов КТ361 этот эффект выражен более резко (уменьшение до 4000). Вместе с тем введение резистора в схему Дарлингтона на транзисторах КТ361 приводит к перемещению стабильного участка  $h_{213}$  в область токов 60...80 мА.

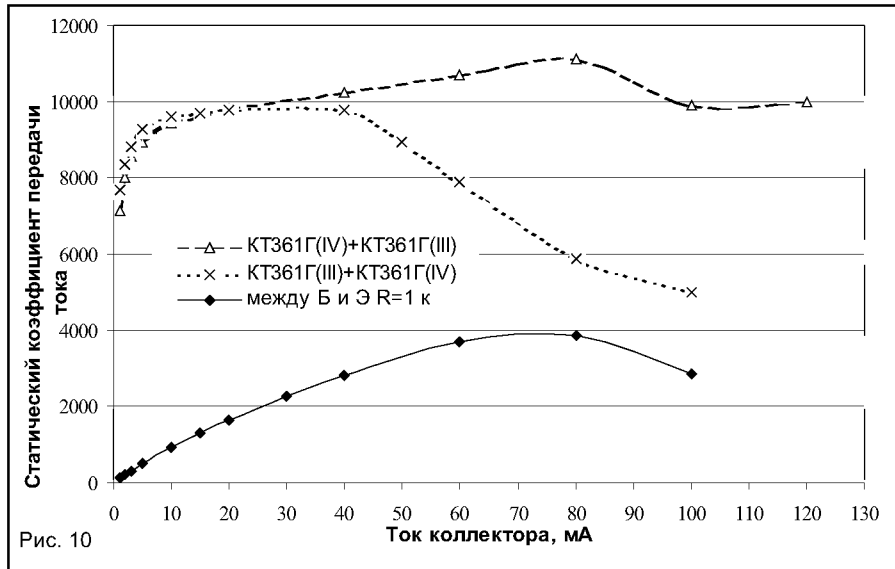
Анализируя графики на рис. 8 и 9, делаем следующие выводы:

- соединение транзисторов типа КТ315 и КТ361 по схеме составного не обеспечивает уменьшения базового тока;
- при малых коллекторных токах общий  $h_{213}$  мал;
- при работе составного транзистора вместе с изменяющимся током коллектора меняется и  $h_{213}$ , и ток базы, что затрудняет расчеты режима согласования с предыдущим каскадом.

В случае с транзистором КТ361 ситуация несколько лучше: в небольшом

диапазоне токов  $h_{213}$  стабилен, однако, резистор между базой и эмиттером VT2 резко ухудшает характеристику.

Схема Дарлингтона предполагает соединение двух транзисторов одинакового типа проводимости. Однако, увеличение коэффициента передачи возможно путем соединения транзисторов с разными типами проводимости. Воспользуемся исследованными ранее транзисторами (КТ315 и КТ361), соединим их по схеме составного транзистора и снимем экспериментальную зависимость  $h_{213} = f(I_{c3})$ . В качестве первого транзистора (VT1) применим КТ315, а второго (VT2) – КТ361. Вследствие этого результирующий (составной) транзистор будет n-p-n типа. По сравнению с примером, рассмотренным ранее, он имеет преимущество: напряжение  $U_{БЭ} = 0,7$  В. У схемы Дарлингтона на транзисторах одного типа проводимости  $U_{БЭ} = 1,4$  В. Из графиков, приведенных на рис. 10, видно, что другого преимущества у такой схемы нет. Сильная нелинейность значительно усложняет применение такого соединения транзисторов в линейных схемах и особенно в усилительных или ключевых каскадах при изменении коллекторного тока в широких пределах.



Игорь Кольцов  
shemotech@mtu-net.ru

Продолжение следует

**www.platan.ru** ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ ВАШЕГО УСПЕХА

**BOURNS INC** Эффективный выбор для систем защиты и источников питания

**Самовосстанавливающиеся предохранители серий MF-R, MF-S, MF-SM, MF-MSM** www.bourns.com

- Предназначены для защиты электронных устройств от перегрузки по току или от перегрева.
- Принцип работы основан на свойстве резко увеличивать свое сопротивление под воздействием проходящего тока, превышающего номинальный рабочий ток, или под действием температуры окружающей среды, в несколько раз превосходящей номинальную, и автоматически восстанавливать свои первоначальные свойства после устранения этих причин.

Серия	Диапазон номиналь. тока, А	Макс. рабочее напр., В	Сопр. в откр. сост., Ом	Область применения
MF-R	0.10-9.00	60	0.005-2.50	Общего применения, автомобильная электроника.
MF-S, MF-LS, MF-LR	0.70-4.20	30	0.008-0.085	Защита аккумуляторных батарей от короткого замыкания, перегрева. Пиковые выходы для точечной сварки непосредственно на элемент батареи.
MF-SM	0.30-2.60	60	0.025-0.90	Для поверхностного монтажа. Компьютеры и периферия, автомобильная электроника.
MF-MSM	0.14-1.50	60	0.03-1.50	Для поверхностного монтажа, типоразмер 1812. Применяется в устройствах с высокой плотностью монтажа: жесткие диски, РСМС/А-карты и др.

Фирма "ПЛАТАН" является официальным дистрибутором фирмы "BOURNS" и поставляет полный ассортимент ее продукции со склада и на заказ.

**В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК:**

- Подстроечные и переменные резисторы
- Миниатюрные кнопки и переключатели
- Цифровые датчики угла поворота (энкодеры)
- Индуктивные компоненты

121351, Москва, ул. Ивана Франко, д. 40, к. 1, стр.2  
Тел./факс: (095) 73-75-999

Почта: 121351, Москва, а/я 100  
E-mail: bourns@platan.ru

**ARGUSSOFT** ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ  
Департамент Микроэлектроники  
ОФИЦИАЛЬНЫЙ дистрибутор фирм:

**ANALOG DEVICES ADuC816**

Законченная система сбора данных на одном кристалле

**ANALOG DEVICES** освоил серийный выпуск уникальной микросхемы, совмещающей на одном кристалле 2 16-разрядных сигма-дельта АЦП, 12-разрядный ЦАП, источник опорного напряжения, датчик температуры окружающей среды, микроконтроллер 8051. FLASH-память в схеме мониторинга питания.

**Основные характеристики:**

- ☑ питание - 3В или 5В
- ☑ возможность питания от токовой петли 4-20 мА
- ☑ микроконтроллер - стандартный 8x51
- ☑ память программ - 8Кбайт (FLASH),
- ☑ память данных - 640 байт (FLASH), ОЗУ - 256 байт
- ☑ 2 последовательных порта (UART + SPI)
- ☑ температурный диапазон: -40 °С - +85 °С
- ☑ стоимость - 13 USD (с НДС) \*

**EVAL-ADuC816 - Стартер-Кит:** плата, подключаемая к компьютеру; блок питания; программное обеспечение (ассемблер, симулятор, загрузчик, отладчик, C-компилятор); полная документация; микросхемы ADuC816.

\* при заказе от 1000 шт.

ЗАО "АРГУССОФТ Компани"  
Наш адрес: 129085, Москва, Проспект Мира, 96  
☎ Тел.: (095) 217-2487, 217-2519, 217-2505. Факс: (095) 216-66-42.  
Интернет: http://www.argussoft.ru, e-mail: components@argussoft.ru

Партнеры: TRACO POWER, AMEL, BOURNS, CLARE, REMECH, AXICOM, JE-AN, HANTRONIX, Honeywell, SII, mPata