

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.

Биполярный 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

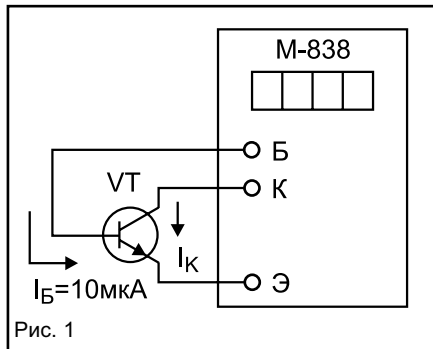


Рис. 1

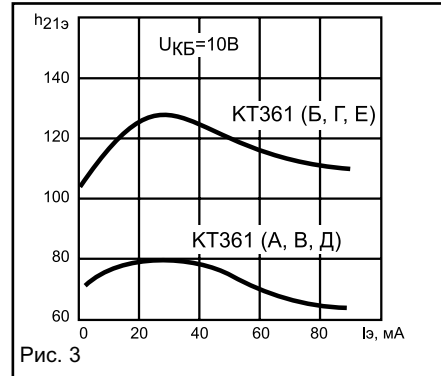
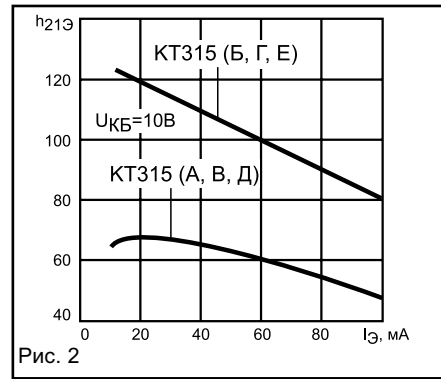
Таблица 1

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



- 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

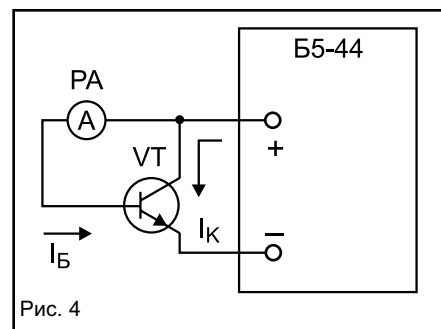
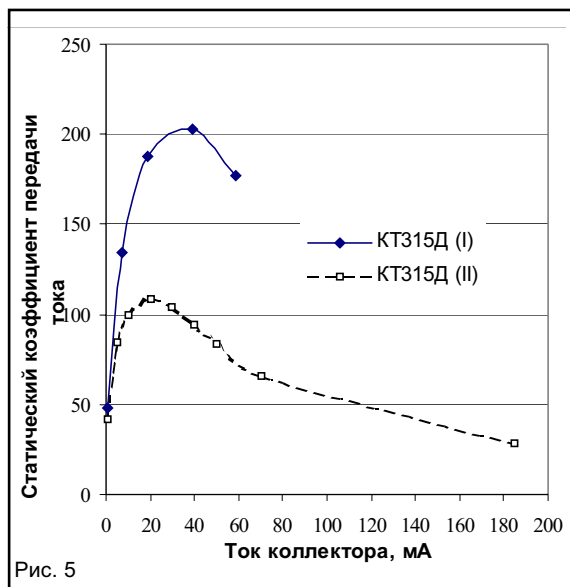
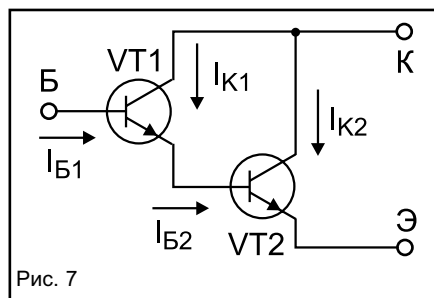


Рис. 4

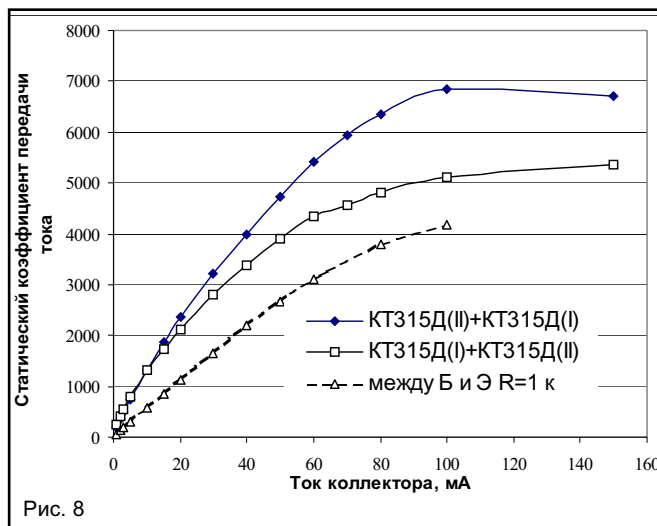
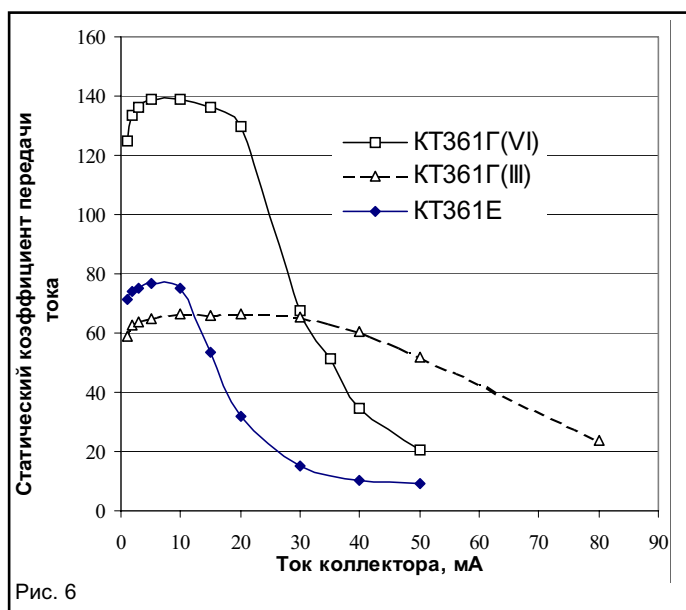


находится в самом начале характеристики $h_{21Э} = f(I_Э)$, где величина $h_{21Э}$ мала.

Несоответствие результатов измерений, проведенных с помощью М838, объясняется разными значениями коллекторных токов транзисторов в схеме Дарлингтона. При измерении $I_{Б1}$ составил 10 мкА, 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 – $8,7/0,19 = 46$.



приведены графики изменения статического коэффициента передачи тока для транзисторов типа КТ315, а на рис. 9 – для транзисторов типа КТ361. Дополнительно приведены графики при включенном между базой и эмиттером транзистора VT2 резисторе сопротивлением 1 кОм. Такое соединение часто используется в практических схемах.



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 КТ315 и КТ361 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 $h_{21Э}$ раз меньше тока составного транзистора. Следовательно, рабочая точка VT2

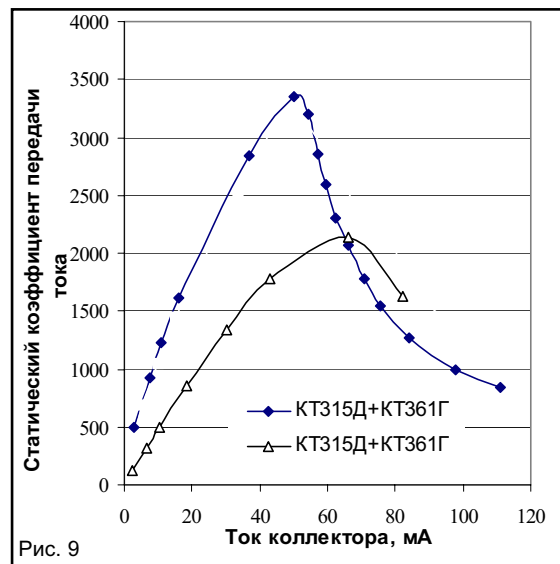
транзистора при изменяющемся в широких пределах токе коллектора (эмиттера), т. к. из-за нелинейной зависимости $h_{21Э} = f(I_Э)$ сильно возрастает базовый ток.

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

Следует избегать работы

Анализ графиков показывает, что у транзисторов типа КТ315 (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 КТ361 (рис. 9) горизонтальный



участок наблюдается при токе коллектора 10...80 мА ($h_{21Э} = 10000...11000$). 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 $h_{21Э}$ в область токов 60...80 мА.

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

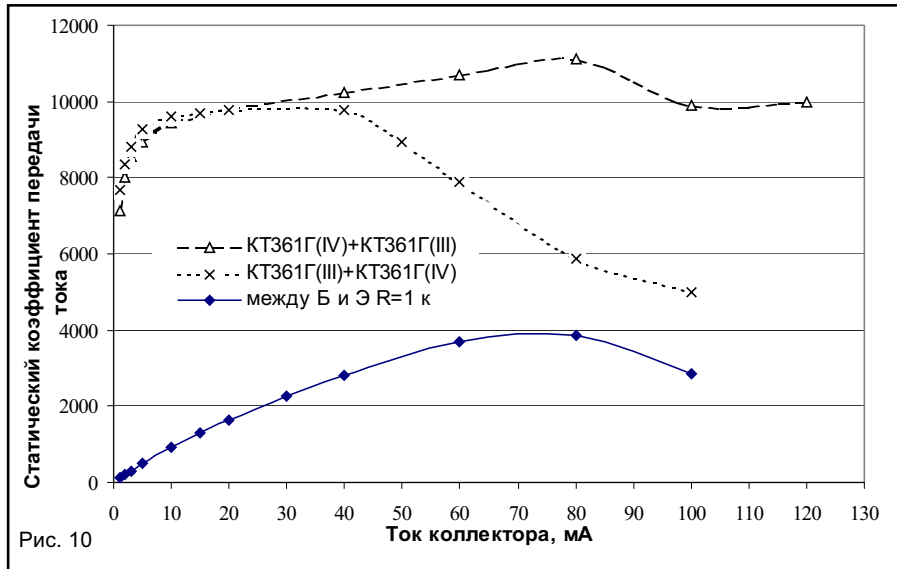
- соединение транзисторов типа КТ315 и КТ361 по схеме составного не обеспечивает уменьшения базового тока;
- при малых коллекторных токах общий $h_{21Э}$ мал;
- при работе составного транзистора вместе с изменяющимся током коллектора меняется и $h_{21Э}$, и ток базы, что затрудняет расчеты режима согласования с предыдущим каскадом.

В случае с транзистором КТ361 ситуация несколько лучше: в небольшом

диапазоне токов $h_{21Э}$ 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 $h_{21Э} = f(I_{Э})$. 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 номинальных токов, 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	0,006-0,085	Защита аккумуляторных батарей от короткого замыкания, перегрева. Никельовые выводы 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. Применяются в устройствах с высокой плотностью монтажа: жесткие диски, РСМСIA-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 и схемы 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 °C - +85 °C
- ☑ стоимость - 13 USD (с НДС) *

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

* при заказе от 1000 шт.

ЗАО "АРГУССОФТ Компани"
Наш адрес: 129085, Москва, Проспект Мира, 95
Тел.: (095) 217-2487, 217-2519, 217-2505; Факс: (095) 216-66-42;
Интернет: http://www.argussoft.ru; e-mail: components@argussoft.ru