

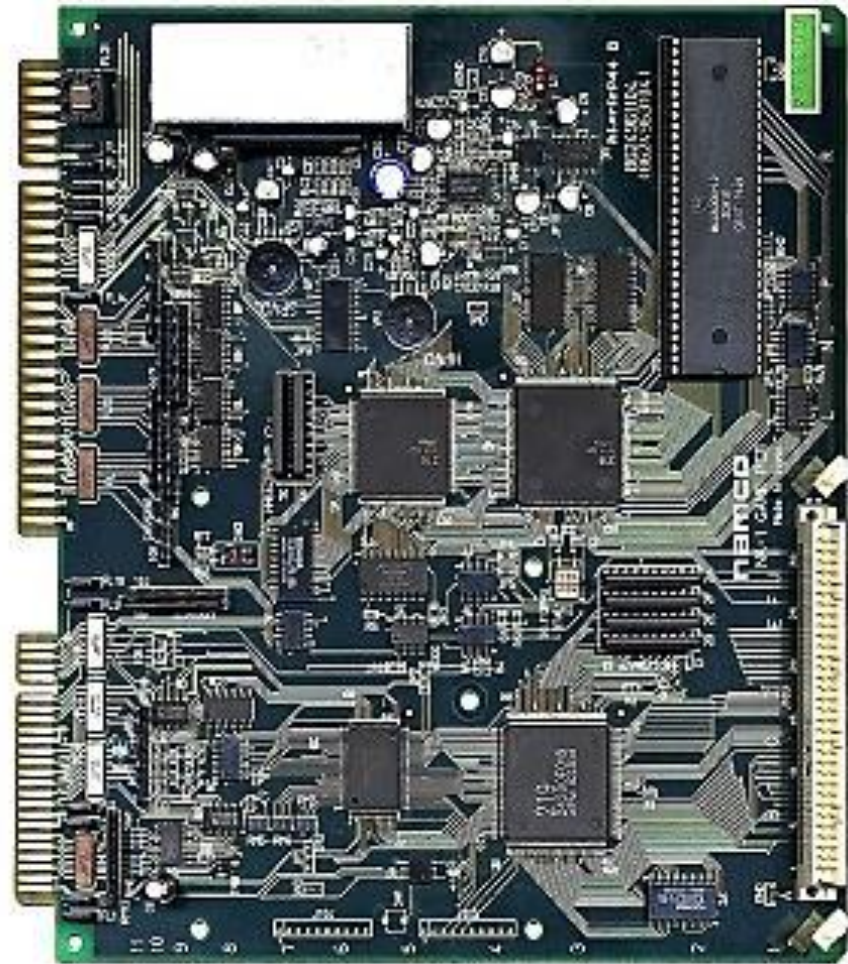
Кафедра электроники и радиотехники

ЛК 4. Пара Дарлингтона. Схема токового зеркала Уилсона

План

- 1. Составные транзисторы.**
- 2. Пара Дарлингтона.**
- 3. Схема токового зеркала Уилсона.**
- 4. Схема активного трансформатора тока.**

Схемотехника —
научно-техническое
направление,
занимающееся
проектированием,
созданием и отладкой
(синтезом и
анализом)
электронных схем и
устройств различного
назначения.



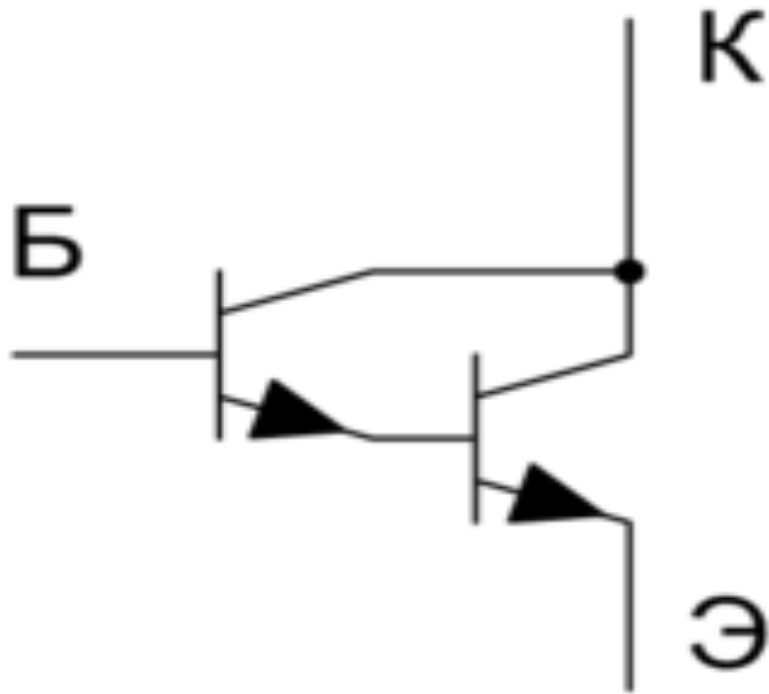
Электронная схема, реализованная в
виде готового устройства

Составные транзисторы (СТ)

Составной транзистор — электрическое соединение двух (или более) БТ, ПТ или IGBT-транзисторов, с целью улучшения их электрических характеристик. К таким схемам относят так называемую пару Дарлингтона, пару Шиклаи, каскадную схему включения транзисторов, схему так называемого токового зеркала и др.

Схема является каскадным соединением двух (редко — трех или более) БТ, включённых таким образом, что нагрузкой в эмиттерной цепи предыдущего каскада является переход база-эмиттер транзистора последующего каскада (то есть эмиттер предыдущего транзистора соединяется с базой последующего), при этом коллекторы транзисторов соединены. В этой схеме ток эмиттера предыдущего транзистора является базовым током последующего транзистора.

Составные транзисторы



Транзистор Дарлингтона- объединение двух или более БТ с целью увеличения коэффициента усиления по току

Пара Дарлингтона составленная из транзисторов *n-p-n* типа

Составные транзисторы

- ◆ Схема Дарлингтона представляет собой комбинацию из нескольких (обычно двух) транзисторов, соединенных между собою так, что их можно рассматривать как единое целое.
- Применительно к транзисторам одного типа проводимости такие схемы были впервые предложены Дарлингтоном и поэтому называются парой Дарлингтона или составными транзисторами.

Составные транзисторы

- Рассмотрим пару Дарлингтона, выполненную на двух n - p - n транзисторах (см. рис.2), где **Б**, **Э**, **К** – выводы эквивалентного транзистора.

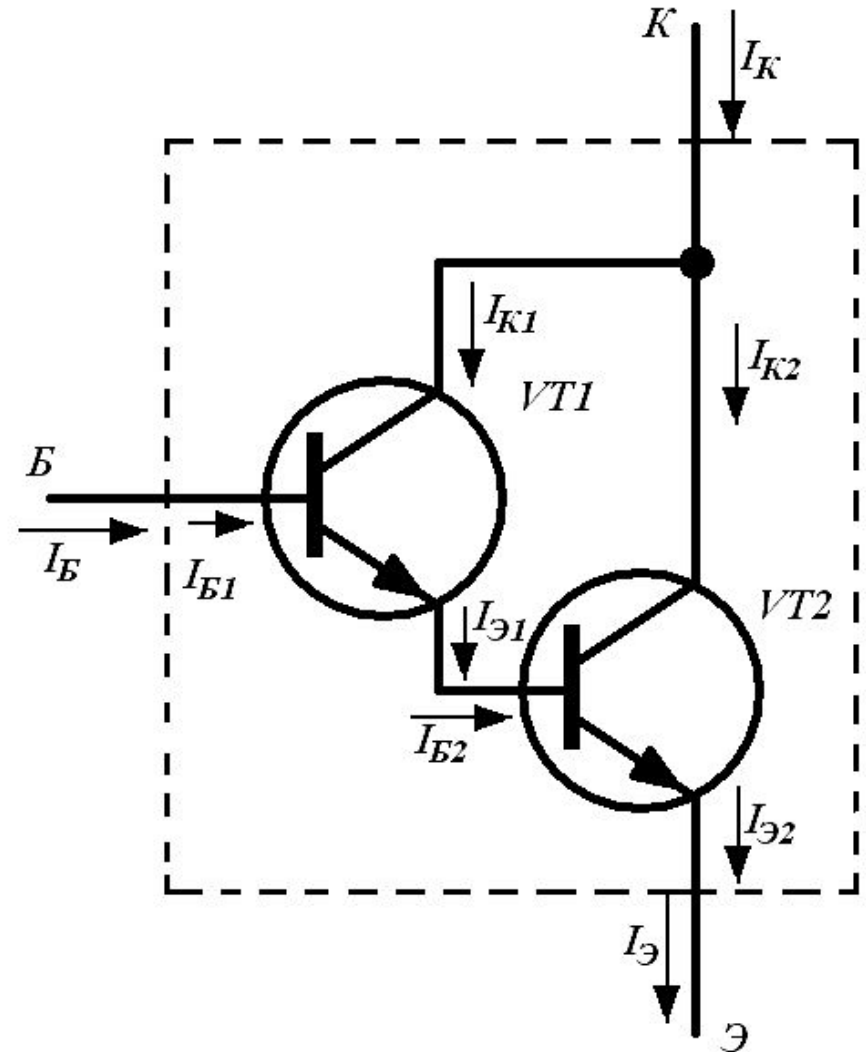


Рис.2. Пара Дарлингтона.

Составные транзисторы

Таким образом, в составном транзисторе суммарный коэффициент передачи тока равен произведению коэффициента передачи отдельных транзисторов.

Если β_1 и β_2 имеют одинаковые значения, например 100, то расчётный коэффициент

$\beta = \beta_1 \cdot \beta_2$ составит 104.

Однако, при одинаковых VT1 и VT2 коэффициенты β_1 и β_2 будут равны друг другу только при равенстве коллекторных токов I_{K1} и I_{K2} .

Составные транзисторы

- В принципе составной транзистор может быть построен с использованием как полевых, так и биполярных транзисторов.

На рис.3,а приведена схема составного транзистора на комплементарных транзисторах, соединенных по схеме Шиклаи. Разработчики применяют такой составной транзистор в схеме мощных двухтактных выходных каскадах, когда хотят использовать транзисторы только одной полярности.

Составные транзисторы

На рис.3, б приведена схема составного транзистора на полевом транзисторе с управляющим р-п переходом и каналом n-типа и биполярном транзисторе структуры n-p-n.

Данная схема удачно совмещает свойства полевого и биполярного транзистора – это большое входное сопротивление и очень большой коэффициент усиления по току, а значит и мощности.

Составные транзисторы

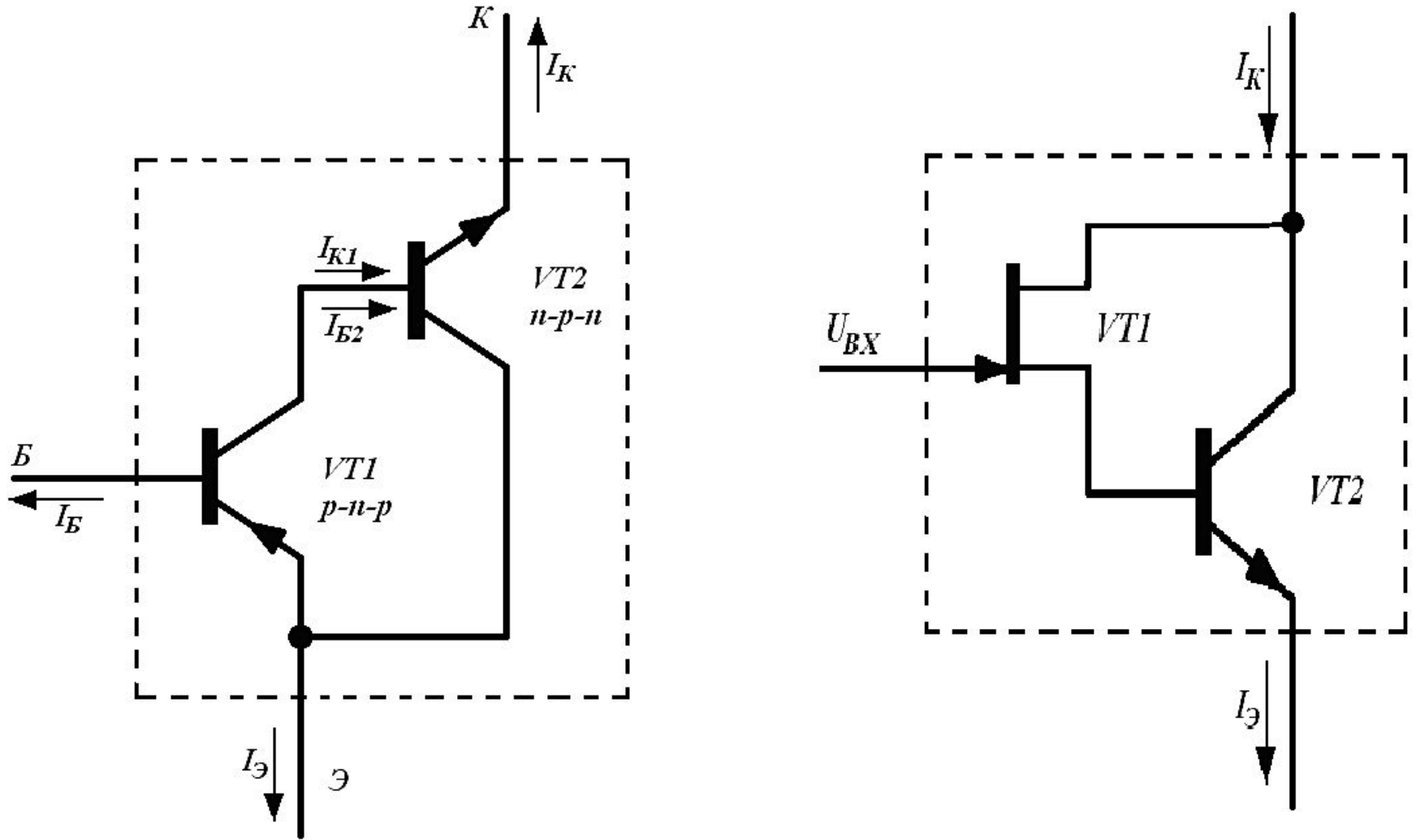
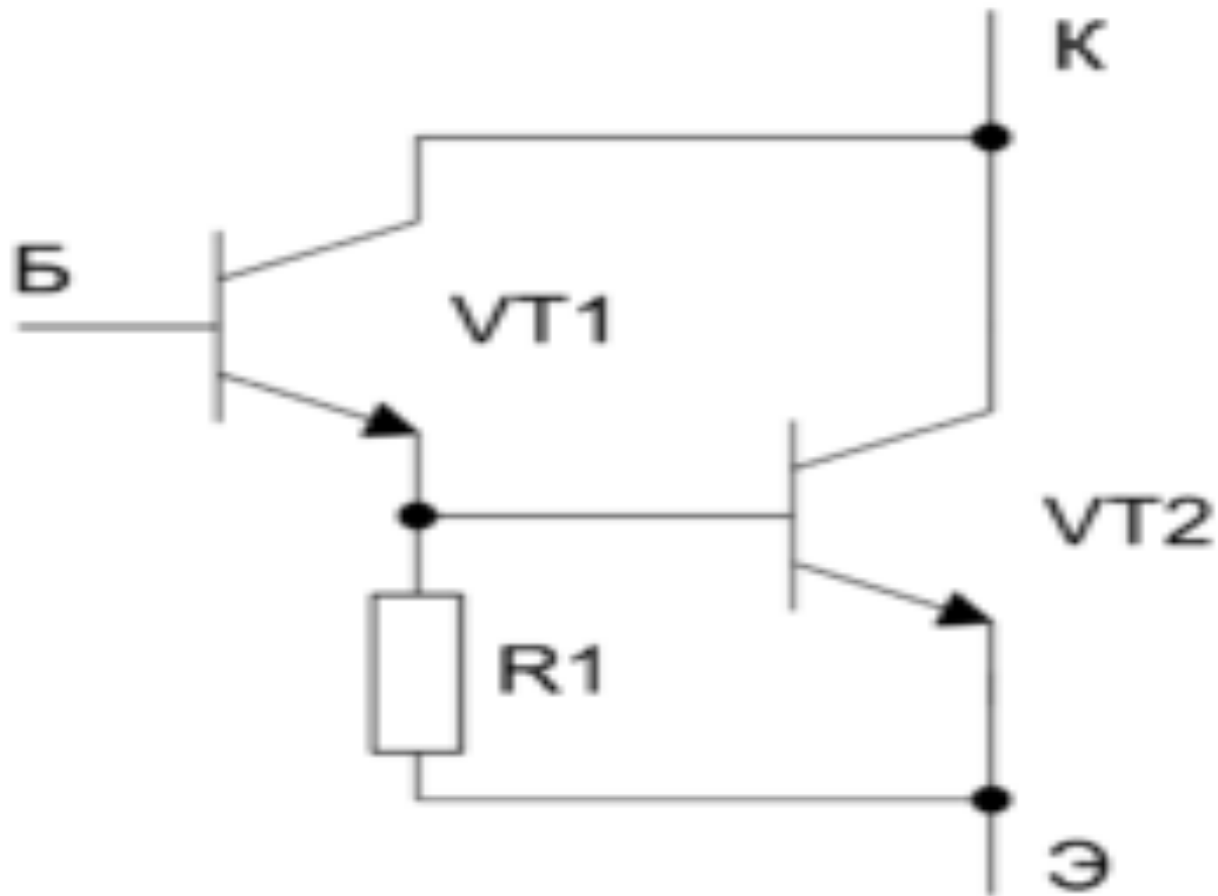


Рис.3. Составные транзисторы на комплементарных БТ (а), на БТ и ПТ (б).

Составные транзисторы

Применение нагрузочного резистора $R1$ позволяет улучшить некоторые характеристики составного транзистора. Величина резистора выбирается с таким расчётом, чтобы ток коллектор-эмиттер транзистора $VT1$ в закрытом состоянии создавал на резисторе падение напряжения, недостаточное для открытия транзистора $VT2$. Таким образом, ток утечки транзистора $VT1$ не усиливается транзистором $VT2$, тем самым уменьшается общий ток коллектор-эмиттер составного транзистора в закрытом состоянии. Кроме того, применение резистора $R1$ способствует увеличению быстродействия составного транзистора за счёт *форсирования* закрытия транзистора $VT2$.

Составные транзисторы



Пара Дарлингтона с резистором, который используется в качестве нагрузки транзистора VT1.

Достоинства и недостатки СТ

Достоинства:

Высокий коэффициент усиления по току.

Недостатки:

Низкое быстродействие, особенно перехода из открытого состояния в закрытое. По этой причине составные транзисторы используются преимущественно в низкочастотных ключевых и усилительных схемах.

Прямое падение напряжения на переходе база-эмиттер почти в два раза больше чем в обычном транзисторе и составляет для кремниевых транзисторов около 1.2 - 1.4 В (не может быть меньше, чем удвоенное падение напряжения на р-п переходе).

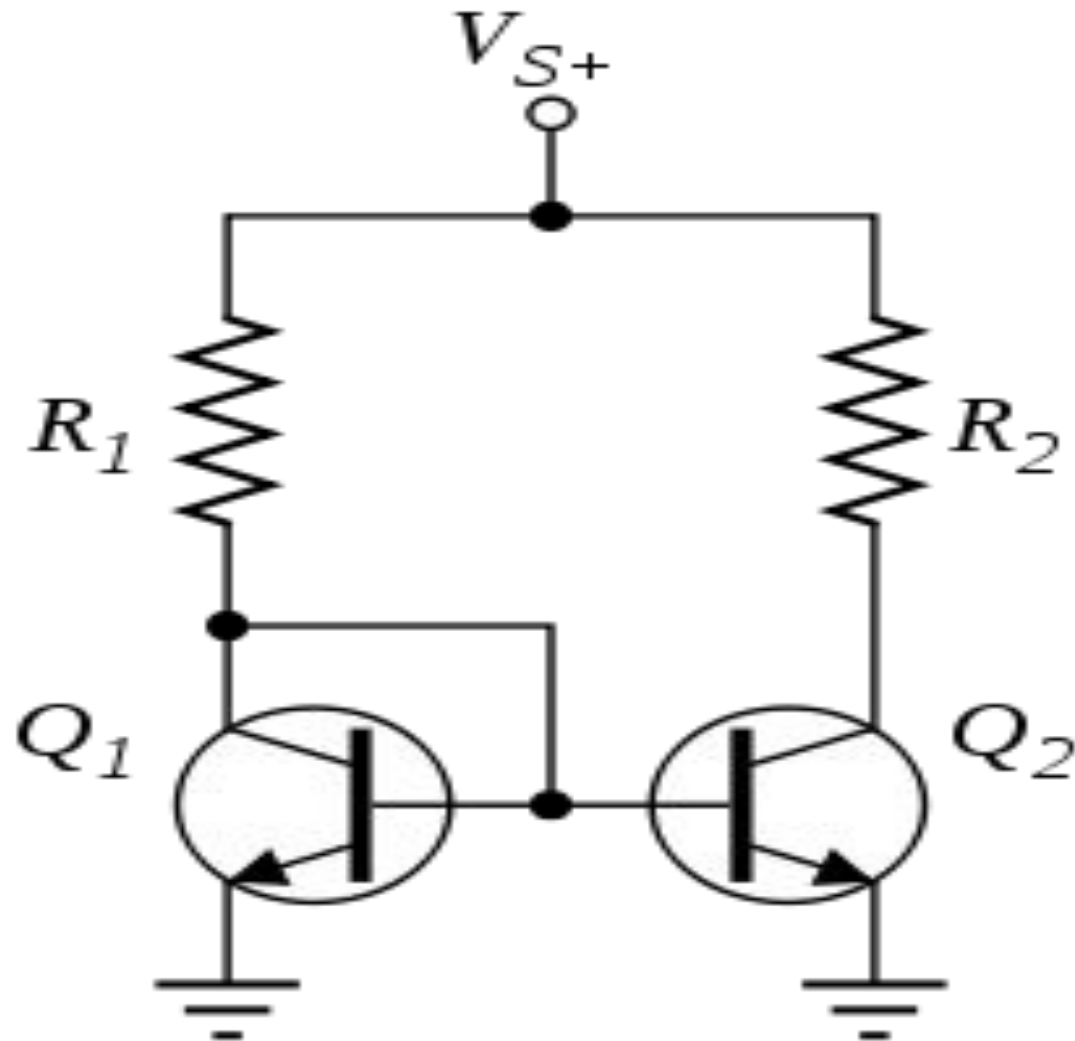
Токовое зеркало

❖ *Токовое зеркало* — элемент транзисторной схемотехники, представляющий собой генератор тока, управляемый входным током, в котором входной и выходной токи имеют разное направление и один общий вывод источника питания, причём соотношение токов (коэффициент отражения) сохраняется постоянным в широком диапазоне и мало зависит от напряжения и температуры.

Токовое зеркало

- *Простое токовое зеркало* имеет один существенный недостаток – выходной ток в некоторых пределах меняется при изменении выходного напряжения, то есть выходное сопротивление такой схемы не бесконечно.
- *В токовом зеркале Уилсона* влияние изменений напряжения на нагрузке на выходной ток подавлено за счёт каскадного включения транзистора VT3, которое позволяет уменьшить изменения напряжения $U_{БЭ}$ транзистора VT1.

Схема токового зеркала на БТ



Токовое зеркало

Простое токовое зеркало обладает одним недостатком: выходной ток зависит от изменения напряжения на нагрузке. Это связано с проявлением эффекта Эрли. Схема токового зеркала Уилсона, показанная на рис.4.6, позволяет подавить эффект Эрли.

Эффект Эрли (эффект модуляции ширины базы) — влияние обратного напряжения на коллекторном переходе на токи биполярного транзистора. Тем самым, данный эффект уточняет модель работы биполярного транзистора, и не позволяет рассматривать последний в виде идеального усилителя тока.

Токовое зеркало

Например, на рис.1 приведена трехтранзисторная схема токового зеркала Уилсона, в которой управляющие транзисторы VT1 и VT2 включены так, что токи их баз взаимно противоположны.

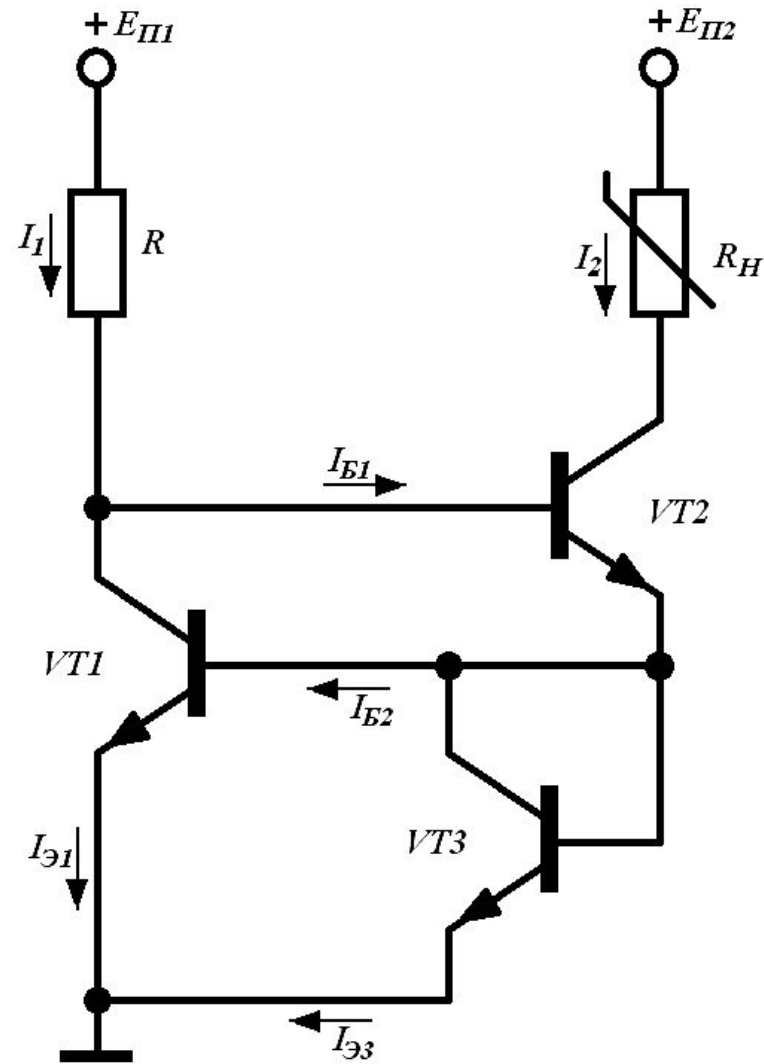


Рис.1. Токовое зеркало Уилсона.

Токовое зеркало Уилсона

Легко видеть, что:

$$I_1 - I_{B2} + I_{B1} = I_{Э1} , \quad I_2 + I_{B2} - I_{B1} = I_{Э3} .$$

Транзисторы $VT1$ и $VT2$ конструктивно идентичны. Режим их работы отличается только тем, что напряжение коллектор-база транзистора $VT1$ равно напряжению эмиттер-база транзистора $VT2$, т.е. мало, тогда как напряжение коллектор-база транзистора $VT2$ определяется разностью падений напряжения на резисторе R и в цепи R_H и может, следовательно, быть заметно большим.

Токовое зеркало Уилсона

Однако, ток базы весьма слабо зависит от напряжения коллектор-база, так что $I_{B1} = I_{B2}$.

Токи же эмиттеров $I_{Э1} = I_{Э3}$ одинаковы.

Следовательно:

$$I_2 = I_1 - 2(I_{B2} - I_{B1}) = I_1 .$$

Активный трансформатор тока

❖ В ряде интегральных схем требуется ГСТ с очень малым значением тока при большом значении опорного тока

$$I_2 (I_2 \ll I_1) .$$

В этих случаях используют модифицированную схему простейшего ГСТ, показанную на рис. 4.

Активный трансформатор тока

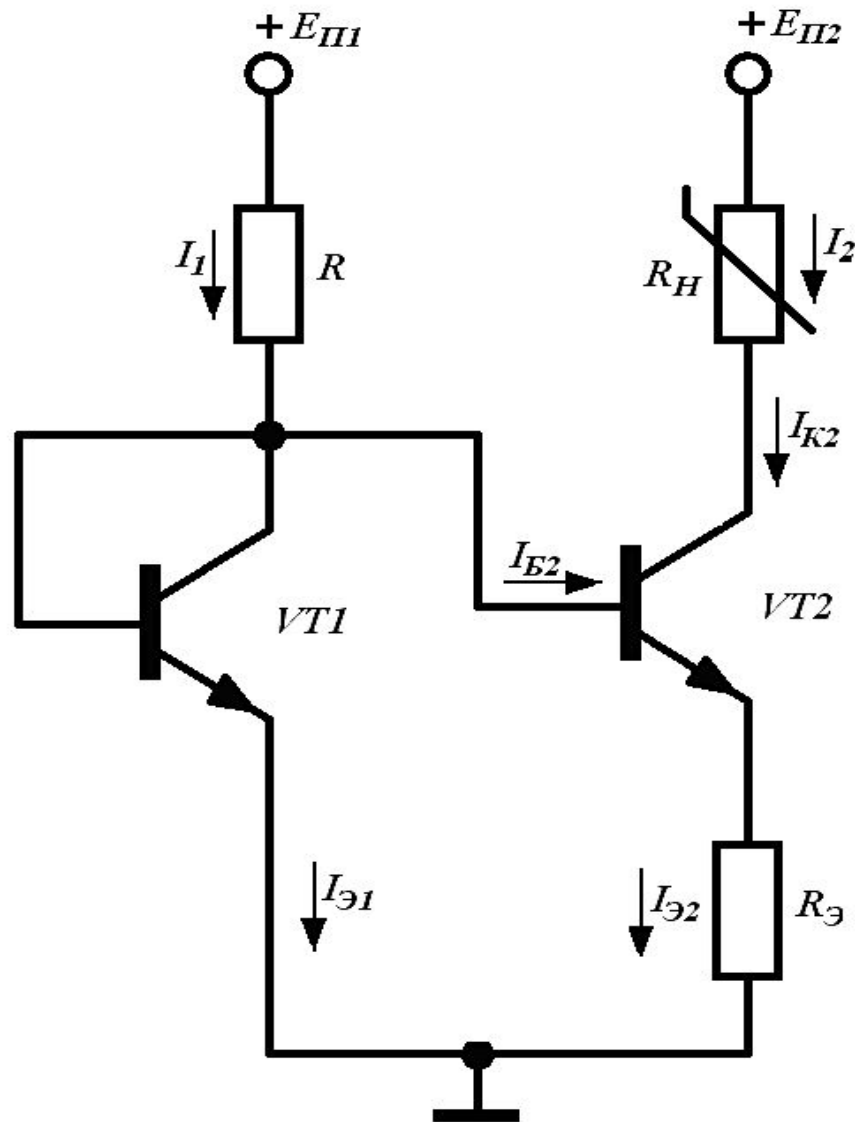


Рис.4. Активный трансформатор тока

АКТИВНЫЙ трансформатор

Эту схему называют активным трансформатором тока. Для этой схемы:

$$\begin{aligned} I_{\text{Э}2} R_{\text{Э}} &= U_{\text{БЭ}1} - U_{\text{БЭ}2} ; \\ U_{\text{БЭ}1} &= E_{\text{П}} - I_1 R . \end{aligned} \tag{1}$$

Используя ВАХ идеализированного перехода, можно написать:

$$\begin{aligned} U_{\text{БЭ}1} &= \varphi_T \ln(I_1 / I_0) ; \\ U_{\text{БЭ}2} &= \varphi_T \ln(I_2 / I_0) . \end{aligned} \tag{2}$$

АКТИВНЫЙ трансформатор

Из выражений (1) и (2) получим:

$$I_2 = \frac{\varphi_T}{R_{\text{Э}}} \ln \frac{E_{\text{П}} - U_{\text{БЭ1}}}{I_2 R} . \quad (3)$$

По заданному току I_2 можно определить из (3) необходимое сопротивление резистора $R_{\text{Э}}$:

$$R_{\text{Э}} = \frac{\varphi_T}{I_2} \ln \frac{E_{\text{П}} - U_{\text{БЭ1}}}{I_2 R} .$$

АКТИВНЫЙ трансформатор

- Данная схема, несмотря на простоту, обеспечивает хорошую температурную стабилизацию, так как R_{Σ} обеспечивает ООС.

Расчёты показывают, что при изменении температуры на один градус нестабильность тока $\Delta I_2 = 2,5 \text{ мкА}$.

Кроме того, полезно запомнить, что при $R_{\Sigma} = 1 \text{ кОм}$ (статическое сопротивление) динамическое сопротивление ГСТ оказывается близким к 1 МОм .

Контрольные вопросы

- 1. Составные транзисторы.**
- 2. Пара Дарлингтона.**
- 3. Схема токового зеркала Уилсона.**
- 4. Схема активного трансформатора тока.**