ЛК 4. Пара Дарлингтона.Схема токового зеркало Уилсона

План

1. Составные транзисторы.
2. Пара Дарлингтона.
3. Схема токового зеркало Уилсона.
4. Схема активного трансформатора тока.

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

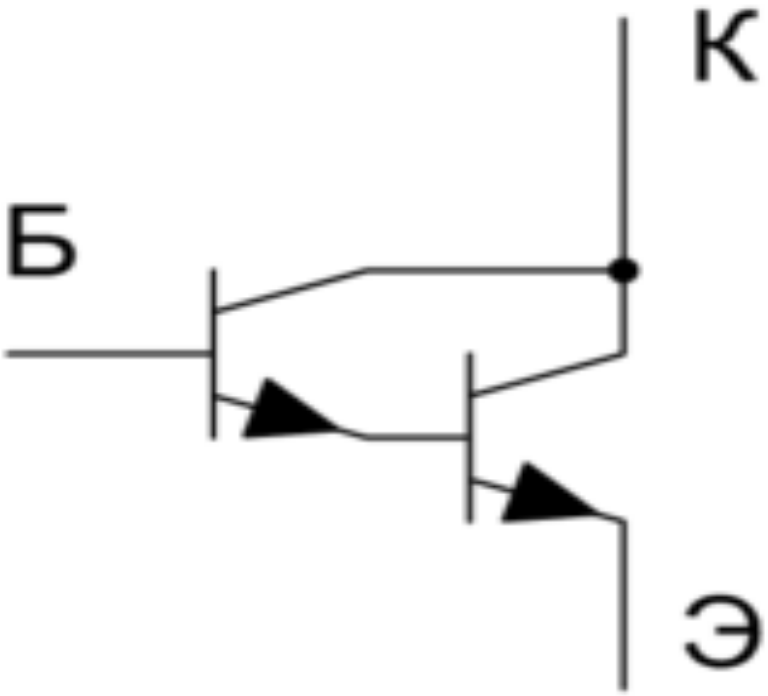
Электронная схема, реализованная в виде готового устройства

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- об ъединение двух или более Б Т с целью увеличения коэфф ициента 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.

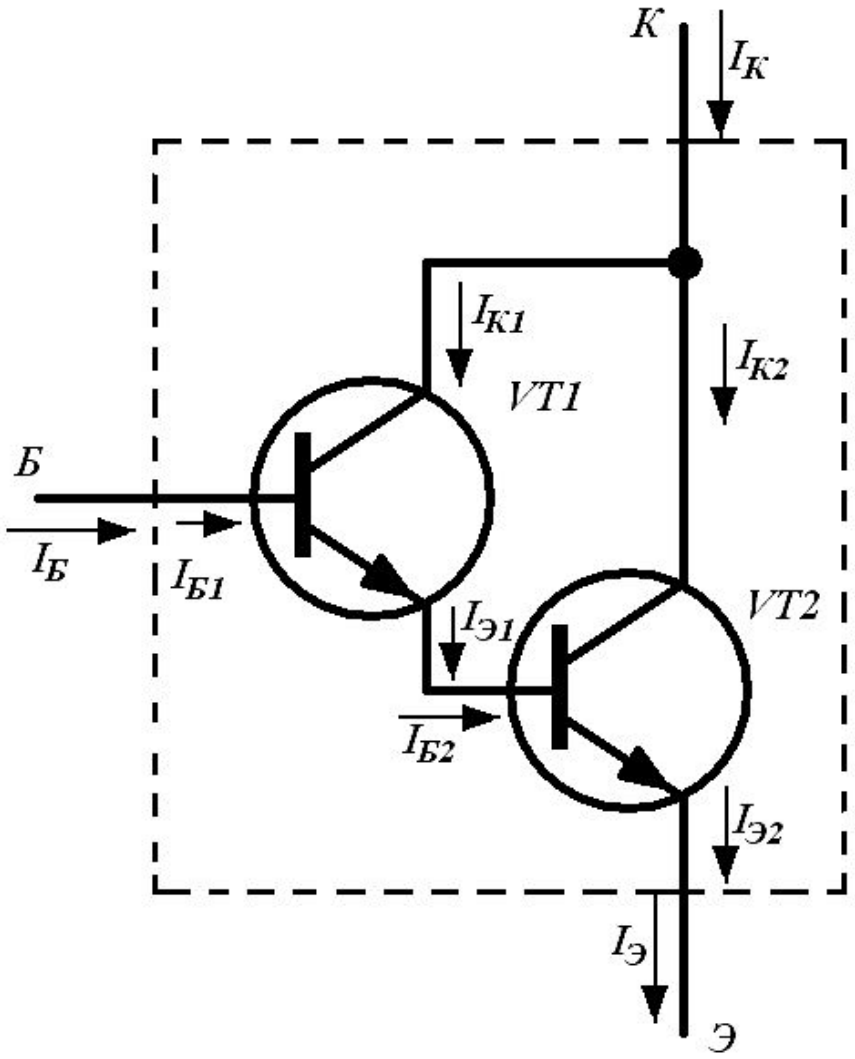


Рис.2. Пара Дарлингтона.

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 $I_{к1}$ и $I_{к2}$.

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 p-n 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

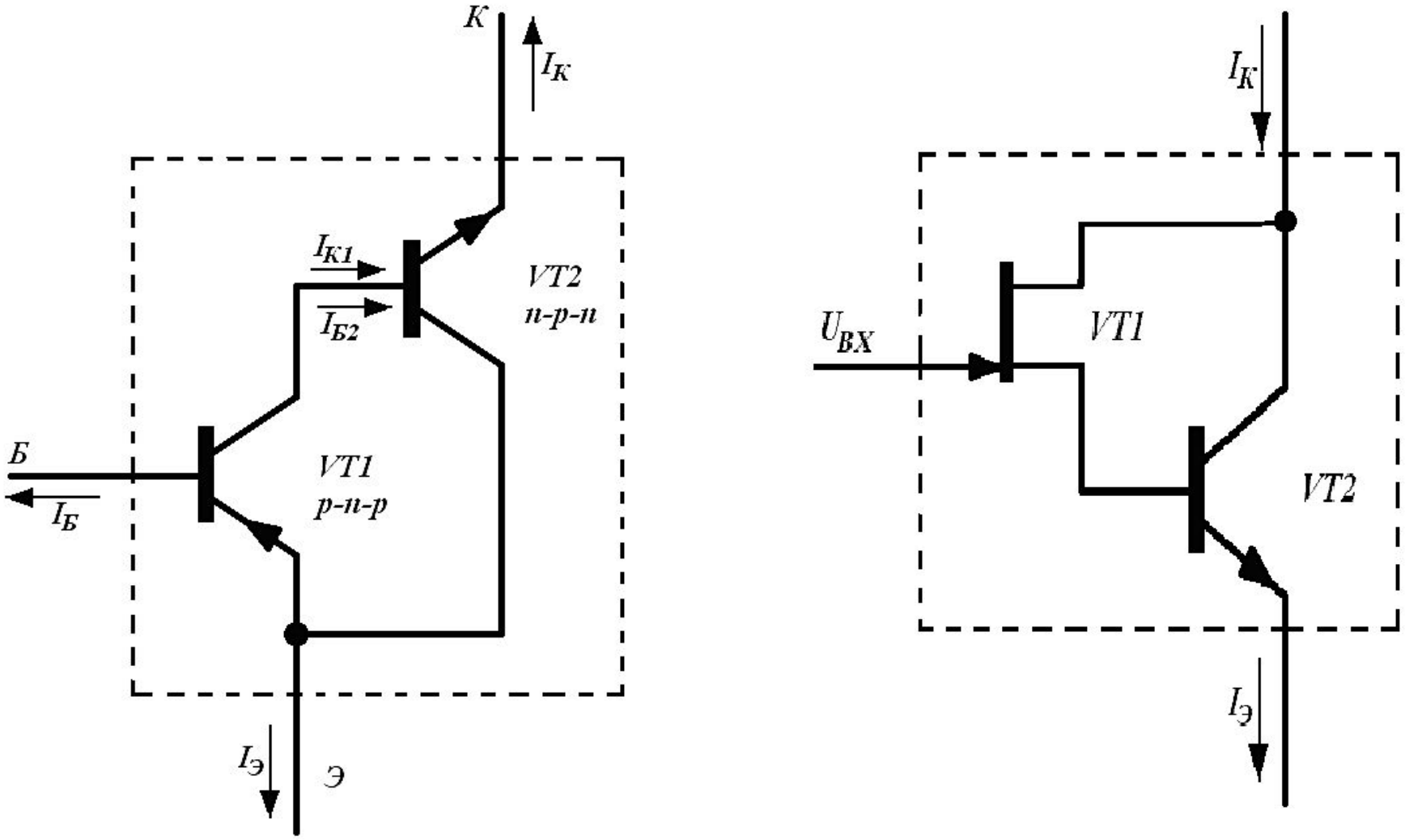


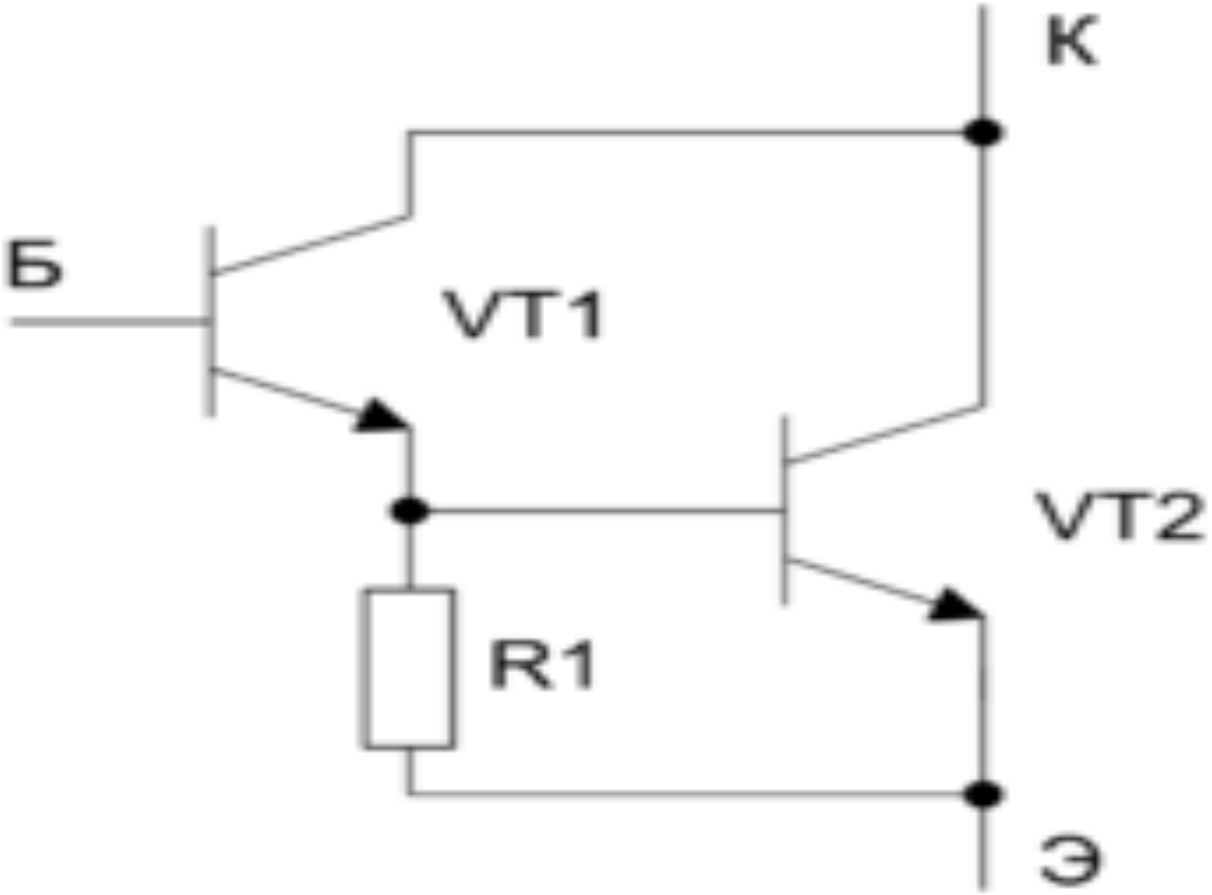
Рис.3. Составные транзисторы на комплементарных БТ (а), на БТ и ПТ (б).

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 напряжение, 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 с остояния 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 p-n переходе).

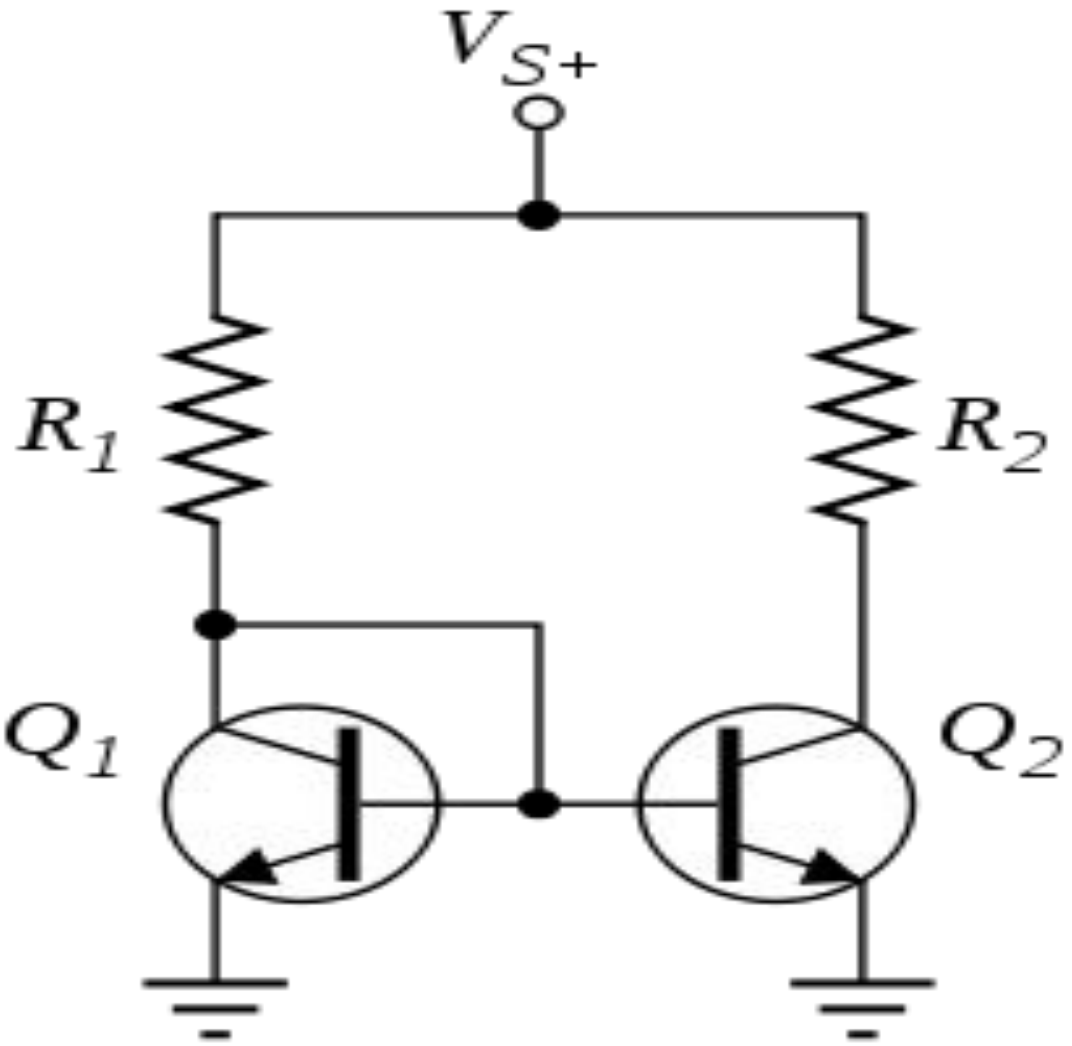
Токовое зеркало

- ***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 зеркало 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.

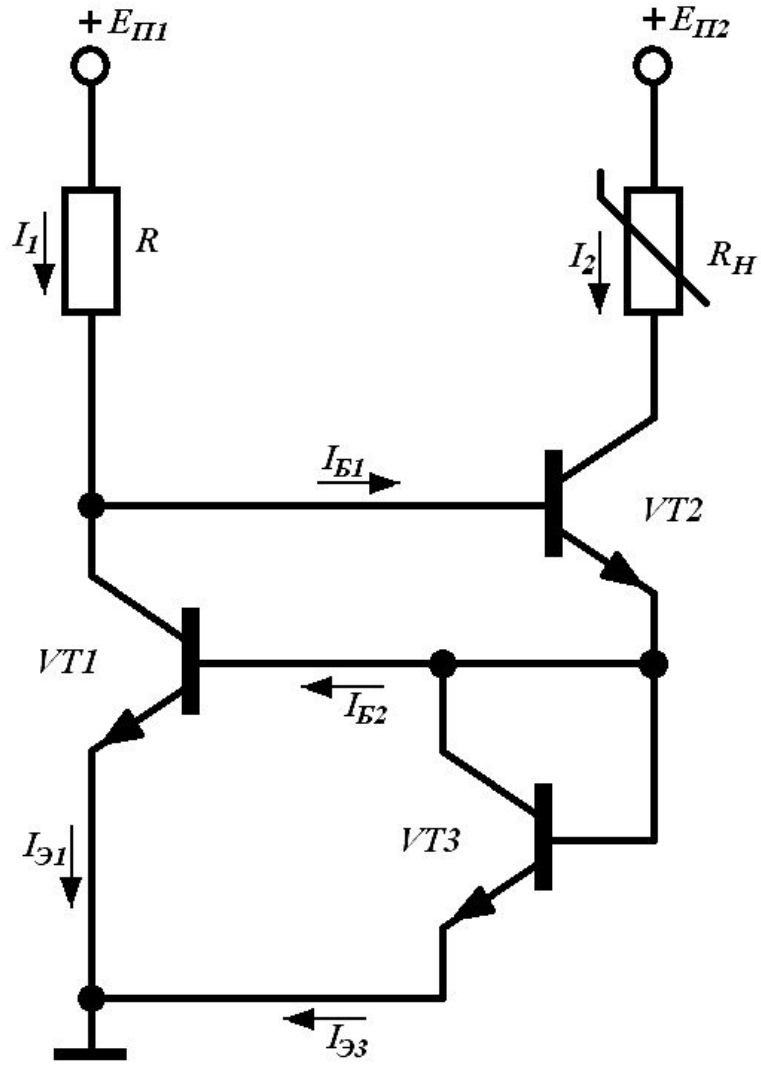


Рис.1. Токовое зеркало Уилсона.

Токовое зеркало Уилсона

Легко видеть, что:

$$I_1 - I_{Б2} + I_{Б1} = I_{Э1}\ ,\ \ I_2 + I_{Б2} - I_{Б1} = I_{Э3}\ .$$

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 $I_{Б1} = I_{Б2}$.

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

Следовательно:

$$I_2 = I_1 - 2(I_{Б2} - I_{Б1}) = I_1 \ .$$

Активный трансформатор тока

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

$$I_1\ (I_2 << I_1)\ .$$

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

Активный трансформатор тока

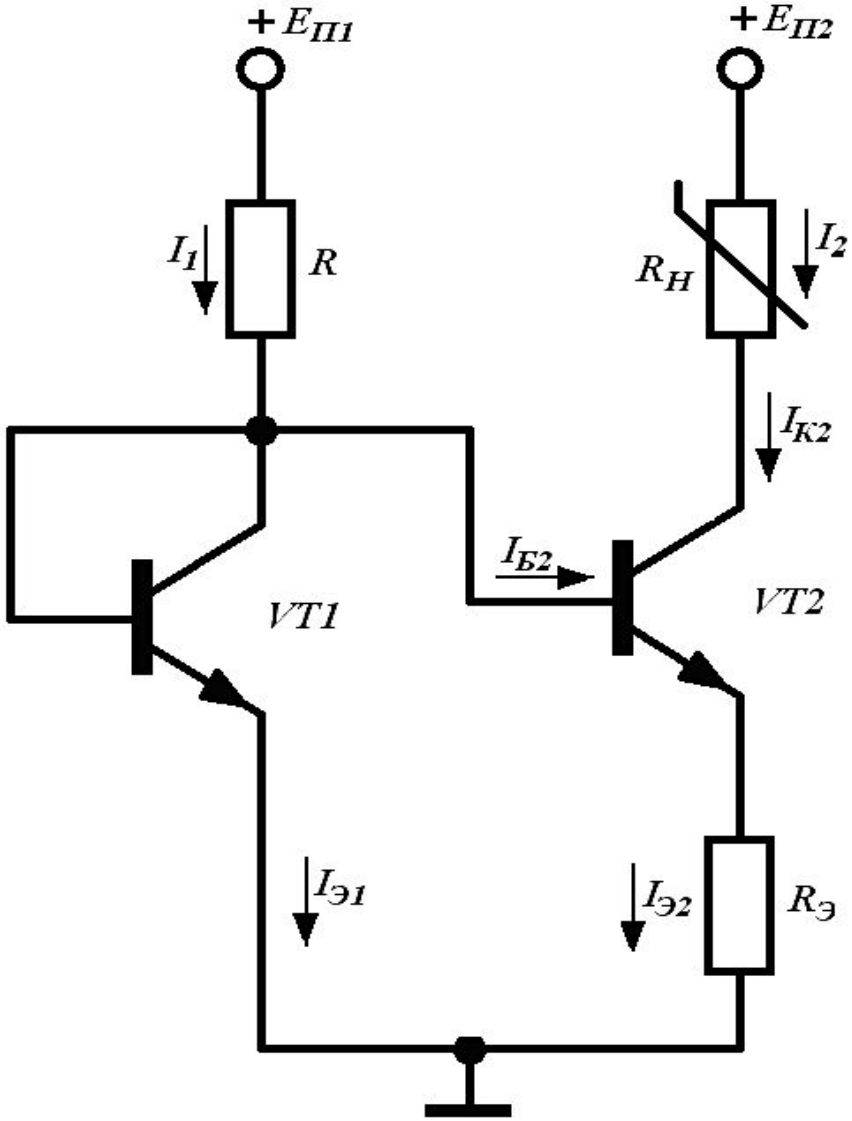


Рис.4. Активный трансформатор тока

Активный трансформатор

Эту схему называют активным трансформатором тока. Для этой схемы:

$$I_{Э2} R_Э = U_{БЭ1} - U_{БЭ2};$$
$$U_{БЭ1} = E_П - I_1 R. \quad (1)$$

Используя ВАХ идеализированного перехода, можно написать:

$$U_{БЭ1} = \varphi_T \ln(I_1 / I_0);$$
$$U_{БЭ2} = \varphi_T \ln(I_2 / I_0). \quad (2)$$

Активный трансформатор

Из выражений (1) и (2) получим:

$$I_2 = \frac{\varphi_T}{R_Э} ln \frac{E_П - U_{БЭ1}}{I_2 R} . \qquad (3)$$

По заданному току I_2 можно определить из (3) необходимое сопротивление резистора $R_Э$:

$$R_Э = \frac{\varphi_T}{I_2} ln \frac{E_П - U_{БЭ1}}{I_2 R} .$$

Активный трансформатор

- Данная схема, несмотря на простоту, обеспечивает хорошую температурную стабилизацию, так как $R_Э$ обеспечивает ООС.

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

Кроме того, полезно запомнить, что при $R_Э = 1\ кОм$ (статическое сопротивление) динамическое сопротивление ГСТ оказывается близким к *1 МОм*.

Контрольные вопросы

1. Составные транзисторы.
2. Пара Дарлингтона.
3. Схема токового зеркало Уилсона.
4. Схема активного трансформатора тока.