

Принципы обеспечения заданного положения ИРТ

ИРТ характеризуется начальными значениями тока коллектора и напряжения коллектор-эмиттер $I_{к0}$, $U_{кэ0}$. Задача – схемотехнически обеспечить требуемые значения $I_{к0}$, $U_{кэ0}$.

Воспользуемся следующими соотношениями, справедливыми для активного режима работы: $I_{к} = \alpha I_{э}$, где α – коэффициент передачи тока эмиттера в схеме с общей базой; $I_{к} = \beta I_{б}$, где β – коэффициент передачи тока базы в схеме с общим эмиттером.

Значения α не превышают 1 и примерно равны ей, так что $I_{к} \approx I_{э}$. Значения $\beta \gg 1$, так что $I_{к} \gg I_{б}$ и $I_{э} \gg I_{б}$. α и β связаны между собой соотношениями

$$\alpha = \frac{\beta}{1+\beta}; \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

Токи и напряжения в активном режиме работы транзистора связаны уравнением Эберса-Молла, в простейшем случае имеющем вид:

$$I_{э} = I_{оэ} e^{\frac{U_{бэ}}{mU_T}}; U_{бэ} = mU_T \ln\left(\frac{I_{э}}{I_{оэ}}\right),$$

где m – коэффициент неидеальности p - n -перехода ($m = 1$ при малых значениях тока $I_{к0}$, когда $I_{к} \ll I_{кmax}$, и $m = 2...5$ при значениях токах коллектора, приближающихся к максимально допустимым $I_{кmax}$); $U_T = k T / q$ – температурный потенциал; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/с – постоянная Больцмана; T – температура в кельвинах; $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона; $I_{оэ}$ – обратный ток эмиттерного перехода. При номинальной температуре $T = 300$ К $U_T = 0,026$ В.

Качественно эти зависимости представлены на рис. 1.

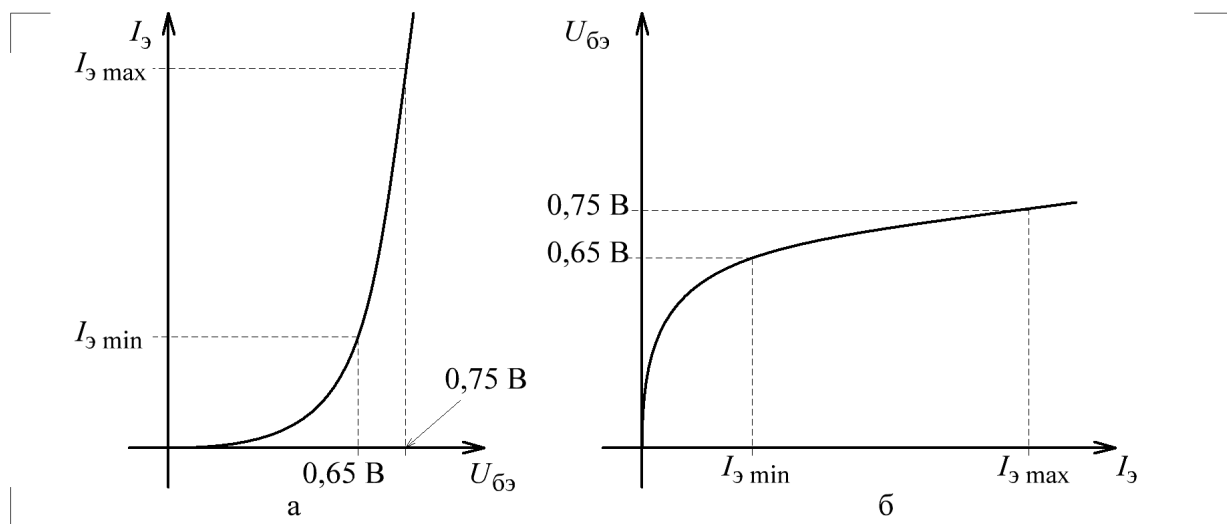


Рис. 1

Из рисунков видно, что в широком диапазоне рабочих токов от $I_{э\min}$ до $I_{э\max}$ напряжение на переходе база-эмиттер меняется в небольших пределах, и имеет величину порядка 0,65...0,75 В. Это напряжение будем называть номинальным напряжением база-эмиттер, обозначать $U_{бэ0}$ и полагать равным 0,7 В.

Заметим, что коэффициенты α и β , а также точное значение $U_{бэ0}$ подвержены температурному дрейфу и меняются от образца к образцу.

Для задания положения ИРТ на электродах транзистора с помощью специальных схем принудительно устанавливаются требуемые токи или потенциалы.

Рассмотрим наиболее часто используемые схемы.

1. Схема с фиксированным током базы

Простейшая схема задания положения ИРТ приведена на рис. 2а.

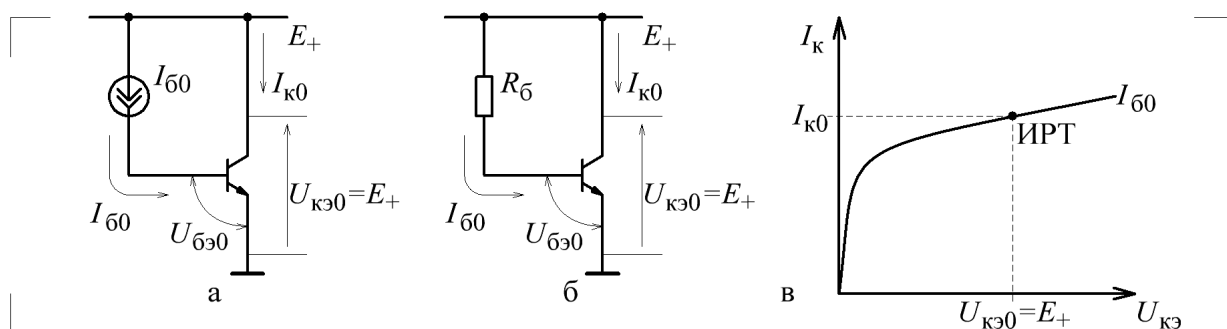


Рис. 2

Здесь ток источника $I_{б0}$ фиксирует ток базы. Начальный ток коллектора при этом равен $I_{к0} = \beta I_{б0}$. Начальное напряжение коллектор-эмиттер $U_{кэ0} = E_+$.

Практическая схема, использующая этот принцип, приведена на рис. 2б. Здесь в качестве элемента, задающего ток базы, выступает резистор $R_б$. Ток

базы в этой схеме равен

$$I_{\text{б0}} = \frac{U_{R\text{б}}}{R_{\text{б}}} = \frac{E_+ - U_{\text{бэ0}}}{R_{\text{б}}} = \frac{E_+ - 0,7\text{В}}{R_{\text{б}}}$$

Если $E_+ \gg 0,7\text{В}$, то ток базы не зависит от вариаций номинального напряжения база-эмиттер и определяется напряжением питания и сопротивлением резистора $R_{\text{б}}$. Начальный ток коллектора $I_{\text{к0}} = \beta I_{\text{б0}}$.

Рис. 2в иллюстрирует процесс формирования положения ИРТ на плоскости выходных ВАХ.

При работе усилительного каскада к выводу коллектора или эмиттера транзистора должна подключаться нагрузка. Поэтому на переменном токе коллектор или эмиттер должен быть отделен от точки нулевого потенциала, а также от источника питания, имеющего низкое внутреннее сопротивление, некоторым 2-полюсником с высоким сопротивлением по переменному току.

В простейшем случае это делается с помощью резистора, как показано на рис. 3б и 3в.

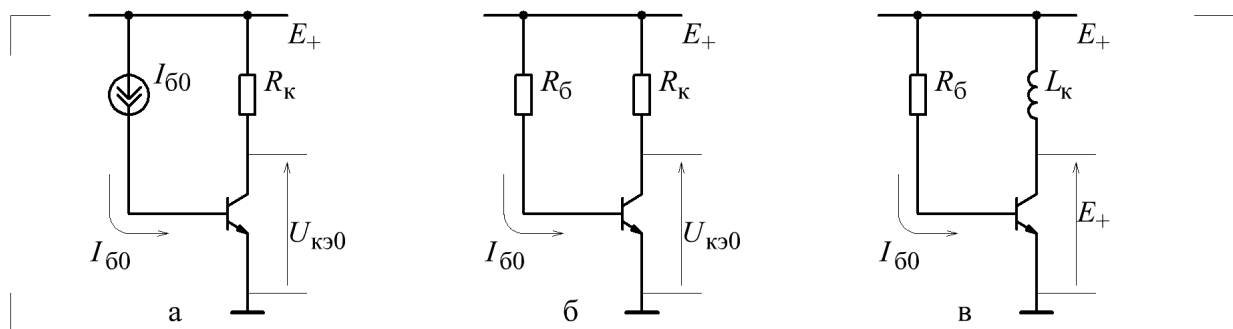


Рис. 3

В этих случаях напряжение коллектор-эмиттер определяется напряжением питания и падением напряжения на 2-полюснике в коллекторной цепи вследствие протекания $I_{\text{к0}}$:

$$U_{\text{кэ0}} = E_+ - I_{\text{к0}} R_{\text{к}} = E_+ - \beta I_{\text{б0}} R_{\text{к}}$$

Из последнего соотношения видно, что резистор $R_{\text{к}}$, создавая сопротивление переменному току, в том числе создает и дополнительное падение напряжение источника питания и потери мощности. Поэтому в качестве 2-полюсника в коллекторной цепи часто используется катушка индуктивности (дроссель), обладающая нулевым сопротивлением для постоянного тока, но изолирующая цепь источника питания от сигнальной цепи (рис. 3в).

Недостаток схемы с фиксированным током базы связан с зависимостью начального тока коллектора от коэффициента β , имеющего значительный разброс.

2. Схема с фиксированным напряжением база-эмиттер

В данном случае с помощью источника ЭДС фиксируется потенциал базы $U_{\text{б0}}$ (рис. 4а). За счет этого в силу входной ВАХ транзистора в базовой цепи протекает ток $I_{\text{б0}}$, создавая в коллекторной цепи ток $I_{\text{к0}} = \beta I_{\text{б0}}$ (рис. 4б).

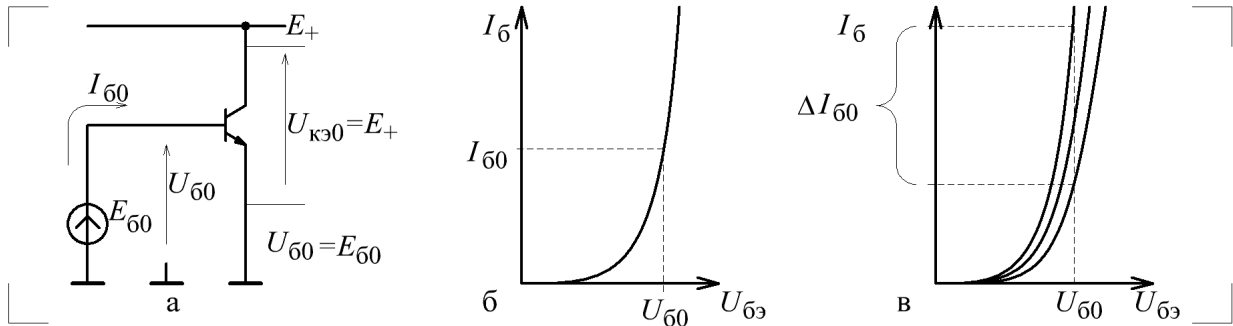


Рис. 4

Практические реализации данного принципа приведены на рис. 5.

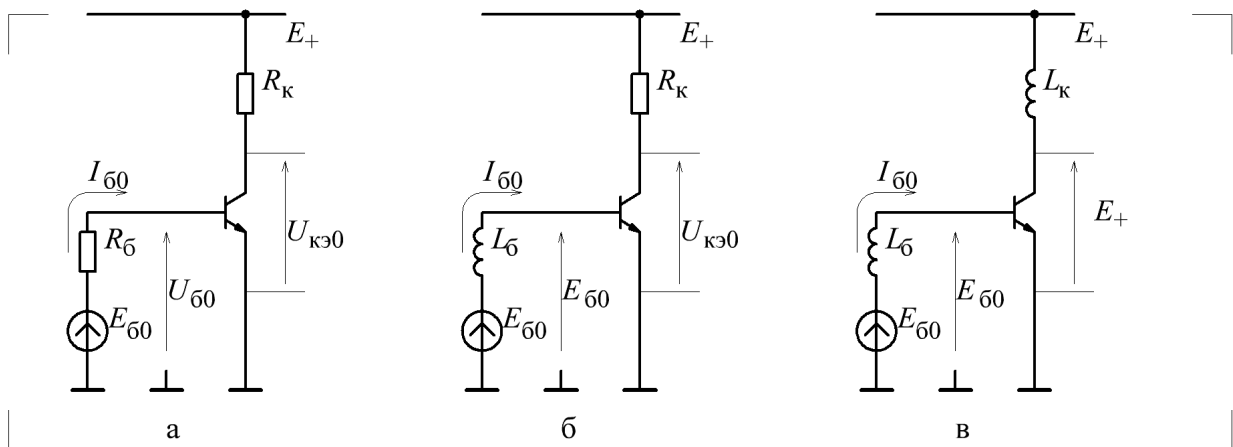


Рис. 5

Здесь помимо изоляции источника питания от цепи коллектора необходимо создать высокий импеданс для переменного тока и в цепи базового источника смещения, что достигается включением резистора или индуктивности.

На практике введение в схему отдельного источника $E_{\text{б0}}$ оказывается неудобным. Поэтому потенциал базы чаще всего формируют от источника питания E_+ , например с помощью резистивного делителя напряжения (рис. 6).

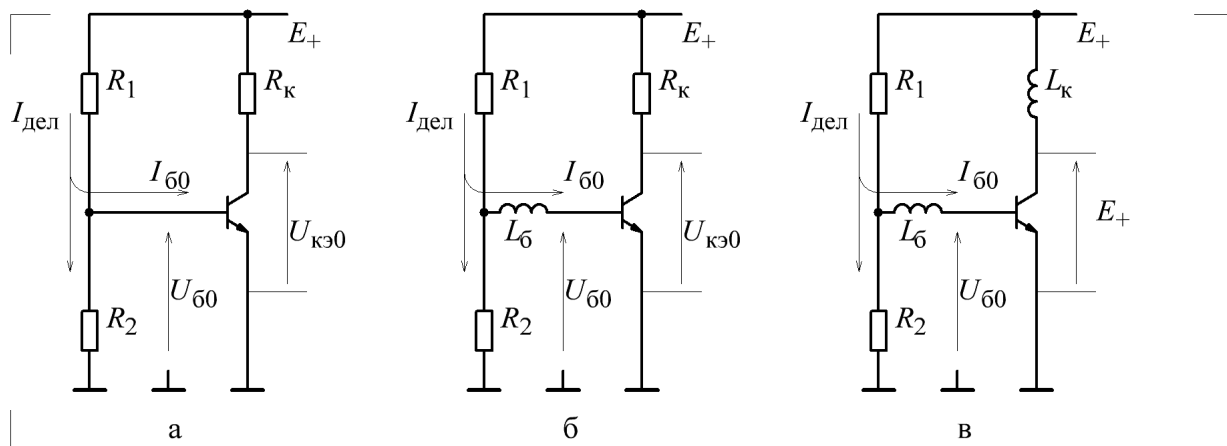


Рис. 6

Для того чтобы потенциал базы не зависел от тока базы и был равен

$$U_{б0} = E_+ \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{необходимо, чтобы ток делителя был много больше, чем}$$

$$\text{ток базы транзистора} \quad I_{дел} = \frac{E_+}{R_1 + R_2} \gg I_{б0} .$$

К недостатку предыдущей схемы с фиксированным током базы в данном случае добавляется зависимость тока коллектора от номинального напряжения база-эмиттер. В частности, температурные изменения приводят к смещению входной ВАХ и при фиксированном напряжении база-эмиттер приводят к большим изменениям базового тока $\Delta I_{б0}$ (рис. 4в).

Несмотря на указанный недостаток, идея стабилизации потенциала базы транзистора оказывается весьма плодотворной и используется в дальнейшем.

3. Схема с фиксированным током эмиттера

Устранение недостатков предыдущих схем возможно при отказе от установки тока коллектора с помощью тока базы или напряжения база-эмиттер. Учитывая, что $I_{к} \approx I_{э}$ ток коллектора будет определен, если удастся зафиксировать ток эмиттера (рис. 7а).

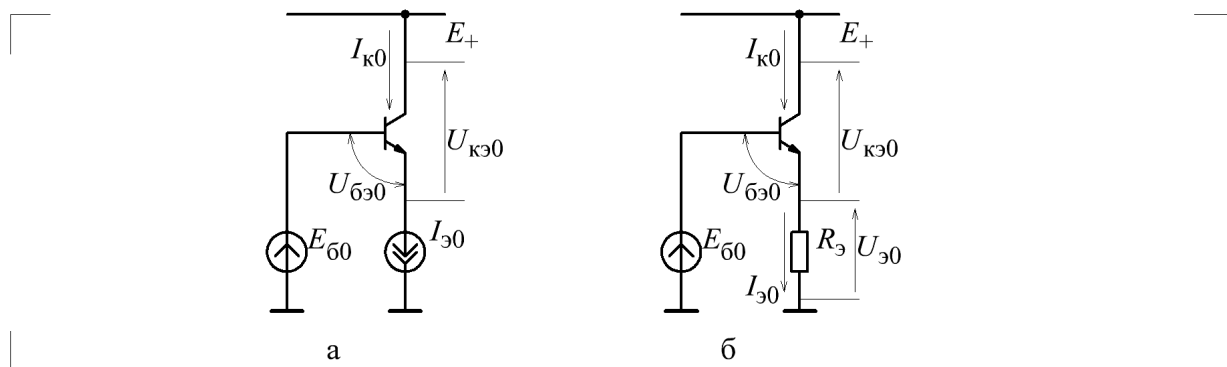


Рис. 7

На рис. 7а это сделано с помощью генератора тока $I_{э0}$. Для задания напряжения $U_{кэ0}$ служит источник потенциала базы $E_{б0}$. Если $E_{б0} \gg U_{бэ0} = 0,7$ В, то потенциал эмиттера слабо зависит от вариаций номинального напряжения база-эмиттер и равен $U_{э0} = E_{б0} - U_{бэ0} = E_{б0} - 0,7$ В, а начальное напряжение коллектор-эмиттер $U_{кэ0} = E_+ - U_{э0}$.

В качестве генератора тока в эмиттерной цепи могут быть использованы схемные конфигурации, рассмотренные в разделе «Генератор стабильного тока и токовое зеркало». В простейшем случае его функцию может выполнять токозадающий резистор $R_э$ (рис. 7б). В этом случае $U_{э0} = E_{б0} - U_{бэ0} = E_{б0} - 0,7$ В, а $I_{к0} \approx I_{э0} = U_{э0} / R_э$. Для снижения влияния вариаций $U_{бэ0}$ на начальный ток коллектора необходимо, чтобы $E_{б0} \gg U_{бэ0}$.

Для изоляции сигнальных изменений в цепи коллектора от низкоомного источника питания применяются, например, резисторы, как это показано на рис. 8а. Вариантов обеспечения требуемого потенциала базы множество. Наиболее просто это реализуется с помощью резистивного делителя напряжения (рис. 8б). На рис. 8в показана развязка цепей питания и базового смещения от цепей прохождения переменного сигнала с помощью индуктивных элементов.

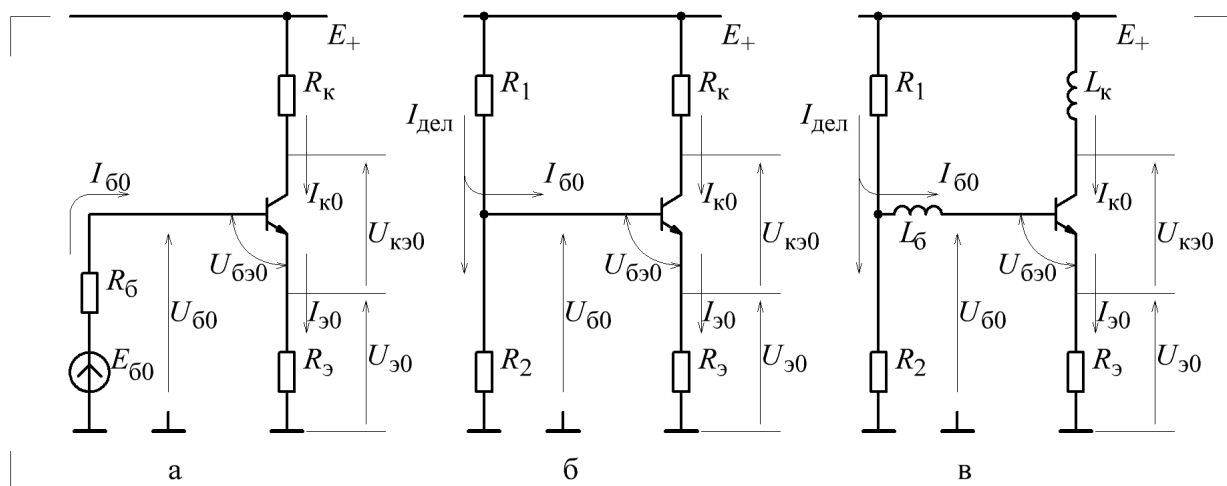


Рис. 8

При использовании двухполярного питания схемы стабилизации положения ИРТ с помощью фиксированного тока эмиттера строятся аналогично рис. 8, но необходимо учитывать, что токозадающим потенциалом является в этом случае не потенциал базы относительно точки нулевого потенциала $U_{б0}$, а потенциал базы относительно отрицательного напряжения питания U_0 (рис. 9а и 9б).

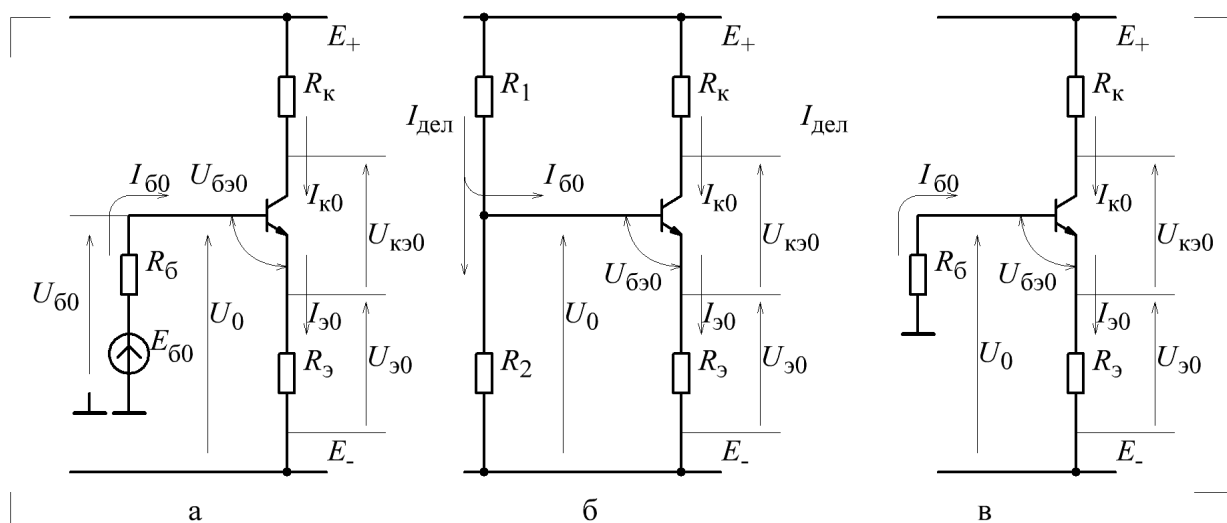


Рис. 9

Поэтому вывод базы можно по постоянному току соединить с землей (рис. 9в). Тогда $U_{б0} = 0$, $U_0 = -E_-$.

В литературе схемы с фиксированном током эмиттера называют схемами эмиттерно-базовой стабилизации, отражая тот факт, что в этих схемах стараются обеспечить фиксированный потенциал базы и ток эмиттера.

Эта схема обеспечивает наилучшую стабильность ИРТ и используется наиболее широко.

При построении многокаскадных схем с гальваническими (непосредствен-

ными) связями между каскадами распределение потенциалов планируется таким образом, чтобы выходной потенциал предыдущего каскада служил входным потенциалом следующего (рис. 10).

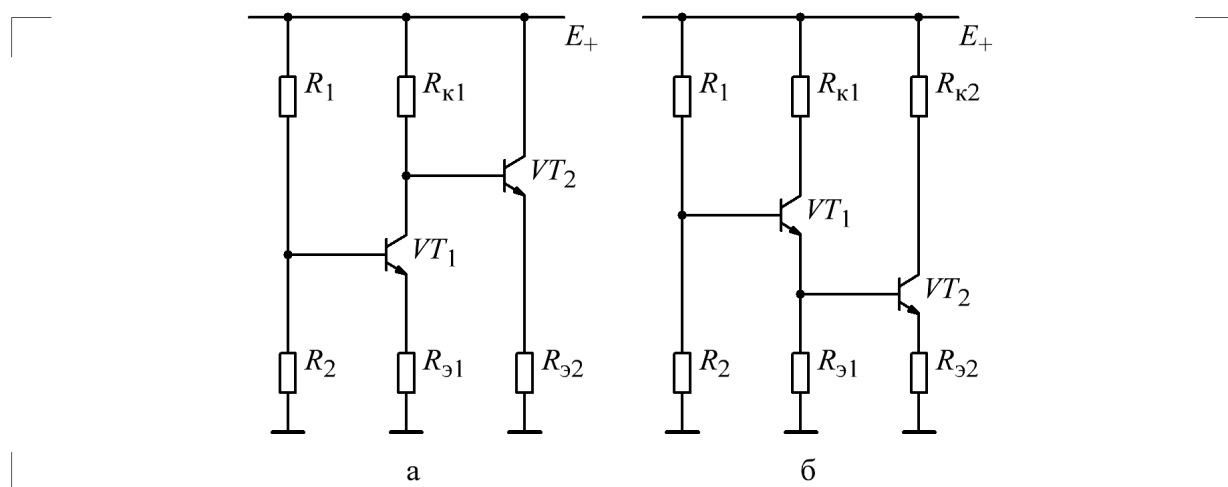


Рис. 10

В схеме на рис. 10а ИРТ обоих каскадов стабилизируется с помощью фиксированного тока эмиттера. Потенциал базы первого каскада задается с помощью резистивного делителя R_1 , R_2 , токозадающим резистором первого каскада является $R_{э1}$, потенциал базы 2 каскада определяется потенциалом коллектора 1 каскада, а токозадающим резистором 2 каскада является резистор $R_{э2}$. Схема рис. 10б отличается только тем, потенциал базы 2 каскада определяется потенциалом эмиттера 1 каскада.

К недостаткам схемы с фиксированным током эмиттера следует отнести потери напряжения питания на генераторе тока эмиттера.

В заключение следует отметить, что существуют методы стабилизации положения ИРТ, основанные на применении отрицательной обратной связи по постоянному току, рассматриваемые в разделе, посвященном анализу схем с обратными связями. Строго говоря, метод эмиттерно-базовой стабилизации представляет собой ни что иное как использование глубокой внутрикаскадной отрицательной обратной связи. Однако упрощенный анализ таких схем не требует применения теории обратной связи.