2. Н. Д. Босый. Каналы связи. Изд-во «Техника», Киев, 1963.
3. В. П. Сигорский. Методы анализа электрических схем с многополюсными элементами. Изд-во АН УССР, Киев, 1958.
4. В. П. Сигорский, А. И. Петренко. Основы теории электронных схем. Изд-во «Техника», Киев, 1967.

РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ДВУХПОЛЯРНЫХ КЛЮЧЕЙ

А. П. Стахов, Л. Л. Полосухина

Харьков

Широко применяемые в цифро-аналоговых и аналого-цифровых преобразователях транзисторные переключатели предназначены для коммутации напряжения, меняющегося относительно нулевого уровня; в дальнейшем будем называть их двухполярными. Они имеют ряд особенностей по сравнению с ключами однополярными. Эти особенности, а также практические методы расчета статических режимов для получения минимальных остаточных напряжений, не нашли в литературе достаточного отражения.

В данной работе рассмотрены некоторые качественные особенности работы таких ключей и даны количественные соотношения, позволяющие произвести предварительный расчет статических режимов с допустимой для практического использования точностью.

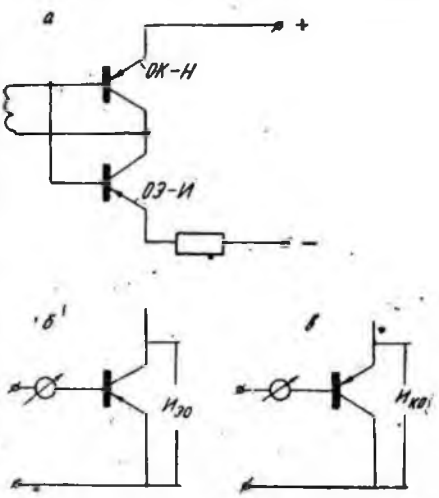


Рис. 1.

Обычно при проектировании рассматриваемых переключателей для цифро-аналоговых и аналого-цифровых преобразователей к ним предъявляются требования минимальной погрешности при измерении напряжений, минимального потребления мощности по цепи управления и часто гальванической развязки базовых цепей от логической части устройства.

Единственным вариантом включения транзисторов в двухполярном ключе, наилучшим образом удовлетворяющим этим требованиям, является последовательное соединение транзисторов, включенных по схемам «общий коллектор — нормальное включение» (ОК—Н) и «общий эммитер — инверсное» (ОЭ—И), причем при заданной полярности переключаемого напряжения коммутационные свойства при подаче и снятии управляющего напряжения будет иметь транзистор, включенный по схеме ОЭ—И (рис. 1). Его мы назовем рабочим. Второй транзистор (дополнительный) будет открыт, независимо от того, подано или снято управляющее напряжение. При изменении полярности переключаемого напряжения функции транзисторов меняются. Для определения статических режимов в области насыщения требуется знание зависимостей остаточных напряжений от базового тока для обеих схем. Данные характеристики в области насыщения являются существенно нелинейными (рис. 2).

На рис. 2 приведены:

кривая I — зависимость остаточного напряжения от базового тока для схемы ОЭ—И,

кривая II — для схемы ОК—Н. Общую зависимость получаем графическим суммированием кривых I и II (кривая III).

Так как эти характеристики в паспортах не приводятся, при проектировании ключей приходится снимать их по точкам для определенного количества экземпляров транзисторов из применяемой партии, затем полученные данные усреднять и по усредненным характеристикам

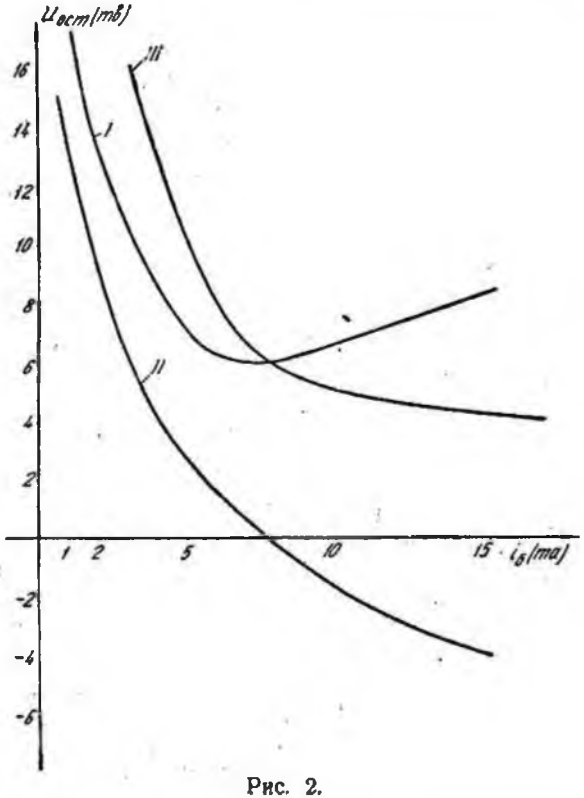


Рис. 2.

проектировщик имеет возможность выбрать необходимый режим. Такой метод является довольно трудоемким.

Приведенный ниже аналитический метод определения статических режимов двухполярных переключателей позволяет значительно упростить предварительные расчеты.

Как показано в работе [1], статические характеристики транзисторов в режиме насыщения хорошо аппроксимируются следующими выражениями:

$$U_{ост.оэ\text{-}и} = i_н (mэ i_{б1}^{nэ-1} + mк i_{б1}^{nк-1}) + mк i_{б1}^{nк}, \quad (1)$$

$$U_{ост.ок\text{-}и} = i_н (mэ i_{б2}^{nэ-1} + mк i_{б2}^{nк-1}) - mк i_{б2}^{nк}, \quad (2)$$

где $mэ = U_{эо1}$; $mк = U_{ко1}$;

$$nэ = \lg \frac{U_{эо2}}{U_{эо1}}; \quad nк = \frac{U_{ко1}}{U_{ко2}}$$

$U_{э01}$ измеряется по схеме, изображенной на рис. 1,*а* при токе базы 1_{ma}.

$U_{э02}$ по той же схеме, но при токе базы 10_{ma}.

$U_{к01}$ измеряется по схеме, изображенной на рис. 2,*б* при токе базы 1_{ma}.

$U_{к02}$ по этой же схеме, при токе базы 10_{ma}.

Таким образом, предварительные измерения сводятся к замеру остаточных напряжений при токе нагрузки, равном нулю только в двух точках: при базовых токах 1 и 10_{ma}.

Расчет коэффициентов mэ, mк, nэ, nк производится по усредненным значениям остаточных напряжений, снятых для нескольких экземпляров транзисторов из применяемой партии.

Воспользовавшись аналитическими выражениями (1) и (2), определим суммарную характеристику двухполярного ключа для двух случаев:

1. Полярность коммутируемого напряжения относительно нулевого уровня в процессе работы изменяется. В этом случае, как показывает практика, целесообразно управляющие токи делать равными, т. е. $i_{б1} = i_{б2}$ иначе при изменении полярности напряжения и соответственно функций транзисторов будет изменяться выбранный статический режим. При таких условиях выражение общей статической характеристики можно получить алгебраическим суммированием аналитических выражений (1) и (2).

$$U_{ост.\ общ} = 2i_н (m э i_б^{nэ-1} + m к i_б^{nк-1}). \qquad (3)$$

Анализ (3) показывает, что (3) является убывающей функцией от $i_б$.

$$U_{ост.\ общ.} \to 0$$
$$\text{при } i_б \to \infty.$$

Однако ток базы обычно ограничен мощностью источника управления и предельно-допустимой мощностью рассеивания на переходе; величина остаточного напряжения всегда конечна. В практике могут встретиться 2 варианта технического задания:

1. Задан ток базы. Определить остаточное напряжение. При этом подстановкой значений $i_б$ в (3) производим непосредственное вычисление.

2. Задано $U_{ост.общ.}$, определить граничный ток базы и проверить его физическую реализуемость.

Очевидно из (3)

$$i_б^{nк-1} \geqslant \frac{U_{ост}}{2i_н (m э A + m к)}, \qquad (4)$$

где $$A = i_б^{-k},\ k = nэ - nk;$$

так как (3) не разрешимо в явном виде относительно $i_б$, при расчете следует применять метод итераций. Приведенный на рис. 3 график позволяет легко производить эти расчеты. Практика показала, что достаточно двух-трех итераций.

2. Если коммутируется напряжение разной полярности относительно нуля и в процессе работы полярность его сохраняется, возможно существенно уменьшить общее остаточное напряжение, установив различные базовые токи в транзисторах.

Тогда общее остаточное напряжение выразится

$$U_{ост.} = i_н (m э i_{б1}^{nэ-1} + m к i_{б1}^{nк-1}) + m к i_{б1}^{nк} + i_н (m э i_{б2}^{nэ-1} + m к i_{б2}^{nк-1}) - m к i_{б2}^{nк}. \qquad (5)$$

$U_{ост1} = f(i_{б1})$ имеет минимум при токе базы $I_{б1}\left(\frac{(n_э - 1)\, m_э A}{(n_к - 1)\, m_к} + 1\right) i_н$. (6)

$U_{ост} = f(i_{б2})$ монотонно убывает, причем

при $I_{б2} = \left(\frac{m_э}{m_к} A + 1\right) i_н$ функция переходит через 0.

Установив в транзисторе, включенном по схеме ОЭ—И, базовый ток, соответствующий минимальному остаточному напряжению,

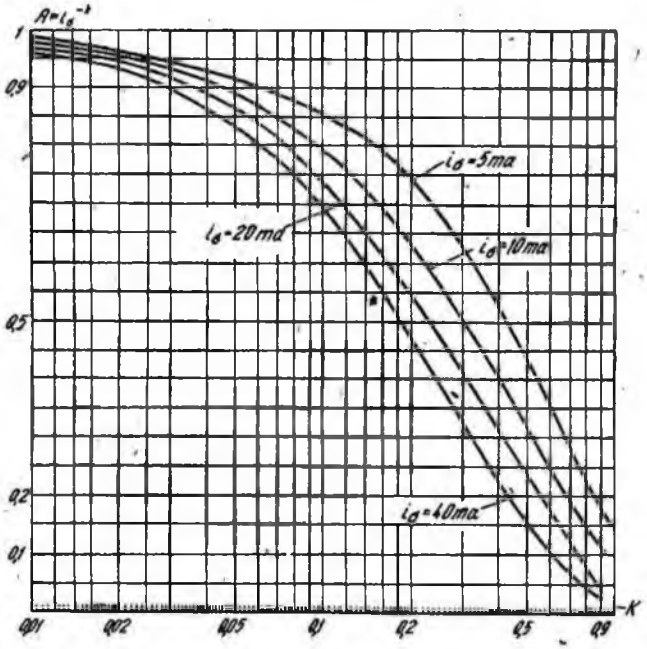


Рис. 3.

а в транзисторе ОК—Н — максимальный допустимый базовый ток, можно значительно уменьшить общее остаточное напряжение.

Из экспериментальных зависимостей можно заключить, что $I_{б1} - I_{б2}$ всегда >0, и достаточно вычислить по формуле (6) (применяя метод итерации и пользуясь графиком на рис. 3) значение $I_{б1}$, а затем выбрать $I_{б2} > I_{б1}$ исходя из возможностей управляющего источника и применяемого транзистора. Результирующее остаточное напряжение вычислить подстановкой $I_{б1}$ и $I_{б2}$ в выражение (5).

Для ускорения предварительных расчетов ниже приводится таблица усредненных значений коэффициентов *mэ, nэ, mк, nк*, снятых в ХИРЭ для нескольких типов транзисторов, используемых в схемах переключателей.

№ п/п	Тип транзистора	*mэ*	*nэ*	*mк*	*nк*
1	МП20	6,5	0,2	0,9	0,3
2	МП25	11	0,2	1,5	0,3
3	МП26	11	0,25	2	0,4
4	1Т115	6	0,2	0,8	0,3

Пример расчета

Задано: $U_{ост} - 5$ *мв.*

Полярность коммутируемого напряжения ± 10 *в* меняется в процессе работы.

Ток нагрузки — 2,5 *ма.*

Определить ток базы, реализующий заданный режим.

С точки зрения коммутируемого напряжения выбираем транзистор типа 1Т115.

Для него из таблицы находим:

$$m_э = 6;\ n_э = 0{,}2;\ m_к = 0{,}8;\ n_к = 0{,}3,$$

по формуле (4) путем итерации определяем ток базы

$$i_{б1}^{-0{,}7} \geqslant \frac{1}{6A + 0{,}8}.$$

Задаемся $A_1 = 1$. Правая часть неравенства равна 0,14. Откладываем ее по оси ординат графика (рис. 3).

Определяем $i_{б1} = 16_{ma}$.

Проводим вторую итерацию. $A_2 = 16^{-0{,}1} = 0{,}75$

$$i_{б2} = 11 ma.$$

Далее третья итерация $11^{-0{,}1} = 0{,}78$.

Левая часть неравенства 0,18, т. е. третью итерацию проводить нет необходимости.

Общий ток, который должна реализовать схема управления, — 22 *ма.*

Предложенный метод был использован в Харьковском институте радиоэлектроники при исследованиях прецизионных транзисторных переключателей напряжения. В ходе работ были сняты экспериментальные характеристики $U_{ост} = f(i_б)$ как для отдельных транзисторов, так и для двухполярных ключей. Эксперименты были проведены над десятками транзисторов различных типов. Разброс характеристик значителен, в области больших остаточных напряжений 35—45%, в области малых — 25÷35%. Характеристики, построенные аналитическим путем, отличались от экспериментальных не более чем на 10%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. И. Теняков. Некоторые вопросы анализа работы транзистора в режиме насыщения. «Изв. вузов, серия электромеханики», 1964, № 7.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ ФАБРИК

А. Г. Астахов, В. И. Кириллов, Н. Ф. Федоровский, Г. М. Хаиндрава

Тбилиси

Интенсивная работа мощных доменных печей требует повышения качества агломерата, в особенности его однородности.

Возмущения в составе агломерата обусловлены, отчасти, химической неоднородностью исходного сырья. Эти возмущения достаточно изучены [1]. Они устраняются целесообразным дроблением аглошихты и последующим тщательным усреднением каждого компонента.

Однако в шихтовых (дозировочных) отделениях, куда поступает уже усредненное сырье, возникают новые возмущения в соотношениях компонентов аглошихты, также вызывающие неоднородность свойств