

ЭЛЕМЕНТЫ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

УДК 681.142.622

Е. Г. ПРОНИН
(Москва)

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ УМЕНЬШЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ НАПРЯЖЕНИЕ — КОД

Рассмотрена возможность повышения частоты преобразования в электронном преобразователе напряжение — код с поразрядным кодированием, использующим в цепи обратной связи преобразователь код — напряжение с суммированием напряжений, коммутируемых транзисторными ключами. Резерв времени может быть получен при переменном такте преобразования. Приведен анализ дополнительных переходных процессов, имеющих место при переключении триодного ключа.

В современной измерительной технике и в системах с управляющей цифровой вычислительной машиной широкое распространение нашли преобразователи постоянного напряжения в код (ПНК), использующие метод поразрядного кодирования.

Одной из важнейших задач при разработке подобных ПНК является повышение частоты последовательных преобразований, или уменьшение времени одного преобразования. Уменьшение времени преобразования ПНК с поразрядным кодированием может быть достигнуто в основном только за счет уменьшения длительности такта кодирования на один разряд. В свою очередь сокращение длительности такого такта ограничено длительностью переходных процессов в ключевых схемах преобразователя код — напряжение (ПКН), включенного в цепь обратной связи ПНК.

В данной статье рассматривается возможность сокращения длительности такта преобразования ПНК с поразрядным кодированием, в цепи обратной связи которого используется преобразователь код — напряжение с суммированием напряжений на аттенуаторе сопротивлений на сплавных транзисторах. Для определения этой возможности следует провести анализ переходных процессов при работе триодного ключа в режиме насыщения. Указанные переходные процессы необходимо анализировать на основе положений, вытекающих из рассмотрения работы триода при большом сигнале, т. е. при больших уровнях инжекции носителей в базу транзистора. Исследование переходных процессов при включении и выключении транзистора целесообразнее проводить исходя из «метода заряда», сущность которого заключается в том, что явления, происходящие в триоде, определяются изменениями общего количества неосновных носителей в базе [1—3].

При насыщении транзистора обычно переходный процесс характеризуется временем задержки выходного импульса t_z и временем нарастания выходного импульса t_n [1, 3, 4].

При закрывании транзистора переходные процессы характеризуются временем рассасывания избыточных носителей, накопленных в триоде, t_p , и длительностью заднего фронта выходного импульса $t_{з. фр}$, состоящей из времени задержки и времени спада.

Если не учитывать влияния емкостей переходов и модуляцию этих величин, то перечисленные параметры определяются так:

$$t_z = \frac{\kappa \tau_n}{(1 + \beta_N)(1 + \kappa)} + 0,1 \tau_n \frac{I_{к.н}}{I_6 \beta_N}; \quad (1)$$

$$t_n \approx 0,8 \tau_n \frac{I_{к.н}}{I_6 \beta_N}; \quad (2)$$

$$t_p = \tau_n \ln \frac{I_6 - I_6'}{\frac{I_{к.н}}{\beta_N} - I_6'}; \quad (3)$$

$$t_{з. фр} = \tau_n \ln \frac{\beta_N (I_6 - I_6') - (s - 1) I_{к.н}}{\beta_N (I_6 - I_6') - (s - 0,1) I_{к.н}}, \quad (4)$$

где κ — коэффициент фазового сдвига, равный 0,21 для сплавных транзисторов;

τ_n — время жизни неосновных носителей;

β_N — коэффициент передачи тока базы к коллектору;

$I_{к.н}$ — ток коллектора в режиме насыщения;

I_6 — ток базы;

I_6' — запирающий (выключающий) ток базы;

S — коэффициент насыщения, равный $\frac{I_6}{I_{б.н}}$ ($I_{б.н}$ — величина базового тока насыщения).

Мы рассмотрели переходные процессы и их количественные характеристики, которые обычно принято учитывать при включении и выключении транзисторного ключа. Однако, если транзистор работает в режиме ключа, то возникают дополнительные переходные процессы на вершине выходного импульса, протекающие после включения (открывания) триода, т. е. в моменты времени, следующие за t_z и t_n .

На осциллограмме выходных импульсов триодного ключа эти явления выражаются в виде выбросов в начале вершины импульсов. В обычных импульсных схемах этими выбросами можно пренебречь, так как они малы по амплитуде (единицы — десятки милливольт) и длительности (единицы микросекунд). Но в схемах ПНК, ПКН и в коммутаторах входных величин для преобразователей эти выбросы могут играть существенную роль и должны учитываться при определении соотношений между временем и погрешностью. Ключи в схемах преобразователя служат для коммутации входных (преобразуемых) и эталонных напряжений. Стабильность передачи уровня последних должна составлять единицы и десятки милливольт и зависеть в основном от допустимой погрешности преобразователя и величины максимального входного напряжения. На точность (погрешность) преобразования

влияет и коэффициент передачи или погрешность ключа [5]. Поэтому важно знать не только характер переходного процесса на вершине импульса ключа при его включении, но и количественно определить этот процесс. Тогда можно будет установить связь между параметрами, характеризующими быстродействие и погрешность преобразования: чем выше допускается погрешность, тем раньше можно считать законченными переходные процессы на вершине импульса, т. е. тем меньше может быть такт кодирования и общее время преобразования.

После включения триода некоторое время наблюдаются процессы, связанные с изменением заряда у эмиттерного перехода и модуляцией объемного сопротивления полупроводника в области базы [6]. Эти процессы и определяют в основном выбросы на вершине импульса, амплитуда и длительность которых зависят от соотношения напряжения на эмиттерном переходе и произведения $I_6 r_{6.0}$. Учитывая временную зависимость коэффициента усиления по току, что характерно для триода, работающего в импульсном режиме, и опуская промежуточные выкладки, можно привести выражения для составляющих амплитуды выброса U_B :

$$U_B = U_э + U_б; \quad (5)$$

$$U_э = m \varphi_T \ln \left[\frac{I_6 \beta_{0I} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_H}} \right) - I_э}{I_{э.0} (1 + \beta_{0I})} + 1 \right]; \quad (6)$$

$$U_б = \frac{I_6 r_{6.0}}{1 + H r_{6.0} I_6}, \quad (7)$$

- где $U_э$ и $U_б$ — соответственно напряжения на эмиттере и базе;
 m — коэффициент, связанный с уровнем инжекции в базу ($m=1,1-1,2$ для германиевых триодов типа П14);
 φ_T — температурный потенциал триода, определяемый через абсолютную температуру T , константу Больцмана K и заряд электрона q_e ; $\varphi_T = \frac{kT}{q_e}$;
 β_{0I} — инверсный коэффициент усиления по току на низкой частоте;
 $I_э$ — ток эмиттера;
 $I_{э.0}$ — обратный ток эмиттерного перехода;
 $r_{6.0}$ — сопротивление базы при малых уровнях инжекции в базу;
 H — постоянная величина, определяемая через подвижности основных и неосновных носителей и геометрические параметры триода (для триода типа П14 $H = 5 \frac{1}{s}$).

Погрешность, определяемая выбросом, подсчитывается по формуле

$$\delta_B = \frac{U_B}{U_{B.уст}} - 1. \quad (8)$$

На рис. 1 и 2 приведены графики зависимостей $\delta_B(t_B)$ и $t_B(I_6)$, рассчитанных по приведенным формулам для транзисторов типа П14Б.

Однако для выявления полной связи между характеристиками ключа по времени и точности надо, кроме дополнительных переходных процессов, учитывать основной переходный процесс и зависимость коэффициента передачи ключа от тока базы.

Проводя соответствующие расчеты по формулам (1) и (2) для времени переднего фронта ($t_{п. фр}$) и используя график рис. 2, можно по-

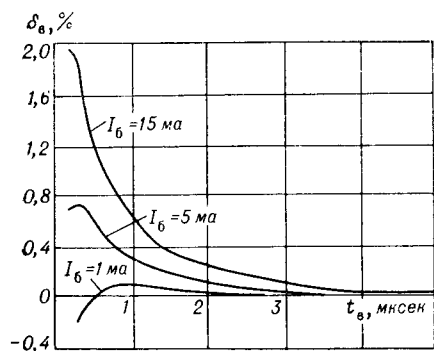


Рис. 1.

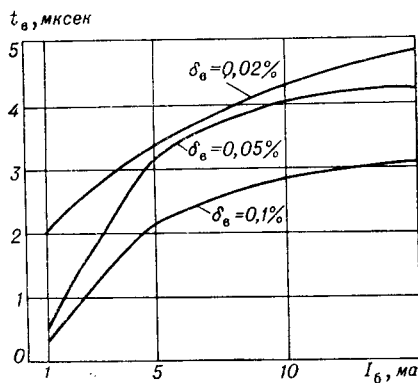


Рис. 2.

строить суммарную кривую, отображающую зависимость полного времени включения ключа $t_{вкл}$ от тока базы и учитывающую основной и дополнительный переходные процессы (рис. 3).

Из графика рис. 3 видно, что для любых значений погрешности время включения оказывается минимальным, если минимален ток базы.

Этот вывод противоречит установившимся представлениям, что минимальный переходный процесс при включении соответствует большим

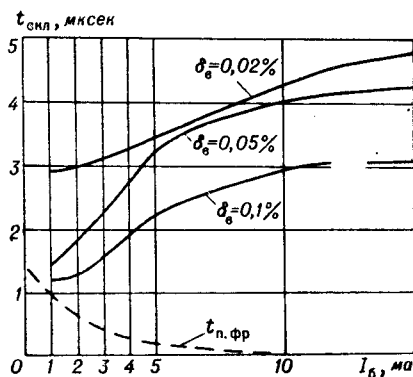


Рис. 3.

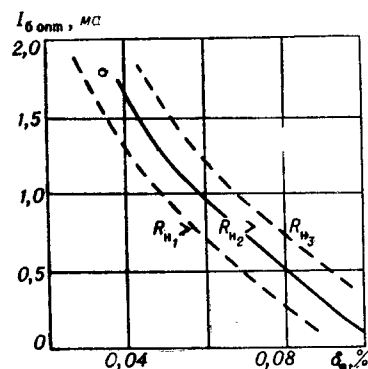


Рис. 4.

токам базы. Действительно, время основного переходного процесса уменьшается с увеличением I_6 (для иллюстрации и сравнения на рис. 3 показана зависимость $t_{п. фр}$ от I_6), но учет дополнительных переходных процессов изменяет подход к выбору I_6 .

Для определения $I_6_{опт}$, т. е. такого значения управляющего тока, которое обеспечивает при заданной погрешности минимальное время включения, необходимо одновременно учитывать зависимости $t_{вкл}$ и коэффициента передачи ключа от тока базы.

На рис. 4 приведена зависимость $I_{б.опт}$ от погрешности, полученная на основе теоретического анализа и экспериментального исследования триодного ключа с транзистором типа П14Б при входном напряжении +15 в и эквивалентном сопротивлении нагрузки 7,5 ком ($R_{н2}$). С увеличением $R_{н}$ кривая будет смещаться влево. Графики рис. 3 и 4 представляют некоторые результаты теоретических и экспериментальных исследований ключа в инверсном включении на сплавном триоде, связывая характеристики по времени и по точности.

Следует отметить хорошее совпадение результатов с экспериментальными данными. Следовательно, существует реальная возможность уменьшения времени преобразования ПНК с поразрядным кодированием за счет сокращения длительности такта в младших разрядах преобразователя, где допускаются большие погрешности. Такое решение усложняет схему управления ПНК, но позволяет уменьшить время преобразования в экспериментальной установке до 20 мксек при погрешности 0,1%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Т. М. Агаханян. Работа полупроводникового триода при больших сигналах.— ИВУЗ, Радиотехника, 1960, № 1.
2. Р. Д. Мидсбрук. Введение в теорию транзисторов. М., Атомиздат, 1960.
3. М. А. Абдюханов. О расчете процессов в полупроводниковых триодах методом заряда.— Радиотехника и электроника, 1960, № 8.
4. Т. М. Агаханян. Переходная и частотно-фазовая характеристики коэффициента передачи тока дрейфового триода.— Радиотехника, 1959, № 12.
5. В. Ю. Кончаловский. К вопросу точности бесконтактного преобразователя код — напряжение.— Автоматика и телемеханика, 1962, т. 23, № 12.
6. W. F. Gariano. Transient Analysis of Junction Transistors.— IRE Trans. on Electron. Devices, 1959, v. ED—6, № 1.

*Поступила в редакцию
1 ноября 1965 г.,
окончательный вариант —
14 декабря 1965 г.*