

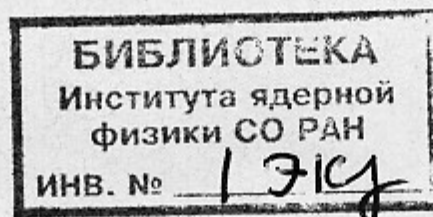
A.93

И Н С Т И Т У Т ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН С С С Р

И Я Ф 92 - 70

В.М.Аульченко, Ю.В.Коршунов

БЫСТРОДЕЙСТВИЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ ТОКА НА ТРАНЗИСТОРАХ



Новосибирск

1970

В.М.Аульченко, Ю.В.Коршунов

БЫСТРОДЕЙСТВИЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ ТОКА НА ТРАНЗИСТОРАХ

Приведено выражение, позволяющее оценить время переключения схемы переключателей тока. Приведены результаты измерения времени переключения для ряда высокочастотных германиевых и кремниевых транзисторов.

Схемы с эмиттерной связью вида рис.1 находят широкое применение в ядерной электронике. Основными достоинствами схем являются высокая скорость работы по сравнению с другими схемами включения транзисторов, высокая стабильность в статическом режиме, хорошая помехоустойчивость, малая зависимость выходного сигнала от большинства параметров транзисторов /1/.

Развитие техники интегральных схем также показывает существенное преимущество в скорости работы логических схем, построенных на переключателях тока (ПТТЛ-логика) по сравнению с другими системами логических элементов (ДТЛ, ТТЛ-логика) /2/. Так для наиболее распространенных логических схем ТТЛ среднее время распространения сигнала $t_p = 10-15$ нсек, в то время как для схем ПТТЛ $t_p = 1-2$ нсек /3/, /4/.

Перечисленные достоинства обеспечили широкое распространение схем переключения тока СПТ в быстродействующей электронной аппаратуре.

Разработанная в нашем институте электронная аппаратура наносекундного диапазона /5/ в качестве основного переключающего элемента использует СПТ, выполненные на кремниевых и германиевых высокочастотных транзисторах.

Время переключения

Выражение для времени переключения СПТ может быть получено из следующих соображений. При переключении тока из транзистора T_2 в T_1 , рис.1 количество заряда, передаваемое транзистору за время нарастания

$$Q_{вх.} = i_{вх.} \cdot t_n = \frac{E}{R} t_n \quad (1)$$

где E - напряжение на входе переключателя тока,

$R = R_r + 2r'_b$ - полное последовательное сопротивление в цепи генератора сигнала.

В конце времени переключения входной заряд $Q_{вх.}$ должен быть равен активному заряду Q_A в базе транзистора T_1 . В /1/ показано, что активный заряд в базе T_1

$$Q_A = \left(\frac{1}{\omega_T} + R_n C_{кб} \right) I_k \quad (2)$$

где ω_T - предельная частота усиления транзистора,
 R_n - сопротивление нагрузки,
 $C_{кб}$ - эффективная ёмкость база-коллектор,
 I_k - ток коллектора.

В случае токового ключа, работающего без насыщения с малыми амплитудами изменения коллекторного напряжения, можно считать, что эффективная ёмкость $C_{кб}$ равна выходной ёмкости транзистора C_k , а частота ω_T не зависит от напряжения на коллекторе.

Учитывая приведенные упрощения из (1) и (2), получаем выражение для времени переключения СПТ. Фронт определяется от 0,1 до 0,9 амплитуды выходного импульса

$$t'_n = \frac{0,8 (\frac{1}{\omega_T} + R_n C_k) I_k}{E / (R_r + 2r'_b)} \quad (3)$$

Приведенное выражение не учитывает фронт импульса управления и справедливо лишь для $t_{ф.у.} = 0$.

Более точное выражение для фронта переключения будет иметь вид:

$$t_n = t'_n + \frac{t_{ф.у.}}{2}, \text{ если } t'_n \gg \frac{t_{ф.у.}}{2} \quad (4)$$

и

$$t_n = \sqrt{2t'_n t_{ф.у.}}, \text{ если } t'_n \leq \frac{t_{ф.у.}}{2} \quad (5)$$

Более полный анализ времени переключений СПТ, использующий нелинейную модель транзистора, приведен в /2/, см. также /6/.

Для определения скорости переключения различных типов транзисторов и проверки выражения (3) нами был испытан в СПТ целый ряд транзисторов.

Результаты измерений

Схема измерений приведена на рис.2. От импульсного генератора импульс с длительностью фронта $t_{ф.у.} = 1,5$ нсек через сопротивление $R_r = 50$ ом подавался на транзистор T_1 . Время переключения СПТ t_n измерялось в коллекторе T_2 стробоскопическим

осциллографом, имеющим собственное время нарастания $t_{осц.} = 0,35$ нсек. Измеренное время переключения сравнивается с временем переключения, полученным из (3). В расчётах принималось, что

$$\omega_T = |\beta|_{min} \omega_{изм.}$$

$|\beta|_{min}$. — модуль коэффициента передачи тока. Минимальное значение,

$\omega_{изм.}$ — частота на которой измеряется $|\beta|$. Результаты измерений и расчёта приведены в таблице 1.

Из таблицы видно, что для большинства транзисторов нет линейной зависимости между t_n и I_k . Это может быть связано с тем, что коэффициент передачи тока β , изменяясь в зависимости от тока коллектора, проходит максимум, в результате меняется f_T .

Существенное различие измеренного и расчётного значения для транзистора ГТ330Б, по-видимому, объясняется тем, что этот тип транзистора рассчитан на работу в высокочастотных линейных схемах с малыми токами коллектора.

З а к л ю ч е н и е

Из приведенных данных видно, что выпускаемые промышленностью серийные транзисторы могут быть использованы для формирования импульсов тока с длительностью фронта $2\div 3$ нсек.

Выброс на переднем фронте импульса включения транзистора T_2 , по-видимому, связан с тем, что ёмкость эмиттерного перехода транзистора T_1 играет роль ускоряющей /2/. Подтверждение этого предположения можно получить из рассмотрения нелинейной модели. Следует заметить, что величина выброса не превосходит 15-20% и в подавляющем большинстве случаев может не приниматься во внимание.

Л и т е р а т у р а

1. Motorola high speed switching transistor handbook.
Motorola, 1963.
2. Анализ и расчёт интегральных схем т.2 под ред. Д.Лина,
Г.Мейера, Д.Гамильтона. Издательство "Мир", Москва, 1969.
3. Микроэлектроника, сборник статей, вып.1, Сов.радио, Москва,
1967.
4. The Integrated circuit data book; Motorola inc.
5. В.М.Аульченко, Ю.В.Коршунов, Г.Г.Мелехов. Препринт ИЯФ,
6-70, Новосибирск, 1970.
6. High-speed switching properties of the emitter-
coupled transistor-pair. Slac report, No 97.

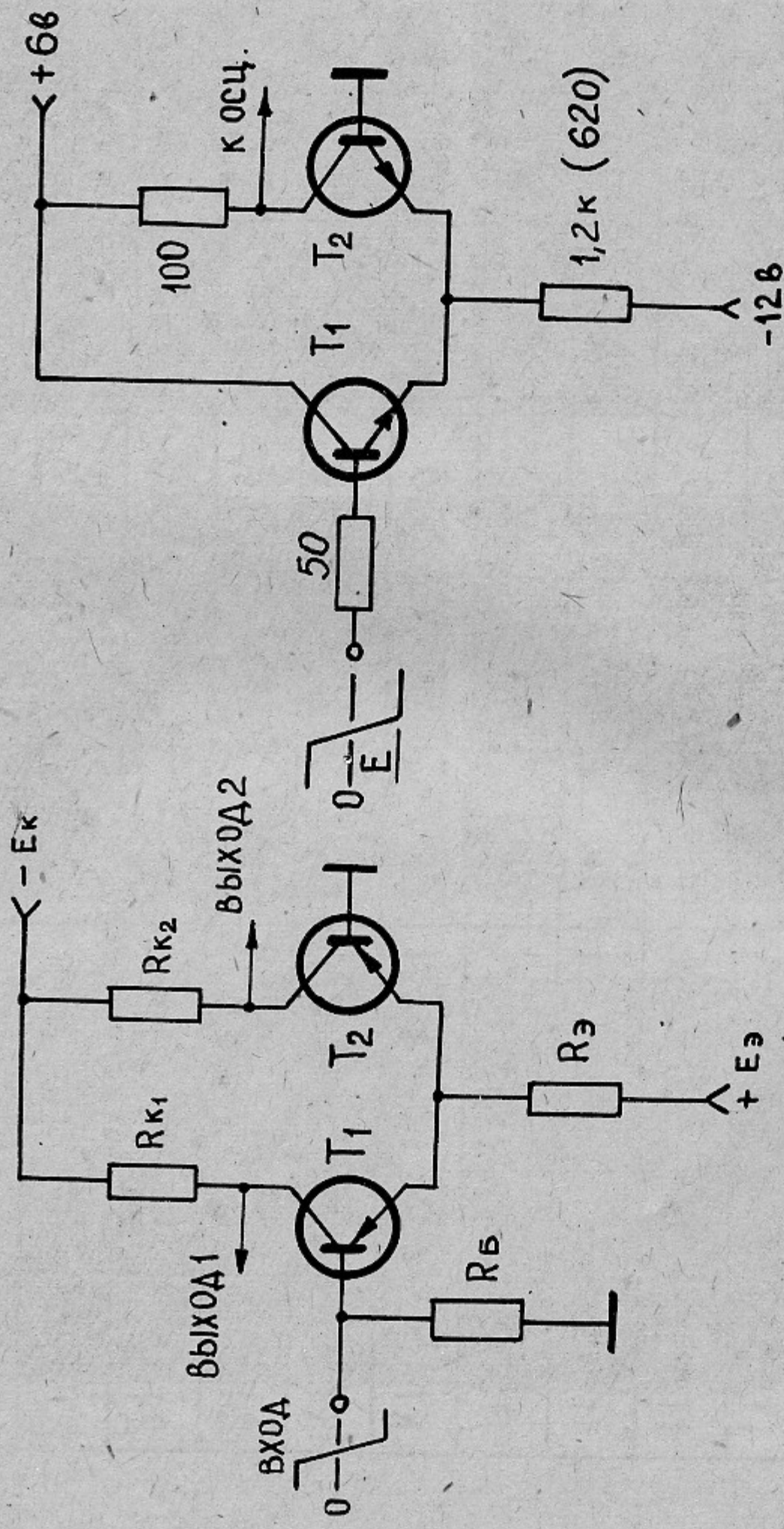
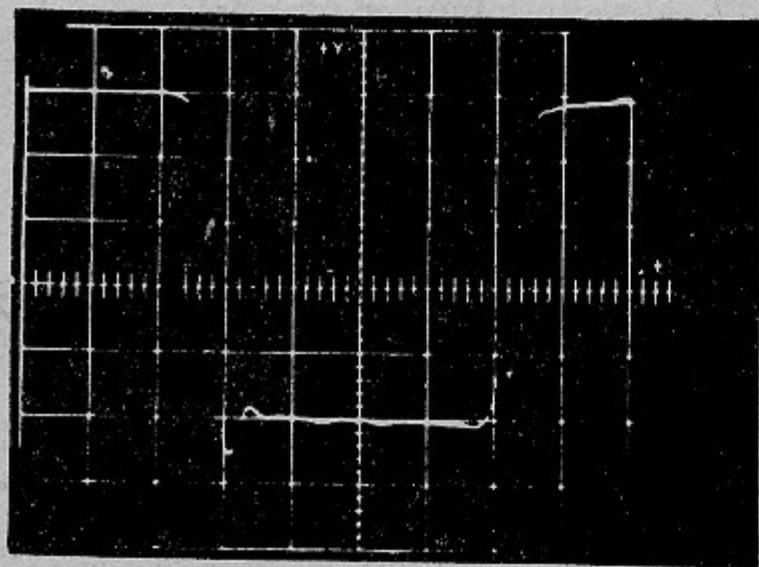


Рис. 1.

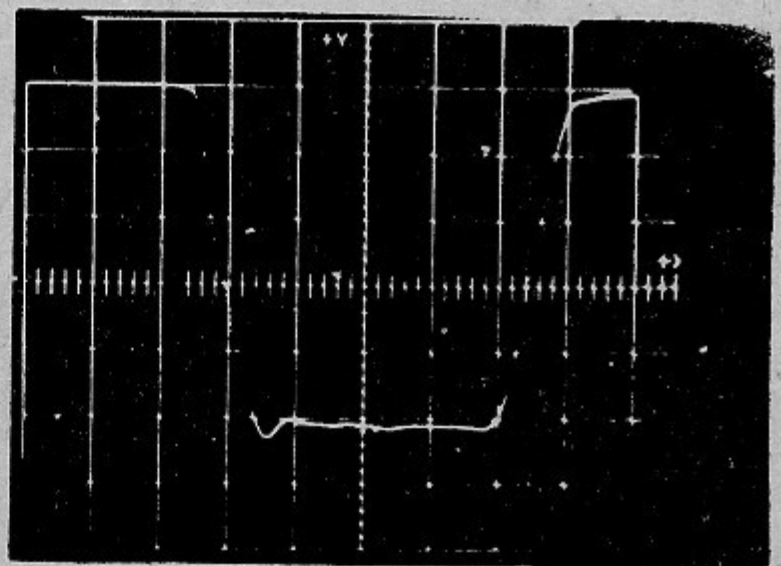
Рис. 2.

Тип транзистора	Материал	Проводимость	Ik ма	fT мГц	tн Нсек измерен.	tн Нсек расчет.	Примечание
1Т311Б	Ge	n-p-n	10	300	1,5	2,1	фото 1
1Т311Б	Ge	n-p-n	20	300	4,0	3,45	фото 2
1Т313Б	Ge	p-n-p	10	300	1,0	1,88	фото 3
1Т330Б	Ge	n-p-n	10	1500	1,9	1,6	фото 4
1Т330Б	Ge	n-p-n	20	1500	4,0	2,35	фото 5
КТ315Б	Si	n-p-n	10	250	2,0	1,65	фото 6
КТ315Б	Si	n-p-n	20	250	4,3	2,55	фото 7
2Т306	Si	n-p-n	10	500	1,4	3,0	фото 8
2Т306	Si	n-p-n	20	500	3,0	5,3	фото 9
2Т319Г	Si	n-p-n	10	350	1,6	—	фото 10
опытный	Si	p-n-p	10	~500	3,8	—	фото 11
1Т311Б	Ge	n-p-n	10	300	1,4	3,0	фото 12
			20	~500	3,0	—	фото 13
			10	300	3,0	3,0	фото 14

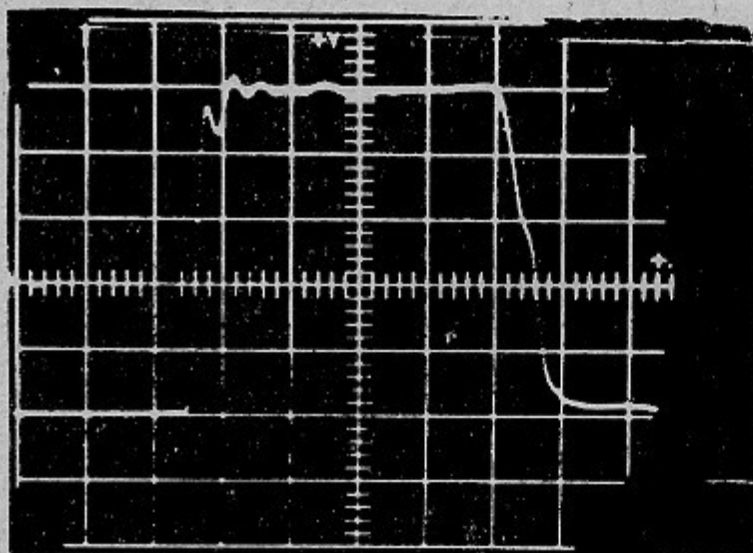
Таблица 1.



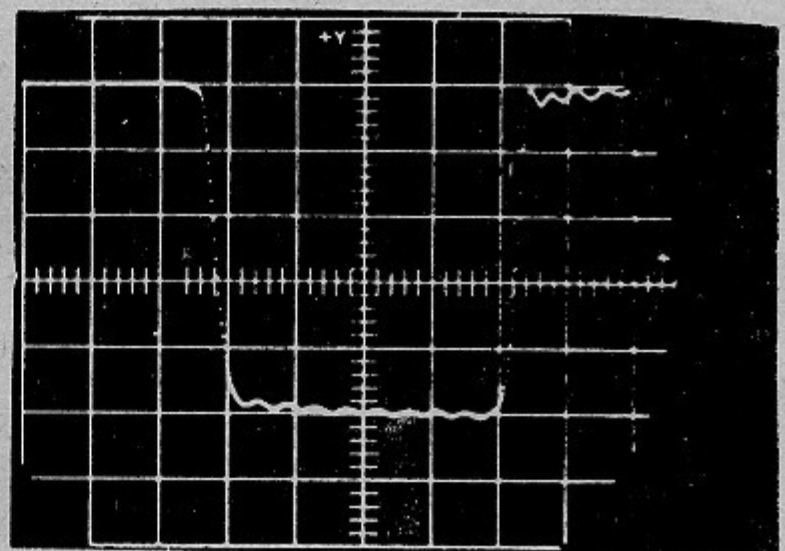
1



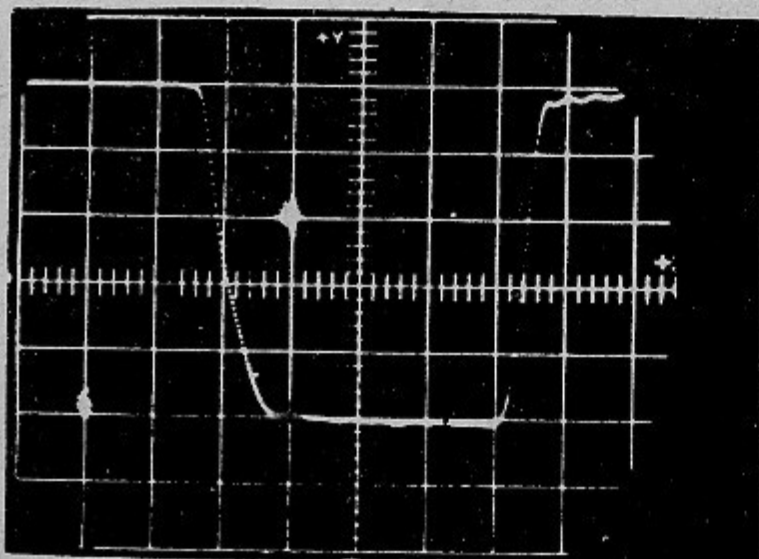
2



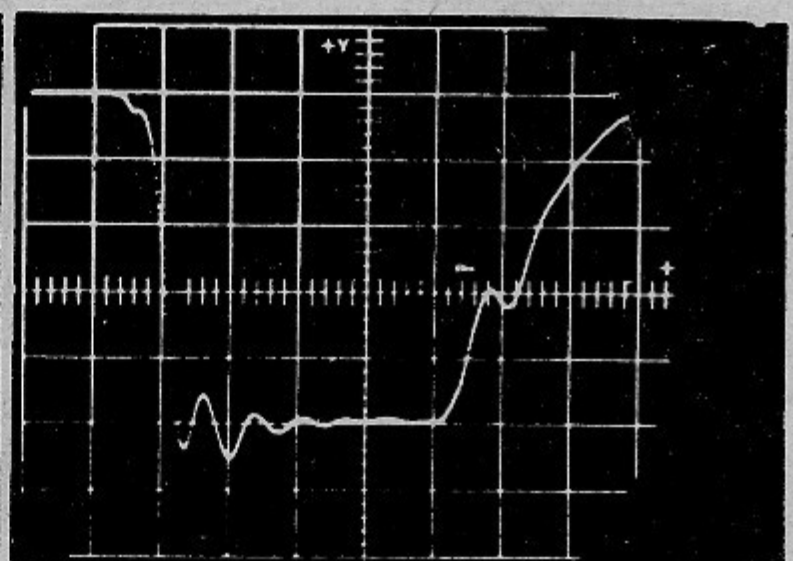
3



4



5



6

9.

Ответственный за выпуск Ю.В.Коршунов

Подписано к печати 3.11.70

Усл. 0,5 печ.л., тираж 150 экз. Бесплатно.

Заказ № 92 . ПРЕПРИНТ

Отпечатано на ротапринтере в ИЯФ СО АН СССР, нв.