

„Утверждено“

Научный руководитель работ  
по заказу 1168

Корсун /коротков/

„ 8 “ августа 1964г.

Рекомендации  
по созданию узлов и блоков на  
твердых схемах

Ведущий конструктор

Галин /Гальперин/  
28/VIII-64г.

Старший инженер

Шауэр /Тaubкин/  
26./VIII-64г.

## I Назначение

1. Настоящие рекомендации излагают общие сведения о твердых схемах (ТС) и особенностях построения узлов и блоков на Т.С.

2. Настоящие рекомендации содержат основные положения, которыми должен руководствоваться разработчик на этапе выбора направления работ по созданию узлов и блоков на Т.С. по заказу 1158.

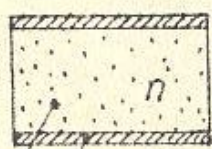
## II Общие сведения по ТС

3. Интегральная твердая схема - представляет собой полупроводниковую пластинку, в которой отдельным участкам за счет введения соответствующих примесей, приданы свойства эквивалентные сопротивлениям, емкостям, диодам и транзисторам, а в совокупности Т.С. выполняет функции аналогичные обычным электронным схемам. Высокая плотность монтажа Т.С. ( $1000 \text{эл}/\text{см}^2$ ), позволяет примерно на два порядка сократить объем электронной аппаратуры и создает новые возможности резкого повышения ее надежности. По мере развития массового производства стоимость ТС приближается к стоимости схем из дискретных деталей.

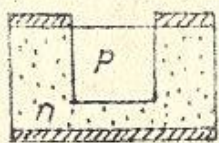
4. Способ изготовления твердых схем заключается в следующем:

Монокристаллический кремний „n“ или „p“ типа разрезается на пластины, которые затем шлифуются. Отшлифованные пластины обрабатываются при высокой температуре в атмосфере паров воды, благодаря чему они покрываются защитной пленкой окиси кремния ( $\text{SiO}_2$ ). (Рис. 12) В защитной пленке методом фотолитографии создается определеннный рисунок, т.е. вытравливая

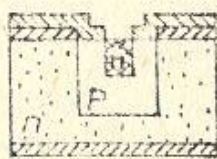
"окна" получают участки поверхности кремниевой пластинки, незащищенные окисной пленкой. В незащищенные области посредством диффузионного процесса вводится примесь (донорная или акцепторная) и таким образом создается диодная структура (Рис. 1б). Для получения транзисторной структуры процесс фотолитографии и диффузии повторяют и в ранее образованной донорной диффузионной области создают акцепторную. (Рис. 1в).



Кремний п-типа  
Окисная пленка ( $SiO_2$ )  
а



Диодная  
структура  
б



Триодная  
структура  
в

Рис. 1.

Аналогичным способом получают твердосхемные сопротивления: тонкий диффузионный слой изолируется от монокристалла р-п переходом, представляющим растеканию линий тока из сопротивления в монокристалл.

Твердосхемные конденсаторы создаются за счет использования емкости р-п перехода. Выше описанный процесс получения р-элементов в монокристалле кремния носит название "Планарного". Сопротивления и конденсаторы в твердых схемах можно получать тем же способом тонкопленочной технологии, заключающейся в нанесении резистивной (для сопротивлений) или изолирующей (для конденсаторов) тонкой пленки на поверхность монокристалла.

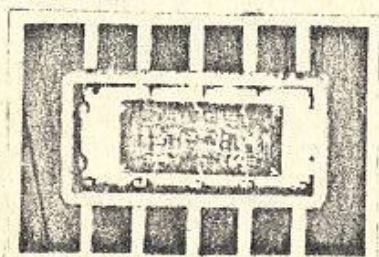
Полупроводниковая пластина с компонентами твердой схемы, снова покрывается защитной пленкой окиси кремния, в которой вытравляются "окна" для образования выводов от ком-

понентов. Полученная полупроводниковая пластинка с компонентами твердой схемы называется базовым кристаллом.

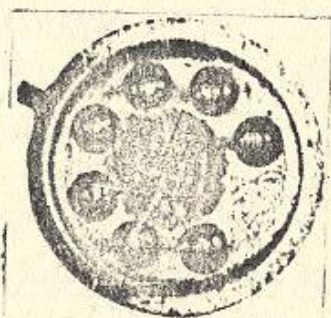
Необходимые внутренние соединения между компонентами базового кристалла образуются посредством металлизации (напылением тонкого слоя металла) через маску в травленые отверстия в защитной окисной пленке.

Последующими операциями в изготовлении твердых схем является подсоединение необходимых точек базового кристалла к внешним выводам корпуса и герметизация схемы.

Внешний вид твердой схемы показан на рисунке 2.



а) твердая схема в плоском корпусе.



б) твердая схема в объемном корпусе.

Рис. 2

### III Базовый кристалл.

5. Базовый кристалл является основой твердых схем и определяет возможное число разновидностей схем, которые могут быть созданы на его основе. Используя один базовый кристалл, выпускается серия типовых твердых схем.

6. Возможности твердых схем могут быть значительно расширены за счет использования базового кристалла, как определенного набора деталей: комбинируя их соединения можно создать почти типовых твердых схем ряд сле-

циальных. Универсальность базовых кристаллов определяется тем, насколько правильно произведен выбор компонент и их расположение на плате.

7. Состав компонент и их параметров для 3-х базовых кристаллов 51, 52 и 53 серий твердых схем фирмы Texas Instruments, <sup>аналоги</sup> которых намечены к воспроизводству в СССР приводятся ниже.

Компоненты базового кристалла 51 серии.

Компоненты	Тип	Количество	Американский аналог и параметры	Близкий по параметрам отечеств.	Примечание.
Транзистор	п-р-п (планарный пассивиров.)	7	2N706A $f_T - 130 \text{ МГц}$ $\beta - 20 \div 50$ $U_{нас} - 0,6 \text{ В}$	А417 или А400Б	
Диод	планарный пассивиров	7	1N914 $U_{пр} - 1 \text{ В при } I_{0 \text{ ма}}$ $I_{обр} - 0,025 \text{ мка}$ $t_{восст.} - 4 \text{ нсек}$	Б14А или Б14Б	
Конденсаторы	р-п	2	$C - 120 \text{ пф}$ 5 ком		
Сопротивление	диффузионное	3	(отводы 1, 2 и 3 ком)		
Цепочка АС		6	$R - 20 \text{ ком}$ $C - 60 \text{ пф}$		

Компоненты базового кристалла 52 серии.

Транзистор	п-р-п	2	2N706A	А417, А400Б	
	р-п-р	5	2N582 $\beta_{min} - 40$ $f_{д.е.} - 14 \text{ МГц}$		
Сопротивление	диффузионное	5			

Компоненты базового кристалла 53 серии.

Транзистор	п-р-п	28	2N706A	А417, А400Б	
	р-п-р (собщ. коллект.)	10	2N582		

Компоненты	Тип	Количество	Американский аналог и параметры	Ближкий по параметрам отечественн.	Примечание
Конденсатор Сопротивле- ние	диффузи- онное	4	25 пФ		
		1	15 пФ		
		2	8кОм (отв. 1,5-1,5-50)		
		2	4кОм (отв. 1-2-1)		
		2	4кОм (отв. 1,5-1,5-0,07)		
		2	3кОм (отв. 1,5-1,5)		
		4	3кОм (отв. 2-1)		
		2	2,5кОм (отв. 1-1-0,5)		
		2	2кОм (отв. 1-1)		
		2	2,9кОм (отв. 1,5-0,25-0,15)		
		2	0,7кОм (отв. нет)		
		6	0,3кОм (отв. нет)		

Структура твердой схемы определяется принятой технологией изготовления.

Базовый кристалл 51 серии имеет наиболее простую 3-х слойную кремниевую структуру, позволяющую изготавливать транзисторы только п-р-п типа. Более современная технология изготовления базовых кристаллов последующих 52 и 53 серий позволяет получать четырехслойную кремниевую структуру и получение транзисторов как п-р-п так и р-п-р типов с более высокочастотными свойствами. Кроме того четырехслойная структура и более совершенная технология позволяет в 53 серии (по сравнению с 51) увеличить число компонент базового кристалла с 37 до 68.

#### IV Характеристики твердых схем.

8. Твердые схемы по выполняемым функциям делятся на два основных класса:

- 1) аналоговые твердые схемы,
- 2) логические твердые схемы

Ниже приводятся сравнительные таблицы наиболее характерных аналоговых и логических твер-

двух схем, серийно выпускаемых основными американскими фирмами. Приведенные типы твердых схем рассчитаны на работу в интервале температур  $-55 + 125^{\circ}\text{C}$  и удовлетворяют требованиям, предъявляемым бортовой аппаратуре.

Сравнительная таблица наиболее характерных аналоговых твердых схем зарубежных фирм.

Фирма	Наименование твердой схемы (тип)	Функция (описание)	Усиление	Полоса пропускания	Входное сопротивление	Выходное сопротивление	Мощность рассеяния при $25^{\circ}\text{C}$
Fairchild	JCS III	Дифференц. усилитель с компенсацией нулевого дрейфа	90 дБ	1,2 МГц	5 ком	300 ом	50 мВт.
	JIA700	Дифференц. усилитель	100 дБ	2 МГц	10 ком	250 ом	80 мВт.
	JIA702	Операционный усилит.	70 дБ	0,5 МГц	10 ком	100 ом	100 мВт.
	JIA704	Видеоусилитель	33 дБ	60 МГц	-	-	200 мВт.
	JCS 108	Триггер шmittа	Порог срабатывания		100 мВ отпущения		300 мВ.
Westinghouse	WM1110	Двухкаскадная схема Дарлингтона	1500	0,1 МГц			
	WM1111	Двойное униполярное устройство.		5 МГц	20 ком		
	WM1104	Детектор		0,45-30 МГц			
Texas Instrument	SN521	Операционный усилит.	62 дБ	0,06 МГц	12 ком	8 ком	28 мВт.
	SN522	Операционный усилит. с эмиттерным повторителем.	62 дБ	0,06 МГц	12 ком	160 ом	28 мВт.

Сравнительная таблица наиболее характерных цифровых логических твердых схем зарубежных фирм.

№ п/п	Фирма	Тип логики	Функция	Мощность рассеяния	Время за-паздывания	Количество нагрузок	Скорость переключен.
Motorola		МК302G	Триггер	10 мвт	12 нсек		
		МК303G	Полусумма-тор.	6	6 нсек		30 МГц
		МК306G	Ключ на входе	6	6 нсек	26	30 МГц
Sylvania		SN64	Двойной вентиль	15 мвт	10 нсек	20	15 МГц
		SN62	Nand/Not Двойной вентиль	6 мвт	6 нсек	5	20 МГц
Fairchild		904	Nand/Not Полусумма-тор	45 мвт	16 нсек	5	
		906	Регистр полусдвига	35 мвт	22 нсек	4	
Texas instruments		SN511	Триггер с эмиттерн. повторит.	7 мвт	50 нсек	20	0,6 МГц
		SN513	Nand/Not Ключ на входе с эмиттерн. повторит.	7 мвт	50 нсек	25	0,6 МГц
		SN530	Триггер	27 мвт	45 нсек	10; 10	3 МГц
		SN531	Ключ на входе Nand/Not.	10 мвт	25 нсек	10; 10	3 МГц

Как видно из сравнительных таблиц:

1. Лучшие логические твердые схемы обладают быстродействием до 30 МГц

2. Лучшие аналоговые схемы обеспечивают полосу пропускания в несколько мегагерц.



9. 51, 52 и 53 серии твердых схем фирмы Texas Instruments нашли широкое применение зарубежом и предполагаются к воспроизводству у нас. Твердые схемы 51, 52 и 53 серий оформлены в корпуса с габаритами 6,3x3,1x0,8 мм. Вес твердой схемы в корпусе составляет 0,05г. В схеме предусмотрено 10 внешних выводов. Габаритные размеры твердой схемы 51, 52 и 53 серий в корпусе приведены на рисунке 4.

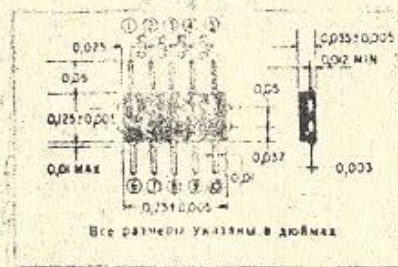


Рис. 4

### Габариты твердых схем.

10. 51 серия твердых схем состоит из транзисторных типовых логических схем с RC связями, при этом используются сочетания логических элементов типа Nand/Not, которые широко используются в существующих цифровых логических устройствах и допускают значительные разбросы номинальных значений параметров отдельных компонентов.

Все схемы 51 серии питаются постоянным напряжением от 3 ± 20 ВВ. Рабочий диапазон температур от -55 до +125 °C

Серия 51 состоит из твердых схем 6-ти типов SN510 - SN515.

SN510 - ждущий мультивибратор

SN511 - ждущий мультивибратор с эмиттерным повторителем на входе.

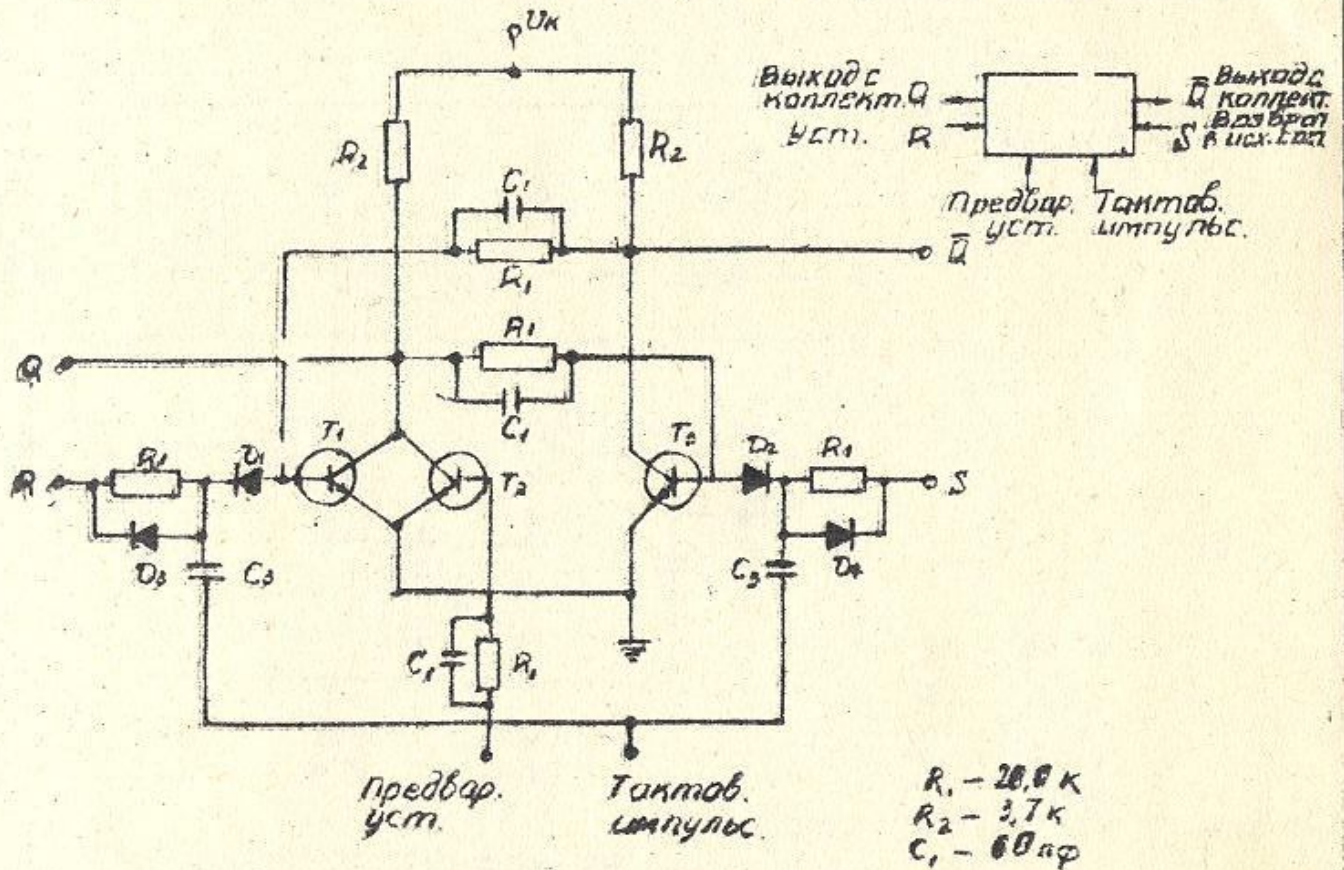
SN512 - логическая схема Not/Nand

SN513 - логическая схема Not/Nand с эмитт. повтор. на выходе.

SN514 - логическ. схема Not/Nand на 3-х трин. входах.

SN515 - схема Или с инверсией.

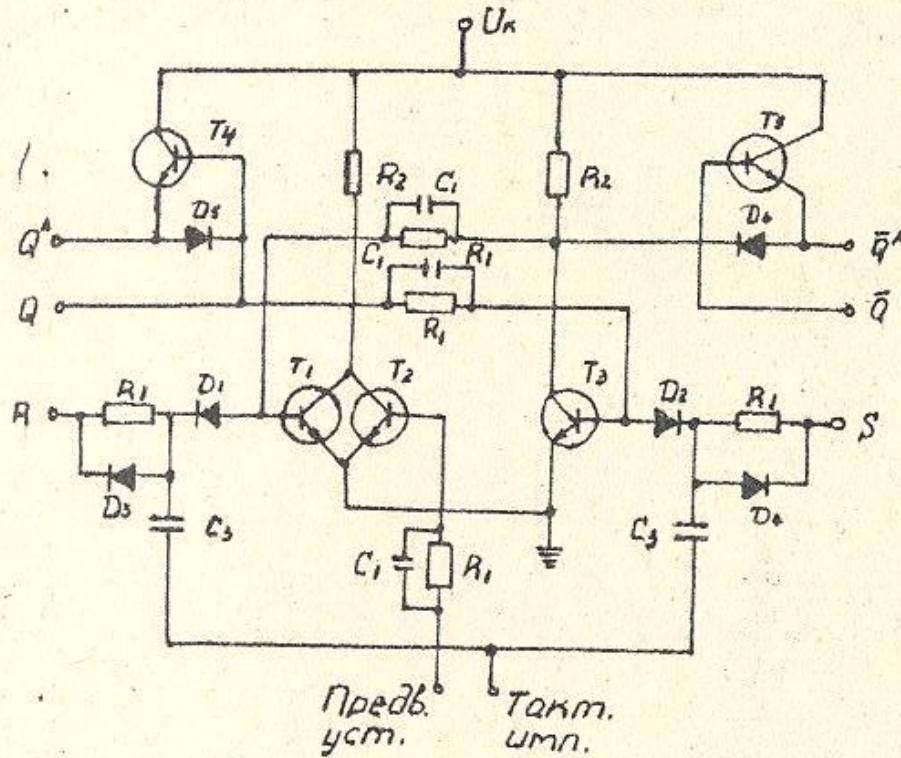
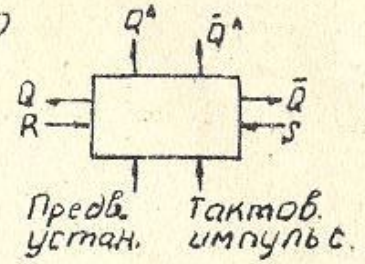
# SN510 - ждущий мультивибратор



Мощность рассеивания  $2 \text{ мВт}$  при  $U_k = 3 \text{ В}$  и  $\text{потр. мощность}$   
 $7 \text{ мВт}$  при  $U_k = 6 \text{ В}$  и  $\text{потр. мощность}$   
 Коэффициент разветвления = 4  
 Максимальная тактовая частота -  $1 \text{ МГц}$

Входное напряжение $t = 25^\circ\text{C}$ ; $f = 100 \text{ кГц}$	$U_k = 3 \text{ В}$		$U_k = 6 \text{ В}$	
	min	max	min	max
Напряжение, подает на вход, "предв. уст." $t = 25^\circ\text{C}$	0,35	1,7	0,4	2,5
Напряжение, подает на вход, "предв. уст." $t = 55^\circ\text{C}$	1,15		2	
Напряжение, подает на вход, "предв. уст." $t = 55^\circ\text{C}$	1,6		2,5	

# SN511-жадуцый мультивибратор с эмиттерным повторителем на входе.



- $R_1 - 20 \text{ к}$
- $R_2 - 3,7 \text{ к}$
- $C_1 - 60 \text{ пф}$
- $C_3 - 120 \text{ пф}$

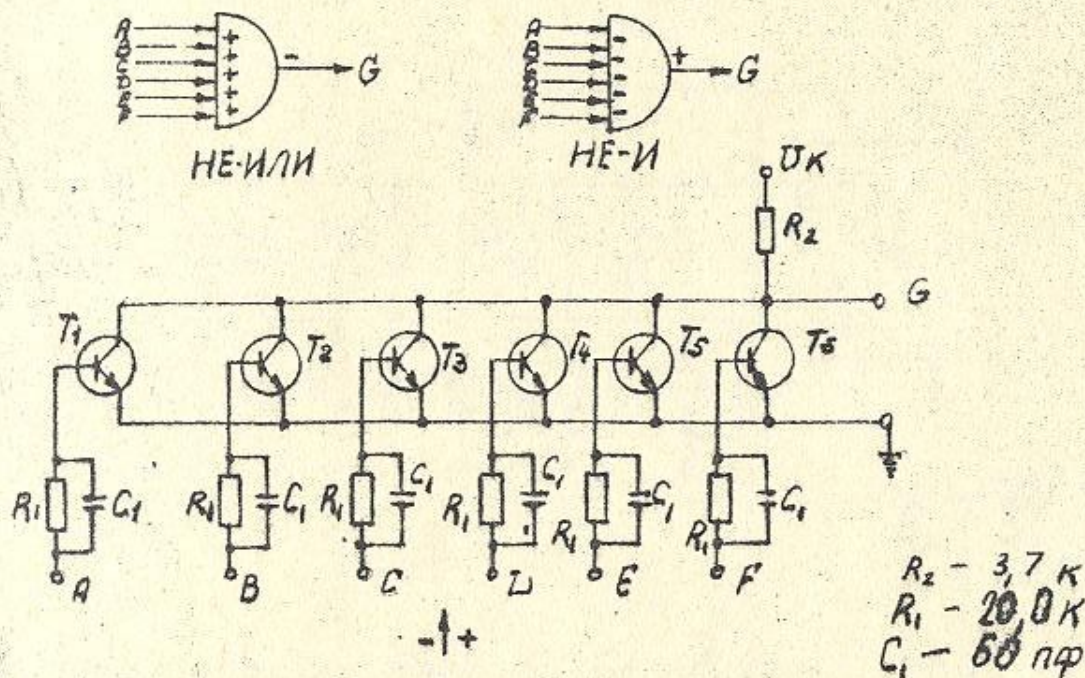
Мощность рассеивания  $7 \text{ мвт}$  при  $U_k = 6 \text{ В}$ ,  $\text{потр. мощн } 18 \text{ мвт}$   
 $2 \text{ мвт}$  при  $U_k = 3 \text{ В}$ ,  $\text{потр. мощн } 3 \text{ мвт}$   
 Напряжение питания  $-8 \text{ В}$   
 Максимальная тактовая частота  $1 \text{ Мгц}$

Входные напряжения и напряжения, подаваемые на вход предварительного устройства аналогичны SN510.

Коэффициент разветвления 10

Электрическая схема аналогична схеме SN510, но добавлен на вход эмиттерный повторит.

Логическая схема Noz/Nand. SN512



Напряжение питания - 6В

Средняя мощность рассеивания 7 мВт ( $U_k = 6В$ )

2 мВт ( $U_k = 3В$ )

Потребляемая мощность 8 мВт ( $P_{рас.} = 7 мВт$ )

2 мВт ( $P_{рас.} = 2 мВт$ )

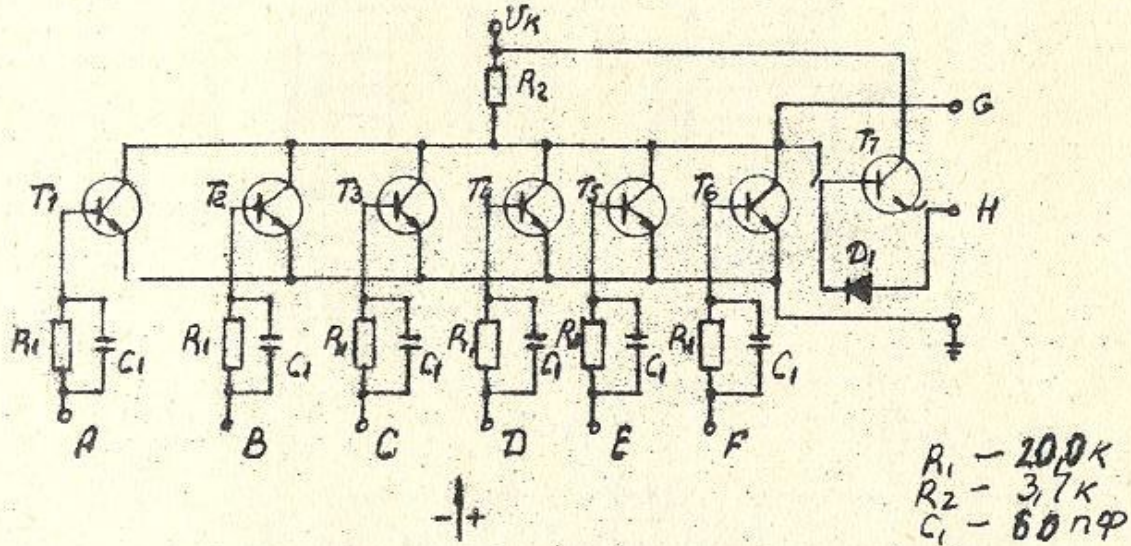
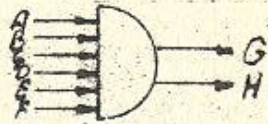
Количество входов - 6

Коэффициент разветвления - 5

Рабочий диапазон температур - 55 ÷ +125°C.

	$U_k = 3В$	$U_k = 6В$
	млн	млн
Входное напряжение при $t = +125^\circ C$	1,15	2
Входное напряжение при $t = -55^\circ C$	1,6	2,5

SN513 - логическая схема No. 1 NAND с эмиттерным повторителем на выходе.



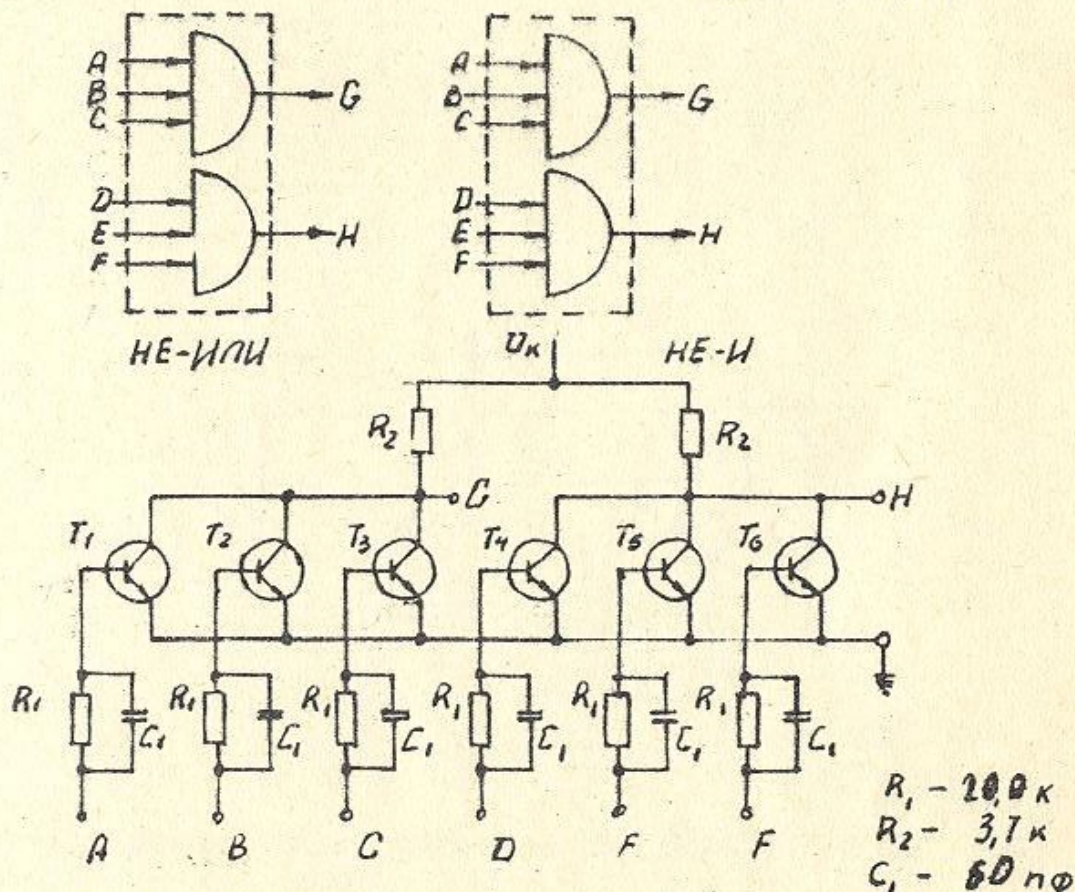
$R_1 - 200\text{K}$   
 $R_2 - 3,7\text{K}$   
 $C_1 - 60\text{пФ}$

Коэффициент разветвления G-5  
 H-5

Потребляемая мощность 3мвт при 3В  
 13мвт при 6В

	$U_k = 3\text{В}$	$U_k = 6\text{В}$
	min	min
Входное напряжение при $t = +125^\circ\text{C}$	1,15	2
Входное напряжение при $t = -55^\circ\text{C}$	1,5	2,5

SN514 - логическая схема NOR/KanD на два тройных входы



Содержит две независимые логические схемы с общим источником коллекторного напряжения.

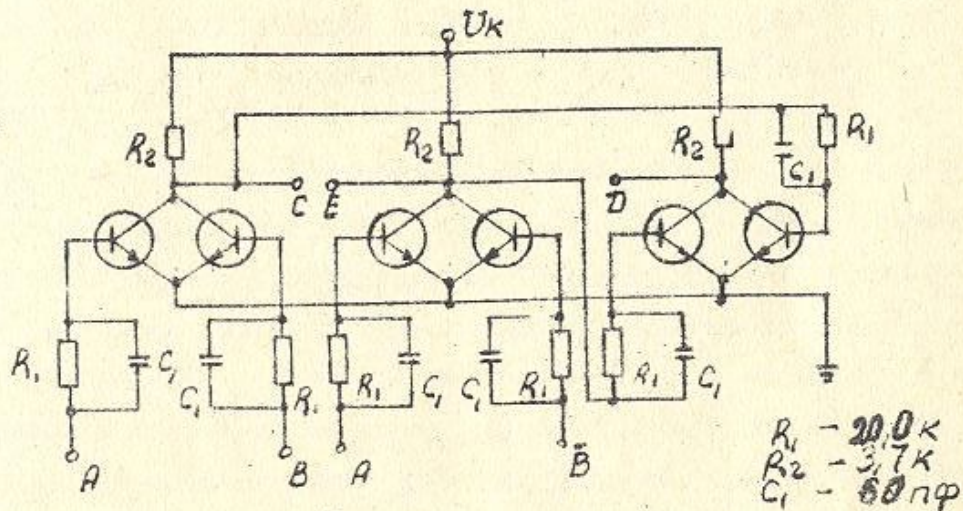
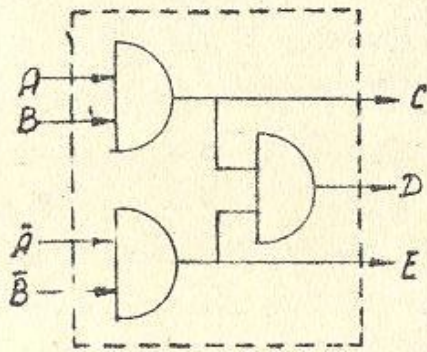
Напряжение питания 1,5 ÷ 8В

Максимальная тактовая частота 1 МГц

Коэффициент максимального разветвления на выходе G-5; H-5

Мощность рассеяния, в	$U_k = 3В$	$U_k = 6В$
	ном мВт	ном мВт
Напряжен. на входе $t = +25^\circ C$	1,15	2,0
$t = -55^\circ C$	1,6	2,5
Потребляемая мощн.	2	8

Схема ИЛИ с исключением SN515



Коэффициент разветвления: выходы C и E — 4  
 выход D — 5 макс.

Мощность рассеяния — 7 мВт ( $U_k = 6 \text{ В}$ )

Макс. тактовая частота 1 МГц

Рабочий диапазон температур  $-55 \div +125 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Потребляемая мощность — 3 мВт при  $U_k = 3 \text{ В}$

16 мВт при  $U_k = 6 \text{ В}$

16. Каждая из рассмотренных схем может работать на любую другую схему и при необходимости на большее число нагрузок ( $N = 20 \div 25$ ). К выходам триггера (SN511) и вентиля (SN513) могут быть подсоединены эмиттерные повторители. Если выход эмиттерного повторителя нагружен на максимальную нагрузку, то коллекторный выход схемы может работать только на эмиттерный повторитель. На тактовых частотах больших 500 кГц нагрузка по переменному току должна под-

ключаться только к выходу эмиттерного повторителя.

Твердые схемы серии 51 при испытании по военным ТУ выдерживают следующие условия:  
ударная нагрузка 2000g в течение 0,5 мсек  
ускорение 40g при частоте 100-200гц  
ускорение 20g при частоте 60гц в тег. 96гас.  
ускорение 20000g на центрифуге в течен. 50сек.  
Соленая вода в течение 24 часов

Циклическое изменение температуры -55+125°C.  
Величина интенсивности отказов эквивалентна 20 компонентам составляет 0,6% на 1000 час. при 85°C.

17. 52 серия состоит из твердых схем 2-х типов - операционного усилителя постоянного тока (SN521) и операционного усилителя постоянного тока (SN522), на выходе которого стоит эмиттерный повторитель с малым выходным сопротивлением. В обе схемы входит по два транзистора р-р-р типа и пять п-р-п типа.

Твердые схемы 52 серии можно использовать в сервосистемах, аналоговых и цифровых преобразователях, интеграторах-дифференциаторах и в других устройствах, где требуется линейное усиление

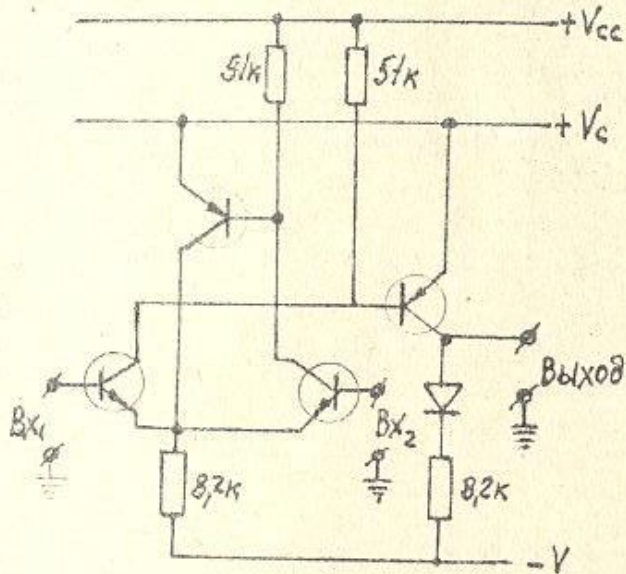
Характеристики SN521 и SN522.

1. Усиление при разомкнутой петле обратной связи 34 62дб
2. Коэффициент подавления уровня синфазной помехи 58дб
3. Частота, на которой выходная мощность уменьшается в 2 раза. 60кгц.
4. Приведенное к выходу смещение уровня 2мвт.
5. Входное сопротивление 12ком
6. Выходное сопротивление - 8ком (150ом у SN522)

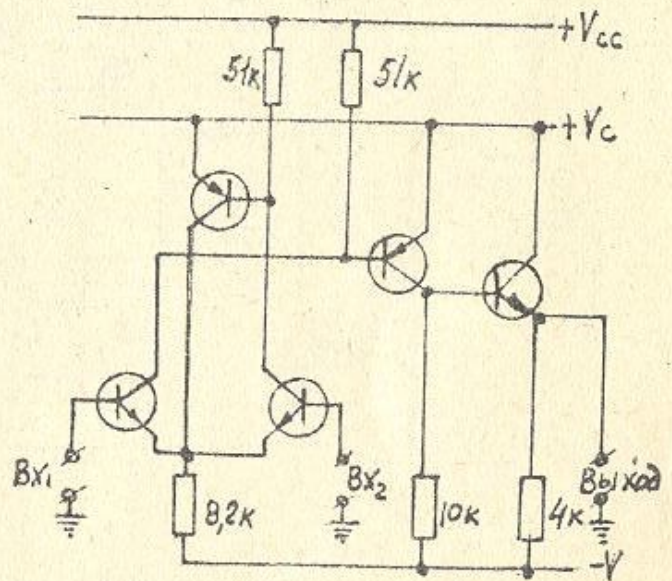


7. Потребляемая мощность 28 мвт.  
Каждая схема весит 0,1г и имеет габари-  
ты: 6,3 x 3,2 x 0,8 мм.  
Необходимые напряжения источника пита-  
ния +10В; +6В и -9В.

SN521



SN522

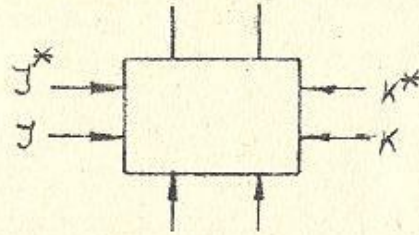


18. 53 серия твердых схем предназначена для применения в вычислительных машинах универсального типа. Они обладают хорошей нагрузочной способностью и быстрой реакцией и поэтому возможно построение многокаскадных цепей из неинвертирующихся вентилях, что позволяет свести к минимуму число элементов, необходимых для логических операций.

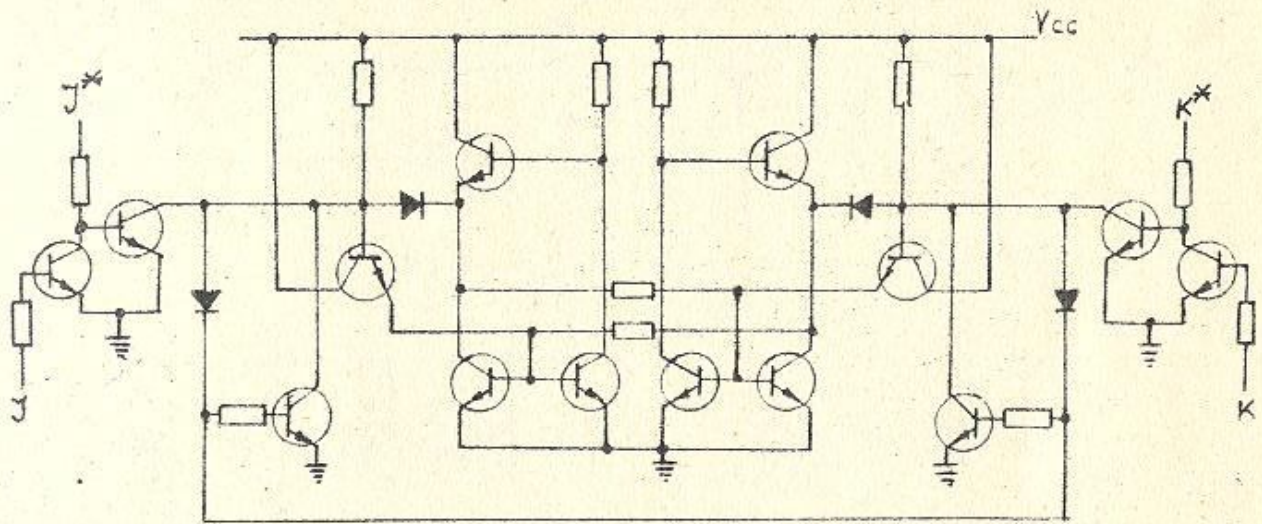
В 53 серию входит 6 типов твердых схем, которые приводятся ниже:

SN530, однофазный триггер; SN531, 5-входовая вентильная схема НЕ-И; SN532, 5-входовая вентильная схема И; SN533, двойная 3-входовая вентильная схема НЕ-И; SN534 - двух- и трехвходовые схемы И, и SN535, модуль, содержащий 4 отдельных инвертора.

SN530 однократный триггер.

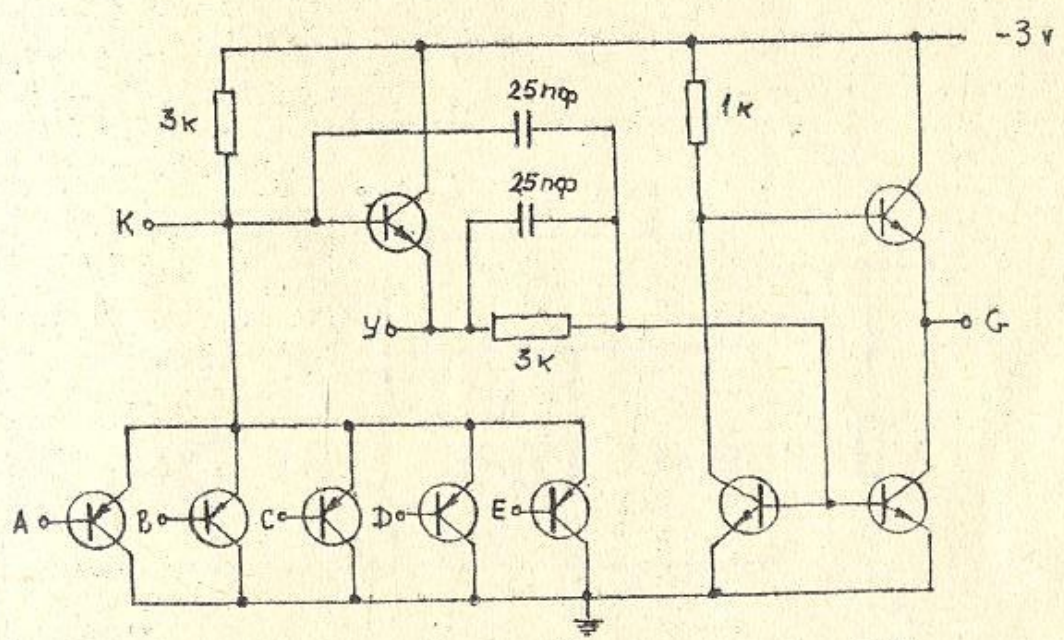
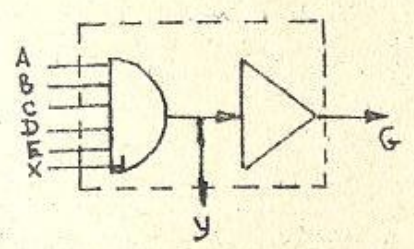


1.



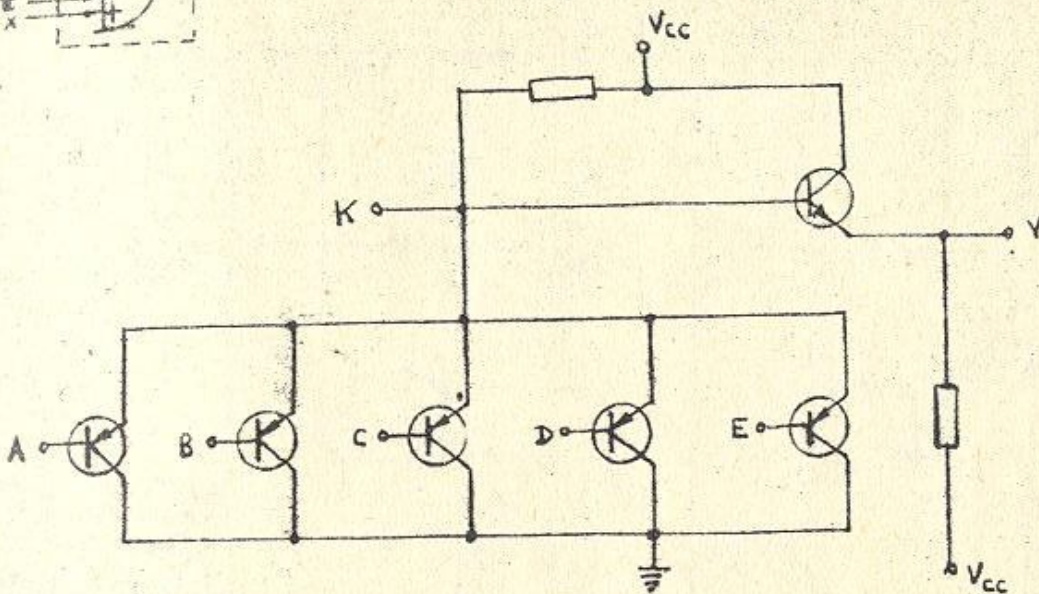
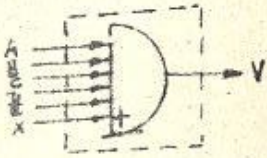
Время срабатывания	45 нсек
Допустимое число нагрузок	10
Напряжение питания	3В
Мощность рассеивания	27 мВт
Рабочая температура	-55 ÷ +125 °C

# SN531 Вентиль NAND на 5 входов



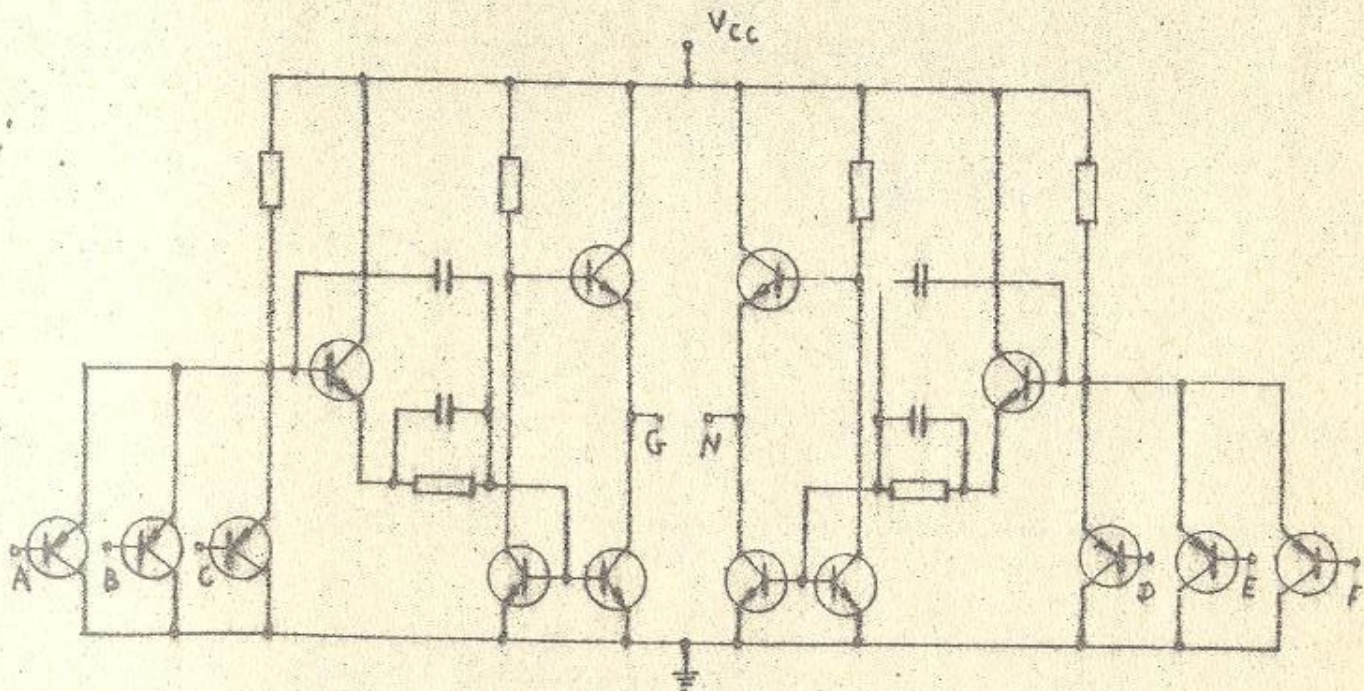
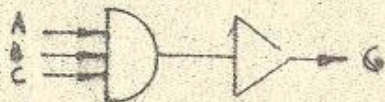
- Время срабатывания 25 нсек
- Допустимое число нагрузок 10
- Напряжение питания -3В
- Мощность рассеивания 10 мВт
- Рабочая температура -55 ÷ +125 °C

SN532 Вентиль ота на 3 выхода.



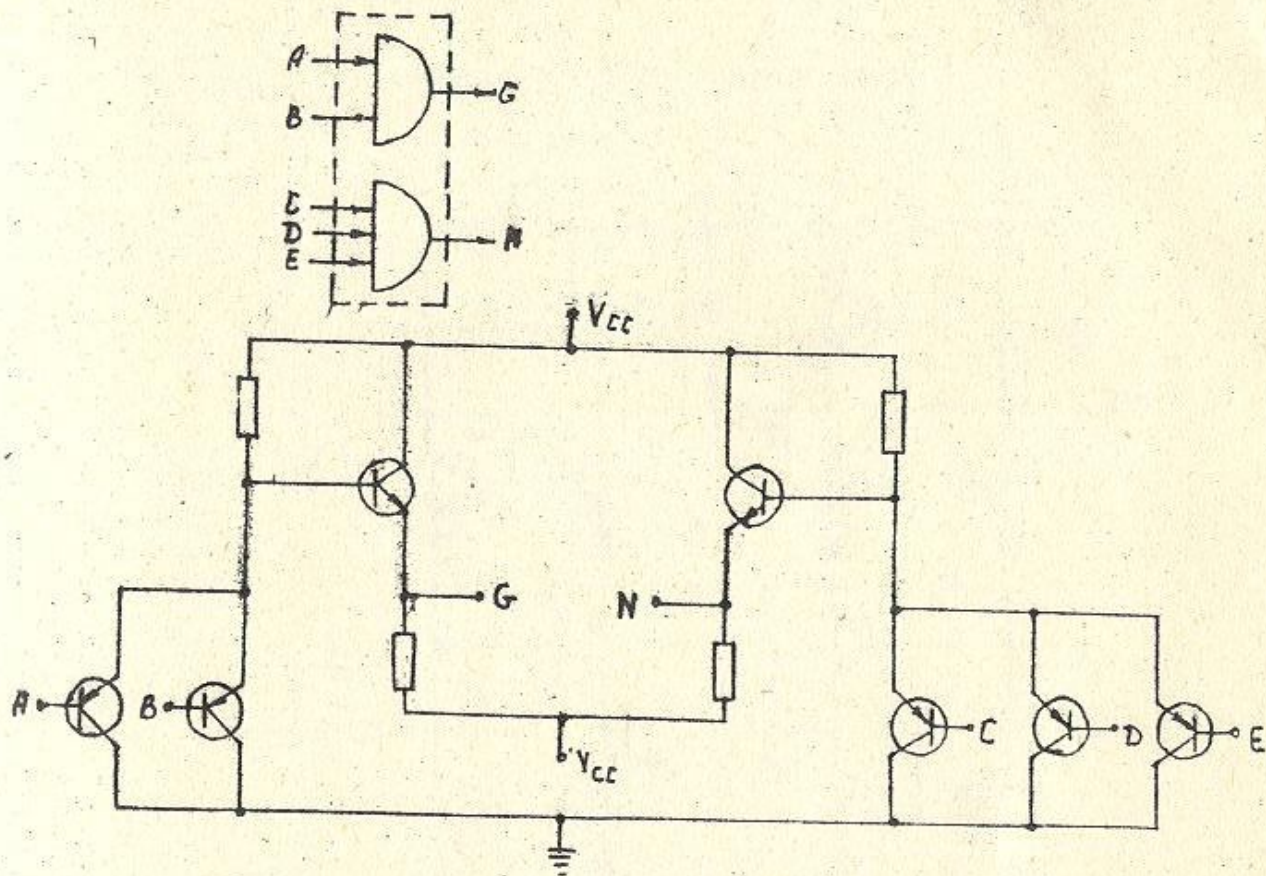
Время срабатывания	5 Нсек
Допустимое число нагрузок	4
Мощность рассеивания	14 мВт
Рабочая температура	-55 ÷ +125 °C

SN533 Двойной вентиль на 3 входа Nand



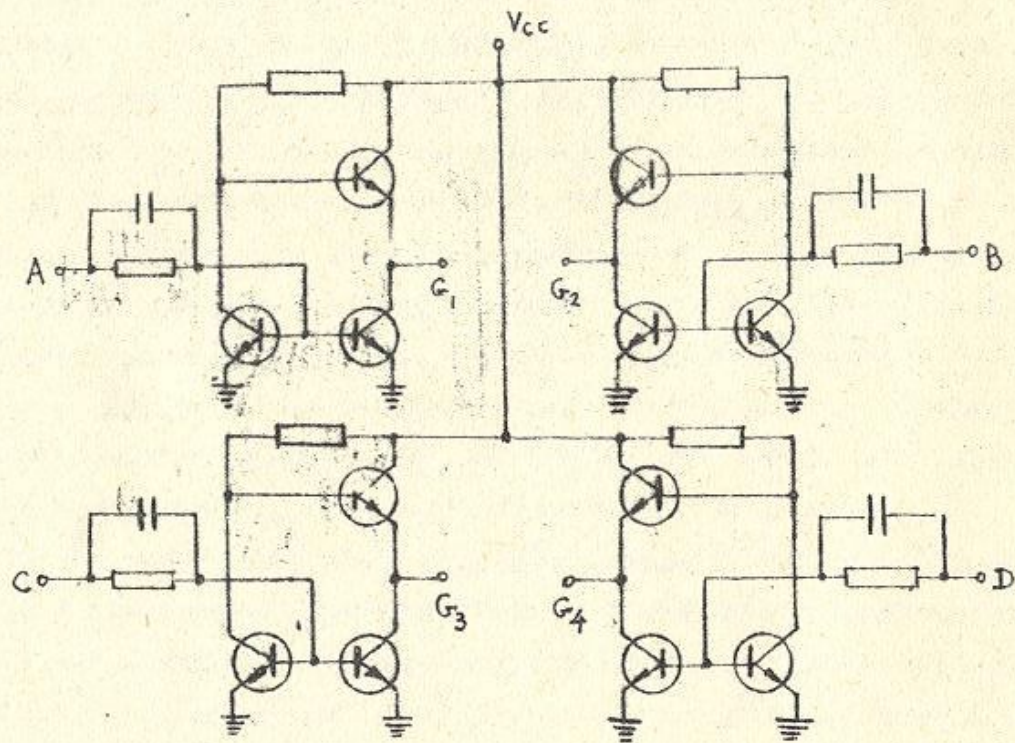
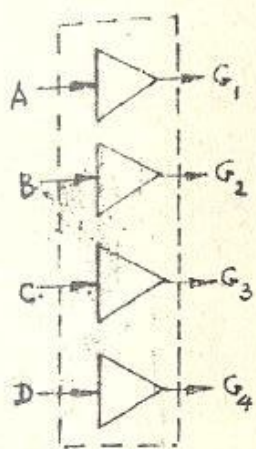
Время срабатывания	25 нсек
Допустимое число нагрузок	10
Напряжение питания	3В
Мощность рассеивания	10 мВт
Рабочая температура	-55 + +125 °C

SN 534 Двух и трех входовой вентиль and



Время срабатывания	5 нсек
Допустимое число нагрузок	4
Напряжение питания	3В
Мощность рассеивания	14 мВт
Рабочая температура	-25 ÷ +125°C

SN535 Схема с 4-мя инверторами.



Время срабатывания 25 нсек  
Допустимое число нагрузок 10  
Мощность рассеивания 9 мВт

Все схемы 53 серии работают в диапазоне температур  $-55^{\circ}\text{C} \div +125^{\circ}\text{C}$ . Напряжение питания +3В.

У Особенности построения узлов и блоков р/электронной аппаратуры на твердых схемах.

19. Компоненты интегральных твердых схем хотя по своим свойствам и с одны с обычными транзисторами, диодами и сопротивлениями, формирование их в одном монокристалле кремния создает ряд особенностей и ограничений <sup>это</sup> малое разнообразие типов компонент, относительно высокие разбросы параметров, ограничение величин номиналов компонент, наличие в ну тренних паразитных связей, малая допустимая

1. мощность рассеяния <sup>и точто</sup> стоимость твердой схемы резко уменьшается с увеличением объема производства. В связи с этим при построении и проектировании р/электронной аппаратуры на твердых схемах нельзя просто переводить обычные схемы в твердые, а следует с самого начала разрабатывать принципы функционального построения р/электронной аппаратуры, обеспечивающей максимальное использование твердых схем при минимальном количестве типов. Эти особенности построения аппаратуры на твердых схемах во многих отношениях аналогичны положению и тем же месту на первых этапах развития р/аппаратуры на транзисторах.

Наиболее эффективными в настоящее время являются дискретные твердые схемы, обладающие малой мощностью рассеяния, устойчиво работающие с большими допусками параметров и позволяющие строить сложные системы с минимальным количеством типов твердых схем.

Твердые схемы аналогового типа не имеют этих преимуществ и поэтому во всех возможных случаях следует использовать дискретные схемы для выполнения большинства заданных функций даже за счет дополнительного усложнения схемы. В случае необходимости использования специальных схем следует применять базовые кристаллы как набор компонент или в сочетании с выносными деталями. В качестве примера приводим схему усилительного каскада на 30 мВт, состоящую из дискретной твердой схемы МС1110 фирмы Motorola с внешним дополнительным кон. туром.



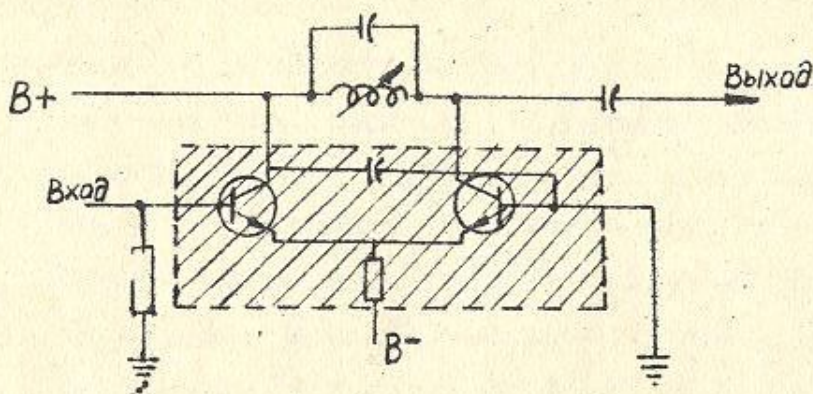


Рис. Каскад УВЧ на ТС с выносными деталями.

## VI Особенности узлов и блоков р/электронной аппаратуры на твердых схемах.

20. Проектирование узлов и блоков на твердых схемах должно производиться в следующей последовательности:

- а) Выбирается принцип построения системы, узла или блока с учетом особенности твердых схем,
- б) В случае невозможности перевода всей системы на твердые схемы, выбирается область системы, наиболее пригодная для построения на твердых схемах и решается вопрос о необходимых классах твердых схем (дискретных и аналоговых). Выполнение всех функций системы целесообразно осуществить посредством дискретных твердых схем даже за счет дополнительного усложнения устройства (в разумных пределах),
- в) Выбранная область системы делится на функциональные узлы и блоки.
- г) Каждый функциональный узел анализируется для определения требований к рабочим параметрам и их стыковки с другими функциональными узлами. Для выбора твердых схем и согласующих устройств производятся необходимые эксперименты.
- д) На основании решений, принятых по указанным выше пунктам, производится макетирование и отработка на твердых схемах, узлах и блоках.

- е) Чтобы избежать применения большого числа различных типов твердых схем, необходимо тщательно проанализировать существующие твердые схемы и базовые кристаллы, чтобы решить, какие из них обладают наибольшей универсальностью с точки зрения использования в различных схемах.
- ж) При проектировании системы необходимо во всех случаях следить за тем, чтобы проблема микроминиатюризации затронула всю систему в целом, чтобы не снижать эффекта от применения твердых схем.

## VII Рекомендуемые детали для моделирования твердых схем.

21. Оценка параметров твердых схем производится на моделях-аналогах, собранных из объемных деталей (транзисторов, диодов, конденсаторов и сопротивлений), с параметрами близкими к параметрам компонент твердых схем.

Компонент	Параметр	Величина
Транзисторы	$f_T$	4500 МГц
	$\beta$	30 ÷ 80
Диоды	Напряжение эмиттер-коллектор в режиме насыщения	40,4 при $I_k = 10 \text{ mA}$
	Максимальное обратное напряжение	20 В
	Прямой ток	50 мА
	Время восстановления	5 нсек
Сопротивления	Прямое падение напряжения	0,65 В при 10 мА
	Номинальная величина Допуск	100 м – 50 ком ±10%

Компонент	Параметр	Величина
Сопротивления	Тепловой коэффициент сопротивления	$20,1 \frac{\%}{^\circ\text{C}}$
Конденсаторы	удельная емкость	$35000 \text{ пф/см}^2$
р-п	удельная емкость	$173800 \text{ пф/см}^2$
п-р-п	удельная емкость	$52500 \text{ пф/см}^2$
тонкопленочные с изоляцией SiO <sub>2</sub> (MOS)		

} до 1000 пф в од. ном компоненте

Для макетирования твердых схем на основе базовых кристаллов 51,52 и 53 серии фирмы Texas Instruments приводится таблица аналогов с характеристиками компонент твердых схем.

Таблица аналогов компонент твердых схем 51,52 и 53 серии твердых схем.

Наименование компонент Т.С.	51 серия	52 серия	53 серия	Параметры аналогов.
Транзистор при маломощн.	A417	A417	A417	$f_{\text{cm}} > 20$ , $f_{\text{T}} > 120$ $I_{\text{ко}} < 20 \text{ мка}$ $U_{\text{кэнас}} = 0,4 \text{ В}$
Транзистор при маломощн.	—	MT-11Б	MT-11Б	$f_{\alpha} < 0,5 \text{ МГц}$ , $\beta = 100$ $I_{\text{ко}} = 300 \text{ мка}$
Диоды	MD15	—	—	$U_{\text{обр}} = 30 \text{ В}$ , $I_{\text{обр}} = 0,5 \text{ мка}$ $U_{\text{пр}} \text{ в при } I = 50 \text{ ма}$
Емкости	КМК-1	—	КМК-1	$47 \div 100 \text{ пф}$ , $U_{\text{обр}} = 150 \text{ В}$ $\text{ТКЕ } 33 \cdot 10^{-6}$
Сопротивления	СКНМ ССНМ без микродрот.	СКНМ ССНМ	СКНМ ССНМ	от 100 Ом и более $100 \text{ Ом} \div 5,1 \text{ Ком}$ $\text{ТКС} \pm 10 \cdot 10^{-4}$

22. Макет твердой схемы должен точно повторить характеристики готовой твердой схемы. Поэтому

необходимо при макетировании учитывать токи утечки, распределенные емкости и сопротивления. Необходимо также учитывать паразитные связи в твердой схеме, которые ввиду мелких размеров схемы и близкого расположения компонентов весьма значительны. Емкости изоляции моделируются диодами.