

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный  
институт им. С.П.Королева

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

по курсу

"ИМПУЛЬСНАЯ ТЕХНИКА"

Утвержден редакционным  
советом 7 марта 1968 г.

Куйбышев - 1968

Составитель - Н.И.ФИЛИМОНОВ  
Отв. редактор - Г.В.АБРАМОВ

## ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В процессе подготовки к работе следует ознакомиться с описанием работы и применяемой измерительной аппаратурой; произвести необходимые расчеты и заготовить справочные данные (коэффициенты усиления ламп, куртизну, внутреннее сопротивление, напряжение отсечки и т.д.); уяснить методику измерений и порядок проведения лабораторной работы, подготовить таблицы для заполнения данных эксперимента.

Перед выполнением работы студент получает контрольные вопросы. При удовлетворительных ответах на них он допускается к выполнению работы.

Для сокращения времени, затрачиваемого на обработку экспериментального материала, а также для более отчетливого физического представления зависимостей, которые необходимо получить в лаборатории в виде графиков, рекомендуется следующий порядок снятия графиков.

Прежде всего, без каких-либо записей при соблюдении всех требований, относящихся к данному эксперименту, производится опыт, помогающий уяснить общий характер зависимости, оценить ее соответствие зависимости, ожидаемой из теоретических предположений или расчетов.

Замечаются участки с наибольшей нелинейной зависимостью и линейные.

Для снятия кривой опыт повторяется. Точки заносятся в отчет на листы миллиметровки или клетчатой бумаги, сводятся в таблицы. Наибольшее число точек следует снимать на нелинейных участках кривой, линейные участки достаточно определить тремя точками.

Каждый график снабжается надписями и номерами, указываются величины, не меняющиеся в эксперименте, но существенные для характеристики его условий.

После проверки и утверждения отчета преподавателем работа считается законченной.

По окончании работы студент должен выключить все источники питания и приборы, отключить установку от электрической сети, сдать ее дежурному лаборанту.

### СОСТАВЛЕНИЕ И СДАЧА ОТЧЕТА

Отчет по работе составляется индивидуально на типовом бланке или на стандартных листах писчей бумаги и подписывается. Графики вычерчиваются на миллиметровке или клетчатой бумаге и клеиваются в отчет.

На каждой графике должны строиться только те кривые, которые предусмотрены соответствующим пунктом описания. Совмещение графиков не допускается. Принципиальные схемы выполняются согласно ЕНСЧХ. Расчету отдельных величин должно предшествовать краткое объяснение с приведением необходимых формул.

Отчет включает краткие выводы о проделанной работе, которые могут содержать толкование полученных результатов с точки зрения теории, объяснение причин отклонения результатов эксперимента от теоретических предположений, оценку погрешности при измерениях и т.п. Выводы не должны являться простым пересказом соответствующих глав курса.

Осциллограммы напряжений, снимаемых с различных точек схемы, должны рисоваться в отчете с обязательным соблюдением временного масштаба.

Отчет каждый студент отдельно сдает преподавателю в начале лабораторного занятия и получает зачет по каждой работе с дифференцированной оценкой, проставленной на отчете и в ведомости.

Студент, не сдавший отчета по предыдущей работе, к следующей не допускается.

### ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ЛАБОРАТОРИИ И МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСОВ

Оборудование лаборатории состоит из унифицированных стендов, выстроенных в двух вариантах – на электронных лампах и транзисторах. Каждый стенд состоит из пяти лабораторных работ и выпрямителя. Вы-

прямитель включается тумблером с передней панели, а включение лабораторных работ производится тумблерами, расположенными в верхней части передней панели выпрямителя. Нумерация тумблеров произведена в соответствии с нумерацией лабораторных работ. К каждому стенду прилагаются: генератор запускающих импульсов, осциллограф и вольтметр того или иного типа. Постоянные напряжения измеряются вольтметром, а амплитуда импульсов и их длительность измеряются с использованием калибровки осциллографа по напряжению и длительности. Переменные сопротивления в лабораторных макетах проградуированы в относительных единицах. Поэтому при составлении таблицы необходимо эти относительные единицы перевести в абсолютные значения сопротивления по известному закону изменения сопротивления и его номинальной величины.

## РАБОТА № I

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТЕЙШИХ ФОРМИРУЮЩИХ $RC$ - ЦЕПЕЙ

Целью настоящей работы является изучение влияния постоянной времени цепи на ее формирующие свойства.

В импульсной технике изменение формы несинусоидальных сигналов при прохождении через линейные  $RLC$  - цепи широко используется для формирования импульсов заданной формы. Этот процесс часто называется линейным формированием.

Цепь, состоящая из сопротивления  $R$  и конденсатора  $C$ , является наиболее простым видом формирующей цепи. В зависимости от того, с какого элемента - сопротивления или конденсатора - снимается выходное напряжение, формирующие свойства этой цепи будут различными.

### ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

Принципиальная схема лабораторного макета, приведенная на рис. I, состоит из двух частей:  $a$  - дифференцирующей цепи;  $b$  - интегрирующей цепи.

С помощью тумблеров  $B_{K_1}, B_{K_2}, B_{K_3}$ , сопротивления  $R_1$  в дифференцирующей цепи и тумблеров  $B_{K_4}, B_{K_5}, B_{K_6}$ , сопротивления  $R_2$  в интегрирующей цепи постоянные времени этих цепей изменяются в широких пределах.

Так, для дифференцирующей цепи -  $T_{ц\ мин} \cong 18\ нсек$ , а  $T_{ц\ макс} \cong 94\ нсек$ .  
Для интегрирующей цепи -  $T_{ц\ мин} \cong 90\ нсек$ , а  $T_{ц\ макс} \cong 80\ мсек$ .

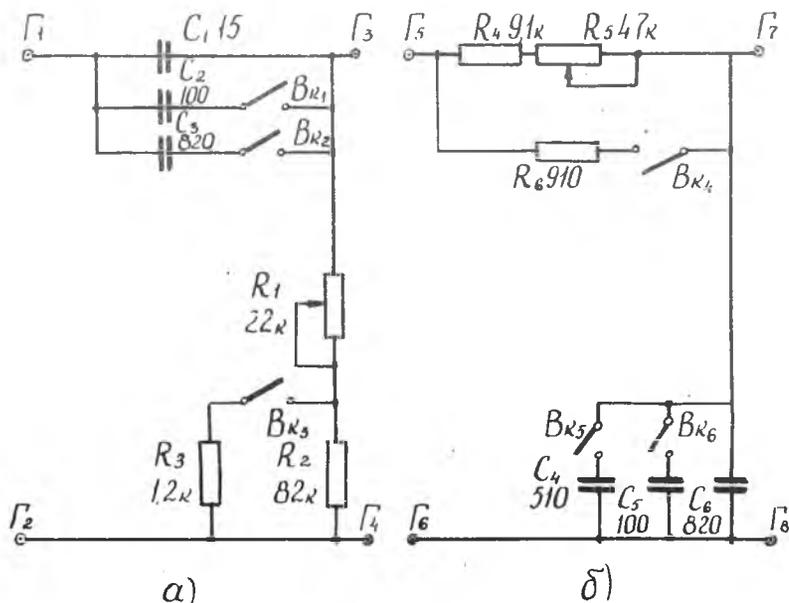


Рис. I.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Исследование дифференцирующей цепи

1. На вход дифференцирующей цепи от генератора запускающих импульсов подать положительные импульсы со следующими параметрами:

$$t_{\text{зап}} = 10 \text{ мксек}$$

$$f_{\text{зап}} = 10 \text{ кгц}$$

$$U_{\text{зап}} = 100 \text{ в}$$

2. Исследовать влияние величины постоянной времени цепи на форму выходных импульсов:

а) установить минимальную величину постоянной времени цепи

( $C = 15 \text{ нф}$ ,  $R \approx 1,2 \text{ ком}$ ), зарисовать форму выходных импульсов и определить их амплитуду и длительность, соотношение между длительностью входного импульса  $t_{\text{вх}}$  и постоянной времени цепи  $T_{\text{ц}}$ ;

б) при минимальной емкости цепи, изменяя величину сопротивления  $R_1$ , зарисовать форму выходных импульсов для значений  $R_{1\text{мин}}$  и  $R_{1\text{макс}}$ .  
 Определить соотношение между  $t_{\text{вх}}$  и  $T_{\text{ц}}$  для значения  $R_{1\text{макс}}$ ;

в) изменяя величину сопротивления  $R_1$  от  $R_{1\text{мин}}$  до  $R_{1\text{макс}}$  для двух значений емкости цепи  $C = 115 \text{ нф}$  ( $C_1 + C_2$ ) и  $C = 835 \text{ нф}$  ( $C_1 + C_3$ ), зарисовать форму выходных импульсов, определить их амплитуду, длительность и определить соотношение между  $t_{\text{вх}}$  и  $T_{\text{ц}}$ .

### Исследование интегрирующей цепи

1. Подать на вход интегрирующей цепи импульсы с параметрами, указанными в п.1.

2. Исследовать влияние величины постоянной времени цепи  $T_{\text{ц}}$  на форму выходных импульсов:

а) установить минимальную величину  $T_{\text{ц}}$  ( $C = 100 \text{ нф}$ ,  $R = 910 \text{ ом}$ ), зарисовать форму выходных импульсов и определить их амплитуду и длительность. Определить соотношение между  $t_{\text{вх}}$  и  $T_{\text{ц}}$ ;

б) при минимальной емкости цепи ( $C = 100 \text{ нф}$ ), изменяя величину сопротивления  $R_5$  от  $R_{5\text{мин}}$  до  $R_{5\text{макс}}$ , зарисовать форму выходных импульсов для значений  $R_{5\text{мин}}$  и  $R_{5\text{макс}}$ . Определить соотношение между  $t_{\text{вх}}$  и  $T_{\text{ц}}$ ;

в) изменяя величину  $R_5$  от  $R_{5\text{мин}}$  до  $R_{5\text{макс}}$  для двух значений емкости цепи  $C = 610 \text{ нф}$  ( $C_5 + C_4$ ) и  $C = 1430 \text{ нф}$  ( $C_5 + C_4 + C_3$ ), зарисовать форму выходных импульсов, определить их амплитуду и длительность и найти соотношение между  $t_{\text{вх}}$  и  $T_{\text{ц}}$ .

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Нарисовать форму выходного напряжения дифференцирующей цепи, если на ее вход подаются следующие напряжения:

а)  $U_{\text{вх}} = 0$  при  $t < t_0$  и  $t > t_1$ ,

$U_{\text{вх}} = 1$  при  $t_0 < t < t_1$ ,

б)  $U_{\text{вх}} = \alpha t$ , где  $\alpha = \left[ \frac{t}{\sigma \text{сек}} \right]$

в)  $U_{\text{вх}} = U_m \sin \omega t$

2. Нарисовать форму выходного напряжения интегрирующей цепи, если на ее вход подаются напряжения, перечисленные в предыдущем пункте.
3. Какое влияние оказывают паразитные параметры на точность дифференцирования и интегрирования.
4. Как составить из индуктивности и активного сопротивления дифференцирующую и интегрирующую цепи.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В.Т.ФРОЛКИН. Импульсные устройства, стр.34-47, Машиностроение, 1966.
2. Л.М.ГОЛЬДЕНБЕРГ. Основы импульсной техники, стр.51-61,Связь, 1964.
3. Под ред. Ю.М.КАЗАРИНОВА. Расчет элементов импульсных радиотехнических устройств, стр.27-38, ГЭИ, 1963.

## РАБОТА № 2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЖДУЩЕГО МУЛЬТИВИБРАТОРА С ОДНОЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ

Целью данной работы является изучение процессов, протекающих в ждущем мультивибраторе с одной гальванической связью.

В процессе работы исследуется влияние параметров схемы на форму и длительность генерируемых импульсов, рассматриваются некоторые методы уменьшения времени восстановления схемы, а также производится сравнение экспериментальных данных с теоретическими.

#### ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

Принципиальная схема лабораторного макета изображена на рис.2. Мультивибратор выполнен на лампах  $\Lambda_1$  и  $\Lambda_2$ . Цепь, состоящая из сопротивления  $R_1$  и диода  $\mathcal{D}_1$  служит для отключения запускающей цепи во временно-устойчивом состоянии. Тем самым исключается шунтирующее действие выходного сопротивления генератора запускающих импульсов на времязадающую цепь, постоянная времени которой с помощью переключателя  $\Pi_2$ , подключающего конденсаторы  $C_5, C_6$  или  $C_7$  и сопротивления  $R_8$ , может изменяться в широких пределах. Величина  $E_g$  - потенциала, к которому стремится заряд времязадающего конденсатора, изменяется потенциометром  $R_{10}$  и измеряется вольтметром, включенным между "землей" ( $\Gamma_8$ ) и гнездом  $\Gamma_6$ . Заряд времязадающего конденсатора ( $C_5, C_6$  или  $C_7$ ) может осуществляться через анодную нагрузку  $\Lambda_1$  или через малое выходное сопротивление катодного повторителя, выполненного на лампе  $\Lambda_2$ . Этот выбор возможен с по-

мощью переключателя  $\Pi_1$ . Кроме того, зарядный ток времязадающего конденсатора может изменяться сопротивлением  $R_5$  и подключением к управляющей сетке лампы  $\Lambda_2$  диода  $\Delta_2$ . Гнезда  $\Gamma_3$ ,  $\Gamma_4$ ,  $\Gamma_5$  и  $\Gamma_7$  служат для снятия осциллограммы в различных точках схемы.

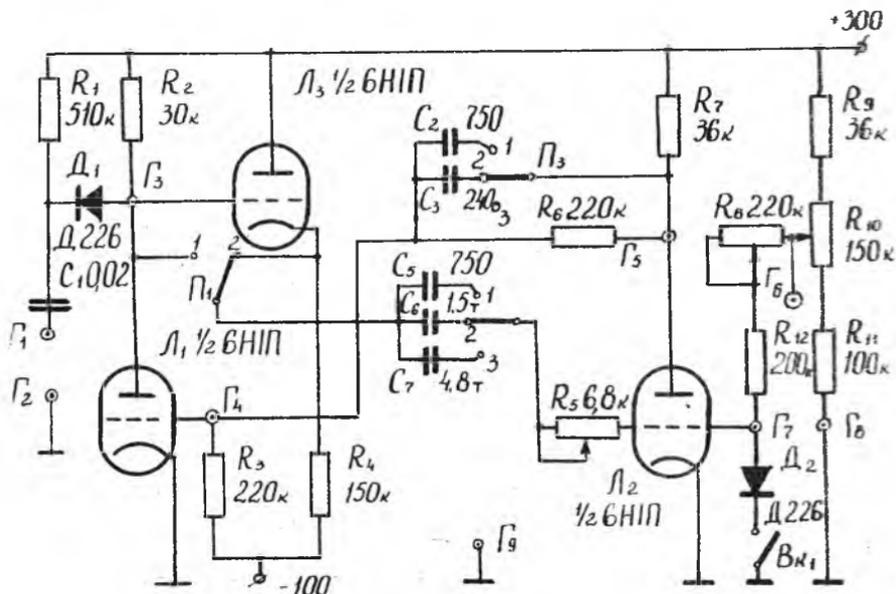


Рис. 2.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

I. Подать на вход макета отрицательные запускающие импульсы от генератора.

Параметры запускающих импульсов следующие:

$$t_{\text{зап.}} = 5 \mu\text{сек}$$

$$f_{\text{зап.}} = 250 \text{ гц}$$

$$U_{\text{зап.}} \geq 20 \text{ в}$$

Убедиться в нормальной работе ждущего мультивибратора, просмотрев эпюры напряжения в гнездах  $\Gamma_3$ ,  $\Gamma_4$ ,  $\Gamma_5$  и  $\Gamma_6$ .

2. Исследовать зависимость длительности генерируемого импульса от параметров схемы:

а) установить  $E_{q0} = E_{q \text{ мин}}$ ;  $R_5 = 0$  и минимальную величину корректирующей емкости ( $\Pi_3$  в положении I);

б) изменяя постоянную времени времязадающей цепи, снять экспериментально зависимость  $t_u = f(T_u)$ . Снятие зависимости  $t_u = f(T_u)$  производить отдельно для каждой емкости  $C_5$ ,  $C_6$  и  $C_7$ , т.е. поставить переключатель  $\Pi_2$  в положение "1", снять зависимость  $t_u = f(C_5 \cdot R_8)$ . Подобным образом снимаются зависимости  $t_u = f(C_6 \cdot R_8)$  и  $t_u = f(C_7 \cdot R_8)$ .

Полученные данные занести в таблицу I.

Таблица I

	$R_8$	1	2	3	4	5
$C_5$	$t_u$ расч. мксек					
750 пф	$t_u$ эксп. мксек	—	—	—	—	—
$C_6$	$t_u$ расч. мксек	—	—	—	—	—
1500 пф	$t_u$ эксп. мксек	—	—	—	—	—
$C_7$	$t_u$ расч. мксек	—	—	—	—	—
4800 пф	$t_u$ эксп. мксек	—	—	—	—	—

Экспериментальные данные сравниваются с расчетными, полученными из выражения:

$$t_u \text{ расч.} \cong T_u \ln \frac{E_q + E_H}{E_q + E_{q01}}$$

где

$$E_H \cong \frac{\mu_1 R_2}{R_2 + R_{i1}} E_{q01}$$

$E_{g01}$  потенциал запирания лампы  $\mathcal{L}_1$  ;

в) Изменяя величину  $E_g$  при постоянном значении  $R_8$  и времязадающей емкости  $C_7$  , снять зависимость  $t_u = f(E_g)$  и сравнить ее с теоретической зависимостью.

Полученные данные занести в таблицу 2.

Таблица 2

$E_g [В]$	100	120	140	160	180	200
$t_u$ эксп. мксек						
$t_u$ расч. мксек						

Данные таблиц оформить в виде графиков.

3. Определить влияние корректирующего сопротивления  $R_5$  на форму импульса в аноде  $\mathcal{L}_1$  (гнездо  $\mathcal{L}_3$  ). Зарисовать форму напряжения в аноде  $\mathcal{L}_1$  при минимальном и максимальном значении  $R_5$  .

4. Определить влияние корректируемой емкости  $C_2, C_3$  , на форму импульса в аноде  $\mathcal{L}_1$  для двух значений корректируемой емкости  $C = 0$  и  $C_2 = 750$  пф . Обратить внимание на завал фронта импульса в аноде  $\mathcal{L}_2$  при максимальном значении корректирующей емкости .

5. Определить время восстановления схемы при включенных катодном повторителе и диоде  $\mathcal{D}_2$  и без них. Зарисовать форму напряжения в аноде  $\mathcal{L}_1$  и на сетке  $\mathcal{L}_2$  . Данный пункт проделать для какого либо одного значения  $T_u$  .

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Нарисовать схему заторможенного мультивибратора с одной гальванической связью.

2. Нарисовать эпюры напряжений на электродах ламп заторможенного мультивибратора.

3. Написать условие правильной работы ждущего мультивибратора для длительно-устойчивого и временно-устойчивого состояний.

4. Показать цепь заряда и разряда времязадающего конденсатора.

5. Нарисовать эквивалентную схему для временно-устойчивого состояния.

6. Каковы преимущества схемы заторможенного мультивибратора с "положительной сеткой" ?

7. Какую роль выполняет ускоряющая емкость ?

8. Как осуществляется электронная регулировка длительности генерируемого импульса ?

9. Объяснить назначение катодного повторителя.

10. Как по заданной длительности фронта импульса выбрать лампу для заторможенного мультивибратора ?

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В.Т.ФРОЛКИН. Импульсные устройства, стр. 186-193, Машиностроение, 1966.

2. Л.М.ГОЛЬДЕНБЕРГ. Основы импульсной техники, стр. 209-220, Связь, 1964.

## РАБОТА № 3

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЖДУЩЕГО МУЛЬТВИБРАТОРА С КАТОДНОЙ СВЯЗЬЮ

Целью работы является ознакомление с процессами, протекающими в ждущем мультвибраторе с катодной связью.

В работе исследуется влияние параметров схемы на форму и длительность генерируемых импульсов.

#### ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

Принципиальная схема лабораторного макета приведена на рис.3. Мультвибратор собран на лампах  $\Lambda_1$  и  $\Lambda_2$ . Лампа  $\Lambda_3$  включена катодным повторителем и служит для уменьшения времени заряда конденсаторов  $C_3$ ,  $C_4$  или  $C_5$ . Переключатель  $\Pi_1$  подключает или отключает катодный повторитель от зарядной цепи.

Конденсатор  $C_3$ ,  $C_4$ ,  $C_5$  и сопротивление  $R_6$  и  $R_7$  составляют времязадающую цепь. Подключая с помощью  $\Pi_2$  какой-либо из этих конденсаторов и меняя сопротивление  $R_6$ , можно в широких пределах изменять постоянную времени времязадающей цепи  $T_4$ . Потенциометр  $R_2$ , включенный в цепь делителя  $R_1 R_2 R_3$ , позволяет регулировать величину напряжения  $E$  на сетке лампы  $\Lambda_1$ , изменяя тем самым длительность генерируемого импульса. Цепь  $C_2 R_4$  - запускающая цепь. Конденсатор  $C_1$  совместно с сопротивлением  $R_3$  и частью  $R_2$ , выполняет роль фильтра.

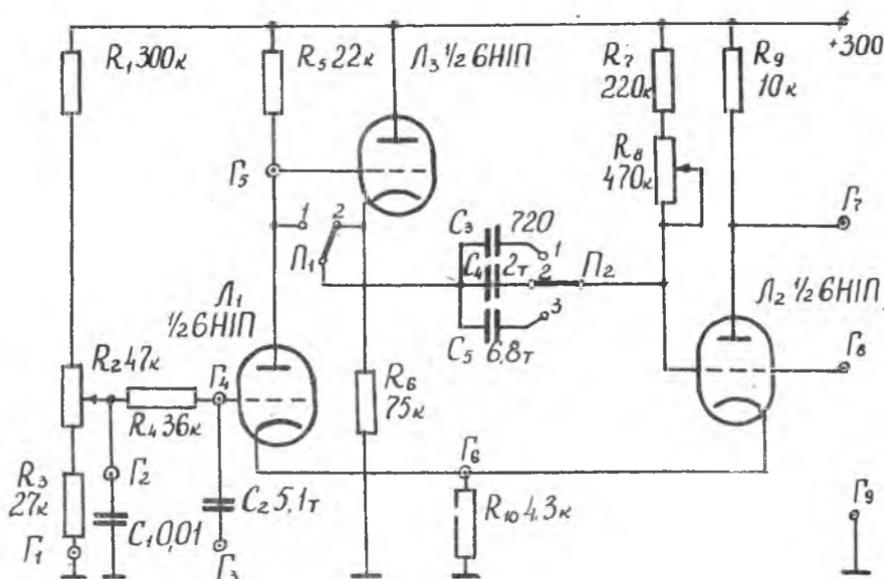


Рис. 3

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подать на вход макета положительные запускающие импульсы со следующими параметрами:

$$t_{\text{зап}} \approx 5 \text{ мксек}$$

$$f_{\text{зап}} = 500 \text{ гц}$$

$$U_{\text{зап}} = 60 \text{ в}$$

Убедиться в нормальной работе ждущего мультивибратора, просмотрев и зарисовав эпюры напряжения в гнездах Г<sub>4</sub>, Г<sub>5</sub>, Г<sub>6</sub>, Г<sub>7</sub> и Г<sub>8</sub>.

2. Исследовать зависимость длительности импульса  $t_u$  от параметров схемы:

а) установить максимальную величину сопротивления  $R_8$ , переключатель П<sub>2</sub> - в положение I и, изменяя величину  $E_0$ , снять зависимость

$t_u = f(E_0)$ . Полученные данные занести в таблицу 3, построить

график и сравнить с расчетными данными.

Таблица 3

$E_0 [В]$	20	25	30	35	40
$t_{u \text{ экп}}$	мксек	—	—	—	—
$t_{u \text{ расч}}$	мксек	—	—	—	—

Величина  $t_{u \text{ расч}}$  определяется из соотношения:

$$t_{u \text{ расч}} = T_{cln} \frac{(E_0 + E_{q01}) R_{q1} + B_{q1} - U_{к0}}{E_q + E_{q02} - (E_0 + E_{q01})}$$

где  $E_{q01}$  и  $E_{q02}$  - потенциалы запирания ламп  $\Lambda_1$  и  $\Lambda_2$  соответственно.

$E_q$  - напряжение источника, к которому подключена управляющая сетка лампы  $\Lambda_2$  (в данном случае  $E_q = E_a$ );  $R_{q1} = R_5$

$U_{к0}$  - напряжение на сопротивлении  $R_k$  ( $R_{k0}$ ) в длительноустойчивом состоянии;

б) установив максимальное значение величины  $E_0$  и изменяя величину  $R_8$  от  $R_{8 \text{ мин}}$  до  $R_{8 \text{ макс}}$  для различных значений времязадающей емкости ( $C_3, C_4$  и  $C_5$ ), снять зависимость  $t_u = f(T_u)$ . Полученные данные занести в таблицу 4, построить график и сравнить с теоретической зависимостью.

Таблица 4

	$R_8$	1	2	3	4	5
$C_3$	$t_{u \text{ расч}}$ мксек					
720 пф	$t_{u \text{ экп}}$ мксек					
$C_4$	$t_{u \text{ расч}}$ мксек					
2000	$t_{u \text{ экп}}$ мксек					
$C_5$	$t_{u \text{ расч}}$ мксек					
6800	$t_{u \text{ экп}}$ мксек					

УЧБ  
 40498/04

3. Определить время восстановления схемы при включении катодного повторителя и без него для одного какого-либо значения постоянной времени зарядной цепи  $T_{ц}$ . Зарисовать форму напряжений на анодах и управляющих сетках ламп  $A_1$  и  $A_2$ .

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы преимущества и недостатки ждущего мультивибратора с катодной связью по сравнению с ждущим мультивибратором с одной гальванической связью?
2. Нарисовать принципиальную схему ждущего мультивибратора с катодной связью.
3. Нарисовать эквивалентную схему ждущего мультивибратора с катодной связью.
4. Нарисовать эюры напряжений на электродах ламп мультивибратора.
5. Показать цепь заряда и разряда времязадающего конденсатора.
6. Объяснить физическую сущность электронной регулировки длительности импульса.
7. Назначение катодного повторителя в схеме ждущего мультивибратора с катодной связью.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В.Т.ФРОЛКИН. Импульсные устройства, стр. 194-200, Машиностроение, 1966.

## РАБОТА № 4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ЛИНЕЙНО ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Основным назначением генераторов линейно изменяющегося во времени напряжения (ЛИН) является точное измерение интервалов времени. Например, в технике осциллографирования, в телевидении и радиолокационных индикаторах в качестве напряжения развертки, в анализирующих, модулирующих и демодулирующих устройствах, в устройствах создания временной задержки и преобразователях аналого-цифрового типа.

Кроме того, обычно ЛИН является базовым напряжением, из которого формируются импульсы различной формы (параболической, трапецеидальной, гиперболической и т.д.).

Практически все методы получения ЛИН в настоящее время основаны на заряде или разряде конденсатора постоянным или приблизительно постоянным током. Следовательно, основная задача при получении ЛИН — стабилизация зарядного или разрядного тока.

Целью данной работы является ознакомление с методом стабилизации зарядного тока конденсатора, дающим возможность получения ЛИН относительно высокой линейности (нелинейность менее 1 %). Этот метод называется компенсационным с положительной обратной связью.

### ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

Принципиальная схема лабораторного макета приведена на рис. 4.

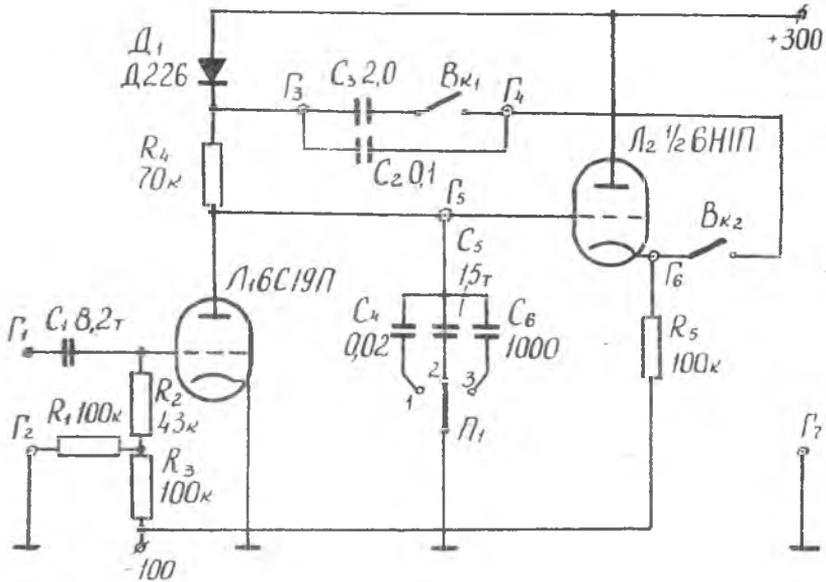


Рис. 4.

Лампа  $L_1$  работает в режиме ключа и до прихода запускающего импульса закрыта отрицательным напряжением, снимаемым с делителя  $R_1 R_3$ . Конденсаторы  $C_4$ ,  $C_5$  и  $C_6$  являются зарядными и подключаются к схеме переключателем  $\Pi_1$ . Катодный повторитель собран на лампе  $L_2$ .

Так как в конце рабочего хода ЛИН напряжение на сетке катодного повторителя приближается к  $E_a$ , то напряжение между анодом и катодом может оказаться очень малым и следовательно, коэффициент передачи катодного повторителя может оказаться значительно меньше единицы. Во избежание этого один вывод сопротивления  $R_5$  подключен к источнику  $\mu = 100$  вольт.

Тумблер  $B_{k2}$  позволяет отключать цепь положительной обратной связи, что дает возможность оценить степень стабилизации зарядного тока в этой схеме. Величина емкости, от которой происходит заряд основных рабочих емкостей, с помощью тумблера  $B_{k1}$  может изменяться в 20 раз, что позволяет оценить влияние величины этой емкости на линейность ЛИН.

### ОПИСАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИНЕЙНОСТИ ЛИН

Численно линейность может быть определена следующим образом. Исследуемое на линейность напряжение подается на горизонтальный вход (вход X) осциллографа. В то же время на вертикальный вход (вход Y) подаются специальные метки времени, период которых является для настоящих измерений эталоном времени. При этом необходимо, чтобы одна из меток совпала с началом исследуемого напряжения, а период меток времени должен быть по крайней мере раз в десять меньше времени прямого хода ЛИН.

Тогда на экране осциллографа будет наблюдаться картина, приведенная на рис.5.

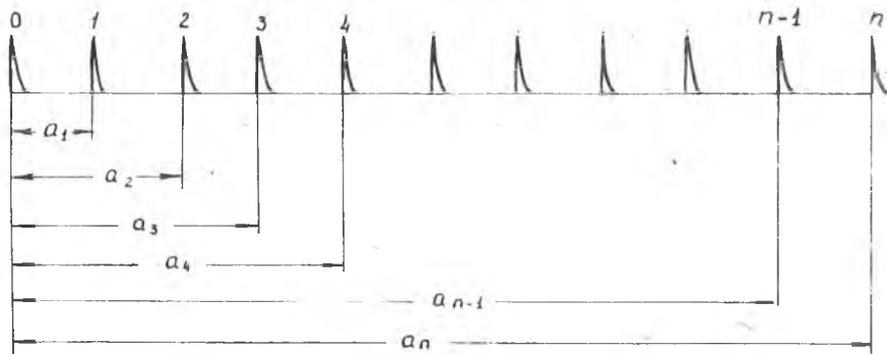


Рис. 5.

В случае идеальной линейности ЛИН все метки будут находиться на равных расстояниях друг от друга.

Измерив на экране все  $a_i$ , строим график в координатах  $a_i$  и  $i$ . Ось  $i$  в этом случае является в определенном масштабе осью времени, ось  $a_i$  - осью смещения луча, а в определенном масштабе и осью развертывающего напряжения (рис.6). Соединив полученные точки, получаем кривую, изображающую нарастание исследуемого напряжения. Через начальную и конечную точки полученной кривой проводим прямую, которая соответствует росту напряжения по идеально линейному закону.

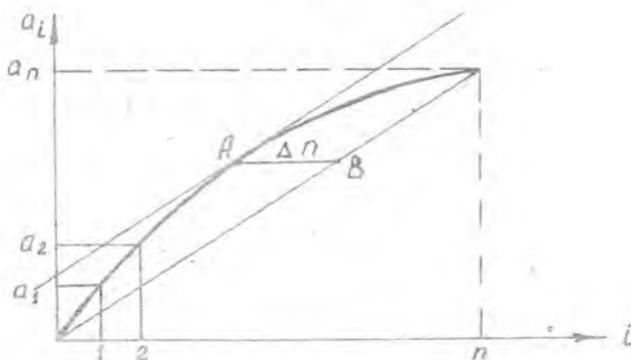


Рис. 6.

Если к полученной кривой провести касательную, параллельную идеальной прямой, как это показано на рисунке, то отрезок  $AB = \Delta n$ , проходящий через точку касания параллельно оси  $i$ , будет пропорционален максимальной временной ошибке.

Отсюда можно определить максимальную относительную ошибку:

$$\delta = \frac{\Delta n}{n},$$

где  $n$  — число меток времени на экране осциллографа.

Если же взять отношение

$$\xi = \frac{a_i - (a_n - a_{n-1})}{a_i} \cdot 100\%.$$

то получим выражение для коэффициента нелинейности ЛИН.

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подать на вход макета положительные запускающие импульсы:

$$t_{\text{зап}} = 10 \text{ нисек}$$

$$U_{\text{зап}} = 100 \text{ В}$$

$$f_{\text{зап}} = 2 \text{ кГц}$$

Убедиться в нормальной работе макета, просмотрев и зарисовав форму напряжения в гнездах  $\Gamma_5$  и  $\Gamma_6$ .

2. Определить влияние величины постоянной времени цепи заряда на линейность пилообразного напряжения:

а) поставить тумблеры  $B_{K1}$  и  $B_{K2}$  в замкнутое положение;

б) для трех значений зарядной емкости ( $C_4$ ,  $C_5$  и  $C_6$ ) зарисовать форму напряжений на ней. Определить линейность и измерить амплитуду пилообразного напряжения.

3. Определить влияние цепи положительной обратной связи на линейность пилообразного напряжения. Для этого при максимальном значении зарядной емкости ( $P_1$  в положении 3) определить линейность пилообразного напряжения при разомкнутом и замкнутом тумблере  $B_{K2}$ . Тумблер  $B_{K1}$  при этом должен быть в разомкнутом положении.

4. Определить влияние величины разделительной емкости на линейность пилообразного напряжения. Для этого при любой величине зарядной емкости измерить линейность пилообразного напряжения при замкнутом и разомкнутом тумблере  $B_{K1}$ .

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каким образом оценивается линейность пилообразного напряжения ?
2. В чем сущность компенсационного метода получения пилообразного напряжения ?
3. Нарисовать принципиальную схему получения пилообразного напряжения.
4. Как отразится на линейности пилообразного напряжения уменьшение или увеличение разрядной емкости ?
5. Как отразится на линейности пилообразного напряжения замена диода  $D_1$  омическим сопротивлением ?
6. Как можно получить перекомпенсированное пилообразное напряжение данным методом ?

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В.Т.ФРОЛКИН. Импульсные устройства, стр. 269-275, 288-300, Машиностроение, 1966.

2. Л.М.ГОЛЬДЕНБЕРГ. Основы импульсной техники, стр.316-321, Связь, 1964.

## РАБОТА № 5

### ИССЛЕДОВАНИЕ ФАНТАСТРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ИМПУЛЬСОВ

В фантастронных генераторах импульсов в качестве времязадающего напряжения применяется линеаризованная экспонента, которую в первом приближении можно рассматривать как прямую линию. Это обеспечивает большую точность и стабильность таких генераторов по сравнению с генераторами мультивибраторного типа. Кроме того, линейность времязадающего напряжения позволяет с успехом использовать такие генераторы для целей временной модуляции, так как в широком диапазоне значений имеет место линейная зависимость длительности импульса от управляющего напряжения.

Основой любого фантастронного генератора импульсов (фантастрона) является схема генератора ЛИН с отрицательной обратной связью. Фантастроны могут работать как в ждущем режиме, так и в режиме автоколебаний.

В данной работе исследуются процессы, протекающие в фантастроне со связью по экранной сетке (ждущий режим) и в фантастроне, работающем в автоколебательном режиме.

Исследуются зависимости длительности импульса и его формы от параметров схемы; экспериментальные данные сравниваются с теоретическими.

### ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

Принципиальная схема лабораторного макета приведена на рис.7. Фантастрон собран на лампе  $L_1$ . С помощью переключателей  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  в макете предусматривается получение схемы фантастрона со связью по экранной

сетке, ( $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  в положении 1) и схемы фанастрона, работающего в автоколебательном режиме ( $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  в положении 2).

Потенциометр  $R_2$ , включенный в цепь делителя  $R_1, R_2, R_3$ , позволяет установить в аноде лампы  $\Lambda_1$  требуемую величину начального напряжения.

Для уменьшения времени восстановления фанастрона на лампе  $\Lambda_2$  собран катодный повторитель, который подключается к схеме переключателем  $\Pi_3$ .

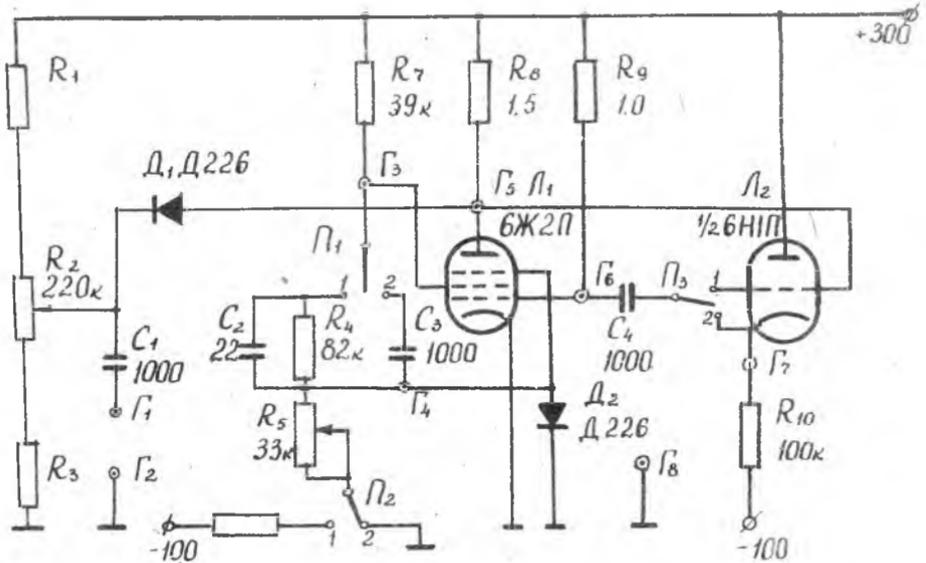


Рис. 7.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Исследование Фантастрона со связью на экранной сетке

I. Установить режим фантастрона со связью по экранной сетке, для чего переключатели  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  поставить в положение "I". Подать на вход макета отрицательные запускающие импульсы:

$$t_{\text{зап.}} = 2 \text{ мксек}$$

$$f_{\text{зап.}} = 1 \text{ кгц}$$

$$U_{\text{зап.}} = 20 \text{ в}$$

Убедиться в нормальной работе фантастрона, просмотрев эюры напряжений в гнездах  $\Gamma_3, \Gamma_4, \Gamma_5, \Gamma_6$ .

2. Исследовать зависимость длительности генерируемого импульса от величины начального напряжения  $E_0$ .

Величина  $E_0$  определяется по вольтметру, включенному между "землей" и гнездом  $\Gamma_5$ , причем при измерении величины  $E_0$  генератор запускающих импульсов должен быть отключен, а при измерении длительности импульса следует отключать вольтметр от схемы.

Полученные данные занести в таблицу 5 и сравнить с теоретической зависимостью.

Таблица 5

$E_0$ [в]	50	80	110	140	170	200	230
$t_{\text{эксп}}$ мксек	—	—	—	—	—	—	—
$t_{\text{расч.}}$ мксек	—	—	—	—	—	—	—

Расчетные данные определяются из выражения:

$$t_u = T_u \frac{E_a - \Delta U - U_{q \text{ мин}}}{E_q + \Delta U}$$

где

$$T_u = R_q \cdot C_k$$

$$E_q = E_a = 300 \text{ В}$$

$\Delta U \approx E_{y_{a1}}$  - напряжение записания  $\Lambda_1$  по первой сетке.

Данные таблицы оформить в виде графиков.

3. Определить время восстановления схемы при включенном катодном повторителе и без него и зарисовать форму напряжения в аноде  $\Lambda_1$ .

### Исследование автоколебательного режима фанатрона

1. Установить автоколебательный режим фанатрона; для чего переключатели  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  поставить в положение 2 и отключить генератор запускающих импульсов.

2. Снять зависимость частоты следования импульсов фанатрона от величины сопротивления  $R_s$   $t_u = \varphi(R_s)$

Полученные данные занести в таблицу 6 и оформить в виде графика.

Таблица 6

$R_s$	2	4	6	8	10
$C_s \cdot R_s$ мксек	—	—	—	—	—
$f_u$ кГц	—	—	—	—	—

3. Просмотреть и зарисовать эпюры напряжений в гнездах  $\Gamma_3$ ,  $\Gamma_4$ ,  $\Gamma_5$  и  $\Gamma_6$ .

4. Определить влияние катодного повторителя на время восстановления фантастрона, для чего вычислить  $T_{восст}$  фантастрона с катодным повторителем и без него и сравнить с результатами эксперимента.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Нарисовать схему фантастрона со связью по экранной сетке; в автоколебательном режиме.
2. Нарисовать эпюры напряжений на электродах ламп фантастронов, перечисленных в п.1.
3. Объясните сущность действия ООС в данной схеме.
4. Каким требованиям должна удовлетворять лампа, работающая в схеме фантастрона ?
5. Каковы пределы изменения длительности импульса фантастронов и чем они ограничиваются ?
6. Показать цепь ПОС для схемы фантастрона.
7. Как выбирается величина анодной нагрузки фантастрона ?

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В.Т.ФРОЛКИН. Импульсные устройства, стр. 328-342, Машиностроение, 1966.
2. З.П.ВАЖЕНИНА. Фантастроновые генераторы, стр. 66-96, Сов.радио, 1965.
3. Д.М.ГОЛЬДЕНБЕРГ. Основы импульсной техники, стр. 350-355, Связь, 1964.

## РАБОТА № 6

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЖДУЩЕГО МУЛЬТИВИБРАТОРА С КОЛЛЕКТОРНО-БАЗОВЫМИ СВЯЗЯМИ

Целью работы является ознакомление с процессами, протекающими в ждущем мультивибраторе с коллекторно-базовыми связями, выполненном на транзисторах. Исследуются зависимости формы и длительности генерируемого импульса от параметров схемы и некоторые методы повышения быстродействия схемы.

#### ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

Принципиальная схема лабораторного макета приведена на рис. 8. Ждущий мультивибратор собран на транзисторах  $T_1$  и  $T_2$ . Времязадающая цепь состоит из сопротивлений  $R_4$  и  $R_5$  и конденсаторов  $C_3, C_4, C_5$ . Потенциометр  $R_4$  и переключатель  $P_1$  позволяют в широких пределах изменять постоянную времени времязадающей цепи. Коллекторная цепь транзистора  $T_2$  с помощью переключателей  $BK_1, P_2$  и  $P_3$  может видоизменяться и принимать следующие виды: либо простейший вид (в цепи коллектора включено одно сопротивление  $R_{10}$ ); либо к коллекторной цепи подключается отключающий диод  $D_1$  с сопротивлениями  $R_8$  и  $R_9$ ; либо возможно подключение эмиттерного повторителя. Возможно и одновременное подключение отключающего диода и эмиттерного повторителя. При подключении отключающего диода  $D_1$  во времязадающую цепь включается потенциометр  $R_8$ , что позволяет в еще большей степени расширить пределы регулировки длительности генерируемого импульса.

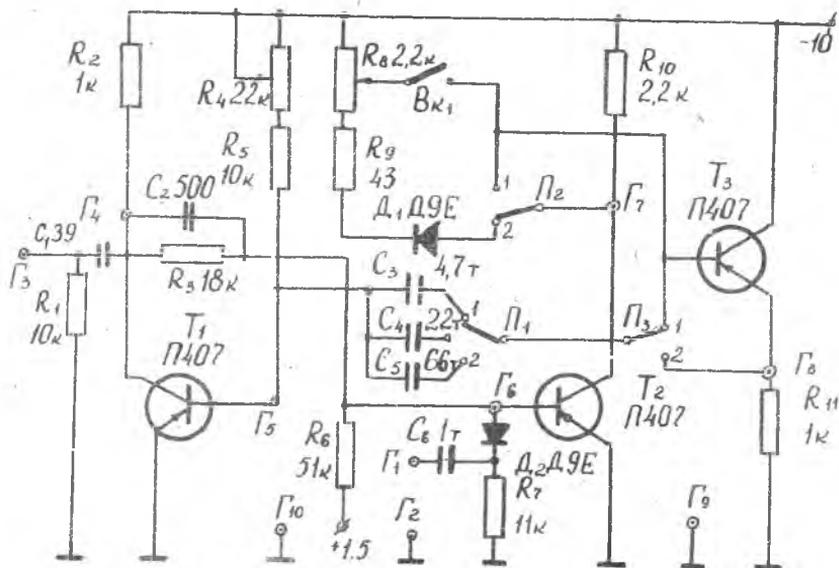


Рис. 8.

Для снятия осциллограмм в различных точках схемы имеется гнезда ( $\Gamma_4 - \Gamma_8$ ).

Цепь, состоящая из диода  $D_2$ , сопротивления  $R_7$  и конденсатора  $C_6$  - цепь запуска.

Для удобства определения длительности генерируемого импульса в коллекторной цепи транзистора  $T_1$  подключена дифференцирующая цепь  $C_1 R_1$ . Продифференцированный задний фронт импульса, наблюдаемый в гнезде  $\Gamma_3$ , своим положением от начала развертки и будет определять длительность генерируемого импульса.

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подать на вход макета отрицательные запускающие импульсы со сле-

дукциями параметрами:

$$t_{u \text{ зап.}} = 2 \text{ мксек} \quad U_{\text{ зап.}} = 26$$

$$f_{\text{ зап.}} = 500 \text{ гц}$$

Убедиться в нормальной работе макета, просмотрев осциллограммы в гнездах  $\Gamma_4, \Gamma_5, \Gamma_6, \Gamma_7$ .

2. Исследовать зависимость длительности генерируемого импульса от параметров схемы:

а) отключить от коллекторной цепи транзистора  $T_2$  эмиттерный повторитель и отключающий диод;

б) изменяя величину сопротивления  $R_4$ , снять зависимость  $t_u = f(T_u)$ , где  $T_u$  — постоянная времени времязадающей цепи  $R_4 \cdot (C_3, C_4, C_5)$ . Данную зависимость снимать для трех значений емкостей  $(C_3, C_4, C_5)$ . Результаты эксперимента занести в таблицу 7, оформить в виде графика и сравнить с теоретической зависимостью, получаемой из выражения  $t_u \approx 0,7 T_u$

Таблица 7

$R_4$	0	2	4	6	8	10
$t_u$ эксп.	$C_3 3_{\text{мкс}}$	32 м	42	70	90	105
мксек	$C_4 115$	125	120	105	300	350
	$C_5 250$	320	530	800	950	1100
$t_u$ расч.	$C_3$					
мксек	$C_4$					
	$C_5$					

в) подключить к коллекторной цепи транзистора  $T_2$  отключающий диод  $D_2$ . Изменяя величину сопротивлений  $R_4$  и  $R_9$  от значений  $R_{4 \text{ мин}} + R_{9 \text{ мин}}$  до  $R_{4 \text{ макс}} + R_{9 \text{ макс}}$ , снять зависимость  $t_u = f(T_u)$ , где  $T_u$  — постоянная времени времязадающей цепи, с учетом отключающей цепи. Результаты эксперимента занести в таблицу 8 и оформить в виде графика.

По данным эксперимента для трех значений времязадающей емкости  $(C_3, C_4, C_5)$  определить коэффициент перекрытия для схемы

$$R_1 = \frac{t_{\text{имакс}}}{t_{\text{имин}}} / C_3; R_2 = \frac{t_{\text{имакс}}}{t_{\text{имин}}} / C_4; R_3 = \frac{t_{\text{имакс}}}{t_{\text{имин}}} / C_5$$

Таблица 8

$R_4 + R_5$		0	2	4	6	8	10
$t_{\text{и эксп}}$	$C_3$	—	15	30	45	60	100
$m_{\text{сек}}$	$C_4$		70	130	245	300	350
	$C_5$		800	350	250	1000	1100

3. Определить влияние отключающего диода  $D_1$  на форму импульса в коллекторе транзистора  $T_2$ . Зарисовать форму импульса в гнезде  $\Pi_7$  при двух положениях переключателя:  $\Pi_2$  - "1" и "2".

4. Определить влияние эмиттерного повторителя на форму импульса в коллекторе  $T_2$ . Для этого необходимо переключатель  $\Pi_2$  перевести в положение "1" а  $B_{\text{к}}$  разомкнуть. Зарисовать форму импульса в коллекторе транзистора  $T_2$  для двух положений переключателя  $\Pi_2$  - "1" и "2" и определить время восстановления схемы при этих двух положениях переключателя  $\Pi_2$ . Полученные значения времени восстановления схемы сравнить с расчетными.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Нарисовать принципиальную схему ждущего мультивибратора с коллекторно-базовой связью.
2. Нарисовать эквивалентную схему ждущего мультивибратора для временно-устойчивого состояния.
3. Написать условие нормальной работы ждущего мультивибратора (условие насыщения  $T_1$  и условие запираия  $T_2$ ).
4. Нарисовать эпюры напряжений в коллекторах и базах обоих транзисторов.

5. Объяснить назначение отключающего диода.
6. Объяснить назначение эмиттерного повторителя.
7. Из каких условий выбираются сопротивления  $R_3$  и  $R_6$  ?

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В.Т.ФРОЛКИН. Импульсные устройства, стр.210-215, Машиностроение, 1966.
2. Л.М.ГОЛЬДЕНБЕРГ. Основы импульсной техники, стр.235-240, Связь, 1964.
3. Е.Ф.ДОРОНКИН, В.В.ВОСКРЕСЕНСКИЙ. Транзисторные генераторы импульсов, стр. 51-53, Связь, 1965.

## РАБОТА № 7

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЖДУЩЕГО МУЛЬТИВИБРАТОРА С ЭМИТТЕРНОЙ СВЯЗЬЮ

Мультивибратор с эмиттерной связью является аналогом ламповой схемы мультивибратора с катодной связью и обладает сходными с последней преимуществами и недостатками. Однако расчетные соотношения, определяющие выбор параметров и длительность основных процессов, протекающих в схеме, как обычно, в значительной степени отличается от лампового аналога в силу специфических свойств транзисторов.

Целью работы является ознакомление с процессами протекающими в мультивибраторе с эмиттерной связью и их особенностями по сравнению с ламповым аналогом.

#### ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

Принципиальная схема лабораторного макета приведена на рис.9.

Мультивибратор собран на транзисторах  $T_1$  и  $T_2$ . Времязадающая цепь состоит из сопротивлений  $R_3$  и  $R_4$  и конденсаторов  $C_2$ ,  $C_3$  и  $C_4$ .

Переключатель  $\Pi_1$  позволяет скачкообразно, а потенциометр  $R_3$  - плавно изменять величину постоянной времени времязадающей цепи. Тумблер  $B_{\lambda 1}$  к коллекторной цепи транзистора  $T_2$  подключает отключающую цепь, состоящую из диода  $D_1$  и переменного сопротивления  $R_5$ . В этом случае сопротивление будет входить во времязадающую цепь и определять длительность генерируемого импульса. Эмиттерный повторитель, собранный на транзисторе  $T_3$ , переключателем  $\Pi_2$  может подключаться к коллекторной цепи транзистора  $T_2$ .

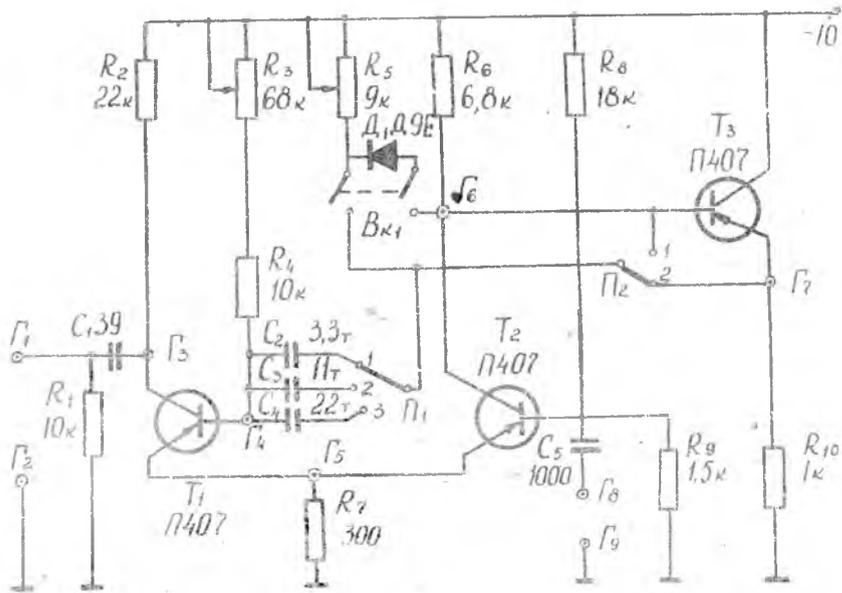


Рис. 9.

Запуск схемы осуществляется отрицательными импульсами, подаваемыми в базу транзистора  $T_2$ .

Для удобства отсчета при определении длительности генерируемого импульса к коллектору транзистора  $T_1$  подключена дифференцирующая цепь. Положительный импульс от дифференцирования заднего фронта импульса в коллекторе  $T_2$  своим положением по отношению к началу развертки и будет определять длительность импульсов схемы.

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подать на вход макета отрицательные запускающие импульсы:

$$t_{\text{имп}} = 2 \text{ мксек}$$

$$U_{300} \approx 2,06$$

$$f_{300} = 500 \text{ Гц}$$

Убедиться в нормальной работе ждущего мультивибратора, для чего просмотреть и зарисовать эпюры напряжений в гнездах  $\Gamma_3$ ,  $\Gamma_4$ ,  $\Gamma_5$  и  $\Gamma_6$ .

2. Определить влияние параметров схемы на длительность генерируемых импульсов:

а) отключить от коллекторной цепи транзистора  $T_2$  отключающую цепь и эмиттерный повторитель, для чего тумблер  $B_{K1}$  поставить в разомкнутое положение, а переключатель  $B_2$  поставить в положение «I»;

б) изменяя величину сопротивления  $R_3$ , снять зависимость  $t_u = f(T_u)$ , где  $T_u$  - постоянная времени времязадающей цепи  $R_3(C_2; C_3; C_4)$ . Результаты эксперимента занести в таблицу 9, оформить в виде графика и сравнить с теоретической зависимостью, получаемой из выражения

$$t_u \approx 0,7 \cdot T_u$$

Таблица 9

$R_3$		0	2	4	6	8	10
$t_u$	$C_2$	300	120	110	80	70	40
эксп	$C_3$	600	300	300	300	200	120
мксек	$C_4$	700	800	600	500	500	100
$t_u$	$C_3$						
расч.	$C_4$						
мксек	$C_5$						

в) подключить к коллекторной цепи транзистора  $T_2$  отключающую цепь, для чего тумблер  $B_{K1}$  поставить в замкнутое положение. Изменяя величину сопротивлений  $R_3$  и  $R_5$  от значений  $R_{3 \text{ мин}} + R_{5 \text{ мин}}$  до  $R_{3 \text{ макс}} + R_{5 \text{ макс}}$ ,

снять зависимость  $t_u = f(T_u)$ , где  $T_u$  - постоянная времени времязаряжающей цепи с учетом отключающей цепи. Результаты эксперимента занести в таблицу IO и оформить в виде графиков.

Таблица IO

$R_3 + R_4$	0	2	4	6	8	IO
$t_u$	$C_2$					
эксн.	$C_3$					
мксек	$C_4$					

По данным эксперимента для трех значений времязадающей емкости ( $C_2, C_3$  и  $C_4$ ) определить коэффициент перекрытия для данной схемы

$$K_1 = \frac{t_{u \text{ макс.}}}{t_{u \text{ мин.}}} / C_2; K_2 = \frac{t_{u \text{ макс.}}}{t_{u \text{ мин.}}} / C_3; K_3 = \frac{t_{u \text{ макс.}}}{t_{u \text{ мин.}}} / C_4$$

3. Определить влияние отключающего диода  $D_1$  на форму импульса в коллекторе транзистора  $T_2$ . Зарисовать форму импульса в гнезде  $\Gamma_6$  для замкнутого и разомкнутого положения тумблера  $B_{K1}$ .

4. Определить влияние эмиттерного повторителя на форму импульса в коллекторе  $T_2$ . Для этого необходимо при отключенной отключающей цепи (тумблер  $B_{K1}$  разомкнут) зарисовать форму импульса в гнезде  $\Gamma_6$  при двух положениях переключателя  $\Pi_2$  ("1" и "2") и определить время восстановления схемы при этих двух положениях переключателя  $\Pi_2$ . Полученные значения времени восстановления схемы сравнить с расчетными.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Нарисовать принципиальную схему ждущего мультивибратора с эмиттерной связью.

2. Нарисовать эквивалентную схему ждущего мультивибратора для временно-устойчивого состояния.

3. Написать условие нормальной работы ждущего мультивибратора.
4. Нарисовать эпюры напряжений в коллекторах и базах обоих транзисторов.
5. Объяснить назначение отключающего диода.
6. Объяснить назначение эмиттерного повторителя.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В.Т.ФРОЛКИН. Импульсные устройства, стр. 215-220, Машиностроение, 1966.
2. И.П.СТЕПАНЕНКО. Основы теории транзисторов и транзисторных схем, стр. 487-495, Энергия, 1967.
3. И.М.ГОЛЬДЕНБЕРГ. Основы импульсной техники, стр. 243-247, Связь, 1964.
4. Е.Ф.ДОРОНКИН, В.В.ВОСКРЕСЕНСКИЙ. Транзисторные генераторы импульсов, стр. 54-59, Связь, 1965.

## РАБОТА № 8

### ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ЛИНЕЙНО ИЗМЕНЯЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ С ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ НА ТРАНЗИСТОРАХ

Транзисторная схема генератора линейно изменяющего напряжения (ЛИН) с положительной обратной связью (ПОС) аналогична ламповой схеме, однако специфические свойства транзисторов определяют более или менее существенные отличия формирования прямого и обратного ходов пилообразного напряжения, а также восстановления начального состояния. Кроме того, эмиттерный повторитель значительно отличается от катодного повторителя по коэффициенту передачи и по величине входного сопротивления. Это также накладывает отпечаток на условие работы транзисторной схемы.

Целью работы является ознакомление с особенностями работы схемы для получения ЛИН с ПОС, выполненной на транзисторах.

#### ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

Принципиальная схема лабораторного макета приведена на рис.10.

Транзистор  $T_1$  выполняет роль ключа и до прихода запускающего импульса закрыт положительным напряжением, подаваемым через сопротивление  $R_1$  на базу.

Переключатель  $N_1$  подключает к схеме один из зарядных конденсаторов  $C_1$ ,  $C_2$  или  $C_3$ . Тумблер  $B_{*1}$  изменяет величину емкости, используемой в качестве источника компенсирующей ЭДС. При замыкании этого тумблера параллельно основному конденсатору  $C_4$  подключается дополнительный конденсатор  $C_5$  с емкостью большей величины.

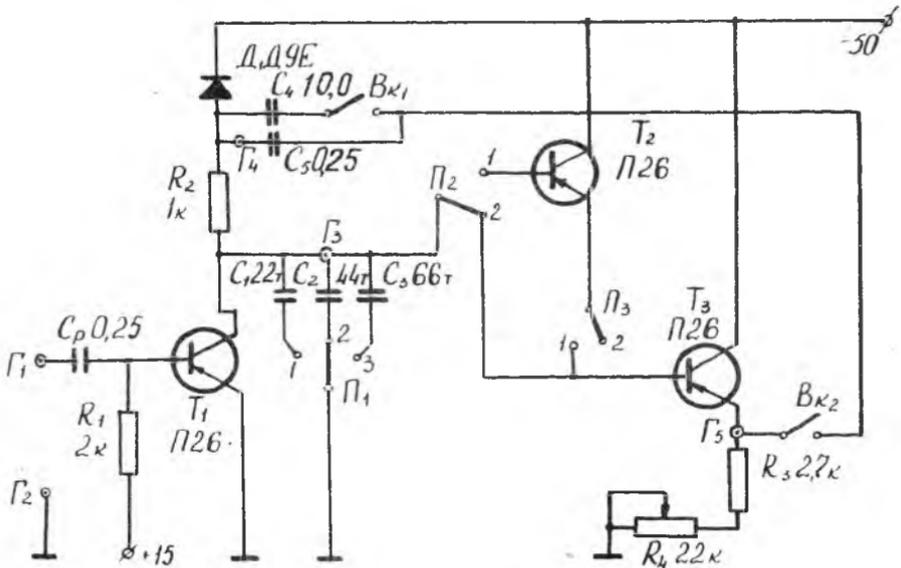


Рис. 10.

Переключатели  $\Pi_2$  и  $\Pi_3$  позволяют подключать к схеме или простой эмиттерный повторитель на транзисторе  $T_3$  ( $\Pi_2$  и  $\Pi_3$  в положении «2») или составной эмиттерный повторитель на транзисторах  $T_2$  и  $T_3$  ( $\Pi_2$  и  $\Pi_3$  в положении «1»). Тумблер  $B_{к2}$  позволяет отключать или подключать к схеме цепь ИОС. Для определения влияния величины входного сопротивления эмиттерного повторителя на линейность пилообразного напряжения в эмиттер транзистора  $T_3$  включено переменное сопротивление

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

I. Подать на вход макета отрицательные запускающие импульсы:

$$U_{\text{зан}} = 10\text{В}$$

$$t_{\text{зан}} = 10 \text{ мксек}$$

$$f_{\text{зан}} = 2,5 \text{ кгц}$$

Убедиться в нормальной работе макета, для чего просмотреть и зарисовать эпюры напряжений в гнездах  $\Gamma_3$  и  $\Gamma_5$ .

2. Определить влияние величины постоянной времени цепи заряда на линейность пилообразного напряжения:

а) поставить тумблеры  $B_{K1}$  и  $B_{K2}$  в замкнутое положение, а переключатели  $\Pi_2$  и  $\Pi_3$  в положение "2".

Для трех значений зарядной емкости ( $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$ ) зарисовать форму напряжений в гнезде  $\Gamma_3$ . Определить линейность и измерить амплитуду пилообразного напряжения.

Примечание. Линейность пилообразного напряжения измеряется по методу, описанному в работе № 4 настоящего руководства.

3. Определить влияние цепи ПОС на линейность пилообразного напряжения. Для этого при минимальном значении зарядной емкости ( $\Pi_1$  в положении "I") определить линейность пилообразного напряжения при разомкнутом и замкнутом положениях тумблера  $B_{K2}$ . При выполнении этого пункта использовать простой эмиттерный повторитель, т.е. переключатели  $\Pi_2$  и  $\Pi_3$  поставить в положение "2".

4. Определить влияние величины разделительного конденсатора на линейность пилообразного напряжения. Для этого при минимальной величине зарядной емкости ( $\Pi_1$  в положении "I") определить линейность пилообразного напряжения при замкнутом и разомкнутом положениях тумблера  $B_{K1}$ .

5. Определить улучшение линейности пилообразного напряжения при подключении к схеме составного эмиттерного повторителя. Для этого при замкнутых тумблерах  $B_{K1}$  и  $B_{K2}$  измерить линейность пилообразного напряжения для двух положений переключателей  $\Pi_2$  и  $\Pi_3$  - "I" и "2".

6. Определить влияние величины входного сопротивления эмиттерного повторителя на линейность пилообразного напряжения. Для этого при простом эмиттерном повторителе и замкнутой цепи ПОС измерить линейность пилообразного напряжения, для двух значений величин сопротивления  $R_4$  -  $R_4$  мин. и  $R_4$  макс. и рассчитать входное сопротивление эмиттерного повторителя для этих значений сопротивления  $R_4$ .

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Нарисовать принципиальную схему для получения ЛИН с ПОС.
2. Объяснить назначение диода  $D_1$  и определить время его включения и выключения.
3. Перечислить основные требования, предъявляемые к транзистору  $T_1$  в данной схеме.
4. В чем преимущество применения в данной схеме составного эмиттерного повторителя по сравнению с простым эмиттерным повторителем?
5. Дать сравнительную оценку эмиттерному и катодному повторителям применительно к данной схеме.
6. Из каких соображений выбирается величина нагрузки эмиттерного повторителя применительно к данной схеме?

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В.Т.ФРОЛКИН. Импульсные устройства, стр. 300-308, Машиностроение, 1966.
2. И.П.СТЕПАНЕНКО. Основы транзисторов и транзисторных схем, стр. 535-539, Энергия, 1967.
3. Л.М.ГОЛЬДЕНБЕРГ. Основы импульсной техники, стр. 333-341, Связь, 1964.
4. Е.Ф.ДОРОНКИН, В.В.ВОСКРЕСЕНСКИЙ. Транзисторные генераторы импульсов, стр. 177-188, Связь, 1965.

## РАБОТА № 9

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРНОГО КЛЮЧА С ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ

В подавляющем большинстве импульсных схем электронные лампы и транзисторы работают в так называемом ключевом режиме. Если время пролета электронов в электронной лампе необходимо принимать во внимание лишь при работе с импульсами наносекундной длительности, то процессы установления стационарных токов, связанные с перемещением носителей зарядов (электронов и дырок) за счет диффузии и дрейфа в полупроводниковых приборах, необходимо учитывать в обычной (микросекундной) импульсной технике.

Целью работы является изучение ключевых свойств транзисторов. Исследуется зависимость параметров ключа от величины управляющего сигнала, от метода включения транзистора и от его частотных свойств; экспериментальные данные сравниваются с теоретическими.

#### ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

Принципиальная схема лабораторного макета приведена на рис. II. Схема состоит из двух ключей ОЭ. В ключе а) применен низкочастотный транзистор типа П26, а в ключе б) - высокочастотный, типа П402. Сравнение этих двух ключей позволяет выявить влияние частотных свойств транзистора на качество ключа.

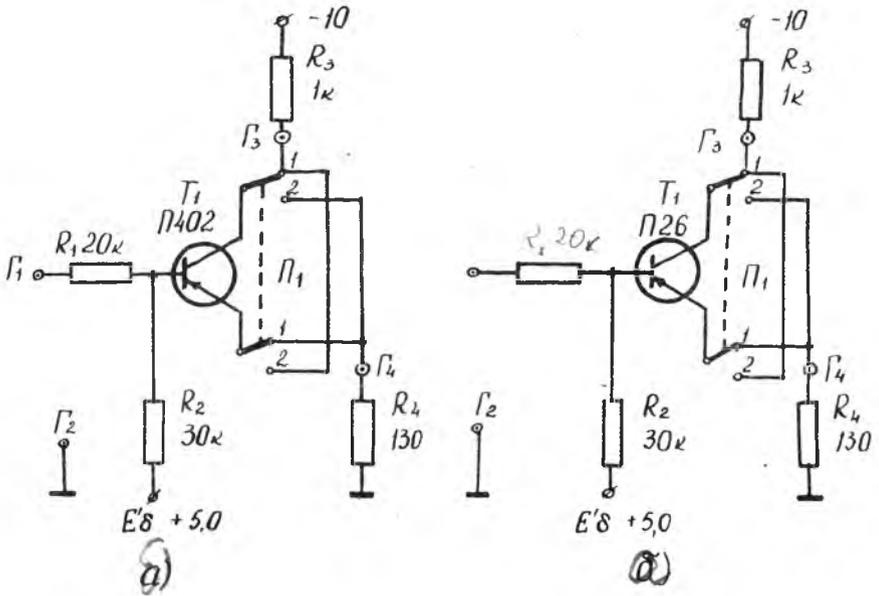


Рис. II.

Переключателем  $\Pi_1$  обеспечивается нормальное и инверсное включение транзисторов. Строго говоря подобный ключ относится не к ключу с общим эмиттером, а к ключу типа "звезда".

Переходные процессы в ключе "звезда" имеют некоторую специфику. Так, положительный фронт формируется в условиях меняющегося тока базы:

$$i\delta = J\delta_0 - \gamma\delta \cdot i_k$$

где

$$J\delta_0 = J\delta(0) = \frac{E\delta}{R\delta + R_3} \text{ - начальный ток базы}$$

$$\gamma\delta = \frac{R_3}{R_3 + R\delta} \text{ - коэффициент обратной связи.}$$

Тогда время формирования положительного фронта будет определяться

$$t_{\Phi}^+ = \frac{T_B}{1 + \gamma\delta \cdot \beta} \ln \frac{I_{\delta 1}}{I_{\delta 1} - \frac{I_{\mu n}}{\beta}}$$

Процесс рассасывания имеет ту специфику, что поступление запирающего импульса сопровождается не только изменением базового тока, но и коллекторного тока насыщения  $I_{\mu n}$ .

Запирающий сигнал несколько увеличивает ток коллектора и соответственно граничный заряд  $Q_{gr}$ . Поэтому при тех же значениях  $I_{\delta 2}$  и  $Q(0)$  рассасывание в ключе-звезде происходит быстрее, чем в ключе ОЭ.

Формирование отрицательного фронта - процесс более сложный, но с достаточной степенью точности можно ограничиться выражением:

$$t_{\Phi}^- = \frac{T_B}{1 + \gamma\delta \cdot \beta} \ln \frac{-I_{\delta 2} \cdot \frac{I_{\mu n}}{\beta}}{-I_{\delta 2}}$$

где  $I_{\mu n}$  - ток насыщения после подачи запирающего сигнала.

Из схемы видно, что

$$R_{\delta} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}, \text{ а}$$

$$R_{\delta} = R_4$$

Следовательно,

$$\gamma\delta = \frac{R_2}{R_3 + R_8} \approx 0,01$$

т.е. величина коэффициента обратной связи весьма мала.

Если при специально подобранных транзисторах взять величину  $\beta = 25 \div 30$ , то уменьшение  $T_B$  произойдет всего на 20-22 %, что вполне допустимо, если принять во внимание ту наглядность и те удобства определения величин длительности фронтов и времени рассасывания, которые получаются в ключе-звезде.

Необходимо отметить еще одно обстоятельство.

Величины постоянных времени при формировании положительного фронта, при накоплении и при рассасывании заряда в базе при формировании отрицательного фронта различны между собой, так как различны значения зарядов в базе для перечисленных моментов времени.

Можно полагать, что при формировании положительного фронта импульса коллекторного тока величина постоянной времени  $\tau_{\beta}$  (время жизни неосновных носителей в базе) без учета постоянной времени коллекторной цепи ( $C_K \cdot R_K$ ) может быть определена для ключа с ОБ как

$$\tau_{\beta} = \frac{1+\beta}{2\pi f_d} \approx \frac{\beta}{2\pi f_d}$$

где  $f_d$  - граничная частота при включении с ОБ.

После перехода транзистора в режим насыщения, распределение дырок в базе более соответствует инверсному включению транзистора. Поэтому постоянная времени накопления -  $\tau_{\beta n} = \tau_i$  - инверсному времени жизни, которое в большей степени определяется поверхностной рекомбинацией и поэтому меньше чем  $\tau_{\beta}$ .

Будем полагать, что

$$\tau_{\beta n} \approx 0,90\tau_{\beta}$$

Постоянную времени при рассасывании заряда в базе надо брать на 20 - 25 % меньше, чем  $\tau_{\beta n}$ , так как накопление начинается при малом заряде в базе, а рассасывание - при большем заряде, когда поверхностные рекомбинации играют значительную роль.

Будем полагать, что

$$\tau_{\beta p} \approx 0,8\tau_{\beta n} \approx 0,72\tau_{\beta}$$

При значении сопротивления  $R_1 = 20$  ком и считая, что при насыщении транзистора его входное сопротивление  $r_{вх} = 0$ , отпирающий ток  $J_{\beta}$  определится как

$$J_{\beta} = \frac{U_{вых}}{R_1}$$

где  $U_{вых}$  - выходное напряжение генератора импульсов.



По данным таблицам строятся графики зависимости

$$t_{\bar{\varphi}} \text{ эксп.} = f(J\delta_1) \text{ и } t_p \text{ эксп.} = f(J\delta_1).$$

Полученные экспериментальные зависимости сравниваются с теоретическими, получаемыми из выражений:

$$t_{\bar{\varphi}} = \tau_{\beta} \ln \frac{J\delta_1}{J\delta_1 - \frac{J_{KN}}{\beta}}$$

$$t_p = \tau_{\beta P} \cdot C_{11} \frac{J\delta_1 (1 - e^{-\frac{t_u}{\tau_{\beta P}}}) - J\delta_2}{\frac{J_{KN}}{\beta} - J\delta_2}$$

где

$$J_{KN} = \frac{E_K}{R_3 + R_4}$$

$t_u$  - длительность отпирающего импульса = 10 мксек.

$$J\delta_2 = \frac{E'_D}{R_2} ; \beta^* - \text{коэффициент усиления по току при включении с ОЭ};$$

б) пользуясь калибровкой осциллографа по длительности определить длительность отрицательного фронта  $t_{\bar{\varphi}}$  при насыщенном состоянии транзистора. Полученный результат сравнить с расчетным значением, полученным из выражения:

$$t_{\bar{\varphi}} = \tau_{\beta} \ln \frac{J_{KN}/\beta - J\delta_2}{J\delta_1 - J\delta_2}$$

в) снять зависимость  $t_{\bar{\varphi}} = f(J\delta_1)$  и  $t_p = f(J\delta_1)$  для высоко-частотного транзистора. При выполнении данного пункта необходимо руководствоваться указаниями пунктов а) и б) данной работы и использовать имеющуюся в п.а.) таблицу, справедливую и при выполнении настоящего пункта.

\*) Численное значение  $\beta$  указано на макете или определяется преподавателем.

П. Исследование переходных характеристик ключа ОЭ при инверсном включении транзистора.

Для снятия зависимостей  $t_{\phi u} = f(I_{\delta 1})$  и  $t_{pu} = f(I_{\delta 1})$  как для низкочастотного так и высокочастотного транзисторов необходимо переключатель  $\Pi_1$  перевести в положение "2".

При выполнении этого пункта использовать таблицу и указания пункта а).

Примечание. Для сравнения ключевых свойств низкочастотного и высокочастотного транзисторов как при нормальном так и при инверсном включении все четыре зависимости

$$t_{\phi} = f(I_{\delta 1}); \quad t_p = f(I_{\delta 1}) \quad ; \quad t_{\phi u} = f(I_{\delta 1}) \quad \text{и} \quad t_{pu} = f(I_{\delta 1})$$

строятся на одном графике.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать сравнительную оценку ключевым свойствам транзистора и электронной лампы.
2. Чем объясняется различие между постоянными времени  $T_p, T_{\beta ni}, T_{\beta p}$ ?
3. Чем объясняется различие между коэффициентами  $\beta$  и  $\beta u$ ?
4. Как объяснить то обстоятельство, что расчетное значение  $t_{\phi}$  получается несколько меньшим, чем экспериментальное?
5. Что такое эмиттерное рассасывание и каково условие его существования?

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В.Т.ФРОЛКИН. Импульсные устройства, стр. 28-33, Машиностроение, 1966.
2. И.П.СТЕПАНЕНКО. Основы теории транзисторов и транзисторных схем, стр. 394-407, Энергия, 1967.

3. В.Ф.ДОРОНКИН, В.В.ВОСКРЕСЕНСКИЙ. Транзисторные генераторы импульсов, стр. 24-31, Связь, 1965.

4. Под ред. М.Д.ШТЕРКА. Расчет и проектирование импульсных устройств на транзисторах, стр. 42-49, Сов.радио, 1964.

## РАБОТА № 10

### ИССЛЕДОВАНИЕ СИММЕТРИЧНОГО ТРИГГЕРА НА ТРАНЗИСТОРАХ

Потенциальные или статические триггеры, при помощи которых осуществляют пересчет (деление на 2) частоты следования импульсов, переключение ветвей радиоэлектронных цепей, управление генераторами линейно изменяющихся напряжений и токов, формирование прямоугольных импульсов и многие другие функции широко применяются в импульсных и цифровых устройствах как двоичные ячейки при заполнении информации, осуществлении арифметических и логических операций.

Одной из основных характеристик триггера является быстродействие, которое определяется наибольшим числом надежных срабатываний его в секунду при постоянном периоде следования запускающих импульсов.

Быстродействие триггера определяется не только частотными свойствами транзисторов но и условиями запуска триггера и его схемным решением.

В настоящей работе рассматриваются наиболее часто применяемые на практике методы запуска триггеров и некоторые схемные решения вопроса повышения быстродействия, исследуется влияние условий запуска на переходные процессы в триггере.

### ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

Принципиальная схема макета приведена на рис.12. Как видно из схемы, собственно триггер собран на триодах  $T_1$  и  $T_2$ .

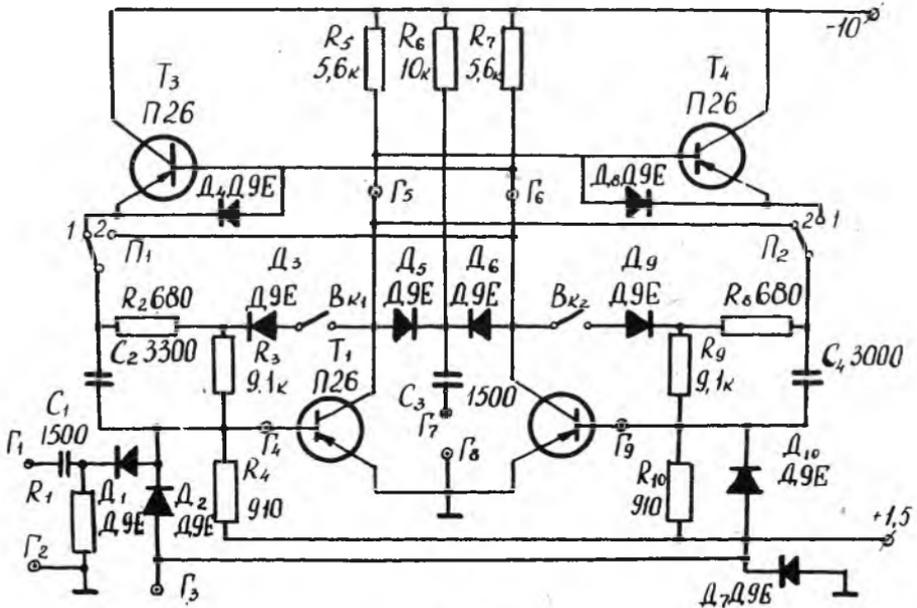


Рис. 12.

Тумблеры  $BK_1$  и  $BK_2$  позволяют подключать цепь нелинейной отрицательной обратной связи.

Переключатели  $P_1$  и  $P_2$  подключают к коллекторно-базовым цепям эмиттерные повторители или отключают их. Таким образом, если тумблеры  $BK_1$  и  $BK_2$  находятся в разомкнутом положении, а переключатели  $P_1$  и  $P_2$  - в положении "2", то схема представляет из себя обычный классический триггер.

Через гнездо  $\Gamma_3$  осуществляется счетный запуск триггера по базовым цепям, через гнездо  $\Gamma_7$  - по коллекторным цепям. Гнездо  $\Gamma_1$  позволяет осуществить раздельный запуск триггера.

Триггер выполнен на низкочастотных транзисторах типа П26, с граничной частотой  $f_d \approx 0,2$  мГц, что позволяет при относительно низких частотах запуска триггера исследовать время формирования фронтов.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### Исследование триггера со счетным запуском по базовым цепям

Г. а) Установить режим простейшего триггера, для чего тумблеры  $B_{K1}$  и  $B_{K2}$  поставить в разомкнутое положение, а переключатели  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  в положение „2“.

б) Подать на вход  $\Gamma_3$  триггера положительные запускающие импульсы с параметрами  $f_{зап} = 10$  кГц  $t_{д.зап} = 10$  мксек.

в) Плавно изменяя величину амплитуды запускающего импульса, определить минимальную амплитуду запускающих импульсов  $U_{зап. мин.}$ , при которой происходит устойчивый запуск триггера.

г) Просмотреть и зарисовать форму импульсов в коллекторной ( $\Gamma_5$ - $\Gamma_6$ ) и базовой ( $\Gamma_4$ - $\Gamma_9$ ) цепях.

д) При минимальной амплитуде запускающих импульсов  $U_{зап. мин.}$ , определить длительность переходных процессов в коллекторной и базовой цепях одного из транзисторов и зарисовать форму этих переходных процессов.

При выполнении этого пункта необходимо увеличить скорость развертки осциллографа так, чтобы оба процесса (формирование положительного фронта и формирование отрицательного фронта) были одновременно видны на экране осциллографа. Чтобы переходные процессы осциллографа при его запуске не искажали наблюдаемой картины, необходимо импульс, запускающий триггер, задержать на 5-10 мксек по отношению к импульсу, запускающему развертку осциллографа.

е) Определить длительность и зарисовать форму переходных процессов в коллекторной и базовой цепях одного из транзисторов при следующих значениях величины амплитуды запускающих импульсов:

$$U_{зап.1} = 2 U_{зап. мин.}$$

$$U_{зап.2} = 5 U_{зап. мин.}$$

$$U_{зап.3} = 10 U_{зап. мин.}$$

Примечание. При изменении величины амплитуды запускающих импульсов в переходных процессах в триггере полученные формы напряжений для большей наглядности необходимо нарисовать совмещенными, т.е. на одном графике.

2. а) Замкнуть цепь нелинейной отрицательной обратной связи (тумблеры  $B_{K1}$  и  $B_{K2}$  поставить в замкнутое положение) и при амплитуде запускающих импульсов  $U_{зап. мин.}$  определить длительность и зарисовать форму переходных процессов в триггере.

Примечание. Если при этом не происходит запуск триггера, то, увеличивая амплитуду запускающих импульсов, определить  $U_{зап. мин.}$  при включенной цепи нелинейной отрицательной обратной связи. Результаты, полученные в данном пункте, сравнить с результатами пункта 1д.

б) При замкнутой цепи нелинейной отрицательной обратной связи подключить к коллекторным цепям эмиттерные повторители ( $P_1$  и  $P_2$  в положении "I"). Определить длительность и зарисовать форму переходных процессов в триггере при  $U_{зап. мин.}$

Примечание. Величина  $U_{зап. мин.}$ , определенная в данном пункте в общем случае, может быть не равной величине  $U_{зап. мин.}$ , определенной в п.1в данной работы. Поэтому величина  $U_{зап. мин.}$  должна определяться в каждом случае отдельно.

Полученные результаты сравнить с результатами пункта 1д.

#### Исследование триггера со счетным запуском по коллекторным цепям

1. а) Установить режим простейшего триггера, для чего тумблеры  $B_{K1}$  и  $B_{K2}$  поставить в разомкнутое положение, а тумблеры  $P_1$  и  $P_2$  в положение "2".

б) Подать на вход ( $\Gamma_7$ ) триггера запускающие импульсы с параметрами  $f_{зап.} = 10$  кГц,  $t_{у. зап.} = 10$  мкс.

Дальнейшее исследование переходных процессов в триггере при счетном запуске по коллекторным цепям необходимо проводить, руководствуясь всеми пунктами раздела I в той же последовательности, начиная с пункта 1в.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Нарисовать эквивалентные схемы для закрытого и открытого транзисторов триггера в статическом режиме.
2. Написать условие нахождения транзистора в режиме насыщения и в режиме отсечки, исходя из эквивалентной схемы триггера в статическом режиме.
3. Нарисовать форму переходных процессов в триггере при счетном запуске по базовым цепям.
4. Как влияет цепь нелинейной отрицательной обратной связи с коллектора на базу на повышение быстродействия триггера ?
5. Как влияет на повышение быстродействия триггера применение эмиттерных повторителей в коллекторно-базовых цепях ?
6. Какую роль играют ускоряющие емкости при счетном запуске триггера при больших длительностях запускающих импульсов ?

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В.Т.ФРОЛКИН. Импульсные устройства, стр. 153-175, Машиностроение, 1966.
2. И.П.СТЕПАНЕНКО. Основы теории транзисторов и транзисторных схем, стр. 417-448, Энергия, 1967.
3. Е.Ф.ДОРОНКИН, В.В.ВОСКРЕСЕНСКИЙ. Транзисторные генераторы импульсов, стр. 100-125, Связь, 1965.
4. Под ред. М.Д.ШТЕРКА. Расчет и проектирование импульсных устройств на транзисторах, стр. 152-229, Советское радио, 1964.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

<u>Работа № 1.</u> Исследование простейших формирующих $RC$ -цепей.....	6
<u>Работа № 2.</u> Исследование ждущего мультивибратора с одной гальванической связью .....	10
<u>Работа № 3.</u> Исследование ждущего мультивибратора с катодной связью	15
<u>Работа № 4.</u> Исследование генератора линейно-изменяющегося напряжения .....	19
<u>Работа № 5.</u> Исследование фантастронных генераторов импульсов .....	24
<u>Работа № 6.</u> Исследование ждущего мультивибратора с коллекторно-базовыми связями .....	29
<u>Работа № 7.</u> Исследование ждущего мультивибратора с эмиттерной связью	34
<u>Работа № 8.</u> Исследование генератора линейно-изменяющегося напряжения с положительной обратной связью на транзисторах .....	39
<u>Работа № 9.</u> Исследование транзисторного ключа с общим эмиттером..	43
<u>Работа № 10.</u> Исследование симметричного триггера на транзисторах..	51

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
ПО КУРСУ  
"ИМПУЛЬСНАЯ ТЕХНИКА"

Редактор - А.И.К о н д р а т ь в а.

Подписано в печать 4. VII. 68. ЕО 05727 . Формат бумаги 60x84<sup>I</sup>/<sub>16</sub>.  
Объем 3,5 печ. листа. Тираж 1000 экз. Цена 35 коп.

Куйбышевский авиационный институт им. С.П.Королева, г. Куйбышев,  
ул. Молодогвардейская, 151.

Ротапринтный цех областной типографии им. Мяги, г. Куйбышев,  
ул. Венцека, 60. Заказ № 8881 .