

ИТМ и ВТ

ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

О.С. ПОТУРАЕВ, А.Я. ХАРКЕВИЧ, Я.А. ХЕТАГУРОВ

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ
И ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО
УСТРОЙСТВА НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
ПРИБОРАХ

МОСКВА

1959

ИНСТИТУТ ТОЧНОЙ МЕХАНИКИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ АКАДЕМИИ НАУК СССР

О.С.Потураев, А.Я. Харкевич, Я.А. Хетагуров

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ. И ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА НА
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ

Москва - 1959

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ

Изложены вопросы конструирования, а также приведены схемы и характеристики основных элементов вычислительного устройства на полупроводниковых приборах (триоды П6А, П6В и П1Е и диоды Д2В и ДГЦ-24) и схемы регистра сумматора и запоминающего устройства на ферритах. Описывается методика наладки устройства и результата его четырехмесячной эксплуатации.

SOME ASPECTS OF DESIGNING AND PRELIMINARY EXPLOITATION OF THE TRANSISTOR COMPUTER UNIT

Designing problems are discussed and basic element circuits of the transistor computer unit are presented in this paper (transistors П6А, П6В and П1Е and diods Д2В and ДГЦ-24), their characteristics are given.

Circuitries of register, adder and ferrite memory are shown. Method of unit adjustment and results for four monthes exploitation are described.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ.....	5
2. РЕЖИМЫ РАБОТЫ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	12
3. РЕГИСТР СДВИГА И СУММАТОР.....	16
4. ЗАПОМИНАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО.....	18
5. СХЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВ ЗУ.....	22
6. БЛОК-СХЕМА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА.....	26
7. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА.....	27
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	28

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время известно несколько принципов построения ячеек вычислительной машины с использованием полупроводниковых триодов и диодов. Некоторые из них были в значительной мере проверены в работах [1]и[2]

Описанная ниже работа основана на использовании импульсно-потенциального принципа при построении элементарных ячеек на плоскостных полупроводниковых триодах типа П6А и П1Е. В качестве основной запоминающей и счетной ячейки был применен потенциальный триггер с подачей импульса запуска в базу.

Основным положением, принятым при разработке элементов, было использование насыщенных режимов работы полупроводниковых триодов. Эти режимы дают элементам хорошую нагрузочную характеристику и стабилизируют амплитуду и длительность сигналов во всей машине, что сильно облегчает наладку и контроль запасов надежности. Хотя применение насыщенных режимов и снижает предельные частоты работы некоторых элементов, в ряде случаев целесообразно идти на это.

Разработанная для вычислительного устройства система элементов состоит из триггера с эмиттерными повторителями, диодного вентиля, эмиттерного вентиля цепочки переноса, согласующего эмиттерного усилителя, импульсного усилителя и мощного формирователя.

В начале разработки вычислительного устройства использовались полупроводниковые триоды П1Е и П2Б, которые впоследствии без изменения параметров схем были заменены более надежными триодами типа П6А и П6В.

Вычислительное устройство (рис.1) было построено из четырех блоков: блока разряда регистра, блока разряда сумматора, блока разряда запоминающего устройства и блока мощных усилителей-формирователей (рис.2,3,4 и5, соответственно).

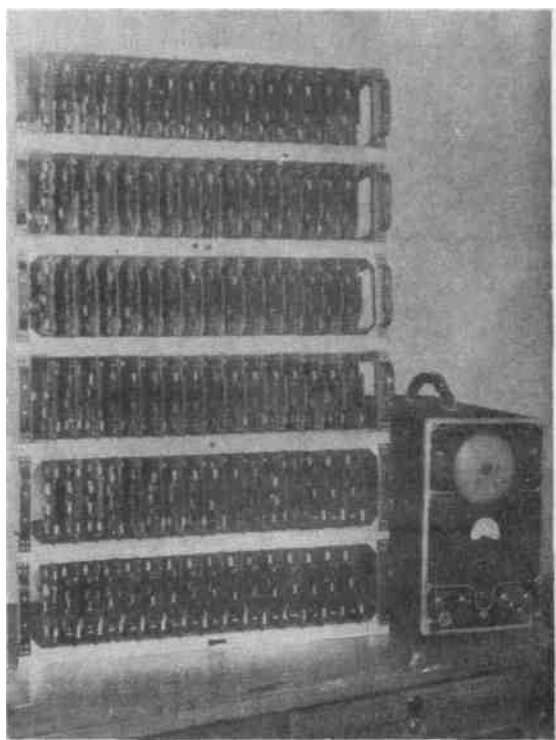


Рис.1

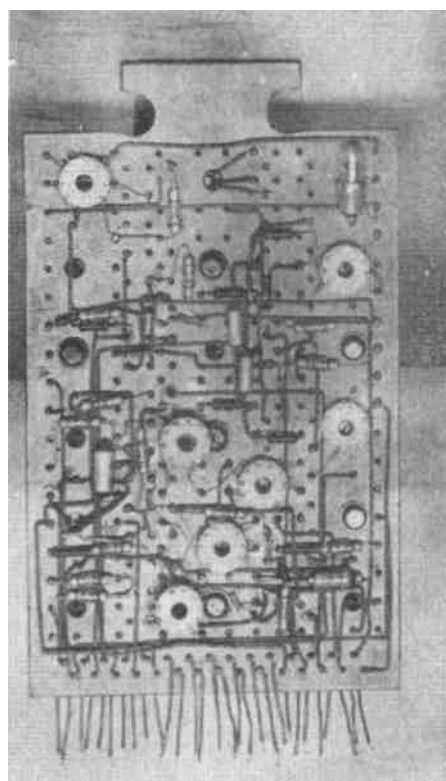


Рис.2

Для запоминающего устройства была выбрана схема на ферритах и диодах с полупроводниковым управлением (рис.6 и 7).

Применение среднечелочного принципа позволило поместить в одном блоке часть логической схемы и значительно сократить связи между блоками. Сокращение связей, в свою очередь, улучшило соотношение сигнала к помехе и повысило надежность работы устройства.

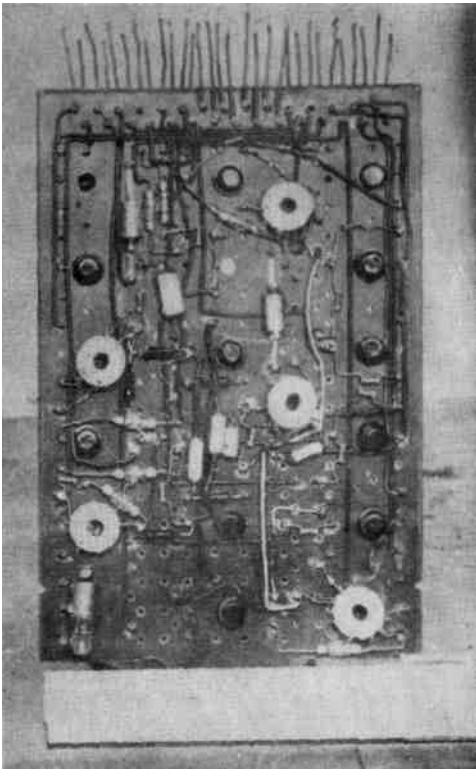


Рис.3

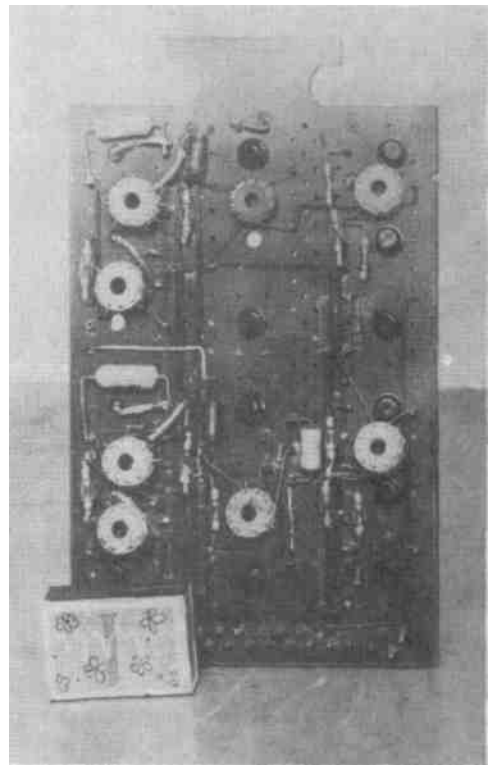


Рис.4

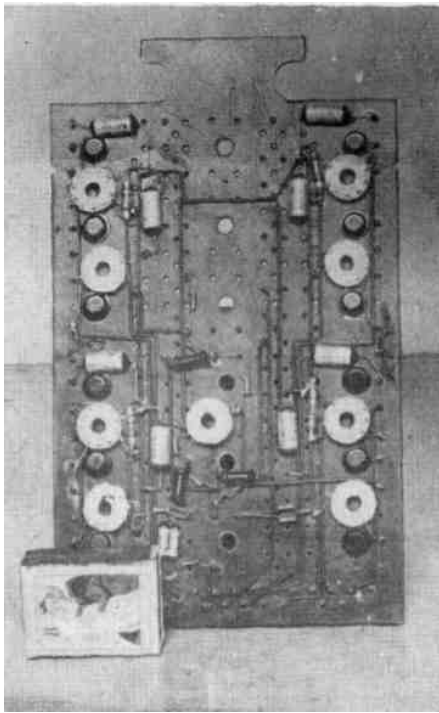


Рис.5

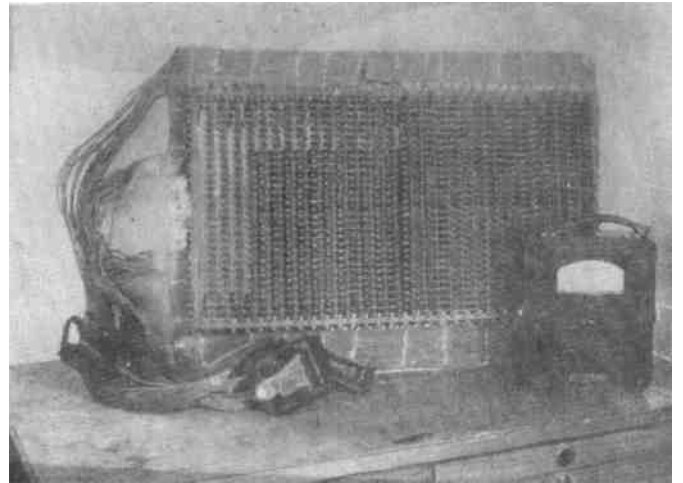


Рис.6. Общий вид запоминающего устройства на ферритах и диодах

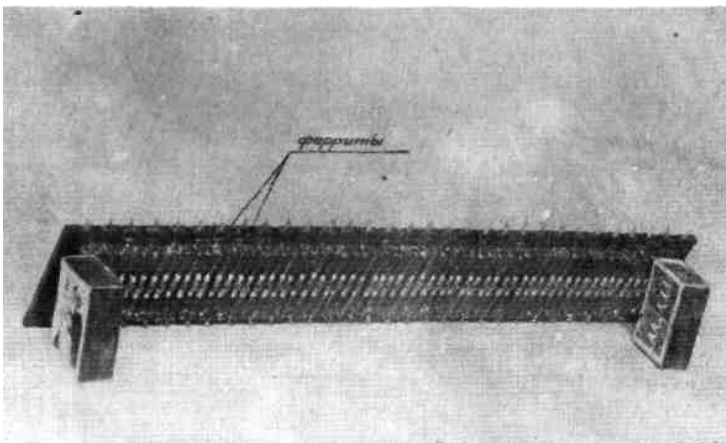


Рис.7. Разрядная линейка запоминающего устройства

1. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Триггер. Схема триггера на двух плоскостных триодах представляет собой обычную схему статического триггера такого же типа, как и на лампах (рис.8). Триоды включаются по схеме с заземленным эмиттером. Триггер имеет два устойчивых состояния, когда один из триодов открыт (находится в насыщении при данных параметрах схемы), а другой закрыт.

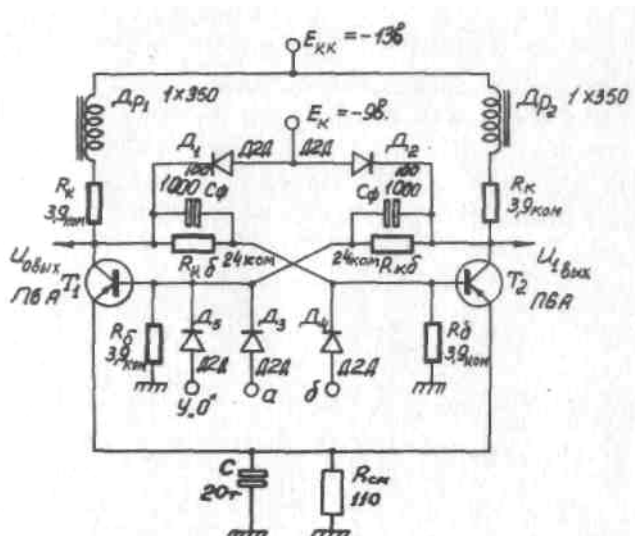


Рис.8. Принципиальная схема триггера

Управление перебросом триггера производится подачей положительных импульсов через диоды D_3 и D_4 , включенные в базы триодов. Установка "0" осуществляется подачей положительного импульса через диод D_5 . Соединением точек a и b можно получить счетный вход; отдельно диоды D_4 и D_3 используются при работе триггера в схеме регистра.

Диоды D_1 и D_2 , подключенные анодами к $E_k = -9в$, служат для срезания той части заднего фронта перепада, которая имеет наибольшую длительность. Дроссели Dp_1 и Dp_2 также уменьшают длительность фронтов перепадов триггера. Напряжение $E_k = -9в$ не должно превышать рабочего напряжения на коллекторе триода (-10в для П1Е).

Емкость C_ϕ ускоряет процесс переброса триггера и выбирается такой, чтобы можно было получить наиболее крутые фронты перепадов. Напряжение питания $E_{кк} = -13в$ и R_k выбрано из условия, чтобы ток через открытый триод не превышал предельно допустимый (для П1Е предельно допустимый ток равен $I_k = -5ма$) и чтобы характеристики триода почти не зависели от времени нахождения триода в открытом состоянии.

Сопротивление $R_б$ используется для разрядки емкости C_ϕ и для создания определенного режима работы триода.

Отбор триодов для триггера производился при заданных сопротивлениях $R_{к.б} = 24ком$ в плечах триггера с учетом следующих условий, обеспечивающих определенную степень устойчивости схемы в любой момент работы триггера (за исключением момента перебрасывания схемы):

1. Непосредственно после включения питания на триод в схеме триггера триод не должен обладать усилением по току при потенциале базы, близком к потенциалу эмиттера, иначе схема будет ненадежной. Различная задаваемая разность напряжений между эмиттером и базой позволяет отбирать триоды для схемы триггера с определенным запасом надежности с учетом изменения окружающей температуры.

2. Триоды, показывающие при работе в схеме триггера вдвое и более меньший коэффициент усиления по току $\beta_{макс}^*$ по сравнению со средним коэффициентом усиления по току для всей партии триодов ($\beta_{макс} = 10$), отбрасывались.

3. Не использовались триоды, проявляющие тенденцию к увеличению или уменьшению тока $I'_{ко}$ в закрытом состоянии в течение времени от нескольких микросекунд до нескольких минут после включения. У таких триодов темновой ток может меняться от нескольких сот микроампер до нескольких миллиампер, в результате чего напряжение на коллекторе закрытого триода уменьшается на несколько вольт.

В схеме триггера применялось автоматическое смещение (общее для обоих триодов), для того чтобы не вводить новый номинал для положительного смещения в делитель базы.

* $\beta_{макс}$ - максимальный дифференциальный коэффициент усиления триода по току в схеме триггера.

При испытании по приведенным условиям из партии в 100 шт. триодов типа П1Е было отобрано 75. В схемах сумматора и счетчиков триггер находится под нагрузкой около 15ком , в схеме регистра нагрузка на триггер в несколько раз меньше. При наибольшей нагрузке с триггера на триодах П1Е были сняты следующие характеристики (при запуске по счетному входу): зависимость амплитуды запускающих импульсов от их длительности и зависимость времени срабатывания триггера от емкостной нагрузки C_H (рис. 9, а, б). В этом случае предельная частота работа для наихудшего триггера

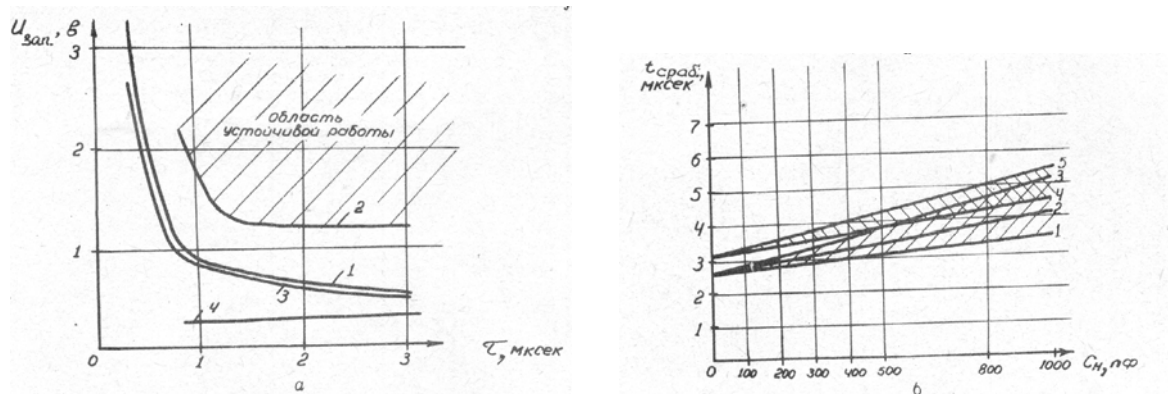


Рис.9. Основные характеристики триггера:

а - зависимость амплитуды запускающих импульсов от длительности:

1 - граничная кривая области устойчивой работы триггера на частоте 10кГц; 2 - на частоте 200кГц; 3 - минимальная амплитуда запускающих импульсов, вызывающих неустойчивое срабатывание триггера на частоте 10кГц; 4 - на частоте 200кГц;

б - зависимость времени срабатывания триггера от емкостной нагрузки при длительности запускающих импульсов 1,5мксек (кривые 1,2 и 3) и 2мксек (кривые 4 и 5). Емкостная нагрузка стоит в плече триггера, на котором производится измерение (1 и 4), для другого плеча - кривые 2,3 и 5. Амплитуда запускающих импульсов 8 в (1,3,4,5) и 4в (1,2,4)

была около 230кГц . Для триггеров на триодах типа П6А значения аналогичных характеристик располагаются ниже приведению, так как триоды этого типа имеют больший коэффициент усиления и большую скорость переключения в используемых режимах. В целях повышения помехоустойчивости триггера и увеличения надежности его работы запускающий импульс на входы триггера во всех случаях подается непосредственно с обмотки трансформатора импульсного усилителя; эта обмотка имеет смещение (-2в), которое может изменяться в пределах от $-0,1\text{в}$ до -4в без какого-либо заметного влияния на работу триггера.

Приведенные выше параметры триггера были взяты исходя из условий работы триггера с эмиттерным повторителем, в связи с чем для триодов были приняты сравнительно легкие режимы работы, которые наряду с большим запасом по мощности рассеяния в переходе обеспечили высокую температурную стабильность схемы и большие запасы надежности.

На рис. 10 приведены осциллограммы работы триггера в регистре и сумматоре (рис. 10, а, б).

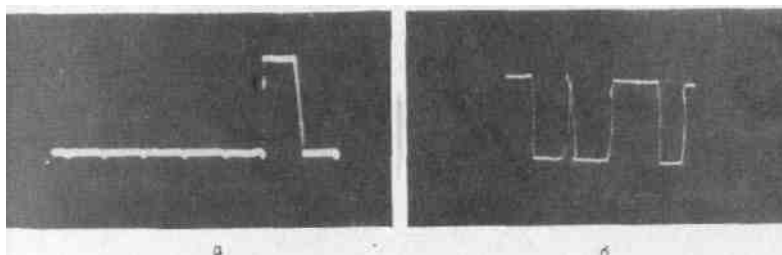


Рис. 10

Вентили. Для работы с триггером были разработаны потенциально-импульсные вентили двух типов.

1. Потенциально-импульсный диодный вентиль (рис. 11), позволяющий использовать потенциал с триггера для нескольких вентилях, работающих в разное время.

В этой схеме потенциал с коллектора одного из триодов триггера поступает через сопротивление $R_6 = 4,7\text{ком}$ на эмиттерный повторитель; для непосредственной работы вентиля используется потенциал, снимаемый с эмиттера триода. С выходной обмотки 1 Tr_2 импульс приходит в том случае, когда на потенциальный вход вентиля с триггера поступает потенциал, равный -9в , а на импульсный вход (на обмотку 1 Tr_1) подается импульс отрицательной полярности. Вентиль работает следующим образом: если на вход 1 не подается импульс, то диод D_2 закрыт на разность -9в (потенциала с триггера)

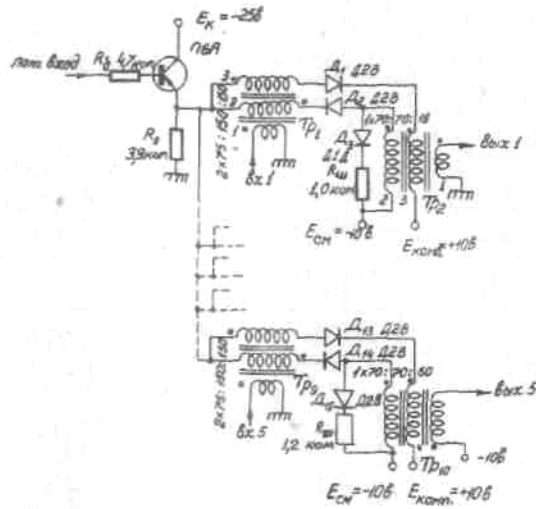


Рис. 11.

и -10в (напряжения смещения), $E_{\text{см}}$. При подаче на вход 1 импульса в обмотке 2 Tr_1 перед диодом D_2 наводится отрицательный импульс, который проходит через диод, и на выходной обмотке вентиля получается отрицательный импульс. На выходном сопротивлении триода падает около 30% величины полезного сигнала. Если на потенциальный вход вентиля с триггера поступает потенциал, равный 0в , то при подаче импульса на вход 1 вентиля на выход вентиля этот импульс не проходит.

Диод D_3 и сопротивление $R_{\text{ш}}$ служат для получения переходного процесса в импульсном трансформаторе, близкого к критическому.

Для увеличения надежности работы вентиля, то есть для сведения к нулю сигнала помехи с вентиля, на трансформаторах Tr_1 и Tr_2 намотаны дополнительные обмотки 3, которые выполняют компенсирующую роль при помехе и ограничивающую при подаче на вход вентиля большого сигнала.

Если на потенциальный вход вентиля поступает потенциал, равный 0в , а на вход 1 импульс, то благодаря тому, что обмотки 2 и 3 трансформатора Tr_1 включены в противофазе, через диоды D_1 и D_2 проходят сигналы равной амплитуды, но разной полярности, которые затем компенсируются в обмотках 2 и 3 Tr_2 , включенных в одной фазе.

Для того чтобы клапан работал по описанному принципу, подбирается потенциал $E_{\text{комп}} = +10\text{в}$.

В случае, когда клапан открыт и приходит импульс на вход 1, мы имеем на выходе импульс, который будет ограничиваться при больших входных импульсах, так как через диод D_2 будет проходить часть импульса, срезающая верхушку выходного импульса. Этим объясняется поведение амплитудной характеристики вентиля (рис.12).

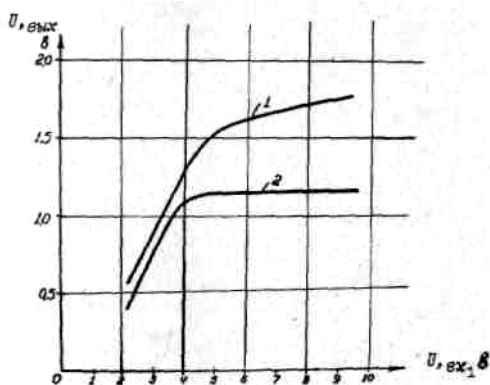


Рис.12. Амплитудная характеристика вентиля:
1 - без нагрузки и 2 - с нагрузкой на усилитель

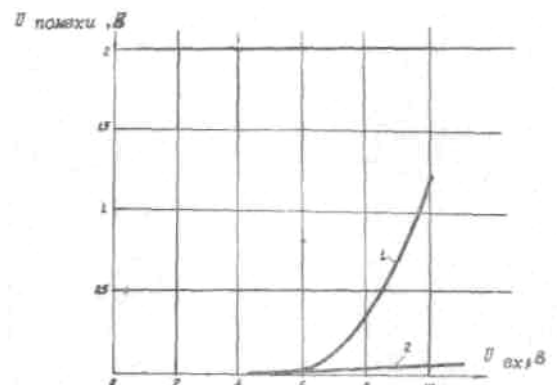


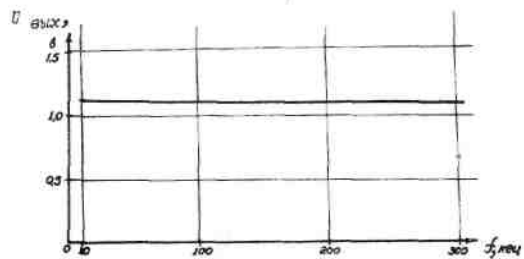
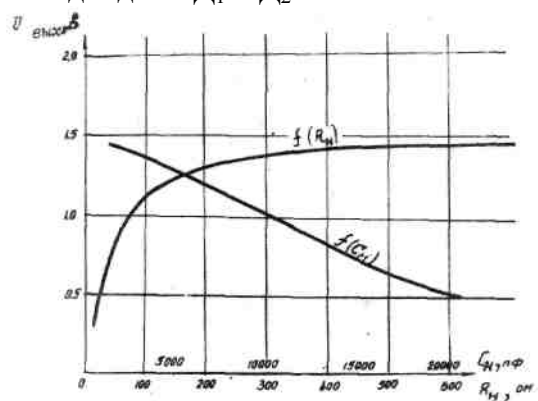
Рис.13

На рис. 13 приведена характеристика вентиля на помехоустойчивость без компенсирующих обмоток (1) и с компенсирующими обмотками (2). Как можно видеть из рис.11, один эмиттерный повторитель может управлять 5-6 вентилями. Входное сопротивление вентиля по потенциальному входу составляет $60-70\text{ком}$, со стороны импульсного входа 470ом . Основным преимуществом примененной схемы диодного потенциально-импульсного вентиля является высокая устойчивость к помехам, которые возникают при подаче на входную обмотку импульсного сигнала большего, чем перепад управляющего напряжения. На рис.14 показаны нагрузочная (рис.14,а) и частотная (рис.14,б) характеристики диодного вентиля, на рис.15

представлены осциллограммы напряжений в различных точках схемы вентиля.

2. а) Показанный на рис. 16 потенциально-импульсный триодный вентиль поразрядного переноса работает на закрытие двух триодов, включенных параллельно по схеме эмиттерных повторителей. С выходных обмоток трансформатора сигналы снимаются для одновременной подачи на вход следующего вентиля и через усилители $У_1$ и $У_2$ на счетный вход триггера. Потенциал с триггера на вход одного из триодов поступает через сопротивление $R_6=6,2\text{ком}$, включенное для уменьшения нагрузки на триггер.

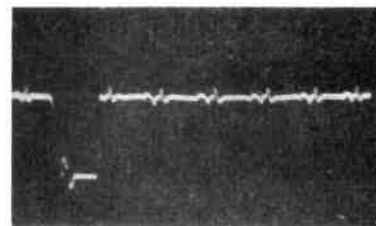
Диоды D_1 и D_2 и сопротивления R_1 и R_2 служат для уменьшения сигнала помехи с выхода вентиля, так как если один из триодов закрывается, то для того, чтобы на выходе не было ложного сигнала, потенциал эмиттера должен сохраниться неизменным. Стабилизация потенциала эмиттера осуществляется фиксированием потенциала в базе диодами D_1 и D_2 .



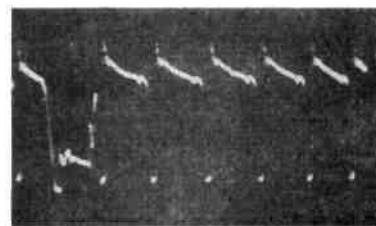
а

б

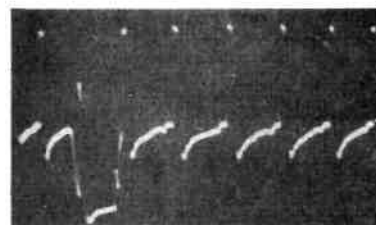
Рис.14. Основные характеристики диодного вентиля:
а - нагрузочная характеристика диодного вентиля;
б - частотная характеристика диодного вентиля



а



б



в

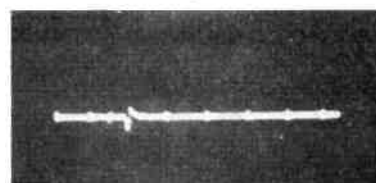


Рис.15. Осциллограммы напряжений в диодном вентиле:

а-на выходе эмиттерного повторителя, перепад - 9в;
б - перед диодом D_2 ; в - перед диодом D_1 ; г-на выходе вентиля (вых.1). Метки - черта 0,1мксек

Сопротивление R_{CM} ограничивает токи через триоды. Емкость C_1 блокирует это сопротивление по переменному току. Кроме того, сопротивление R_{CM} устанавливает такой режим работы триодов в вентиле,

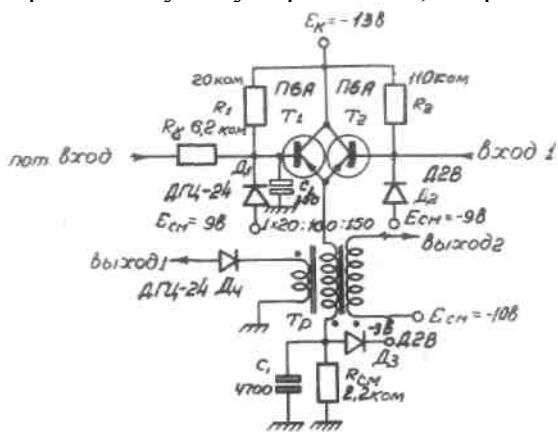


Рис.16. Принципиальная схема потенциально-импульсного триодного вентиля поразрядного переноса

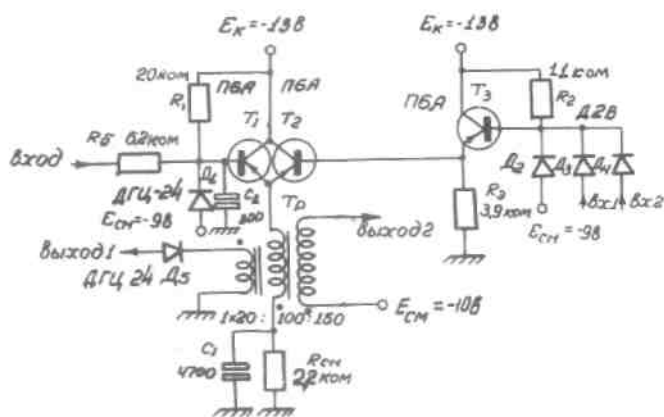


Рис.17. Потенциально-импульсный вентиль цепочки сквозного переноса

что амплитудная характеристика имеет вид, как показано на рис. 18, б, а помеха с вентиля имеет минимальную величину для любых комбинаций триодов. Диод D_3 служит для уменьшения постоянной времени восстановления емкости C_1

б) Потенциально-импульсный вентиль цепочки сквозного переноса показан на рис. 17. Принцип его работы аналогичен принципу работы описанного выше вентиля. В этом случае для осуществления двойного входа импульсы подаются на базу триода T_2 через диоды D_3, D_4 и эмиттерный повторитель на сопротивлениях T_3 . Функции диода D_2 предыдущего вентиля выполняет диод D_2 , стоящий в базе эмиттерного повторителя.

Применение потенциально-импульсных вентилях в цепях переноса обусловлено тем, что они обладают относительно малым временем задержки. Так, для последнего из указанных вентилях время задержки импульса сквозного переноса составляет менее $0,2 \text{ мксек}$. Схема такого вентиля в отличие от схемы диодного вентиля может работать одна на другую без ослабления и расширения сигнала, так как она обладает формирующими свойствами.

Характеристики вентиля цепочки сквозного переноса показаны на рис.18, частотная (рис.18,а), амплитудная (рис.18,б) и формирующая (рис.18,в). Осциллограммы работы триодных вентилях приведены на рис.19.

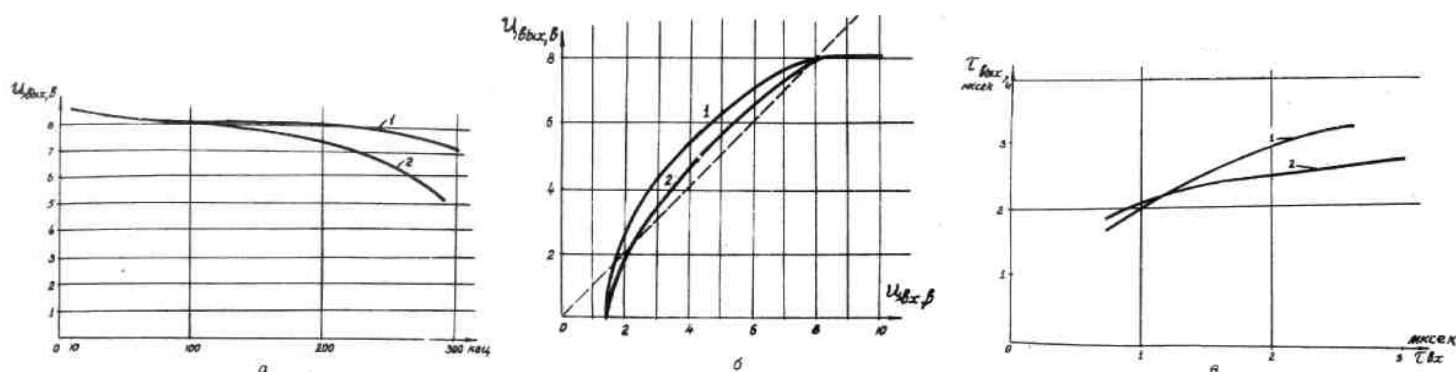


Рис. 18

Усилители. а) Схема усилителя построена с включением триода по схеме с заземленным эмиттером, так как это обеспечивает наибольшее усиление сигнала по мощности (рис.20). База триода заземлена через обмотку трансформатора, подключаемую на вход усилителя. Сопротивление в эмиттере $R_{эм} = 150 \text{ ом}$ ограничивает проходящий через триод ток и обеспечивает температурную стабилизацию работы усилителя. Емкость C_1 блокирует сопротивление $R_{эм}$ по переменному току. Диод D_1 и сопротивление $R_{ш}$ служат для уменьшения постоянной времени импульсного трансформатора. Такой усилитель предназначен для работы в схеме регистра.

б) В схемах сумматора и счетчика импульс на счетный вход триггера подается через двухкаскадный усилитель (рис.21), который позволяет получить устойчивый режим насыщения во втором каскаде ввиду того, что выходное сопротивление усилителя в этом режиме работы мало. Это, в свою очередь, дает возможность применять триоды без подбора их по коэффициенту усиления.

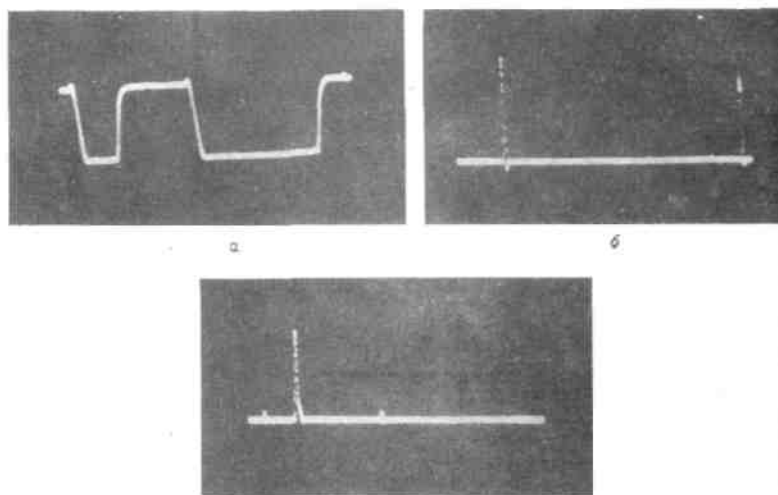


Рис.19. Осциллограмма триодного вентиля: а - в базе триода T_1 ; б - на входе 1; в - на выходе 2; Метки - через $0,1 \text{ мксек}$

Диоды D_1 и D_2 в сопротивление $R_{ш}$ используются также для уменьшения постоянной времени импульсного трансформатора. Дроссель $Др_1$ на входе первого усилителя служит для сужения поступающего на вход сигнала через диод, что приводит к его расширению. Через этот дроссель заземляется база усилителя. Кроме того, этот дроссель способствует ускорению рассасывания неосновных носителей в триоде усилителя, когда он закрывается.

Дроссель $Др_2$ на входе второго каскада усилителя способствует улучшению формирующих свойств усилителя, что повышает надежность работы при принятом методе запуска триггера.

Применение разных трансформаторов в усилителях (рис.20 и 21), работавших на триггеры, обусловлено тем, что входное сопротивление триггеров со стороны счетного входа меньше, чем со

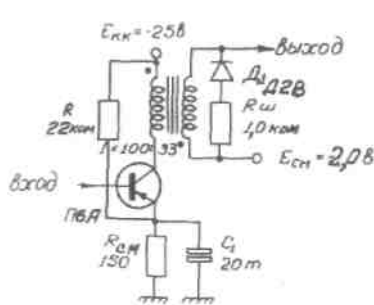


Рис. 20. Принципиальная схема усилителя регистра

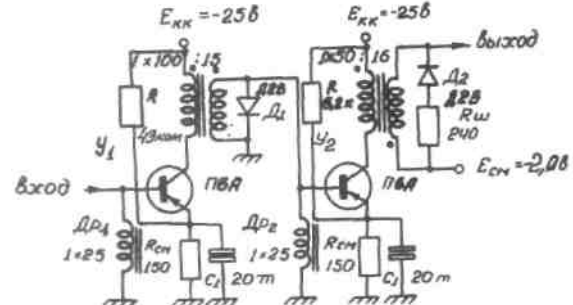


Рис.21. Схема импульсного усилителя на двух триодах

стороны входов $У''0$ и $У''1$.

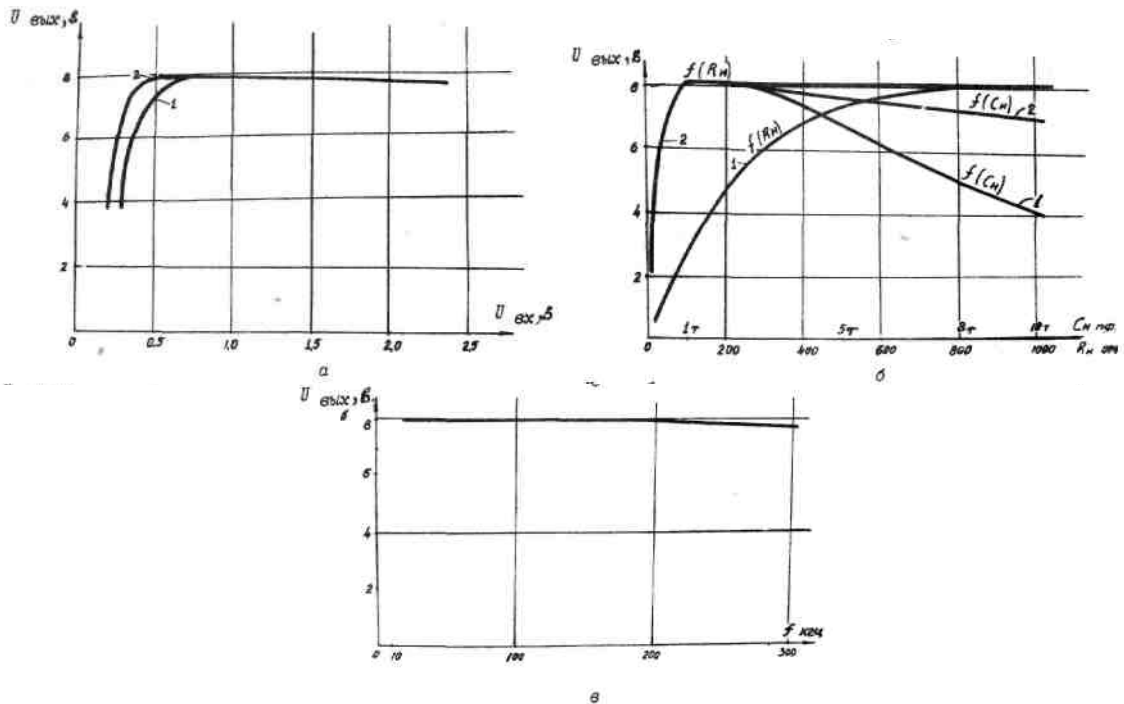


Рис.22. Характеристики усилителей в регистре (1) и в сумматоре (2);
а - амплитудная, б - нагрузочная и в - частотная

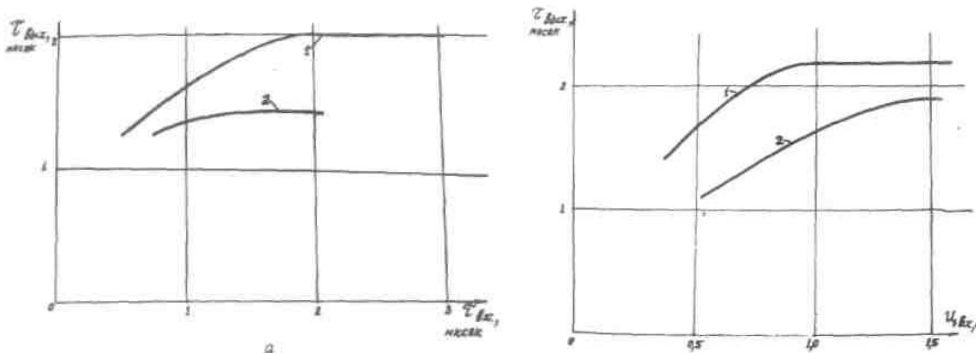


Рис.25. Формирующие, характеристики усилителя сумматора при $V_{вх} = 0,7$ в на частоте 10кГц (1) и 200кГц (2)

Характеристики усилителей приведены на рис.22 и 23, а на рис.24 показаны импульсы на входах и выходах усилителей.

Формирователь. Для восстановления формы стандартных импульсов и усиления их по мощности используются формирователи.

Принципиальная схема формирователя приведена на рис.25. Формирователь состоит из усилителя T_1 и выходного каскада T_2 , собранного по схеме эмиттерного повторителя. Элементы схем выполняют ту же роль, что и в описанных выше схемах усилителей. Схема формирователя дает усиление по мощности импульса длительностью 1,5мксек более 15дб при частоте повторения 100кГц. Мощность выходного сигнала составляет около 1,5вт при амплитуде на выходе 6,0в. Мощность снимаемого сигнала не является максимальной; средние режимы работы триода не превышают предельно допустимых значений мощности, рассеиваемой на триоде, и среднего тока коллектора.

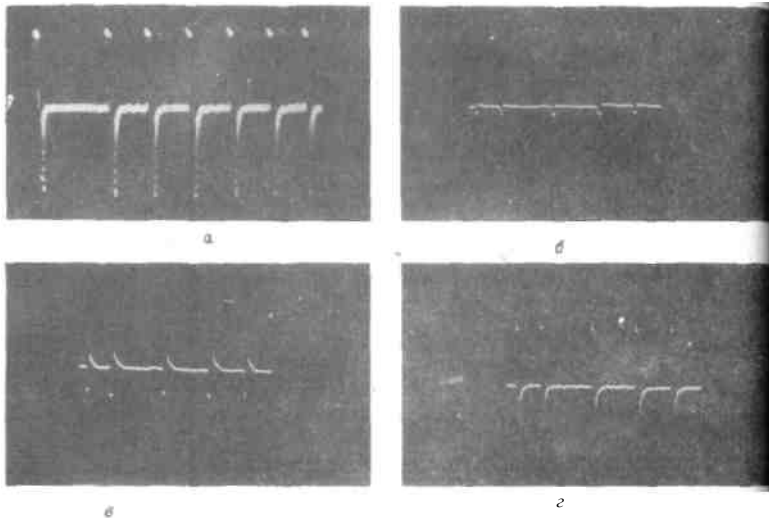


Рис. 24. Осциллограммы усилителей регистра:
а - на выходе, бв; в - на входе U_1 ; г - на выходе U_2 .
Метки - через 0,1мксек

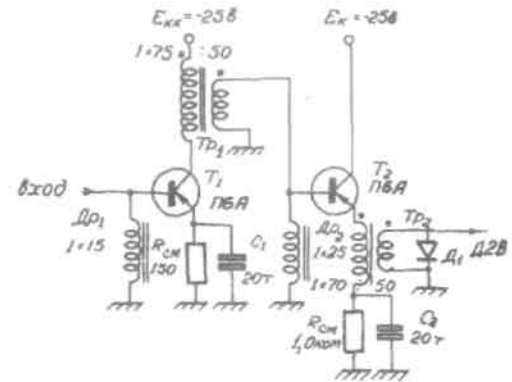


Рис.25

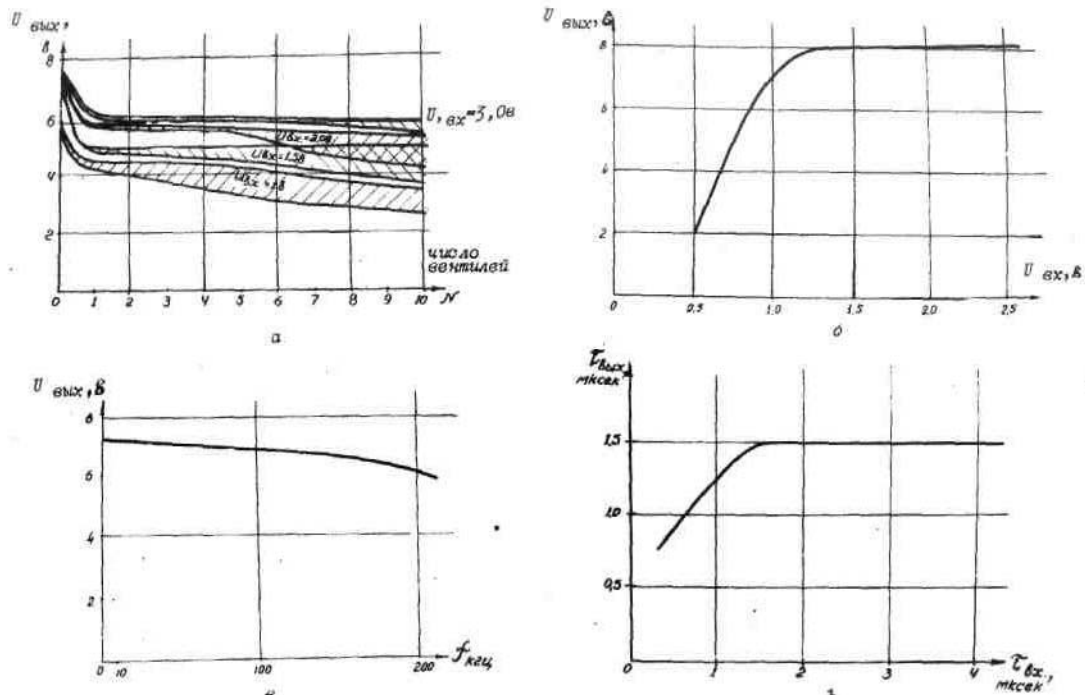


Рис.26

Формирователь может работать на 20-30 усилителей, находящихся в состоянии насыщения. Однако в основном такой формирователь используется для работы на 7-8 диодных вентилей. Характеристики формирователя представлены на рис. 26.

На рис.26 приведена характеристика зависимости амплитуды выходного сигнала от различного числа включенных диодных вентилей при различных сигналах, подаваемых на вход формирователя, на рис.26, б даны амплитудная, на рис. 26, в частотная и на рис.26, г формирующая характеристики. Выходные сигналы с формирователя показаны на рис.27.

Схема индикации. Для индикации положения триггера использовалась схема, показанная на рис.28.

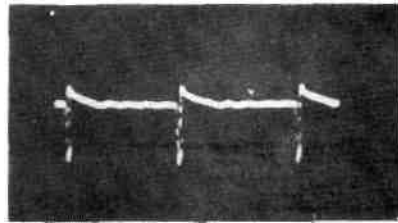


Рис.27. Оциллограмма выходных импульсов с формирователя. Метки - через 0,1мксек

Схема работает следующим образом. На вход схемы с эмиттерного повторителя триггера подается потенциал либо 0в, либо -9в, и соответственно триод либо закрывается, либо открывается. Когда триод открыт, то потенциал на его коллекторе близок к -9в, так как этот триод находится в состоянии насыщения, напряжение, приложенное к неоновой лампе, оказывается меньше ее напряжения гашения. Когда триод закрыт, потенциал на коллекторе триода достигает -40в, падение напряжения на неоновой лампе становится больше напряжения зажигания, неоновая лампа зажигается и напряжение на коллекторе триода падает. Соотношение сопротивлений подобрано таким образом, что напряжение на коллекторе, когда неоновая лампа горит, составляет менее -25в, то есть удовлетворяет техническим условиям для рабочего напряжения на коллекторе триода. Величина тока, протекающего через неоновую лампу, выбрана около 1ма ввиду того, что при меньших токах сильнее сказывается шунтирующее сопротивление триода, падение напряжения на R_1 из-за темного тока получается большим и неоновая лампа может не загореться. Так, при $R_1 = 47\text{ком}$ и $R_2 = 240\text{ком}$ из партии триодов

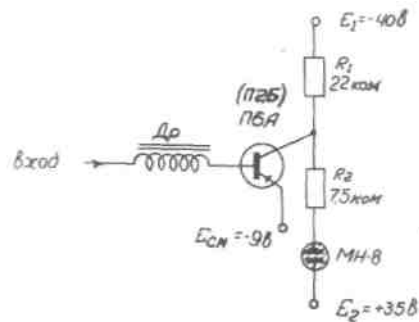


Рис.28

П2Б в 50 шт. в этой схеме работало только 5 триодов. При параметрах схемы, указанных на рис.28, из партии триодов в 50 шт. в схеме работало уже 25 триодов.

Дроссель на входе триода уменьшает емкостную нагрузку схемы на эмиттерный повторитель, которая составляет около 1500нф.

2. РЕЖИМЫ РАБОТЫ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Триггер. Надежность работы схемы триггера с точки зрения его устойчивости в статическом состоянии определяются характеристиками, которые снимаются для половины схемы триггера (рис.29) [3] и показаны на рис.30 и 31. $I_{нас.19}$, $I_{нас.69}$ токи I_1 для двух триодов, при которых эти триоды попадают в режим насыщения. Сопряжение соответствующих характеристик (рис.30,а и 31) позволяет произвести сопряжение триодов в схеме триггера и оценить его устойчивость. Крайние положения характеристик (рис.31, жирные линии) для всех триодов одинаковы. Линия нагрузки для триодов с такими видоизмененными характеристиками (рис.31) является функцией от $R_{кб}$ и $R_x = \frac{V_1(I_1)}{I_1}$. Каждый триод

со стороны входа (базы) можно характеризовать следующими параметрами: двумя значениями тока I_1 -тока (1), $I_{откр}$ и (2) $I_{нас}$ (рис.31) соответствующими рабочими точками триода, когда он начинает открываться и попадает в состояние насыщения, а также средним коэффициентом усиления в пределах интервала, определяемого этими точками. Расстояние этих двух точек от крайних характеристик триода (жирные линии) определяет запас устойчивости схемы триггера при изменениях напряжений питания, при поступлении на триггер импульсов помех и при изменении окружающей температуры. Для обеспечения надежной работы триггеров в машине это расстояние было выбрано равным 1/5 величины

триггерного перепада.

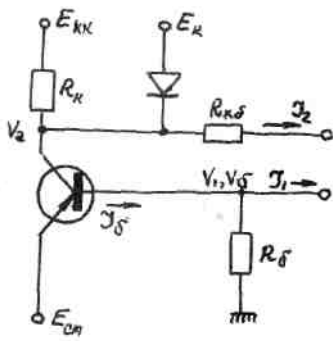


Рис.29

Другим важным параметром триода является коэффициент усиления β_0 при $V_{63} = 0$. На рис.32 представлены температурные зависимости I_{0TKP} , $I_{нас}$, $\beta_{макс}$ β_0 для двух сопротивлений смещения $R = 50\text{ом}$ и 100ом . Здесь видно, что сопротивление $R = 100\text{ом}$ в цепочке температурной стабилизации схемы создает условия для работы триггера при окружающей температуре до $+50 \div 60^\circ\text{C}$. Выбор величины форсирующей емкости в триггере производился исходя из максимальной крутизны фронтов перепада триггера, например, для триггеров регистра $C_\phi = 100\text{нф}$ (рис.33). При разработке схемы триггера на триодах было обнаружено, что некоторые триоды, имеющие характеристики, удовлетворяющие условиям надежной работы в схеме триггера, не могут работать от импульсов, следующих с низкой частотой повторения.

Частота подачи V_1 импульсов, с которой начинает работать триод в схеме триггера после длительного пребывания в открытом состоянии, для применяемых типов триодов лежит в пределах от $0,05\text{кГц}$ до 10кГц . При снижении частоты повторения импульсов, поступающих на вход работающей схемы триггера, срыв работы происходит на более низкой частоте, чем частота, на которой он начал работать. Таким образом, данное явление носит гистерезисный характер. Если триод открыт и на вход триггера начинают

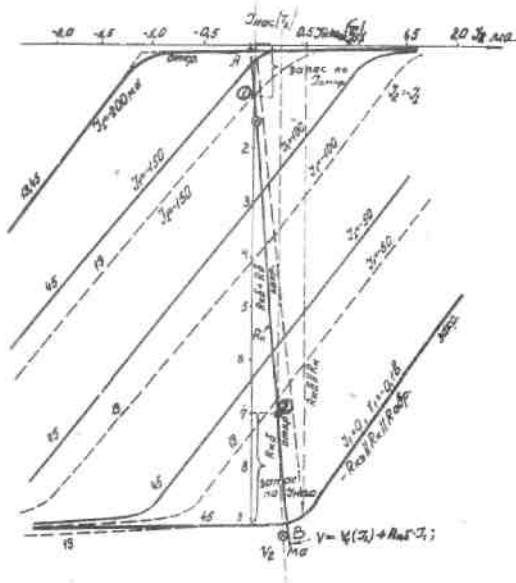


Рис.31

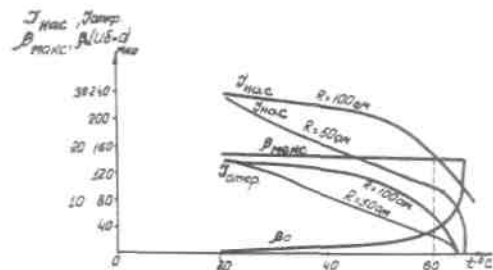


Рис. 32

поступать импульсы с частотой, в несколько раз превышавшей частоту "запуска" (начала работы), то триггер будет нормально работать только после прихода двух или трех импульсов.

Было замечено, что такими свойствами обладают триоды, имевшие максимальный коэффициент усиления по току $\beta_{макс}$, больший 30-40. Частоты "срыва" и "запуска" зависят от амплитуды и формы

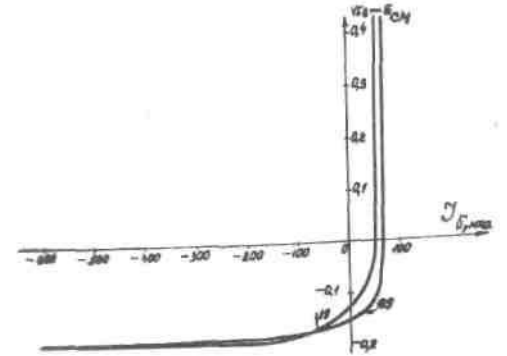
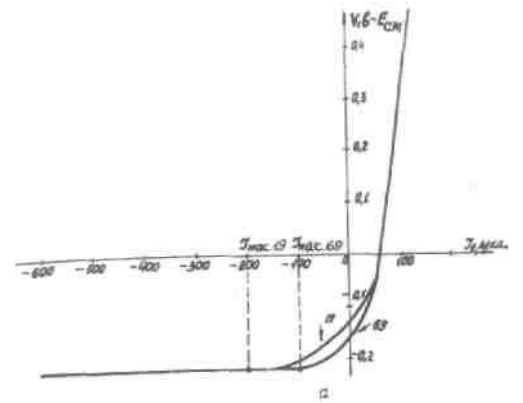


Рис.30. Характеристики каскадов триггера :

а - зависимость $V_1 - E_{см}$ от I_1 ;

б - зависимость $V_6 - E_{см}$ от I_6

запускающих сигналов, от характеристик другого триода триггера, а также от режима работы триода в схеме триггера (насыщения). Если принять за ширину описываемой петли гистерезиса отношение частоты запуска к частоте срыва, то изменение способа запуска триггера может только немного сдвинуть эту петлю, расширить или сузить ее в несколько раз. Это можно объяснить двумя причинами, первой из которых может быть так называемый "канальный эффект", заключающийся в протекании тока через большое сопротивление между эмиттером и коллектором. Хотя канальный эффект и обусловлен, по утверждению Р.Ши [4], поверхностной проводимостью, в триодах конструкции типа Пб

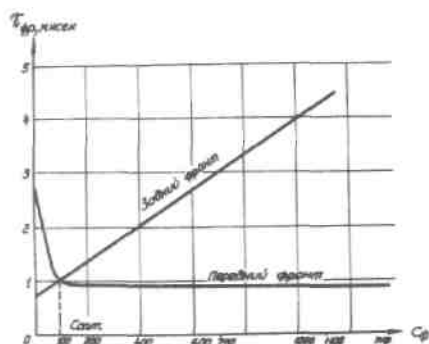


Рис.33

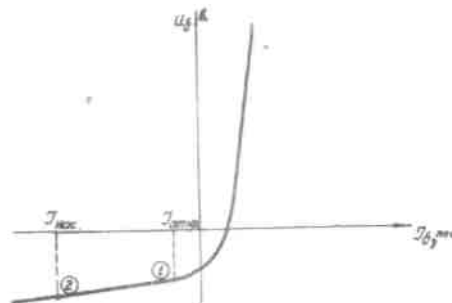


Рис.34

он практически никогда не встречается, так как в этом случае путь поверхностного тока будет большим, а поэтому поверхностное сопротивление окажется также большим. При глубоком сплавлении в n -слой германия эмиттерной и коллекторной p -областей границы этих областей могут оказаться достаточно близкими и вследствие дополнительной диффузии p -области в n -область возникают узкие и нерегулярные замыкания между эмиттером и коллектором. Однако по другим сообщениям канальный эффект практически не наблюдался. Другими источниками возникновения канальных токов может являться загрязнение поверхности из-за абсорбции влаги, перемещения атомов примесей и т.п. Второй возможной причиной может быть наличие у плоскостных триодов, когда они проводят, эквивалентной емкости, которая увеличивается в зависимости от времени нахождения триода в открытом состоянии. Эквивалентная емкость триода определялась между базой и эмиттером. Величина эквивалентной емкости $C_{\text{эКВ}}$, например для триодов ПбГ при токе эмиттера 1ма , лежит в пределах $1500\text{-}5000\text{нф}$, а для триодов ПбЕ при токе эмиттера 5ма достигает 50тыс.нф .

Постоянная времени $\tau = C_{\text{эКВ}} \cdot R$ для некоторых существующих триодов имеет величину нескольких десятков микросекунд, поэтому за время переходного процесса в триггере эквивалентная емкость полностью не разряжается [5].

Входная характеристика триода со стороны базы приведена на рис.34. По левую сторону от точки 1 триод находится в режиме усиления для токов базы, не превышающих $I_{\text{б.нас}}$. После окончания переходных процессов перебрасывания триггера вследствие существования заряда эквивалентной емкости рабочая точка для триодов, не работающих в схеме триггера от одиночных сигналов, попадает на участок между точками 2 и 1, то есть триод снова оказывается в режиме усиления, триггер переходит в неустойчивое состояние и перебрасывается в прежнее положение.

Ввиду трудности наблюдения процесса разрядки эквивалентной емкости триодов на существующих осциллографах, был поставлен эксперимент, позволивший определить коэффициент усиления триода без какого-либо воздействия на его работу путем подачи на его вход очень малых по величине сигналов с последующим усилением выходного сигнала во время переключения триода из открытого состояния в закрытое в несколько десятков тысяч раз. Триод оставляли длительное время в открытом состоянии, после чего его закрывали путем подачи положительного потенциала через сопротивления от нескольких килоом до 20ком .

Временная зависимость коэффициента усиления триода в схеме триггера для этого процесса приведена на рис.35. В момент $t = 0$ триод начинает закрываться. В момент t_1 триод выходит из состояния насыщения, проходит область усиления и в момент t_2 закрывается ($\beta=0$) при условии, что он работает от одиночных сигналов. При большой величине эквивалентной емкости триод попадает в момент t_2 снова в область усиления на период τ_2 , пока эквивалентная емкость не разрядится полностью через внешние цепи схемы и триод не будет закрыт (момент t_3). На триоде в закрытом состоянии начинает выделяться мощность за счет существования тока $I_{\text{зап}}$, протекавшего через триод, поэтому повышается температура, что ведет к повышению усиления триода в закрытом состоянии (момент t_4).

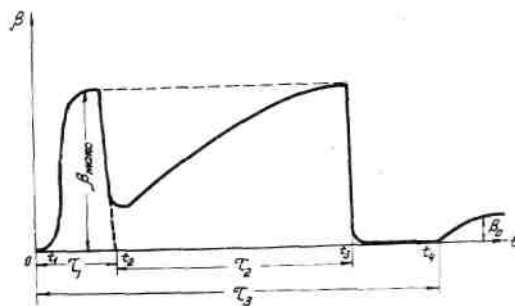


Рис.35

Время τ_2 разрядки эквивалентной емкости определяется периодом пребывания триода в открытом состоянии и может изменяться для одного триода в 100 раз. Для различных триодов это время колеблется в пределах— 10мксек – 10мсек, если триоды находились в открытом состоянии в течение нескольких секунд. Время τ_3 для различных триодов колеблется от 10–20мсек до нескольких секунд. Максимальная величина коэффициента усиления триода β_{\max} за период τ_1 является максимальным коэффициентом усиления триода, работающего в схеме триггера. Величина β_0 характеризует усиление триода в режиме, когда он должен находиться в закрытом состоянии в течение продолжительного времени.

Ток $I_{\text{зап}}$ для всех триодов можно считать состоящим из двух слагаемых 1)тока не более 30-40мкА при -25В коллекторного напряжения и 2) тока, величина которого зависит от коэффициента усиления триода в режиме, когда он должен находиться в закрытом состоянии.

Если первая составляющая тока $I_{\text{зап}}$ практически неизменна и, очевидно, зависит от материала триода, то вторая составляющая очень сильно зависит от температуры триода.

Таким образом, величина β_0 также характеризует поведение тока запирающего через триод, $I_{\text{зап}}$.

Изменение амплитуды β_0 и поведение зависимости $\beta(I_6)$ вблизи β_0 позволяет точно определить надежность работы триода в любой схеме с большими сигналами. По поведению этой кривой можно сказать, когда и при каких обстоятельствах характеристики данного триода могут перейти границу надежной работы триода в определенной схеме. Для этого потребуется только связать поведение β_0 с режимом работы триода в схеме и изменениями номиналов источников питания и окружающей температуры.

Отбор всех триодов для машины происходил по этому принципу и по условиям, описанным выше для триггерных триодов. Кроме того, применение RC - цепочек автоматического смещения в триггерах и усилителях значительно повысило надежность работы схем в матине.

Усилитель. На рис. 36 представлены зависимости токов запирающего $I_{\text{зап}}$ от температуры для двух различных триодов, имеющих $I_{\text{зап}}=600\text{мкА}$ и $I_{\text{зап}}=4\text{мкА}$ при комнатной температуре. Как видно, $R_{\text{см}}=110\text{Ом}$ вполне обеспечивает температурную стабилизацию $I_{\text{зап}}$ для данных триодов в схеме усилителя.

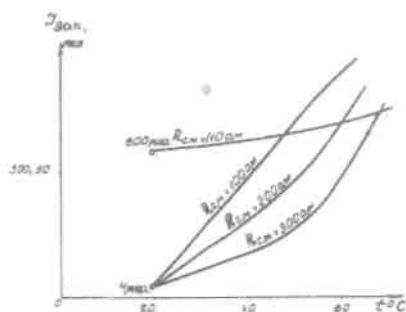


Рис. 36

На рис.37 показаны коллекторные характеристики триодов в схеме усилителя $I_K=f(V_K) | I_6 = \text{const}$. Сплошными линиями обозначены обычные статические характеристики, пунктирными - импульсные. Поведение рабочих точек триода в схеме усилителя-формирователя с трансформатором дано для разных R_H $R_H \infty$, $R_H 150\text{Ом}$ $R_H=68 \text{ Ом}$. На этих кривых одна черточка и промежуток соответствуют 0,1мксек.

Движение рабочей точки можно проводить в соответствии с импульсными характеристиками только

при нарастании тока коллектора, так как при спаде тока коллектора импульсные характеристики уже не отражают внутренние процессы в триоде, как, например, рассасывание неосновных носителей.

Отсюда видно, что: 1) импульсные характеристики резко отличаются по величине тока I_b , необходимого для получения определенного I_k от обычно приводимых статических характеристик,

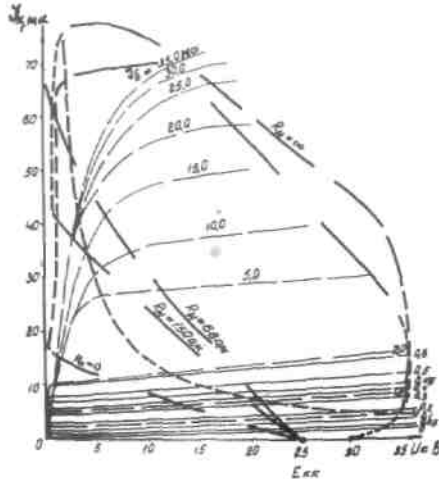


Рис. 37

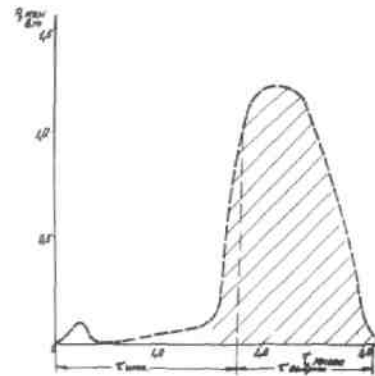


Рис. 38. Мгновенная мощность рассеяния на триоде как функций времени

2) после закрытия триода (когда $V_k = -E_{кк}$) через триод продолжает течь ток рассасывания неосновных носителей и 3) вовремя фронта спада импульса и выброса, обусловленного трансформатором, триод находится в режиме, во много раз превышающем максимальную допустимую мощность рассеяния на нем (рис.38). В схеме усилителя вся мощность в основном рассеивается на триоде во время обратного выброса. Так, для импульса длительности 1,5мксек за время одного импульса на триоде рассеивается около 400мвт.

3. РЕГИСТР СДВИГА И СУММАТОР

Вычислительное устройство состоит из регистров сдвига, сумматора с цепочкой переноса и запоминающего устройства на ферритах с полупроводниковым управлением. Рассмотрим построение отдельных блоков вычислительного устройства.

Принцип действия. Наиболее широко в вычислительном устройстве используются регистры сдвига, в которых производится хранение кода и его сдвиг. Для построения регистра была выбрана схема парафазного управления сдвигом или же схема, осуществляющая сдвиг методом копирования. Эта схема дает возможность в два раза повысить скорость сдвига по сравнению со схемами, использующими установку в состояние "0". Разряд регистра сдвига состоит из триггера с эмиттерными повторителями, диодных импульсно-потенциальных вентилях и усилителя. Таким образом, разряд сдвигового регистра состоит из 6 полупроводниковых триодов. Максимальная частота работы регистра сдвига порядка 200-250кГц. Сдвиг кода в регистре производится при подаче на диодные вентили ДВ₁ и ДВ₂ импульса сдвига с мощного формирователя (рис.39). В зависимости от положения триггера (Т₁) сигнал сдвига пройдет либо через вентиль ДВ₁, либо через вентиль ДВ₂. Если триггер Т₂ установлен в положение единицы, то вентиль ДВ₁ будет открыт, а вентиль ДВ₂ закрыт. Импульс сдвига пройдет только через вентиль ДВ₁ и через усилитель У₁ установит триггер Т₂ в положение единицы. Таким образом, положение триггера Т₁ будет передано на триггер Т₂. Усилители У₁ и У₂, кроме усиления мощности, производят также небольшую задержку сигнала, которая необходима для устойчивой работы схемы сдвига.

Необходимо отметить, что разряды регистра сдвига управляют большим количеством диодных импульсно-потенциальных вентилях, через которые производится подача кодов в сумматор. Числовой регистр сдвига вычислительного устройства состоит из 16 разрядов.

Сумматор вычислительного устройства представляет собой сумматор накопительного типа с цепочкой поразрядного переноса. Учитывая, что время срабатывания триггера со счетным входом довольно велико – порядка 3-4мксек (вследствие широкого запускающего импульса), была применена схема сумматора с коммутацией импульса переноса и двукратной подачей слагаемого, что позволило получить схему сумматора без линий задержки.

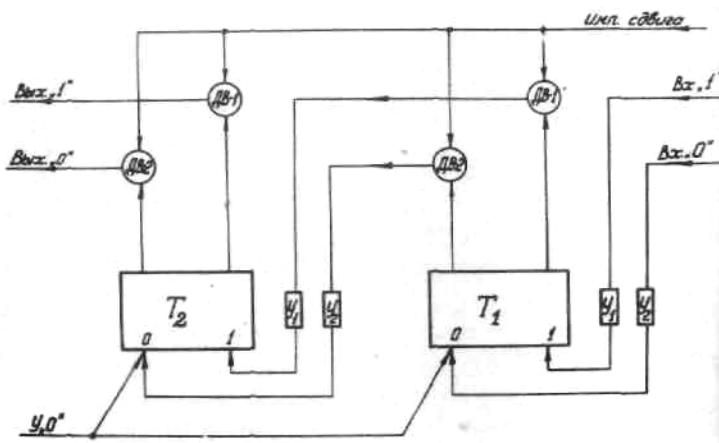


Рис. 39. Блок-схема двух разрядов регистра

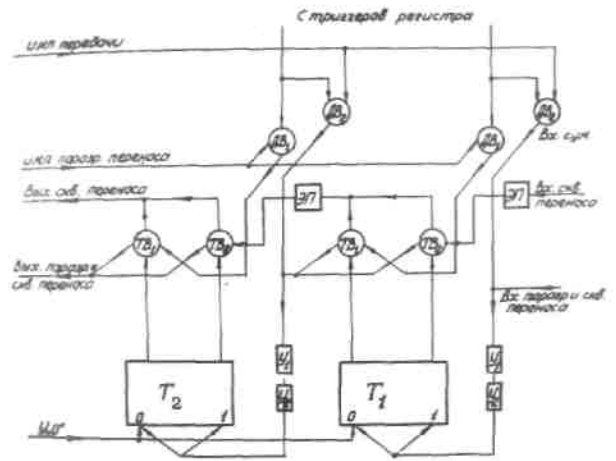


Рис. 40. Блок-схема двух разрядов сумматора

Рассмотрим, как выполняется операция суммирования. Предположим, что первое слагаемое находится в сумматоре, а второе – подается в сумматор через диодные вентили ДВ₂ на двухкаскадные усилители У₁, У₂ и через них на триггеры Т сумматора (рис.40). Таким образом, после передачи числа через ДВ₂ в сумматоре устанавливается поразрядная сумма. Для получения переноса второе слагаемое подается вторично на сумматор, но через вентили ДВ₁, пройдя которые, оно поступает на триодные вентили ТВ₁. Через эти вентили импульсы переноса поступают в цепочку переноса, состоящую из вентилях ТВ₂, и происходит суммирование переноса. Рассмотрим, как работает один разряд сумматора. Предположим, триггер Т₁ (разряд сумматора) находится в положении единицы, тогда при подаче единицы второго слагаемого через ДВ₂ триггер Т₁ установится в нуль. При подаче сигнала переноса через ДВ₁, когда триггер регистра находится в состоянии "1", импульс поступит на ТВ₁ и пройдет в цепочку переноса, так как этот вентиль открыт, если триггер Т₁ находится в нулевом положении. Если второе слагаемое равно нулю, то через ДВ₂ и ДВ₁ импульсы поступать не будут и Т₁ останется в прежнем состоянии.

Когда триггер Т₁ находится в нулевом положении и на него производится подача единицы второго слагаемого через ДВ₂, он устанавливается в положение единицы. Далее при подаче переноса через ДВ₁ импульс переноса не проходит в цепочку переноса через ТВ₁, так как вентиль ТВ₁ закрыт высоким потенциалом триггера Т₁.

В качестве вентилях переноса ТВ₁ и ТВ₂ применяются специально разработанные триодные эмиттерные вентили, которые обеспечивают малую задержку при передаче сигнала (0,2мксек). Для согласования нагрузки вентилях установлены промежуточные эмиттерные повторители ЭП, а вентили переноса ТВ₁ выполнены по схеме ТВ₂. Время выполнения суммирования может быть представлено следующей зависимостью:

$$t_{см} = 2(t_{и} + t_{ф.Т}) + t_{в} \cdot p + t_{зУ},$$

где $t_{и}$ – длительность импульса, $t_{ф.Т}$ – длительность фронта триггера, $t_{в}$ – задержка одного триодного вентиля цепочки переноса, p – количество разрядов, $t_{зУ}$ – задержка усилителей У₁, У₂.

В разработанной схеме $t_{и} = 1,5 \div 2$ мксек, $t_{ф.Т} = 1,5 \div 2,5$ мксек, $t_{в} = 0,2$ мксек, $p = 30$ разрядов и $t_{зУ} = 1$ мксек.

Согласно формуле получаем $t_{см} \approx 18$ мксек.

Таким образом, описанная схема сумматора допускает скорость выполнения суммирования 40-45 тысяч элементарных операций в секунду для 30-разрядных чисел. Время выполнения операции умножения на 30-разрядное число можно оценить в 600-650 мксек без введения дополнительных схем, которые могут обеспечить более короткое время выполнения операции умножения. Расчет времени выполнения операции умножения производился для случая умножения со старших разрядов множителя. При этом условии время выполнения сдвигов множителя и множителя на регистрах не учитывается, так как сдвиги производятся в период выполнения суммирования на сумматоре.

Методика наладки и проверки регистра и сумматора. Проверка и наладка блоков регистра и сумматора производилась в реальных условиях работы под полной нагрузкой в специальной схеме, обеспечивающей работу блока в различных режимах, включающих и генерационный цикл.

Под генерационным циклом понимается работа блока в режиме автоколебаний. Случайное изменение параметров или условий работы блока срывает режим автоколебаний и схема останавливается.

Из опыта наладки следует, что проверка блока на тряску и ударные воздействия в режиме работы генерационного цикла полностью гарантируют его надежную работу в машине. Необходимость такой проверки была вызвана плохим качеством монтажа ввиду того, что блоки оказались сложными (в одном блоке более 100 деталей) и у мастерских не было опыта.

Метод наладки блоков разбивался на два этапа. На первом из них производилась отладка блоков в режиме повторной подачи сигналов от генератора, затем проверялась работа блоков в режиме одиночных сигналов (при частоте подачи не более 0,5гц). На втором этапе проверка элементов осуществлялась в различных генерационных циклах. Подобной проверке в генерационном цикле был подвергнут регистр сдвига на 16 разрядов при частоте подачи импульсов сдвига 200-280кГц.

При проверке регистра выходные шины вентиля младшего разряда подавались на вход триггера старшего разряда для получения кольцевого регистра. Если коэффициент усиления между разрядами регистра больше единицы, то код, записанный в регистре, при подаче сдвигающих импульсов будет непрерывно циркулировать в кольце.

Сумматор проверялся путем подачи с регистра кода, у которого во всех разрядах были единицы, и прибавления единицы в младший разряд. Единица переноса, поступившая со старшего разряда сумматора, используется для подачи на сумматор кода единиц и прибавления единицы. При правильной работе сумматора и вентиля передачи создается генерационный цикл для контроля работы сумматора.

Во время первого этапа наладки устройств и элементов выявлялись и устранялись источники ненадежной работы макета. Для этого испытания проводились в режиме повышения и понижения наиболее критичных номиналов питания на 15% и изменения частоты работы устройств до максимальной. Испытания показали, что для уменьшения большого прямого сопротивления необходима замена или дополнительное включение в параллель некоторых проходных диодов ДТЦ-24 в вентилях переноса. На изменение характеристик этих диодов большое влияние оказывали дефекты монтажа.

Обнаруженное при испытаниях несколько большое смещение в эмиттерах второго усилителя, работающего на триггер, было устранено заменой $R = 6,2\text{ком}$ на $R = 9,1\text{ком}$.

Было обнаружено явление возрастания выходного сопротивления эмиттерного повторителя, работающего в диодном вентиле, при работе нескольких вентилях с малыми интервалами по времени, вызывающее повышение реакции диодного вентиля на триггер. Для того чтобы ослабить такую реакцию, сопротивление R_6 в схеме диодного вентиля было увеличено с 4,7ком до 9,1ком, что значительно повысило надежность работы устройства.

4. ЗАПОМИНАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

Было проведено исследование возможности построения запоминающего устройства небольшой емкости, использующего ферритовые сердечники и полупроводниковые приборы. Особо жестких требований в отношении скорости работы к такому ЗУ не предъявлялось. Заданное время одного обращения составляло 10-13мксек. Емкость запоминающего устройства для совместной работы с вычислительным устройством была выбрана в 30 – тридцатиразрядных чисел. Обращение к любой из ячеек запоминающего устройства принималось произвольным. Экспериментально был проверен метод построения запоминающего устройства с программным обращением, что позволяет использовать работу схем в более легких режимах и повысить скорость работы запоминающего устройства.

При совместной работе запоминающего устройства с вычислительным устройством было проверено непрерывное обращение с частотой до 70-100кГц к одной ячейке и программное обращение, описанное ниже в разделе "Блок-схема вычислительного устройства".

В ЗУ использовались ферритовые сердечники марки ВТ-2 $3 \times 2\text{мм}$ и опытная партия №18 $3 \times 2\text{мм}$. На сердечники были намотаны две обмотки w_1 и w_2 . Для ВТ-2 $w_1 = 50$ витков, $w_2 = 100$ витков, провод ПЭЛ-0,08, а для № 18 $w_1 = 20$ витков, $w_2 = 40$ витков и провод ПЭЛ - 0,1. Такое соотношение витков дает наибольший сигнал на входе вентиля и наименьшую помеху.

Описание работы. Использование ферритов и полупроводников для построения оперативного запоминающего устройства позволяет существенно повысить надежность его работы и уменьшить объем. Схема построения запоминающего устройства этого типа показана на рис.41. Как видно из рис.41, все ячейки запоминающего устройства имеют общие разрядные шины для записи и считывания

кода. Выбор ячейки для записи или считывания производится подачей специальных импульсов

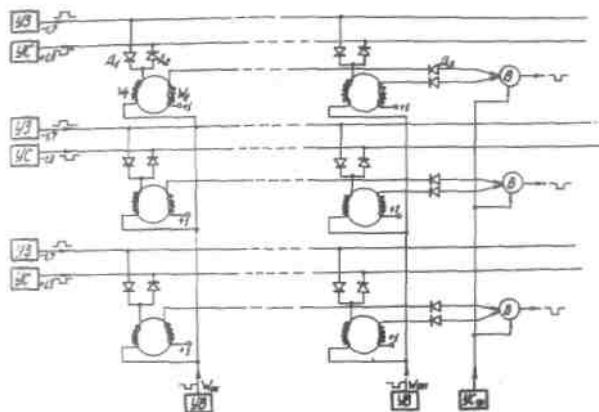


Рис.41

(импульсов выборки), которые разрешают проход импульсов записи или считывания в ячейку. На каждую горизонтальную разрядную шину записи подается сигнал записи от усилителя записи, а на разрядную шину считывания - сигнал считывания от усилителя считывания.

При записи и считывании по вертикальным шинам от усилителей выборки подаются сигналы выборки в соответствующие ячейки. Сигналы с усилителей считывания и записи проходят через диоды D_1 и D_2 к заданной ячейке. При считывании с обмотки w_2 считанные импульсы проходят через диоды D_3 , которые служат для отделения ячеек друг от друга.

Для того чтобы считанный импульс был свободен от помех, его подают на вентиль совпадения, на второй вход которого в момент считывания подается узкий стробирующий импульс; запись кода единицы производится подачей импульса тока, создающего напряженность поля, достаточную для того, чтобы ферритовый сердечник перешел из состояния "0" в состояние "1". При записи кода нуля импульс в обмотку сердечника не подается и состояние его не изменяется.

Рассмотрим последовательность работы ЗУ при записи в какой-либо разряд кода.

По шине записи, в зависимости от наличия кода единицы в данном разряде, подается положительный импульс записи от усилителя записи (УЗ) амплитудой $2e$. Сигнал записи подается на один разряд всех чисел. Все диоды D_1 , со стороны усилителей записей, заперты отрицательным напряжением $-1,7e$. Сигнал записи проходит через диод D_1 в обмотку w_1 только в том случае, если будет подан разрешающий сигнал с усилителя выборки отрицательной полярности и амплитудой до $2e$. Через диод D_1 других чисел сигнал записи не проходит и запись не происходит. Основное условие для записи - это наличие импульса выборки в шине выбранного числа и отсутствие его в остальных шинах.

Считывание производится подачей отрицательного сигнала считывания на разрядные шины считывания. Выбор ячейки для считывания осуществляется подачей запрещающих сигналов во все ячейки, кроме выбранной. Если сердечник в выбранном числе находился в состоянии "1", то импульс считывания, изменяя состояние сердечника, передается полностью по длительности во вторичную обмотку w_2 и затем через диод D_3 на вентиль.

Если сердечник находился в состоянии "0", то импульс считывания не изменяет состояния сердечника и во вторичную обмотку w_2 передается дифференцированным. Сигнал стробирования поступает на вентиль с некоторой задержкой относительно переднего фронта импульса считывания. Величину задержки необходимо брать такой, чтобы при дифференцированном импульсе считывания сигнал стробирования не проходил через вентиль, а при полной передаче - проходил. Величина задержки была принята равной $2/3$ длительности импульса считывания. На рис.42 приведены осциллограммы напряжения в различных точках ячейки.

При считывании хранящая в ячейке информация теряется, поэтому если необходимо ее сохранить, производят повторную запись (регенерацию), как это делается в большинстве запоминающих



Рис.42. Осциллограмма выходного сигнала с ячейки. Метки - через 1мксек

устройств на ферритах.

В рассмотренной системе записи, считывания и хранения информации при записи или считывании

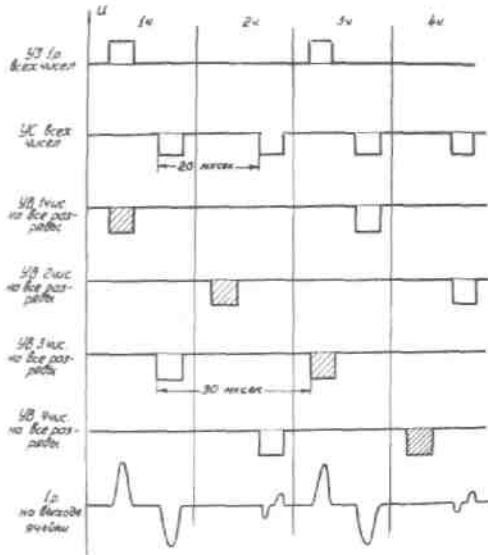


Рис.43

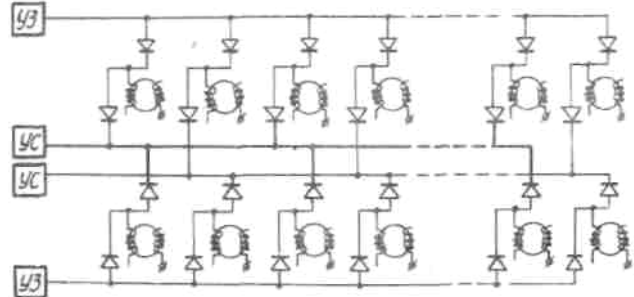


Рис.44

работает только одна ячейка каждого разряда вне зависимости от количества чисел.

На рис.43 приведена диаграмма работы 30-разрядного запоминающего устройства. Из диаграммы видно, что частота следования импульсов выборки неодинакова. Импульсы записи и считывания идут с интервалом 20мксек, импульсы с усилителя выборки через 30,20 и 10мксек. Наиболее неблагоприятный режим работы для усилителя выборки, когда интервал следования его импульсов составляет 10мксек, при длительности импульса 4мксек. Облегчить режим работы усилителя выборки можно путем некоторого изменения схемы подачи импульсов считывания. Если импульсы с усилителя считывания подавать не на один разряд всех чисел, а сразу на два разряда (рис.44) и притом так, чтобы с одного усилителя считывания импульсы шли на четные числа, а с другого на нечетные, то диаграмма работы запоминающего устройства будет иметь несколько иной вид (рис.45). В этом случае наихудший режим для усилителей выборки будет, когда их импульсы идут с интервалом 30мксек.

Описанное построение схемы выгодно в том отношении, что можно повысить скорость работы запоминавшего устройства. Этот метод построения ЗУ был проверен экспериментально и показал хорошие результаты.

Методика проверки запоминающего устройства. Для проверки возможности построения запоминающего устройства рассмотренного типа был собран макет, который состоял из 30-разрядных чисел.

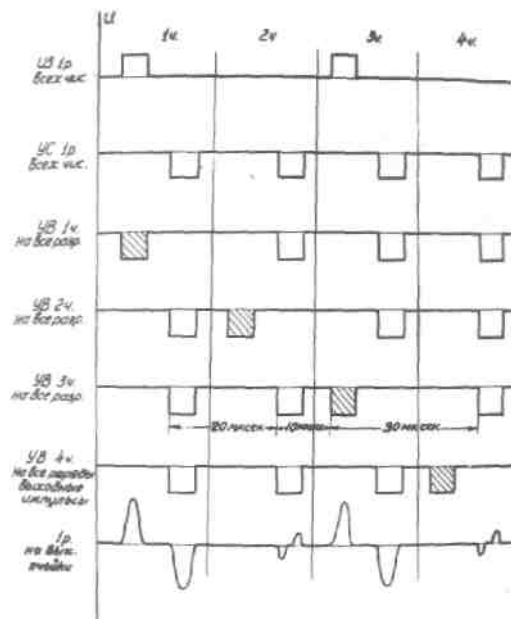


Рис. 45

Соответственно было использовано по тридцать усилителей записи, считывания, выборки, вентиля и один усилитель стробирования. Вся "электронная" часть была смонтирована в одной кассете, состоящей из 16 плат. На 15 платах размещен монтаж усилителей и вентиля, а на шестнадцатой плате – усилитель стробирования и формирователи схемы управления устройством. Всего в макете было использовано 211 полупроводниковых триодов и около 2800 диодов. Сердечники и диоды ЗУ собраны в 30-разрядных линейках, по 30 сердечников одного из разрядов чисел в каждой (см. рис.7). Разрядные линейки вмонтированы в каркас запоминающего устройства (рис.6).

В качестве диодов D_1 и D_2 были использованы диоды Д2В, прямое сопротивление которых не должно было превышать 100ом по АВ0-5.

Выходные диоды D_3 - ДГЦ-24 проверялись на прямое сопротивление по АВ0-5, которое должно быть не более 15ом, и на обратное, которое должно быть не менее 300ком. Кроме этого, диоды не должны иметь явления "текучести" обратного сопротивления, которое заключается в том, что обратное сопротивление диода постепенно изменяется за сравнительно короткий срок при приложении к диоду обратного напряжения. С целью выяснения характеристик запоминающего устройства в различных режимах его работы были проведены испытания по описанным ниже программам.

1-я программа

Запись проводилась два раза, а считывание с ячейки – непрерывно (рис.46). Эта программа позволяла выявить разницу в записывающих импульсах, а также и в считанных импульсах ввиду того, что после

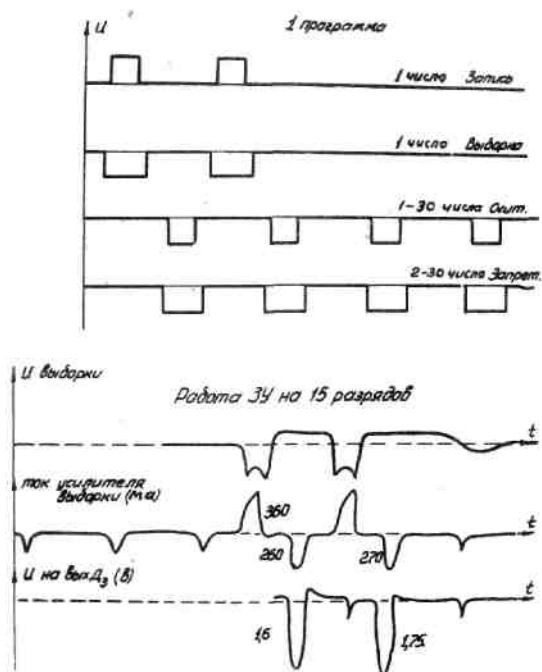


Рис. 46

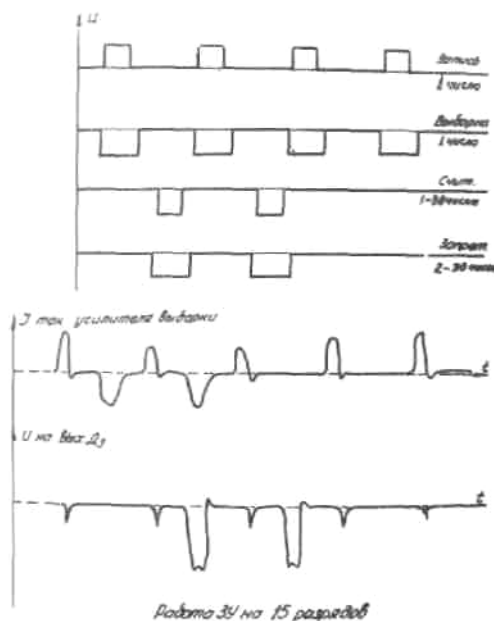


Рис.47

многократного считывания импульс записи мог измениться. Однако такая разница обнаружена не была. Проверка производилась на частоте 75кГц сердечниках ВТ-2. Осциллограммы импульсов показаны на рис. 46. Ток записи на один разряд составляет в среднем 24ма, а считывания около 21-22ма. Амплитуда считанного импульса при записи на один разряд составляет 2:1 - 2,3в, а при записи на 15 разрядов 1,6 - 1,75в.

2-я программа

По этой программе запись производилась непрерывно, а считывание – сериями через определенные интервалы времени (рис.47).

Выяснялась разница в считанных импульсах, а также определялась продолжительность переходного процесса записывающих импульсов. Осциллограммы показаны на рис.47. Проверка показала, что разница между импульсами считывания на выходе разрядных сердечников при такой программе составила около 10%. Переходной процесс заканчивается к четвертому импульсу записи после последнего считывания.

Программа 3

Записывающие импульсы, так же как и во 2-й программе, подавались непрерывно, но запись и считывание проводились лишь через определенные интервалы времени (рис.48).

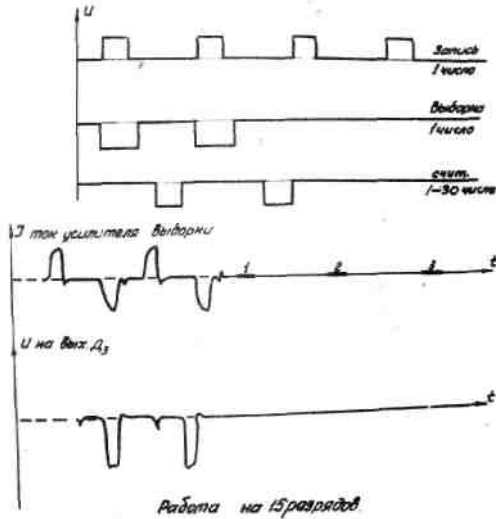


Рис.48

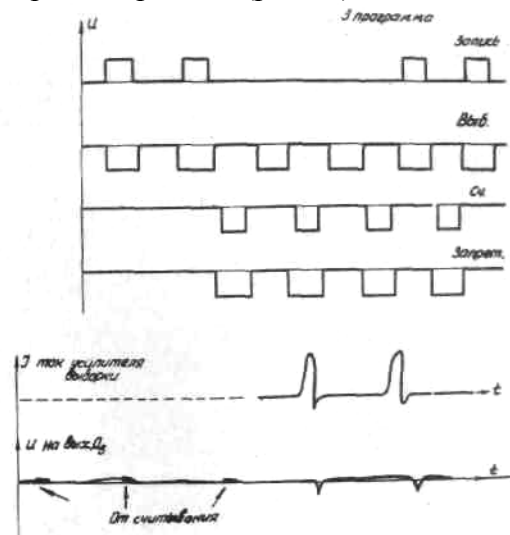


Рис.49

Проверялось наличие какой-либо записи в сердечнике при отсутствии выборочных импульсов. Было установлено, что практически запись не происходит в том случае, когда нет разрешения. Осциллограммы показаны на рис.48.

Программа 4

Производилась последовательная подача записывающих импульсов, считывающих импульсов и запрещающих считывание импульсов с усилителей выборки (рис.49).

Таким образом, проверялось, происходит ли стирание записанной информации от считывающих импульсов, когда существует разница в амплитудах импульсов считывания и запрещающих считывание импульсов с усилителей выборки. Было установлено, что стирание записи не наблюдается. По этой программе производилась также проверка работы запоминающего устройства в режиме снижения и повышения отдельных номиналов постоянных напряжений.

Было установлено, что для надежной длительной работы запоминающего устройства необходима стабильность питающих напряжений не менее $\pm 10\%$. Макет запоминающего устройства, в основном усилители и вентили, работал около 1200 час. За это время не наблюдалось ни одного выхода из строя триодов.

Была проверена возможность расширения объема запоминающего устройства до 60 и более чисел.

Исследование этого вопроса показало, что можно увеличить объем запоминающего устройства до 100 и более чисел, но это увеличение поведет за собой увеличение количества усилителей выборки и диодов. Так, при объеме в 100 чисел потребуется уже 420 триодов и 9000 диодов.

5. СХЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВ ЗУ

Для формирования импульсов и управления работой запоминающего устройства были разработаны и испытаны: усилители записи (УЗ), усилители считывания (УС), усилители выборки (УВ), вентили (В) и усилитель строга (У_{стр}). Все схемы были выполнены на плоскостных триодах П6А и П1Е.

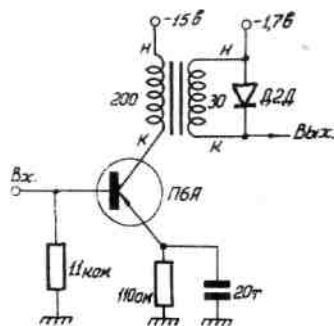


Рис. 50

Усилитель записи. Усилитель записи является однокаскадным усилителем, выполненным по схеме с заземленным эмиттером (рис.50). На вход усилителя подается отрицательный импульс с вентиля сумматора. На коллектор – отрицательное напряжение порядка -15в. Импульсный трансформатор имеет такое соотношение витков, что на выходной обмотке формируется импульс положительной полярности амплитудой 2в и длительностью до 3мксек. Через вторичную обмотку на диоды Д₁ подается отрицательное запирающее напряжение -1,7в (см.рис.41).

Для устранения аperiodических колебаний, возникающих в импульсном трансформаторе, во вторичную обмотку был включен шунтирующий диод Д2Д.

База усилителя заземлена через сопротивление 11ком, которое не допускает пробой триода в случае, если вход усилителя разомкнут с источником входных импульсов. В эмиттер включено сопротивление 110-150ом для температурной стабилизации триода.

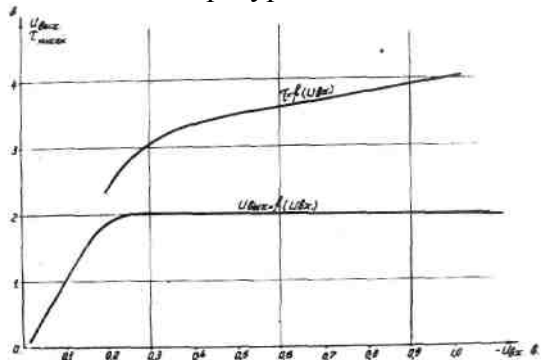


Рис.51. Характеристики УЗ при частоте повторения импульсов 90 кГц: амплитудная и формирующая

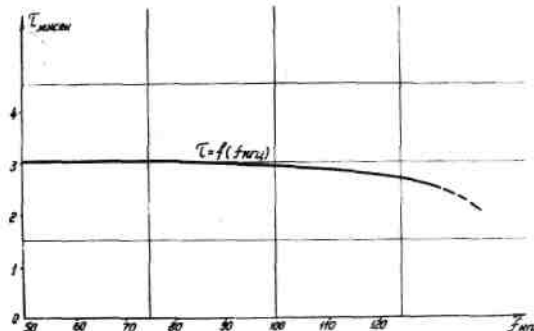


Рис. 52. Частотная характеристика УЗ при постоянном входном сигнале 0,3в

Переменная составляющая шунтируется емкостью. На рис.51 приведены амплитудная и формирующая характеристики, а на рис.52 - частотная характеристика усилителя. На рис.53 показана осциллограмма выходного сигнала с усилителя записи.

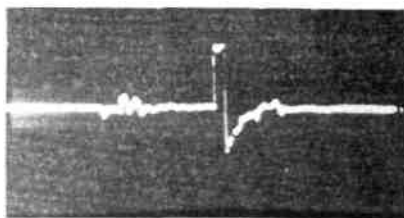


Рис.53. Осциллограмма импульса записи на выходе УЗ

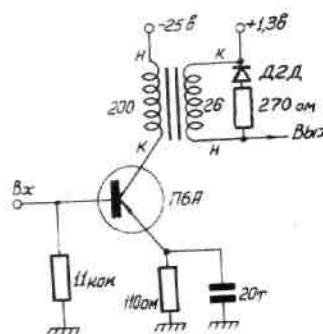


Рис.54

Усилитель считываний. Усилитель считывания (рис.54) выполнен одно каскадным, как и усилитель записи. Отличие усилителя считывания от усилителя записи состоит в том, что в нем применен трансформатор с иным соотношением витков, и коллектор питается напряжением -25в. Через вторичную обмотку трансформатора на диоды Д₂ подается положительное запирающее напряжение +1,3в (рис.41). В противном случае положительный выброс отрицательного импульса усилителя выборки может произвести частичное стирание информации в сердечниках. С учетом этого усилитель считывания формирует импульс отрицательной полярности амплитудой 3,3в и длительностью до 3мксек.

Сопротивления в эмиттере и базе усилителя считывания выполняет те же функции, что и в усилителе записи. Для ликвидации аperiodических колебаний, возникающих в импульсном трансформаторе, применяется шунтирующий диод Д2Д с сопротивлением 270ом.

На рис.55 приведены амплитудная и формирующая характеристики УС при частоте повторения импульсов 90кГц, на рис.56 - частотная характеристика усилителя при постоянном входном сигнале 0,3в, на рис.57 дана осциллограмма выходного сигнала с усилителя считывания.

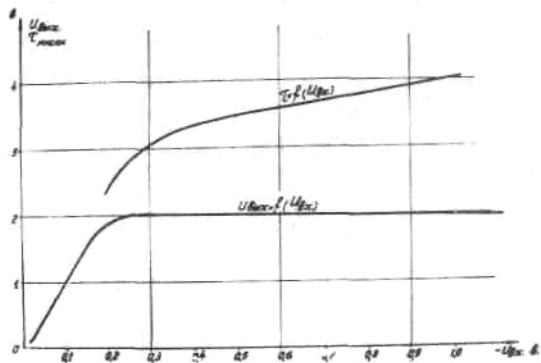


Рис. 55. Амплитудная и формирующая характеристики УС при частоте повторений импульсов 90 кГц

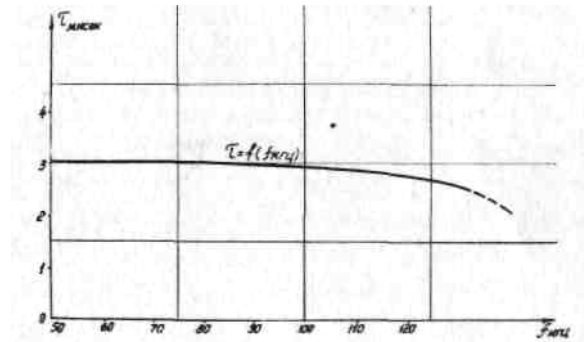


Рис. 56

Усилитель выборки. В усилителе выборки использовано два каскада (рис.58). На вход усилителя подается отрицательный импульс со схемы управления. Предварительный каскад выполнен на триоде П6А. Он формирует мощные импульсы на оконечные каскады амплитудой до 3в и длительностью до

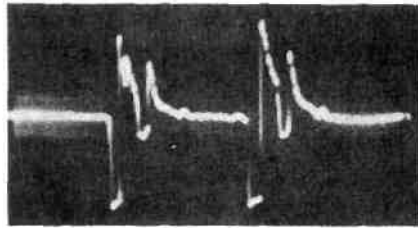


Рис.57. Осциллограмма сигналов о УС перед диодом D_2 ячейки 3У

4мксек. Оконечные каскады выполнены на триодах П1Е. Каждый оконечный каскад может работать на 20 разрядов. В запоминающем устройстве каждый оконечный каскад работает на 15 разрядов.

Желательно иметь небольшое индуктивное сопротивление оконечного каскада, иначе произойдет уменьшение тока считывания, что уменьшит считанный импульс на выходе разрядного сердечника. Это обстоятельство заставило поставить в коллектор оконечного каскада импульсный трансформатор с таким соотношением витков, как показано на рис.58. Чтобы иметь на выходе импульс выборки амплитудой 2в, на коллектор триода П1Е подается напряжение -40в. Использование такого режима работы триодов П1Е не может быть рекомендовано и было вызвано тем, что не было в наличии триодов П2А, допускающих такой режим. С целью устранения возможности пробоя триода П1Е и температурной стабилизации, в эмиттер включено сопротивление 270ом, шунтированное по переменной составляющей емкостью. Для подрезки на уровне 1,3в положительного выброса импульса выборки на импульсном трансформаторе УВ намотаны две дополнительные обмотки, соединенные через диод Д2В и подключенные к "земле" и -25в (рис.58).

Импульсы выборки имеют длительность до 5мксек. Такая длительность позволяет полностью перекрыть возможный разброс в длительности считывающих импульсов и их сдвиг по фазе.

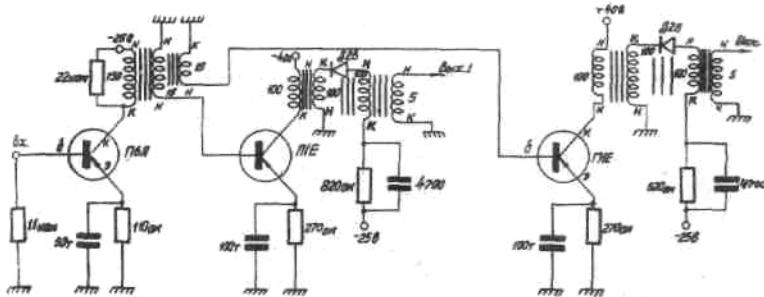


Рис. 58

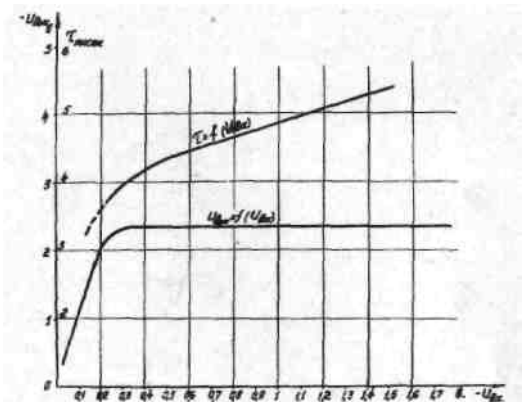


Рис.59. Амплитудная и формирующая характеристики УВ при частоте повторения импульсов 90 кГц

На рис.59 приведены амплитудная и формирующая характеристики, на рис.60 частотная характеристика, на рис.61 – осциллограмма выходного сигнала усилителя выборки.

Вентиль и усилитель стробирования. Для того чтобы выходной импульс с ячейки был свободен от помех, его подают на вентиль совпадения, куда подаются и импульсы от усилителя стробирования (рис.62).

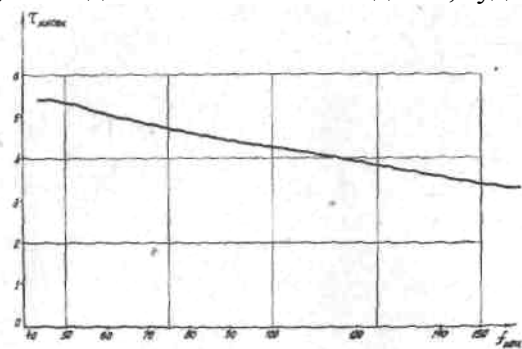


Рис.60. Частотная характеристика УВ при $V_{вх} = -0,8в$

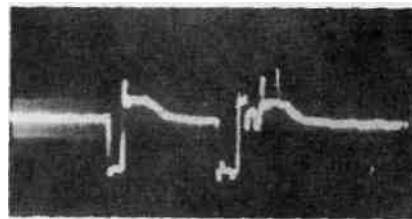


Рис.61. Осциллограмма импульсов выборки, первый импульс запрещает считывание, второй разрешает запись, после него виден сигнал от считывания

На вход 1 подаются импульсы с разрядных сердечников отрицательной полярности. На этот же вход подается через сопротивление $4,7к\Omega$ запирающее напряжение до $+1в$. Это исключает возможность появления ложного сигнала в коллекторе в случае подачи импульсов на вход 1 или вход 2. На вход 2 подается отрицательный импульс с усилителя стробирования. Для того чтобы не было подрезки снизу считанного импульса с разрядных сердечников, через выходные их обмотки на ДЗ подается напряжение $+1в$ (рис.41). Выполнен вентиль на двух триодах ПБА с последовательным питанием. На коллектор верхнего триода подается $-15в$. С выходной обмотки снимается отрицательный импульс амплитуды, достаточной для работы на другие схемы. На рис.63 приведен график зависимости выходного сигнала от величины входного сигнала, поданного на второй вход.

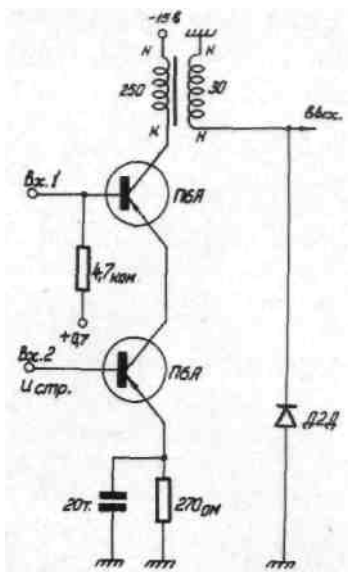


Рис.62. Схема последовательного вентильного совпадения

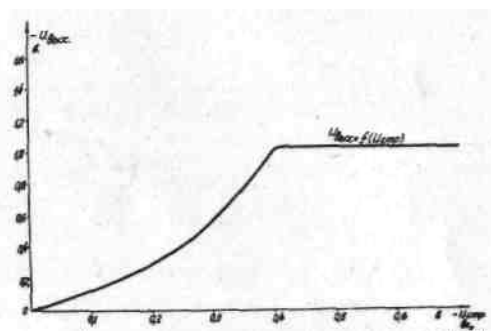


Рис.63. Амплитудная характеристика вентильного совпадения по входу сигнала стробирования при $U_{вх.1} = 2,1в$, $R_{см} = +0,7в$ и $f = 60 кГц$

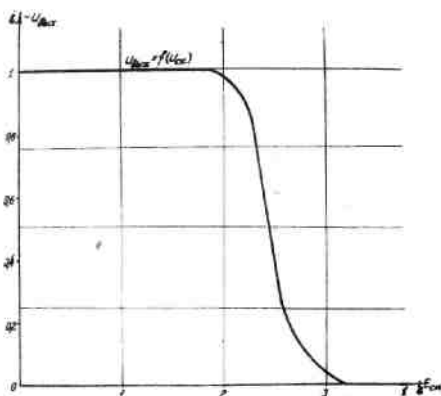


Рис.64. Зависимость выходного сигнала с вентильного совпадения от $E_{см}$ при $V_{вх.1} = 2,1в$, $V_{стр} = -0,5в$ и $f = 60 кГц$

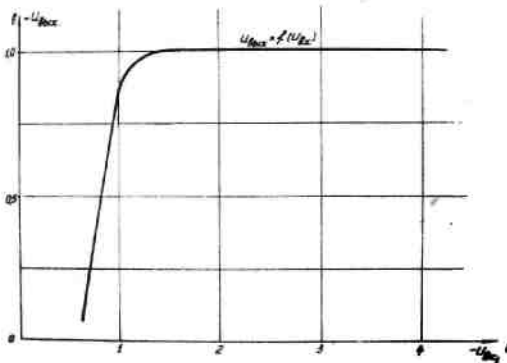


Рис.65. Амплитудная характеристика вентильного совпадения по входу сигнала с сердечником на частоте $f = 600 кГц$, $V_{стр} = 0,5в$ и $E_{см} = +0,7в$

Влияние напряжения смещения на выходной сигнал показано на рис.64. График снимался при номинальных сигналах на входах 1 и 2. На рис.65 приведен график зависимости выходного сигнала от входного, поданного на первый вход.

Усилитель стробирования служит для формирования узкого строб-импульса длительностью до 1мксек, достаточно мощного для работы на 30 и более вентилях совпадения. Усилитель двухкаскадный (рис.66). Первый предварительный формирователь выполнен на триоде П6А. На его вход могут прийти

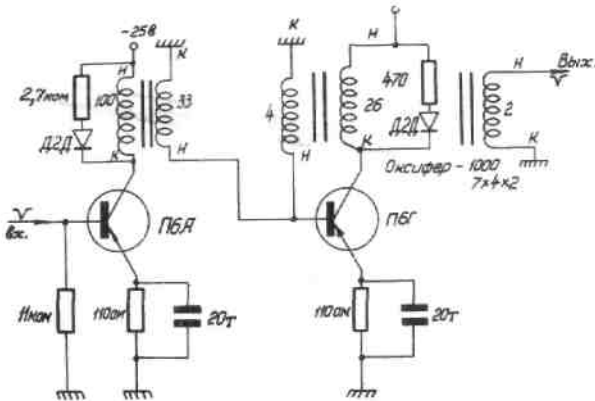


Рис. 66. Принципиальная схема усилителя стробирования

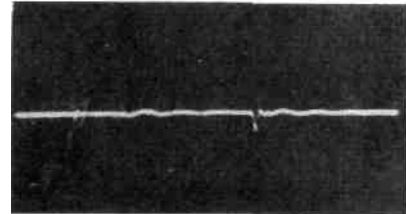


Рис.67. Осциллограмма импульса стробирования, амплитуда 0,5в. Метки - черва 0,1 мксек

различные по длительности импульсы. Он формирует импульсы длительностью 2-2,5мксек. Собственно каскад формирования узкого импульса выполнен на триоде П6Г. Между входом каскада и его выходом существует положительная обратная связь, что значительно облегчает формирование узкого и мощного импульса. Трансформатор каскада на П6Г выполнен на сердечнике оксифер 1000 7×4×2мм. Сопротивления в базе эмиттера и в обмотках трансформаторов играют ту же роль, что и в усилителе записи. Осциллограмма импульса строга показана на рис.67.

6. БЛОК-СХЕМА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Из описанных элементов были собраны два регистра на 16 и 14 разрядов и сумматор на 30 разрядов. Для проверки работы этих узлов вычислительного устройства совместно с запоминающим устройством была разработана схема управления, реагирующая на единичный сбой в любом устройстве (рис.68). Была использована следующая логика выполнения операций в устройстве: трехкратное сложение

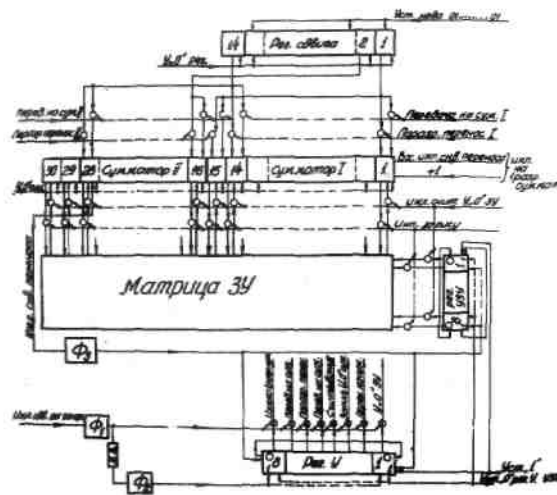


Рис.68. Блок-схема вычислительного устройства

сложение кода 01... 01 в сумматоре с последующей подачей "1" в цепь сквозного переноса. Прохождение этой "1" по всей цепи переноса должно соответствовать правильному выполнению всего цикла. Устройство выполняет следующие действия с числами:

$$\begin{array}{r}
 \text{I} \quad + \quad 00000000 \\
 \quad \quad \quad 01010101 \\
 \hline
 \quad \quad \quad 01010101 \\
 \text{II} \quad + \quad 01010101 \\
 \quad \quad \quad 00000000 \\
 \hline
 \text{III} \quad + \quad 00000000 \\
 \quad \quad \quad 01010101 \\
 \quad \quad \quad 01010101 \\
 \quad \quad \quad + \quad 01010101 \\
 \quad \quad \quad \hline
 \quad \quad \quad 00000000
 \end{array}$$

поразрядный перенос

Для выполнения операции регистр на 16 разрядов был разбит на два регистра по 8 разрядов: первый регистр (рег.У) использовался для получения управляющих импульсов АУ, второй – для управления выборной числа в ЗУ (рег.УЗУ). При запуске машины все регистры и сумматор очищались внешней подачей импульсов, в регистре сдвига устанавливался код 01. 01, а в малых регистрах в первых разрядах устанавливалась "1".

После этого импульсы сдвига подавались в регистр управления, который был замкнут в кольцо, т.е. работал в генерационном режиме. В зависимости от того, в каком разряде находится сдвигаемая "1", на выходах вентилей выдачи с регистра управления будет импульс. Первым импульсом от генератора производится У"0" ЗУ, вернее считывание первого числа ЗУ ("1" в регистре УЗУ находится в первом разряде). Затем вторым импульсом управления производится подача в первую половину сумматора (с 1-го по 14-й разряд) содержимого сдвига, несколько позже то же самое передается во вторую половину сумматора (с 15-го по 28-й разряд). Таким образом, в сумматор с регистра передан код один раз. Этот код с сумматора записывается в запоминающее устройство (в очищенное 1-е число, пока "1" в регистре УЗУ находится еще в первом разряде), а сумматор устанавливается в "0". Четвертым импульсом с управляющего регистра производится считывание в сумматор записанного перед этим числа в ЗУ.

Далее, 5-м импульсом производится второй раз подача кода с регистра сдвига описанным выше способом. При второй подаче числа сложение в сумматоре произойдет только после включения вентилей поразрядного переноса, что выполняется 6-м импульсом управления. Третья подача числа на сумматор осуществляется 7-м импульсом управления.

Прибавление "1" в первый разряд производится 8-м импульсом с регистра управления. В результате последней операции сложения все первые 28 разрядов сумматора устанавливаются в "0", а из 28-го разряда цепочки сквозного переноса подается "1", которая устанавливает "1" в первом разряде регистра У и "0" в 8-м разряде. Одновременно этим же импульсом происходит сдвиг на один разряд "1" в регистре УЗУ. Таким образом, оканчивается 1-й цикл, который может снова повториться, но уже со вторым числом в ЗУ и т.д.

Все вышеприведенные осциллограммы сигналов для различных элементов вычислительного устройства сняты при его работе в генерационном цикле. Осциллограммы на рис.69 характеризуют работу первых четырех разрядов сумматора в режиме счетчика.

7. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

После двухмесячной наладки отдельных блоков вычислительного устройства по описанной выше программе началась его эксплуатационная проверка. Во время эксплуатации этого устройства почти за четырехмесячный период устранялись ненадежные места, связанные с плохим качеством паек. Одновременно с этим выявилась необходимость проверки целых узлов в генерационном цикле на тряску и ударные воздействия.

Система отсечки сигналов во всех цепях машины (для гарантии от прохождения ложных сигналов) оправдала себя. Минимальные запасы по изменениям питающих напряжений составили $\pm 15\%$ для наиболее критичных номиналов (номиналы питания триггера -13в,-9в и подпор диодного вентиля - 10в). Работа машины при таком изменении питания проверялась в генерационном цикле.

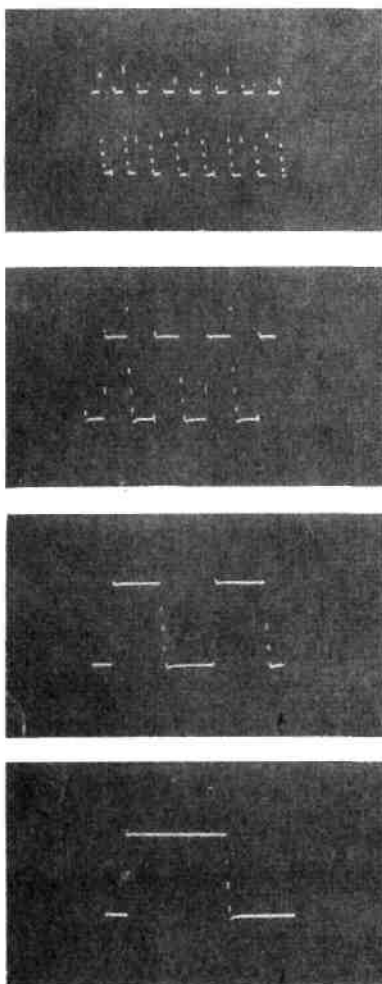


Рис.69. Осциллограммы работы первых четырех разрядов сумматора в режиме счетчика. Метки - через 1мксек

В большинстве случаев оказывалось возможным производить скачкообразное изменение наиболее критичных номиналов питания на 12-15% во время генерационного цикла без его срыва. Это объясняется примененной системой отсечки сигналов во всех схемах и наличием компенсирующих обмоток в диодных вентилях.

При изменении напряжений питания было измерено изменение времени задержки при прохождении сигнала по цепи сквозного переноса. При изменении питания на 30% время задержки цепочки сквозного переноса менялось менее чем на 10% (для одного разряда среднее время задержки было 0,17 - 0,19мксек).

Были проведены испытания на продолжительность работы устройства без сбоя в генерационном цикле в течение одной недели. Время работы оказалось порядка 12-15 час. Как выяснилось, причиной сбоев были мощные толчки в сети переменного тока в моменты включения и выключения больших индуктивных нагрузок, которые наблюдались в течение рабочего дня. Влияние этих толчков на работу машины сказывалось через ламповый генератор, задающий тактирующие импульсы для устройства.

Кроме того, толчки создавали наводки на близко расположенные цепи вычислительного устройства, которое не было заключено в шкаф.

Общее количество триодов в устройстве составляло около 1000 шт., из них триодов типа П6А было около 900 шт., диодов Д2В, Д2Д и ДГП-24 – около 4500 шт. Потребляемая мощность в рабочем режиме для 750 триодов АУ составляла около 25вт, т.е. в среднем на триоде рассеивалось менее 30мвт. В нерабочем режиме потребляемая устройством мощность была меньше на 3-5вт, около 5вт составляла мощность, потребляемая неоновыми индикаторами.

За время почти четырехмесячной работы машины (свыше 800 час.) вышли из строя три триода и три диода.

Один триод вышел вследствие нестабильности питания при его скачке на 30-25%, что привело к повышению номинального питания

для этого триода на 30-35%. Из 300 триодов во время работы машины, которые находились в одном режиме, вышел только этот один триод.

Два триода оказались непригодными ввиду нарушения контакта в базовых выводах.

Из трех вышедших из строя диодов – 2 имели уменьшенное обратное сопротивление, максимальное обратное напряжение для этих диодов в схеме было 20в.

Один диод сгорел при случайном попадании на него обратного напряжения 40в.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенная разработка вычислительного устройства с применением плоскостных полупроводниковых триодов массового выпуска (П6А, П6В и П1Е) показывает возможность построения вычислительных машин на этих триодах.

Время выполнения операции на вычислительных машинах, построенных на полупроводниковых триодах массового выпуска, может оцениваться порядком: сложение 10-17мксек, умножение 300-600мксек.

Время работы запоминавшего устройства на ферритах и диодах с полупроводниковым управлением оценивается 10-13мксек. Целесообразно устройство подобного типа использовать при количестве чисел не более 30-60.

Надежность работы вычислительного устройства на полупроводниках значительно превосходит надежность работы устройств с использованием электронных ламп.

За период отладки и эксплуатации устройства (порядка 1000 триодов) (6 месяцев) вышло из строя 3 триода (один триод сгорел при повышении питания вышепринятого номинального на 35%, а у двух других отломались базовые выводы) по случайным причинам. Эксплуатационная проверка на

случайные сбои показала достаточно высокую надежность работы устройства. Так, в период времени порядка 12-15 час. устройство работало без сбоя. Разработанное устройство находилось в эксплуатации с апреля по июль месяц 1958 г.

Разработанные элементы и схемы построения показали значительную устойчивость к изменениям напряжений питания. По всему вычислительному устройству допустимое изменение напряжения питания по наиболее критичным номиналам получилось порядка $\pm 10\%$. По арифметическому блоку и блоку управления - $\pm 15\%$. По блоку запоминающего устройства $\pm 10\%$.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.К. Зейденберг, А.Н. Зимарев, Е.П. Ландер, Ю.И. Сенаторов. Арифметическое устройство параллельного типа на полупроводниковых приборах. ИТМ и ВТ АН СССР, 1957.
2. Ю.И. Шарапов. Узловые схемы цифровой вычислительной машины, построенные из элементов импульсно-потенциального типа на полупроводниковых триодах. ИТМ и ВТ АН СССР, 1958.
3. Communication and Electronics, 1956, March, N23, PP.1-7. T.R. Bashkow. D-c. graphical analysis of junction transistor flip-flops.
4. Р. Ли. Полупроводниковые триоды и их применение. М.Л., 1957 г.,
5. Полупроводниковые приборы и их применение. Сборник статей под редакцией Федотова, вып.П. Изд-во Советское радио, 1957.