

**Министерство образования Республики Беларусь**

**Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»**

**Кафедра «Автоматизированный электропривод»**

**М. Н. Погуляев**

# **ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к курсовому проектированию  
по одноименной дисциплине  
для студентов специальности 1-53 01 05  
«Автоматизированные электроприводы»  
дневной и заочной форм обучения**

**Гомель 2012**

УДК 62-83-52(075.8)  
ББК 31.291я73  
П43

*Рекомендовано научно-методическим советом  
факультета автоматизированных и информационных систем  
ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 9 от 26.03.2012 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого  
канд. техн. наук, доц. *О. Г. Широков*

**Поголяев, М. Н.**  
П43      Элементы автоматизированного электропривода : метод. указания к курсовому проектированию по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» днев. и заоч. форм обучения / М. Н. Поголяев. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – 49 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц; 32 Mb RAM; свободное место на HDD 16 Mb; Windows 98 и выше; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://alis.gstu.by/StartEK/>. – Загл. с титул. экрана.

Изложена методика проектирования десяти различных цифровых устройств, входящих в состав управляющих элементов автоматизированной системы управления электроприводом; рассмотрены вопросы расчета и выбора основных узлов и блоков устройств, даны варианты заданий к выполнению курсового проекта.

Для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 62-83-52(075.8)  
ББК 31.291я73**

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2012

**Задание к курсовому проекту**  
по дисциплине «Элементы автоматизированного электропривода»  
для студентов специальности 1-53 01 05

**Темы проектов**

1. Цифровой датчик интенсивности. Поочередная индикация входного и выходного напряжений.
2. Цифровая система импульсно-фазового управления. Индикация угла управления.
3. Цифровой датчик скорости и направления. Цифровая индикация скорости и направления.
4. Генератор и распределитель импульсов для трехфазной АИ с углом проводимости  $120^{\circ}$ . Индикация частоты импульсов генератора и выходной частоты инвертора.
5. Генератор и распределитель импульсов для трехфазного АИ с углом проводимости  $180^{\circ}$ . Индикация частоты импульсов генератора и выходной частоты инвертора.
6. Цифровой датчик напряжения с гальванической развязкой цепей. Поочередная индикация входного и выходного напряжения.
7. Цифровой датчик тока с гальванической развязкой цепей. Поочередная индикация входного и выходного тока.
8. Логическое переключающее устройство. Индикация включенного комплекта.
9. Цифровой интегрирующий регулятор. Индикация выходного напряжения.
10. Цифровой датчик угла поворота. Индикация направления и угла поворота.

**I. Перечень вопросов подлежащих разработке и описанию в пояснительной записке:**

Введение.

1. Составить функциональную схему устройства.
  2. Произвести расчет основных узлов и блоков устройства.
  3. Разработать принципиальную электрическую схему устройства.
  4. Разработать схему цифровой индикации.
  5. Построить временные диаграммы работы устройства.
  6. Описать работу схемы в различных режимах.
- Заключение.

Литература.  
Оглавление.  
Приложение. Спецификация элементов схемы принципиальной электрической.

## **II. Графическая часть.**

1. Функциональная схема разработанного устройства. Временные диаграммы работы.
2. Принципиальная электрическая схема спроектированного устройства.

## **III. Исходные данные к курсовому проекту.**

1. Напряжения источников питания.
2. Тип используемых микросхем.
3. Диапазон изменения входных параметров.
4. Выходные параметры рассчитываемых устройств
5. Напряжение питающей сети – 380/220 В.
6. Частота напряжения питающей сети – 50 Гц.

**Примечание:** Конкретные значения исходных данных выбираются из табл. 1 согласно заданного преподавателем варианта. Номер варианта состоит из цифры и буквы. Цифра соответствует номеру темы, буква – варианту исходных данных.

Таблица 1

## Исходные данные для расчета

## Тема 1. Цифровой датчик интенсивности

Наименование параметров	Варианты исходных данных			
	а)	б)	в)	г)
Серия используемых цифровых микросхем	K155	K561 (K1561)	K155	K561 (K1561)
Напряжение источников питания	$\pm 15$ В, +5 В	$\pm 15$ В	$\pm 15$ В, +5 В	$\pm 15$ В
Тип используемых индикаторов	светодиодные	газоразрядные	люминесцентные	вакуумные
Диапазон изменения входного напряжения $U_{вх}$	-9,5 ... +9,5 В	-10,5 ... +10,5 В	-8,5 ... +8,5 В	-9,0 ... +9,0 В
Диапазон изменения выходного напряжения $U_{вых}$	-10 ... +10 В	-9,0 ... +9,0 В	-8,0 ... +8,0 В	-7,0 ... +7,0 В
Время запуска $t_{п}$	18,0 с	15,0 с	12,0 с	10,0 с
Число разрядов	8 ... 12	8 ... 12	8 ... 12	8 ... 12
Блок питания	Не рассчитывается	Не рассчитывается	Не рассчитывается	Не рассчитывается

## Тема 2. Цифровая СИФУ

Наименование параметров	Варианты исходных данных			
	а)	б)	в)	г)
Серия используемых цифровых микросхем	K155	K561 (K1561)	K533 (K1533)	K176
Напряжение источников питания	$\pm 15$ В, +5 В	$\pm 15$ В	$\pm 15$ В, +5 В	$\pm 15$ В, +9 В
Тип используемых индикаторов	светодиодные	газоразрядные	люминесцентные	вакуумные
Диапазон изменения напряжения управления $U_{упр}$	0 ... +8,5 В	0 ... +10,5 В	0 ... +9,5 В	0 ... +9,0 В
Диапазон изменения угла управления $\alpha$	15° ... 110°	5° ... 115°	10° ... 120°	20° ... 105°
Тип трехфазного тиристорного преобразователя	нереверсивный, нулевой	нереверсивный, нулевой	нереверсивный, нулевой	нереверсивный, нулевой
Число разрядов	8 ... 12	8 ... 12	8 ... 12	8 ... 12
Блок питания	Не рассчитывается	Не рассчитывается	Не рассчитывается	Не рассчитывается

Продолжение таблицы 1

Тема 3. Цифровой датчик скорости и направления

Наименование параметров	Варианты исходных данных			
	а)	б)	в)	г)
Серия используемых цифровых микросхем	K155	K561 (K1561)	K155	K561 (K1561)
Напряжение источников питания	$\pm 15$ В, +5 В	$\pm 15$ В	$\pm 15$ В, +5 В	$\pm 15$ В
Тип используемых индикаторов	светодиодные	газоразрядные	люминесцентные	вакуумные
Максимальное значение частоты вращения $n_{max}$	$\pm 1800$ об/мин	$\pm 2200$ об/мин	$\pm 2600$ об/мин	$\pm 3000$ об/мин
Погрешность измерения, не более $\Delta n$	$\pm 2.0$ об/мин	$\pm 3.0$ об/мин	$\pm 4.0$ об/мин	$\pm 5.0$ об/мин
Число разрядов	8 ... 12	8 ... 12	8 ... 12	8 ... 12
Блок питания	Рассчитывается	Рассчитывается	Рассчитывается	Рассчитывается

Тема 4. Генератор и распределитель импульсов для трехфазного АИ с углом проводимости  $\lambda = 120^\circ$

Наименование параметров	Варианты исходных данных			
	а)	б)	в)	г)
Серия используемых цифровых микросхем	K155	K561 (K1561)	K155	K561 (K1561)
Напряжение источников питания	$\pm 15$ В, +5 В	$\pm 15$ В	$\pm 15$ В, +5 В	$\pm 15$ В
Тип используемых индикаторов	светодиодные	газоразрядные	люминесцентные	вакуумные
Диапазон изменения напряжения управления $U_{упр}$	0 ... +8,5 В	0 ... +10,5 В	0 ... +9.5 В	0 ... +9.0 В
Диапазон изменения выходной частоты $f_{вых}$	5 ... 80 Гц	2 ... 60 Гц	4 ... 70 Гц	6 ... 100 Гц
Тип трехфазного АИ	Нулевой	Нулевой	Нулевой	Нулевой
Блок питания	Рассчитывается	Рассчитывается	Рассчитывается	Рассчитывается

Тема 5. Генератор и распределитель импульсов для трехфазного  
АИ с углом проводимости  $\lambda = 180^\circ$

Наименование параметров	Варианты исходных данных			
	а)	б)	в)	г)
Серия используемых цифровых микросхем	K155	K561 (K1561)	K155	K561 (K1561)
Напряжение источников питания	$\pm 15$ В, +5 В	$\pm 15$ В	$\pm 15$ В, +5 В	$\pm 15$ В
Тип используемых индикаторов	светодиодные	газоразрядные	люминесцентные	вакуумные
Диапазон изменения напряжения управления $U_{упр}$	0 ... +9.5 В	0 ... +10,5 В	0 ... +9.0 В	0 ... +8,5 В
Диапазон изменения выходной частоты $f_{вых}$	4 ... 70 Гц	2 ... 60 Гц	6 ... 100 Гц	5 ... 80 Гц
Тип трехфазного АИ	Нулевой	Нулевой	Нулевой	Нулевой
Блок питания	Рассчитывается	Рассчитывается	Рассчитывается	Рассчитывается

Тема 6. Цифровой датчик напряжения с гальванической развязкой цепей

Наименование параметров	Варианты исходных данных			
	а)	б)	в)	г)
Серия используемых цифровых микросхем	K155	K561 (K1561)	K155	K561 (K1561)
Напряжение источников питания	$\pm 15$ В, +5 В	$\pm 15$ В	$\pm 15$ В, +5 В	$\pm 15$ В
Тип используемых индикаторов	светодиодные	газоразрядные	люминесцентные	вакуумные
Максимальное входное напряжение $U_{вх. max}$	$\pm 250$ В	$\pm 200$ В	$\pm 300$ В	$\pm 400$ В
Максимальное выходное напряжение $U_{вых. max}$	$\pm 9$ В	$\pm 8$ В	$\pm 10$ В	$\pm 11$ В
Число разрядов	8 ... 12	8 ... 12	8 ... 12	8 ... 12
Блок питания	Рассчитывается	Рассчитывается	Рассчитывается	Рассчитывается

Тема 7. Цифровой датчик тока с гальванической развязкой цепей

Наименование параметров	Варианты исходных данных			
	а)	б)	в)	г)
Серия используемых цифровых микросхем	K155	K561 (K1561)	K155	K561 (K1561)
Напряжение источников питания	$\pm 15$ В, +5 В	$\pm 15$ В	$\pm 15$ В, +5 В	$\pm 15$ В
Тип используемых индикаторов	светодиодные	газоразрядные	люминесцентные	вакуумные
Максимальный входной ток $I_{вх. max}$	$\pm 20$ А	$\pm 25$ А	$\pm 30$ А	$\pm 35$ А
Максимальное выходное напряжение $U_{вых. max}$	$\pm 8$ В	$\pm 9$ В	$\pm 10$ В	$\pm 11$ В
Число разрядов	8 ... 12	8 ... 12	8 ... 12	8 ... 12
Блок питания	Рассчитывается	Рассчитывается	Рассчитывается	Рассчитывается

Тема 8. Логическое переключающее устройство

Наименование параметров	Варианты исходных данных			
	а)	б)	в)	г)
Серия используемых цифровых микросхем	K155	K561 (K1561)	K155	K561 (K1561)
Напряжение источников питания	$\pm 15$ В, +5 В	$\pm 15$ В	$\pm 15$ В, +5 В	$\pm 15$ В
Тип используемых индикаторов	светодиодные	газоразрядные	люминесцентные	вакуумные
Время задержки $t_{зд}$	6 мс	3 мс	8 мс	5 мс
Тип трехфазного тиристорного преобразователя	Реверсивный, мостовой	Реверсивный, мостовой	Реверсивный, мостовой	Реверсивный, мостовой
Блок питания	Рассчитывается	Рассчитывается	Рассчитывается	Рассчитывается



## Тема 9. Цифровой интегрирующий регулятор

Наименование параметров	Варианты исходных данных			
	а)	б)	в)	г)
Серия используемых цифровых микросхем	K155	K561 (K1561)	K155	K561 (K1561)
Напряжение источников питания	$\pm 15$ В, +5 В	$\pm 15$ В	$\pm 15$ В, +5 В	$\pm 15$ В
Тип используемых индикаторов	светодиодные	газоразрядные	люминесцентные	вакуумные
Диапазон изменения входного напряжения $U_{вх}$	-9,0 ... +9,0 В	-10,5 ... +10,5 В	-8,5 ... +8,5 В	-9,5 ... +9,5 В
Постоянная времени интегратора $T$	180 мс	200 мс	120 мс	150 мс
Число разрядов	8 ... 12	8 ... 12	8 ... 12	8 ... 12
Блок питания	Не рассчитывается	Не рассчитывается	Не рассчитывается	Не рассчитывается

## Тема 10. Цифровой датчик угла поворота

Наименование параметров	Варианты исходных данных			
	а)	б)	в)	г)
Серия используемых цифровых микросхем	K155	K561 (K1561)	K155	K561 (K1561)
Напряжение источников питания	$\pm 15$ В, +5 В	$\pm 15$ В	$\pm 15$ В, +5 В	$\pm 15$ В
Тип используемых индикаторов	светодиодные	газоразрядные	люминесцентные	вакуумные
Максимальное значение угла поворота $\theta_{max}$	$\pm 45$ град	$\pm 50$ град	$\pm 55$ град	$\pm 60$ град
Погрешность измерения, не более $\Delta\theta$	$\pm 1,0$ град	$\pm 2,0$ град	$\pm 2,0$ град	$\pm 1,0$ град
Число разрядов	8 ... 12	8 ... 12	8 ... 12	8 ... 12
Блок питания	Рассчитывается	Рассчитывается	Рассчитывается	Рассчитывается

## ВВЕДЕНИЕ

Требования повышения производительности различных механизмов и качества изготавливаемых изделий могут быть обеспечены только на основе автоматизации промышленных электроприводов. Успех автоматизации во много зависит от технических средств ее реализации, т.е. от индивидуальных свойств отдельных устройств и элементов, совокупность которых образует промышленную электрическую систему – автоматизированный электропривод.

Элементная база, практически обеспечивающая автоматизацию и реализацию требуемого свойства систем электропривода, является объектом изучения в дисциплине «Элементы автоматизированного электропривода» (ЭАЭП).

Целью данного курсового проекта является приобретение умения составлять функциональную и электрическую схему элемента, математически описывать взаимосвязь его входных и выходных величин, определять параметры расчетных схем, анализировать свойства элемента.

В последние годы в системах автоматизированного электропривода начали широко применяться цифровые элементы, для которых характерны повышенная точность и надежность работы. Кроме того они обладают высокой помехозащищенностью.

В данном курсовом проекте требуется спроектировать десять различных цифровых устройств, входящих в состав управляющих элементов автоматизированной системы управления электроприводом. Эти элементы составляют информационную часть электропривода. Их задача – вырабатывать, преобразовывать и подводить сигналы управления к силовым элементам.

Требуется также разработать цифровую индикацию входных и выходных параметров проектируемого элемента, построить временные диаграммы и подробно описать работу схемы.

Любое устройство, каким бы сложным оно не было, всегда можно разделить на более простые узлы и блоки. Далее приводятся схемы основных типовых узлов и блоков, которые применяются при разработке заданных цифровых устройств.

## 1. ГЕНЕРАТОРЫ ИМПУЛЬСОВ

Генераторы импульсов используют во многих радиотехнических устройствах (электронных счетчиках, реле времени), применяют при настройке цифровой техники. Диапазон частот таких генераторов может быть от единиц герц до многих мегагерц.

На рис. 1.1 приведена схема генератора, который формирует одиночные импульсы прямоугольной формы при нажатии кнопки *SB1*. На логических элементах *DD1.1* и *DD1.2* собран *RS*-триггер, предотвращающий проникновение импульсов дребезга контактов кнопки на пересчетное устройство. В положении контактов кнопки *SB1*, показанном на схеме, на выходе 1 будет напряжение высокого уровня, на выходе 2 - напряжение низкого уровня; при нажатой кнопке - наоборот. Этот генератор удобно использовать при проверке работоспособности различных счетчиков.

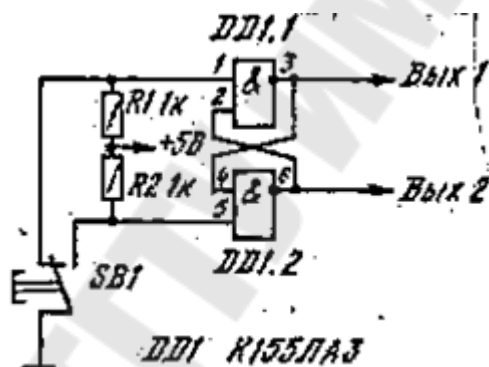


Рис. 1.1. Схема формирователя одиночных импульсов

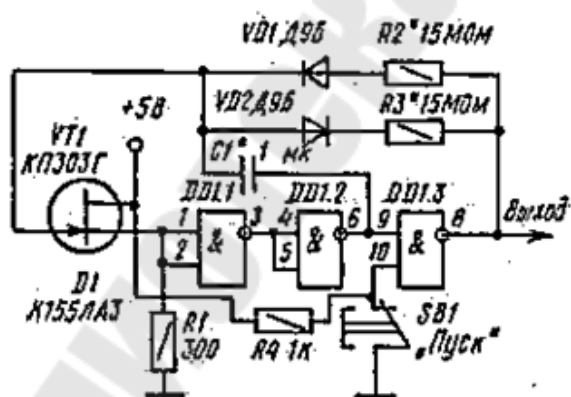


Рис. 1.2. Схема широкодиапазонного генератора импульсов

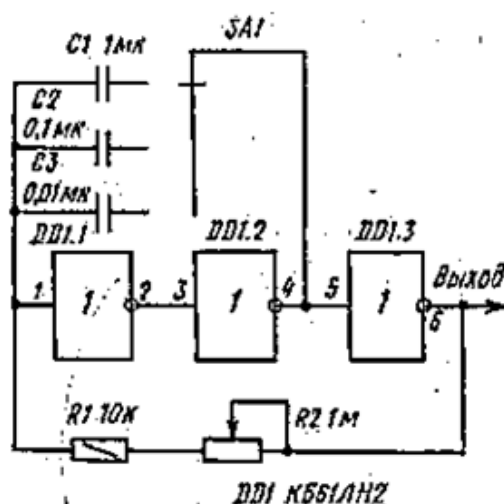


Рис. 1.3. Схема генератора импульсов на микросхеме КМОП

В генераторе импульсов, схема которого приведена на рис. 1.2, использованы логические элементы микросхемы *DD1* и полевой транзистор *VT1*.

При изменении номиналов конденсатора *C1* и резисторов *R2* и *R3* генерируются импульсы частотой от 0,1 Гц до 1 МГц. Такой широкий диапазон получен благодаря использованию полевого транзистора, что позволило применить резисторы *R2* и *R3* сопротивлением в несколько мегаом. С помощью этих резисторов можно изменять скважность импульсов: резистор *R2* задает длительность напряжения высокого уровня на выходе генератора, а резистор *R3* - длительность напряжения низкого уровня. Максимальная емкость конденсатора *C1* зависит от его собственного тока утечки. В данном случае она составляет 1...2 мкФ. Сопротивления резисторов *R2*, *R3* – 10...15 МОм. Транзистор *VT1* может быть любым из серий КП302, КП303

При наличии микросхемы КМОП (серия К176, К561) можно собрать широкодиапазонный генератор импульсов без применения полевого транзистора.

Схема приведена на рис. 1.3. Для удобства установки частоты емкость конденсатора времязадающей цепи изменяют галетным переключателем *SA1*. Диапазон частот, формируемых генератором, составляет 1...10 000 Гц.

На рис. 1.4 представлена схема генератора импульсов с регулируемой скважностью.

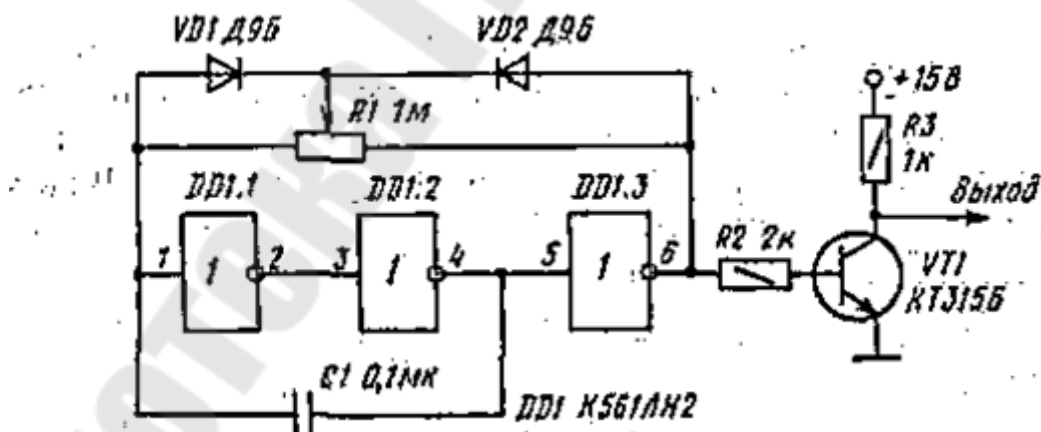


Рис. 1.4. Схема генератора импульсов с регулируемой скважностью

Скважность, т. е. отношение периода следования импульсов к длительности напряжения высокого уровня на выходе логического элемента *DD1.3*, резистором *R1* может изменяться от единицы до нескольких тысяч. При этом частота импульсов также незначительно

изменяется. Транзистор  $VT1$ , работающий в ключевом режиме, усиливает импульсы по мощности.

Относительно всех автогенераторов на МОП микросхемах можно отметить, что если схема мультивибратора не симметрична, то возрастает ее чувствительность к изменению питающего напряжения (для микросхем 561-ой серии период может меняться на 35% при изменении  $U_{пит}$  от 3 до 15 В), поэтому расчетные соотношения справедливы для максимального напряжения питания.

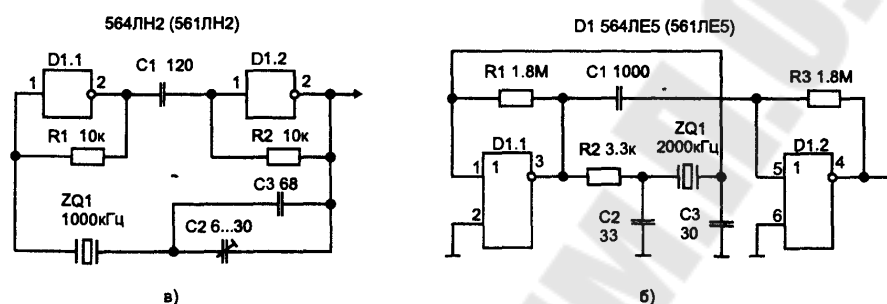


Рис. 1.5. Схемы обеспечивающие повышенную стабильность частоты при изменении окружающей температуры в широком диапазоне

При стабилизированном питании, изменение длительности импульсов мультивибраторов и частоты в генераторах на RC-цепях обычно не лучше 1% на 15°C (в случае применения термостабильных конденсаторов). Большую стабильность частоты можно получить, используя кварцевую стабилизацию. На рис. 1.5 приведены типовые схемы построения таких генераторов. Для небольшой подстройки частоты иногда последовательно с кварцевым резонатором устанавливают конденсатор 10...100 пФ. Частота импульсов и их стабильность в этом случае у генератора задается параметрами кварцевого резонатора.

### Генераторы прямоугольных импульсов на таймере.

Применение интегрального таймера позволяет довольно просто выполнить генератор импульсов, обеспечивающий стабильность частоты не хуже 1%. Для работы микросхемы в режиме автогенератора выводы 6 и 2 соединяются между собой и подключаются к конденсатору, как это показано на рис. 1.6, а. В этом случае процесс заряд-разряд времязадающего конденсатора  $C1$  будет проходить циклически и на выходе мы увидим импульсы с формой меандр

$$T_1 = T_2 = 0,693 \cdot R_1 \cdot C_1.$$

У них период (время одного полного цикла)  $T = T_1 + T_2$ , а частота:

$$f = \frac{1}{(T_1 + T_2)} = \frac{1}{0,693(R_1 + R_2)C_1} = \frac{0,722}{R_1 C_1}.$$

Вариант схемы, приведенной на рис. 1.6, б обеспечивает меандр на выходе только при сохранении соотношения между резисторами  $R_1$  и  $R_2$  такими как это указано на схеме.

При любых других номиналах интервалы определяются по формулам:

$$T_1 = 0,693 \cdot R_1 \cdot C_1,$$

$$T_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{0,693(R_1 + R_2)C_1} C_1 \cdot \ln \left[ \frac{R_2 - 2R_1}{2R_2 - R_1} \right]$$

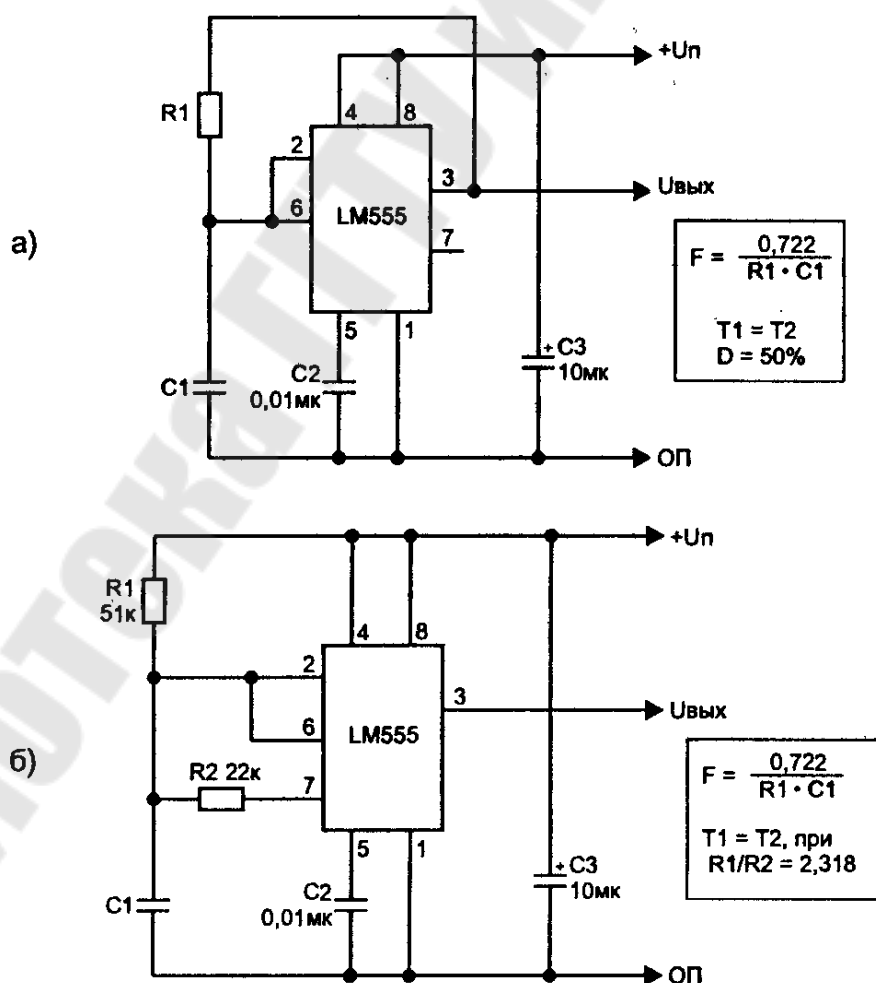


Рис. 1.6. Простейшие генераторы импульсов с формой меандр  $T_1 = T_2$

На практике нередко бывает необходимо иметь импульсы, отличающиеся от меандра, что позволяет получить схема, приведенная на рис. 1.7. В ней заряд конденсатора  $C_1$  идет через два резистора  $R_1$  и  $R_2$ , а разряд только через один  $R_2$ , так как он соединен с внутренним транзистором микросхемы (вывод 7).

Происходящие процессы поясняет приведенная диаграмма. При подаче на схему питания на выходе (3) появляется напряжение и через резисторы  $R_1$ ,  $R_2$  начинается заряд конденсатора  $C_1$ , и как только оно достигает  $2/3$  уровня питающего напряжения, верхний компаратор вызовет обнуление триггера. Это приводит к появлению на выходе (3) микросхемы нулевого уровня.

В установившемся режиме интервал, в течение которого на выходе действует высокий уровень напряжения, определяется соотношением

$$T_1 = 0,693(R_1 + R_2)C_1,$$

но первый импульс, появляющийся в момент включения схемы, будет чуть шире, что видно на графике.

Когда внутренний транзистор микросхемы ( $V_{14}$ ) открыт, конденсатор  $C_1$  разряжается через резистор  $R_2$  (получается, что  $R_2$  соединяется через  $V_{14}$  с общим проводом). В результате этого формируется второй интервал

$$T_2 = 0,693 \cdot R_2 \cdot C_1.$$

Как только напряжение на конденсаторе достигает уровня  $1/3 U_{\text{п}}$  срабатывает нижний компаратор. Это заставляет триггер переключиться, и на выходе (3) снова появится напряжение. Транзистор  $V_{14}$  выключится, и конденсатор  $C_1$  снова начинает заряжаться.

Цикл заряд-разряд конденсатора будет периодически повторяться, поскольку компараторы заставляют внутренний триггер переключаться. В результате этого на выходе получается непрерывная последовательность прямоугольных импульсов, с периодом

$$T = T_1 + T_2 \text{ и частотой } f = \frac{1}{T}.$$

Частота автогенератора зависит от значений элементов  $R_1$ ,  $R_2$  и  $C_1$ , и ее можно рассчитать по формуле:

$$f = \frac{1}{0,693(R_1 + 2R_2)C_1} = \frac{1,44}{(R_1 + 2R_2)C_1}$$

При расчетах для получения размерности частоты  $F$  в герцах (Гц) значения величин  $R_1$  и  $R_2$  берутся в омах (Ом), а  $C$  в фарадах (Ф). Чтобы получить расчетное значение частоты сразу в нужной размерности, можно руководствоваться табл. 1.1. Для быстрого определения частоты можно также воспользоваться диаграммой, приведенной на рис. 1.7.

Для периодического сигнала отношение интервала, когда на выходе присутствует напряжение к полному периоду, называется скважностью или рабочим циклом “duty cycle”. Скважность рассчитывается так:

$D = T_1/T$  (величина безразмерная или же указывается в процентах (%), для чего умножается на 100). Интервалы времени для включенного и выключенного состояния выхода зависят от значений номиналов  $R_1$  и  $R_2$ . Для схемы, показанной на рис. 1.6, скважность связана с резисторами следующим образом:

$$D = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2}$$

Таблица 1.1.

Выбор удобной размерности величин для расчета частоты

Частота, F	Емкость, C	Сопротивление, R
Гц	Ф	Ом
Гц	мкФ	МОм
кГц	мкФ	КОм
кГц	нФ	МОм



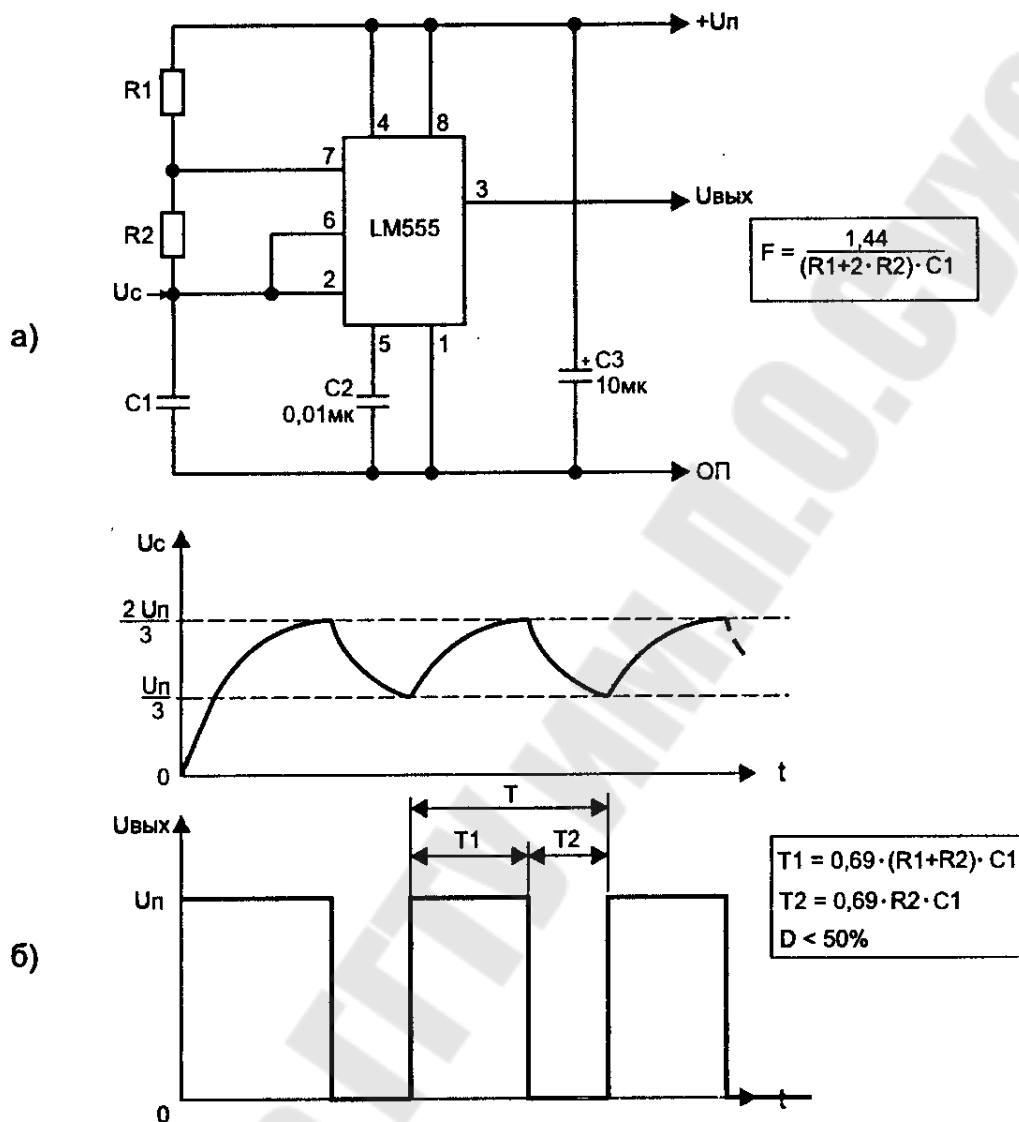


Рис. 1.7. Схема генератора (а) и диаграммы (б), поясняющие работу

Как уже говорилось ранее, бесконечно увеличивать номиналы резисторов нельзя, — есть ограничение на минимальный входной ток компараторов. Так, при питании схемы от источника напряжением 15 В максимальное общее активное сопротивление для резисторов ( $R1 + R2$ ) обычно не превышает 20 МОм.

При выборе номиналов времязадающих элементов разработчики микросхемы рекомендуют руководствоваться графиками, приведенными на рис. 1.8.

При значениях  $R2$  в 100 и более раз больше  $R1$  — на выходе генератора мы получим импульсы, близкие по форме к меандру, но нередко бывает необходимо иметь их очень короткими. Этого можно

добиться, разделив цепи заряда и разряда времязадающего конденсатора. Схемы позволяют получить у импульсов скважность как меньше 50%, так и больше.

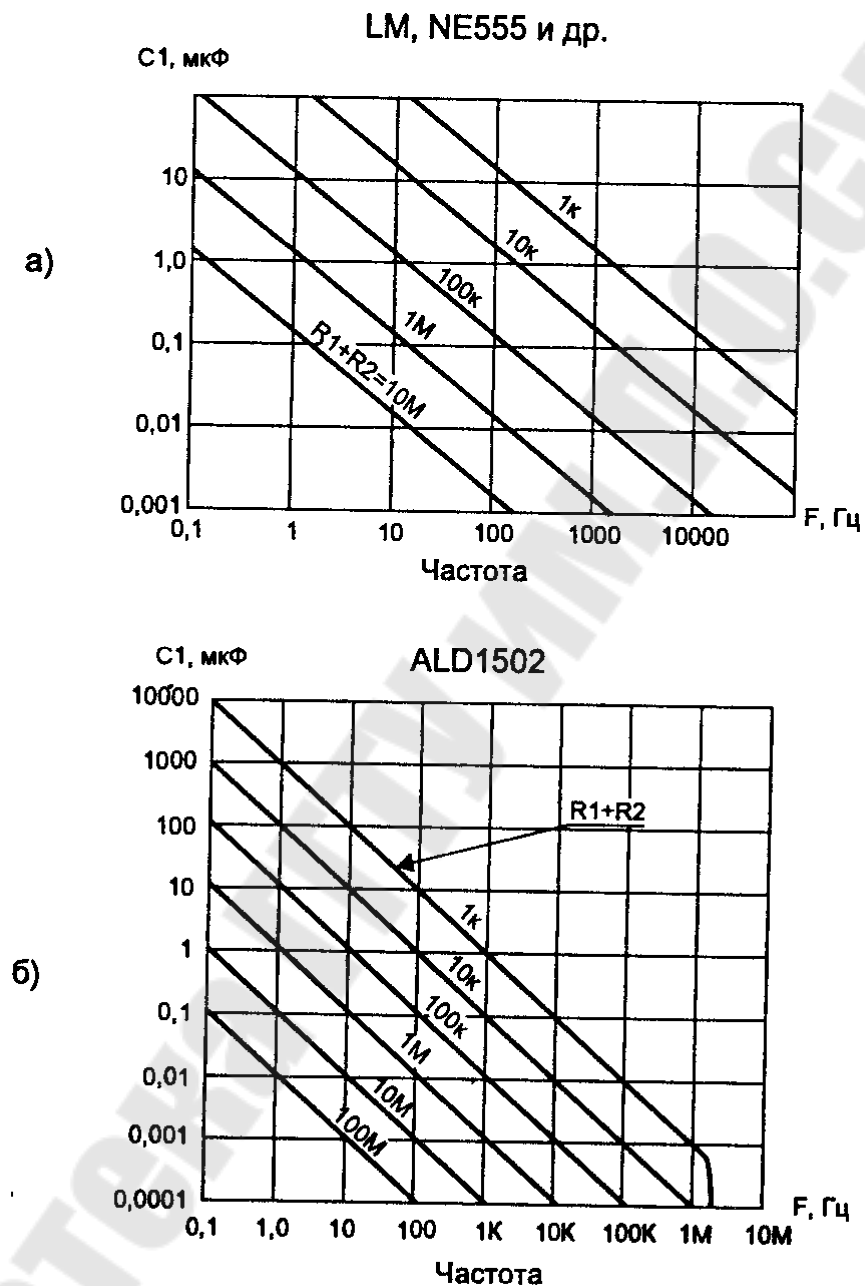


Рис. 1.8. Графики для выбора номиналов времязадающей цепи:  
 а – для обычных таймеров; б – для таймеров, изготовленных по CMOS-технологии

## 2. СХЕМЫ С НЕЛИНЕЙНЫМИ ОБРАТНЫМИ СВЯЗЯМИ

В САР (в главной цепи воздействия, в обратных связях, на входе системы), в измерительных преобразователях используют различного рода нелинейные узлы, выполненные на ОУ с нелинейными обратными связями. К ним относятся: однополярные выпрямители, узлы выделения модуля (двухполярные выпрямители), ограничители сигнала, компараторы, функциональные преобразователи и др.

Однополярный выпрямитель, схема которого приведена на рис.2.1, применяется в качестве нелинейного элемента или узла получения выходного сигнала только при одной полярности входного. Для обычного выпрямителя порог чувствительности лежит в пределах 0,3...0,7 В, в зависимости от материала диодов. Активный выпрямитель на ОУ имеет чувствительность в несколько милливольт. Для схемы на рис. 2.1 при отрицательной полярности входного сигнала выходное напряжение равно 0, так как VD2 закрыт положительным напряжением на выходе ОУ, а VD1 шунтирует цепь обратной связи. При положительной полярности входного сигнала VD2 открывается, и выпрямитель работает как инвертор напряжения с коэффициентом усиления

$$k_y = \frac{R_3}{R_2}.$$

Узел выделения модуля сигнала может быть собран на одном или двух ОУ. В последнем случае схема (рис. 2.2) оказывается более точной и выходное напряжение

$$U_{\text{ВЫХ}} = \begin{cases} U_{\text{ВХ}} \cdot \left( \frac{R_3}{R_2} \cdot \frac{R_6}{R_4} - \frac{R_6}{R_5} \right) & \text{при } U_{\text{ВХ}} \geq 0, \\ -U_{\text{ВХ}} \cdot \frac{R_6}{R_5} & \text{при } U_{\text{ВХ}} \leq 0. \end{cases}$$

Ограничители широко применяются в схемах промышленных установок для ограничения сигнала, получения нелинейностей, изменения структуры САР и т.п. На рис. 2.3 представлена простейшая схема ограничителя. Если стабилитроны VD1 и VD2 закрыты, то выходное напряжение

$$U_{\text{ВЫХ}} = -U_{\text{ВХ}} \frac{R_6}{R_4},$$

а при открывании

$$U_{\text{ВЫХ}} = \pm U_{\text{СТ}}.$$

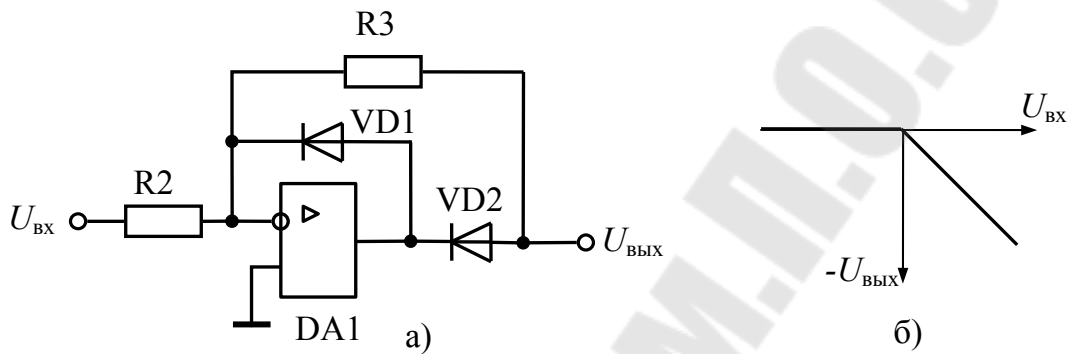


Рис. 2.1. Электрическая схема однополярного выпрямителя (а) и его передаточная характеристика (б)

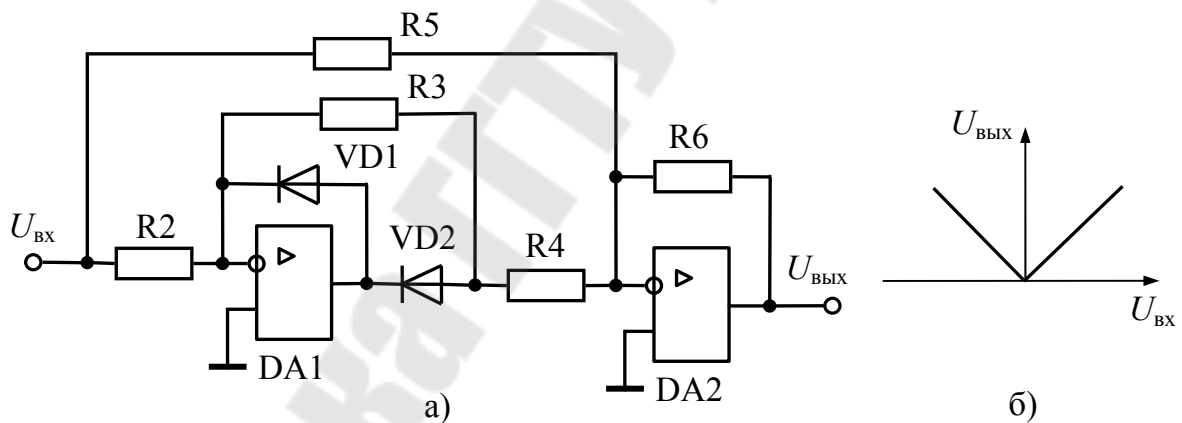


Рис. 2.2. Электрическая схема выделителя модуля (а) и его передаточная характеристика (б)

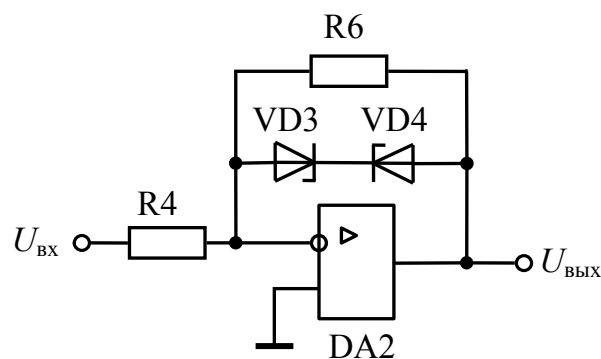


Рис. 2.3. Электрическая схема ограничителя сигнала

### 3. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЕ-ЧАСТОТА

Преобразователи напряжение-частота широко применяются в измерительных преобразователях, задатчиках частоты для силовых преобразователей и в цифровых приборах.

Одна из схем преобразователя, приведенная на рис. 3.1, состоит из интегратора на DA1 и компаратора на DA2.

Принцип действия следующий: после очередного разряда конденсатора C1 на выходе интегратора начинает возрастать по абсолютной величине напряжение до уровня, при котором произойдет переключение компаратора. На выходе DA2 появится отрицательное напряжение. При этом происходит быстрый разряд конденсатора через VD и R3. Компаратор возвращается в исходное состояние и процесс повторяется. Увеличение входного сигнала ускоряет изменение напряжения интегратора, растет частота срабатывания компаратора и в итоге возрастает выходная частота.

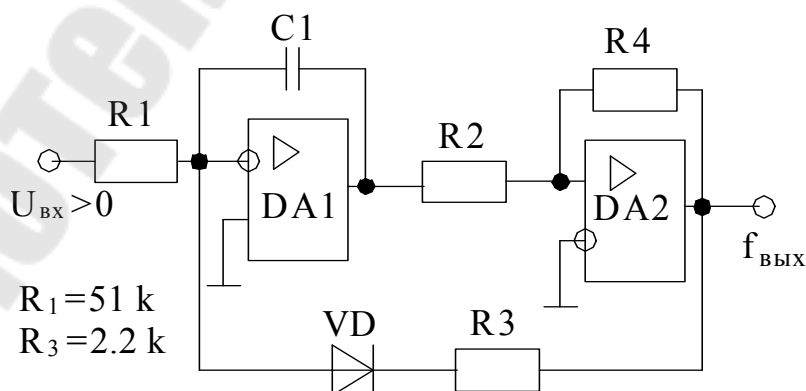


Рис. 3.1. Схема преобразователя напряжение-частота

## **Преобразователь напряжение – частота на микросхеме КР1108ПП1.**

Полупроводниковая ИС преобразователя напряжение – частота (ПНЧ) КР 1108ПП1 (А, Б) предназначена для преобразования входного напряжения в последовательность импульсов с частотой следования, пропорциональной его значению, а также для выполнения обратного преобразования частоты входного сигнала в напряжение (ПЧН). Кристалл ИС изготавливается по биполярной технологии и размещается в 14-выводном герметичном пластмассовом корпусе типа 201.14-2 с двухрядным вертикальным расположением выводов.

Уровни импульсного выходного или входного сигналов согласуются со стандартными ТТЛ ЦИС с помощью внешних элементов. Микросхема содержит все необходимые для ПНЧ и ПЧН узлы, включая встроенный ИОН.

Назначение и нумерация микросхемы: 1 — инвертирующий вход; 4 — напряжение источника питания  $U_{cc1}$ ; 5 — емкость одновибратора; 7 — частотный выход; 10 — выход КН; 11 — общий; 12 — напряжение источника питания  $U_{cc2}$ ; 13 — аналоговый выход; 14 — неинвертирующий вход; 2, 3, 6, 8, 9 — незадействованные выводы.

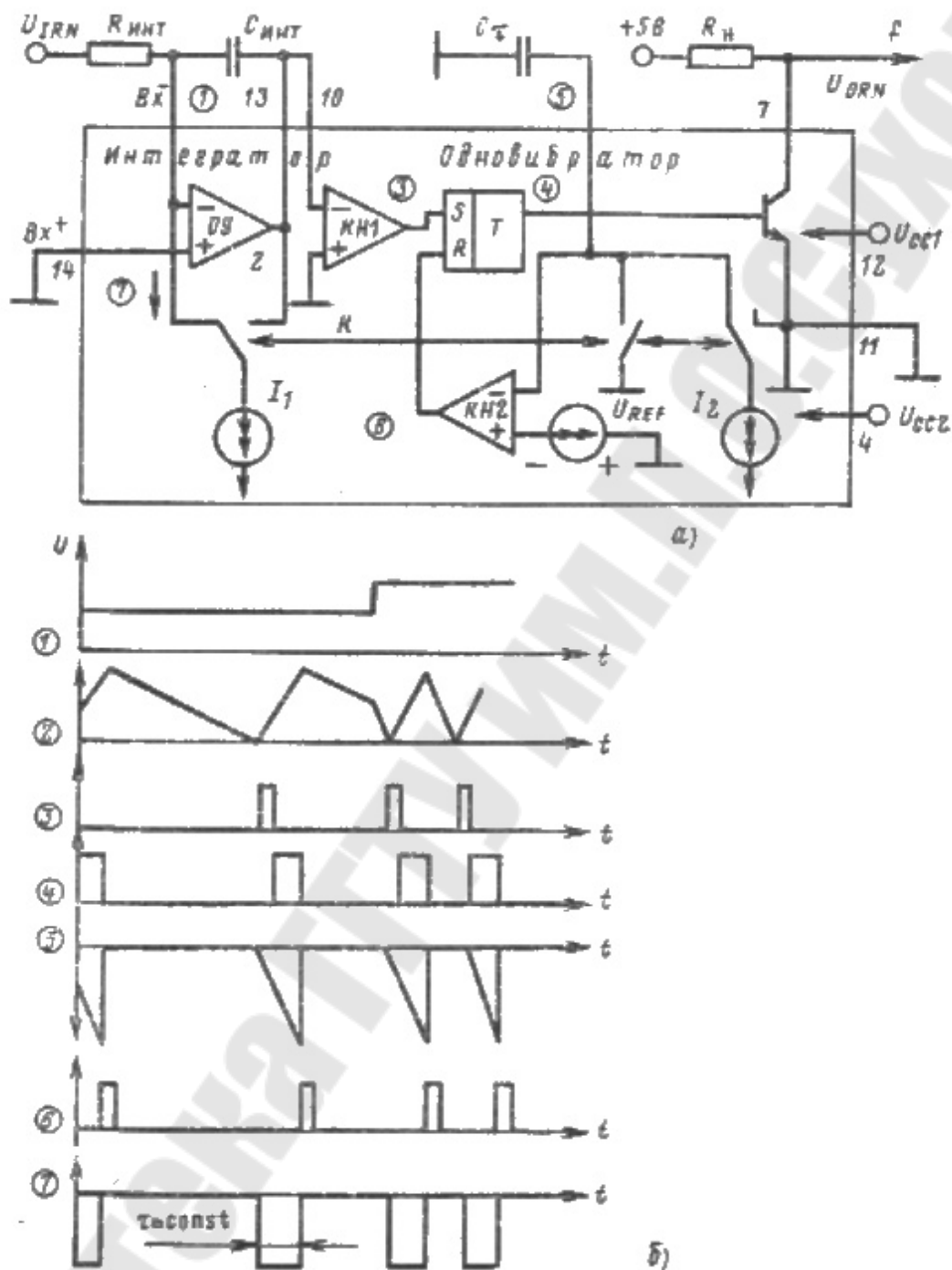


Рис. 3.2. Функциональная электрическая схема (а) и временные диаграммы работы (б) АЦП ИС КР1108ПП1 в режиме ПНЧ

Функциональная электрическая схема ИС КР1108ПП1 и диаграммы работы в режиме ПНЧ приведены на рис. 3.2.

Микросхема функционирует при  $U_{cc1} = 15 \text{ В} \pm 5\%$ ;  $U_{cc2} = -15 \text{ В} \pm 5\%$  и  $7,5 \text{ В} \leq U_{REFcc1} \leq 8,5 \text{ В}$ .

Средние значения температурных коэффициентов составляют 15 мкВ/°С и  $10^{-4}$  1/°С.

Погрешность линейности преобразования в частотном диапазоне 5 Гц — 10 кГц не превышает 0,01 % при изменении рабочих температур от —10 до +70°С.

Частоты генерируемых выходных или воспринимаемых входных импульсов ИС КР1108ПП1 устанавливаются с помощью внешних элементов и могут изменяться в диапазоне от долей герц до 500 кГц. Частота выходных импульсов в режиме ПНЧ приближенно определяется из соотношения

$$f \approx U_{IRN} \cdot I_2 / U_{REF} \cdot I_1 \cdot R_{ИИТ} \cdot C_{\tau},$$

где  $I_1$  и  $I_2$  — токи двух идентичных опорных источников, равные 1 мА и используемые для заряда интегрирующего  $C_{ИИТ}$  и времязадающего  $C_{\tau}$  конденсаторов:  $C_{\tau} = 3 \cdot 10^{-5} / f_{МАКС} - 25 \cdot 10^{-12}$ . Входное напряжение в зоне линейного преобразования может изменяться от 0 до 10 В и иметь положительную или отрицательную полярность. Его значения без учета погрешности можно рассчитать по формуле

$$U_{IRN} = f \cdot U \cdot R_{ИИТ} \cdot C_{\tau},$$

где  $U = 7 \div 8$  В.

Если преобразователь работает по входу с источником тока, то в схеме на рис. 3.2 исключается резистор  $R_{ИИТ}$ . Тогда функция преобразования представляется в виде

$$f = \frac{I_{IRN}}{U \cdot C_{\tau}},$$

Рекомендуемые значения номиналов внешних элементов микросхемы приведены в табл. 3.1.



Таблица 3.1.

Рекомендуемые значения внешних элементов, используемых совместно с ИС КР1108ПП1

Режим	$f_{МАКС}$ , кГц	Внешний элемент	
		Наименование	Номинал
ПНЧ	10	$C_T$	3300 пФ
	100		300 пФ
	500		30 пФ
ПЧН	10, 100, 500	$R_{ИИТ}$	40 кОм
	10, 100, 500		$C_{ИИТ}$
ПНЧ	10	$C_{ИИТ}$	22 нФ
ПЧН	100		10 нФ
	500		5,1 нФ

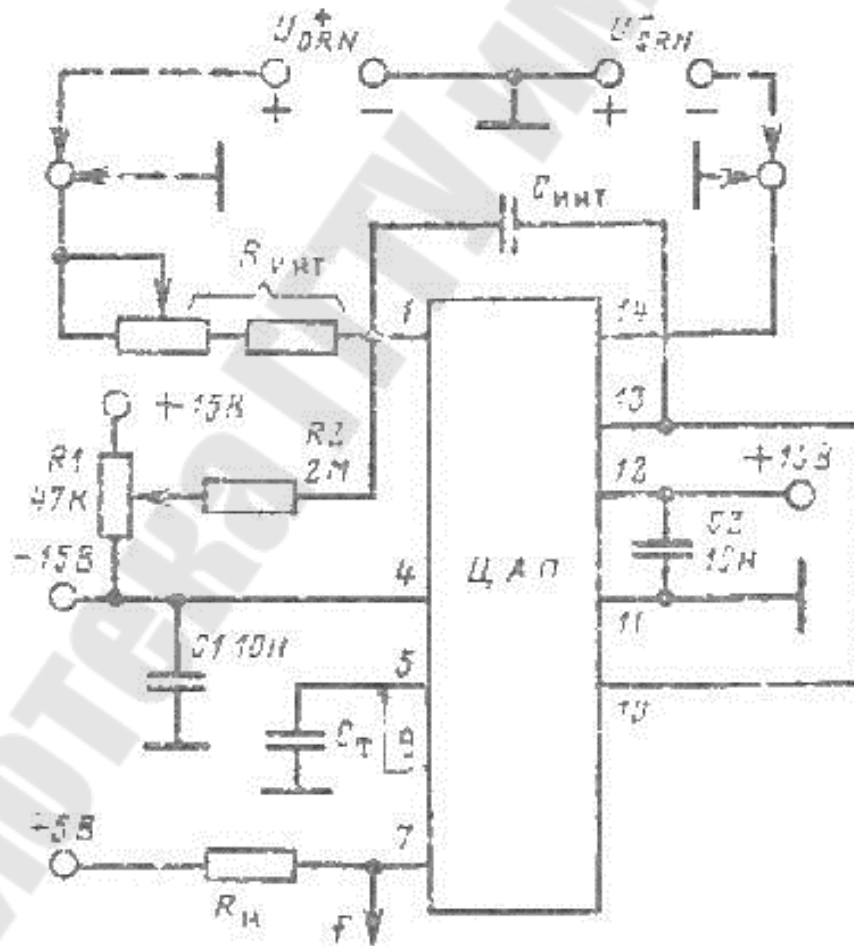


Рис. 3.3. Основная схема включения ИС КР1108ПП1 в режиме ПНЧ (штриховыми линиями показаны варианты подключения источников входного сигнала положительной и отрицательной полярностей)

#### 4. ЦИФРО-АНАЛОГОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП) вырабатывают напряжение или ток, функционально связанные с управляющим кодом. Причем функциональная связь в большинстве случаев линейна. Применяются цифро-аналоговые преобразователи в качестве узлов обратной связи аналого-цифровых преобразователей и для формирования выходных аналоговых сигналов цифровых измерительных и вычислительных устройств.

Для преобразования двоичного кода в аналоговый сигнал обычно формируют токи, пропорциональные весам разрядов кода, и затем суммируют те из токов, которые соответствуют ненулевым (единичным) разрядам входного кода. В § 8.2 мы уже рассмотрели простейший вариант ЦАП, в котором указанные токи образовывались за счет подключения к источнику опорного напряжения резисторов, сопротивления которых соотносятся друг с другом как различные степени числа 2.

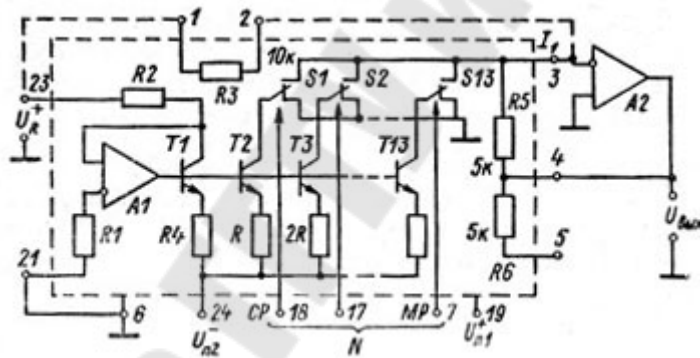


Рис. 4.1. Упрощенная схема цифро-аналогового преобразователя К594ПА1.

**ЦАП с биполярными транзисторными ключами.** На рис. 4.1 показана упрощенная схема двенадцатиразрядного интегрального ЦАП типа К594ПА1. Встроенный операционный усилитель А1 здесь используется в цепи формирования двоично взвешенных токов, пропорциональных опорному напряжению  $U_R$ . Коллекторные токи транзисторов Т2, Т3, ... пропорциональны проводимостям резисторов, включенных в их эмиттеры. В транзисторах, соответствующих старшим разрядам преобразователя, эти проводимости соотносятся по двоичному закону. В младших разрядах нужное соотношение токов поддерживается за счет использования в эмиттерных цепях транзисторов резисторной сетки вида  $R-2R$ . Схему такой сетки мы рассмотрим

ниже. Переключатели S1—S13 управляются входным кодом N ЦАП (выводы 7—18) и пропускают на выход (вывод 3) токи, соответствующие ненулевым разрядам этого кода. На вывод 18 подается сигнал старшего разряда (CP) кода, а на вывод 7 — сигнал младшего разряда (MP) кода. Переключатели на рис. 4.1 для упрощения схемы показаны условно, в микросхеме они выполнены на биполярных транзисторах. Выходной ток  $I_1$  АЦП преобразуется в напряжение  $U_{\text{ВЫХ}}$  с помощью операционного усилителя А2. Резистор обратной связи этого усилителя (R5) входит в состав микросхемы. Все резисторы микросхемы изготавливаются одновременно по одной и той же технологии, и поэтому их относительные погрешности оказываются практически одинаковыми. А поскольку выходное напряжение ЦАП в конечном счете зависит от отношения сопротивлений, то погрешности ЦАП будут меньше, чем погрешности входящих в него сопротивлений.

При  $U_R=10$  В номинальный выходной ток преобразователя К594ПА1 равен 2 мА. Сопротивление резистора  $R_5$  составляет примерно 5 кОм, поэтому при изменении управляющего кода от нуля до максимального значения выходное напряжение изменяется от нуля до значения, примерно равного 10 В. Если требуется получить знакопеременное выходное напряжение, изменяющееся, в диапазоне  $\pm 10$  В, то в цепь обратной связи ОУ А2 включаются последовательно резисторы  $R_5$ ,  $R_6$  и, кроме того, инвертирующий вход ОУ соединяется через резистор  $R_3$  с источником опорного напряжения  $U_R$ . Соответствующие соединения показаны на рис. 4.1 штриховыми линиями. В этом случае при нуле управляющего кода мы будем иметь  $U_{\text{ВЫХ}} = -10$  В, а при максимальном коде  $U_{\text{ВЫХ}} = 10$  В.

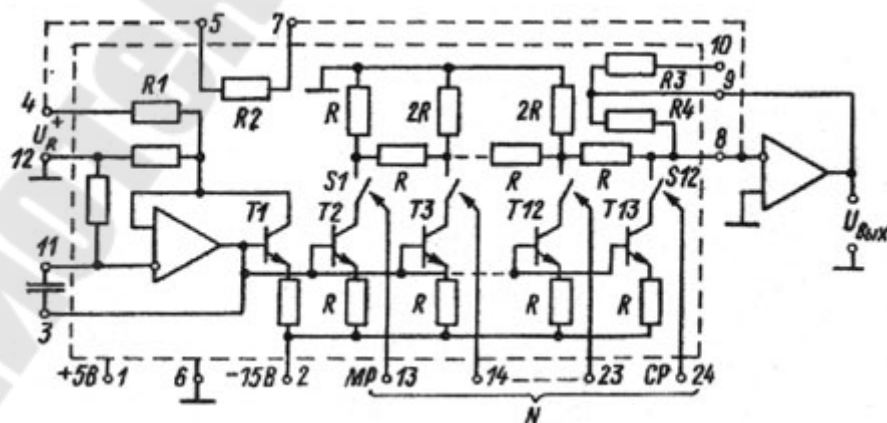


Рис. 4.2. Упрощенная схема ЦАП К1108ПА1

Упрощенная схема еще одного двенадцатиразрядного ЦАП (типа К1108ПА1) показана на рис. 4.2. В этом ЦАП токи, соответствующие разрядам входного хода, равны между собой. Но эти токи через переключатели S1—S12 (показаны на рис. 4.2 упрощенно) подаются в узлы резисторной сетки R—2R. Коллекторный ток транзистора T13 подается непосредственно на выход ЦАП через переключатель S12, управляемый старшим разрядом кода. Ток следующего, более младшего разряда с коллектора транзистора T12 поступает на узел резисторной сетки, имеющий сопротивление относительно общего провода, равное R/2. Учитывая, что этот узел соединен с выходом ЦАП резистором R, приходим к выводу, что этот разряд поставляет на выход ток, в два раза меньший, чем старший разряд.

Если рассмотреть вклад других разрядов ЦАП в выходной ток, то можно убедиться, что хотя сопротивления узлов сетки не равны между собой, тем не менее обеспечиваются одинаковые (равные двум) коэффициенты деления тока при переходе от узла к узлу. В данном ЦАП имеется возможность получать двухполярный входной сигнал путем исходного смещения выходного напряжения от источника  $U_R$  через встроенный резистор R2 (рис. 4.2). Номинальный выходной ток ЦАП К1108ПА1 равен 5 мА, номинальное выходное напряжение примерно равно  $U_R$ . Частотная коррекция встроенного ОУ в этом ЦАП производится с помощью внешнего конденсатора емкостью 10—100 пф, включаемого между выходом (вывод 3) и инвертирующим входом (вывод 11) ОУ.

Для регулировки в небольших пределах чувствительности ЦАП можно включать переменный резистор последовательно с резистором R<sub>1</sub>. Однако увеличивать сопротивление этого резистора сверх 50—100 Ом нецелесообразно, так как иначе может заметно возрасти температурная погрешность ЦАП из-за различия температурных коэффициентов внешнего и внутренних резисторов. Для регулировки нуля ЦАП можно включать переменный резистор последовательно с резистором R<sub>2</sub> или использовать цепь регулировки нуля внешнего выходного операционного усилителя.

## 5. ИМПУЛЬСНЫЕ МОДУЛЯТОРЫ

Импульсные модуляторы, к которым относятся: широтно-импульсный, фазоимпульсный, частотно-импульсный и другие, применяются для повышения помехозащищенности при преобразовании

и передаче информации, в системах управления силовыми преобразователями и в измерительных устройствах.

Схема простейшего широтно-импульсного модулятора (ШИМ), представленная на рис. 5.1, выполнена на базе схемы мультивибратора (при  $R_1 = \infty$ ). ОУ схвачен положительной обратной связью через резистивный делитель  $R_3, R_4$ . Цепь отрицательной обратной связью содержит пассивный интегратор  $R_2, C_1$ . Переключение ОУ на выходе с положительного уровня ограничения напряжения  $+U_{огр}$  на отрицательный уровень  $-U_{огр}$  и обратно происходит когда напряжение на инвертирующем входе достигает величины напряжения на неинвертирующем.

При равенстве  $+U_{огр} = -U_{огр}$  период колебаний определяется выражением

$$T = 2 \cdot C_1 \cdot R_2 \cdot \ln(1 + 2 \cdot R_3 / R_4),$$

а скважность импульсов  $q = 2$

При включении входа ( $R_1 \neq \infty$ ) установившееся напряжение на конденсаторе интегратора при  $R_1 = R_2$  определяется выражением

$$U_{\infty} = (U_{\text{ВЫХ}} + U_{\text{ВХ}}) / 2$$

Это напряжение можно менять за счет  $U_{\text{ВХ}}$ , что приведет к изменению времени, за которое напряжение на инвертирующем входе достигает уровня на неинвертирующем.

Фазоимпульсный модулятор постоянного тока, блок-схема которого приведена на рис. 5.2, состоит из генератора опорного напряжения ГОН и компаратора на ДА. В качестве опорного может применяться синусоидальное или линейное, чаще пилообразное, напряжение. Во втором случае модулятор имеет линейную регулировочную характеристику. На вход ГОН подается сигнал, относительно которого осуществляется модуляция. В промышленных установках, в зависимости от назначения устройства, указанным сигналом является напряжение сети (например, в силовых преобразователях) или специально сформированное (в измерительных устройствах). В фазовых системах управления и в измерительных устройствах уровень сигнала определяется фазой входного синусоидального напряжения относительно опорного такой же формы. В этом случае фазоимпульсный модулятор может иметь схему, представленную на рис. 5.3. Усилите-

ли DA1 и DA2 выполняют функцию формирователей прямоугольного напряжения, а триггер Т - компаратора.

В качестве частотно-импульсных модуляторов постоянного тока обычно используют преобразователи напряжение-частота, которые изучаются в отдельной работе.

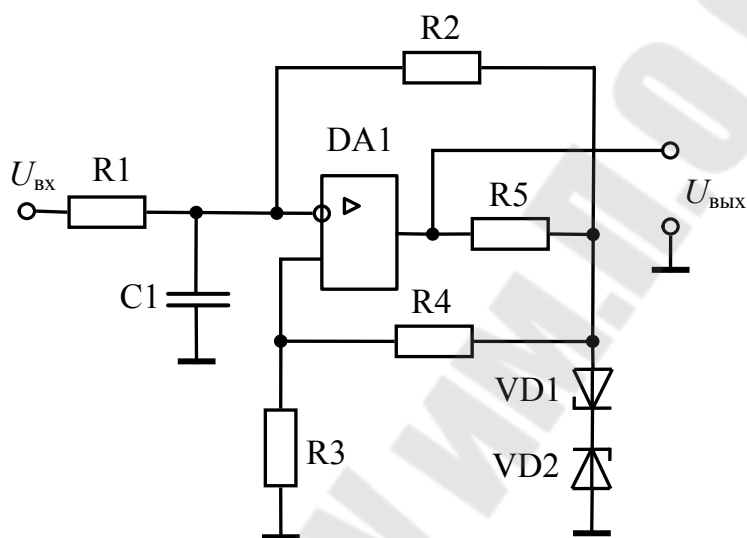


Рис. 5.1. Электрическая схема широтно-импульсного модулятора

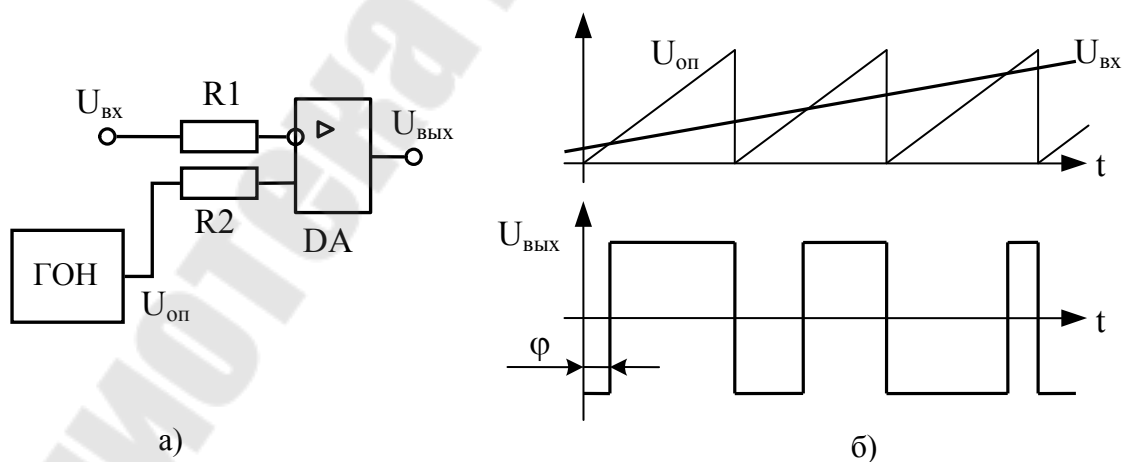


Рис. 5.2. Схема (а) и временные диаграммы (б) фазоимпульсного модулятора постоянного тока

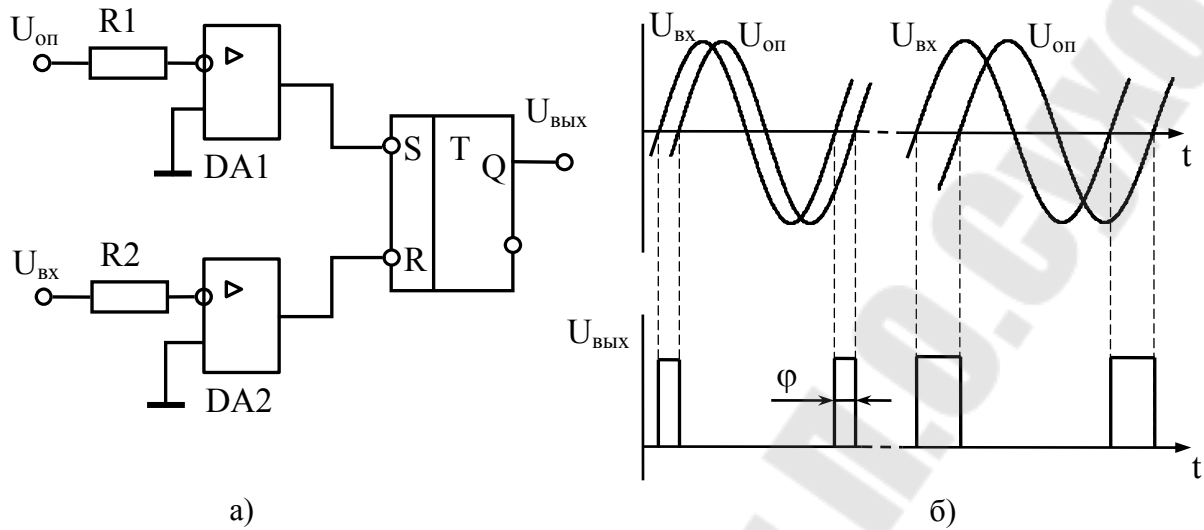


Рис. 5.3. Схема (а) и временные диаграммы (б) фазоимпульсного модулятора переменного тока

## 6. МОДУЛЯТОР-ДЕМОДУЛЯТОР

Устройство модулятор-демодулятор (М-ДМ) применяется для гальванического разделения цепей при передаче сигнала постоянного тока и состоит из трех узлов:

- импульсный модулятор постоянного тока;
- демодулятор;
- автономный генератор.

На рис. 6.1 представлена схема двухполупериодного импульсного модулятора. Транзисторы VT1.1, VT1.2 и VT2.1, VT2.2 выполняют функцию управляемых ключей и работают в противофазе. Управлением ими осуществляется модулирующим опорным сигналом  $U_{оп}$ , который представляет собой переменное напряжение прямоугольной формы. Встречно-последовательное включение транзисторов обеспечивает взаимную компенсацию остаточных напряжений. При работе ключей в противофазе встречное включение первичных полуобмоток  $W_1$  выходного трансформатора Т1 позволяет получить в его сердечнике переменный магнитный поток при постоянном входном напряжении модулятора  $U_{вх.М}$ . ЭДС вторичной обмотки определяется

$$E_2 = k_T (U_{вх.М} - \Delta U_1) \text{sign} U_{оп},$$

где  $k_T = W_1/W_2$  - коэффициент трансформации T1;

$\Delta U_1$  - падение напряжения на транзисторном ключе и первичной полуобмотке;

$\text{sign}(U_{\text{оп}})$  – знак опорного напряжения.

Если поменять функциональный вход и выход модулятора, то получим демодулятор, схема которого представлена на рис. 6.2. Демодулятор преобразует входной сигнал переменного тока в сигнал постоянного тока. Работая совместно с модулятором они имеют общее опорное напряжение. Для демодулятора, с учетом падения напряжения  $\Delta U_2$  на вторичной полуобмотке и на ключе, можно записать

$$U_{\text{вых.ДМ}} = E_2 \text{sign}(U_{\text{оп}}) - \Delta U_2.$$

В целом, для устройства М-ДМ, когда гальваническую развязку цепей выполняет один трансформатор, выходное напряжение будет определяться выражением

$$\begin{aligned} U_{\text{вых.ДМ}} &= [k_T (U_{\text{вх.М}} - \Delta U_1) \text{sign}(U_{\text{оп}})] \text{sign}(U_{\text{оп}}) - \Delta U_2 = \\ &= k_T U_{\text{вх.М}} - (k_T \Delta U_1 + \Delta U_2). \end{aligned}$$

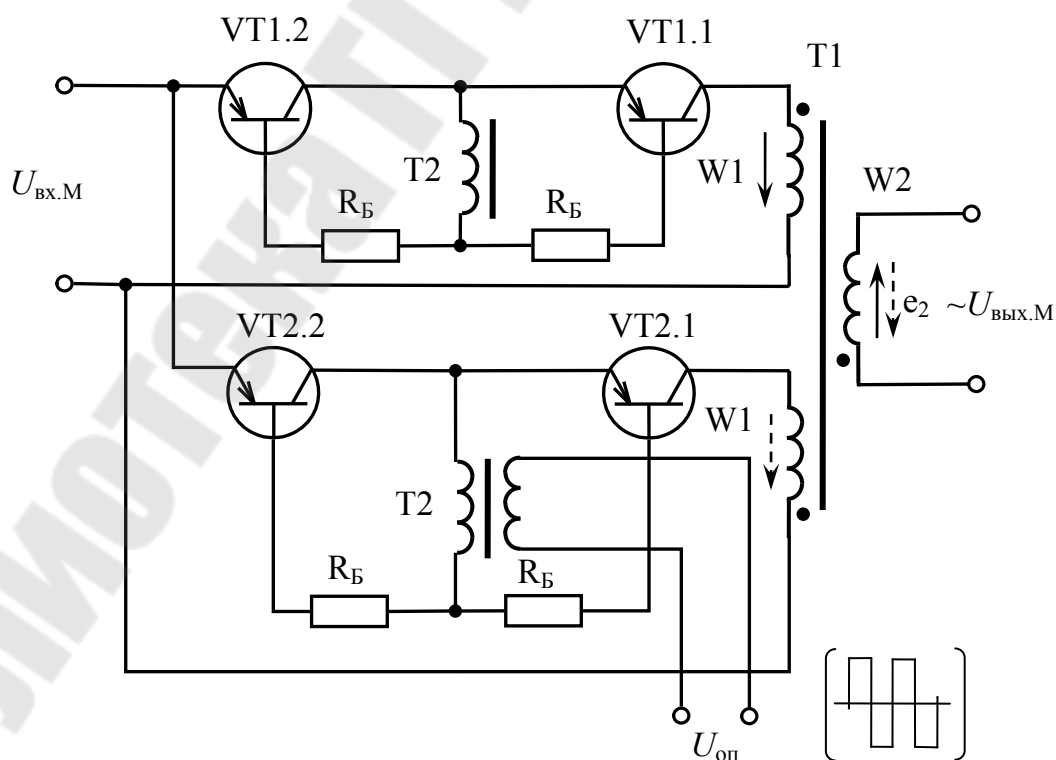


Рис. 6.1. Электрическая схема импульсного модулятора



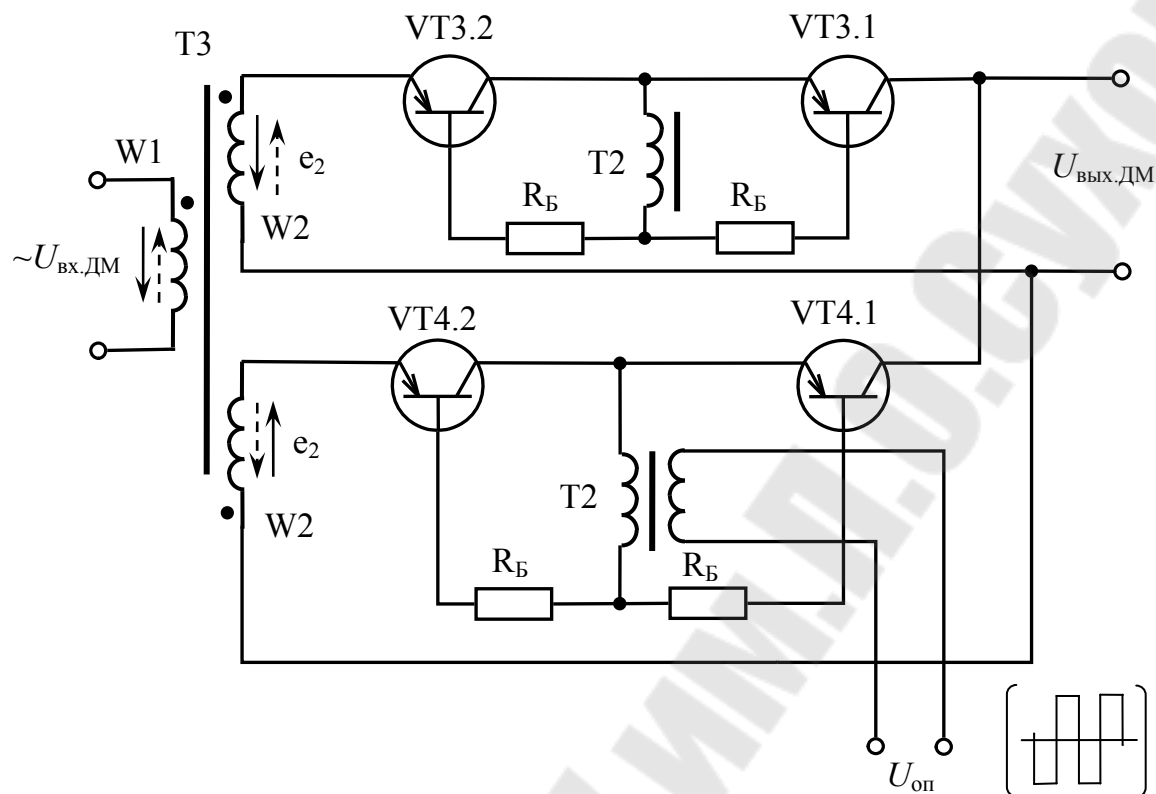
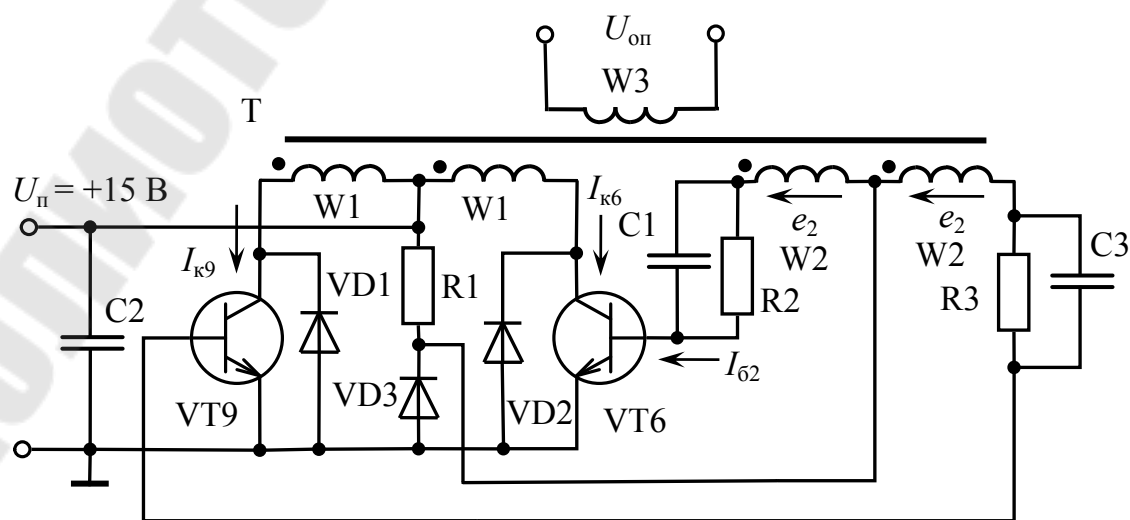


Рис. 6.2. Электрическая схема демодулятора

Схема, приведенная на рис. 6.2, в зависимости от назначения, формы и фаз входного и опорного сигналов, может выполнять функции фазочувствительного выпрямителя или фазового детектора. Их назначение заключается в преобразовании входного напряжения переменного тока  $U_{вх.ДМ}$  в выходное напряжение постоянного тока, полярность и амплитуда которого зависит от фазы  $U_{вх.ДМ}$  относительно  $U_{оп}$ .

На рис. 6.3 представлена наиболее распространенная схема ав-



33  
Рис. 6.3. Электрическая схема автогенератора с насыщающимся трансформатором

тогенератора с насыщающимся трансформатором (схема Ройера). В М-ДМ генератор служит для получения опорного напряжения, которое снимается со вторичной обмотки  $W_3$  трансформатора.

Транзисторы VT6, VT9 (рис. 6.3) выполняют роль ключей, подключающих в противофазе рабочие полуобмотки  $W_1$  к источнику питания  $U_{\text{п}}$  для создания в сердечнике трансформатора  $T$  переменного магнитного потока. Диоды VD1 и VD2 служат для защиты транзисторов от перенапряжения, создавая цепь для реактивной составляющей тока, который замыкается через конденсатор C2.

Рассмотрим принцип действия автогенератора. Пусть в какой-то момент времени VT6 открыт и насыщен, а VT9 закрыт. Коллекторный ток VT6 протекает по  $W_1$  от начала к концу. ЭДС в  $W_2$  направлены как показано на рис. 6.3. При этом VT6 поддерживается в открытом состоянии, а VT9 - в закрытом.

При насыщении сердечника  $E_2$  резко уменьшается, ток намагничивания возрастает. Это приводит к выводу VT6 из насыщения, уменьшению напряжения на  $W_1$ , что в свою очередь уменьшает  $I_{\text{к6}}$  и изменяет полярность  $E_2$ . Таким образом, происходит регенеративный процесс, приводящий к полному запирающему VT6, к открыванию VT9, и смене полярности напряжения на обмотках трансформатора.

Резисторы R2 и R3, включенные в базовые цепи VT6 и VT9, ограничивают и выравнивают токи, предохраняя переходы эмиттер-база от пробоя. Конденсаторы C1 и C3, увеличивая базовые токи при переключении, ускоряют процессы регенерации и уменьшают динамические потери мощности в транзисторах. Резистор R1, обеспечивая несимметрию схемы, служит для улучшения запуска генератора при включении питания.

## 7. УЗЛЫ ИНДИКАЦИИ

Для визуального определения состояния логических устройств, снятия цифровой информации со счетчиков и многих других целей широко используют световую индикацию. Согласование между выходами микроэлектронных устройств и элементами индикации по уровням сигналов и кодам осуществляют с широким использованием цифровых микросхем. В качестве индикаторов в микроэлектронной аппаратуре применяют: миниатюрные лампы накаливания и накальные знаковосинтезирующие индикаторы; газоразрядные индикаторные лампы; вакуумные люминесцентные индикаторы; светодиодные индикаторы; жидкокристаллические индикаторы.

Миниатюрные лампы накаливания, например НСМ 6,3 — 20, включаются непосредственно на выходы микросхем. Пример включения лампы накаливания на выход микросхемы приведен на рис. 7.1,а.

Накальные знаковосинтезирующие индикаторы (ИВ-9, 10, 13, 16, 19, 20 и др.) работают при напряжении 3 — 5 В, что обуславливает удобство их согласования с микроэлектронными устройствами. Однако для управления сегментами (нитьями накаливания) при синтезе цифр требуется специальная схема управления. При выборе микросхем для этой цели следует учитывать сравнительно большой ток потребления рассматриваемых индикаторов (17 — 22 мА на знак) и то, что нить накала в холодном состоянии имеет сопротивление во много раз меньше, чем в рабочем. Поэтому накальные индикаторы включают на выход микросхем через ограничительные резисторы.

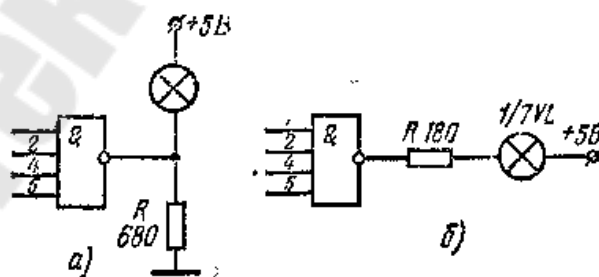


Рис. 7.1. Включение лампы накаливания и накальных индикаторов на выход микросхемы К155ЛА7: а — включение лампы накаливания; б — включение одного сегмента индикатора ИВ-9

Схема включения одного сегмента индикатора ИВ-9 приведена на рис. 7.1,б. При управлении семисегментным индикатором от счетчика необходим преобразователь кодов. Такой преобразователя будет рассмотрен далее.

Газоразрядные индикаторные лампы (ИН-1, 2, 4, 8, 14, 16 и др.) имеют повышенное напряжение питания (до 220 В), поэтому при работе с микросхемами они требуют специальных согласующих устройств уровня сигналов.

Пример счетчика с устройством индикации на двуханодной цифровой индикаторной лампе ИН-4 приведен на рис. 7.2,а. Устройство включает двоично-десятичный счетчик на триггерах 217ТК1 дешифратор на микросхемах 155ЛА1 и 155ЛА3, устройство согласования высоковольтного цифрового индикатора с низковольтными микросхемами, выполненное на транзисторных сборках — микросхемах К166. Цифровой индикатор питается от схемы удвоения напряжения, что исключает превышение предельно допустимых напряжений транзисторов (300 В) и в то же время обеспечивает нормальную работу ИН-4.

В исходном состоянии один из транзисторов  $T_1$ ,  $T_2$  закрыт, а другой — открыт (в зависимости от состояния триггера  $T_{21}$ ). Через открытый транзистор, резистор  $R_2$  и диод заряжается конденсатор  $C$ . В момент поступления на управляющий вход отрицательного импульса открытый транзистор закрывается и к одному из двух анодов индикатора через резистор  $R_1$  прикладывается сумма напряжения питания и напряжения, накопленного на конденсаторе. При любой комбинации состояний триггеров  $T_{22}$  —  $T_{24}$  только на одном выходе дешифратора будет потенциал, равный нулю, что обеспечит подачу через один из транзисторов  $T_3$  —  $T_7$  нулевого потенциала на два катода. Однако светиться будет только тот из них, который связан с анодом, находящимся под напряжением (в зависимости от состояния  $T_{21}$ ). Таким образом, на индикаторе высвечивается цифра, соответствующая числу импульсов, записанному в счетчике. Время свечения индикатора определяется емкостью конденсатора  $C$  и при указанных на схеме параметрах элементов составляет 10 мс. Для устранения мелькания цифр частоту управляющих импульсов берут равной 50 Гц или выше. Спротивления резисторов  $R_i$  и  $R_2$  выбирают таким образом, чтобы ток через транзисторы не превышал допустимого. Резисторы  $R_3$  устраняют подсветку неработающей группы катодов, обеспечивая совместно с кон-

денсатором неработающего анода снижение потенциала анода во время поступления высокого напряжения на другой анод.

Счетчик может согласоваться с газоразрядным индикатором с помощью преобразователя двоично-десятичного кода в десятичный, выполненного в виде микросхемы К155ИД1. На выходе микросхемы включены транзисторы с открытыми коллекторами, имеющие рабочее напряжение более 60 В. Пример управления газоразрядным индикатором от счетчика с использованием преобразователя К155ИД1 приведен на рис. 7.2,б. Выходы счетчика подключаются к четырем входам преобразователя, десять его выходов непосредственно подсоединяются к катодам лампы. Анод индикатора через ограничительный резистор 22 – 91 кОм подключается к источнику постоянного или пульсирующего напряжения. Подбором резистора устанавливают номинальный анодный ток.

Вакуумные люминесцентные знаковосинтезирующие индикаторы (ИВ-3 6, 12, 17, 22 и др.) работают при напряжениях 10 – 30 В, что также требует специальных мер согласования с микроэлектронными устройствами.

Пример управления семисегментным люминесцентным индикатором показан на рис. 7.3,а. В этой схеме диоды  $D_1$  —  $D_{12}$  представляют собой преобразователь десятичного кода в код, необходимый для формирования цифр. Другой вариант схемы управления вакуумным люминесцентным индикатором с помощью низковольтного преобразователя кодов К514ИД2 приведен на рис. 7.3,б. Уровни 0 на выходе микросхемы закрывают транзисторы, что вызывает свечение соответствующих сегментов индикатора.

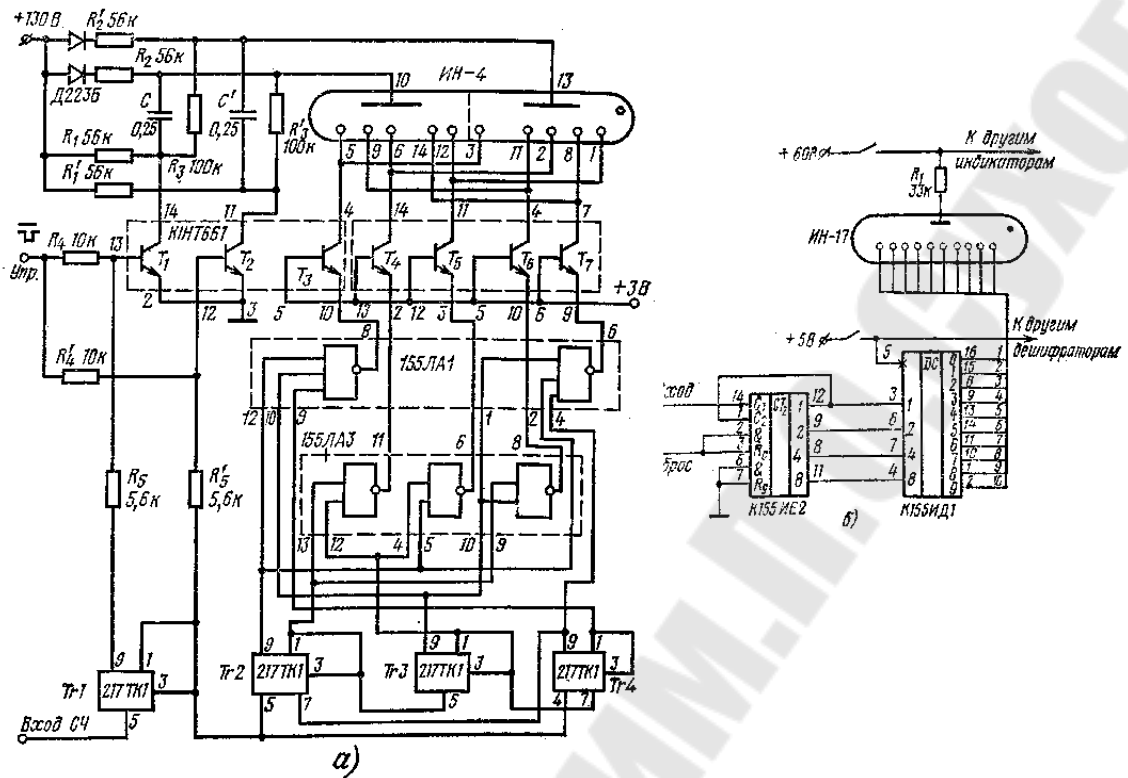


Рис 7.2. Устройства управления цифровыми индикаторными лампами: а — с использованием дешифратора на микросхемах и высоковольтных транзисторов; б — с применением микросхемы К155ИД1

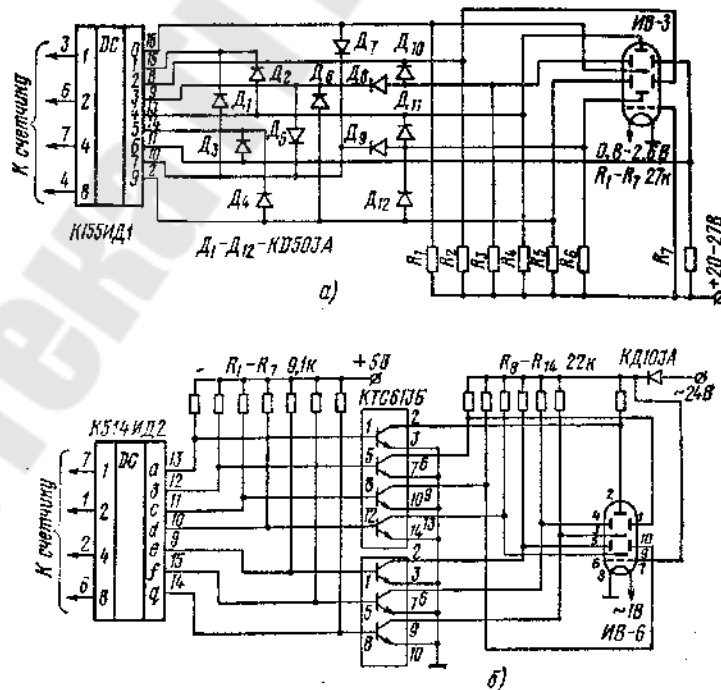


Рис. 7.3. Устройства управления семисегментными вакуумными люминесцентными индикаторами: а — с использованием диодного дешифратора; б — с применением микросхемы К514ИД2

Светодиодные индикаторы применяют в виде отдельных диодов (АЛ 101, 102, 301, 306 и др.) и семисегментных индикаторов (АЛ104А, 105, 113, 305 и др.). Эти индикаторы имеют низкие напряжения питания 1,5 – 3 В. Устройства их управления подобны соответствующим устройствам для накаливаемых индикаторов. Схемы включения отдельных диодов на выходы микросхем показаны на рис. 7.4,а, б.

Для управления светодиодными индикаторами может быть использована микросхема К514ИД2 (для индикаторов с общим анодом) и К514ИД1 (для индикаторов с общим катодом). Эти же микросхемы могут применяться как преобразователи кодов для вакуумных накаливаемых индикаторов. Схема управления светодиодным индикатором приведена на рис. 7.4,в. Подбором резисторов  $R_1 - R_7$  можно добиться необходимой яркости свечения индикатора.

Жидкокристаллические индикаторы (1.5ЖКИЦ18; 5.5ЖКИЛ12; 5.5ЖКИУ18 и т. п.) также имеют низковольтное питание (3 В и более). Они характеризуются очень низким потреблением энергии и используются обычно с автономными источниками питания. Поэтому для управления этими индикаторами обычно используют микросхемы на КМДП-структурах.

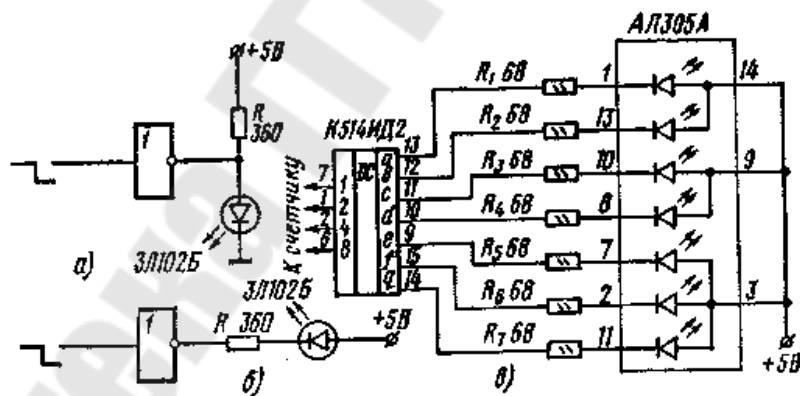


Рис. 7.4. Устройства управления светоизлучающими диодами: а, б – с включением светодиода соответственно от высокого и низкого уровней напряжения с выхода микросхемы К.155ЛА7; в — устройство управления семисегментным индикатором с помощью микросхемы К514ИД2.

Люминесцентный индикатор ИВ-6 имеет конструкцию, аналогичную рассмотренным выше цифровым индикаторам. Напряжение

накала 1,2 В, ток накала 50 мА, на сегменты анода и сетку может быть подано постоянное напряжение до 25 В.

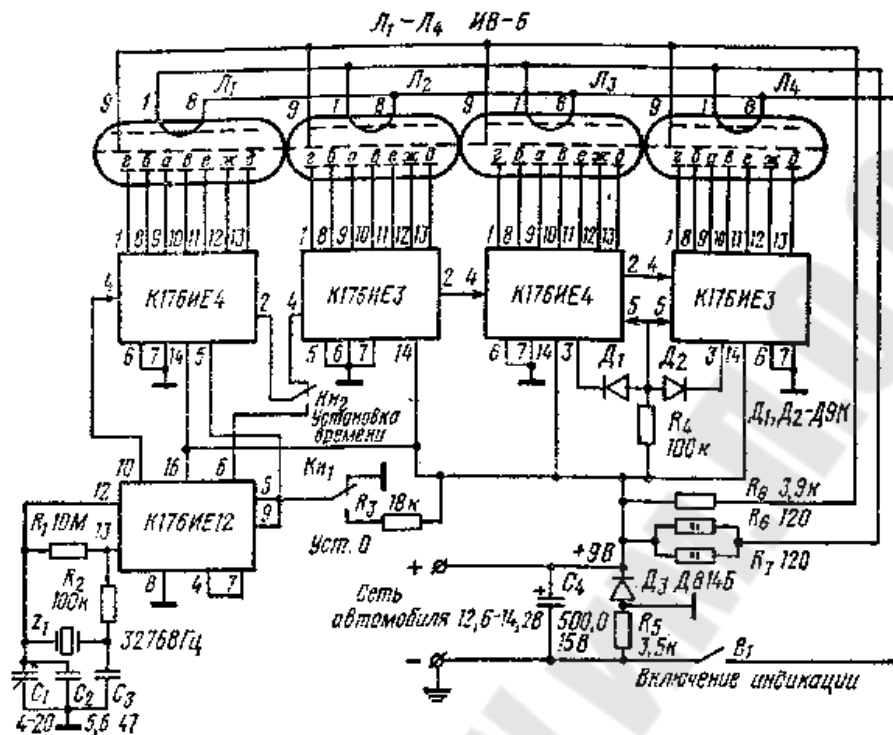


Рис. 7.16. Принципиальная схема часов на цифровых индикаторах ИВ-6

В данном устройстве питание нитей катодов ламп осуществляется от постоянного напряжения сети автомобиля. Напряжение 1,2 В получается с помощью гасящего резистора сопротивлением 60 Ом. Сетки ламп питаются через резистор  $R_8$ . Напряжение 9 В для питания микросхем создается стабилизатором напряжения Дз, R5, причем общий провод микросхем соединяется с катодом стабилитрона.



## 8. БЛОКИ ПИТАНИЯ

Устройства, собранные на полупроводниковых приборах (транзисторы, триисторы, микросхемы) и электромагнитных реле, питаются от источников постоянного напряжения. Как правило, отклонения напряжения от номинального значения не должны выходить за границы определенных допусков (например, для микросхем серии К155 питающее напряжение должно составлять  $5\text{В} \pm 5\%$ ). Поэтому источник питания устройств кроме трансформатора и выпрямителя должен содержать еще и стабилизатор напряжения.

Основой стабилизатора напряжения чаще всего служит кремниевый стабилитрон, включенный в обратном направлении (катодом к положительному полюсу источника питания, анодом - к отрицательному). При таком включении напряжение на стабилитроне (напряжение стабилизации  $U_{\text{ст}}$ ) мало зависит от тока через стабилитрон (тока стабилизации  $I_{\text{ст}}$ ). Эти две величины и являются основными параметрами стабилитронов. Так, для стабилитрона КС156А напряжение стабилизации (номинальное) составляет 5,6 В (при номинальном токе стабилизации 10 мА), а ток стабилизации может быть в пределах 3...50 мА. Если нагрузка потребляет больший ток, применяют усилитель тока. В простейшем случае это может быть транзистор, включенный по схеме с общим коллектором (эмиттерный повторитель).

Схема такого источника питания показана на рис. 8.1. Напряжение сети, пониженное трансформатором  $T1$  до 8...10 В, выпрямляется диодным мостом  $VD1$  и подается на стабилизатор напряжения, в котором транзистор  $VT1$  включен эмиттерным повторителем. Напряжение на выходе стабилизатора на 0,5...1 В меньше напряжения на стабилитроне  $VD2$ .

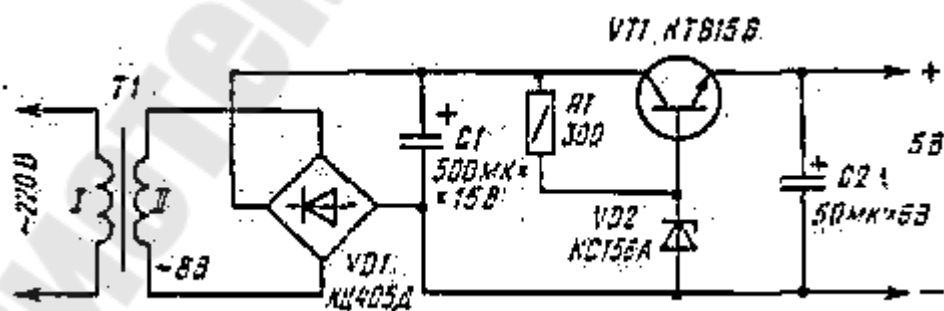


Рис. 8.1. Схема стабилизированного источника питания

По аналогичной схеме можно строить стабилизаторы и на другие значения питающих напряжений, следует лишь для каждого слу-

чая подобрать соответствующие стабилитрон и сопротивление резистора  $R1$ . Максимальный выходной ток стабилизатора  $I_{\text{вых.max}}$  зависит от используемого стабилитрона и статического коэффициента передачи тока транзистора  $h_{21э}$  и может быть найден по формуле

$$I_{\text{вых.max}} = h_{21э} I_{\text{ст.max}}$$

Стабилизатор напряжения, собранный по схеме на рис. 8.1, обладает сравнительно невысокими эксплуатационными характеристиками, но тем не менее может успешно применяться для питания многих радиотехнических устройств.

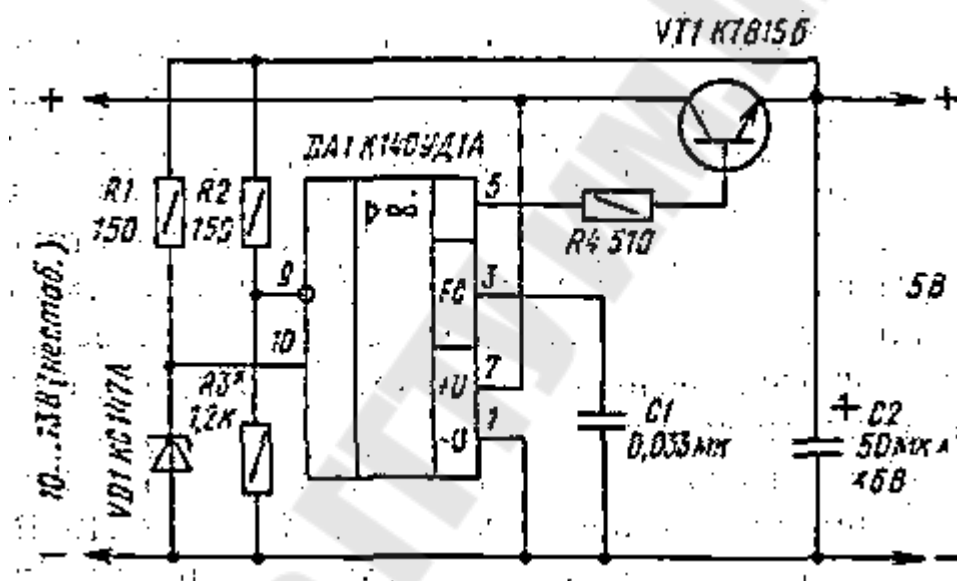


Рис. 8.2. Схема стабилизатора напряжения с использованием операционного усилителя

На рис. 8.2 приведена схема еще одного стабилизатора напряжения, но с использованием ОУ. Такие усилители имеют очень большой коэффициент усиления (несколько сотен и даже тысяч) и два входа - инвертирующий (на графическом изображении ОУ обозначают кружком) и неинвертирующий. Сигналы, поданные на эти входы, суммируются с учетом их знака и многократно усиливаются. Характерная особенность стабилизатора напряжения с применением ОУ заключается в том, что в нем выходное напряжение сравнивается с образцовым (опорным) и таким образом поддерживается на заданном уровне,

Рассмотрим по схеме более подробно работу такого стабилизатора напряжения. Выходное напряжение с делителя  $R2R3$  подается на

инвертирующий вход ОУ, а образцовое напряжение, снимаемое со стабилитрона  $VD1$ , - на неинвертирующий вход. При небольшом изменении напряжения на выходе стабилизатора на инвертирующем входе (вывод 9) появляется сигнал рассогласования, который многократно усиливается и изменяет напряжение на регулирующем транзисторе  $VT1$  таким образом, что напряжение на выходе стабилизатора практически не изменяется. Этот процесс длится всего несколько микросекунд.

Напряжение на выходе стабилизатора можно определить по упрощенной формуле

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{ст}} (R_2 + R_3) / R_3.$$

Изменяя в небольших пределах сопротивления резисторов  $R2$  и  $R3$ , можно изменять выходное напряжение стабилизатора. При этом, как видно из формулы, выходное напряжение не может быть меньше напряжения стабилизации стабилитрона.

Резистор  $R4$  ограничивает выходной ток ОУ, конденсатор  $C1$  предотвращает возбуждение устройства. Коэффициент стабилизации этого источника напряжения составляет 200...400, а выходное сопротивление - несколько миллиом. Максимальный выходной ток равен произведению предельно допустимого выходного тока ОУ на коэффициент  $h_{21э}$  транзистора  $VT1$  и для данной схемы составляет 500...600 мА. Если же для питания устройства требуется больший ток, чем может обеспечить один регулирующий транзистор, следует применять составной транзистор (например, типов КТ972, КТ825, КТ827). При отсутствии составного транзистора в одном корпусе его можно выполнить из двух обычных транзисторов одной или разных структур.

На рис. 8.3,а показана схема составного транзистора, образованного транзисторами одной структуры (n-p-n), на рис. 83, б - образованного транзисторами разных структур ( $VT1$  - p-n-p,  $VT2$  - n-p-n). Резистор  $R1$  обеспечивает нормальную работу стабилизатора при высоких температурах окружающей среды и малых токах нагрузки. Ток, протекающий через этот резистор, должен быть значительно больше обратного тока коллекторного перехода транзистора  $VT1$  при наибольшей рабочей температуре. Если ток через регулирующий транзистор  $VT1$  превышает 70... 100 мА, транзистор следует устанавливать на радиатор.

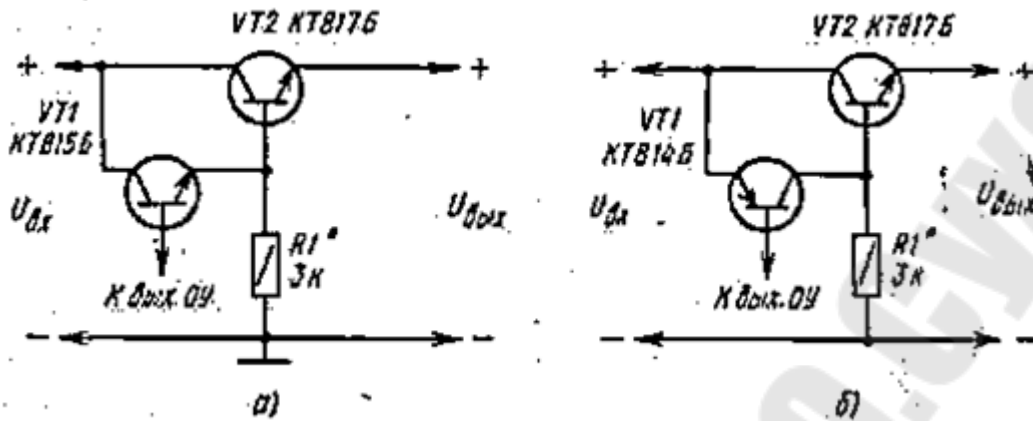


Рис. 8.3. Составной транзистор из транзисторов структуры *n-p-n* а) и из транзисторов разных структур б)

Площадь радиатора можно приблизительно определить по формуле (для температуры окружающего воздуха около 20°C)

$$S = 25U_{кэ} I_{нагр}$$

где  $S$  - площадь поверхности охлаждения радиатора, см<sup>2</sup>;  $U_{кэ}$  - напряжение между коллектором и эмиттером регулирующего транзистора, В;  $I_{нагр}$  - ток нагрузки стабилизатора.

В настоящее время промышленность выпускает интегральные стабилизаторы с фиксированным напряжением, содержащие в одном корпусе регулирующий транзистор и узлы управления им (микросхемы серий К142, КР142). Схема стабилизатора напряжением 5 В представлена на рис. 105. Микросхема КР142ЕН5А содержит узел защиты от перегрузки по току. Максимальное значение тока для этой микросхемы составляет около 3 А.

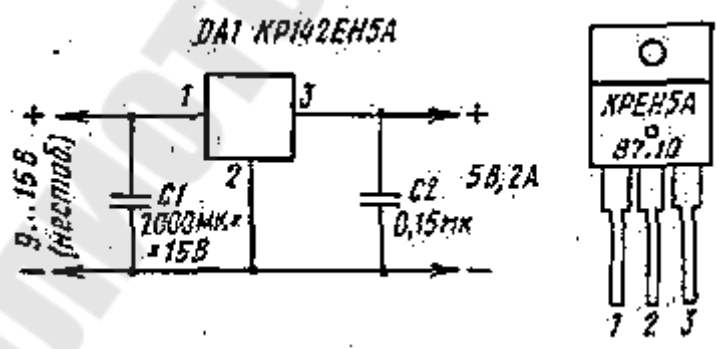


Рис. 8.4. Схема стабилизатора с фиксированным напряжением

На микросхеме К142ЕН3А можно выполнить стабилизированный источник напряжения, регулируемого в пределах от 3 до 30 В при токе нагрузки до 1А. Схема представлена на рис. 8.5.

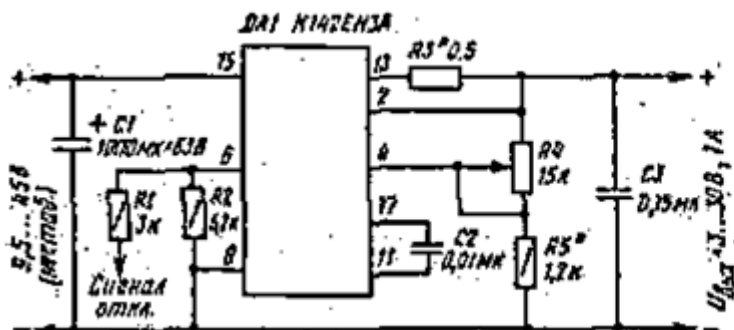


Рис. 8.5. Схема регулируемого источника напряжения на базе интегрального стабилизатора К142ЕН3А

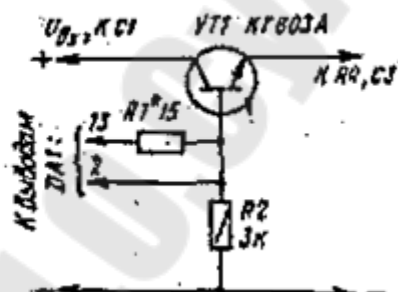


Рис. 8.6. Схема усилителя выходного тока стабилизатора напряжения

Выходное напряжение регулируется резистором R4 и может быть вычислено по формуле

$$U_{\text{вых}} = 2,6(R_4 + R_5)/R_5 .$$

Суммарное сопротивление резисторов R4 и R5 не должно превышать 20 кОм. Ток ограничения  $I_{\text{огр}}$  устанавливают резистором R3, сопротивление которого может быть вычислено по приближенной формуле  $R3=0,6/I_{\text{огр}}$ , где сопротивление берут в омах, а ток - в амперах. В стабилизаторе предусмотрена возможность отключения внешним сигналом. Для этого на резистор R1 подают положительное напряжение, которое должно обеспечивать ток через резистор R1 не более 3 мА. В стабилизаторе предусмотрена также тепловая защита (при нагревании корпуса микросхемы до определенной температуры выходное напряжение уменьшается до нуля). Температура отключения определяется сопротивлением резистора R2.

Микросхема DA1 должна быть установлена на радиаторе, обеспечивающем требуемую рассеиваемую мощность. Она не должна превышать 6 Вт. Для обеспечения этого условия во всем диапазоне регулируемого выходного напряжения следует применять ступенчатое регулирование выходного напряжения. Если требуется увеличить

допустимый выходной ток, можно применить усилитель тока на транзисторе.

Фрагмент схемы приведен на рис. 8.6. Резистор  $R1$  подбирают исходя из требуемого тока ограничения (он выполняет ту же функцию, что и резистор  $R3$  в предыдущей схеме). Ток нагрузки может достигать 5...10 А.

**Двухполярные блоки питания.** Для питания многих радиотехнических устройств требуются двухполярные стабилизированные источники постоянного напряжения. Ниже приведена схема двухполярного блока питания стабилизированных напряжений +15В и -15В (рис. 8.7).

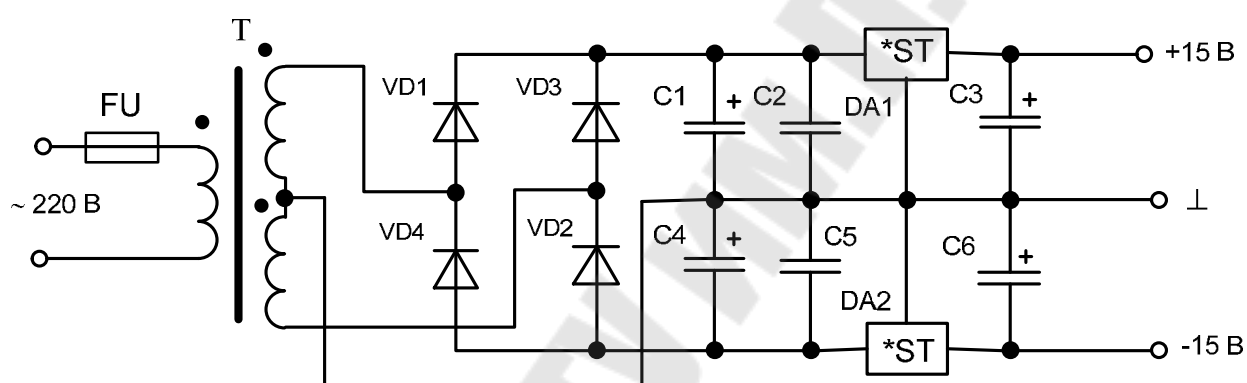


Рис. 8.7. Схема двухполярного блока питания

Выполнен блок питания по традиционной схеме и содержит сетевой трансформатор  $T$ , мостовые выпрямители  $VD1$  и  $VD4$ , емкостные фильтры  $C1 - C6$  и интегральные стабилизаторы положительного  $DA1$  и отрицательного  $DA2$ , напряжений.. Защита источника питания от коротких замыканий производится предохранителем  $FU$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Федорков Б.Г., Телец В.А. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применения. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. Пухальский Г.И., Новосельцева Т.Я. Проектирование дискретных устройств на интегральных микросхемах. – М.: Радио и связь, 1990.
3. Коломбет Е.А. Микроэлектронные средства обработки аналоговых сигналов. – М.: Радио и связь, 1991.
4. Алексеенко А.Г., Коломбет Е.А., Стародуб Г.И. Применение прецизионных аналоговых ИС. – М.: Радио и связь, 1980.
5. Горошков Б.И. Радиоэлектронные устройства. Справочник. – М.: Радио и связь, 1985.
6. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – Л.: Энергоиздат, 1988.
7. Терехов В.М. Элементы автоматизированного электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
8. Вениаминов В.Н., Лебедь О.Н., Мирошниченко А.И. Микросхемы и их применение. – М.: Радио и связь, 1989.
9. Ильинский Н.Ф., Козаченко В.Ф. Общий курс электропривода. – Л.: Энергоиздат, 1988.
10. Справочник по автоматизированному электроприводу. Под редакцией В.А. Елисеева, А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
11. Журналы «Радио» за 1995 – 2011 годы и «Радиолюбитель» за 1995 – 2010 годы.
12. Вуколов Н.И., Михайлов А.Н. Знакосинтезирующие индикаторы. Справочник под редакцией В.П. Болотова. – М. Радио и связь, 1987.
13. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. – М.: Энергоатомиздат, 1982.
14. Аналоговые интегральные схемы: Справочник /А. Л. Булычев, В. И. Галкин, В. А. Прохоренко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Мн.: Беларусь, 1993.

15. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы. Справочник // С.В. Якубовский и др. – М.: Радио и связь, 1989.
16. Цифровые микросхемы: Справочник // М. И. Богданович, И. Н. Грель, В. А. Прохоренко, В. В. Шалимо. – Мн.: Беларусь, 1991.
17. Транзисторы для аппаратуры широкого применения: Справочник // К. М. Брежнева, Е. И. Гантман, Т. И. Давыдова и др. Под ред. Б. Л. Перельмана. – М.: Радио и связь, 1981.
18. Александров К.К, Кузьмина Е.Г. Электротехнические чертежи и схемы. – М.: Энергоатомиздат, 1990 – 288 с.
19. Интегральные микросхемы. Справочник под редакцией Б.В. Тарабрина, Л.Ф. Лукина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
20. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства РЭА: Справочник под редакцией Н.Н Акимов, Е.П. Ващуков, В.А. Проходенко. – Мн.: Беларусь, 1994.
21. Диоды. Справочник под редакцией О.П. Григорьев, В.Я. Замятин и др.– М.: Радио и связь, 1990.
22. Тиристоры: Справочник /О. П. Григорьев, В. Я. Замятин, Б. В. Кондратьев, С. Л. Пожидаев. – М.: Радио и связь, 1990.
23. Чернов Е.А., Кузьмин В.П. Комплектные электроприводы станков с ЧПУ: Справочное пособие. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1989.
24. Шило В.Л. Популярные цифровые микросхемы: Справочник. – М.: Радио и связь, 1987.



## СОДЕРЖАНИЕ

Задание к курсовому проекту .....	3
Введение .....	10
1. Генераторы импульсов .....	11
2. Схемы с нелинейными обратными связями .....	19
3. Преобразователи напряжение-частота .....	21
4. Цифро-аналоговые преобразователи .....	26
5. Импульсные модуляторы .....	28
6. Модулятор-демодулятор .....	31
7. Узлы индикации .....	35
8. Блоки питания .....	41
Литература .....	47

**Погуляев Михаил Никифорович**

## **ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

**Методические указания  
к курсовому проектированию  
по одноименной дисциплине  
для студентов специальности 1-53 01 05  
«Автоматизированные электроприводы»  
дневной и заочной форм обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 10.09.12.

Рег. № 22Е.

<http://www.gstu.by>