

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра автоматизированных  
систем управления производством

**И. П. Матвеенко**

## **ЭЛЕКТРОНИКА И ОСНОВЫ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ**

*Учебно-методическое пособие  
по выполнению курсовой работы*

**Минск  
БГАТУ  
2009**

УДК 621.38(07)  
ББК 32.85  
М 33

Рекомендовано научно-методическим советом агроэнергетического факультета БГАТУ

Протокол № 9 от 12 мая 2009 г.

Рецензенты:

канд. техн. наук, доц. кафедры «Строительные и дорожные  
машины» БНТУ *А. И. Антонец*;

канд. техн. наук, доц. кафедры «Вычислительная техника» БГАТУ  
*А. И. Шакирин*

**Матвеенко, И.П.**

М33 Электроника и основы микропроцессорной техники:  
учебно-методическое пособие по выполнению курсовой  
работы / И.П. Матвеенко. – Минск: БГАТУ, 2009. – 56 с.

ISBN 978-985-519-158-3.

**УДК 621.38(07)  
ББК 32.85**

**ISBN 978-985-519-158-3**

**© БГАТУ, 2009**

## ВВЕДЕНИЕ

**Целью дисциплины** «Электроника и основы микропроцессорной техники» является изучение элементной базы и основ схемотехники электронных аналоговых и цифровых устройств, которые используются в современной промышленной электронике, а также принципов построения микропроцессоров, МП систем и технических средств связи. Таким образом, дисциплина формирует у студентов базу знаний в области электроники, дает основы для дальнейшего изучения и применения микропроцессорной техники и техники связи, а также формирует практические навыки работы инженера.

Развитие каждой индустриальной страны мира определяется процессом глобальной электронизации всех сфер жизнедеятельности общества. основополагающим фактором развития процесса электронизации мирового общества является динамичный научно-технический и производственный прогресс в создании элементной базы изделий электронной техники.

Дисциплина «Электроника и основы микропроцессорной техники» является общеинженерной дисциплиной и относится к числу наиболее важных курсов для подготовки современных инженеров-электриков, инженеров по автоматизации, электроэнергетиков и инженеров других электротехнических специальностей, как для промышленности, так и для сельского хозяйства.

Промышленная электроника, охватывая широкий круг научных, технических и производственных проблем, является базой для дальнейшего прогресса, в частности основой автоматизации многих областей промышленности, сельского хозяйства, транспорта и энергетики. Кроме того, будущие инженеры по автоматизации наряду с подготовкой по основам электротехнологии и энергетики должны получать глубокие знания в областях современной микроэлектроники, аналоговой, цифровой и микропроцессорной техники, применения компьютеров для автоматизации различных промышленных устройств, включая энергообеспечение, транспорт, связь.

**Цель курсовой работы** по дисциплине «Электроника и основы микропроцессорной техники»:

- практически закрепить знания теоретических разделов дисциплины;

- освоить методы и приемы расчета и конструкторской разработки специальных электронных схем и устройств;

- научиться пользоваться специальной литературой, справочными пособиями, реферативными журналами и другими библиографическими изданиями;

- подготовить студентов к дипломному проектированию.

Достижению этих целей способствует индивидуальный характер заданий к курсовой работе. Курсовая работа в соответствии с программой содержит три раздела:

1. Проектирование и расчет электронной схемы на транзисторах.

2. Проектирование и расчет схемы мостового выпрямителя, расчет стабилизатора напряжения на транзисторах.

3. Проектирование логической схемы на базовых элементах по заданной логической функции.

Курсовая работа выполняется по разделам в соответствии с технологией блочно-модульного обучения:

• первый раздел – при изучении модуля №3 «Усилительные устройства и генераторы»;

• второй раздел – при изучении модуля №4 «Преобразовательные устройства и устройства электропитания»;

• третий раздел - при изучении модуля №5 «Импульсная и цифровая техника».

Каждый раздел курсовой работы оформляется в виде расчетно-пояснительной записки (8-10 страниц на раздел, общий объем курсовой работы 25-30 страниц) и представляется к защите.

Варианты заданий приводятся в каждом разделе и выбираются в зависимости от предпоследней и последней цифр шифра зачетной книжки.

При выполнении курсовой работы следует использовать рекомендуемую литературу, а также информацию, приведенную в приложениях к данному учебно-методическому пособию.

В *приложении А* приведены:

• принципиальная электрическая схема усилителя напряжения, которую необходимо смоделировать на ПЭВМ, при этом предварительно рассчитать параметры и выбрать элементы схемы;

• пример семейства выходных и семейства входных характеристик транзистора, на которых строится нагрузочная прямая и выбирается рабочая точка;

- принципиальная электрическая схема стабилизатора напряжения, элементы которой необходимо рассчитать и выбрать;
- принципиальная электрическая схема однофазного мостового выпрямителя напряжения, подлежащая расчету и моделированию на ПЭВМ.

В *приложении Б* приведены основные правила работы с пакетом прикладных программ MICROCAP. Показано, как выбираются активные и пассивные элементы электронных схем, устанавливаются их параметры; каким образом можно получить временные диаграммы, а также амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики.

В *приложении В* приведена справочная информация о типах, параметрах и маркировке активных и пассивных элементов схем. Приведены примеры типов отечественных биполярных транзисторов и их зарубежных аналогов, а также основные параметры этих транзисторов. Даны ряды номинальных значений сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов.

### Оформление работы

Работа выполняется на листах писчей бумаги формата А1 с рамкой и штампом (кроме титульного листа). Пример оформления титульного листа приведен ниже.

Работа излагается в следующем порядке: титульный лист; введение, которое включает: цель работы, краткие теоретические сведения по данному разделу; необходимые расчеты, схемы, смоделированные на ПЭВМ или разработанные в процессе выполнения, графики, выполненные в масштабе, обеспечивающем их наглядность, выводы.

В кратких теоретических сведениях необходимо отразить назначение устройства в целом, назначение отдельных элементов принципиальной электрической схемы.

В работе должны быть даны все пояснения по ходу работы.

Схемы должны быть выполнены в соответствии с ГОСТ 2.702-75 ЕСКД, ГОСТ 2.710-81 ЕСКД, ГОСТ 2.770-73 ЕСКД, ГОСТ 2.743-91 ЕСКД, ГОСТ 2.759-82 ЕСКД.

Оси координат графиков должны быть снабжены обозначениями переменных, размерностью переменных и шкалой. На графике должны быть нанесены точки, по которым он строится. Под графиком должны быть даны номер рисунка и полное название графика.

### Пример оформления титульного листа

## МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

### Учреждение образования «БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра автоматизированных  
систем управления производством

### КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине «Электроника и основы микропроцессорной техники»

**Раздел 1. Проектирование и расчет электронной схемы на транзисторах**

Вариант 45

выполнил:  
студент гр.1эа Петров А.И.

проверил:  
канд. техн. наук, доцент Матвеевко И.П.

Минск - 2009

### ***Задание №1***

1. Рассчитать усилитель напряжения низкой частоты (каскад предварительного усиления), работающего на входную цепь следующего каскада, выполненного на таком же транзисторе. Транзисторы включены по схеме с общим эмиттером и имеют эмиттерную стабилизацию точки покоя.

Выбрать типы резисторов и конденсаторов в соответствии с их номинальными значениями (Приложение В). Составить таблицу перечня элементов принципиальной электрической схемы, полученной в результате моделирования на компьютере (см.п.2 задания).

2. Смоделировать и исследовать рассчитанную схему на компьютере, уточнить параметры элементов схемы, получить временные диаграммы, амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики с помощью программы «Місгосар».

Исходные данные для расчета приведены в таблице 1, где последовательно приведены следующие параметры усилительного каскада:

1. Тип транзистора и его зарубежный аналог.
2.  $U_{вх}$  – входное напряжение, В.
3.  $K_U$  – коэффициент усиления по напряжению.
4.  $E_K$  – напряжение питания, В.
5.  $f_n$  – низшая рабочая частота, Гц.

***В результате расчета определить (Приложение А, рисунок 1):***

1. Параметры элементов схемы:  $R_k$ ,  $R_3$ ,  $R1$ ,  $R2$ .
2. Определить емкости разделительных конденсаторов  $C1$ ,  $C2$ , и блокировочного конденсатора  $C_3$ .

Таблица 1- Исходные данные к заданию №1

	Последняя шифра шифра студента									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	КТ347Б (2N2894)	КТ313А (2N2906А)	КТ313А (2N2906)	КТ347Б (2N2894)	КТ313А (2N2906А)	КТ313А (2N2906)	КТ347Б (2N2894)	КТ313А (2N2906А)	КТ313А (2N2906)	КТ347Б (2N2894)
	160 ; 2 10 ; 970	120 ; 2 14 ; 500	200 ; 3,5 9 ; 650	180 ; 2 11 ; 470	140 ; 3,5 13 ; 210	160 ; 3 11 ; 790	180 ; 2 11 ; 470	140 ; 3,5 13 ; 210	160 ; 3 11 ; 790	180 ; 2 11 ; 470
1	КТ313Б (2N2907)	КТ345Б (2N3249)	КТ313Б (2N2907А)	КТ313Б (2N2907)	КТ345Б (2N3249)	КТ313Б (2N2907А)	КТ313Б (2N2907)	КТ345Б (2N3249)	КТ313Б (2N2907А)	КТ313Б (2N2907)
	170 ; 3,5 12 ; 220	180 ; 2 10 ; 210	150 ; 2 10 ; 530	160 ; 2,5 14 ; 660	150 ; 3,5 15 ; 740	200 ; 2,5 11 ; 970	160 ; 2,5 14 ; 660	150 ; 3,5 15 ; 740	200 ; 2,5 11 ; 970	160 ; 2,5 14 ; 660
2	КТ3108А (2N3250)	КТ3108Б (2N3251)	КТ3108В (2N3250А)	КТ3108А (2N3250)	КТ3108Б (2N3251)	КТ3108В (2N3250А)	КТ3108А (2N3250)	КТ3108Б (2N3251)	КТ3108В (2N3250А)	КТ3108А (2N3250)
	140 ; 2,5 9 ; 990	180 ; 2 12 ; 830	200 ; 3,5 14 ; 200	120 ; 2 15 ; 550	170 ; 3,5 14 ; 160	120 ; 3 14 ; 880	120 ; 2 15 ; 550	170 ; 3,5 14 ; 160	120 ; 3 14 ; 880	120 ; 2 15 ; 550
3	КТ632Б (2N3495)	КТ345Б (2N3702)	КТ363А (2N3546)	КТ632Б (2N3495)	КТ345Б (2N3702)	КТ363А (2N3546)	КТ632Б (2N3495)	КТ345Б (2N3702)	КТ363А (2N3546)	КТ632Б (2N3495)
	130 ; 3,5 10 ; 630	130 ; 2 13 ; 960	100 ; 2,5 9 ; 910	150 ; 2,5 15 ; 790	120 ; 3 11 ; 280	130 ; 2,5 14 ; 150	150 ; 2,5 15 ; 790	120 ; 3 11 ; 280	130 ; 2,5 14 ; 150	150 ; 2,5 15 ; 790
4	КТ932Б (2N3740)	КТ361Г (2N3905)	КТ932А (2N3741)	КТ932Б (2N3740)	КТ361Г (2N3905)	КТ932А (2N3741)	КТ932Б (2N3740)	КТ361Г (2N3905)	КТ932А (2N3741)	КТ932Б (2N3740)
	180 ; 2 14 ; 960	150 ; 2,5 9 ; 940	140 ; 3,5 12 ; 270	120 ; 3 9 ; 580	110 ; 2,5 14 ; 510	130 ; 3,5 10 ; 390	120 ; 3 9 ; 580	110 ; 2,5 14 ; 510	130 ; 3,5 10 ; 390	120 ; 3 9 ; 580
5	КТ361Г (2N3906)	КТ3107Ж (2N4126)	КТ361Б (2N4125)	КТ361Г (2N3906)	КТ3107Ж (2N4126)	КТ361Б (2N4125)	КТ361Г (2N3906)	КТ3107Ж (2N4126)	КТ361Б (2N4125)	КТ361Г (2N3906)
	110 ; 2 11 ; 180	160 ; 3,5 12 ; 270	120 ; 2,5 12 ; 810	120 ; 3 13 ; 260	170 ; 3,5 9 ; 210	160 ; 2,5 13 ; 290	120 ; 3 9 ; 210	170 ; 3,5 13 ; 290	160 ; 2,5 13 ; 290	120 ; 3 13 ; 260
6	КТ363А (2N4260)	КТ361Г (2N3905)	КТ363Б (2N4261)	КТ363А (2N4260)	КТ361Г (2N3905)	КТ363Б (2N4261)	КТ363А (2N4260)	КТ345Б (2N3702)	КТ363Б (2N4261)	КТ363А (2N4260)
	200 ; 2 10 ; 400	100 ; 3 9 ; 560	150 ; 3 13 ; 910	110 ; 2,5 13 ; 760	120 ; 2 11 ; 930	120 ; 3 9 ; 130	110 ; 2,5 13 ; 760	120 ; 2 11 ; 930	120 ; 3 9 ; 130	110 ; 2,5 13 ; 760
7	КТ3108А (2N3250)	КТ350А (2N5226)	КТ313Б (2N2907)	КТ632Б (2N3495)	КТ350А (2N5226)	КТ363А (2N3546)	КТ361В (2N3906)	КТ350А (2N5226)	КТ347Б (2N2894)	КТ632Б (2N3495)
	190 ; 3,5 12 ; 610	190 ; 2 12 ; 960	100 ; 3,5 15 ; 780	130 ; 3 13 ; 210	250 ; 2,5 12 ; 950	160 ; 3 14 ; 270	130 ; 3 13 ; 210	200 ; 2 10 ; 930	160 ; 3 14 ; 270	130 ; 3 13 ; 210
8	КТ6116А (2N5401)	КТ818Г (2N6107)	КТ363А (2N5771)	КТ6116А (2N5401)	КТ818Г (2N6107)	КТ363АМ (2N5771)	КТ6116А (2N5401)	КТ818Г (2N6107)	КТ363АМ (2N5771)	КТ6116А (2N5401)
	190 ; 3 10 ; 160	120 ; 2 15 ; 420	180 ; 2,5 9 ; 280	100 ; 3,5 11 ; 320	170 ; 2,5 10 ; 170	130 ; 2,5 12 ; 960	100 ; 3,5 11 ; 320	170 ; 2,5 10 ; 170	130 ; 2,5 12 ; 960	100 ; 3,5 11 ; 320
9	КТ818А (2N6111)	КТ932А (2N3741)	КТ313Б (2N2907А)	КТ818А (2N6111)	КТ632Б (2N3495)	КТ932А (2N3741)	КТ818А (2N6111)	КТ313А (2N2906А)	КТ632Б (2N3495)	КТ818А (2N6111)
	110 ; 3 13 ; 420	110 ; 2 13 ; 380	170 ; 2,5 14 ; 850	140 ; 2 12 ; 280	150 ; 3,5 9 ; 390	170 ; 3 14 ; 120	140 ; 2 12 ; 280	130 ; 3,5 9 ; 390	170 ; 3 14 ; 120	140 ; 2 12 ; 280

### **В результате моделирования и исследования на ПЭВМ:**

1. Создать принципиальную электрическую схему усилителя.
2. Уточнить параметры элементов схемы для получения заданного коэффициента усиления; подобрать номинальные значения сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов, указать их маркировку.
3. Получить временные диаграммы для входного и выходного напряжений (зависимость входного напряжения  $U_{вх}$  от времени  $t$  и зависимость выходного напряжения  $U_{вых}$  от времени  $t$ ).
4. Получить амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) и фазочастотную характеристику (ФЧХ).

#### **Пример 1.**

Исходные данные:

1. МП 40 (зарубежный аналог 2N4402);
2.  $U_{вх} = 50\text{mB}$ ;
3.  $K_U = 3$ ;
4.  $E_K = 10\text{B}$ ;
5.  $f_H = 250\text{Гц}$ .

#### **Методика выполнения задания №1**

При расчете усилителя целесообразно придерживаться следующей последовательности:

1. Для данного типа транзистора выбираем из справочника [2, 3, 4]:  
 $h_{21Э}$  – статический коэффициент передачи тока для схемы с ОЭ в режиме малого сигнала;  
 $U_{кэмакс}$  – максимально допустимое напряжение коллектор – эмиттер.  
Для примера выбираем для транзистора МП 40:  $h_{21Э} = (20...40)$ , выбираем среднее значение 30;  $U_{кэмакс} = 15\text{B}$ ;  $U_{кэмакс} > E_K$ .

Примеры типов транзисторов и их параметров приведены в приложении В. Здесь же приведены примеры зарубежных аналогов транзисторов и их параметры, которые необходимы при моделировании схемы усилителя.

2. Производим выбор режима работы транзистора по постоянному току.

Находим амплитуду тока коллектора  $I_{км}$ , для этого определяем:

- значение выходного напряжения:

$$U_{вых} = U_{вх} \cdot K_U = 0.05 \cdot 3 = 0,15\text{B};$$

- сопротивление коллектора выбираем из условия:

$$R_k \approx (0.5 \div 2)\text{kОм}$$

Выбираем  $R_k \approx 0.7\text{kОм}$ .

- $I_{км} = U_{вых} / R_H$ ,

где  $R_H$  – сопротивление на выходе усилительного каскада (сопротивление нагрузки или по-другому, входное сопротивление следующего каскада);

При определении  $R_H$  исходим из условия:

$$R_k \gg R_H.$$

Определяем ориентировочно  $R_H$ :

$$R_H \approx 0.05 \cdot R_k \approx 35 \text{ Ом}.$$

$$\text{Тогда } I_{км} = 0,15\text{B} / 35\text{Ом} = 4.3 \text{ mA}.$$

3. Определим постоянную составляющую тока коллектора:

$$I_{к0} \geq I_{км} / k_3,$$

где  $k_3$  – коэффициент запаса, не должен превышать (0.7...0.95), т.к. могут возникнуть нелинейные искажения, при  $k_3 < 0.7$  ухудшается к.п.д. каскада.

$$I_{к0} \geq 4.3 \text{ mA} / 0.7 \approx 6 \text{ mA}.$$

Значение  $U_{кэ0}$  принимаем равным типовому значению  $U_{кэ0} = -5В$ .

На выходных характеристиках (Приложение А, рисунок 2) отмечаем точку покоя П с координатами  $I_{к0}$ ,  $U_{кэ0}$  и находим  $I_{б0}$  (для примера  $I_{б0} = 200$  мкА). Эту точку П переносим на семейство входных характеристик (Приложение А, рисунок 3) и определяем при данных  $I_{б0}$  и  $U_{кэ0}$  значения напряжения база-эмиттер  $U_{бэ0}$  (для примера  $U_{бэ0} = 0.25В$ ). Если т. П не находится ни на одной из характеристик, следует изменить  $R_к$  и повторить пункты, начиная с п.2.

4. Определяем входное сопротивление транзистора с ОЭ переменному току по входной характеристике транзистора. Для этого проводим касательную в рабочей точке (на семействе входных характеристик касательная проводится ближе к прямолинейному участку, рисунок 3) и находим тангенс угла наклона в этой точке, т.е.  $\Delta U_{бэ}$  и  $\Delta I_б$ .

$$R_{вхэ} = \Delta U_{бэ} / \Delta I_б = (0.14В / 0.7мА) = 200 \text{ Ом.}$$

5. Определяем общее сопротивление коллекторной цепи постоянному току:

$$R_к + R_э \approx (E_к - |U_{кэ0}|) / I_{к0} = 556 \text{ Ом.}$$

6. Произведем расчет схемы УНЧ по переменному току:

- определяем коэффициент усиления каскада без ООС:

$$K_{без\ ООС} = h_{21э} \cdot (R_н / R_{вхэ}) = 30 \cdot (24 / 200) = 3.5$$

$$K_{ООС} = K_U = 3$$

- коэффициент передачи цепи ОС усилителя с ООС:

$$\gamma = (K_{без\ ООС} - K_{ООС}) / (K_{без\ ООС} \cdot K_{ООС}) = (3.5 - 3) / (3.5 \cdot 3) = 0.053$$

- определяем сопротивление, стоящее в цепи эмиттера и обеспечивающее ООС в усилителе:

$$R_э = (\gamma \cdot R_н \cdot h_{21э}) / (h_{21э} + 1) = (0.053 \cdot 24 \cdot 30) / (30 + 1) = 1.27 \approx 2 \text{ Ом.}$$

7. Уточняем сопротивление коллектора:

$$R_к = (R_к + R_э) - R_э = (556 - 2) = 554 \text{ Ом}$$

8. Находим сопротивление резисторов в цепи базы:

$$R1 = (E_к - (I_{к0} + I_{б0}) \cdot R_э) / I_{б0} = (10В - (6мА + 0.2мА) \cdot 200) / 0.2мА = 50 \text{ кОм;}$$

$$R2 \approx R1 = 50 \text{ кОм.}$$

9. Определяем емкость блокировочного конденсатора Сэ:

$$C_э \geq \frac{h_{21э}}{2\pi f_H (R_н + R_{вхэ}) \sqrt{M_{сэ}^2 - 1}},$$

где  $R_н$  – внутреннее сопротивление источника усиливаемого сигнала.

$$\frac{1}{R_н} = \frac{1}{R_к} + \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} \approx 0.0018,$$

Тогда  $R_н = 542 \text{ Ом.}$

Коэффициент частотных искажений учитывает влияние блокировочного конденсатора на частотные искажения:

$$M_{сэ} = \sqrt{1.41} \approx 1.18$$

Тогда,  $C_э \geq 64 \text{ мкФ.}$

10. Определяем емкости разделительных конденсаторов С1 и С2:

$$C2 \geq \frac{1}{2\pi f_H (R_н + R_к) \sqrt{M_{с2}^2 - 1}};$$

$$M_{с2} = M_{с1} = \sqrt{1.18} \approx 1.09;$$

Тогда,

$$C2 \geq 2.5(\text{мкФ});$$

$$C1 \geq \frac{1}{2\pi f_n (R_{\text{вхэ}} + R_{\text{выхд}}) \sqrt{M_{C1}^2 - 1}};$$

где  $R_{\text{выхд}}$  – выходное сопротивление делителя. Если  $R_{\text{выхд}}$  неизвестно, то обычно полагают  $R_{\text{выхд}} = 0$ , в этом случае  $C1$  берут с некоторым запасом:

$$C1 \geq 7.5(\text{мкФ});$$

11. Общее входное сопротивление УНЧ:

$$R_{\text{вх ус}} = R_{\text{вхэ}} + R_3(h_{21э} + 1) = 200 + 2(30 + 1) = 262 \text{ Ом.}$$

12. Создать принципиальную электрическую схему усилителя с рассчитанными параметрами элементов с помощью программы «Microcap» в соответствии с приложением Б. Пример такой схемы показан на рисунке 1.1.

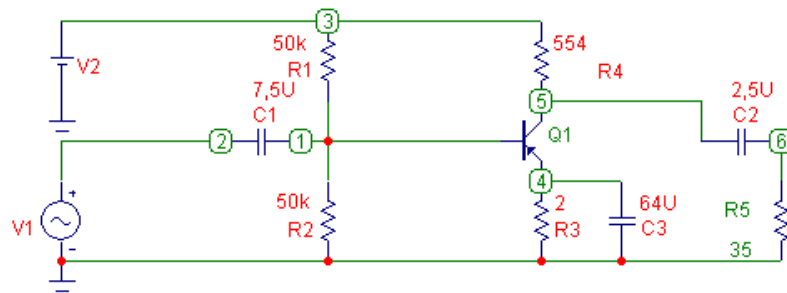


Рисунок 1.1 – Принципиальная электрическая схема усилителя

13. Уточнить параметры резисторов и конденсаторов в схеме, выбрав их в соответствии с номинальными значениями (Приложение В).

14. Получить временные диаграммы для входного и выходного напряжений (приложение Б). Примерный вид таких диаграмм представлен на рисунке 1.2.

15. Убедиться, что рассчитанный усилительный каскад усиливает входное напряжение  $U_{\text{вх}}$  в соответствии с заданным  $K_U$ . Если  $K_U$  не совпадает с заданным, уточнить параметры элементов схемы (изменить  $R_n$ ).

16. Получить амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) и фазочастотную характеристику (ФЧХ) рассчитанного усилительного каскада (УК) (приложение Б). Примеры АЧХ и ФЧХ показаны на рисунке 1.3.

17. По АЧХ определить нижнюю граничную частоту усилителя.

18. Распечатать с экрана ПЭВМ в курсовую работу по заданию №1: – принципиальную электрическую схему усилителя, справа от схемы привести таблицу перечня элементов принципиальной электрической схемы;

- временные диаграммы для входного и выходного напряжений;
- АЧХ и ФЧХ с указанием на АЧХ нижней граничной частоты.



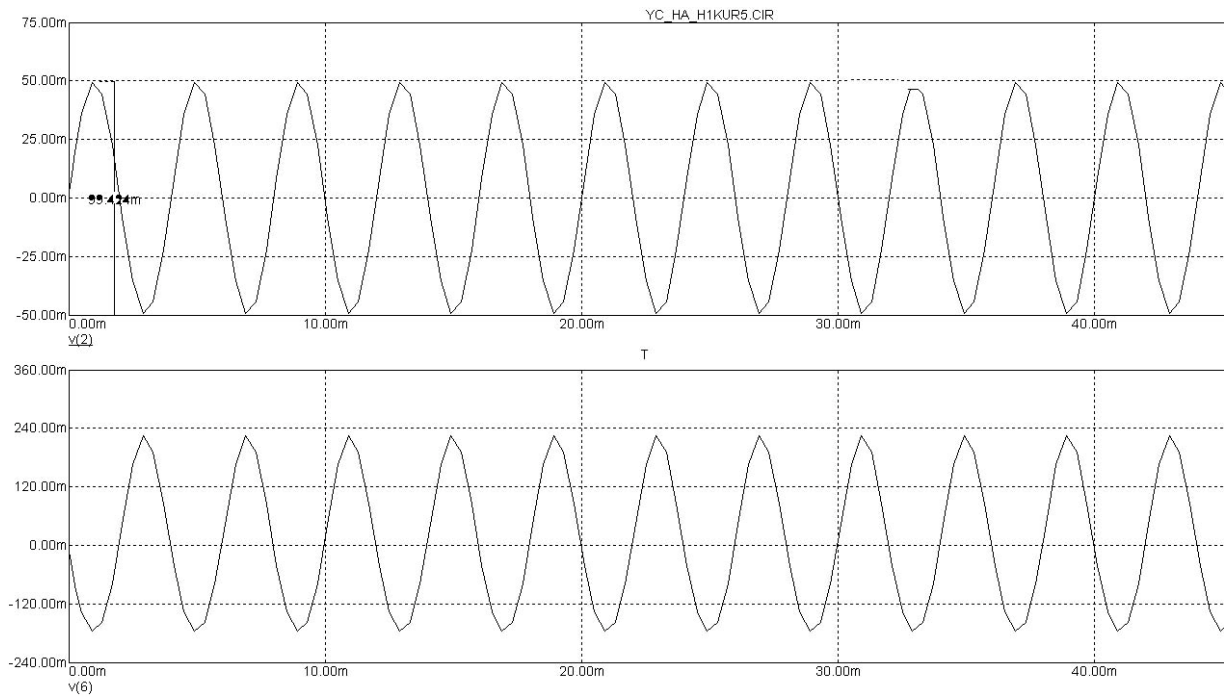


Рисунок 1.2 – Временные диаграммы входного и выходного напряжений усилителя

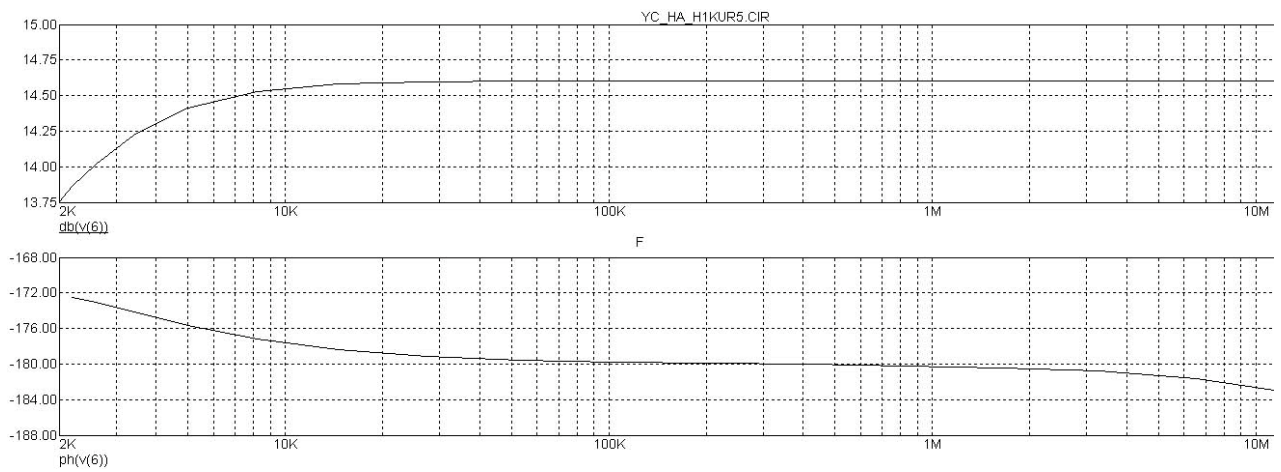


Рисунок 1.3 – Амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики

## Задание 2.

Рассчитать стабилизатор напряжения последовательного типа (Приложение А, рисунок 4). Исходные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные для расчета стабилизатора напряжения

Последняя цифра шифра										
№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_{\text{вых}}, \text{В}$	10	12	15	20	25	25	24	28	30	30
$\pm \Delta U_{\text{вых}}, \text{В}$	0,5	0,5	1	1	1	0,75	0,75	1	1,2	1,2
Предпоследняя цифра шифра										
№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I_{\text{H}}, \text{А}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,6	0,5	0,4
$\Delta U_{\text{вх}}/U_{\text{вх}}$	10	10	15	15	20	20	5	5	10	10
$K_{\text{ст.} \geq}$	50	60	70	80	90	100	150	200	250	300

### Пример 2.

Исходными данными являются:

- 1) Выходное напряжение  $U_{\text{вых}} = 27\text{В}$ ;
- 2) Предельное отклонение  $\Delta U_{\text{вых}} = \pm 2\text{В}$ ;
- 3) Ток нагрузки  $I_{\text{H}} = 0,2\text{А}$ ;
- 4) Допустимые относительные изменения входного напряжения  $\Delta U_{\text{вх}}/U_{\text{вх}} = \pm 10\%$ ;
- 5) Коэффициент стабилизации  $K_{\text{ст}} = 150$ .

В результате расчета:

- 1) Выбрать типы используемых транзисторов;
- 2) Рассчитать параметры элементов схемы;
- 3) Начертить принципиальную электрическую схему стабилизатора напряжения.

## Методика выполнения задания №2

1. Выбираем тип регулирующего транзистора VT1 и его режима:

$$U_{\text{вхmin}} = U_{\text{вых}} + \Delta U_{\text{вых}} + |U_{\text{КЭmin}}| = 27 + 2 + 3 = 32\text{В}, \text{ где}$$

$|U_{\text{КЭmin}}|$  – минимальное напряжение между коллектором и эмиттером транзистора Т1, при котором его работа не заходит в область насыщения.

Для мощных транзисторов, которые используются в качестве регулирующего элемента,  $|U_{\text{КЭmin}}| = 1 \div 3\text{В}$ . При расчете принимают  $|U_{\text{КЭmin}}| = 3\text{В}$ .

$$U_{\text{вхmin}} = 1,1 \cdot 32 = 35,2\text{В}$$

$$U_{\text{вх}} = 1,1 \cdot 35,2 = 38,7\text{В}$$

Находим  $U_{\text{КЭ1max}}$  и максимальную мощность, рассеиваемую на регулирующем транзисторе  $P_{\text{Кmax}}$ :

$$|U_{\text{КЭ1max}}| = U_{\text{вхmax}} - U_{\text{выхmin}} = 38,7 - 25 = 13,7\text{В}$$

$$P_{\text{Кmax}} = |U_{\text{КЭ1max}}| \cdot I_{\text{H}} = 13,7 \cdot 0,2 \approx 2,7\text{Вт}$$

Выбираем по справочнику [2] транзистор КТ8426, для которого

$$P_{\text{Кmax}} = 3\text{Вт}, I_{\text{Кmax}} = 5\text{А}; h_{21\text{Э}} \geq 15; |U_{\text{КЭmax}}| = 200\text{В}.$$

2. Выбор типа согласующего транзистора VT2 и его режима. Коллекторный ток транзистора VT2:

$$I_{\text{К2}} \approx I_{\text{Э2}} = I_{\delta 1} + I_{\text{R4}} = \frac{I_{\text{К1}}}{h_{21\text{Э}}} + I_{\text{R4}} = \frac{I_{\text{H}}}{h_{21\text{Э}}} + I_{\text{R4}},$$

где  $I_{R4}$  – дополнительный ток, протекающий через резистор  $R_4$ .  
 Для маломощных транзисторов, используемых в качестве согласующего элемента, дополнительный ток выбирают в пределах 1-2 мА. Приняв  $I_{R4} = 1,5\text{mA}$ , получим:  $I_{K2} = \frac{0,2 \cdot 10^3}{30} + 1,5 = 8,2\text{mA}$ .

Определяем максимальные значения напряжения  $U_{KЭ2}$  и мощности  $P_{K2}$  согласующего транзистора:

$$\begin{aligned} |U_{KЭ2\max}| &\approx |U_{KЭ1\max}| = 13,7\text{В} \\ P_{K2} &= I_{K2} \cdot |U_{KЭ2\max}| = 8,2 \cdot 10^{-3} \cdot 13,7 \approx 112\text{ мВт} \end{aligned}$$

Выбираем по справочнику транзистор типа КТ201Б со следующими параметрами:

$$\begin{aligned} I_{K\max} &= 20\text{mA} > 8,2\text{mA}; \\ |U_{KЭ\max}| &= 20\text{В} > 13,7\text{В}; \\ P_K &= 150\text{мВВ} > 112\text{мВВ}; \\ h_{21Э} &= 30 \dots 90 \end{aligned}$$

3. Рассчитываем сопротивление резистора  $R_4$ :

$$R_4 = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{I_{R4}} = \frac{27}{1,5 \cdot 10^{-3}} = 18\text{кОм}$$

4. Выбор усилительного транзистора VT3 и его режима.

В качестве усилительного транзистора используют маломощные транзисторы. Обычно, из технологических соображений транзисторы VT2, VT3 выбирают одного типа. Выбираем КТ201Б.

Задаемся напряжением  $|U_{KЭ3}| = 14\text{В} \leq |U_{KЭ\max}| = 20\text{В}$ .

Определяем опорное напряжение:

$$U_{\text{оп}} = U_{\text{ВЫХ}} - |U_{KЭ3}| = 27 - 14 = 13\text{В}.$$

Для получения такого опорного напряжения используем стабилитрон (по справочнику) типа Д813, у которого  $U_{\text{СТ}} = 11,5 \div 14\text{В}$ ,  $I_{\text{СТ}} = 5\text{mA}$ .

5. Определим значение ограничивающего сопротивления  $R_5$ :

$$R_5 = \frac{U_{\text{ВЫХ}} - U_{\text{оп}}}{I_{\text{СТ}} - I_{Э3}} = \frac{27 - 13}{(5 - 1) \cdot 10^{-3}} = 3,5\text{кОм},$$

$I_{Э3} \approx I_{K3}$ , а  $I_{K3}$  выбирают в пределах  $1 \dots 1,5\text{mA}$ .

Из уравнения Кирхгофа  $U_{Э\delta1} + U_{Э\delta2} + U_{R3} - |U_{KЭ1}| = 0$ .

С учетом того, что  $U_{Э\delta1}, U_{Э\delta2} \approx 0$ , получаем  $U_{R3} \approx |U_{KЭ1}|$ . Отсюда находим сопротивление  $R_3$ :

$$R_3 = \frac{U_{R3}}{I_{R3}} \approx \frac{|U_{KЭ1}|}{I_{K3} + I_{\delta2}} = \frac{13,7}{1 + 0,27} \approx 10,8\text{кОм}, \text{ где}$$

$$I_{K3} \approx I_{Э3} = 1\text{mA}, \text{ а } I_{\delta2} = \frac{I_{K2}}{h_{21Э}} = \frac{8,2}{30} = 0,27\text{mA}.$$

6. Расчет делителей напряжения.

Из выражения  $(R_8 + 0,5R_7) \cdot I_{\text{дел}} \approx U_{\text{оп}}$ , где  $I_{\text{дел}}$  – ток, протекающий через делитель  $R_6, R_7, R_8$ .

$$\text{Получаем } R_7 = \frac{U_{\text{оп}} - I_{\text{дел}} \cdot R_8}{0,5I_{\text{дел}}}.$$

Выбираем  $I_{\text{дел}}$  из условия:  $I_{\text{дел}} > (5 \div 10)I_{\delta3}$ .

$$\text{Примем } I_{\text{дел}} = 100 \cdot I_{\delta 3} = \frac{100 I_{K3}}{h_{21Э}} = \frac{100 \cdot 1}{30} = 3,3 \text{ мА}.$$

Зададимся значением  $R8=1,5 \text{ кОм}$ , тогда

$$R7 = \frac{13 - 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 3,3 \cdot 10^{-3}} = \frac{8,05}{1,65} = 4,8 \text{ кОм}.$$

По выражению  $I_{\text{дел}} (R6 + 0,5R7) \approx U_{\text{ВЫХ}} - U_{\text{ОП}}$  находим:

$$R6 = \frac{U_{\text{ВЫХ}} - U_{\text{ОП}} - 0,5 \cdot I_{\text{дел}} \cdot R7}{I_{\text{дел}}} = \frac{27 - 13 - 0,5 \cdot 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot 4,8 \cdot 10^{-3}}{3,3 \cdot 10^{-3}} = \frac{13,66}{3,3 \cdot 10^{-3}} = 4,1 \text{ кОм}$$

### 7. Выбор конденсаторов:

- емкость конденсатора  $C1$ , включаемого для предотвращения возбуждения стабилизатора, подбирают экспериментально,  $C1 \leq 0,5 \dots 1 \text{ мкФ}$ ;

- емкость конденсатора  $C2$ , включение которого к незначительному уменьшению пульсаций выходного напряжения и замкнутому уменьшению выходного сопротивления стабилизатора переменному току, выбирают в пределах  $1000 \dots 2000 \text{ мкФ}$ , выбираем  $C1=0,5 \text{ мкФ}$ ,  $C2=1000 \text{ мкФ}$ .

### 8. Определяем коэффициент стабилизации напряжения:

$$K_{\text{ст}} = K_{\text{дел}} \cdot K_3 \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = 0,48 \cdot 540 \frac{27}{35,2} = 198, \text{ где}$$

$$K_{\text{дел}} = \frac{U_{\text{оп}}}{U_{\text{ВЫХ}}} = \frac{13}{27} = 0,48 \text{ - коэффициент деления напряжения делителя } R6, R7, R8;$$

$$K_3 = \left( \frac{h_{21Э3}}{h_{11Э3}} \right) \cdot R3 = \left( \frac{30}{600} \right) \cdot 10,8 \cdot 10^3 = 540.$$

Если значение  $K_{\text{ст}}$  окажется недостаточным, то следует выбрать транзисторы  $VT2$  и  $VT3$  с большим коэффициентом усиления тока  $h_{21Э}$ .

### Задание 3

Выбрать диоды для однофазного мостового выпрямителя, работающего на нагрузку с сопротивлением  $R_n$  и постоянной составляющей выпрямленного напряжения  $U_n$ . Определить ток и напряжение вторичной обмотки трансформатора, и мощность трансформатора, если известно входное напряжение  $U_1$ . Величины  $R_n$ ,  $U_n$  и  $U_1$  взять в таблице 3.

Таблица 3 - Значения величин  $U_n$ ,  $U_1$  и  $R_n$

Предпоследняя цифра шифра студента										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_n, \text{В}$	100	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Последняя цифра шифра студента										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$R_n, \text{Ом}$	50	75	100	150	200	250	300	400	500	1000
$U_1, \text{В}$	220	210	200	190	180	210	220	225	230	240

### В результате расчета (Приложение А, рисунок 5):

1. Определить параметры элементов схемы:  $VD1-VD4$ .
2. Выбрать входной трансформатор по расчетной мощности.

### В результате моделирования и исследования на ПЭВМ:

1. Создать принципиальную электрическую схему выпрямителя.
2. Уточнить параметры элементов схемы.
3. Получить временные диаграммы для входного и выходного напряжений (зависимость входного напряжения  $U_{\text{ВХ}}$  от времени  $t$  и зависимость выходного напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$  от времени  $t$ ).

### Пример 3

Исходные данные:

$$U_n = 40 \text{ В};$$

$$R_n = 100 \text{ Ом};$$

$$U_1 = 220 \text{ В}.$$

### Методика выполнения задания №3:

1. Определяем постоянную составляющую выпрямленного тока (ток нагрузки)  $I_n$ :

$$I_n = U_n / R_n = 40 / 100 = 0,4 \text{ А}$$

2. Определяем действующее значение напряжения вторичной обмотки трансформатора  $U_2$ , воспользовавшись таблицей 4, где указаны количественные соотношения напряжений, токов и мощностей для различных схем выпрямления:

$$U_2 = 1.11 U_n = 1.11 \cdot 40 = 44.4 \text{ В}$$

Таблица 4 - Количественные соотношения напряжений, токов и мощностей для различных схем выпрямления

Схема выпрямления	Соотношения для выбора				Коэффициент пульсаций р
	диодов		трансформатора		
	$U_{обр\max}/U_n$	$I_d/I_n$	$U_2/U_n$	$P_T/P_n$	
Однополупериодная	3,14	1	2,22	3-3,5	1,57
Однофазная мостовая	1,57	1/2	1,11	1,23	0,667
Двухполупериодная с нулевым выводом	3,14	1/2	1,11	1,23	0,667
Трехфазная мостовая	1,045	1/3	0,74	1,045	0,057
Трехфазная с нулевым выводом	2,09	1/3	0,855	1,34	0,25

3. Определяем действующее значение тока, протекающего через вторичную обмотку трансформатора:

$$I_2 = 1.11 \cdot I_n = 1.11 \cdot 0.4 = 0.444 \text{ А}$$

4. Максимальное значение обратного напряжения на закрытом диоде (таблица 4):

$$U_{обр\max} = 1.57 \cdot U_n = 1.57 \cdot 40 = 62.8 \text{ В}$$

5. Так как ток через диоды протекает полупериода, то среднее значение тока диода равно:

$$I_{пр} = 0.5 \cdot I_n = 0.5 \cdot 0.4 \text{ А} = 20 \text{ мА}$$

6. Выбираем диоды по двум параметрам:  $I_{пр}$  и  $U_{обр\max}$ , которые должны быть не менее расчетных значений. Выбираем по справочнику [1, 2, 3] диод КД208А, который имеет  $I_{пр\max} = 1.5 \text{ А}$ ,  $U_{обр\max} = 100 \text{ В}$ .

7. Определить зарубежный аналог выбранного диода по справочнику [1, 2, 3].

Для нашего примера зарубежный аналог диода КД208А-это диод 1N1053.

8. Для выбора типового трансформатора определяем расчетную мощность трансформатора:

$$P_T = 1.23 \cdot P_n = 1.23 \cdot U_n \cdot I_n = 1.23 \cdot 40 \cdot 0.4 = 19.68 \text{ Вт}$$

$$P_T \geq 20 \text{ Вт}$$

и коэффициент трансформации, который с одной стороны определяется как

$$n = U_1 / U_2$$

а, с другой стороны, как

$$n \approx \sqrt{\frac{L1}{L2}},$$

где L1 принимается равным 1 Гн. Тогда L2 будет определяться как

$$L2 = \frac{L1}{n^2}.$$

Коэффициент сцепления k, который необходимо указывать в параметрах выбранного трансформатора, будет лежать в пределах (0...1).

9. Создаем принципиальную электрическую схему с помощью программы «Мігросар» в соответствии с Приложением **Б** и расчетными параметрами элементов; если выбранный зарубежный аналог отсутствует в списке диодов программы «Мігросар», то следует выбрать ближайший по маркировке, в данном примере это 1N3016 (для версии МС – 8 можно воспользоваться отечественным диодом);

10. Получаем временные диаграммы для входного и выходного напряжений (приложение **Б**), которые показаны на рисунке 3.1.

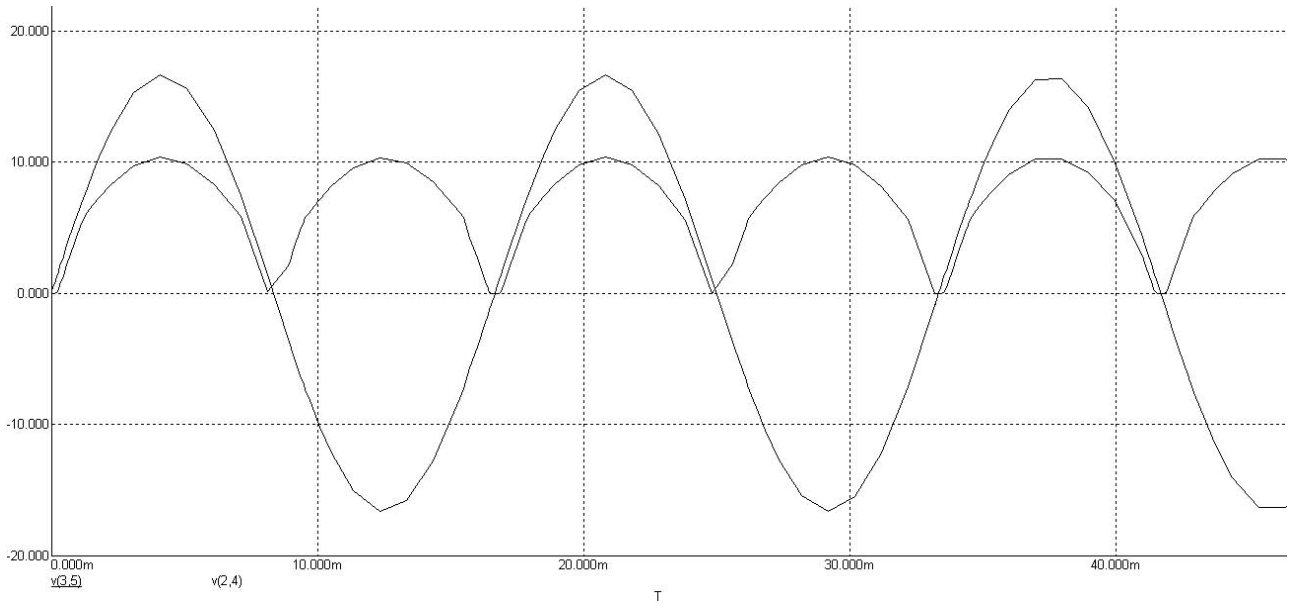


Рисунок 3.1 – Временные диаграммы для входного и выходного напряжений мостового выпрямителя

Распечатать с экрана ПЭВМ в курсовую работу по заданию №3:

- принципиальную электрическую схему мостового выпрямителя;
- временные диаграммы для входного и выходного напряжений.

#### Задание 4.

Спроектировать логическую схему по заданной логической функции. Т.е. необходимо решить задачу синтеза автомата, на основе логических элементов ИЛИ-НЕ или И-НЕ, работа которого задана таблицей истинности. Имеется три входных датчика, выходные сигналы которых являются двоичными (X1, X2, X3 для первой группы, X4, X5, X6 для второй группы) и известны значения сигналов на двух выходах (Y1, Y2 для первой группы, Y3, Y4 для второй группы). Варианты заданий приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Варианты заданий для проектирования логической схемы

Вариант №п/п	Входные переменные						Выходные переменные			
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Y1	Y2	Y3	Y4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1;5	0;6	1;8	0;9	1;7	0;5	0;2	3;4	2;6	1;7
2	3;7	4;5	0;8	2;6	4;7	1;6	1;4	2;0	7;3	2;9
3	7;8	9;10	1;8	5;10	6;9	3;4	11;12	1;7	13;8	6;12
4	2;3	8;9	12;8	5;10	4;13	2;10	4;5	14;9	1;7	3;15
5	1;8	3;12	15;2	2;14	4;15	1;12	13;15	12;10	6;8	11;6
6	14;13	2;7	5;3	12;4	5;13	11;15	1;11	8;1	2;14	10;7
7	12;2	15;1	11;2	13;3	5;11	6;14	12;14	2;9	13;15	3;10
8	14;4	1;2	13;5	1;14	12;4	7;9	15;9	3;9	12;9	2;10
9	13;5	2;3	12;7	1;3	15;6	10;7	14;15	8;10	15;9	5;11
10	14;5	3;4	11;9	10;7	2;11	12;6	15;0	2;9	13;7	1;14

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
11	5;7	11;0	14;4	11;1	2;9	13;9	1;14	5;15	3;10	7;13
12	11;7	13;4	14;0	5;15	9;12	14;2	4;10	15;6	11;1	9;12
13	10;2	9;1	15;8	3;11	10;12	2;13	3;14	4;15	10;5	1;2
14	15;1	3;13	7;9	5;9	11;2	15;2	10;11	4;9	12;13	6;7
15	2;9	12;8	5;14	0;14	13;10	9;12	2;3	11;10	4;5	9;14
16	9;0	1;12	10;7	13;0	2;14	11;3	13;14	8;9	12;15	5;0
17	8;10	2;10	9;15	7;11	3;12	7;14	1;2	0;13	3;4	10;0
18	4;9	12;13	2;10	13;5	15;9	5;11	11;7	1;14	12;2	9;0
19	6;8	1;3	9;12	0;5	15;12	7;8	0;2	11;3	3;4	11;12
20	7;0	2;15	9;13	0;8	3;14	10;12	3;6	12;2	4;9	11;15
21	3;11	2;13	1;2	3;13	14;4	7;9	12;2	2;10	13;5	10;7
22	4;15	9;12	11;1	15;1	10;7	14;15	5;15	8;10	1;14	4;9
23	13;0	10;11	4;9	2;9	0;12	8;10	2;9	14;0	3;15	13;2
24	13;0	2;11	7;14	7;1	10;11	2;14	1;12	5;8	10;13	9;15
25	10;0	12;7	11;14	9;2	13;12	7;8	11;2	5;9	15;13	12;10

Приведем некоторые основные теоретические положения алгебры логики.

#### Аксиомы в случае одной переменной:

- |                               |                                   |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| 1) $x + 0 = x$                | 6) $x \cdot 0 = 0$                |
| 2) $x + 1 = 1$                | 7) $x \cdot 1 = x$                |
| 3) $x + x = x$                | 8) $x \cdot x = x$                |
| 4) $x + \bar{x} = 1$          | 9) $x \cdot \bar{x} = 0$          |
| 5) $\overline{(\bar{x})} = x$ | 10) $\overline{\overline{x}} = x$ |



### Основные законы алгебры логики:

1. Переместительный закон для логического сложения и умножения:

$$x + y = y + x;$$

$$x \cdot y = y \cdot x$$

2. Сочетательный закон для логического сложения и умножения:

$$x + y + z = (x + y) + z = x + (y + z);$$

$$x \cdot y \cdot z = (x \cdot y) \cdot z = x \cdot (y \cdot z)$$

3. Распределительный закон для логического сложения и умножения:

$$x \cdot (y + z) = x \cdot y + x \cdot z$$

4. Законы инверсии (теоремы де Моргана) для логического сложения и умножения:

$$\overline{x + y + z} = \bar{x} \cdot \bar{y} \cdot \bar{z};$$

$$\overline{x \cdot y \cdot z} = \bar{x} + \bar{y} + \bar{z}$$

### Основные тождества алгебры логики:

$$1) x \cdot y + x \cdot \bar{y} = x$$

$$4) x \cdot (\bar{x} + y) = x \cdot y$$

$$2) x + x \cdot y = x$$

$$5) (x + y) \cdot (x + z) = x + y \cdot z$$

$$3) x \cdot (x + y) = x$$

$$6) x \cdot \bar{y} + y = x + y$$

Логическая функция может быть записана аналитически различными сочетаниями операций сложения и умножения переменных. Однако с точки зрения представления логической функции и по-

следующего синтеза логической схемы наиболее удобны формы записи, при которых функция выражается либо в виде суммы произведений переменных, либо в виде произведений их сумм. В первом случае запись логической функции называют дизъюнктивной нормальной формой (ДНФ), во втором случае конъюнктивной нормальной формой (КНФ).

Вместе с тем имеется только один вид ДНФ и КНФ, в которых функция может быть записана единственным образом – это совершенные нормальные формы (СДНФ, в которой каждое слагаемое включает все переменные и нет одинаковых слагаемых, и СКНФ, в которой каждый сомножитель включает все переменные и нет одинаковых сомножителей).

Рассмотрим пример выполнения задания №4.

#### Пример 4

Дано:

$$X1=5; 6 - (0101; 0110);$$

$$X2=0; 4 - (0000; 0100);$$

$$X3=5; 6 - (0101; 0110);$$

$$Y1=1; 2 - (0001; 0010);$$

$$Y2=3; 4 - (0011; 0100).$$

#### Методика выполнения задания №4:

1. Переводим десятичные значения входных и выходных сигналов в двоичные и записываем их в таблицу 6:

Таблица 6 – Представление входных и выходных сигналов в двоичной форме

X1	X2	X3	Y1	Y2
0	0	0	0	0
1	0	1	0	0
0	0	0	0	1
1	0	1	1	1
0	0	0	0	0
1	1	1	0	1
1	0	1	1	0
0	0	0	0	0

2. Определим, для какой комбинации входных сигналов, выходной сигнал равен 1 (соответственно для выхода Y1 и выхода Y2), для нашего примера эти сигналы выделены жирным шрифтом.

3. Составляем таблицу истинности (таблица 7, таблица 8) для каждого выхода:

– для выхода **Y1**:

Таблица 7 – Таблица истинности для выхода Y1

<b>X1</b>	<b>X2</b>	<b>X3</b>	<b>Y1</b>
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	0

– для выхода **Y2**:

Таблица 8 – Таблица истинности для выхода Y2

<b>X1</b>	<b>X2</b>	<b>X3</b>	<b>Y2</b>
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

4. Для данных таблиц истинности дизъюнктивная форма оператора имеет вид:

$$Y1 = X1 \cdot \overline{X2} \cdot X3$$

$$Y2 = \overline{X1} \cdot \overline{X2} \cdot \overline{X3} + X1 \cdot \overline{X2} \cdot X3 + X1 \cdot X2 \cdot X3,$$

при этом  $X = 1, \overline{X} = 0$ .

5. Производим минимизацию (упрощение формы записи) функций с использованием карты Карно. Минимизируется только функция **Y2**, т.к. **Y1** и так имеет простейшую форму. Карта Карно представляет собой графическое изображение значений всех возможных комбинаций переменных. Каждый минтерм изображается в виде клетки. Карта образуется путем такого расположения клеток, при котором минтермы соседних клеток отличаются только значением одной переменной. Символ «1» характеризует прямое значение переменной, а символ «0» - её инверсное значение.

Минтермы минимизируемой функции отмечают единицами в соответствующих клетках карты. Минтермы, не входящие в функцию, отмечают нулями или оставляют пустыми. Два минтерма, находящиеся в соседних клетках, могут быть заменены одним логическим произведением, содержащим на одну переменную меньше.

Перечислим общие правила минимизации.

1. Изображают карту Карно для n переменных и производят разметку ее строк и столбцов. В клетки таблицы, соответствующие минтермам (единичным наборам) минимизируемой функции, записывают единицу.

2. Склеиванию подлежат прямоугольные конфигурации, заполненные единицами и содержащие 2, 4 или 8 клеток. Верхние и нижние строки, крайние левые и правые столбцы карты как бы склеиваются, образуя поверхность цилиндра.

3. Множество прямоугольников, покрывающих все единицы, называется покрытием. Чем меньше прямоугольников и чем больше клеток в прямоугольниках, тем лучше покрытие. Из нескольких вариантов выбирают тот, у которого меньше коэффициент покрытия  $z = r/s$ , где  $r$  — общее число прямоугольников,  $s$  — их суммарная площадь в клетках.

4. Формулы, полученные в результате минимизации, содержат  $r$  элементарных конъюнкций (по числу прямоугольников в покрытии). Каждая конъюнкция содержит только те переменные, которые не меняют своего значения в склеиваемых наборах в соответствующем прямоугольнике. Число переменных в конъюнкции назы-

вается ее рангом. При склеивании двух соседних клеток получают ранг конъюнкции -1, четырех клеток -2, восьми клеток -3 и т.д.

Для нашего примера получаем (рисунок 4.1):

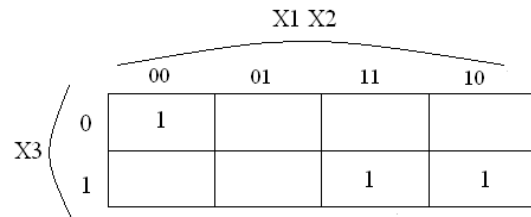


Рисунок 4.1 – Карта Карно для трех переменных

Для минимизации функции по четырем переменным карта Карно будет выглядеть следующим образом (рисунок 4.1):

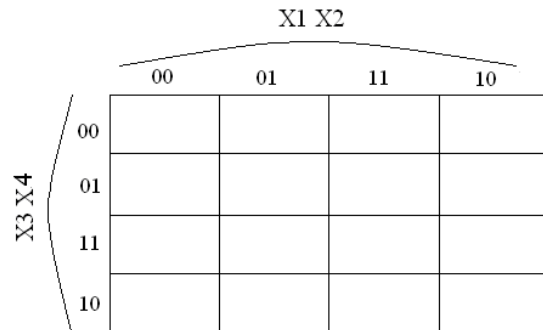


Рисунок 4.1 – Карта Карно для четырех переменных

Выходные сигналы, равные единице, проставляем на пересечении комбинаций сигналов X1, X2, X3.

Тогда, можем записать упрощенное значение Y2:

$$Y2 = \overline{X1} \cdot \overline{X2} \cdot \overline{X3} + X1 \cdot X3(X2 + \overline{X2}) = \overline{X1} \cdot \overline{X2} \cdot \overline{X3} + X1 \cdot X3$$

6. Построим схему автомата только на элементах И-НЕ. Для этого произведем двукратное инвертирование, воспользовавшись теоремой де Моргана:

$$Y1 = \overline{\overline{X1 \cdot \overline{X2} \cdot X3}};$$

$$Y2 = \overline{\overline{X1 \cdot \overline{X2} \cdot X3} + X1 \cdot X3} = \overline{\overline{X1 \cdot \overline{X2} \cdot X3} \cdot \overline{X1 \cdot X3}}$$

7. Структурная схема будет содержать два трехвходовых элемента И-НЕ и двухвходовые элементы И-НЕ. Изображаем структурную схему автомата (рисунок 4.3).

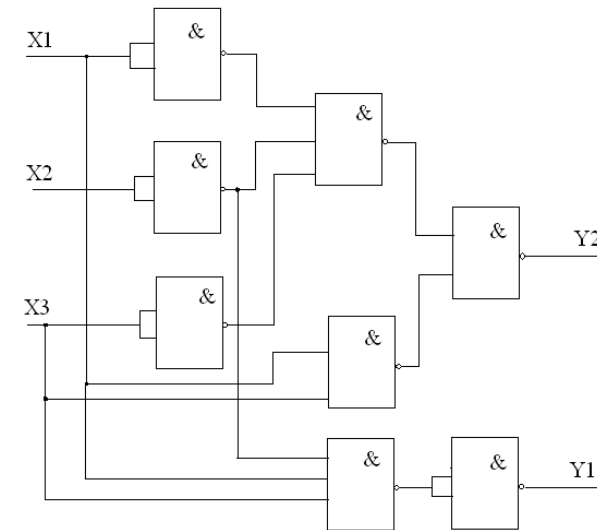


Рисунок 4.3 – Структурная схема автомата

ПРИЛОЖЕНИЯ

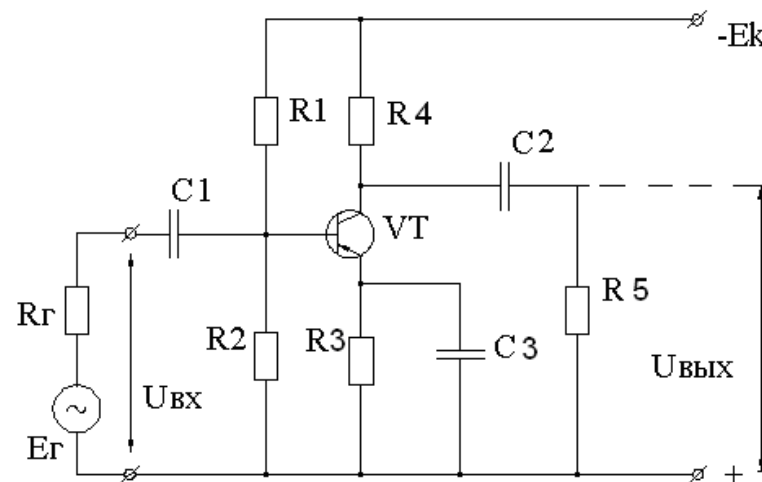


Рисунок 1 - Принципиальная электрическая схема усилителя напряжения

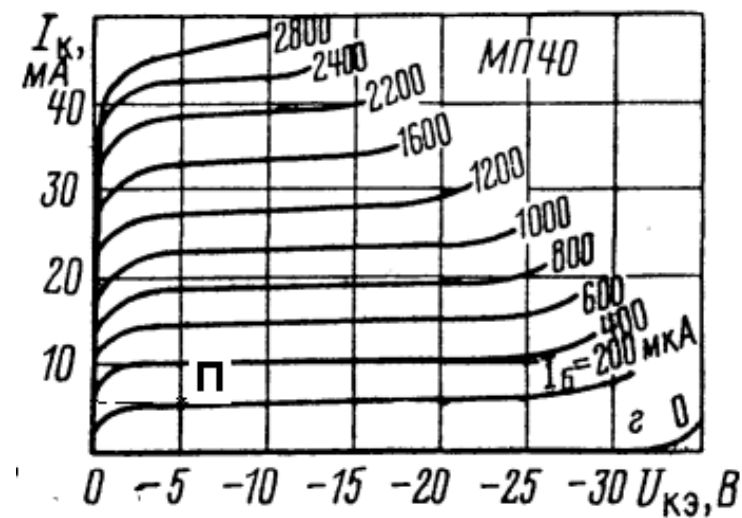


Рисунок 2—Семейство выходных характеристик транзистора

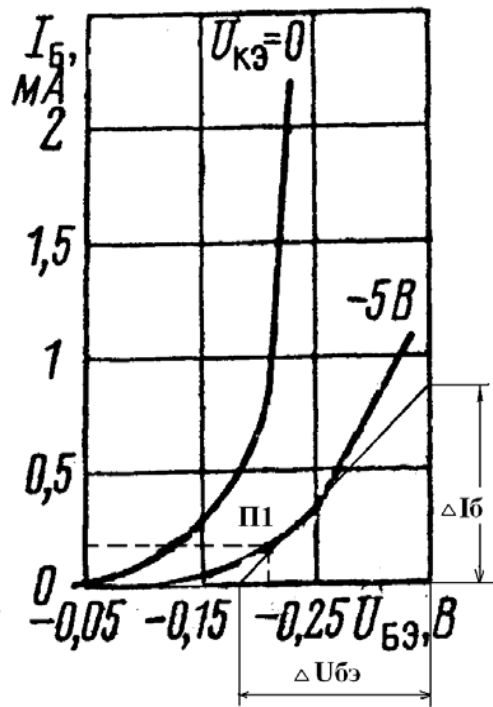


Рисунок 3 – Семейство входных характеристик транзистора

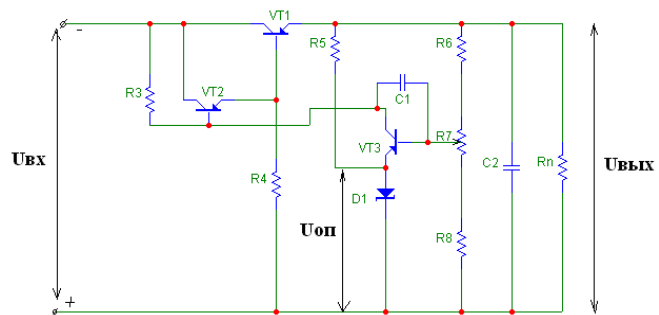


Рисунок 4 – Принципиальная электрическая схема стабилизатора напряжения

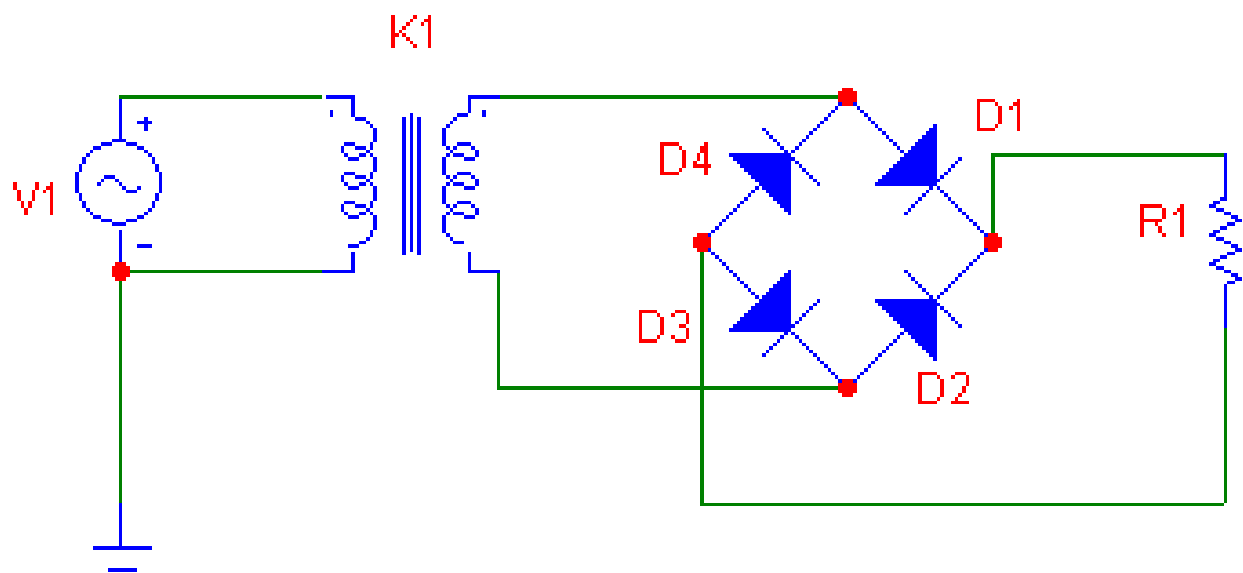


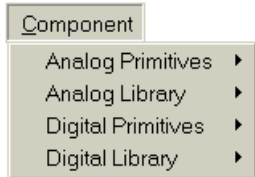
Рисунок 5 – Принципиальная электрическая схема однофазного мостового выпрямителя напряжения

## Приложение Б.

### 1. Содержание Меню программы MICROCAP:



### 2. При построении схемы использовать кнопку Меню



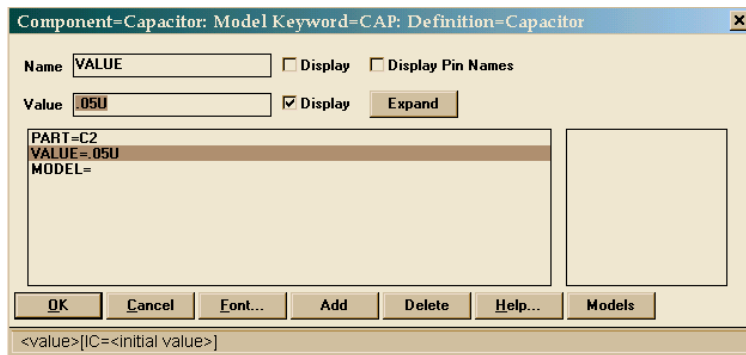
#### 2.1. Для выбора резисторов и конденсаторов:

##### 2.1.1.



#### 2.1.2. Установить требуемое номинальное значение R или C.

- двойной щелчок по элементу;



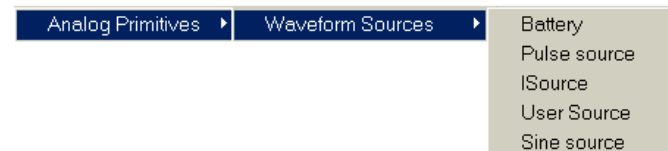
- изменение значения в строке Value. При этом буква и означа-

ет микро ( $10^{-6}$ ), к означает кило ( $10^3$ ), м означает милли ( $10^{-3}$ );

- изменение обозначения элемента в строке Part.

### 2.2. Для выбора источников напряжения:

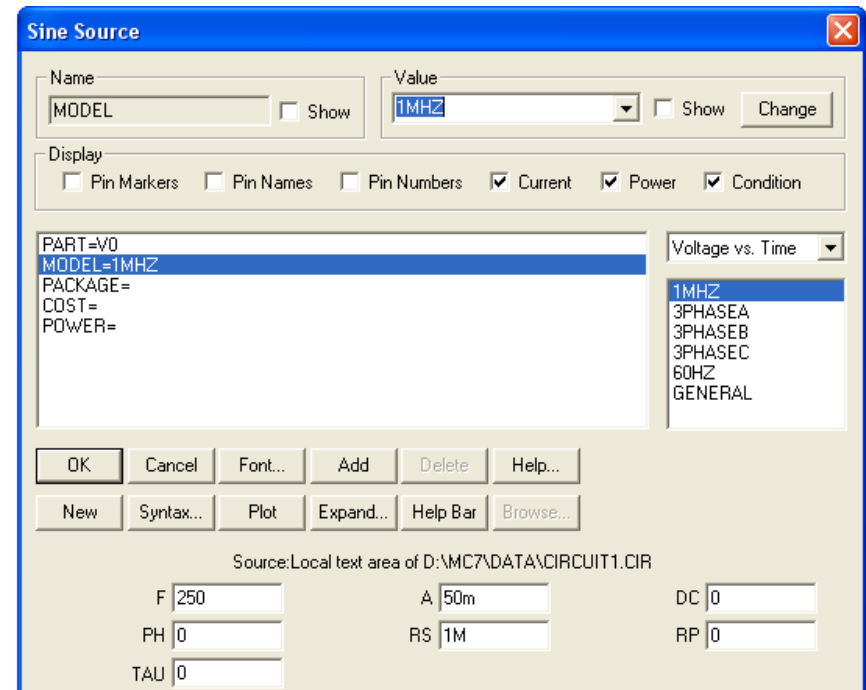
#### 2.2.1.



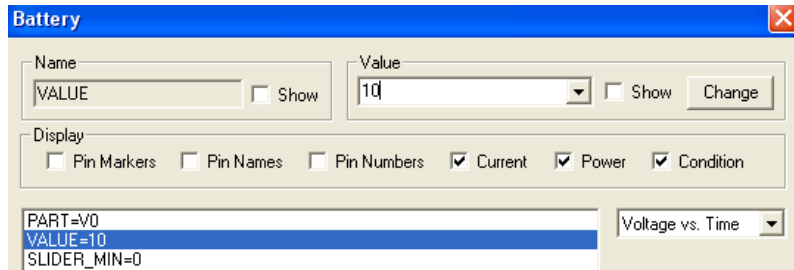
- для источника постоянного напряжения выбрать Battery;
- для источника переменного напряжения выбрать Sine source.

#### 2.2.2. Установить требуемое максимальное значение напряжения источника:

- двойной щелчок по источнику напряжения:
  - для источника переменного напряжения имеем:



- в списке предлагаемых моделей выбрать первую;
- в графе F поставить заданное значение  $f_n$ , а в графе A амплитудное значение входного напряжения.
- для источника постоянного напряжения имеем:

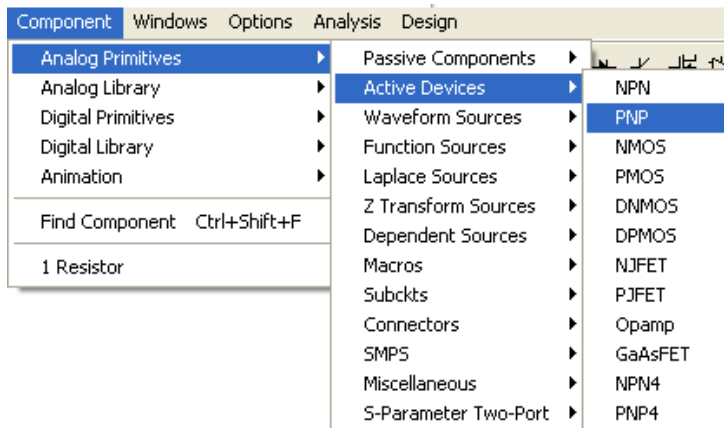


- в строке Value установить значение напряжения источника.

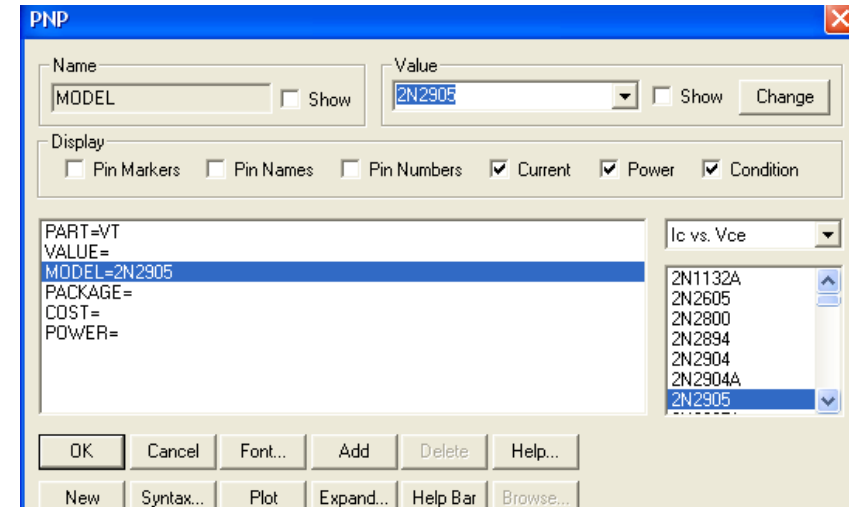
### 2.3. Для заземления



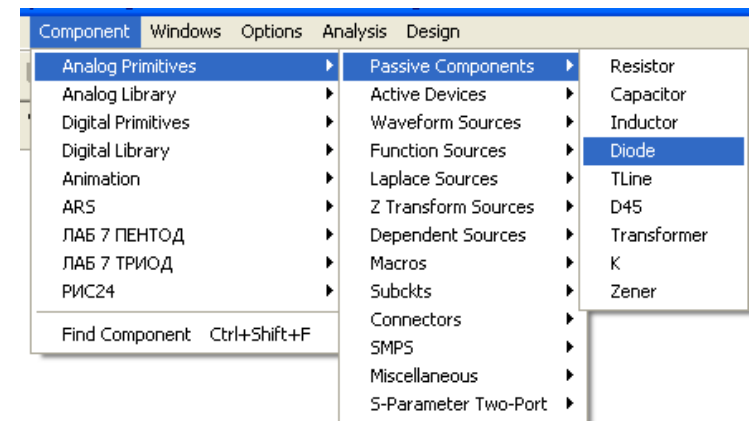
### 2.4. Для выбора транзистора:



- двойной щелчок по транзистору;
- установить модель транзистора в соответствии с исходным зарубежным аналогом;
- в графе Part набрать обозначение транзистора VT.

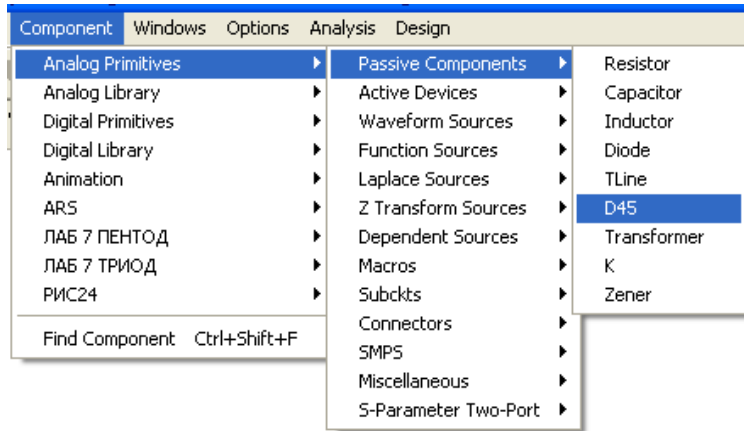


### 2.5. Для выбора диодов

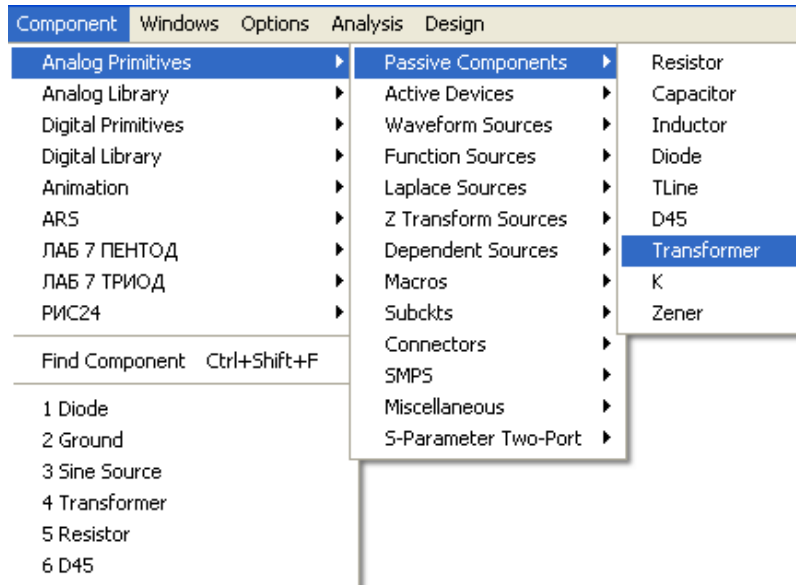




ИЛИ

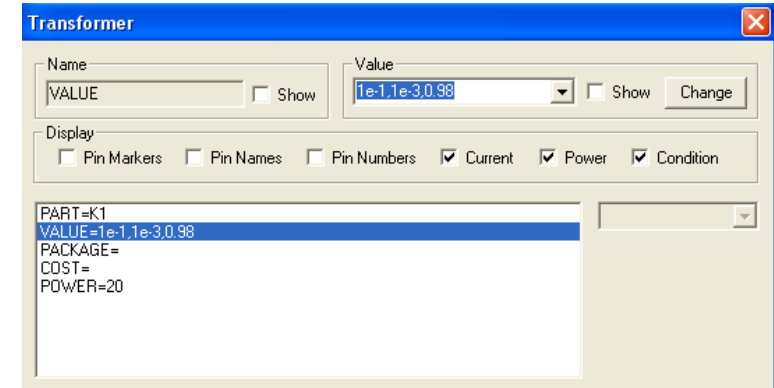


2.6. Для выбора трансформатора:

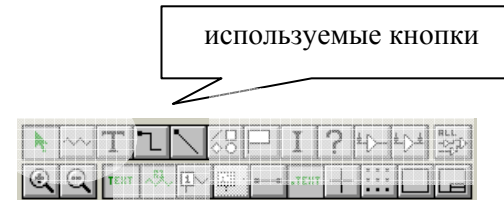


При установке трансформатора задать его обозначение в графе

PART=K1 и параметры в графе Value: например, 1e-1, 1e-3, 0.98, где 1e-1-значение индуктивности первичной обмотки (0.1 Гн), 1e-3-значение индуктивности вторичной обмотки (0.001 Гн), 0.98-связывающий коэффициент. В графе POWER указываем значение мощности трансформатора, в данном примере POWER=20. При определении этих параметров использовать коэффициент трансформации  $n$ .

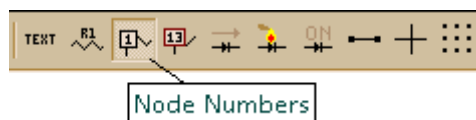


2.7. Для соединения элементов:

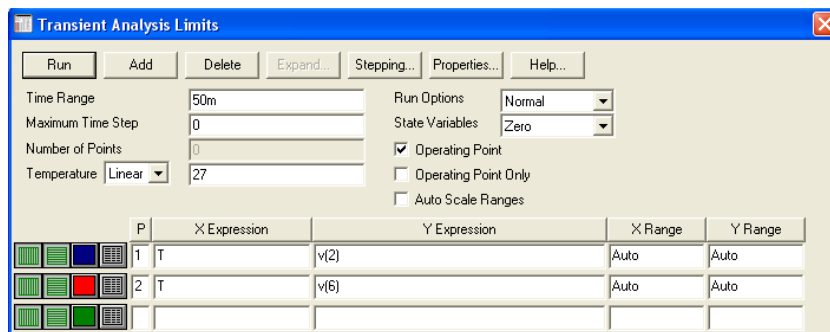


2.8. При ошибочном соединении, ненужную связь необходимо выделить, подведя курсор к линии и, сделав один щелчок, нажать Delete.

2.9. Для обозначения узлов в схеме нажать кн. Node Numbers:

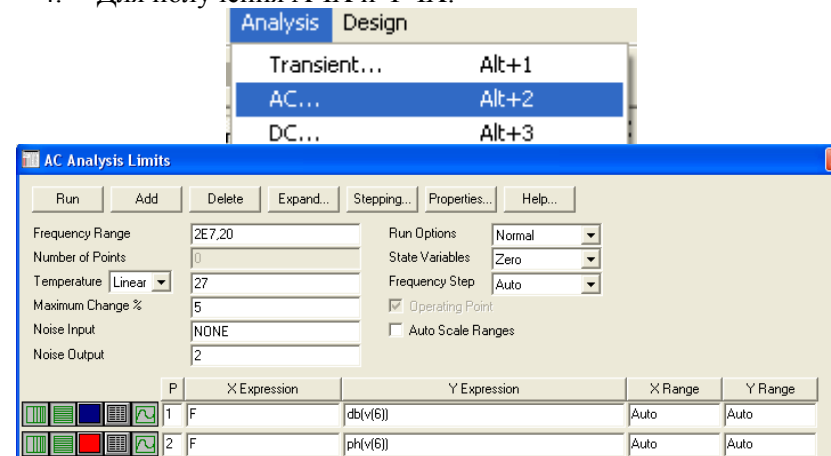


3. Для получения временных диаграмм:



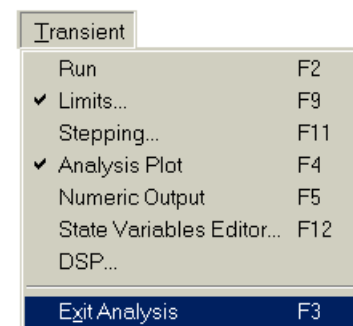
- в строке Time Range устанавливаем максимальное значение на временной оси: начальное значение от 5мс до 50мс;
- в столбце Y Expression в скобках установить номера входного и выходного узлов, например, v(2) и v(6);
- в столбцах X Range и Y Range с помощью правой клавиши установить режим Auto;
- через команду Run просмотреть полученные временные диаграммы.

4. Для получения АЧХ и ФЧХ:



- в столбце Y Expression в строке 1 для АЧХ устанавливаем коэффициент усиления в децибелах в выходном узле: db(v(6));
- в столбце Y Expression в строке 2 для ФЧХ устанавливаем угол сдвига фаз в выходном узле: ph(v(6));
- в столбцах X Range и Y Range с помощью правой клавиши установить режим Auto;
- через команду Run просмотреть полученные АЧХ и ФЧХ.

5. Для выхода из режима Analysis использовать кнопку Меню



## Приложение В

### Номинальные значения сопротивлений резисторов

Сопротивления выпускаемых резисторов имеют ограниченный ряд значений, который согласно международному стандарту называется рядом номинальных значений. Следующие величины, равные указанным значениям, умноженным на степень десяти, являются номинальными (число, стоящее после символа E, определяет количество номинальных величин в ряду):

Ряд	Числовые коэффициенты	Допустимые отклонения, %
E6	1,0 1,5 2,2 3,3 4,7 6,8	20%
E12	1,0 1,5 2,2 3,3 4,7 6,8 1,2 1,8 2,7 3,9 5,6 8,2	10%
E24	1,0 1,5 2,2 3,3 4,7 6,8 1,1 1,6 2,4 3,6 5,1 7,5 1,2 1,8 2,7 3,9 5,6 8,2 1,3 2,0 3,0 4,3 6,2 9,1	5%

### Номинальные значения емкостей конденсаторов

Каждый ряд задается числовыми коэффициентами. Конденсаторы изготавливают с номинальными емкостями, соответствующими одному из числовых коэффициентов, который надо умножить на  $10^n$ , где для ряда E6  $n=0,1,2,3,4$ , для ряда E12  $n=0,2,3,4$ , для ряда E24  $n=2,3,4$ .

Ряд	Числовые коэффициенты
E6	0,01 0,015 0,022 0,033 0,047 0,068
E12	0,01 0,015 0,022 0,033 0,047 0,068 0,012 0,018 0,027 0,039 0,056 0,082
E24	1,0 1,5 2,2 3,3 4,7 6,8 1,1 1,6 2,4 3,6 5,1 7,5 1,2 1,8 2,7 3,9 5,6 8,2 1,3 2,0 3,0 4,3 6,2 9,1

### Маркировка резисторов буквенно-цифровым кодом

Величина	Код	Величина	Код
0,47 Ом	R47	100 Ом	100R
1,0 Ом	1R0	1 кОм	1k0
4,7 Ом	4R7	10 кОм	10k
10 Ом	10R	100 кОм	100k
47 Ом	47R	1 МОм	1M0
		10 МОм	10M

### Маркировка резисторов цветовым кодом

На одном конце резистора расположены четыре цветные кодовые полосы. Первые три полосы, считая от края, определяют величину сопротивления, а четвертая полоса дает величину допуска (рисунок 6).

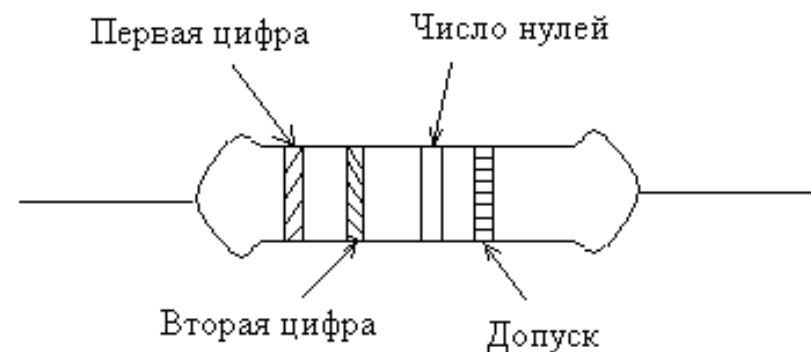


Рисунок 6 – К маркировке резисторов цветовым кодом

Значение цветов дано в таблице:

Первые три полосы	Полоса допуска
Черный 0	Коричневый $\pm 1\%$
Коричневый 1	Красный $\pm 2\%$
Красный 2	Золотой $\pm 5\%$
Оранжевый 3	Серебристый $\pm 10\%$
Желтый 4	Без полосы $\pm 20\%$  Пятая полоса желтовато-розового цвета указывает на высокостабильный резистор
Зеленый 5	
Голубой 6	
Фиолетовый 7	
Серый 8	
Белый 9	

Пример: резистор с сопротивлением 4700 Ом (4,7 кОм) и допуском  $\pm 10\%$  имеет следующие цвета полос:

желтый, фиолетовый, красный, серебристый

### Маркировка конденсаторов

Большинство конденсаторов имеют напечатанные на корпусе величину емкости и рабочее напряжение, т.е. имеют буквенно-цифровую маркировку: номинальную емкость конденсатора указывают в долях фарад: М – микрофарад, Н – нанофарад, П – пикофарад.

Если емкость конденсатора имеет целое число, то единицу этой величины пишут после числа: например, 33П – 33пФ. Если емкость выражается десятичной дробью меньше единицы, то буквенное обозначение ставят вместо нуля и запятой впереди числа: Н33 – 0,33 нФ. Если емкость выражается десятичной дробью больше единицы, то буквенное обозначение ставят вместо запятой: 6П8 – 6,8 пФ.

Может использоваться цветовая маркировка, как у резисторов, при этом величина емкости указывается в пикофарадах.

### Примеры типов отечественных биполярных транзисторов и их параметров (справочная информация)

Тип элемента	$I_K \text{ max, mA}$		$I_{КЭ} \text{ max, mA}$	$U_{КЭ} \text{ max, В}$	$U_{ЭБ} \text{ max, В}$	$P_K \text{ max}$ ( $P_{max}$ ), мВт	$T_c$ , °C	$T_{п \text{ max}}$ , °C	$T_{max}$ , °C	$h_{21э}$ ( $h_{21э}$ )	$U_{КБ}$ ( $U_{КЭ}$ ), В	$I_{Э}$ ( $I_K$ ), mA	$U_{КЭ \text{ нас}}$ , В	$I_{КЭБ}$ ( $I_{КЭБ}$ ), мкА	$f_{гр}$ ( $f_{г2}$ ), МГц	$C_K$ , пФ	$R_{г \text{ п-к}}$ ( $R_{г \text{ п-к}}$ ) °C/Вт
	$I_K$	$I_{КЭ}$															
ГТ122А	20	150	[35]	30		(150)	55	85	70	(15...45)	[5]	1		20	[1]		200
ГТ122Б	20	150	[20]	20		(150)	55		70	(15...45)	[5]	1		20	[1]		200
ГТ122В	20	150	[20]	20		(150)	55		70	(30...60)	[5]	1		20	[2]		200
ГТ122Г	20	150	[20]	20		(150)	55		70	(30...60)	[5]	1		20	[2]		200
КТ127А-1	50		[25]	25		15	70	125	85	(15...60)	[5]	1	0.5	1	0.1	5	300
КТ127Б-1	50		[25]	25		15	70	125	85	(40...200)	[5]	1	0.5	1	0.1	5	300
КТ127В-1	50		[45]	45		15	70	125	85	(15...60)	[5]	1	0.5	1	0.1	5	300
КТ127Г-1	50		[45]	45		15	70	125	85	(40...200)	[5]	1	0.5	1	0.1	5	300
КТ302А	10		15	15	4	100	35		85	110...250	[1]	0.11		1			
КТ302Б	10		15	15	4	100	35		85	90...150	[3]	2		1			
КТ302В	10		15	15	4	100	35		85	110...250	[1.5]	0.5		1			
КТ302Г	10		15	15	4	100	35		85	200...800	[3.5]	5		1			
М3А	50	100	[15]	15	10	75	25		73	(18...55)	1	10	0.5	[20]	1	35	800
МП10	20	150	[15]	15	15	(150)	55	85	70	10...30	5	1		30	[1]	60	200
МП101	20	100	20	20	20	150	75	150	125	10...25	5	1		[3]	[0.5]	150	556
МП101А	20	100	10	10	10	(150)	75	150	125	10...30	5	1		1	[0.5]	150	283
МП101Б	20	100	20	20	20	150	75	150	125	15...45	5	1		[3]	[0.5]	150	556
МП102	20	100	10	10	10	(150)	75	150	125	15...45	5	1		[3]	[0.5]	150	283
МП103	20	100	10	10	10	(150)	75	150	125	15...45	5	1		[3]	[1]	150	283
МП103А	20	100	10	10	10	(150)	75	150	125	10...30	5	1		[3]	[1]	150	283

**Примеры типов зарубежных аналогов биполярных транзисторов и их параметров (справочная информация)**

Тип элемента	Материал	$I_K \text{ max, mA}$	$I_{K, н. \text{ max, mA}}$	$U_{KЭР \text{ max, В}}$	$U_{KЭ0 \text{ max, В}}$	$U_{КБ0 \text{ max, В}}$	$U_{ЭВ0 \text{ max, В}}$	$P_{K \text{ max, (P}_{\text{max}}) \text{ мВт}}$	$T, ^\circ\text{C}$	$T_{п \text{ max, } ^\circ\text{C}}$	$T_{\text{ max, } ^\circ\text{C}}$	$h_{21э} (h_{21э}) [S_{21 \text{ пдп}}]$	$U_{КБ} (U_{КЭ}) \text{ В}$	$I_{э} (I_{К}) \text{ mA}$	$U_{КЭ \text{ нас, В}}$	$f_{КЭ0} (f_{КЭР}) \text{ MHz}$	$f_{гр} (f_{h21}) \text{ МГц}$	$C_{К, \text{ пф}}$
2N1000	Ge			25	40	150				100	25		0.5	100	15	7	20	
2N1005	Si	25		15	15	150				175	10	5	10		0.1			
2N1006	Si	25		15	15	150				175	25	5	10		0.1			
2N1010	Ge	2		10	10	20				60	35	3	0.3		10	2		
2N1012	Ge			22	40	150				100	40	0.25	100		5	3	20	
2N103	Ge	10			35	50				75	4	4.5	1		50	0.75	20	
2N1058	Ge	50		20		50				75	10	6	1		50	6	10	
2N1059	Ge	100		15	40	180				75	75	6	35		50	0.01		
2N1074	Si	100		40	50	250				150	14	5	5		1	0.2	65	
2N1075	Si	50		35	50	250				150	25	5	50		1	0.3	65	
2N1076	Si	50		30	50	250				150	50	5	5		1	0.4	65	
2N1077	Si	50		35	50	250				150	9	6	1		1	0.2	70	
2N1082	Si	50		25	25	200				175	10	5	10		0.5		5	
2N1086A	Ge	20		9	9	65				100	40	5	1		3	8		
2N1087	Ge	20		9	9	65				100	40	5	1		3	8		
2N1088	Ge	20		9	9	65				100	40	5	1		3	8		
2N1090	Ge	400		15	25	120				100	50	0.2	20		25	7	17	

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Аксенов А.И., Нефедов А.В. Отечественные полупроводниковые приборы/ Справочное пособие – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2005 – 583с.
2. Галкин В.И., Булычев А.Л. Полупроводниковые приборы: Транзисторы широкого применения/ Справочник – Мн.: Беларусь, 1995 – 383с.
3. Галкин В.И. Полупроводниковые приборы/ Справочник – Мн.: Беларусь, 1987 – 321с.
4. Разевиг В.Д. Система схемотехнического проектирования Micro-CAP V.-М.: “СОЛОН”, 1997.– 273с.
5. Джонс, М.Х. Электроника – практический курс. [Текст]: пер с англ. / М.Х.Джонс - Москва: Техносфера, 2006. – 512с.
6. Бабич, Н.П. Основы цифровой схемотехники: Учебное пособие [Текст] / Н.П. Бабич, И.А.Савелов. – Москва: Издательский дом «Додека-XXI», 2007. – 480с.
7. ГОСТ 2.702-75 ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.
8. ГОСТ 2.710-81 ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.
9. ГОСТ 2.770-73 ЕСКД. Обозначения условные графические. Приборы полупроводниковые.
10. ГОСТ 2.743-91 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники.
11. ГОСТ 2.759-82 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы аналоговой техники.

## СОДЕРЖАНИЕ

*Для заметок*

ВВЕДЕНИЕ.....	3
<i>Задание 1</i> .....	7
<i>Задание 2</i> .....	17
<i>Задание 3</i> .....	22
<i>Задание 4</i> .....	27
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	35
ЛИТЕРАТУРА.....	52

*Для заметок*

Учебное издание

**Матвеевко Ирина Петровна**

**ЭЛЕКТРОНИКА И ОСНОВЫ  
МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ**

*Учебно-методическое пособие  
по выполнению курсовой работы*

Ответственный за выпуск *О.Ч. Ролич*  
Компьютерная верстка *А.И. Стебуля*

Подписано в печать 09.04.2009 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офсетная. Офсетная печать.

Усл. печ. л. 3,25. Уч.-изд. л. 2,54. Тираж 70 экз. Заказ 792.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет».

ЛИ № 02330/0131734 от 10.02.2006.

ЛП № 02330/0131656 от 02.02.2006.

Пр. Независимости, 99–2, 220023, Минск.