

**ВЛАДИМИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Ю.Е. МИШУЛИН, В.А. НЕМОНТОВ**

# **ЦИФРОВАЯ СХЕМОТЕХНИКА**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

**ВЛАДИМИР 2007**

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Владимирский государственный университет

Ю.Е. МИШУЛИН, В.А. НЕМОНТОВ

ЦИФРОВАЯ СХЕМОТЕХНИКА

Лабораторный практикум

Владимир 2007

УДК 621.396, 681.32  
ББК 32.852

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор  
директор по науке НПП «Энергоприбор»  
*В.К. Новиков*

Доктор технических наук, профессор  
директор НТЦ ОАО завод «Автоприбор»  
*М.В. Руфицкий*

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Владимирского государственного университета

**Мишулин Ю.Е., Немонтов В.А.**

Цифровая схемотехника: Лаб. практикум. / Владим. гос. ун-т, Владимир, 2007. 67с.

Разработан в соответствии с Государственным образовательным стандартом Министерства образования Российской Федерации по специальностям 220401 «Мехатроника», 220402 «Роботы и робототехнические системы», 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств».

Приведены задания и исходные данные, определено содержание работ. Содержит описание лабораторных работ и необходимые для проведения занятий сведения о методике выполнения работ. Изложены вопросы построения цифровых устройств, используемых в микропроцессорных системах. Для исследований применяется система схемотехнического моделирования Electronics Workbench 5.0. Даются подробные методические указания по выполнению работ.

Подготовлены для студентов дневной формы обучения, а также ориентированы на студентов заочной формы обучения и студентов Центра реабилитации инвалидов.

Табл. 4. Ил. 37. Библиогр.: 11 назв.

УДК 621.396, 681.32  
ББК 32.852

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Лабораторная работа №1 ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ .....	5
Лабораторная работа №2 СИНТЕЗ КОМБИНАЦИОННЫХ СХЕМ.....	11
Лабораторная работа №3 РЕАЛИЗАЦИЯ СЧЕТЧИКОВ С ЗАДАННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ПЕРЕСЧЕТА .....	15
Лабораторная работа №4 МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ДИСКРЕТНОГО ВЫВОДА .....	18
Лабораторная работа №5 ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	21
Лабораторная работа №6 ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ.....	28
Лабораторная работа №7 УСТРОЙСТВО ЗАПИТКИ И ОЦИФРОВКИ ДАТЧИКА ТИПА СКВТ .....	37
<i>ПРИЛОЖЕНИЕ. СИСТЕМА СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ELECTRONICS WORKBENCH 5.0.....</i>	<i>44</i>
1. ИНТЕРФЕЙС <i>ELECTRONICS WORKBENCH</i> .....	45
2. ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА <i>ELECTRONICS WORKBENCH</i> .....	57
3. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ .....	62
4. МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ .....	63
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	67

## **ВВЕДЕНИЕ**

*Лабораторный практикум содержит описание лабораторных работ по дисциплине «Цифровая схемотехника» и включает основные положения по проектированию цифровых систем управления, таких как синтез простейших комбинационных схем, проектирование устройств дискретного вывода, систем цифрового управления двигателями постоянного тока и шаговыми двигателями.*

*Лабораторные работы выполняются на моделях реальных систем с использованием системы схемотехнического моделирования Electronics Workbench 5.0. Основные приёмы моделирования приведены в приложении.*

*Лабораторные занятия строятся таким образом, чтобы студенты, выполняя задания, отрабатывали навыки анализа и синтеза цифровых систем на основе основной базовой модели, которая постепенно усложняется и корректируется. Каждая лабораторная работа содержит краткие теоретические сведения, задания и контрольные вопросы.*

*Практикум предназначен для студентов технических специальностей, изучающих элементную базу цифровых систем управления.*

## Лабораторная работа №1 ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ

Для задания логической функции используют аналитический способ и табличный (таблица истинности).

При аналитическом способе задания логической функции используют логические уравнения, например:  $y = x_1 + x_3 \cdot \bar{x}_3 \cdot (x_2 + x_3)$ .

Полученное логическое выражение в ряде случаев можно значительно упростить, или минимизировать. Для этого используется несколько методов.

1. Метод непосредственных преобразований. При этом методе используются законы алгебры логики.

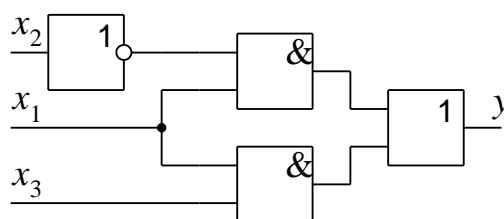
*Пример 1.*

Пусть дана логическая функция трех переменных  $y = f(x_1, x_2, x_3)$ , записанная в виде выражения  $y = x_1 + x_3 \cdot (x_1 + \bar{x}_3) \cdot (x_2 + x_3)$ . Выполним преобразования функции с целью ее минимизации, используя законы алгебры логики.

$$\begin{aligned}
 y &= x_1 + x_3 \cdot (x_1 + \bar{x}_3) \cdot (x_2 + x_3) \stackrel{\text{<распределительный закон №3>}}{=} \\
 &= x_1 + x_3 \cdot \bar{x}_3 \cdot (x_2 + x_3) \stackrel{\text{<закон противоречия №7>}}{=} \\
 &= x_1 + 0 \cdot (x_2 + x_3) \stackrel{\text{<распределительный закон №3>}}{=} x_1 \cdot (x_2 + x_3) \\
 &= x_1 \cdot \bar{x}_2 + x_1 \cdot x_3.
 \end{aligned}$$

Очевидно, что полученное выражение значительно проще исходного. Построим структурную схему на логических элементах, реализующую данную функцию.

Аргумент  $\bar{x}_2$  получается использованием элемента логическое «НЕ» (инвертор). Операции конъюнкции  $x_1 \cdot \bar{x}_2$  и  $x_1 \cdot x_3$  выполняются с помощью элемента «И». И, наконец, операция дизъюнкции выполняется на элементе «ИЛИ». Структурная схема имеет следующий вид:



Пример 2.

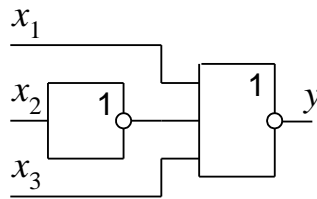
$$y = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 + x_1 \cdot \bar{x}_2 + x_1 \cdot x_2 + x_2 \cdot x_3.$$

Выполним преобразования, используя законы алгебры логики.

$$\begin{aligned} y &= \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 + x_1 \cdot \bar{x}_2 + x_1 \cdot x_2 + x_2 \cdot x_3 = \bar{x}_2 \cdot (\bar{x}_1 + x_1) + x_2 \cdot (x_1 + x_3) \\ &= \bar{x}_2 + x_2 \cdot (x_1 + x_3) \end{aligned}$$

Далее используем закон исключенного третьего  $x + \bar{x} \cdot y = x + y$ .

Обозначим  $x$  как  $\bar{x}_2$ , а  $y$  как  $x_1 + x_3$  и подставим эти значения в выражение. В соответствии с правой частью закона получилось итоговое выражение  $y = \bar{x}_2 + x_1 + x_3$  и структурная схема, реализующая эту функцию.

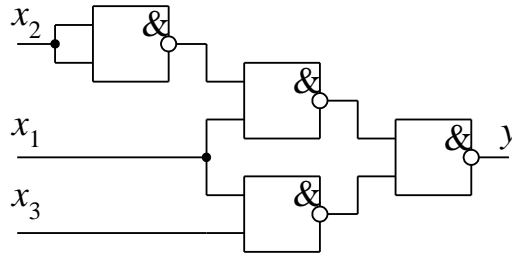


Часто необходимо формировать логическую схему на элементах только одного типа, например, «2И–НЕ». Преобразуем выражение, рассмотренное в первом примере, используя формулы де Моргана, чтобы исключить

а) операцию логического «ИЛИ» и реализовать схему на элементах «2И–НЕ» (цифра 2 обозначает, что элемент имеет два входа).

Преобразуем формулу де Моргана  $\bar{x} + \bar{y} = \overline{x \cdot y}$ , используя следующие обозначения:  $x$  обозначим как  $\bar{x}$ , а  $y$  как  $\bar{y}$ . Тогда формула де Моргана запишется в виде  $x + y = \overline{\bar{x} \cdot \bar{y}}$ . Используя полученное выражение, выполним преобразование логической функции. В полученное выражение формулы де Моргана введем подстановки:  $x = x_1 \cdot \bar{x}_2$ ,  $y = x_1 \cdot x_3$ . Тогда получим  $x_1 \cdot \bar{x}_2 + x_1 \cdot x_3 = \overline{\overline{x_1 \cdot \bar{x}_2} \cdot \overline{x_1 \cdot x_3}}$ . Аргумент  $\bar{x}_2$  можно записать в виде  $\bar{x}_2 = x_2 \cdot x_2$ . Конечное выражение записывается в виде  $x_1 \cdot \overline{\overline{x_2 \cdot x_2} \cdot \overline{x_1 \cdot x_3}}$ .

Получаем структурную схему, реализованную только на элементах «И–НЕ», имеющих по два входа:

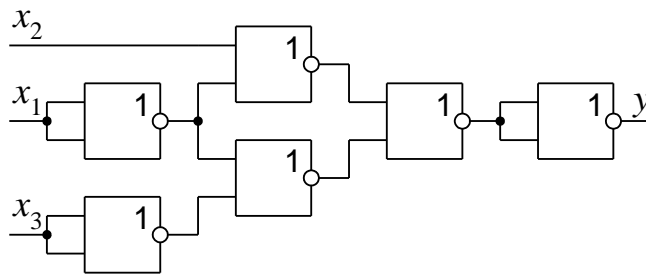


б) операцию логического «И» (на элементах «2ИЛИ–НЕ»).

Выполним аналогичные преобразования формулы де Моргана  $\overline{x \cdot y} = \overline{x} + \overline{y}$ . Обозначим  $x$  как  $\overline{\overline{x}}$ , а  $y$  как  $\overline{\overline{y}}$ . Формула де Моргана запишется в виде  $x \cdot y = \overline{\overline{x} + \overline{y}}$ . Выполнив соответствующие подстановки и преобразования, получим:

$$x_1 \cdot \overline{x_2} + x_1 \cdot x_3 = \overline{\overline{x_1} + x_2} + \overline{\overline{x_1} + \overline{x_3}} = \overline{\overline{\overline{x_1} + x_1} + x_2} + \overline{\overline{\overline{x_1} + x_1} + \overline{\overline{x_3} + x_3}}.$$

Получаем структурную схему, заменив  $\overline{\overline{x_1} + x_1} = \overline{x_1}$  и  $\overline{\overline{x_3} + x_3} = \overline{x_3}$ .



Метод непосредственных преобразований применяется в том случае, если логическая функция задана небольшим количеством аргументов, обычно 2-3 аргумента. Если число аргументов больше, то этот становится трудоемким. Поэтому применяют такие методы минимизации, как метод Квайна, Квайна – Мак-Класки, Петрика, карт Вейча и другие.

Сущность метода с использованием карт Карно описана в [7].

*Пример.* Пусть задана логическая функция четырех переменных  $P = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$ . Функция записывается в виде

$$P = \{0,1,4,6,7,8,9,10,14,15\}.$$

Данная запись обозначает, что функция  $P$  равна единице при указанных значениях десятичных эквивалентов логических аргументов. В остальных случаях функция равна нулю. Таблица истинности данной функции приведена в табл.1.



После подстановки единичных значений функции в карту можно выделить четыре контура (рис.1.1). Контур I и II содержат по четыре единицы, а контуры III и IV – по две. Запишем конъюнкцию для первого контура  $k_I = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4$ . Аргументы  $x_1$  и  $x_4$  в этом контуре принимают значения 0 и 1, поэтому их можно исключить из выражения. Аргументы  $x_2$  и  $x_3$  принимают

$x_1, x_2$					
$x_3, x_4$	00	01	11	10	
00	1	1		1	II
01	1			1	
11		1	1		I
10		1	1	1	
					III

Рис. 1.1. Карта Карно

Таблица 1

Таблица истинности функции

ДЭ	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$P$
0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	1
2	0	0	1	0	0
3	0	0	1	1	0
4	0	1	0	0	1
5	0	1	0	1	0
6	0	1	1	0	1
7	0	1	1	1	1
8	1	0	0	0	1
9	1	0	0	1	1
10	1	0	1	0	1
11	1	0	1	1	0
12	1	1	0	0	0
13	1	1	0	1	0
14	1	1	1	0	1
15	1	1	1	1	1

значение 1, и их записывают без инверсии. Если аргумент в контуре равен нулю, то его записывают с инверсией. В итоге конъюнкция для первого контура запишется в виде

$$k_I = x_2 \cdot x_3.$$

Аналогично записываем конъюнкции для остальных контуров

$$k_{II} = \overline{x_2} \cdot \overline{x_3};$$

$$k_{III} = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_4};$$

$$k_{IV} = \overline{x_1} \cdot \overline{x_3} \cdot \overline{x_4}.$$

Минимальную функцию получаем дизъюнкцией полученных значений конъюнкций для каждого контура

$$P_{\min} = x_2 \cdot x_3 + \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} + \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_4} + \overline{x_1} \cdot \overline{x_3} \cdot \overline{x_4}.$$

Функциональная схема устройства, соответствующая минимальной функции приведена на рис.1.2.

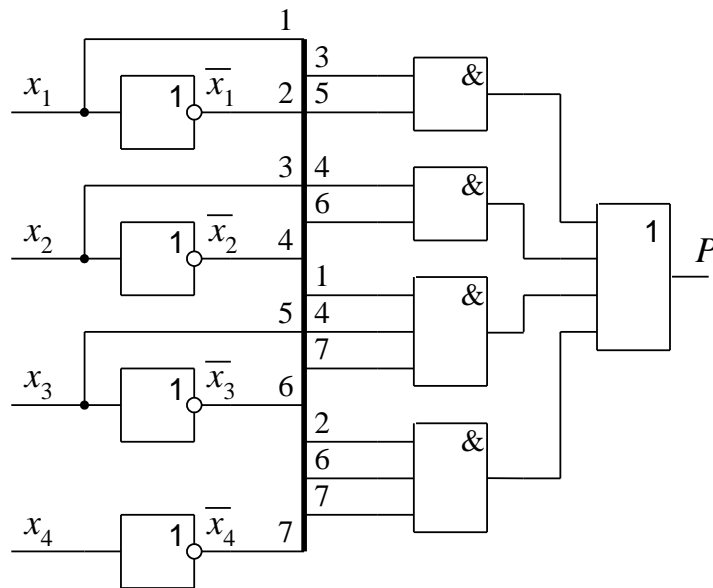


Рис. 1.2. Функциональная схема устройства

Следующим этапом разрабатывается принципиальная схема с минимальным числом элементов или на указанной элементной базе, например на элементах «И-НЕ». При этом выполняются преобразования логического уравнения с использованием формул де Моргана.

**Задание.** Дана функция четырех переменных  $y = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$ . Минимизировать логическое выражение методом непосредственных преобразований. Построить функциональную схему устройства для минимального выражения. Построить логическую схему на элементах «2И–НЕ».

Провести исследование в системе схемотехнического моделирования *Electronics Workbench* исходного выражения, минимизированного выражения и выражения, реализованного на элементах «2И–НЕ». Сделать соответствующие выводы.

### Контрольные вопросы

1. Назовите основные операции булевой алгебры. Как они описываются с помощью таблиц истинности; с помощью аналитических выражений?
2. Приведите пример описания функции алгебры логики в словесной форме; в виде таблицы истинности; в виде аналитического выражения; в дизъюнктивной и конъюнктивной нормальной форме.
3. Как строится структурная схема логического устройства по заданному логическому выражению?
4. В чем заключается цель и принцип минимизации логической функции?

Задания к выполнению лабораторной работы

Вариант	Функция
1	$y = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 + x_1 \cdot \bar{x}_2 + x_1 \cdot x_2 + x_2 \cdot x_3$
2	$y = x_1 \cdot \bar{x}_3 + x_1 \cdot x_2 + \bar{x}_2 \cdot x_3 + \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_4$
3	$y = x_1 \cdot \bar{x}_4 + x_2 \cdot \bar{x}_3 + \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_4 + x_1 \cdot x_3$
4	$y = x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_4 + \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_4 + x_1 \cdot x_3 + x_2 \cdot x_3$
5	$y = \bar{x}_1 \cdot x_3 \cdot x_4 + \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_4 + x_2 \cdot \bar{x}_4 + x_1 \cdot x_3$
6	$y = x_2 \cdot x_3 + x_3 \cdot x_4 + \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 + x_1 \cdot x_4$
7	$y = x_1 \cdot x_4 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + \bar{x}_1 \cdot x_3 \cdot \bar{x}_4 + x_2 \cdot \bar{x}_3$
8	$y = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_4 + x_2 \cdot \bar{x}_3 + x_3 \cdot \bar{x}_4$
9	$y = \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_4 + x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 + x_1 \cdot x_4 + \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3$
10	$y = \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_4 + \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_3 + x_1 \cdot x_3 \cdot x_4 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$
11	$y = x_1 \cdot x_3 + \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_4 + \bar{x}_1 \cdot x_3 \cdot x_4 + \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_4$
12	$y = x_1 \cdot x_4 + x_2 \cdot \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_4 + x_2 \cdot \bar{x}_4 + \bar{x}_1$
13	$y = x_1 \cdot x_2 + x_2 \cdot x_3 + \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_4 + x_1 \cdot \bar{x}_4$
14	$y = x_1 \cdot \bar{x}_3 + \bar{x}_1 \cdot x_4 + \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 \cdot x_4 + \bar{x}_2 \cdot x_3$
15	$y = x_2 \cdot x_4 + \bar{x}_1 \cdot x_3 \cdot \bar{x}_4 + x_2 \cdot x_3 + \bar{x}_3 \cdot x_4$
16	$y = x_3 \cdot x_4 + \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 + x_1 \cdot x_3 + \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 \cdot x_4$
17	$y = x_1 \cdot x_4 + \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_4 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + \bar{x}_1 \cdot x_3$
18	$y = \bar{x}_1 \cdot x_2 + x_2 \cdot x_3 \cdot \bar{x}_4 + x_3 \cdot \bar{x}_4 + \bar{x}_1 \cdot x_4$
19	$y = \bar{x}_1 \cdot x_3 + \bar{x}_2 \cdot x_4 + \bar{x}_1 \cdot x_3 \cdot x_4 + \bar{x}_2 \cdot x_3$
20	$y = x_2 \cdot \bar{x}_4 + \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3 + \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_4 + x_1 \cdot x_3$
21	$y = x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 + \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_4 + x_2 \cdot \bar{x}_3 + x_3 \cdot \bar{x}_4$
22	$y = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 + \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_3 + x_1 \cdot x_3 \cdot x_4 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$
23	$y = x_1 \cdot \bar{x}_4 + x_2 \cdot \bar{x}_3 + \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_4 + x_1 \cdot x_2$
24	$y = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_4 + x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 + \bar{x}_1 \cdot x_4 + \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3$
25	$y = x_1 \cdot \bar{x}_2 + \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_4 + \bar{x}_1 \cdot x_3 \cdot x_4 + \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_4$

## Лабораторная работа №2 СИНТЕЗ КОМБИНАЦИОННЫХ СХЕМ

Синтез логических устройств состоит из нескольких этапов.

1. Формируются логические условия работы схемы в виде таблицы истинности.

Рассмотрим пример. Имеется резервуар с тремя впускными клапанами. По условию работы резервуар можно наполнять только в том случае, если открыт только один впускной клапан (см. рис.2.1).

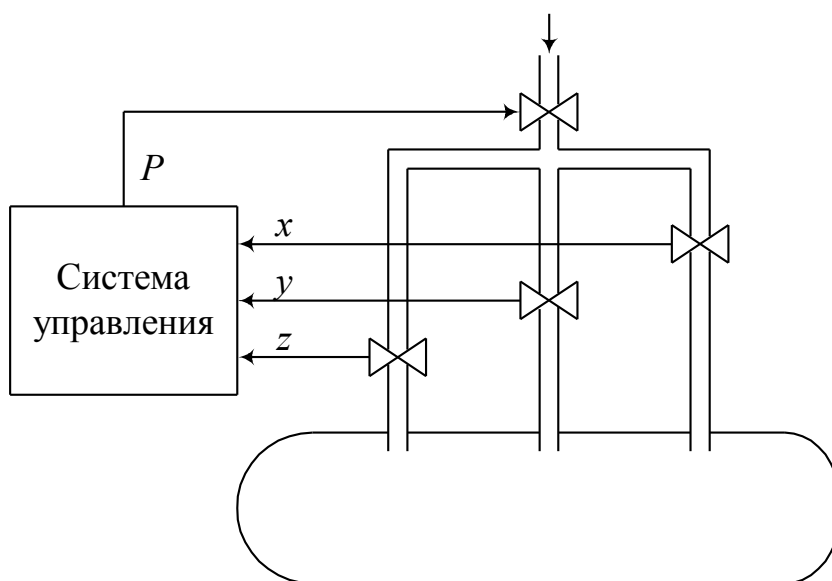


Рис. 2.1. Устройство управления

Необходимо сформировать логическую функцию  $P$ , удовлетворяющую заданным условиям работы. Аргументами функции являются переменные  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , которые информируют о состоянии впускных клапанов. Функция  $P$  равна единице только тогда, когда только один из аргументов равен единице.

Составим таблицу истинности (табл.2). Число возможных комбинаций состояний аргументов равно  $2^n$ , где  $n$  – число аргументов. Функция  $P$  имеет три аргумента. Следовательно, в нашем примере число комбинаций

Таблица 2

Таблица истинности

ДЭ	$x$	$y$	$z$	$P$
0	0	0	0	0
1	0	0	1	1
2	0	1	0	1
3	0	1	1	0
4	1	0	0	1
5	1	0	1	0
6	1	1	0	0
7	1	1	1	0

равно  $2^3 = 8$ . В первом столбце таблицы записывается десятичный эквивалент (ДЭ) состояний аргументов. Например ДЭ = 6, что соответствует состоянию аргументов 110 – это число шесть, записанное в двоичной системе счисления ( $x = 1, y = 1, z = 0$ ). В столбце P записывается значение функции. Функция  $P = 1$ , если один из аргументов равен нулю, что соответствует десятичным эквивалентам 1, 2 и 4. В остальных случаях функция равна нулю.

2. Составление СДНФ (или СКНФ) логической функции

Правила образования СДНФ:

1. По каждому набору двоичной переменной, при котором функция принимает значение = 1, составляется элементарная конъюнкция.
2. Логические переменные записываются инверсными, если они заданы нулем.
3. Элементарные конъюнкции объединяются дизъюнкцией.

Правила образования СКНФ:

1. По каждому набору двоичной переменной, при котором функция принимает значение = 0, составляется элементарная дизъюнкция.
2. Логические переменные записываются инверсными, если они заданы единицей.
3. Элементарные дизъюнкции объединяются конъюнкцией.

В табл.3. записаны СКНФ и СДНФ логической функции.

Таблица 3

Таблица истинности функции

ДЭ	$x$	$y$	$Z$	$P$	СДНФ	СКНФ
0	0	0	0	0		$x + y + z$
1	0	0	1	1	$\bar{x} \cdot \bar{y} \cdot z$	
2	0	1	0	1	$\bar{x} \cdot y \cdot \bar{z}$	
3	0	1	1	0		$x + \bar{y} + \bar{z}$
4	1	0	0	1	$x \cdot \bar{y} \cdot \bar{z}$	
5	1	0	1	0		$\bar{x} + y + \bar{z}$
6	1	1	0	0		$\bar{x} + \bar{y} + z$
7	1	1	1	0		$\bar{x} + \bar{y} + \bar{z}$

В результате получены:

$$\text{СДНФ: } P = \bar{x} \cdot \bar{y} \cdot z + \bar{x} \cdot y \cdot \bar{z} + x \cdot \bar{y} \cdot \bar{z}.$$

$$\text{СКНФ: } P = (x + y + z)(x + \bar{y} + \bar{z})(\bar{x} + y + \bar{z})(\bar{x} + \bar{y} + z)(\bar{x} + \bar{y} + \bar{z}).$$

3. Производится минимизация логической функции.

Используется метод непосредственных преобразований или методы Квайна, Квайна – Мак-Класки, Петрика, карт Вейча и другие.

4. Строится функциональная схема устройства.

5. Разрабатывается принципиальная схема с минимальным числом элементов или на указанной элементной базе.

**Задание.** Выполнить синтез комбинационной схемы логической функции пяти переменных, заданной в виде значений десятичных эквивалентов логических аргументов  $y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$  (см. лаб. работу №1). Составить СДНФ, провести минимизацию логической функции, построить функциональную схему устройства.

Провести исследование в системе схемотехнического моделирования *Electronics Workbench* исходного и минимизированного выражения и выражения. Сделать соответствующие выводы.

### Контрольные вопросы

1. В чем отличие позиционной системы счисления от непозиционной?
2. В чем заключается минимизация функции с помощью карт Вейча?
3. Представьте карты Карно для функции четырех, пяти и шести переменных.
4. Перечислите этапы синтеза комбинационных схем.
5. Как строится структурная схема логического устройства?
6. В чем отличие СКНФ от СДНФ?
7. Приведите пример описания функции алгебры логики в словесной форме; в виде таблицы истинности; в виде алгебраического выражения, в виде последовательности чисел.

Задания к выполнению лабораторной работы

Вариант	Функция
1	$y = \{4,5,12,13,14,15,19,23,24,25\}$
2	$y = \{0,1,4,5,12,13,14,17,19,27,28,29\}$
3	$y = \{0,1,2,3,4,5,6,7,17,21,24,25,26,27\}$
4	$y = \{1,5,8,9,10,11,20,21,22,23,24,25,26,27\}$
5	$y = \{2,3,11,12,13,14,15,16,17,18,19,28,29\}$
6	$y = \{4,5,19,20,21,22,23,24,25,26\}$
7	$y = \{0,5,10,17,19,21,23,26,29,31\}$
8	$y = \{3,7,8,9,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25\}$
9	$y = \{2,3,4,5,8,9,10,11,28,29,30,31\}$
10	$y = \{4,5,7,8,9,10,11,16,17,18,19,24,25\}$
11	$y = \{0,1,6,7,12,13,18,19,24,25,26,27\}$
12	$y = \{3,8,10,12,13,14,15,16,17,18,19\}$
13	$y = \{4,5,6,7,9,11,16,17,18,19,20,21\}$
14	$y = \{4,5,8,9,12,13,19,28,29,30,31\}$
15	$y = \{0,1,9,12,13,14,15,17,21,25,26\}$
16	$y = \{4,5,8,9,14,15,17,21,25,29\}$
17	$y = \{2,4,5,6,7,10,12,13,16,17,30,31\}$
18	$y = \{1,5,8,10,14,15,16,17,20,21,30,31\}$
19	$y = \{0,2,4,6,8,9,10,11,23,28,29,30,31\}$
20	$y = \{2,3,6,7,8,10,14,15,28,30,31\}$
21	$y = \{0,1,2,3,10,11,16,20,21,22,23,24\}$
22	$y = \{1,3,5,7,10,11,16,20,21,24,26,27,30\}$
23	$y = \{10,11,16,17,19,20,21,26,27,28,30\}$
24	$y = \{0,3,7,8,11,15,16,19,20,23,27,28,31\}$
25	$y = \{0,1,2,3,5,7,10,11,16,20,21,24,26,27,30\}$

### Лабораторная работа №3 РЕАЛИЗАЦИЯ СЧЕТЧИКОВ С ЗАДАНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ПЕРЕСЧЕТА

На практике часто используются счетчики как делители частоты с коэффициентом отличным от  $2^n$ . Наиболее часто используются счетчики с модулем счета 10, т.е. двоично-десятичные счетчики. При построении таких счетчиков в основном используется метод управляемого сброса.

При этом методе принудительно формируется сигнал сброса триггеров счетчика при появлении на его выходе кода, совпадающего с требуемым модулем счета.

На рис.3.1 показана схема преобразования четырехразрядного двоичного счетчика в двоично-десятичный. Для этого на входы дополнительного логического элемента «И» необходимо подать комбинацию выходных сигналов триггеров, соответствующую коду 1010, т.е.  $Q_3\bar{Q}_2Q_1\bar{Q}_0$ . В этом случае при появлении на выходе счетчика кода 1010 элемент «И» сформирует сигнал сброса и на выходе счетчика установится нулевой код. Временные диаграммы на рис. 3.2 поясняют принцип работы двоично-десятичного счетчика.

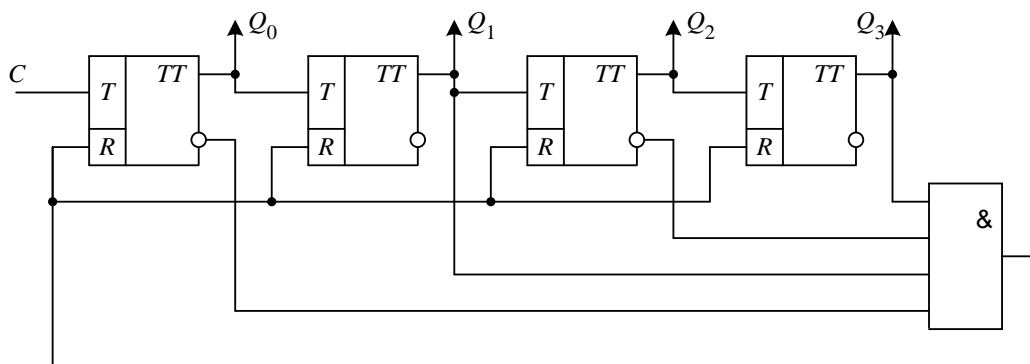


Рис. 3.1. Двоично-десятичный счетчик

Решение этой задачи можно упростить. Так при проектировании на основе двоичного счетчика двоично-десятичного число входов дополнительного элемента может быть уменьшено до двух, на которые достаточно подать значения  $Q_3$  и  $Q_1$ . Например, из двоичного счетчика К555ИЕ5 можно организовать двоично-десятичный счетчик в соответствии со схемой, приведенной на рис. 3.3.



Используя метод управляемого сброса на основе двоичных счетчиков можно реализовать любой модуль счета.

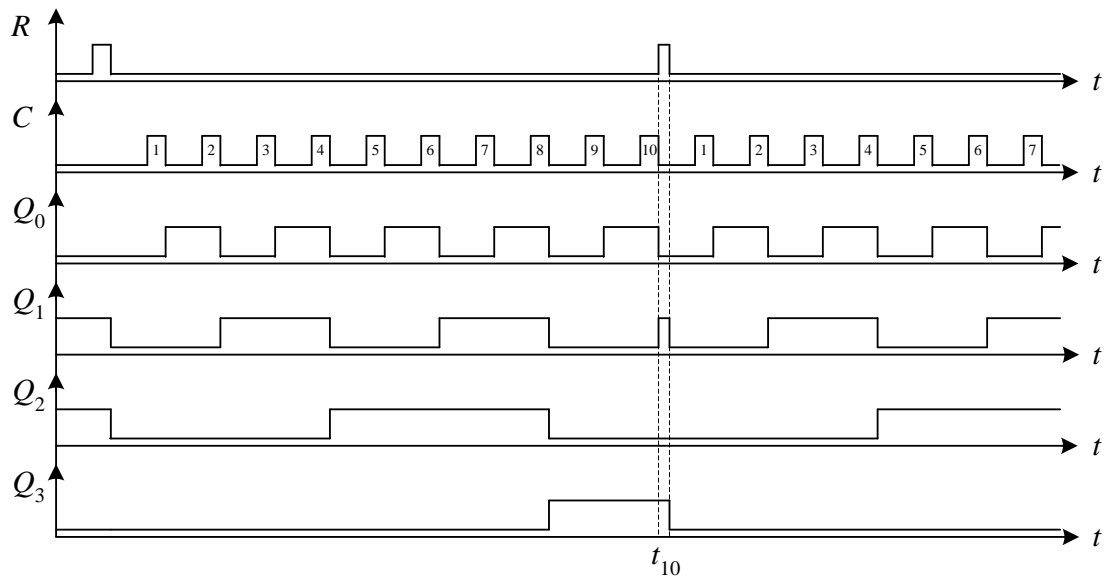


Рис. 3.2. Временные диаграммы двоично-десятичного счетчика

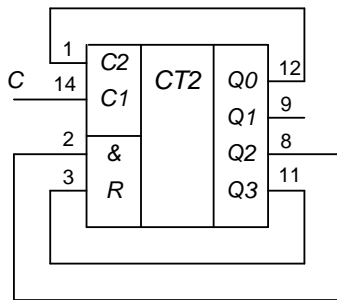


Рис. 3.3. Счетчик K555IE5

Промышленностью выпускается широкая номенклатура двоично-десятичных счетчиков как асинхронных, так и синхронных. Счетчик K555IE2 является двоично-десятичным и по своей структуре аналогичен счетчику IE5. Точно также парой реверсивного асинхронного двоичного счетчика IE7 является двоично-десятичный счетчик IE6, а для синхронного реверсивного двоичного счетчика IE17 выпускается аналогичный

двоично-десятичный счетчик IE16.

В обозначении двоично-десятичного счетчика вместо символа CT2 ставится символ CT2/10.

**Задание.** Составить функциональную схему счетчика с заданным коэффициентом пересчета. Реализовать данную схему на цифровой микросхеме указанной в таблице (по вариантам). Начертить временные диаграммы, поясняющие принцип работы спроектированного устройства.

Провести исследование в системе схемотехнического моделирования *Electronics Workbench* функциональной схемы и схемы, реализованной на указанном элементе. Сделать соответствующие выводы.

## Контрольные вопросы

1. Каково назначение и состав триггерных устройств?
2. Назовите основные параметры и признаки классификации счетчиков.
3. Опишите способы связи между разрядными схемами счетчиков. Чем они различаются между собой?
4. Каким образом повышается быстродействие счетчиков?
5. Как осуществляется предварительная установка счетчиков?
6. Как представляется двоичная информация в параллельном и последовательном коде?

### Задания к выполнению лабораторной работы

Вариант	Коэффициент пересчета, $N$	Микросхема	Вариант	Коэффициент пересчета, $N$	Микросхема
1	8	K555IE2	13	13	K1533IE17
2	9	K555IE5	14	14	K1533IE18
3	10	K555IE7	15	8	K1531IE9
4	11	K555IE10	16	9	K1531IE7
5	12	K555IE18	17	10	K1531IE10
6	13	K555IE17	18	11	K1531IE17
7	14	K555IE7	19	12	K1531IE18
8	8	K555IE6	20	13	K1531IE5
9	9	K1533IE10	21	14	K1531IE18
10	10	K1533IE18	22	9	K1531IE16
11	11	K1533IE7	23	10	K1531IE5
12	12	K1533IE5	24	11	K1531IE18

## Лабораторная работа №4

### МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ДИСКРЕТНОГО ВЫВОДА

Устройства дискретного вывода – коммутаторы – используются для управления объектами с двумя состояниями. Различают релейные, транзисторные и тиристорные коммутаторы.

При проектировании релейных коммутаторов для надежного их срабатывания необходимо учитывать значения напряжений логического нуля и логической единицы на выходе цифрового элемента, а также значения максимального выходного тока.

Для мощного коммутатора необходимо рассчитать параметры транзисторного ключа таким образом, чтобы обеспечить степень насыщения ключа равную  $1,1 \dots 1,2$ .

К достоинствам релейных коммутаторов следует отнести простоту реализации и полную изоляция коммутируемых цепей от цепей управления.

Недостатком таких ключей является наличие механического контакта, что приводит к низкой надежности и медленной работе.

Транзисторные коммутаторы используются для коммутации цепей постоянного тока и имеют большую частоту переключений по сравнению с релейными коммутаторами. В транзисторных коммутаторах нагрузка, имеет общий провод со схемой управления, что может привести к проникновению помех от силовых цепей (нагрузки) в систему управления.

Для коммутации цепей переменного тока используют тиристорные коммутаторы. В связи с тем, что ток управляющего перехода тиристора может достигать нескольких десятков миллиампер, то для переключения тиристора необходимо использовать элементы с повышенной нагрузочной способностью, например два включенных элемента с открытым коллектором. Эти коммутаторы еще меньше защищены от проникновения помех от силовых цепей в систему управления.

Для защиты от проникновения помех от силовых цепей применяют оптоэлектронные коммутаторы. Основу их составляют оптоэлектронные приборы, которые содержат одновременно источник и приемник световой энергии.

Примеры оптоэлектронных приборов:

АОД130А – оптопара диод-диод на основе соединения галлия;

АОТ 110А – оптопара диод-транзистор;

АОУ 115А – оптопара диод-тиристор.

Наиболее широкое применение нашли коммутаторы на оптотранзисторах. Схемы простейших коммутаторов приведены на рис.4.1, которые построены на оптронах АОТ101 (а) и АОТ110 (б), зарубежные аналоги – 4N25 и 4N33 соответственно. Основное отличие этих коммутаторов – максимальный коммутируемый ток, который составляет 10мА (а) и 200 мА (б).

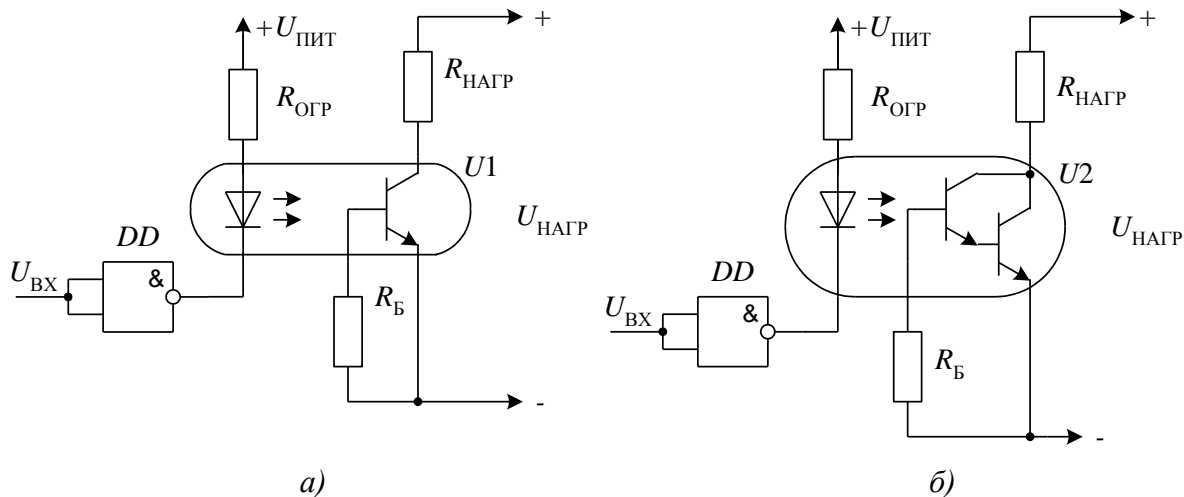


Рис. 4.1. Коммутаторы на оптотранзисторах

Для увеличения величины коммутируемого тока применяют коммутаторы с дополнительным внешним транзистором (рис.4.2).

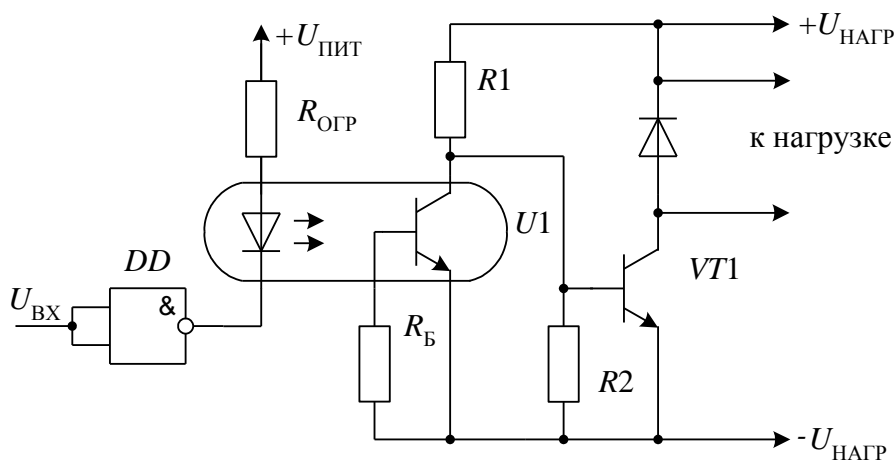


Рис. 4.2. Коммутатор с внешним транзистором

Это самый распространенный тип коммутатора. Основная задача при его проектировании – обеспечение минимального рассеивания мощности на ключе, что достигается выбором резисторов  $R1$  и  $R2$ . Коммутируемый ток нагрузки для такого коммутатора может достигать нескольких ампер, при напряжении более 200 В и определяются параметрами внешнего транзистора.

В качестве внешнего транзистора можно использовать мощные биполярные транзисторы в ключевом режиме, полевые транзисторы MOSFET и биполярные транзисторы с изолированным затвором IGBT.

**Задание.** Разработать оптоэлектронный коммутатор с выходными параметрами, указанными в таблице заданий (по вариантам). Выполнить расчеты элементов коммутатора. Обосновать выбор элементной базы.

Провести исследование в системе схемотехнического моделирования *Electronics Workbench* спроектированного коммутатора. Сделать соответствующие выводы.

### Контрольные вопросы

1. Приведите сравнительные характеристики релейных, транзисторных и тиристорных коммутаторов.
2. Какие области применения оптоэлектронных коммутаторов?
3. В каких случаях в коммутаторах применяют внешний транзистор?
4. Назовите основные параметры электронных коммутаторов.
5. Каким образом достигается минимальная рассеиваемая мощность на транзисторе?

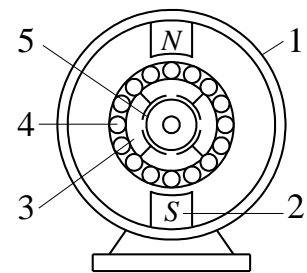
### Задания к выполнению лабораторной работы

Вариант	$U$ , Вольт	$I$ , Ампер	Вариант	$U$ , Вольт	$I$ , Ампер
1	=12	2	13	=150	4
2	=12	0,5	14	=200	0,5
3	=24	0,5	15	=250	2
4	=24	2	16	=300	0,5
5	=5	2	17	=50	0,5
6	=5	4	18	=100	2
7	~220	0,5	19	=150	2
8	~220	1	20	=200	4
9	~36	5	21	=250	0,5
10	~36	2	22	=300	1
11	=50	2	23	=400	5
12	=100	0,5	24	=500	2

## Лабораторная работа №5 ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

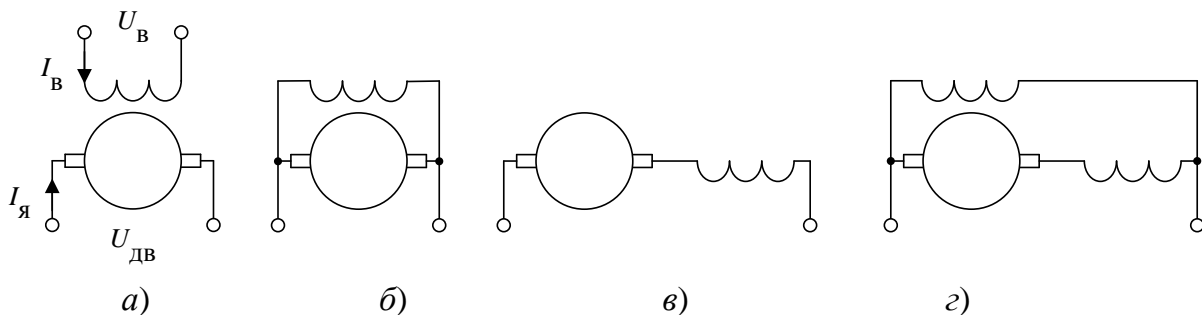
Электрическая машина постоянного тока состоит из двух основных частей: неподвижной части (индуктора) и вращающейся части (якоря с барабанной обмоткой). На рис. 5.1 изображена конструктивная схема машины постоянного тока

Индуктор состоит из станины 1 цилиндрической формы, изготовленной из ферромагнитного материала, и полюсов с обмоткой возбуждения 2, закрепленных на станине. Обмотка возбуждения создает основной магнитный поток. Якорь состоит из следующих элементов: сердечника 3, обмотки 4, уложенной в пазы сердечника, коллектора 5. Сердечник якоря для уменьшения потерь на вихревые токи набирается из изолированных друг от друга листов электротехнической стали.



*Рис. 5.1. Машина постоянного тока*

Двигатели постоянного тока различаются по характеру возбуждения (рис.5.2). Двигатели могут быть независимого (а), параллельного (б), последовательного (в) и смешанного (г) возбуждения. Магнитный поток может создаваться постоянными магнитами, укрепленными на станине.



*Рис. 5.2. Возбуждение ДПТ*

Свойства двигателей в значительной мере определяются их системой возбуждения.

Наибольшее применение в автоматических системах нашли двигатели независимого возбуждения от постоянных магнитов.

Рассмотрим работу машины постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов на модели рис.5.3. На рисунке обозначено: 1 – полюсы индуктора (постоянного магнита), 2 – якорь, 3 – проводники, 4 – контактные щетки.

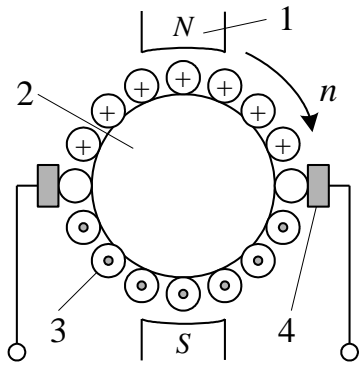


Рис. 5.3. Модель машины постоянного тока

Проводники якорной обмотки расположены на поверхности якоря.

Контактные щетки размещены на линии геометрической нейтрали, проведенной по середине между полюсами. В реальных электрических машинах постоянного тока используется специальное контактное устройство - коллектор. Коллектор устанавливается на одном валу с сердечником якоря и состоит из отдельных изолированных друг от друга и от вала якоря медных пластин. Каждая из пластин соединена с одним или несколькими проводниками якорной обмотки. На коллектор накладываются неподвижные контактные щетки.

С помощью контактных щеток вращающаяся якорная обмотка соединяется с сетью постоянного тока или с нагрузкой.

ЭДС якорной обмотки пропорциональна частоте вращения якоря  $n$  и магнитному потоку  $\Phi$  индуктора, т.е  $E = C_e n \Phi$ , где  $C_e$  – константа.

Под действием напряжения, подведенного к якорю двигателя, в обмотке якоря появится ток  $I_{я}$ . При взаимодействии тока с магнитным полем индуктора возникает электромагнитный вращающий момент  $M_{эм} = C_m I_{я} \Phi$ , где  $C_m$  – коэффициент, зависящий от конструкции двигателя.

В установившемся режиме электромагнитный вращающий момент  $M_{эм}$  уравновешивается противодействующим тормозным моментом  $M_{н}$  механизма, приводимого во вращение:  $M_{эм} = M_{н}$ .

$$U = E + I_{я} R_{я} = C_e \Phi n + I_{я} R_{я}.$$

Это уравнение является основным уравнением двигателя.

Из этого уравнения можно получить формулы:

$$I_{я} = \frac{U - E}{R_{я}} M_{н}, \quad n = \frac{U - I_{я} R_{я}}{C_e \Phi}.$$

Из этих формул видно, что частоту вращения двигателя постоянного

тока  $i$  можно регулировать следующими способами – изменением тока возбуждения в цепи обмотки возбуждения; изменением напряжения  $U$  на зажимах якорной обмотки.

Чтобы изменить направление вращения двигателя на обратное (реверсировать двигатель), необходимо изменить направление тока в обмотке якоря или индуктора.

Поскольку применяемые в системах автоматического управления двигатели являются управляемыми, различают два типа управления двигателями постоянного тока - якорное управление и полюсное управление.

При якорном управлении производится изменение напряжения, подаваемого в якорную цепь без изменения возбуждения.

Уравнение механической характеристики двигателя:

$$\omega = \frac{U_{\text{дв}}}{k_{\text{эм}} \Phi} - \frac{R_{\text{я}}}{k_{\text{эм}}^2 \Phi^2} M .$$

Графически эта характеристика при фиксированном напряжении на двигателе представляет собой прямую (рис.5.4), пересекающую координатные оси в точках  $\omega_0$  и  $M_{\text{кз}}$ , где  $\omega_0$  – частота вращения холостого хода, а  $M_{\text{кз}}$  – момент короткого замыкания, когда ротор двигателя неподвижен.

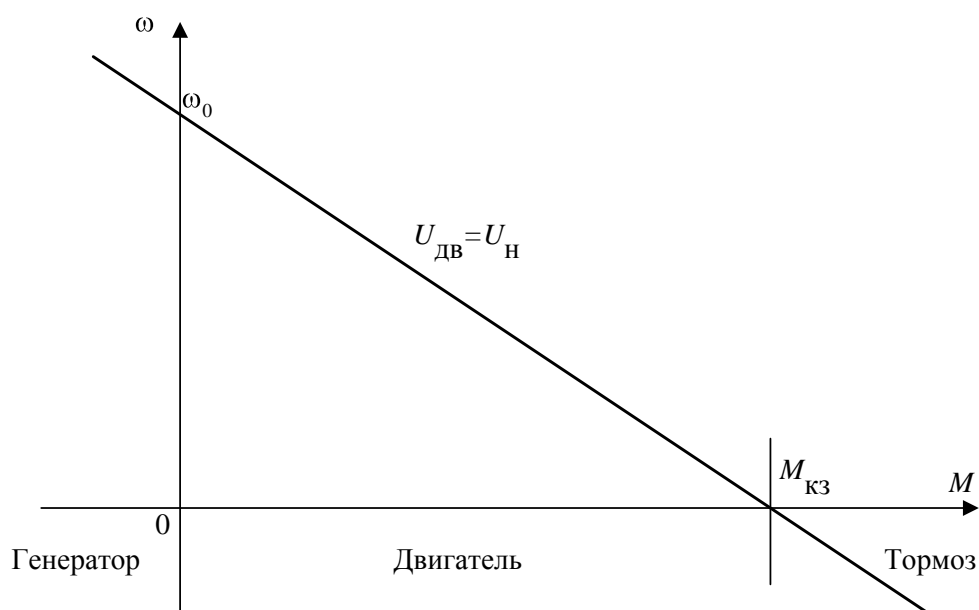


Рис. 5.4. Механическая характеристика двигателя

Электрическая машина работает в режиме двигателя при  $0 < M < M_{\text{кз}}$ , при  $M > M_{\text{кз}}$  происходит вращение двигателя в противоположную сторону под действием внешнего момента – машина работает в



режиме тормоза (режим противовключения), при  $\omega > \omega_0$  машина работает в режиме генератора на сеть, имеющую напряжение  $U_H$ .

Механические характеристики при различных напряжениях питания двигателя выглядят, как семейство параллельных прямых (рис.5.4).

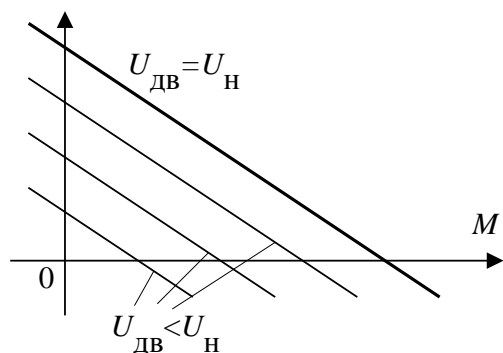


Рис. 5.5. Механические характеристики двигателя при различных напряжениях питания

Как говорилось выше частоту вращения двигателя можно регулировать изменением напряжения на обмотке якоря, а для изменения направление вращения двигателя на обратное (реверсировать двигатель), необходимо изменить направление тока в обмотке якоря.

Для управления двигателем используют транзисторный H-мост, который строится на мощных полностью управляемых полевых транзисторах MOSFET или на биполярных транзисторах с изолированным затвором IGBT (рис.5.6).

Если транзисторы VT1 и VT4 открыты, VT2 и VT3 закрыты, то через якорь двигателя M протекает ток  $I_я$  и двигатель вращается в одну сторону. Для смены направления вращения транзисторы VT1 и VT4 закрывают, а транзисторы VT2 и VT3 открывают. В этом случае ток через якорь двигателя протекает в другом направлении.

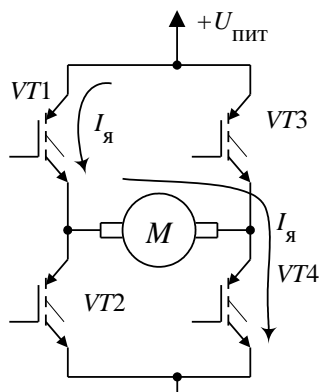


Рис. 5.6. Транзисторный H-мост

Если открыты два транзистора одной стойки, например VT1 и VT2, то в цепи возникает ток короткого замыкания, что приводит к выгоранию транзисторов.

Для управления скоростью вращения двигателя применяется широтно-импульсная модуляция (ШИМ), принцип работы которой основан на импульсном управлении транзисторами. Транзистор VT4 открыт, а на транзистор VT1 подается управляющий сигнал  $U_{ШИМ}$  в виде последовательности импульсов определенной частоты

принцип работы которой основан на импульсном управлении транзисторами. Транзистор VT4 открыт, а на транзистор VT1 подается управляющий сигнал  $U_{ШИМ}$  в виде последовательности импульсов определенной частоты

$f_{\text{ШИМ}}$  (рис.5.7), называемой частотой ШИМ. Скважность импульсов, определяемая выражением  $Q = \frac{T_{\text{откр}}}{T_{\text{ШИМ}}} \cdot 100\%$ , является регулируемой величиной. Среднее значение напряжения, поступающего на двигатель, определяется величиной скважности. Чем больше скважность импульсов, тем больше среднее значение напряжения. Зависимость среднего напряжения от величины скважности является линейной.

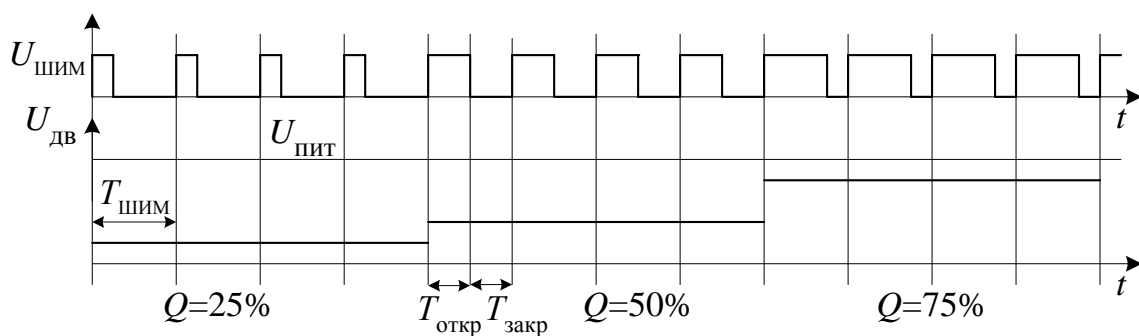


Рис. 5.7. Формирование ШИМ

Значение частоты ШИМ подбирается по характеристикам двигателя, чтобы обеспечить оптимальные характеристики электропривода. При выборе задающей частоты важным критерием являются акустические шумы, создаваемые двигателем при работе. Коллекторные двигатели могут создавать звуковой шум на частотах от 20 Гц до 4 кГц. Для исключения этого нежелательного эффекта нужно выбирать частоту выше 4 кГц. На таких частотах акустического шума уже не будет, так как механические части имеют более низкие резонансные частоты.

Применение соответствующих законов управления на основе широтно-импульсной модуляции позволяет регулировать скорость двигателя.

Для реализации достоинств транзисторного  $H$ -моста в системах электропривода требуется не только наличие полупроводниковых ключей требуемой мощности, но и обеспечение их надежной работы. В значительной мере это связано с организацией правильного управления ключами. При коммутации в нагрузке большого напряжения и тока необходима определенная осторожность на этапе проектирования, чтобы гарантировать надежную работу прибора. Чтобы уменьшить динамические потери при включении, время коммутации должно быть очень коротким.

Для цепей управления мощных полупроводниковых ключей разработаны специальные интегральные схемы (ИС) драйверов. Поскольку управление затвором IGBT и MOSFET во многом аналогичны, ИС драйверов применяются для управления обоими типами приборов.

На рис.5.8 показана схема управления коллекторным двигателем постоянного тока, с применением драйвера IR2113 для управления транзисторами, включенными по мостовой схеме. Напряжение питания моста определяется рабочим напряжением используемого двигателя и при соответствующем выборе транзисторов может достигать 1200В.

Выходы *HO*, *LO* предназначены для управления соответственно верхними *VT1* и *VT3*, и нижними *VT2* и *VT4* ключами транзисторного моста. На входы *HIN* и *LIN* подаются логические сигналы от цифровой системы управления.

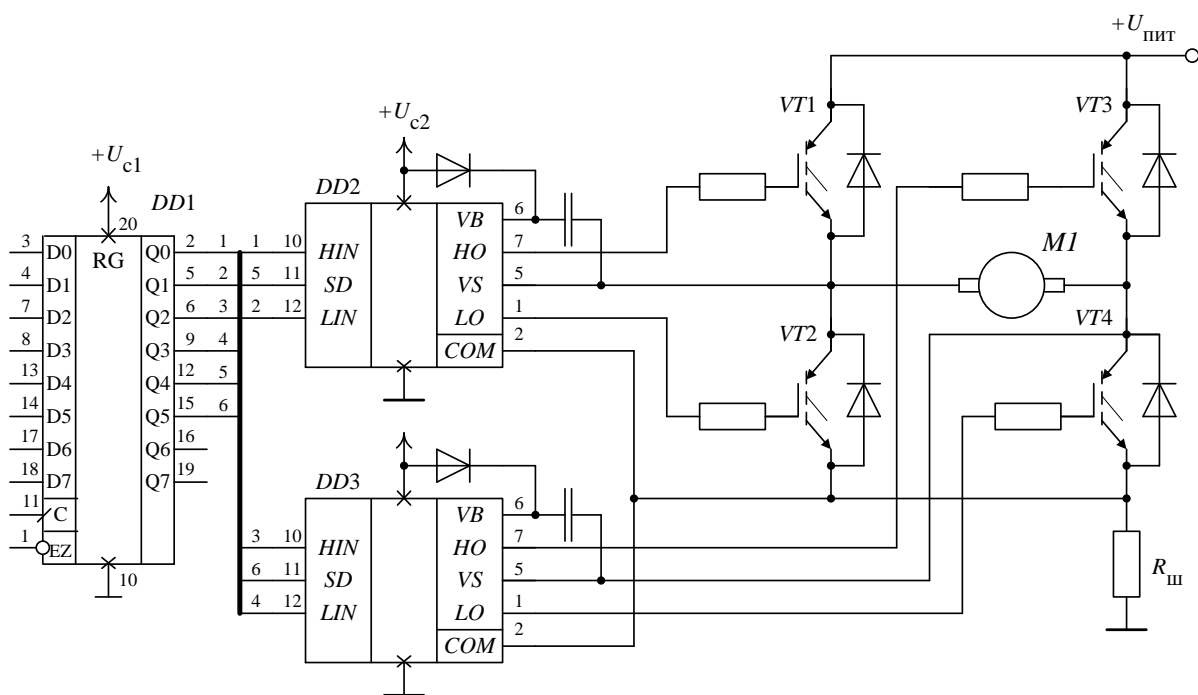


Рис. 5.8. Схема управления двигателем постоянного тока

Резистор  $R_{ш}$  выполняет функцию датчика тока, информация с которого поступает на вход *COM* драйвера. При превышении тока в обмотке двигателя больше допустимого на выходах *HO*, *LO* управления транзисторами формируются сигналы на закрытие всех транзисторов, что приводит к отключению двигателя.

**Задание.** Разработать схему управления двигателем постоянного тока с регулированием частоты вращения. Разработать алгоритм формирования ШИМ. Реализовать схему управления на промышленной элементной базе.

Провести исследование в системе схемотехнического моделирования *Electronics Workbench* спроектированной схемы. Сделать соответствующие выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Каким образом осуществляется регулирование частоты вращения двигателя?
2. Как осуществить реверс двигателя?
3. Какие применяются способы торможения двигателя?
4. Как контролируется ток в обмотке двигателя?
5. Для чего применяется широтно-импульсная модуляция?
6. Почему для управления транзисторами применяют драйверы?

## **Лабораторная работа №6**

### **ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ**

Шаговый двигатель – это электромеханическое устройство, которое преобразует электрические импульсы в дискретные механические перемещения. Угол поворота ротора определяется числом импульсов, которые поданы на двигатель, скорость пропорциональна частоте входных импульсов.

Шаговые двигатели относятся к классу бесколлекторных двигателей постоянного тока. Как и любые бесколлекторные двигатели, они имеют высокую надежность и большой срок службы, что позволяет использовать их в критичных, например, промышленных применениях. По сравнению с обычными двигателями постоянного тока, шаговые двигатели требуют значительно более сложных схем управления, которые должны выполнять все коммутации обмоток при работе двигателя.

Одним из главных преимуществ шаговых двигателей является возможность осуществлять точное позиционирование и регулировку скорости без датчика обратной связи. Однако это подходит только для систем, которые работают при малом ускорении и с относительно постоянной нагрузкой. В то же время системы с обратной связью способны работать с большими ускорениями и даже при переменном характере нагрузки. Если нагрузка шагового двигателя превысит его момент, то информация о положении ротора теряется и система требует базирования с помощью, например, концевого выключателя или другого датчика. Системы с обратной связью не имеют подобного недостатка.

Существуют три основных типа шаговых двигателей:

- двигатели с переменным магнитным сопротивлением
- двигатели с постоянными магнитами
- гибридные двигатели

Шаговые двигатели с переменным магнитным сопротивлением имеют несколько полюсов на статоре и ротор зубчатой формы из магнитомягкого материала. Намагниченность ротора отсутствует.

Двигатели с постоянными магнитами состоят из статора, который имеет обмотки, и ротора, содержащего постоянные магниты (рис. 6.1). Чередующиеся полюса ротора имеют прямолинейную форму и расположены параллельно оси двигателя. Благодаря намагниченности ротора в таких двигателях обеспечивается большой магнитный поток и, как следствие, больший момент, чем у двигателей с переменным магнитным сопротивлением.

Показанный на рисунке двигатель имеет 3 пары полюсов ротора и 2 пары полюсов статора. Двигатель имеет 2 независимые обмотки, каждая из которых намотана на двух противоположных полюсах статора. Такой двигатель имеет величину шага 30 град. При включении тока в одной из катушек, ротор стремится занять такое положение, когда разноименные полюса ротора и статора находятся друг напротив друга. Для осуществления непрерывного вращения нужно включать фазы попеременно. На практике двигатели с постоянными магнитами обычно имеют 48 – 24 шага на оборот (угол шага 7,5 – 15 град).

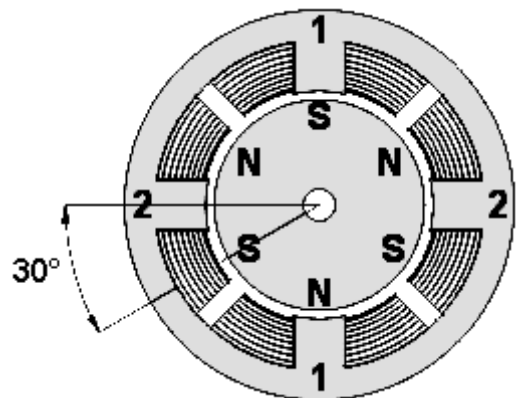


Рис.6.1. Двигатель с постоянными магнитами

Обмотки фаз размещены на двух разных магнитопроводах. Ротор представляет собой цилиндрический многополюсный постоянный магнит.

Гибридные двигатели (рис.6.2) являются более дорогими, чем двигатели с постоянными магнитами, зато они обеспечивают меньшую величину шага, больший момент и большую скорость. Типичное число шагов на оборот для гибридных двигателей составляет от 100 до 400 (угол шага 3,6 – 0,9 град.).

Существуют и другие конструкции шаговых двигателей. Например, двигатели с дисковым намагниченным ротором. Такие двигатели имеют малый момент инерции ротора, что в ряде случаев важно.

Большинство современных шаговых двигателей являются гибридными. По сути, гибридный двигатель является двигателем с постоянными магнитами, но с большим числом полюсов. По способу управления такие двигатели одинаковы, дальше будут рассматриваться только такие двигатели. Чаще всего на практике двигатели имеют 100 или 200 шагов на оборот, соответственно шаг равен 3,6 град или 1,8 град.

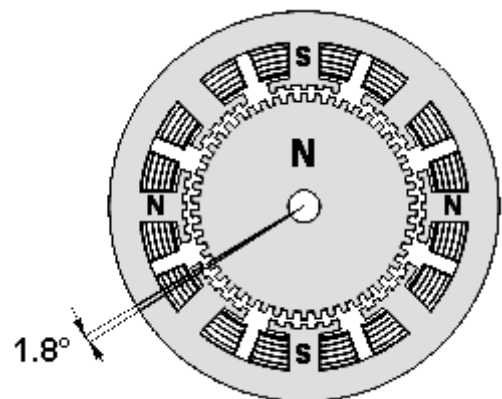


Рис.6.2. Гибридный двигатель

Большинство контроллеров позволяют работать в полушаговом режиме, где этот угол вдвое меньше, а некоторые контроллеры обеспечивают микрошаговый режим.

В зависимости от конфигурации обмоток двигателя делятся на биполярные и униполярные. Биполярный двигатель имеет одну обмотку в каждой фазе, которая для изменения направления магнитного поля должна переполюсовываться драйвером. Для такого типа двигателя требуется мостовой драйвер, или полумостовой с двухполярным питанием. Всего биполярный двигатель имеет две обмотки и, соответственно, четыре вывода (рис.6.3, а).

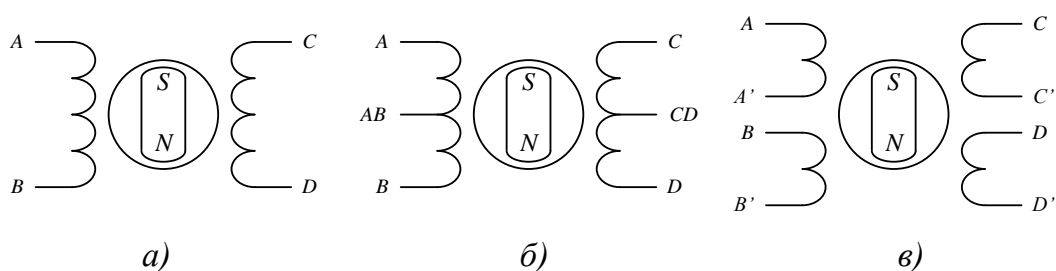


Рис. 6.3. Биполярный двигатель (а), униполярный (б) и четырехобмоточный (в)

Униполярный двигатель также имеет одну обмотку в каждой фазе, но от середины обмотки сделан отвод. Это позволяет изменять направление магнитного поля, создаваемого обмоткой, простым переключением половинок обмотки. При этом существенно упрощается схема драйвера. Драйвер должен иметь только 4 простых ключа. Таким образом, в униполярном двигателе используется другой способ изменения направления магнитного поля. Средние выводы обмоток могут быть объединены внутри двигателя, поэтому такой двигатель может иметь 5 или 6 выводов (рис. 6.3, б). Иногда униполярные двигатели имеют отдельные 4 обмотки, по этой причине их ошибочно называют 4-х фазными двигателями. Каждая обмотка имеет отдельные выводы, поэтому всего выводов 8 (рис. 6.3, в). При соответствующем соединении обмоток такой двигатель можно использовать как униполярный или как биполярный. Униполярный двигатель с двумя обмотками и отводами тоже можно использовать в биполярном режиме, если отводы оставить неподключенными. В любом случае ток обмоток следует выбирать так, чтобы не превысить максимальной рассеиваемой мощности.

Если сравнивать между собой биполярный и униполярный двигате-

ли, то биполярный имеет более высокую удельную мощность. При одних и тех же размерах биполярные двигатели обеспечивают больший момент.

На практике все же часто применяют униполярные двигатели, так как они требуют значительно более простых схем управления обмотками. Это важно, если драйверы выполнены на дискретных компонентах. В настоящее время существуют специализированные микросхемы драйверов для биполярных двигателей, с использованием которых драйвер получается не сложнее, чем для униполярного двигателя. Например, это микросхемы L293E, L298N или L6202 фирмы SGS-Thomson, PBL3770, PBL3774 фирмы Ericsson, NJM3717, NJM3770, NJM3774 фирмы JRC, A3957 фирмы Allegro, LMD18T245 фирмы National Semiconductor.

Существует несколько способов управления фазами шагового двигателя. Рассмотрим эти способа применительно к биполярному двигателю с двумя обмотками.

Первый способ обеспечивается попеременной коммутации фаз, при этом они не перекрываются, в один момент времени включена только одна фаза (рис.6.4). Этот способ называют «one phase on» full step или wave drive mode. Точки равновесия ротора для каждого шага совпадают с «естественными» точками равновесия ротора у незапитанного двигателя. Недостатком этого способа управления является то, что для биполярного двигателя в один и тот же момент времени используется 50% обмоток, а для униполярного – только 25%. Это означает, что в таком режиме не может быть получен полный момент.

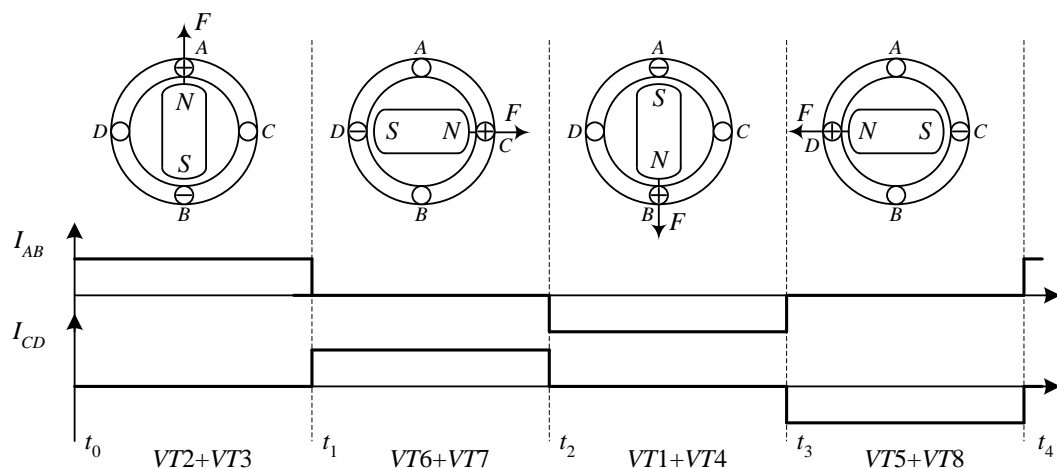


Рис. 6.4. Способ коммутации wave drive mode



Второй способ - управление фазами с перекрытием: две фазы включены в одно и то же время. Его называют «two-phase-on» full step или просто full step mode. При этом способе управления ротор фиксируется в промежуточных позициях между полюсами статора (рис. 6.5) и обеспечивается примерно на 40% больший момент, чем в случае одной включенной фазы. Этот способ управления обеспечивает такой же угол шага, как и первый способ, но положение точек равновесия ротора смещено на полшага.

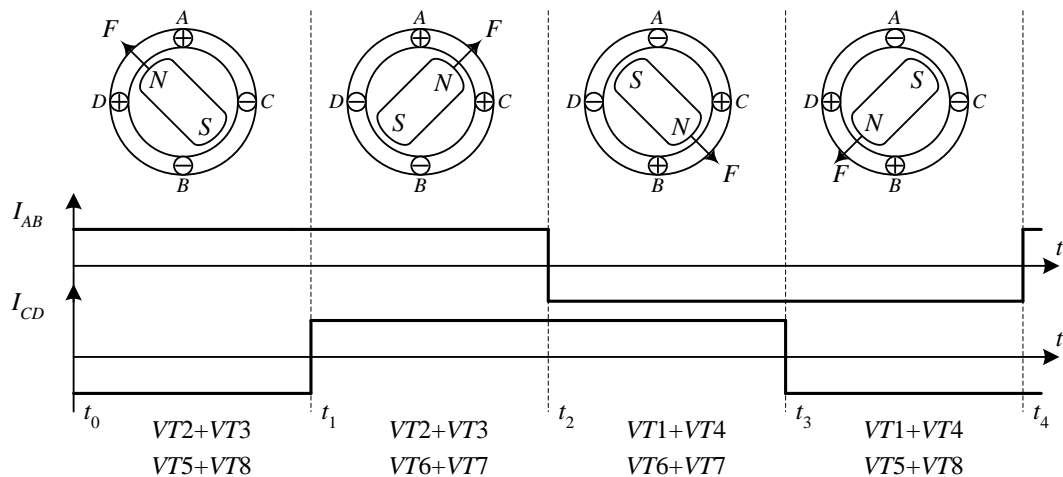


Рис. 6.5. Способ коммутации full step mode

Третий способ является комбинацией первых двух и называется полушаговым режимом, «one and two-phase-on» half step или просто half step mode, когда двигатель делает шаг в половину основного. Этот метод управления достаточно распространен, так как двигатель с меньшим шагом стоит дороже и очень заманчиво получить от 100-шагового двигателя 200 шагов на оборот. Каждый второй шаг запитана лишь одна фаза, а в остальных случаях запитаны две (рис. 6.6). В результате угловое перемещение ротора составляет половину угла шага для первых двух способов управления. Кроме уменьшения размера шага этот способ управления позволяет частично избавиться от явления резонанса. Полушаговый режим обычно не позволяет получить полный момент, хотя наиболее совершенные драйверы реализуют модифицированный полушаговый режим, в котором двигатель обеспечивает практически полный момент, при этом рассеиваемая мощность не превышает номинальной.

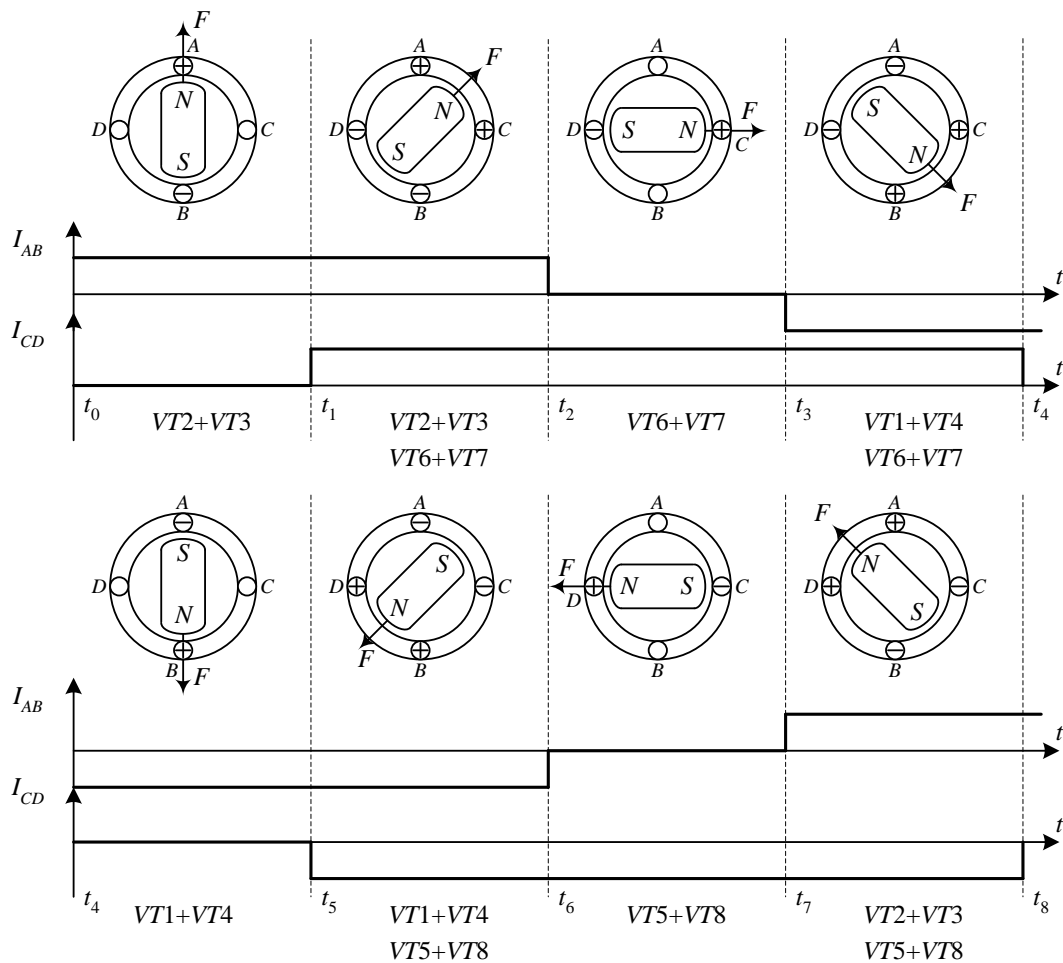


Рис. 6.6. Способ коммутации *half step mode*

При работе шагового двигателя требуется изменение направления магнитного поля независимо для каждой фазы. В биполярных двигателях направление меняется путем переполюсовки выводов обмоток. Для такой переполюсовки требуется полный  $H$ -мост. Управление ключами должно осуществляться логической схемой, реализующей нужный алгоритм работы. Схема управления биполярным шаговым двигателем с двумя обмотками приведена на рис. 6.7.

Обмотки двигателя подключены к двум  $H$ -мостам, выполненным на транзисторах  $VT1 \dots VT4$  и  $VT5 \dots VT6$  соответственно. Для управления транзисторами применяются драйверы верхнего  $HO$  и нижнего  $LO$  ключей. Распределитель импульсов выдает управляющие сигналы на драйверы в соответствии с выбранным способом коммутации обмоток двигателя.

Рассмотрим реализацию схемы управления для способа коммутации *wave drive mode* (рис. 6.4). Цикл коммутации транзисторов состоит из че-

тырех повторяющихся тактов  $t_0t_1 - t_1t_2 - t_2t_3 - t_3t_4 - t_0t_1$  и так далее. Для данного способа в этих тактах должны быть открыты транзисторы, указанные на рис. 6.4.

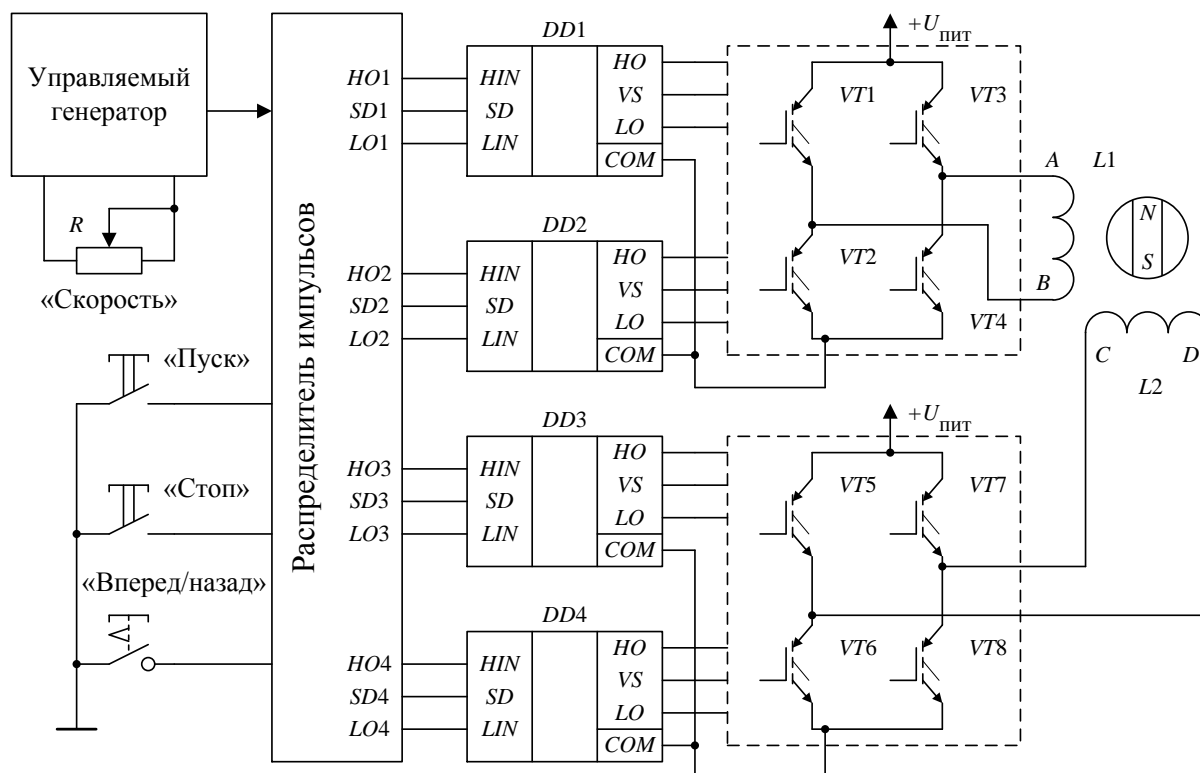


Рис. 6.7. Схема управления биполярным шаговым двигателем

Для вращения двигателя в обратном направлении последовательность тактов также должна быть обратной –  $t_4t_3 - t_3t_2 - t_2t_1 - t_1t_0$ .

Для открытия транзистора необходимо подать уровень логической единицы на соответствующий вход драйвера. Например, для транзистора  $VT_4$  подается логическая единица на вход  $LIN$  драйвера  $DD_2$ . Для останова двигателя необходимо все транзисторы закрыть. Это можно сделать, установив уровень логического нуля на все входы  $HIN$  и  $LIN$  драйверов, или подать логический ноль на входы разрешения работы  $SD$  всех драйверов.

Функциональная схема распределителя импульсов показана на рис. 6.8. Кнопки «Пуск» и «Стоп» устанавливают или сбрасывают  $RS$ -триггер, выход которого подает соответственно логическую единицу или ноль на входы  $SD$  драйверов.

Управляемый генератор, реверсивный счетчик и дешифратор вклю-

чены таким образом, что на выходах  $Y_0, Y_1, Y_2, Y_3$  дешифратора поочередно появляется логическая единица, формируя таким образом четыре такта работы двигателя. С помощью переключателя «Вперед/назад» меняется направление счета счетчика и соответственно меняется порядок появления логической единицы на выходах дешифратора. Эта очередность задает направление вращения двигателя.

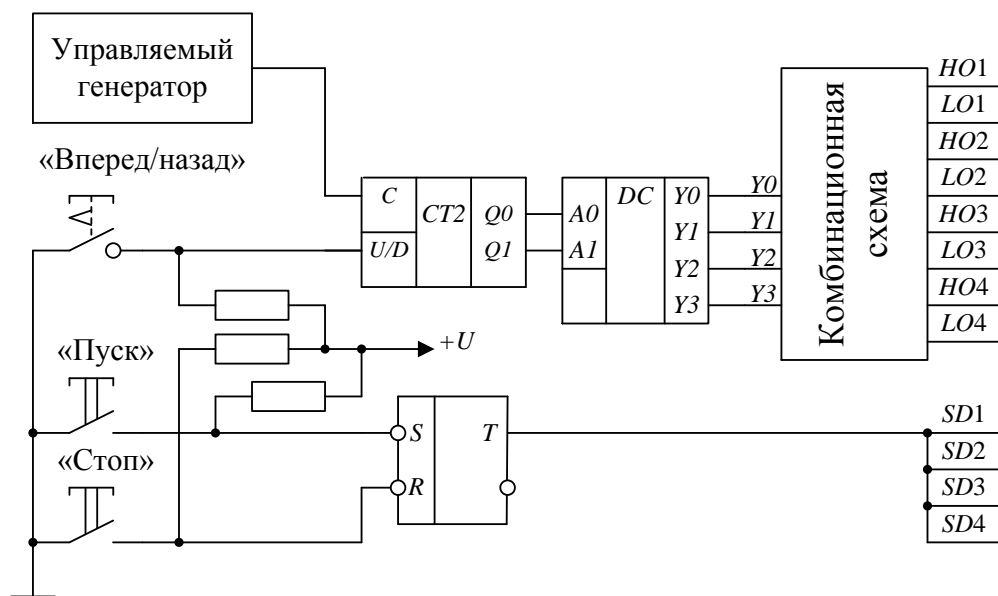


Рис. 6.8. Схема распределителя импульсов

Как говорилось выше, скорость вращения двигателя пропорциональна частоте входных импульсов. Таким образом, изменяя частоту управляемого генератора можно регулировать скорость вращения двигателя.

Преобразование последовательности тактов в управляющие сигналы на транзисторы можно выполнить с помощью комбинационной схемы, которая имеет четыре входа и восемь выходов. Синтез комбинационной схемы рассмотрен в лабораторной работе №2.

Нужно отметить, что при отдельном управлении транзисторами  $H$ -моста возможны ситуации, при которых будут открыты два транзистора одной стойки (например,  $VT_1$  и  $VT_2$ ). В этом случае источник питания будет замкнут транзисторами, что приведет к возникновению тока короткого замыкания и перегоранию транзисторов. Поэтому логическая схема управления должна быть построена таким образом, чтобы исключить эту ситуацию даже в случае сбоев.

**Задание.** Разработать схему управления биполярным шаговым двигателем для заданного способа коммутации. Выполнить синтез комбинационной схемы распределителя импульсов. Реализовать схему управления на промышленной элементной базе.

Провести исследование в системе схемотехнического моделирования *Electronics Workbench* спроектированной схемы. Сделать соответствующие выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите способы управления фазами шагового двигателя.
2. Каким образом осуществляется регулирование частоты вращения двигателя?
3. Как осуществить смену направления вращения двигателя?
4. Чем определяется величина минимального шага двигателя?
5. Как увеличить число шагов на один оборот шагового двигателя?
6. Чем определяется количество силовых транзисторов для управления двигателем?

## Лабораторная работа №7 УСТРОЙСТВО ЗАПИТКИ И ОЦИФРОВКИ ДАТЧИКА ТИПА СКВТ

Вращающийся трансформатор (ВТ) представляет собой электрическую машину переменного тока, взаимная индуктивность обмоток которой изменяется по определенному закону в зависимости от угла поворота ротора. Вращающиеся трансформаторы применяют в системах, где требуется измерение углового перемещения или скорости. Различают двухполюсные и многополюсные ВТ, индукционные редуктосины, функциональные ВТ. В зависимости от схемы включения обмоток и их питания различают следующие основные режимы работы: синусно-косинусный ВТ; линейный ВТ; ВТ – преобразователь координат; ВТ в режиме фазовращателя и т.д. Различаются ВТ также и по конструктивному исполнению.

Одной из разновидностей ВТ является бесконтактный синусно-косинусный вращающийся трансформатор (СКВТ). Конструктивно СКВТ состоит из статора, на котором расположены две обмотки возбуждения и измерительная обмотка и ротора (рис.7.1). На обмотки возбуждения, развернутые на  $90^\circ$  друг относительно друга подаются напряжения

$$U_1 = U_m \sin \omega t ;$$

$$U_2 = U_m \cos \omega t .$$

Угол поворота ротора  $\alpha$  преобразуется в переменное напряжение  $U_{oc} = kU_m \sin(\omega t + \varphi)$ , которое снимается с измерительной обмотки (рис.7.2.)

Угол сдвига фазы  $\varphi$  напряжения обратной связи  $U_{oc}$  пропорционален углу поворота ротора  $\alpha$ .  $U_m$  –

амплитуда напряжения питания датчика;  $\omega$  – частота питающего напряжения, причем  $\omega = 2\pi f$ ,  $k$  – коэффициент трансформации по амплитуде.

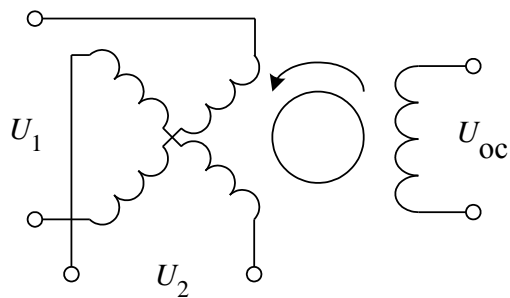


Рис. 7.1. Датчик СКВТ

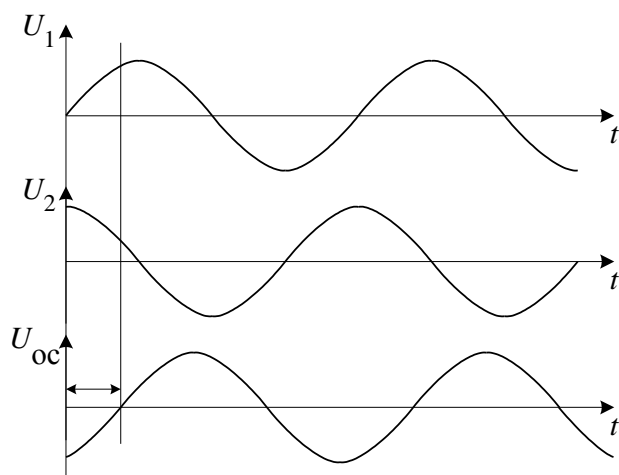


Рис. 7.2. Формы сигнала на обмотках

Для выпускаемого промышленностью бесконтактного синусо-косинусного вращающегося трансформатора БСКТ-220-1д  $U_m = 5 \dots 15$  В,  $f = 400 \dots 2500$  Гц,  $k = 0,6$ .

Для построения устройства запитки и оцифровки датчика положения необходимо решить две задачи. Первая задача – это проектирование устройства формирования напряжений  $U_1 = U_m \sin \omega t$  и  $U_2 = U_m \cos \omega t$ , подаваемых на обмотки возбуждения датчика.

Существует несколько способов формирования этих напряжений.

1. Использование аналогового генератора напряжений  $U_1$  и  $U_2$  (рис. 7.3).

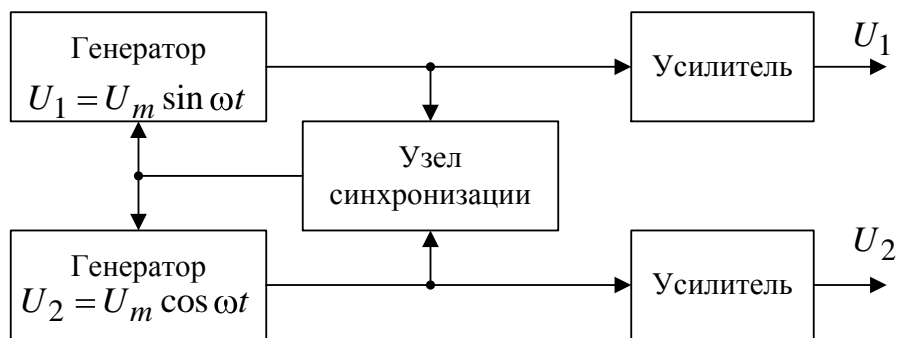


Рис.7.3. Аналоговый генератор напряжений  $U_1$  и  $U_2$

2. Использование опорного генератора (рис.7.4).

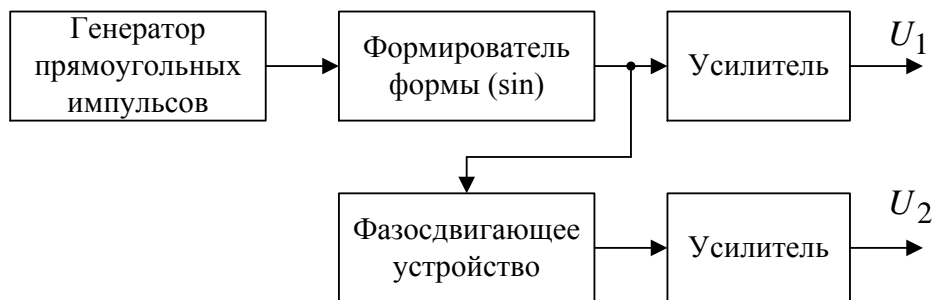


Рис.7.4. Использование опорного генератора

Формирователь формы преобразует прямоугольные импульсы в синусоидальный сигнал. Это может быть  $RC$ -цепь, мост Вина,  $T$ -фильтр и другое устройство, формирующее напряжение  $U_1$  и фазосдвигающее устройство для формирования напряжения  $U_2$ , которое обеспечивает фазовый сдвиг сигнала  $U_1$  на  $90^\circ$ .

Однако эти устройства не позволяют получить стабильную форму и не обеспечивают ортогональность напряжений.

Наиболее высокими характеристиками обладают цифровые генераторы сигналов специальной формы.

Эти устройства (рис.7.5) предназначены для получения сигналов любой произвольной формы с заданными параметрами, например синусоиды, экспоненты, пилообразной формы и т.д.

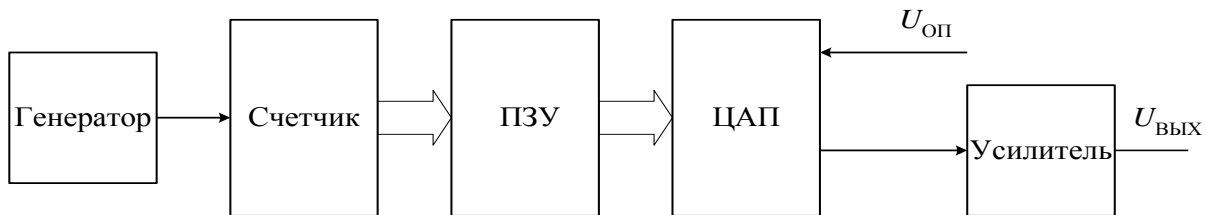


Рис. 7.5. Генератор сигналов специальной формы

Форма характеристики  $U_{\text{ВЫХ}}$  однократно программируется в ПЗУ, а затем воспроизводится с заданной частотой.

При проектировании двухканального генератора, формирующего напряжения  $U_1 = U_m \sin \omega t$  и  $U_2 = U_m \cos \omega t$  необходимо в генераторе использовать два ЦАП. На их входы подается код с выхода ПЗУ, в котором записана форма характеристик для каждого канала. В таком устройстве обеспечивается жесткая связь между каналами и значение фазового сдвига  $\varphi$  постоянно.

ПЗУ функций  $U_1$  и  $U_2$  может содержать коды  $\frac{1}{2}$  или  $\frac{1}{4}$  целого периода функции. Значение кода в ПЗУ определяется выражениями

$$U_1 = 2^n \sin\left(\frac{2\pi}{2^k i} A\right), U_2 = 2^n \cos\left(\frac{2\pi}{2^k i} A\right) \quad (1)$$

где  $n$  – число двоичных разрядов данных ПЗУ,  $k$  – число двоичных разрядов адреса ПЗУ,  $i$  – параметр, определяющий периодичность функции. Для целого периода  $i = 1$ , для половины периода  $i = 2$ , для  $\frac{1}{4}$  периода  $i = 4$ .

Рассмотрим случай, когда в ПЗУ объемом 32 байта записана  $\frac{1}{4}$  периода. Для выборки адреса ПЗУ необходимо 5 двоичных разрядов ( $2^5 = 32$ ). В этом случае функция состоит из 32 точек, значения которых вычисляются по формуле (1), в которой  $n = 8$ ,  $k = 5$ ,  $i = 4$ , т.е.  $U = 256 \sin\left(\frac{2\pi}{128} A\right)$ . Значения кодов для функций  $U_1$  и  $U_2$  приведены в таблице 4.



Выходной код ПЗУ подается на цифро-аналоговый преобразователь. Выходное напряжение  $U_1 = U_m \sin \omega t$  представляет собой функцию, график которой представлен на рис.7.6. При использовании ПЗУ большего объема увеличивается количество ступенек, что приводит к существенному уменьшению погрешности воспроизводимой функции.

Таблица 4

Таблица кодов ПЗУ

Адрес ПЗУ (A)	Двоичный код адреса ПЗУ (выходы счетчика)	Код sin ПЗУ (выходные данные)		Код cos ПЗУ (выходные данные)	
		Дес.	Двоичн.	Дес.	Двоичн.
0	00000	0	00000000	255	11111111
1	00001	13	00001101	255	11111111
2	00010	25	00011001	254	11111110
3	00011	38	00100110	253	11111101
4	00100	50	00110010	251	11111011
...					
30	11110	255	11111111	25	00011001
31	11111	255	11111111	13	00001101

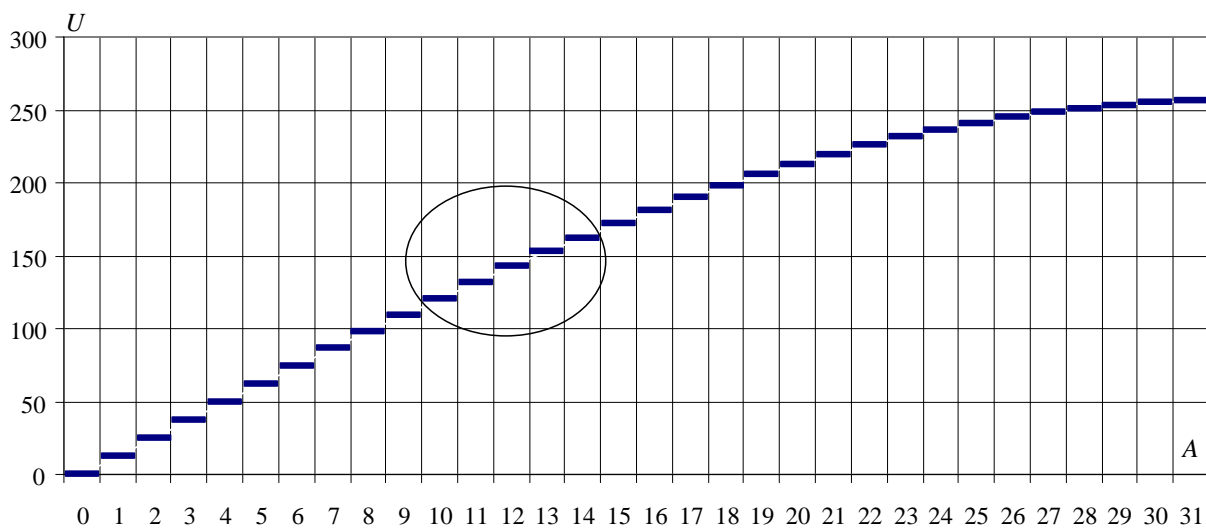


Рис. 7.6. График функции  $U_1 = U_m \sin \omega t$

Однако, если использовать интерполятор нулевого порядка – смещения на  $\delta = 0,5$  дискреты и интегрирования, то даже при использовании 5-ти разрядного ПЗУ погрешность воспроизводимой функции не превышает 0,01%. На рис.7.7 цифрой 1 обозначена функция после интегрирования, 2 – после смещения на 0,5 дискреты.

График 2 функции практически совпадает с расчетным значением. При таком способе формирования функций  $U_1 = U_m \sin \omega t$  и  $U_2 = U_m \cos \omega t$  обеспечивается точный фазовый сдвиг равный  $90^\circ$ .

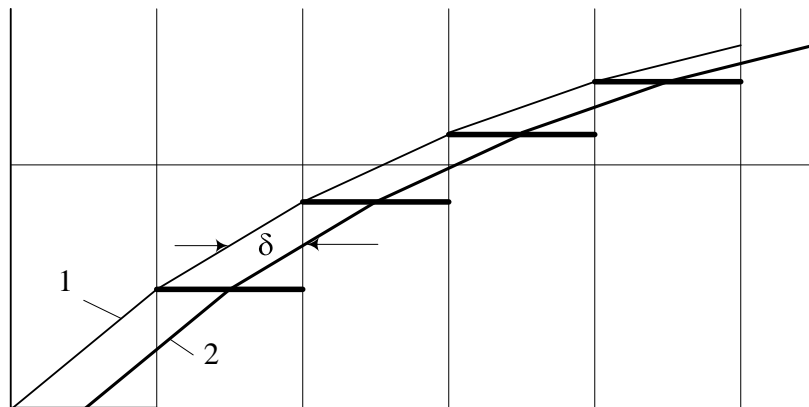


Рис. 7.7. Использование интерполятора нулевого порядка

Формирование полного периода функции осуществляется за четыре этапа (рис.7,8).

1. Счетчик осуществляет прямой счет от нулевого кода до единиц во всех разрядах ( $00\dots0 \rightarrow 11\dots1$ ). При этом на выходах данных ПЗУ формируются коды первой четверти синусоиды, которые при помощи ЦАП преобразуются в аналоговый сигнал.

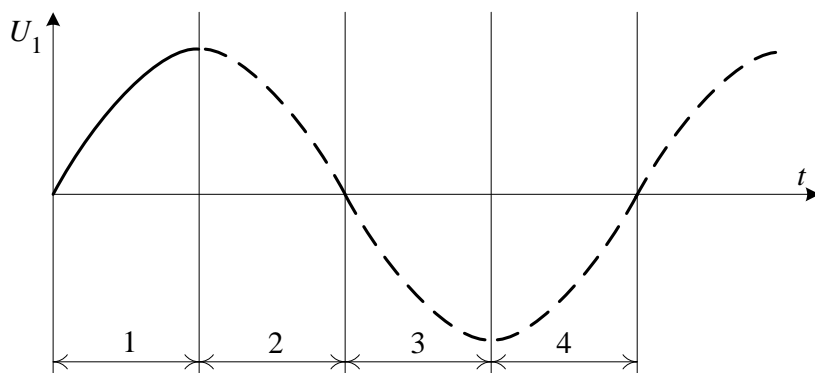


Рис. 7.8. Формирование синусоиды из  $1/4$  периода

2. Обратный счет счетчика ( $11\dots1 \rightarrow 00\dots0$ ). Формируется вторая четверть.

3. Счетчик вновь осуществляет прямой счет, но при этом в ЦАП изменяется знак выходного напряжения (положительная полярность меняется на отрицательную).

4. Обратный счет счетчика при отрицательной полярности напряжения ЦАП.

Вторая задача – преобразование фазового сдвига  $\varphi$  измерительной обмотки в эквивалентный цифровой код.

Для решения этой задачи можно использовать фазочувствительный выпрямитель. Его целесообразно применять в аналоговых устройствах, где не требуется аналого-цифровое преобразование. Схемная реализация таких устройств отличается простотой, но они обладают низкой чувствительностью, имеют нелинейный коэффициент передачи и как следствие применяются в системах, не требующих высокой точности.

Более высокую точность позволяют получить преобразователи последовательного счета. Принцип работы такого преобразователя поясняется временными диаграммами, показанными на рис. 7.9.

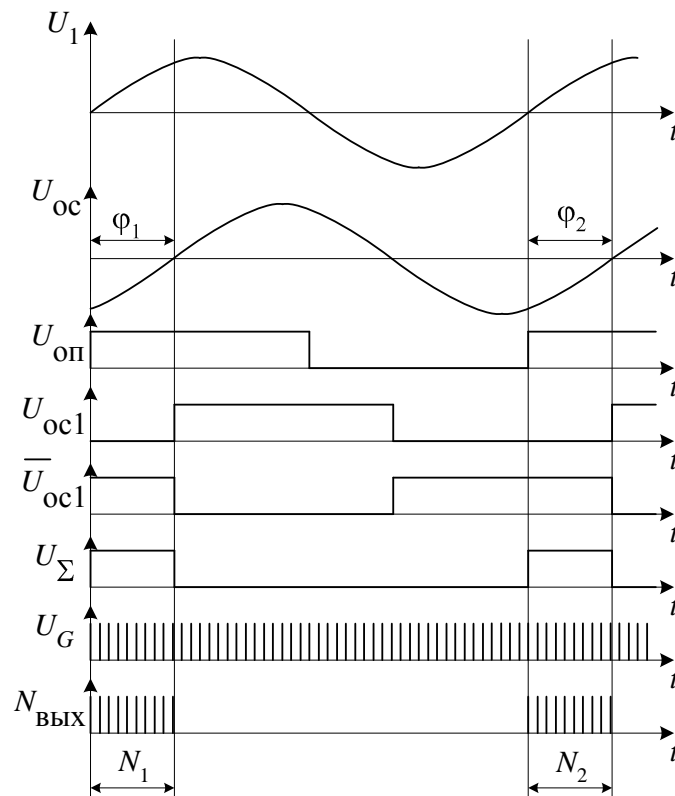


Рис. 7.9. Временные диаграммы преобразователя последовательного счета

Напряжение  $U_1 = U_m \sin \omega t$  с обмотки возбуждения и  $U_{oc} = kU_m \sin(\omega t + \varphi)$  с измерительной обмотки с помощью компаратора преобразуются соответственно в сигналы прямоугольной формы  $U_{оп}$  и  $U_{oc1}$ . Сигнал  $U_{oc1}$  инвертируется и полученный сигнал  $\bar{U}_{oc1}$  логически

перемножается с сигналом  $U_{оп}$ . В результате конъюнкции получается сигнал  $U_{\Sigma}$  в виде прямоугольного импульса, длительность которого пропорциональна фазовому сдвигу  $\varphi$ , который в свою очередь пропорционален углу поворота ротора СКВТ.

Прямоугольные импульсы  $U_G$  с дополнительного внешнего высокочастотного генератора при помощи конъюнкции объединяются с сигналом  $U_{\Sigma}$ . В результате получается пакет импульсов  $N_{вых}$ , количество которых подсчитывается двоичным счетчиком.

Достоинством преобразователей последовательного счета является простота реализации, однако для получения высокой точности преобразования частота внешнего генератора должна быть очень большой.

**Задание.** Составить функциональную схему устройства запитки на основе цифрового генератора сигналов специальной формы и оцифровки с помощью преобразователя последовательного счета датчика типа СКВТ. Реализовать данную схему на цифровой элементной базе. Начертить временные диаграммы, поясняющие принцип работы спроектированного устройства.

Провести исследование в системе схемотехнического моделирования *Electronics Workbench* функциональной схемы. Сделать соответствующие выводы.

### Контрольные вопросы

1. Какие области применения генераторов сигналов специальной формы?
2. Какое устройство составляет основу генераторов сигналов специальной формы?
3. Каково назначение вращающегося трансформатора?
4. Какая зависимость между углом сдвига фазы напряжения обратной связи и углом поворота ротора БСКТ?
5. Какие существуют способы преобразования фазового сдвига измерительной обмотки в эквивалентный цифровой код?

## **ПРИЛОЖЕНИЕ. СИСТЕМА СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ *ELECTRONICS WORKBENCH 5.0.***

Приложение Electronics Workbench (EWB) представляет собой средство программной разработки и имитации электрических цепей. Программа Electronics Workbench [8,9] удобна для создания и моделирования электрических схем, тем, что в ней имеются контрольно-измерительные приборы, которые по внешнему виду и управлению приближены к промышленным аналогам, необходимая элементная база, а также возможность создания библиотеки элементов. Кроме того, данный программный продукт имеет интуитивно понятный интерфейс, позволяющий, при условии компьютерной грамотности и знаний в области электротехники и электроники, приступить к работе без дополнительных затрат времени на изучение данного продукта.

В программе EWB выполняются следующие стандартные операции:

- Параметры компонентов схем, измерительных приборов, источников сигналов, источников питания и др. – задаются в окне, появляющемся после двойного щелчка левой кнопкой мыши при наведении курсора на компонент, прибор и т.д.
- Выделение элемента схемы: курсор наводится на элемент и производится щелчок левой кнопкой мыши.
- Вызов контекстного меню: выделяется элемент и затем щелчком правой кнопки мыши вызывается контекстное меню со списком команд.

Для работы с программным комплексом Electronics Workbench V.5.0 необходим IBM - совместимый персональный компьютер с процессором I 486 (рекомендуется Pentium) и операционной системой Windows 9x, NT, 2000/XP.

Для начала работы с программным пакетом необходимо загрузить систему установить Electronics Workbench, если это не было сделано ранее. Затем средствами Windows запустить исполняемый файл *WEWB32.EXE*. Далее можно произвести настройки интерфейса пользователя, если это необходимо.

# 1. ИНТЕРФЕЙС ELECTRONICS WORKBENCH

Интерфейс пользователя состоит из полосы меню, панели инструментов и рабочей области.

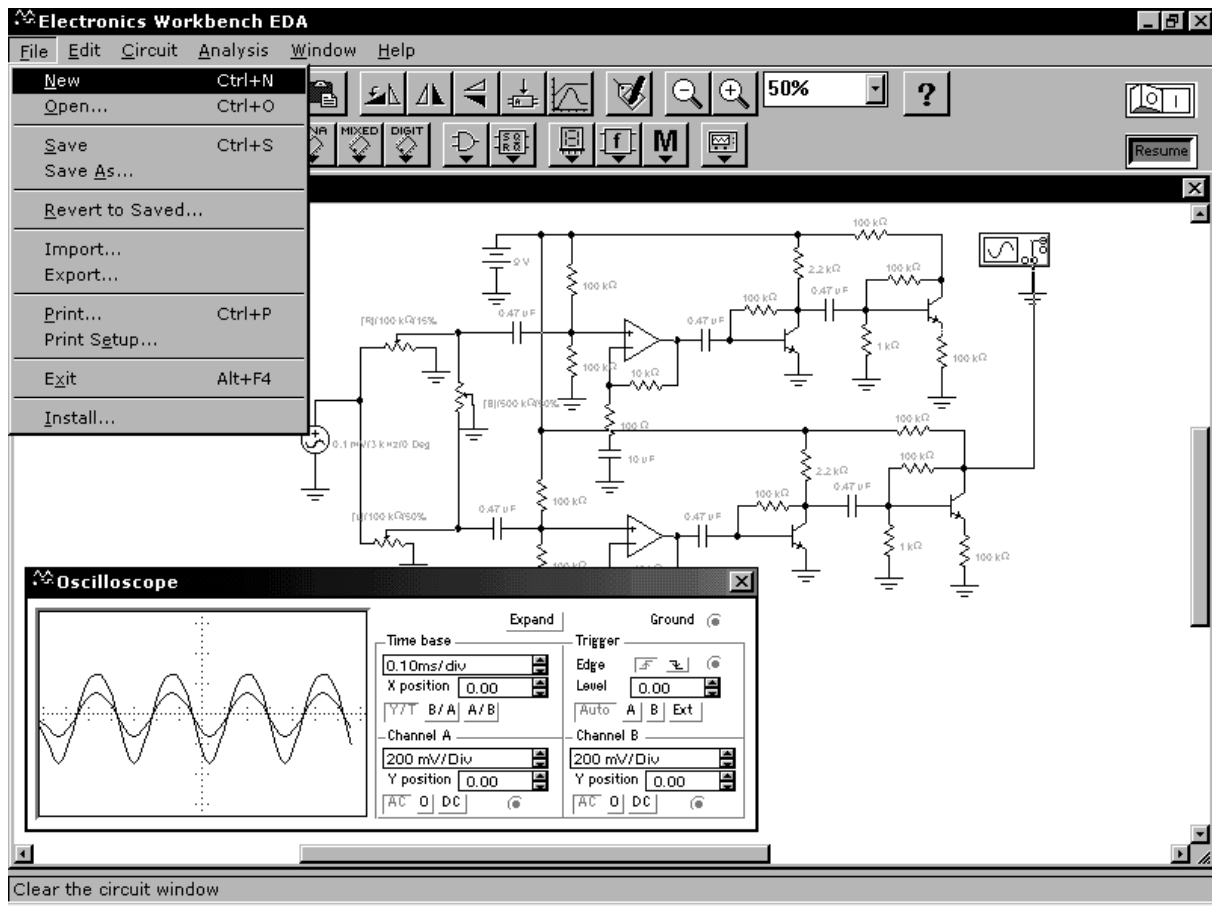


Рис. III. Внешний вид экрана компьютера при работе с программой EWB

Полоса меню состоит из следующих компонент: меню работы с файлами (File), меню редактирования (Edit), меню работы с цепями (Circuit), меню анализа схем (Analysis), меню работы с окнами (Window), меню работы с файлами справок (Help).

Панель инструментов состоит из “быстрых кнопок”, имеющих аналогии в меню, кнопок запуска и приостановки схем, набора радиоэлектронных аналоговых и цифровых деталей, индикаторов, элементов управления и инструментов.

## 1.2 Меню File

Меню File позволяет осуществить операции работы с файлами.

<b><u>N</u>ew</b>	<b>Ctrl+N</b>
<b><u>O</u>pen...</b>	<b>Ctrl+O</b>
<b><u>S</u>ave</b>	<b>Ctrl+S</b>
<b>Sa<u>v</u>e <u>A</u>s...</b>	
<b><u>R</u>evert to Saved...</b>	
<b>I<u>m</u>port...</b>	
<b>E<u>x</u>port...</b>	
<b><u>P</u>rint...</b>	<b>Ctrl+P</b>
<b>P<u>r</u>int <u>S</u>etup...</b>	
<b>P<u>r</u>ogram <u>O</u>ptions...</b>	
<b>E<u>x</u>it</b>	<b>Alt+F4</b>
<b><u>I</u>nstall...</b>	

Рис. П2. Внешний вид меню File

### 1.2.1 File/New

Операцию также можно вызвать одновременным нажатием клавиш CTRL+N.

Данная операция предназначена для закрытия текущей схемы и создания новой. При этом создается безымянное окно, которое может использоваться для создания схемы. Если перед этим вы проделали какие-либо изменения текущей схемы, вам будет предложено сохранить текущую схему перед ее закрытием. При запуске Electronics workbench операция выполняется автоматически. По умолчанию схема именуется как Default.ewb.

### 1.2.2 File/Open

Операцию также можно вызвать одновременным нажатием клавиш CTRL+O.

Операция предназначена для открытия уже существующего файла

схемы. Отображает стандартное диалоговое окно открытия файла, в котором необходимо выбрать диск и каталог, содержащий файл схемы, который вы хотите открыть. Открывать можно только файлы с расширениями .ca, .ca3, .cd3, .ca4 и .Ewb.

### **1.2.3 File/Save**

Операцию также можно вызвать одновременным нажатием клавиш CTRL+S.

Сохраняет текущий файл схемы. Отображается стандартное диалоговое окно сохранения файла, в котором необходимо выбрать диск и каталог, где вы хотите сохранить схему и название файла. Расширения .Ewb добавляются к имени файла автоматически. Например, схема с именем Mysir, будет сохранена как Mysir.ewb.

### **1.2.4 File/Save as**

Команда аналогична операции Save, но сохраняет текущую схему с новым именем файла, оставляя первоначальную схему неизменной.

Используйте эту команду, чтобы безопасно экспериментировать на копии схемы, без изменения оригинала.

### **1.2.5 File/Revert to Saved (Revert)**

Эта команда восстанавливает схему к виду, который она имела в момент последнего сохранения.

### **1.2.6 File/Import**

Команда преобразует нестандартные файлы схем (расширение .net или .cir) и преобразовывает их к стандартному виду Electronics Workbench.

### **1.2.7 File/Export**

Сохраняет файл схемы с одним из следующих расширений: .net, .scr, .cmp, .cir, .plc.

### **1.2.8 File/Print**

Операцию также можно вызвать одновременным нажатием клавиш CTRL+P.

Команда предназначена для полной или частичной распечатки схемы и/или приборов. Для выполнения операции необходимо выбрать элементы, которые будут напечатаны, в порядке, в котором вы хотите их напечатать.

### **1.2.9 File/Print Setup (Windows)**

Эта операция предназначена для настройки принтера. Отображает стандартное диалоговое окно Print Setup, из которого Вы можете выбрать установленный принтер и определять ориентацию изображения, бумажный



размер, бумажный источник и другие параметры. Для схем, которые по ширине больше чем по высоте, используйте альбомную ориентацию. Если схема слишком велика для печати на одном листе, печать будет автоматически производиться на нескольких страницах.

### 1.2.10 File/Exit

Операцию также можно вызвать одновременным нажатием клавиш ALT+F4.

Операция предназначена для завершения работы с пакетом Electronics Workbench. Если Вы не сохранили изменения в схеме, то будет сделан запрос на сохранение.

### 1.2.11 File/Install (Windows)

Операция предназначена для установки добавочных компонент Electronics workbench. Для ее выполнения будет запрошен диск, содержащий дополнительные компоненты.

## 1.3 Меню Edit

Меню Edit позволяет осуществить операции редактирования.

<b>Cu<u>t</u></b>	<b>Ctrl+X</b>
<b><u>C</u>opy</b>	<b>Ctrl+C</b>
<b><u>P</u>aste</b>	<b>Ctrl+V</b>
<b><u>D</u>elete</b>	<b>Del</b>
<b>S<u>e</u>lect <u>A</u>ll</b>	<b>Ctrl+A</b>
<hr/>	
<b><u>C</u>opy as <u>B</u>itmap</b>	
<b><u>S</u>how <u>C</u>lipboard</b>	

Рис. ПЗ. Внешний вид меню Edit

### 1.3.1 Edit/Cut

Операцию также можно вызвать одновременным нажатием клавиш CTRL+X.

Команда используется для удаления выбранных компонент, схем или текста. При этом выбранное помещается в буфер обмена, откуда его можно вставлять в нужное место. Команда не работает, если выбор включает в себя инструментальные пиктограммы.

### 1.3.2 Edit/Copy

Операцию также можно вызвать одновременным нажатием клавиш CTRL+C.

Команда предназначена для копирования выбранных компонент, схемы или текста. Копия помещается в буфер обмена. Затем вы можете использовать команду Paste, чтобы вставить копию в нужном месте. Операция также не выполнится, если выбор включает инструментальные пиктограммы.

### **1.3.3 Edit/Paste**

Операцию также можно вызвать одновременным нажатием клавиш CTRL+V.

Команда помещает содержание Буфера обмена в активное окно (содержание остается в Буфере обмена). Для успешного выполнения операции Буфер должен содержать компоненты Electronics Workbench или текст. Содержимое Буфера обмена может вставляться только в окна, способные содержать подобную информацию. Например, Вы не можете вставить компонент электрической схемы в окно описания.

### **1.3.4 Edit/Delete**

Операцию также можно вызвать нажатием клавиши DEL.

Эта команда полностью удаляет выбранные компоненты или текст. Используйте команду Delete с осторожностью. Удаленная информация не может быть восстановлена.

### **1.3.5 Edit/Select All**

Команда выбирает все элементы в активном окне (окно схемы, окно подсхемы или окно описания). Если прибор – часть выбора, команды Edit/Copy и Edit/Paste становятся недоступными. Для того чтобы выбрать все, кроме нескольких элементов, используйте команду Select All, и затем снимите выделение с лишних элементов, нажимая CTRL с левой кнопкой мыши.

### **1.3.6 Edit/Copy as Bitmap**

Команда предназначена для копирования растрового изображения элементов в Буфер обмена. Вы можете использовать эти изображения в текстовых процессорах или программах обработки изображений.

Чтобы скопировать растровое изображение элементов необходимо:

- а) выбрать Edit/Copy as Bitmap (курсор изменится на crosshair),
- б) нажать и удерживать кнопку мыши, перемещая курсор, чтобы сформировать прямоугольник, включающий необходимые для копирования элементы,
- в) отпустить кнопку мыши.

### 1.3.7 Edit/Show Clipboard

Команда отображает содержание Буфера обмена. Буфер обмена - временное место хранения для компонентов или текста, которые Вы хотите поместить позже в другом месте в схеме. Вы можете также использовать Буфер обмена, чтобы передать информацию от Electronics workbench к другой прикладной программе. Буфер обмена может содержать графику (компоненты или схемы) и текст. Если активное окно не может содержать тип информации, которая находится на Буфере обмена, или если Буфер обмена пуст, команда Edit/Paste будет не доступна. Например, если Буфер обмена содержит компоненты, а текущим является окно описания, команда Paste будет недоступна. Чтобы закрыть Буфер обмена, дважды щелкните меню Control(Windows).

### 1.4 Меню Circuit

Меню Circuit позволяет осуществить операции работы с цепями.

<b>R</b> otate	<b>Ctrl+R</b>
<b>F</b> lip Horizontal	
<b>F</b> lip Vertical	
<b>C</b> omponent Properties...	
<hr/>	
<b>C</b> reate Subcircuit...	<b>Ctrl+B</b>
<b>Z</b> oom In	<b>Ctrl++</b>
<b>Z</b> oom Out	<b>Ctrl+-</b>
<hr/>	
<b>S</b> chematic Options...	
<b>R</b> estrictions...	<b>Ctrl+I</b>

Рис. П4. Внешний вид меню Circuit

#### 1.4.1 Circuit/Rotate

Операцию также можно вызвать одновременным нажатием клавиш CTRL+R

Команда позволяет вращать выбранные компоненты на 90 градусов по часовой стрелке. Текст, связанный с компонентом (метки, значения и информация о модели), может быть повторно установлен, но при выполнении команды не вращается. В случае необходимости, провода, приложенные к компоненту, перенаправляются автоматически. Когда Вы вращаете амперметр и вольтметр, вращаются только их терминалы.

### **1.4.2 Circuit/Flip Vertical**

Команда зеркально отражает выбранную схему по вертикали в окне схемы. Обратите внимание, любые провода, приложенные к зеркально отражаемому компоненту, перенаправляются по мере необходимости. Текст, связанный с компонентом (метки, значения и информация о модели), может быть повторно установлен, но не отражается.

### **1.4.3 Circuit/Flip Horizontal**

Команда зеркально отражает выбранную схему по горизонтали в окне схемы. Любые провода, приложенные к зеркально отражаемому компоненту, перенаправляются по мере необходимости. Текст, связанный с компонентом (метки, значения и информация о модели), может быть повторно установлен, но не отражается.

### **1.4.4 Circuit/Component Properties**

Команда предназначена для изменения свойств выбранного компонента. Также выводится при двойном нажатии на компоненте. При вызове с помощью всплывающего меню, после нажатия правой кнопкой мыши, назначаются заданные по умолчанию свойства для всех выбранных компонентов, впоследствии используемых в этой схеме. Это не воздействует на уже размещенные компоненты.

При выполнении команды открывается диалоговое окно *Circuit/Component Properties*, закладки которого зависят от типа выбранного компонента.

Возможны следующие типы закладок:

- Label,
- Value,
- Models,
- Schematic Options,
- Fault,
- Node,
- Display,
- Analysis Setup.

#### *1.4.4.1 Закладка Label (Свойства компонента)*

Закладку также можно вызвать одновременным нажатием клавиш CTRL+L.

Используйте эту закладку, чтобы установить или заменить метку компонента и идентификатор (компоненты типа соединителей, заземлений, измерителей не имеют идентификаторов).

Если Вы вращаете или зеркально отражаете компонент, метка может быть установлена повторно. Если, в результате, провод проходит через метку, Вы можете сдвинуть метку направо, добавляя несколько пробелов перед меткой.

Чтобы вставить общую информацию в схему, введите текст в окно описания, доступное из меню Window.

Обратите внимание, идентификаторы назначаются системой, уникально идентифицируя компонент. Вы можете изменять их в случае необходимости, но они должны оставаться уникальными. Идентификаторы не могут быть удалены.

#### *1.4.4.2 Закладка Value Tab (Свойства компонента)*

Закладку также можно вызвать одновременным нажатием клавиш CTRL+U.

Поля на этой закладке различаются в зависимости от компонента.

#### *1.4.4.3 Закладка Models (Свойства компонента)*

Закладку также можно вызвать одновременным нажатием клавиш CTRL+M.

Используйте эту закладку, чтобы выбрать модель, используемую для компонента и для редактирования, добавления или удаления моделей или библиотек. Компоненты по умолчанию «идеальны», что для большинства схемотехнических моделирований может быть достаточным. Однако, если вы хотите увеличить точность результатов теста, используйте «реальную» модель.

#### *1.4.4.4 Закладка Schematic Options (Свойства компонента)*

Закладка используется, чтобы установить цвет провода.

#### *1.4.4.5 Закладка Fault (Свойства компонента)*

Закладку также можно вызвать одновременным нажатием клавиш CTRL+F.

Используйте эту закладку, чтобы назначить неисправность на терминал компонента.

Leakage - помещает значение сопротивления, определенное в смежных полях, параллельно с выбранными терминалами. Это заставляет ток течь мимо терминалов вместо того, чтобы пройти их.

Short - помещает очень низкое сопротивление между двумя терминалами, так что компонент не имеет никакого измеримого эффекта на схеме.

Open - помещает очень высокое сопротивление на терминале, как будто проводное соединение на терминал было разбито.

#### *1.4.4.6 Закладка Node (Свойства компонента)*

Закладка используется для изменения свойств узла.

Node ID - назначенное системой имя узла.

Use as Testpoint - определяет, должен ли узел рассматриваться как тестовая точка.

Set Node Color - отменяет набор цветов для отдельных проводов.

#### *1.4.4.7 Закладка Display (Свойства компонента)*

Закладка используется для отображения/скрытия тех или иных элементов Electronics Workbench.

Когда выбрано Use Schematic Options используются настройки параметров дисплея из закладки Show/Hide диалогового окна Circuit/Schematic Options.

Show labels, Show models, Show reference ID - когда не выбрано Use Schematic Options, используются параметры дисплея как они были определены.

#### *1.4.4.8 Закладка Setup (Свойства компонента)*

Закладка используется для настройки параметров элементов, таких как рабочая температура.

Use global temperature - если выбрано, используется набор температур установленный в Analysis/Analysis Options. Если не выбрано, используются те температуры, которые были определены.

Set initial conditions - устанавливает начальные значения для компонента.

Некоторые компоненты отображают дополнительные параметры на этой закладке, для использования вместе с параметрами, описанными в техническом справочнике Electronics Workbench.

### **1.4.5 Circuit/Create Subcircuit**

Команду также можно вызвать одновременным нажатием клавиш CTRL+B.

Команда объединяет выбранные элементы схемы в подсхему, в действительности создавая интегральную схему.

Подсхема может содержать так много компонентов, как требуется. Любая подача проводов к другим компонентам или соединителям в схеме станет терминалами на пиктограмме подсхемы.

Чтобы создать подсхему:

а) выберите элементы, которые нужно использовать для подсхемы.

б) выберите Circuit/Create Subcircuit, и завершите диалог, который появляется:

Copy from Circuit - помещает копию выбранных компонентов в подсхему. Первоначальные компоненты остаются, поскольку они находятся в окне схемы.

Move from Circuit - удаляет выбранные компоненты из схемы, так что они появляются только в подсхеме.

Replace in Circuit, помещает выбранные компоненты в подсхему и заменяет выбранные компоненты в схеме прямоугольником, помеченным именем подсхемы.

Выбранные компоненты появляются в новом окне, окне подсхемы. Имя новой подсхемы добавляется к списку доступных подсхем, который отображается, когда пиктограмма подсхемы перемещается из инструментальной панели Favorites. Подсхема доступна только для текущей схемы.

#### **1.4.6 Circuit/Zoom**

Команда отображает подменю выбора для увеличения или уменьшения размера дисплея окна схемы.

#### **1.4.7 Circuit/Schematic Options**

Команда предназначена для управления всем дисплеем схемы. Изменения относятся только к текущей схеме.

В окне команды выводится следующий набор закладок:

-Grid,

-Show/Hide,

-Display,

-Value.

##### *1.4.7.1 Закладка Grid*

Закладка управляет дисплеем и использованием сетки, лежащей в основе окна схемы. Использование сетки упрощает выравнивание элементов в схеме. Вы можете использовать сетку без ее отображения. Отображение сетки осуществляется на заднем плане окна схемы. Сетку удобно использовать при расстановке объектов.

##### *1.4.7.2 Закладка Show/Hide*

Закладка управляет дисплеем информации в окне схемы. Ее параметры полезно использовать, когда нужно скрыть объект.

##### *1.4.7.3 Закладка Display*

Закладка управляет шрифтом, используемым для меток и ссылок на идентификаторы.

#### 1.4.7.4 Закладка Value

Закладка управляет шрифтом, используемым для значений и моделей.

#### 1.5 Меню Analysis

Меню Analysis позволяет выполнить различные анализы. Внешний вид меню приведен на рис. П.5. Перед выполнением каждого из них пользователю будет предложено заполнить параметров анализа. Анализ будет выполнен только в том случае, когда это возможно для данной схемы.

<b>A</b> ctivate	<b>Ctrl+G</b>
<b>R</b> esume	<b>F9</b>
<b>S</b> top	<b>Ctrl+T</b>
<hr/>	
<b>A</b> nalysis Options...	<b>Ctrl+Y</b>
<hr/>	
<b>D</b> C Operating Point	
<b>A</b> C Frequency...	
<b>T</b> ransient...	
<hr/>	
<b>F</b> ourier...	
<b>N</b> oise...	
<b>D</b> istortion...	
<hr/>	
<b>P</b> arameter Sweep...	
<b>T</b> emperature Sweep...	
<b>P</b> ole- <b>Z</b> ero...	
<b>T</b> ransfer Function...	
<hr/>	
<b>S</b> ensitivity...	
<b>W</b> orst Case...	
<b>M</b> onte Carlo...	
<hr/>	
<b>D</b> isplay Graphs	

Рис. П5. Внешний вид меню Analysis

##### 1.5.1 Analysis/Activate

Команду также можно вызвать одновременным нажатием клавиш CTRL+G.

Команда активизирует схему (включает переключатель питания). Активизация схемы начинает последовательность математических операций, чтобы вычислить значения для тестовых точек в схеме.



Переключатель питания остается включенным, пока Вы не останавливаете или не приостанавливаете моделирование.

### **1.5.2 Analysis/Pause and Analysis/Resume**

Команду также можно вызвать нажатием клавиши F9.

Команда временно прерывает или продолжает моделирование (управляется кнопкой Pause/Resume). Приостановка полезна, если вы хотите рассмотреть форму волны (форму кривой, форму сигнала) или сделать изменения в инструментальных настройках. (Имитация простых схем может оказаться слишком быстрой для приостановки.)

### **1.5.3 Analysis/Stop**

Команду также можно вызвать одновременным нажатием клавиш CTRL+T.

Команда вручную останавливает моделирование. Имеет тот же самый эффект как щелчок переключателя питания.

Обратите внимание, что выключение энергии стирает данные и инструментальные следы и сбрасывает все значения к начальным.

### **1.5.4 Analysis/Analysis Options**

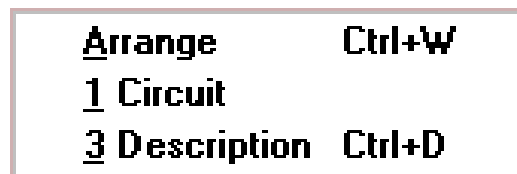
Команду также можно вызвать одновременным нажатием клавиш CTRL+Y.

Electronics Workbench позволяет Вам управлять многими аспектами моделирования, типа сброса терпимости ошибки, выбор методов моделирования и просмотра результатов. Эффективность моделирования также зависит от параметров, которые Вы выбираете. Большинство параметров имеет значения по умолчанию.

Чтобы рассмотреть или изменить любые из параметров, выберите Analysis/Analysis Options.

## **1.6 Window Menu**

Меню Window позволяет осуществить операции работы с окнами.



*Рис. Пб. Внешний вид меню Window*

### **1.6.1 Window/Arrange**

Команду также можно вызвать одновременным нажатием клавиш CTRL+W. Команда аккуратно расставляет открытые окна.

### 1.6.2 Window/Circuit

Команда переносит окно схемы на передний план.

### 1.6.3 Window/Description

Команду также можно вызвать одновременным нажатием клавиш CTRL+D.

Команда открывает окно описания. (Если окно описания уже открыто, переносит его на передний план.) Вы можете напечатать комментарии или указания в окне описания, а также вставить текст из другой прикладной программы или описания схемы.

### 1.7 Меню Help

Меню Help предоставляет вызов файла-справки. Вызов справки также можно осуществить нажатием клавиши F1.

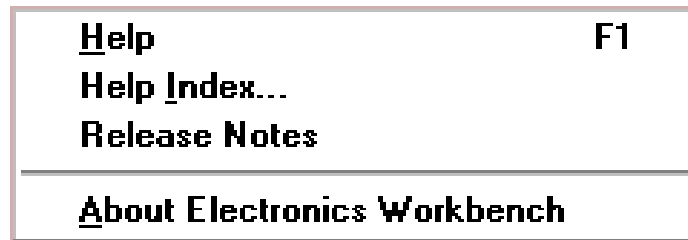


Рис. П7. Внешний вид меню Help

## 2. ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ELECTRONICS WORKBENCH

### 2.1. Источники сигналов и источники питания

#### Источники постоянного напряжения и тока

На рис.П8 представлены источники напряжения и тока, применяемые в программе EWB для питания электронных схем.

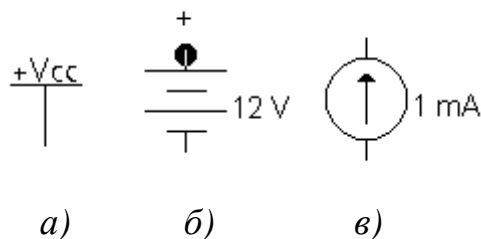


Рис. П8. Источники напряжения и тока

Источник постоянного напряжения VCC применяется для питания цифровых схем. Батарея используется для питания аналоговых и цифровых схем. На рис. П8.в показан источник постоянного тока.

## Источники переменного напряжения и тока

Такие источники применяются в качестве входных сигналов в электронных схемах. На рис. П9 приведены различные источники сигналов.

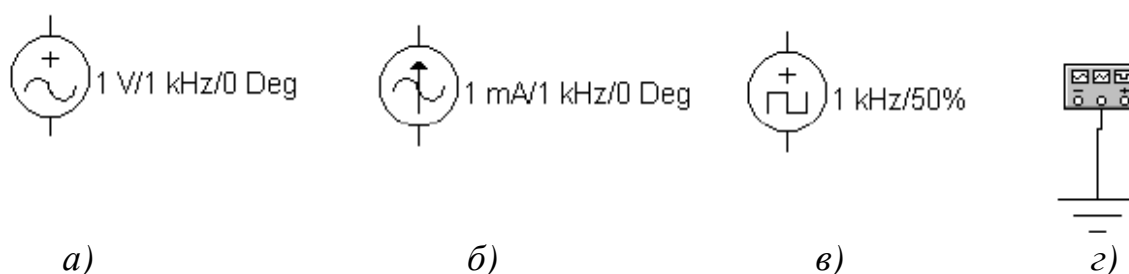


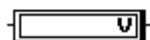
Рис. П9. Источники переменного напряжения и тока


В источнике переменного напряжения (рис. П9,а) задается эффективное значение напряжения, частота и фаза сигнала. В источнике переменного синусоидального тока (рис. П9,б) задается эффективное значение тока, частота и фаза сигнала. В источнике прямоугольных импульсов (рис. П9,в) задается амплитуда, частота и коэффициент заполнения импульсов.


Коэффициент заполнения равен  $\frac{t_{\text{и}}}{T} 100\%$ , где  $t_{\text{и}}$  – длительность входного импульса,  $T$  – период колебаний. Величина коэффициента заполнения обратна скважности. Коэффициент заполнения проставляется в строке Duty Cycle. Функциональный генератор (рис. П9,г) имеет два противофазных выхода и может генерировать сигналы синусоидальной, треугольной или прямоугольной формы.

## 2.2. Индикаторные приборы


Для индикации сигналов в программе EWB имеется ряд приборов:

 Вольтметр. Измеряет в режиме DC постоянное напряжение и в режиме AC – переменное. Утолщенная линия вывода соответствует отрицательному потенциалу.

 Амперметр. Имеет режимы AC и DC. (На схемах применены обозначения амперметра и вольтметра согласно ГОСТ).

 Цифровой индикатор. Подключается к выводам двоично-десятичного счетчика. Левый вывод подсоединяется к старшему разряду.

 Светодиод.

 Плавкий предохранитель



Логический пробник

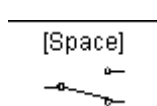


Звуковая сигнализация



Десятисегментный светодиодный индикатор

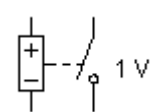
### 2.3. Коммутационные устройства



Однополюсный тумблер. Переключается клавишей «пробел» (Space)



Реле времени с программируемым временем переключения.



Выключатель, срабатывающий в заданном диапазоне входных напряжений.

### 2.4. Пассивные и активные компоненты

Пассивные компоненты представлены резисторами, конденсаторами, индуктивностями, трансформаторами. Активные приборы представлены как дискретными компонентами (диоды, биполярные транзисторы, полевые транзисторы с управляющим р-п-переходом, МДП-транзисторы), так и аналоговыми и цифровыми микросхемами.

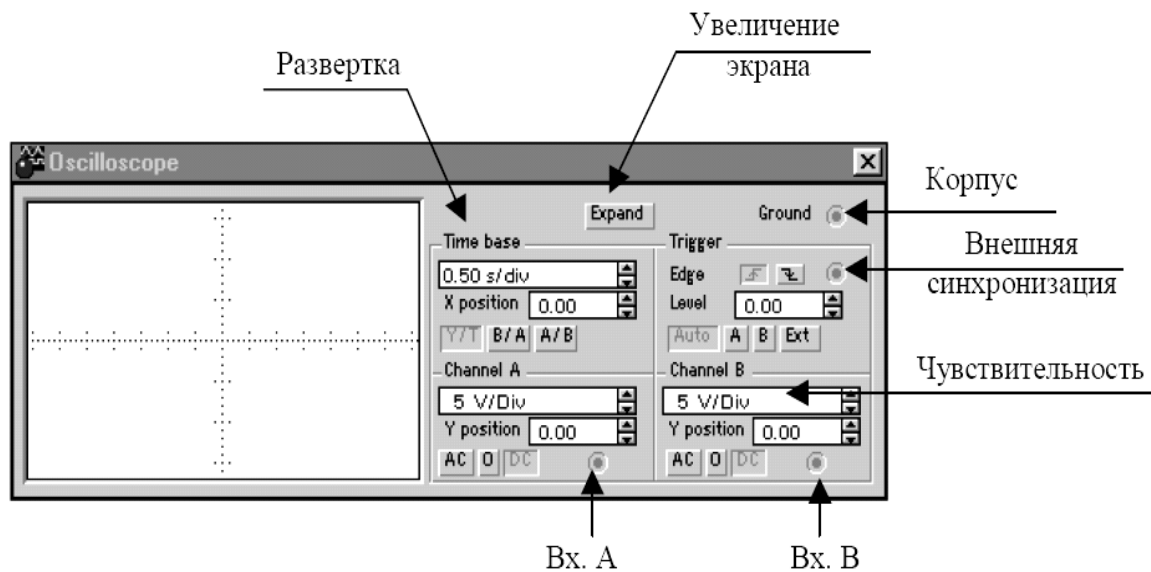
### 2.5. Контрольно-измерительные приборы



*Мультиметр* (Multimeter) измеряет действующие или постоянные значения напряжений и токов, сопротивления и ослабления (затухания). Кнопка Setting служит для установки параметров мультиметра.

## Двухлучевой осциллограф (Oscilloscope)

Лицевая панель осциллографа приведена на рисунке.

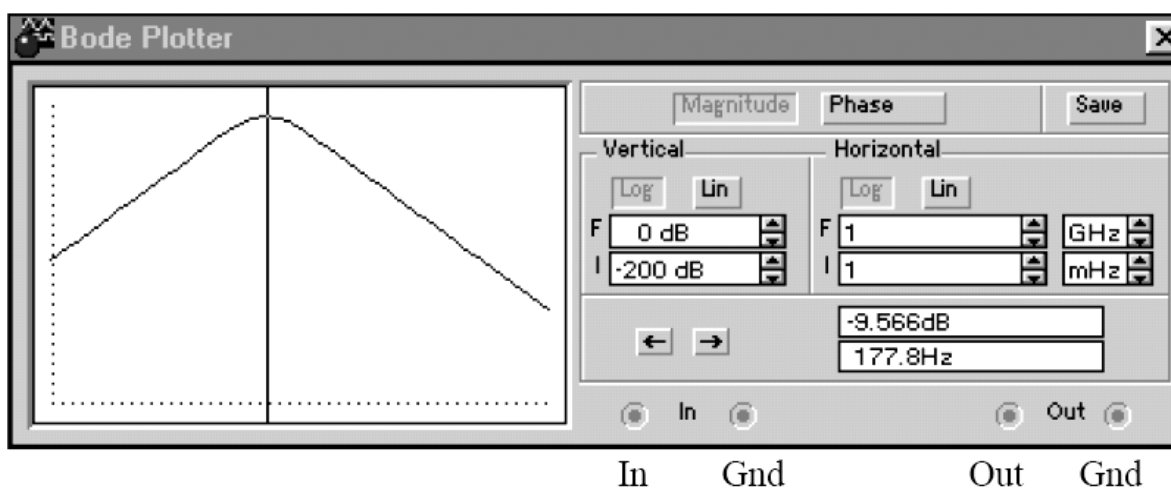


Осциллограф имеет два канала (CHANNEL A и B) с отдельной регулировкой чувствительности от 10 мкВ/дел до 5 кВ/дел и регулировкой смещения по вертикали (YPOS). Режим по входу выбирается кнопками AC (наблюдается только переменный сигнал) и DC (наблюдается переменная и постоянная составляющие сигнала). Обычный режим развертки (по вертикали – напряжение сигнала, по горизонтали – время) выбирается кнопкой Y/T. В режиме B/A по вертикали откладывается напряжение канала B, по горизонтали – канала A. В режиме Y/T длительность развертки (Time Base) может быть задана в пределах от 0,1 нс/дел до 1с/дел. Развертка может иметь ждущий режим (Trigger) с запуском (Edge) по переднему или заднему фронту запускающего сигнала при регулируемом уровне (Level) запуска. Режимы запуска развертки выбираются либо Auto (от канала A или B), от канала A, от канала B или от внешнего источника (Ext). При нажатии на кнопку Expand экран осциллографа увеличивается. Появляются две визирные линии, с помощью которых можно измерять напряжение, временные интервалы и их приращения. Возврат к исходному состоянию осциллографа осуществляется нажатием на кнопку Reduce.

*Измеритель амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик (Bode Plotter)*

Измеритель предназначен для анализа АЧХ (при нажатой кнопке

Magnitude) и ФЧХ (при нажатой кнопке Phase) в логарифмическом или линейном масштабе (кнопки Log и Lin). Настройка измерителя заключается в выборе пределов измерения коэффициента передачи по вертикальной оси и вариации частоты по горизонтальной оси (F- максимальное значение, I- минимальное).



Считывание показаний АЧХ-ФЧХ производится с помощью визирной линии, перемещаемой мышью или кнопками ← и →. Входы измерителя Вх и Вых подключаются ко входу и выходу исследуемого устройства, соответственно.

#### *Генератор слова (Word Generator)*

Генератор слова (кодový генератор) предназначен для генерации шестнадцати 8-разрядных двоичных слова.

#### *Логический анализатор (Logic Analyser)*

Логический анализатор предназначен для отображения на экране монитора шестнадцати 8-разрядных кодовых последовательностей одновременно в восьми точках схемы.

#### *Логический преобразователь (Logic Converter)*

Логический преобразователь имеет восемь входов (А, В, С, D ... Н) и один выход (OUT), экран для отображения таблицы истинности исследуемой схемы, экран-строку для отображения ее булева выражения. Логический преобразователь имеет следующие варианты использования:

- логический анализ устройств с одним выходом;
- синтез логических устройств по таблице истинности;
- синтез логического устройства по булеву выражению.

### **3. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ**

1. Запустите Electronics Workbench.

2. Подготовьте новый файл для работы. Для этого необходимо выполнить следующие операции из меню: File/New и File/Save as. При выполнении операции Save as будет необходимо указать имя файла и каталог, в котором будет храниться схема. Рекомендуется называть схему по фамилии исполнителя.

3. Перенесите необходимые элементы из заданной преподавателем схемы на рабочую область Electronics Workbench. Для этого необходимо выбрать раздел на панели инструментов (Sources, Basic, Diodes, Transistors, Analog Ics, Mixed Ics, Digital Ics, Logic Gates, Digital, Indicators, Controls, Miscellaneous, Instruments), в котором находится нужный вам элемент, затем перенести его на рабочую область.

4. Соедините контакты элементов и расположите элементы в рабочей области для получения необходимой вам схемы. Для соединения двух контактов необходимо щелкнуть по одному из контактов основной кнопкой мыши и, не отпуская клавишу, довести курсор до второго контакта. В случае необходимости можно добавить дополнительные узлы (разветвления). Нажатием на элементе правой кнопкой мыши можно получить быстрый доступ к простейшим операциям над положением элемента, таким как вращение (rotate), разворот (flip), копирование/вырезание (copy/cut), вставка (paste).

5. Проставьте необходимые номиналы и свойства каждому элементу. Для этого нужно дважды щелкнуть мышью на элементе.

6. Когда схема собрана и готова к запуску, нажмите кнопку включения питания на панели инструментов. В случае серьезной ошибки в схеме (замыкание элемента питания накоротко, отсутствие нулевого потенциала в схеме) будет выдано предупреждение.

7. Произведите анализ схемы, используя инструменты индикации. Вывод терминала осуществляется двойным нажатием клавиши мыши на элементе. В случае надобности можно пользоваться кнопкой Pause.

8. При необходимости произведите доступные анализы в разделе меню Analysis.

Для удобства размещения компонентов можно сделать видимой сетку по команде Circuit / Schematic Options / Show Grid. Компоненты электри-

ческой схемы, измерительные приборы, источники сигналов и питания извлекаются из соответствующих меню при нажатии левой кнопки мыши (ЛКМ) и устанавливаются на экране. Соединение элементов производится в автоматическом режиме: курсор подводится к выводу элемента, появляется точка, затем, нажимая и удерживая в нажатом состоянии ЛКМ, перемещением мышки прокладывается прямолинейная цепь до другого вывода элемента, на котором также появляется точка. ЛКМ отпускается. Цепь прорисовывается в ортогональном режиме и состоит из горизонтальных и вертикальных отрезков, которые огибают установленные элементы схемы.

Цепи можно редактировать следующим образом:

- Участки цепи можно переместить. Для этого курсор подводится к участку цепи. Нажимая и удерживая ЛКМ, перемещением мышки изменяем положение цепи. Аналогично перемещаются и узлы схемы.

- Цепи можно окрасить в любой цвет. Для этого цепь выделяется щелчком ЛКМ, и затем в контекстном меню выбирается команда Wire Properties. После чего в диалоговом окне в секции Schematic Options нажимаем кнопку Setwire Color и в следующем окне выбираем из палитры цвет проводника. Рекомендуется окрашивать в разные цвета цепи, подводимые ко входам осциллографа, так как графикам, отображаемым на экране осциллографа, присваивается цвет подсоединенных к его входам цепей.

- Удаление цепи. Удаляемая цепь выделяется и нажимается на клавиатуре клавиша Del или выбирается в контекстном меню команда Delete. После создания схемы сетку можно отключить. Кроме того, можно просмотреть автоматически проставленные номера узлов схемы по команде Circuit / Schematic Options / Show nodes. Номера узлов могут использоваться в последующем для просмотра результатов моделирования в выбранных узлах.

## 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ

1-й способ. Если в схеме установлены измерительные приборы, то она запускается на моделирование включением напряжения питания тумблером, расположенным в правой верхней части экрана. Там же расположена кнопка Stop, с помощью которой можно зафиксировать процесс моделирования в определенном состоянии. На экране осциллографа просматриваются графики сигналов в выбранных узлах. Для лучшего визуального просмотра на осциллографе подбираются необходимые чувствительность по вертикальному каналу и длительность развертки.



2-й способ. При этом способе измерительные приборы (осциллограф и др.) на схеме не устанавливаются. Желательно сделать видимыми номера узлов. Затем назначается вид анализа из меню Analysis. Например, анализ АЧХ выполняется по команде Analysis/ AC Frequency, анализ переходных процессов – по команде Analysis/ Transient, анализ по постоянному току – по команде Analysis/ DC Operating Point и др. Далее в диалоговом окне устанавливаются параметры анализа и узлы, в которых просматриваются результаты моделирования (в поле Nodes for Analysis). Процесс моделирования запускается нажатием на кнопку Simulate. Графики моделирования представляются в окне Analysis Graphs. Окно можно распахнуть на весь экран. Параметры сигналов просматриваются с помощью двух визирных линий, появляющихся после щелчка ЛКМ на значке Toggle Cursors. (Эту команду можно выполнить и из контекстного меню). Визирные линии перемещаются мышкой и устанавливаются в необходимом месте. Параметры сигналов отражаются в динамическом окне.

В качестве примера приведено моделирование транзисторного автогенератора. Для начала разработки необходимо загрузить файл-схему в среду Electronics Workbench, если этот файл уже создан и находится на одном из накопителей компьютера. Это делается посредством выполнения команды меню File/Open либо нажатием на соответствующей «горячей кнопке» на панели инструментов и дальнейшим выбором накопителя, каталога, и имени файла. Если же файл еще не создан необходимо создать его посредством выполнения команды File/New и команды File/Save as. При выполнении первой команды будет создан новый файл-схема и в случае если какая либо схема уже загружена в Electronics Workbench, пользователю будет предложено сохранить предыдущую схему. Вторая команда предназначена для записи файла на накопитель и установки каталога и имени, под которым будет храниться данная схема.

Далее нужно нанести на рабочую область Electronics Workbench модели деталей необходимые для моделирования данной схемы. Это делается посредством нажатия левой кнопкой мыши на нужном наборе деталей, после чего будет выведено дополнительное окно, включающее в себя детали набора, выбором соответствующей детали, при этом на кнопке с рисунком элемента нажимается левая кнопка мыши и элемент переносится на рабочую область (кнопку мыши необходимо держать нажатой до выбора места расположения элемента).

Для моделирования транзисторного автогенератора необходимо со-

брать схему, представленную на рис. П10. Для этого нужно нанести все компоненты схемы на рабочую область Electronics Workbench и соединить все контакты проводниками. Модель транзистора находится в наборе деталей Transistors, а источник питания в наборе Sources. После соединения моделей деталей в схему необходимо настроить параметры каждого компонента путем двойного нажатия на нем левой клавишей мыши и заполнением окон параметров. После настройки параметров можно попытаться включить источник питания путем нажатия клавиши переключения питания и проверить наблюдением за панелью осциллографа, выходит ли генератор в режим генерации. Если же на выходе не появляется сигнал переменного напряжения, то нужно повторить расчет параметров схемы и изменить их соответствующим образом.

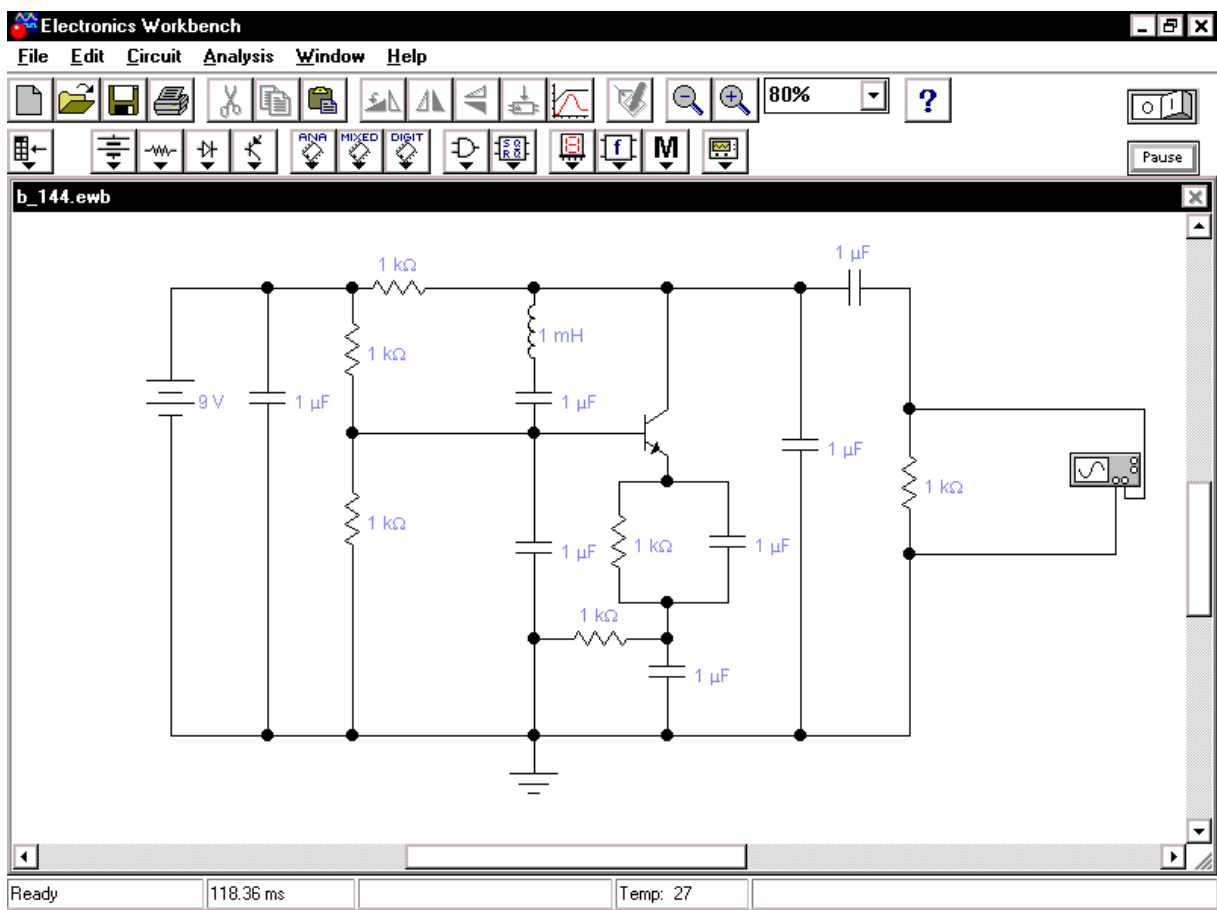


Рис. П10. Модель транзисторного автогенератора

За сигналом на выходе генератора удобно наблюдать, используя расширенное окно терминала осциллографа. На рис. П11 показан момент начала генерации сигнала и момент установки стабильного режима тран-

зисторного автогенератора. Для более детального изучения можно пользоваться полосами прокрутки и изменениями параметров терминала.

Для получения более точной модели можно заменить компоненты реальными моделями существующих, т.е. например, заменить идеальный транзистор моделью реально существующего транзистора. Electronics Workbench включает в себя достаточно большое количество реальных моделей деталей широко известных производителей.

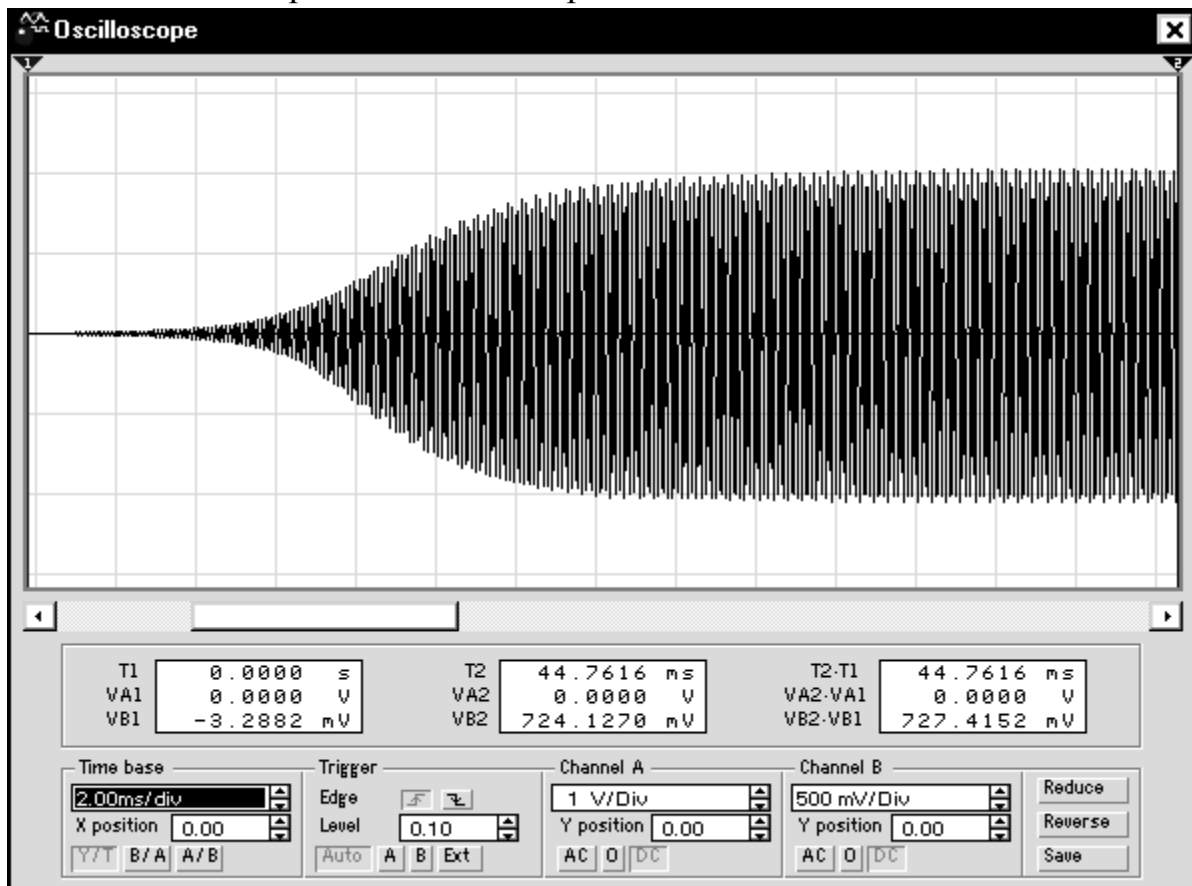


Рис. III.1. Сигнал на выходе транзисторного автогенератора

После завершения работы с программным комплексом нужно закрыть программу, предварительно сохранив схему, если это необходимо.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мишулин Ю.Е., Немонтов В.А. Цифровая схемотехника: учеб. пособие. / Владим. гос. ун-т, Владимир, 2006. – 142 с. ISBN 5-89368-649-7.
2. Аналоговая и цифровая электроника (Полный курс): Учебник для вузов / Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров; Под ред. О.П. Глудкина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 768 с., ил. ISBN 5-93517-002-7.
3. Горбунов В.Л., Панфилов Д.И., Преснухин Д.Л. Справочное пособие по микропроцессорам и микроЭВМ: / Под ред. Л.Н. Преснухина. – М.: Выс. шк., 1988, – 272с., ил. ISBN 5-06-001153-4.
4. Прянишников В.А. Электроника: Курс лекций. – 2-е изд. – СПб.: КОРОНА принт, 2000. – 416с., ил. ISBN 5-7931-0018-0.
5. Федорков Б.Г. Телец В.А. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение. – М.: Энергоатомиздат, 1990. –320с., ил. ISBN 5-283-01545-9.
6. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Пер.с.англ. В 3-х т. М.: Мир, 1993. ISBN 5-09-003395-5(рус).
7. Шило В.Л. Популярныe цифровые микросхемы: Справочник. – Челябинск: Металлургия, Челябинское отд., 1989.– 352с. ISBN 5-229-00602-1.
8. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение. М.: «Солон-Р», 2001.
9. Панфилова Д.И. и др. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях. Практикум по Electronics Workbench: в 2 т. М.: Изд. Дом «Додэка», 1999.
10. Part of Stepping Motors by Douglas W. Jones THE UNIVERSITY OF IOWA Department of Computer Science.
11. Unless otherwise indicated, all material on this site is the original work of Jason Johnson. Copyright © 1998 Jason Johnson.

ЦИФРОВАЯ СХЕМОТЕХНИКА  
Лабораторный практикум

Составители

МИШУЛИН Юрий Евгеньевич  
НЕМОНТОВ Владимир Александрович

Подписано в печать . . .

Формат 60×84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.  
Печать на ризографе. Усл. печ. л. , . Уч.-изд. л. , . Тираж 150 экз.

Заказ .

Издательство

Владимирского государственного университета.  
600000, Владимир, ул. Горького, 87.