Липецкий государственный технический университет
Факультет автоматизации и информатики
Кафедра электропривода

Музылева И.В., Пономарев П.С., Языкова Л.Н.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по учебной практике

для обучающихся по направлению 13.03.02
«Электроэнергетика и электротехника»
профиль «Электропривод и автоматика»

Липецк 2019

Целью учебной практики является изучение основополагающих для профиля «Электропривод и автоматика» разделов:

1. Основы электрических измерений;
2. Логические схемы;
3. Введение в компьютерное моделирование.

По первому и второму разделу изучение теоретического материала закрепляется решением простейших задач.

Задания третьего раздела заключаются в проверочном компьютерном моделировании электрических схем первого раздела и логических схем второго раздела.

1. МЕТРОЛОГИЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

1.1. Принцип действия электромеханических измерительных приборов

Любой электромеханический прибор состоит из двух основных частей:

1) измерительная цепь;

2) измерительный механизм.

В измерительной цепи прибора происходит преобразование измеряемой величины в величину, непосредственно воздействующую на измерительный механизм (чаще всего измеряемая величина преобразуется в энергию электромагнитного поля).

В измерительном механизме электромагнитная энергия, получаемая от измерительной цепи, преобразуется в механическую энергию движения подвижной части прибора (стрелка, бегунок, и т.д.).

В измерительной технике рассматриваются не силы воздействия на стрелку, а моменты. Момент воздействия на стрелку, который заставляет её отклоняться в сторону увеличения показаний, называется *вращающим* ($M_{вр}$).

По способу создания вращающего момента (или иными словами по способу образования электромагнитной энергию в механическую энергию движения подвижной части прибора) все электромеханические приборы делятся на следующие группы:

1) магниты электрические;

2) электромагнитные;

3) электродинамические;

4) ферродинамические;

5) индукционные;

6) электростатические, и др.

Если вращающий момент ничем не ограничивать, то при любом отличным от нуля значении измеряемой величины, стрелка прибора отклонится до максимального значения. Чтобы этого не происходило, в приборе создаётся *противодействующий момент* (M_{α}), направленный навстречу вращающему.

Противодействующий момент может создаваться двумя способами:

1. Механическим - за счёт использования пружинок, стальных нитей, растяжек и т.п.. В этом случае противодействующий момент зависит от упругих свойств материала пружинки, нити и т.п..

2. Электрическим - в этом случае принцип создания противодействующего момента аналогичен принципу создания вращающего момента. Прибор, в котором противодействующий момент создаётся электрическим путём, называется *логометр*ом).

Когда стрелка прибора прекращает своё движение по шкале, тогда вращающий момент равен противодействующему. Именно в этот момент времени с прибора снимают показания.

Все электромеханические приборы имеют шкалу, на которой с помощью специальных обозначений приводится метрологическая (измерительная) характеристика прибора. Основные обозначения, используемые на шкалах электроизмерительных приборов, приведены в таблице 1.1. Дополнительные обозначения – в таблице 1.2.

1.2. Измерение основных электрических величин

Измерение силы электрического тока

Измерение силы электрического тока осуществляется с помощью амперметра, который подключается последовательно к ветви, в которой необходимо измерить ток (или ток через элемент, расположенный в этой ветви).

Для точного показания амперметра необходимо, чтобы его внутреннее сопротивление (или полное сопротивление амперметра с учётом шунта) было на два порядка ниже любого другого сопротивления в исследуемой ветви.

Для расширения пределов измерения амперметра используют *шунт* – резистор подключенный параллельно к измерительной цепи амперметра.

Таблица 1.1

Условные графические обозначения (УГО)

шкал электроизмерительных приборов

Тип прибора	УГО на шкалах
Магнитоэлектрический прибор с подвижной рамкой	
Магнитоэлектрический логометр с подвижными рамками	
Магнитоэлектрический прибор с подвижным магнитом	
Магнитоэлектрический логометр с подвижным магнитом	
Электромагнитный прибор	
Электромагнитный логометр	
Электромагнитный поляризованный прибор	
Электродинамический прибор	
Электродинамический логометр	
Ферродинамический прибор	
Ферродинамический логометр	
Индукционный прибор	
Индукционный логометр	
Магнитоиндукционный прибор	
Электростатический прибор	
Вибрационный прибор (язычковый)	
Тепловой прибор с нагреваемой проволокой	
Биметаллический прибор	

Таблица 1.2

Дополнительные обозначения

Обозначение принципа действия прибора	Условное обозначение
Термопреобразователь неизолированный	
Термопреобразователь изолированный	
Преобразователь электронный в измерительной цепи	
Выпрямитель полупроводниковый	
Напряжение испытательное 500 В	
Напряжение испытательное больше 500 В, например, 2 кВ	2
Ссылка на соответствующий документ	
Шунт	
Сопротивление добавочное	R
Экран электростатический	
Экран магнитный	
Корректор	
Класс точности в % при нормировании ошибки от предела измерения, например, 1,5	1,5
Класс точности в % при нормировании ошибки от длины шкалы, например, 1,5	1,5
Ток постоянный	–
Ток переменный однофазный	~
Ток постоянный и переменный однофазный	
Ток трёхфазный переменный	≈
Горизонтальное положение прибора	
Вертикальное положение прибора	

Схема включения амперметра с шунтом представлена на рис. 1.1. Здесь $I_{ан}$ - ток амперметра; $r_а$ – внутреннее сопротивление амперметра; $R_ш$ – сопротивление шунта.

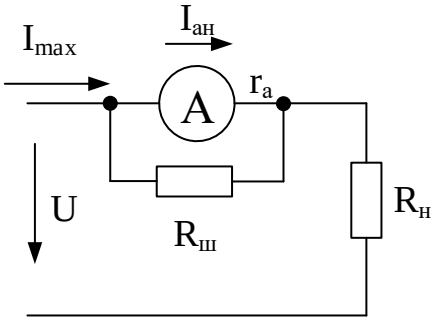


Рис. 1.1. Схема включения амперметра

Сопротивление шунта определяется по формуле:

$$R_ш = \frac{I_{ан} \cdot r_a}{I_{\max} - I_{ан}},$$

где $I_{ан}$ – номинальное (предельное) значение силы тока, которое может измерить амперметр без шунта;

r_a – внутреннее сопротивление амперметра (паспортное значение, которое указывается либо на шкале прибора, либо в документах к нему. У идеального амперметра $r_a = 0$);

$I_{\max}$ – максимальное (предельное) значение силы тока, которое может измерить амперметр с подключенным шунтом;

В цепях переменного тока среднего и высокого класса напряжений для расширения пределов измерения амперметра наряду с шунтами используют трансформаторы тока.

Измерение напряжения

Измерение напряжения осуществляется с помощью вольтметра, который подключается параллельно к зажимам элемента, на котором необходимо измерить напряжение (рис. 1.2).

Для точного показания вольтметра необходимо чтобы его внутреннее сопротивление (или полное сопротивление вольтметра с учётом добавочного со-

противления $R_д$) было на два порядка выше (т.е. в 100 раз больше) сопротивления элемента, на котором измеряют напряжение.

Для расширения пределов измерения вольтметра используют добавочное сопротивление – сопротивление, которое подключают последовательно к измерительной цепи вольтметра (рис. 1.2).

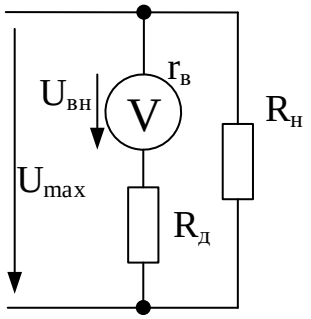


Рис. 1.2. Схема включения вольтметра

В цепях переменного тока среднего и высокого класса напряжений для расширения пределов измерения вольтметра на ряду с добавочными сопротивлениями используют трансформаторы напряжения. Добавочное сопротивление рассчитывается как

$$R_д = \frac{(U_{\max} - U_{вн}) \cdot r_a}{U_{вн}},$$

Где $U_{вн}$ – номинальное (предельное) значение напряжения, которое может измерить вольтметр без добавочного сопротивления;

$r_в$ – внутреннее сопротивление вольтметра (паспортное значение, которое указывается либо на шкале прибора, либо в документах к нему. У идеального вольтметра $r_в = \infty$);

$U_{\max}$ – максимальное (предельное) значение напряжения, которое может измерить вольтметр с подключенным добавочным сопротивлением.

Измерение сопротивлений

Измерение сопротивлений может осуществляться одним из следующих способов.

1) С помощью омметра или мегаомметра.

Измерение осуществляется по схеме, представленной на рис. 1.3.

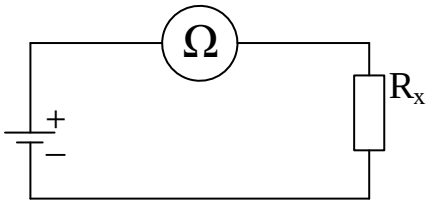


Рис. 1.3. Схема включения омметра

Неизвестное сопротивление (R_x) определяют непосредственно из показаний омметра. Данный метод измерения является *прямым* – метод, при котором неизвестное значение физической величины определяется непосредственно из показаний прибора или средства измерения.

2) С помощью амперметра и вольтметра.

Измерение осуществляется по одной из схем, показанных на рис. 1.4.

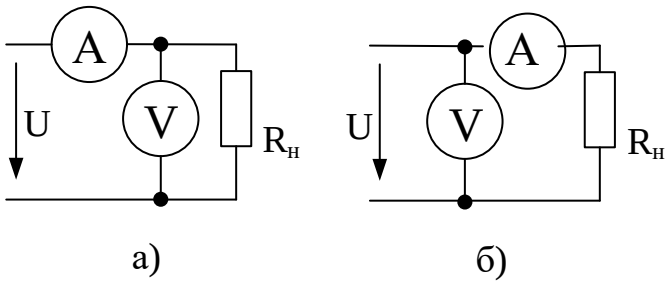


Рис. 1.4. Метод амперметра и вольтметра

Схема рис. 1.4, а используется для больших сопротивлений, схема рис. 1.4, б - .для малых или средних сопротивлений. Искомое сопротивление рассчитывается по закону Ома

$$R_x = \frac{U}{I},$$

Где U и I – показания приборов.

Данный метод измерения является *косвенным* – метод, при котором неизвестное значение физической величины находят на основании известной функ-

циональной зависимости, а величины, входящие в эту зависимость находят методом прямого измерения.

3) С помощью мостового прибора (моста)

Измерения осуществляются по схеме, представленной на рис. 1.5.

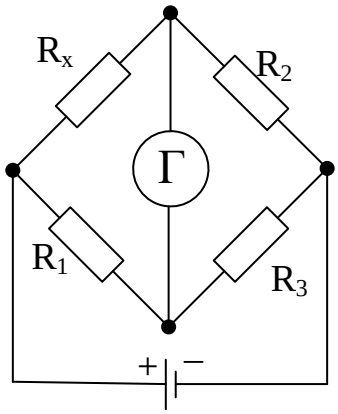


Рис. 1.5. Метод моста

Неизвестное сопротивление (R_x) подключается к мостовому прибору, затем путём подбора известных переменных сопротивлений ($R_1 \div R_3$) добивается отсутствие тока в цепи гальванометра Г или 0-. Когда ток становится равным нулю, подбор сопротивлений прекращается, а неизвестное сопротивление (R_x) определяется по формуле:

$$R_x = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_3}$$

Данный метод измерения является наиболее точным за счёт использования гальванометра с высоким классом точности (магнитоэлектрического).

Измерение мощности в однофазной системе

Измерение мощности в однофазной системе осуществляется с помощью ваттметра (рис. 1.6). Чаще всего для этих целей служит ваттметр электродинамической системы, а если рассматривать электромеханический счётчик, то это будет счётчик индукционной системы.

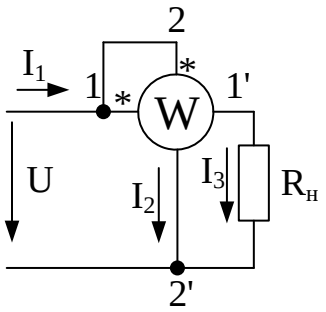


Рис. 1.6. Включение ваттметра в однофазную сеть

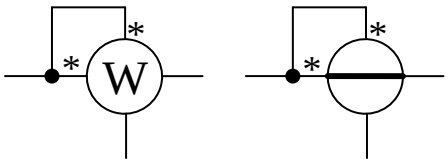
Ваттметр состоит из двух обмоток -токовой (1-1’) и напряжения (2-2’)).

Ток в токовой обводке ваттметра I_1 равен току нагрузки $I_н$, а ток в обмотке напряжения I_2 прямо пропорционален входному напряжению U.

Ваттметр имеет 4 зажима подключения (2 тока и 2 напряжения).

Для правильного подключения ваттметра один из зажимов токовой обмотки и один из зажимов обмотки напряжения помечают знаком (*). Эти зажимы называют генераторными и их подключают со стороны источника питания.

На схемах ваттметр (счётчик) могут обозначать следующим образом:



Измерение мощности в трёхфазных системах

Из-за возможности различного соединения нагрузки, а также различного характера нагрузки различают следующие основные методы измерения мощности в трёхфазной системе:

1) метод одного ваттметра;

2) метод трёх ваттметров;

3) метод двух ваттметров.

Метод одного ваттметра

Используется в трёхфазных, трёхпроводных симметричных системах вне зависимости от способа соединения нагрузки (звезда или треугольник). Схема измерений при использовании данного метода представлена на рис. 1.7.

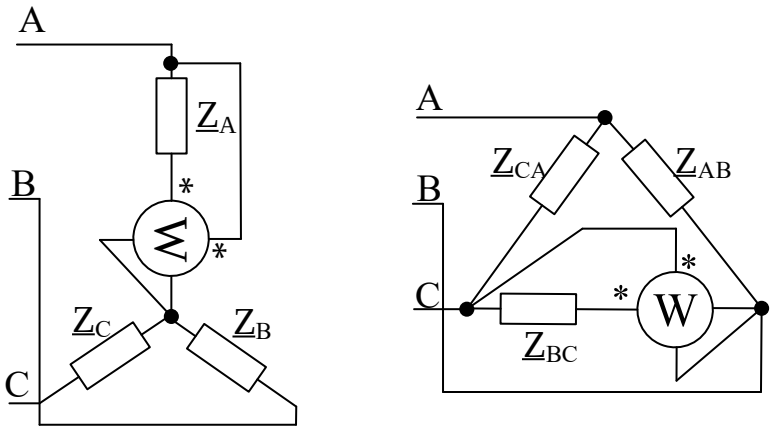


Рис. 1.7. Схема включения одного ваттметра в трёхфазную сеть

Суммарная мощность всей системы в этом случае рассчитывается как

$$P = 3 \cdot W,$$

где W – показания ваттметра.

Метод трёх ваттметров

Используются в трёхфазных, четырёхпроводных несимметричных системах (рис. 1.8). В этом случае складываются показания всех трёх приборах:

$$P = W_1 + W_2 + W_3.$$

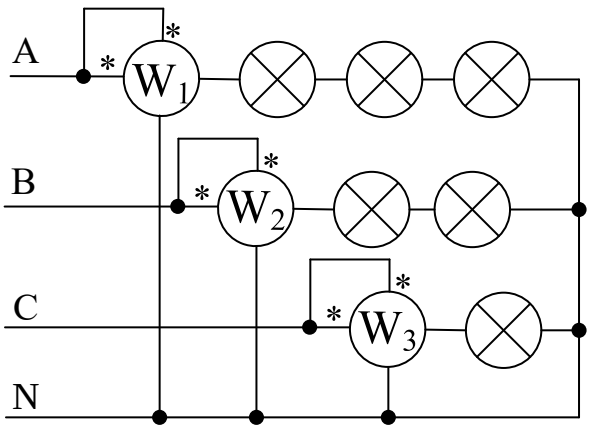


Рис. 1.8. Схема включения трёх ваттметров

Метод двух ваттметров

Используется в трёхфазных, трёхпроводных, несимметричных системах (рис. 1.9) вне зависимости от способа соединения нагрузки (звезда или треугольник).

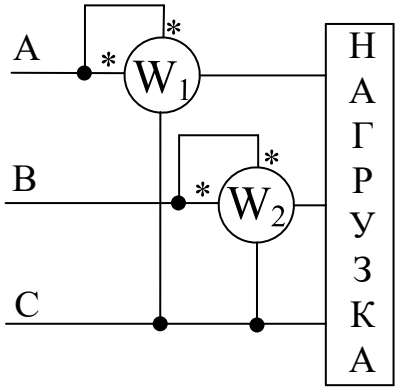


Рис. 1.9. Схема включения двух ваттметров

Суммарная мощность всей системы определяется как: $P = W_1 + W_2$

Доказательство:

пусть нагрузка подключена по схеме звезда. В любой момент времени мгновенная мощность трёхфазной системы равна:

$$\underline{P} = \underline{P}_A + \underline{P}_B + \underline{P}_C = \underline{i}_A \cdot \underline{u}_A + \underline{i}_B \cdot \underline{u}_B + \underline{i}_C \cdot \underline{u}_C .$$

По первому закону Кирхгофа

$$\underline{i}_A + \underline{i}_B + \underline{i}_C = 0$$

$$-(\underline{i}_A + \underline{i}_B) = \underline{i}_C$$

$$\underline{P} = \underline{i}_A \cdot \underline{u}_A + \underline{i}_B \cdot \underline{u}_B - \underline{u}_C(\underline{i}_A + \underline{i}_B) = \underline{i}_A \cdot \underline{u}_A + \underline{i}_B \cdot \underline{u}_B - \underline{u}_C \cdot \underline{i}_A - \underline{u}_C \cdot \underline{i}_B = \underline{i}_A \cdot (\underline{u}_A - \underline{u}_C) + \underline{i}_B \cdot (\underline{u}_B - \underline{u}_C) =$$

$$= \underline{i}_A \cdot \underline{u}_{AC} + \underline{i}_B \cdot \underline{u}_{BC} = W_1 + W_2 .$$

1.3. Классификация погрешностей

Из-за несовершенства конструкций приборов все они обладают погрешностью показаний. Была разработана общая классификация погрешностей, основными из которых являются:

1) абсолютная;

2) относительная;

3) приведённая;

4) методическая;

5) инструментальная;

6) случайная;

7) ошибка наблюдателя, и т.д.

Абсолютная погрешность

Абсолютная погрешность – разница между измеренным значением физической величины и истинным (действительным) значением физической величины:

$$\Delta = X - X_И,$$

где X – измеренное значение физической величины, полученное непосредственно из показаний прибора или средства измерения.

Истинное значение физической величины $X_И$ – значение, которое идеальным образом характеризует какое-либо свойство объекта, тела, системы или силы. Часто термин истинное значение заменяет термином образцовое значение или эталонное значение.

Действительное значение физической величины – значение настолько близкое к истинному, что может быть использовано вместо него.

Измеряется абсолютная погрешность в единицах измеряемой величины.

Относительная погрешность

Относительная погрешность - это отношение абсолютной погрешности к истинному (действительному) значению физической величины, выраженной в процентах:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_И} \cdot 100\%$$

Приведенная погрешность

Приведенная погрешность – отношение абсолютной погрешности к некоторому нормированному значению X_N (значению, принятому постоянной в некотором диапазоне измерения) в процентах:

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100\%.$$

Нормированное значение X_N может выбираться одним из следующих способов:

а) для шкалы, начинающейся с нуля, нормированное значение равно крайнему значению диапазона измерения.

б) Для шкалы, у которой ноль находится внутри диапазона измерения, нормированное значение равно сумме модулей крайних значений шкалы.

в) Для шкалы некоторых приборов нормированное значение указано на самом приборе.

г) При решении некоторых задач X_N выбирают самостоятельно, исходя из поставленных условий задач.

Методическая погрешность

Методическая погрешность – погрешность, связанная с ошибкой в выборе метода измерения или погрешность между двумя различными методами измерения одной и той же величины

Инструментальная погрешность

Инструментальная – погрешность самого прибора или средства измерения.

Случайная погрешность

Случайная – погрешность, появление которой невозможно предсказать нормальными законами распределения.

Ошибка наблюдателя

Ошибка наблюдателя – ошибка, связанная с неправильным отсчётом показаний прибора, вследствие человеческого фактора.

На шкалах (или в документации) всех электроизмерительных приборов указывается *класс точности прибора* – основная характеристика, учитывающая все основные и дополнительные погрешности, допускаемые прибором.

Класс точности обозначается на шкале прибора в виде десятичной дроби. Чем меньше значение дроби, тем выше класс точности прибора и, соответственно, точнее прибор. Класс точности может обозначаться различными способами (таблица 1.3). В зависимости от способа обозначения у прибора нормируются либо относительная, либо приведённая погрешности.

Таблица 1.3

Обозначение класса точности (нормированные погрешности)

Обозначение класса точности	Нормированная погрешность	Формула для вычисления
0,5	$\gamma = \pm 0,5\%$	$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100\%$
1,5	$\gamma = \pm 1,5\%$	$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100\%$
2,5	$\delta = \pm 2,5\%$	$\delta = \frac{\Delta}{X_И} \cdot 100\%$

У некоторых приборов класс точности может обозначаться подобным образом, и порядок расчёта погрешности отличается от приведённой в таблице методике.

Варианты представлены на рис. 1.10 – 1.14 и в таблицах 1.4 – 1.8.

Задание 1.1.

Исходные данные: амперметр, с пределом измерения от 0 до $I_{ан}$ и внутренним сопротивлением $R_а$.

Для заданной схемы подобрать сопротивление шунта к амперметру таким образом, чтобы при отклонении стрелки амперметра до середины шкалы диапазон измерения амперметра показывал полную силу тока через резистор R_3.

Задание 1.2.

Исходные данные: вольтметр, с пределом измерения от 0 до V_{max} и внутренним сопротивлением R_v.

Для заданной схемы подобрать сопротивление шунта к вольтметру таким образом, чтобы при отклонении стрелки вольтметра до крайнего значения диапазона измерения вольтметр показывал полное напряжение на резисторе R_5.

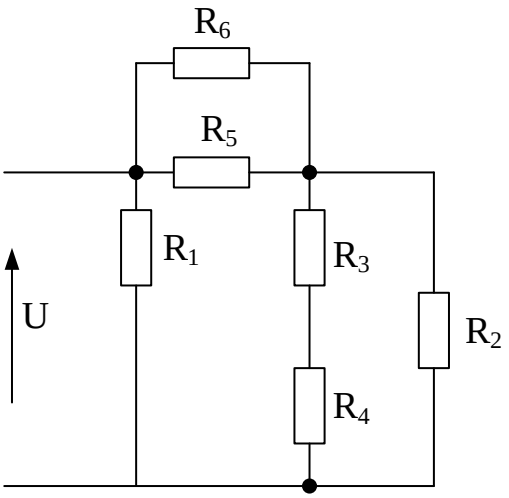


Рис. 1.10. Схема для вариантов 1…12

Таблица 1.4

Исходные данные для вариантов 1 … 12

№ варианта	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	U	R_a	R_v	$V_{вн}$	$I_{ан}$
1	60	20	10	10	10	10	600	0,015	18000	10	5
2	30	60	20	10	20	20	600	0,01	12000	50	3
3	60	20	10	10	10	10	300	0,02	16000	20	5
4	60	20	10	10	10	10	900	0,01	14000	30	4
5	90	30	15	15	15	15	900	0,005	10000	50	2
6	45	15	7,5	7,5	7,5	7,5	450	0,005	12000	10	5
7	120	40	20	20	20	20	600	0,015	20000	40	3
8	120	40	20	20	20	20	300	0,02	18000	20	4
9	120	40	20	20	20	20	900	0,01	16000	50	3

10	30	60	20	10	20	20	900	0,015	20000	30	2
11	30	60	20	10	20	20	300	0,02	14000	40	4
12	45	15	7,5	7,5	7,5	7,5	900	0,005	10000	50	5

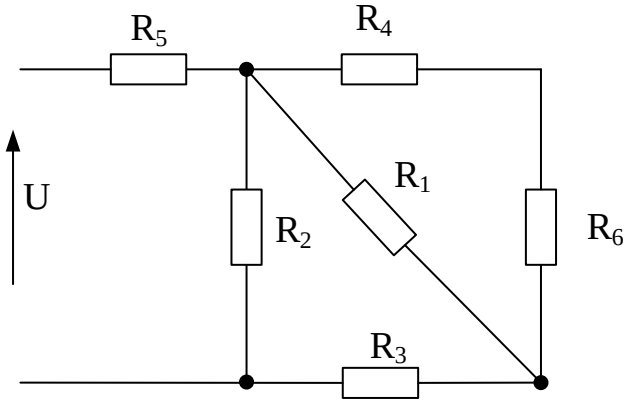


Рис. 1.11. Схема для вариантов 13…24

Таблица 1.5

Исходные данные для вариантов 13 … 24

№ варианта	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	U	R_a	R_v	$V_{вн}$	$I_{ан}$
13	10	10	2	10	5	30	1000	0,01	10000	50	3
14	10	10	2	10	5	30	500	0,015	16000	40	2
15	10	10	2	10	5	30	750	0,02	14000	10	4
16	15	15	3	15	7,5	45	900	0,005	20000	30	5
17	15	15	3	15	7,5	45	600	0,005	12000	20	5
18	15	15	3	15	7,5	45	300	0,015	18000	50	2
19	20	20	4	20	10	60	1000	0,01	16000	40	3
20	20	20	4	20	10	60	750	0,02	10000	50	4
21	20	20	4	20	10	60	500	0,005	20000	20	5
22	5	5	1	5	2,5	15	1000	0,01	12000	10	2
23	10	10	2	10	5	30	750	0,015	14000	30	4
24	10	10	2	10	5	30	500	0,02	18000	50	3

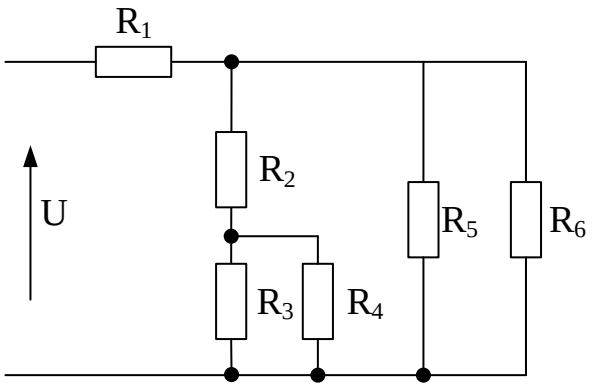


Рис. 1.12. Схема для вариантов 25…36

Таблица 1.6

Исходные данные для вариантов 25 …36

№ варианта	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	U	R_a	R_v	$V_{вн}$	$I_{ан}$
25	15	5	10	10	20	20	1000	0,005	20000	30	5
26	15	5	10	10	20	20	500	0,02	16000	50	3
27	15	5	10	10	20	20	800	0,015	10000	40	2
28	15	5	10	10	20	20	400	0,01	18000	50	4
29	30	10	20	20	40	40	500	0,005	12000	10	5
30	30	10	20	20	40	40	800	0,02	20000	20	2
31	30	10	20	20	40	40	1000	0,015	14000	50	3
32	30	10	20	20	40	40	600	0,005	10000	40	4
33	7,5	2,5	5	5	10	10	500	0,01	16000	20	2
34	7,5	2,5	5	5	10	10	600	0,01	12000	30	4
35	7,5	2,5	5	5	10	10	800	0,02	18000	10	3
36	7,5	2,5	5	5	10	10	1000	0,015	14000	50	5

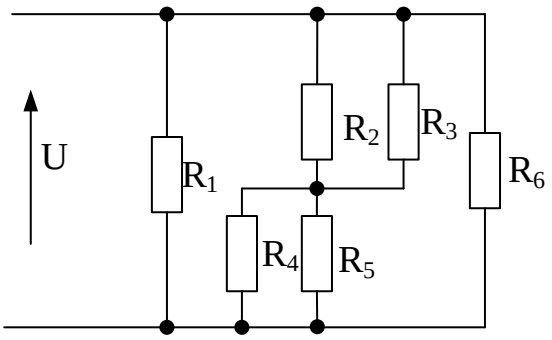


Рис. 1.13. Схема для вариантов 37…48

Таблица 1.7

Исходные данные для вариантов 37 … 48

№ варианта	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	U	R_a	R_v	$V_{вн}$	$I_{ан}$
37	20	10	10	10	10	10	1000	0,01	10000	50	5
38	20	10	10	10	10	10	500	0,02	10000	30	4
39	20	10	10	10	10	10	750	0,005	16000	40	2
40	30	15	15	15	15	15	900	0,015	20000	20	3
41	30	15	15	15	15	15	600	0,01	12000	50	5
42	30	15	15	15	15	15	300	0,02	18000	10	4
43	40	20	20	20	20	20	1000	0,015	20000	50	2
44	40	20	20	20	20	20	800	0,005	14000	50	3
45	40	20	20	20	20	20	600	0,01	18000	30	4
46	10	5	5	5	5	5	1000	0,02	16000	20	3
47	10	5	5	5	5	5	750	0,005	12000	10	2
48	10	5	5	5	5	5	500	0,015	14000	40	5

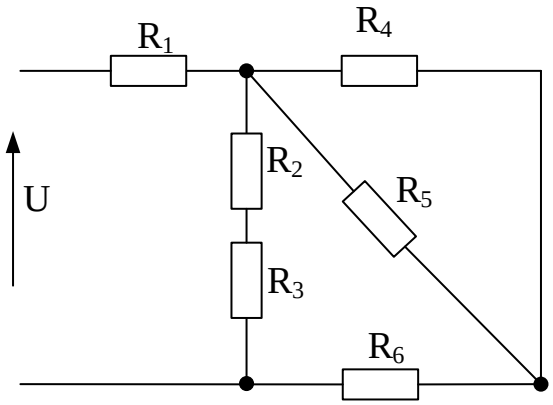


Рис. 1.14. Схема для вариантов 49…60

Таблица 1.8

Исходные данные для вариантов 49 … 60

№ варианта	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	U	R_a	R_v	$V_{вн}$	$I_{ан}$
49	10	5	5	12	12	4	150	0,01	10000	50	5
50	10	5	5	12	12	4	300	0,015	20000	40	3
51	10	5	5	12	12	4	600	0,02	14000	50	4
52	20	10	10	24	24	8	300	0,005	12000	30	2
53	20	10	10	24	24	8	600	0,01	18000	10	3
54	20	10	10	24	24	8	900	0,005	16000	50	5
55	15	7,5	7,5	18	18	6	900	0,02	10000	20	3
56	15	7,5	7,5	18	18	6	450	0,015	20000	50	4
57	15	7,5	7,5	18	18	6	225	0,01	18000	40	5
58	5	2,5	2,5	6	6	2	150	0,005	12000	20	2
59	5	2,5	2,5	6	6	2	300	0,02	16000	10	4
60	5	2,5	2,5	6	6	2	450	0,015	14000	30	5

Пример решения

Задание 1.1

Для цепи (рис. 1.15) подобрать сопротивление шунта таким образом, чтобы при отклонении стрелки амперметра до крайнего значения, амперметр показал полную силу тока через резистор R_1, если

$R_1=R_2=50$ Ом, $R_3=25$ Ом, $U=500$ В.

Внутреннее сопротивление амперметра $R_a=0{,}01$ Ом, предел измерения амперметра от 0 до 2,5 А.

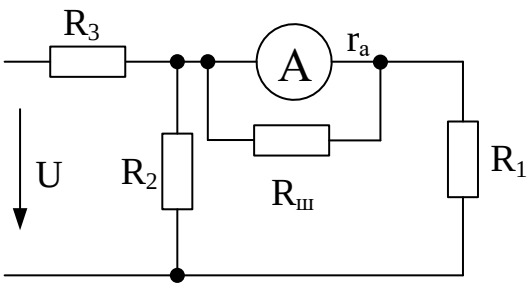


Рис. 1.15. Схема для примера решения задания 1.1

Решение:

$$R_{12}=\frac{R_1\cdot R_2}{R_1+R_2}=\frac{50\cdot 50}{50+50}=\frac{2500}{100}=25, Ом$$

$$R_{экв}=R_3+R_{12}=25+25=50, Ом$$

$$I=\frac{U}{R_{экв}}=\frac{500}{50}=10, A$$

По второму закону Кирхгофа

$$I\cdot R_3+I_1\cdot R_1=U$$

$$10\cdot 25+I_1\cdot 50=500$$

$$I_1=\frac{500-250}{50}=5, A$$

$$R_ш=\frac{I_{ан}\cdot R_a}{I_{\max}-I_{ан}}=\frac{2{,}5\cdot 0{,}01}{5-2{,}5}=0{,}01, Ом$$

Задание 1.2

Для цепи (рис. 1.16) подобрать добавочное сопротивление, таким образом, чтобы при отклонении стрелки вольтметра до середины диапазона измерения, вольтметр показал полное напряжение на резисторе R_1, если

$R_2=R_3= =R_4=30$ Ом, $R_1=10$ Ом, U=500 В.

Внутреннее сопротивление вольтметра $R_в=10$ кОм, предел измерения вольтметра от 0 до 125 А.

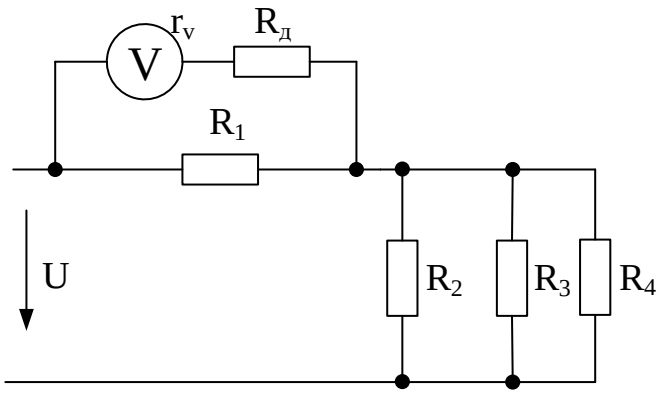


Рис. 1.16. Схема для примера решения задания 1.2

Решение:

$$R_{234} = \frac{R_2}{3} = \frac{30}{3} = 10, Ом$$

$$R_{экв} = R_1 + R_{234} = 10 + 10 = 20, Ом$$

$$I = \frac{U}{R_{экв}} = \frac{500}{20} = 25, A$$

$$U = I \cdot R_1 = 25 \cdot 10 = 250, \text{В}$$

$$R_д = \frac{(U_{\max} - U_{вн}) \cdot r_a}{U_{вн}} = \frac{(250 \cdot 2 - 125) \cdot 10^4}{125} = 30, кОм.$$

2. ЛОГИЧЕСКИЕ ВЫРАЖЕНИЯ И ЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ

Вводная информация по логическим функциям и элементам – в видеоуроке http://cifra.studentmiv.ru/esa-video-urok-po-teme-1/

2.1. Законы логики

Приоритет логических операций:

1) Операции в логическом выражении выполняются слева направо с учетом скобок в следующем порядке:
   1. инверсия;
   2. конъюнкция;
   3. дизъюнкция;

Для изменения указанного порядка выполнения логических операций используются круглые скобки.

Составные логические выражения алгебры высказываний называют формулами.

Истинно или ложно значение формулы, можно определить законами алгебры логики (таблица 2.1).

Таблица 2.1

Законы логики

Закон	Формулировка	Математическое выражение
1. Закон тождества	Всякое высказывание тождественно самому себе.	X = X
2. Закон исключенного третьего	Высказывание может быть либо истинным, либо ложным, третьего не дано. Следовательно, результат логического сложения высказывания и его отрицания всегда принимает значение “истина”.	$X + \overline{X} = 1$
3. Закон непротиворечия	Высказывание не может быть одновременно истинным и ложным. Если высказывание X истинно, то его отрицание НЕ X должно быть ложным. Следовательно, логическое произведение высказывания и его отрицания должно быть ложно.	$X \& \overline{X} = 0$
4. Закон двойного отрицания	Если дважды отрицать некоторое высказывание, то в результа-	$\overline{\overline{X}} = X$

	те получим исходное высказывание.	
5. Переместительный (коммутативный) закон	Результат операции над высказываниями не зависит от того, в каком порядке берутся эти высказывания.	$X+Y=Y+X$ $X\,\&\,Y=Y\,\&\,X$
6. Сочетательный (ассоциативный) закон	При одинаковых знаках скобки можно ставить произвольно или вообще опускать	$(X+Y)+Z=X+(Y+Z)=X+Y+Z$ $(X\,\&\,Y)\,\&\,Z=X\,\&\,(Y\,\&\,Z)=X\,\&\,Y\,\&\,Z$
7. Распределительный (дистрибутивный) закон	Определяет правило выноса общего высказывания за скобку	$X\,\&\,(Y+Z)=(X\,\&\,Y)+(X\,\&\,Z)$ $X+Y\,\&\,Z=(X+Y)\,\&\,(X+Z)$
8. Закон общей инверсии Закон де Моргана	Закон общей инверсии	$\overline{X+Y}=\overline{X}\,\&\,\overline{Y}$ $\overline{X\,\&\,Y}=\overline{X}+\overline{Y}$
9. Закон равносильности		$X+X=X$ $X\,\&\,X=X$
10. Законы исключения констант		$X+1=1;$ $X\,\&1=X$ $X+0=X$ $X\,\&\,0=0$
11. Закон поглощения:		$X+(X\,\&\,Y)=X$ $X\,\&\,(X+Y)=X$
12. Закон исключения (склеивания):		$X\,\&\,Y+\overline{X}\,\&\,Y=Y$ $(X+Y)\,\&\,(\overline{X}+Y)=Y$

Закон поглощения:

а) $X+(X\,\&\,Y)=X$

X	Y	$X+(X\,\&\,Y)=X$
0	0	$0+(0\,\&\,0)=0$
0	1	$0+(0\,\&\,1)=0$
1	0	$1+(1\,\&\,0)=1$
1	1	$1+(1\,\&\,1)=1$

б) $X\,\&\,(X+Y)=X$

X	Y	$X\,\&\,(X+Y)=X$
0	0	$0\,\&\,(0+0)=0$
0	1	$0\,\&\,(0+1)=0$
1	0	$1\,\&\,(1+0)=1$
1	1	$1\,\&\,(1+1)=1$

Закон исключения (склеивания)

а) $X \& Y + \overline{X} \& Y = Y$

X	Y	$X \& Y + \overline{X} \& Y = Y$
0	0	$0 \& 0 + 1 \& 0 = 0$
0	1	$0 \& 1 + 1 \& 1 = 1$
1	0	$1 \& 0 + 0 \& 0 = 0$
1	1	$1 \& 1 + 0 \& 1 = 1$

б) $(X + Y) \& (\overline{X} + Y) = Y$

X	Y	$(X + Y) \& (\overline{X} + Y) = Y$
0	0	$(0 + 0) \& (1 + 0) = 0$
0	1	$(0 + 1) \& (1 + 1) = 1$
1	0	$(1 + 0) \& (0 + 0) = 0$
1	1	$(1 + 1) \& (0 + 1) = 1$

2.2. Заполнение таблицы истинности для логического выражения

Порядок действий:

1) подсчитать количество переменных *n* в логическом выражении;
2) определить число строк в таблице по формуле $m=2^n$, где *n* – количество переменных;
3) подсчитать количество логических операций в формуле;
4) установить последовательность выполнения логических операций с учетом скобок и приоритетов;
5) определить количество столбцов: число переменных + число операций;
6) выписать наборы входных переменных;
7) провести заполнение таблицы истинности по столбцам, выполняя логические операции в соответствии с установленной в пункте 4 последовательностью.

Пример 1.

Задание:

заполните таблицу истинности для формулы

$$f = a \,\&\, \left(b + \bar{b} \,\&\, \bar{c}\right). \qquad (2.1)$$

Решение

Количество логических переменных равно 3, следовательно, количество строк –

$$2^3 = 8.$$

Количество логических операций в формуле 5, количество логических переменных 3, следовательно, количество столбцов (таблица 2.2) –

$$3 + 5 = 8.$$

Таблица 2.2

Таблица истинности для выражения $a \,\&\, \left(b + \bar{b} \,\&\, \bar{c}\right)$

Входные переменные			Инверсии		Действия в скобках		Итог
					Конъюнкция	Дизъюнкция	
a	b	c	$\bar{b}$	$\bar{c}$	$\bar{b} \,\&\, \bar{c}$	$b + \bar{b} \,\&\, \bar{c}$	$a \,\&\, \left(b + \bar{b} \,\&\, \bar{c}\right)$
0	0	0	1	1	1	1	0
0	0	1	1	0	0	0	0
0	1	0	0	1	0	1	0
0	1	1	0	0	0	1	0
1	0	0	1	1	1	1	1
1	0	1	1	0	0	0	0
1	1	0	0	1	0	1	1
1	1	1	0	0	0	1	1

2.3. Синтез логических схем по логическому выражению

Возьмём в качестве примера рассмотренное ранее выражение (2.1)

$$f = a \,\&\, \left(b + \bar{b} \,\&\, \bar{c}\right).$$

В соответствии с указанными выше приоритетами сначала выполняется инверсия переменных *b* и *c* на инверторах, затем реализуется конъюнкция (логическое произведение) в скобках

$$\bar{b} \,\&\, \bar{c}$$

на логическом элементе И, затем – дизъюнкция (логическое сложение) в скобках на логическом элементе ИЛИ

$$b+\bar{b}\,\&\,\bar{c}.$$

И наконец, на логическом элемент И получаем итоговую схему (рис. 2.2).

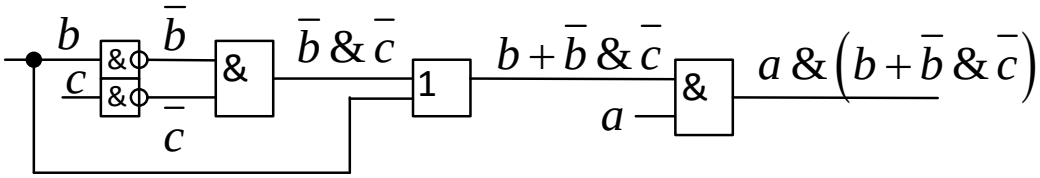


Рис. 2.2. Логическая схема по выражению $a\,\&\left(b+\bar{b}\,\&\,\bar{c}\right)$

Составление логических выражений по таблице истинности

Каноническая сумма минтермов

Минтерм – это полное произведение всех входных переменных, соответствующее одной строке таблицы истинности, в которой значение выходной переменной (значение функции) равно логической 1. Переменная входит в минтерм с инверсией, если ее значение в данной строке таблицы равно 0, и без инверсии, если ее значение в данной строке таблицы равно 1.

Каноническая сумма минтермов – это логическая сумма всех минтермов, которая представляет собой максимальное логическое выражение, соответствующее таблице истинности.

Она составляется в следующей последовательности:

1) В заданной таблице истинности подсчитывается ***n*** - количество строк таблицы, в которой значение функции равно 1.
2) Затем записывается логическая сумма ***n*** полных произведений.
3) Далее в каждом произведении расставляются инверсии над переменными в соответствии с их значением в строке таблицы.

Для примера, представленного на рис. 2.2, каноническая сумма минтермов будет выглядеть так:

$$f=a\,\&\,\bar{b}\,\&\,\bar{c}+a\,\&\,b\,\&\,\bar{c}+a\,\&\,b\,\&\,c,$$

Но для более компактной записи знак конъюнкции опускают, так же как при записи алгебраических формул -

$$f=a\bar{b}\bar{c}+ab\bar{c}+abc. \qquad (2)$$

В том случае, когда таблица истинности содержит большее количество единиц и меньшее количество нулей, удобнее использовать другой способ – каноническое произведение макстермов.

Каноническое произведение макстермов

Макстерм – это логическая сумма всех входных переменных, соответствующая одной строке таблицы истинности, в которой значение значение функции равно 0. Переменная входит в макстерм с инверсией, если её значение в строке истинности равно 1.

Каноническое произведение макстермов – это логическое произведение всех макстермов, которое представляет собой максимальное логическое выражение, соответствующее таблице истинности.

Оно составляется в следующей последовательности:

1) В таблице истинности подсчитывается ***n*** – количество строк таблицы, в которой значение функции равно 0.
2) Затем записывается логическое произведение ***n*** полных сумм.
3) Далее в каждой сумме расставляются инверсии над переменными в соответствии с их значением в строке таблицы: если переменная равна 1, то в сумму она войдёт в виде инверсии.

Для таблицы 2 максимальное произведение макстермов имеет вид:

$$f = (a+b+c)\&\left(a+b+\bar{c}\right)\&\left(a+\bar{b}+c\right)\&\left(a+\bar{b}+\bar{c}\right)\&\left(\bar{a}+b+\bar{c}\right).$$

Но для более компактной записи знак конъюнкции опускают, так же как при записи алгебраических формул –

$$f = (a+b+c)\left(a+b+\bar{c}\right)\left(a+\bar{b}+c\right)\left(a+\bar{b}+\bar{c}\right)\left(\bar{a}+b+\bar{c}\right). \qquad (3)$$

Таким образом, одной и той же таблице истинности (таблица 2) соответствуют совершенно различные по виду логические выражения (1), (2) и (3). Очевидно, что для синтеза логической схемы необходимо, чтобы логическое выражение было минимальным.

Задание 2.1

Для заданного логического выражения (варианты в таблице 2.3):

1) заполните таблицу истинности;
2) напишите каноническую сумму минтермов;
3) напишите каноническое произведение макстермов;
4) нарисуйте логические схемы, соответствующие выражениям, полученным при выполнении п. 2 и 3 и для заданного выражения.

Таблица 2.3

Логические выражения для задания 2.1

№ варианта	Логическое выражение	№ варианта	Логическое выражение
1	$f=(a+b)(cd+\bar{a})$	2	$f=a+b\overline{cd}$
3	$f=(a+b)(c\bar{d}+\bar{a})$	4	$f=a+\overline{bd}c$
5	$f=(a+b)(\overline{cd}+\bar{a})$	6	$f=a+\bar{b}\bar{c}d$
7	$f=(a+b)(\bar{c}d+\bar{a})$	8	$f=a+\bar{b}\bar{c}\bar{d}$
9	$f=(\bar{a}+\bar{b})(cd+\bar{a})$	10	$f=ab+\bar{c}\bar{d}$
11	$f=(\bar{a}+b)(cd+\bar{a})$	12	$f=\bar{a}b+\bar{c}\bar{d}$
13	$f=(a+\bar{b})(cd+\bar{a})$	14	$f=a\bar{b}+\bar{c}\bar{d}$
15	$f=(a+b)(cd+a)$	16	$f=\overline{ab}+c\bar{d}$
17	$f=(\bar{a}+b)(cd+a)$	18	$f=\overline{ab}+\bar{c}d$
19	$f=(a+\bar{b})(cd+a)$	20	$f=\overline{ab}+cd$
21	$f=(\bar{a}+\bar{b})(cd+a)$	22	$f=\overline{ac}+b\bar{d}$
23	$f=(a+b)(\overline{cd}+a)$	24	$f=\overline{ac}+\bar{b}d$
25	$f=(a+b)(\bar{c}d+a)$	26	$f=\overline{ac}+bd$
27	$f=(a+b)(c\bar{d}+a)$	28	$f=\overline{ac}+b+\bar{d}$
29	$f=ab(c\bar{d}+b)$	30	$f=\overline{ac}+\bar{b}+d$
31	$f=b\bar{a}(c\bar{d}+b)$	32	$f=\overline{ac}+b+d$
33	$f=a\bar{b}(c\bar{d}+b)$	34	$f=(\overline{a+c})\&b\&\bar{d}$
35	$f=\bar{a}\bar{b}(c\bar{d}+b)$	36	$f=(\overline{a+c})\&\bar{b}\&d$

37	$f=\overline{ab}\left(c\overline{d}+b\right)$	38	$f=\left(\overline{a+c}\right)\&b\&d$
39	$f=ab\left(\overline{c}\overline{d}+\overline{b}\right)$	40	$f=\overline{a}+\overline{b}cd$
41	$f=ab\left(\overline{c}\overline{d}+b\right)$	42	$f=a+\overline{b}cd$
43	$f=ab\left(c\overline{d}+\overline{b}\right)$	44	$f=a+\overline{bcd}$
45	$f=\left(a+b+c\right)\overline{d}$	46	$f=\left(a+b+c\right)d$
47	$f=\left(a+b+\overline{c}\right)\overline{d}$	48	$f=\left(a+b+\overline{c}\right)d$
49	$f=\left(a+\overline{b}+c\right)\overline{d}$	50	$f=\left(a+\overline{b}+c\right)d$
51	$f=\left(a+\overline{b}+\overline{c}\right)\overline{d}$	52	$f=\left(a+\overline{b}+\overline{c}\right)d$
53	$f=\left(\overline{a}+b+c\right)\overline{d}$	54	$f=\left(\overline{a}+b+c\right)d$
55	$f=\left(\overline{a}+b+\overline{c}\right)\overline{d}$	56	$f=\left(\overline{a}+b+\overline{c}\right)d$
57	$f=\left(\overline{a}+\overline{b}+c\right)\overline{d}$	58	$f=\left(\overline{a}+\overline{b}+c\right)d$
59	$f=\left(\overline{a}+\overline{b}+\overline{c}\right)\overline{d}$	60	$f=\left(\overline{a}+\overline{b}+\overline{c}\right)d$

2.4. Минимизация логических схем с помощью карт Карно

Минимизация логических выражений может осуществляться с помощью различных методов на основе правил булевой алгебры, в частности, диаграммы Вейча, диаграммы Венна и табличным методом, но наиболее простым и наглядным является *графический способ минимизации с помощью* **карт Карно**, опубликованный в 1953 г. Морисом Карно.

Карта Карно – графическое представление таблицы истинности. Каждой клетке карты Карно соответствует строка таблицы истинности. По осям карты расставляются сочетания переменных, а внутри карты - значения функции.

Правила разметки осей карты:

1) Вертикальная ось размечается независимо от горизонтальной.
2) Начинать разметку можно с любого сочетания переменных.
3) Все сочетания переменных должны быть перечислены.

4) Для соседних клеток карты сочетание переменных должно отличаться не более чем одним знаком, причем соседними являются крайние клетки строки (столбца).

Для функции двух переменных карта Карно – это квадрат 2×2 клетки. В этих клетках размещаются 4 значения функции из последнего столбца таблицы истинности (рис. 2.3).

a	b	f
0	0	f(0,0)
0	1	f(0,1)
1	0	f(1,0)
1	1	f(1,1)

а)

		b	
		1	0
a	0	f(0,1)	f(0,0)
	1	f(1,1)	f(1,0)

б)

Рис. 2.3. Таблица истинности (а) и карта Карно (б) для функции 2 переменных.

Для функции трех переменных карта Карно – это прямоугольник 2×4 или 4×2 клетки. В этих клетках размещаются 8 значений функции из последнего столбца таблицы истинности (рис. 2.4). При разметке большей из осей нужно строго придерживаться последнего, *четвертого* правила разметки и следить за тем, чтобы соседними не оказались сочетания 00 и 11, либо 01 и 10, в которых одновременно меняются обе переменные.

Для функции четырех переменных карта Карно – это квадрат 4×4 клетки. В этих клетках размещаются 16 значений функции из последнего столбца таблицы истинности (рис. 2.5). При разметке *обеих* осей нужно также строго придерживаться последнего, *четвертого* правила разметки и следить за тем, чтобы *по каждой оси* соседними не оказались сочетания 00 и 11, либо 01 и 10, в которых одновременно меняются обе переменные.

Для функции пяти переменных карта Карно представляет собой уже объемную фигуру – куб 4×4×4 клетки, поэтому для минимизации логических выражений она не применяется.

Назначение карты Карно – применение законов логики в наглядном графическом варианте.

a	b	c	f
0	0	0	f(0,0,0)
0	0	1	f(0,0,1)
0	1	0	f(0,1,0)
0	1	1	f(0,1,1)
1	0	0	f(1,0,0)
1	0	1	f(1,0,1)
1	1	0	f(1,1,0)
1	1	1	f(1,1,1)

а)

		c	
		1	0
ab	01	f(0,1,1)	f(0,1,0)
	11	f(1,1,1)	f(1,1,0)
	10	f(1,0,1)	f(1,0,0)
	00	f(0,0,1)	f(0,0,0)

б)

		c	
		0	1
ab	11	f(1,1,0)	f(1,1,1)
	01	f(0,1,0)	f(0,1,1)
	00	f(0,0,0)	f(0,0,1)
	10	f(1,0,0)	f(1,0,1)

в)

		bc			
		00	01	11	10
a	0	f(0,0,0)	f(0,0,1)	f(0,1,1)	f(0,1,0)
	1	f(1,0,0)	f(1,0,1)	f(1,1,1)	f(1,1,0)

г)

		bc			
		10	00	01	11
a	0	f(0,1,0)	f(0,0,0)	f(0,0,1)	f(0,1,1)
	1	f(1,1,0)	f(1,0,0)	f(1,0,1)	f(1,1,1)

д)

Рис. 2.4. Таблица истинности (а) и примеры заполнения карты Карно (б, в, г, д) для логической функции 3 переменных.

a	b	c	d	f
0	0	0	0	f(0,0,0,0)
0	0	0	1	f(0,0,0,1)
0	0	1	0	f(0,0,1,0)
0	0	1	1	f(0,0,1,1)
0	1	0	0	f(0,1,0,0)
0	1	0	1	f(0,1,0,1)
0	1	1	0	f(0,1,1,0)
0	1	1	1	f(0,1,1,1)
1	0	0	0	f(1,0,0,0)
1	0	0	1	f(1,0,0,1)
1	0	1	0	f(1,0,1,0)
1	0	1	1	f(1,0,1,1)
1	1	0	0	f(1,1,0,0)
1	1	0	1	f(1,1,0,1)
1	1	1	0	f(1,1,1,0)
1	1	1	1	f(1,1,1,1)

а)

		cd			
		00	01	11	10
ab	00	f(0,0,0,0)	f(0,0,0,1)	f(0,0,1,1)	f(0,0,1,0)
	10	f(1,0,0,0)	f(1,0,0,1)	f(1,0,1,1)	f(1,0,1,0)
	11	f(1,1,0,0)	f(1,1,0,1)	f(1,1,1,1)	f(1,1,1,0)
	01	f(0,1,0,0)	f(0,1,0,1)	f(0,1,1,1)	f(0,1,1,0)

б)

		cd			
		11	10	00	01
ab	00	f(0,0,1,1)	f(0,0,1,0)	f(0,0,0,0)	f(0,0,0,1)
	01	f(0,1,1,1)	f(0,1,1,0)	f(0,1,0,0)	f(0,1,0,1)
	11	f(1,1,1,1)	f(1,1,1,0)	f(1,1,0,0)	f(1,1,0,1)
	10	f(1,0,1,1)	f(1,0,1,0)	f(1,0,0,0)	f(1,0,0,1)

в)

Рис. 2.5. Таблица истинности (а) и примеры заполнения карты Карно (б, в) для логической функции 4 переменных.

В конкретных случаях вместо значений функций в общем виде в клетки карты проставляются конкретные значения (логические 0 и 1) из соответствующих строк таблицы истинности. Затем рассматриваются только те клетки, которые заполнены *единицами*. Все эти единицы должны быть обведены контурами по следующим *правилам составления контуров:*

1) Контуры должны быть прямоугольными и содержать количество единиц, равное 2^n, где n – целое число. Таким образом, в контуре может быть либо *одна*, либо *две*, либо *четыре*, либо *восемь* единиц.

2) Количество единиц в контуре должно быть *максимальным*, при этом контуры *могут пересекаться* между собой. Нужно учитывать, что крайние строки являются соседними и крайние столбцы также являются соседними, поэтому контуры могут быть «разорванными».

3) Количество контуров должно быть *минимальным*, но *все* единицы должны быть охвачены контурами. Нельзя забывать об отдельно стоящих единицах. Каждая такая единица – это контур, которому соответствует *полное* логическое произведение всех переменных.

После обведения контуров нужно записать *минимальное выражение как логическую сумму логических произведений.* Каждому произведению соответствует один контур карты Карно. *В произведение входят только те переменные, которые остаются в данном контуре неизменными.* При этом переменная входит в произведение с инверсией, если ее значение в данном контуре равно 0, и без инверсии, если ее значение равно 1.

Пример 1. Написать минимальное выражение для таблицы истинности, представленной на рис. 2.6,а и нарисовать по нему логическую схему.

При одном варианте разметки осей (рис. 2.6,б) первый контур, состоящий из четырех единиц, получается разорванным. Если же принять разметку, показанную на рис. 2.6,в, то контур будет иметь нормальные очертания, а выражение, ему соответствующее, останется без изменений. Учитывая, что при данном горизонтальном начертании карты Карно крайние столбцы являются соседни-

ми, ее можно представить себе как цилиндр, развернутый на плоскости. На рис. 2.6,б представлена развертка такого цилиндра, «разрезанная» между комбинациями bc, равными 10 и 11. А на рис. 2.6,в представлена развертка этого же цилиндра, «разрезанная» между произведениями bc, равными 11 и 01.

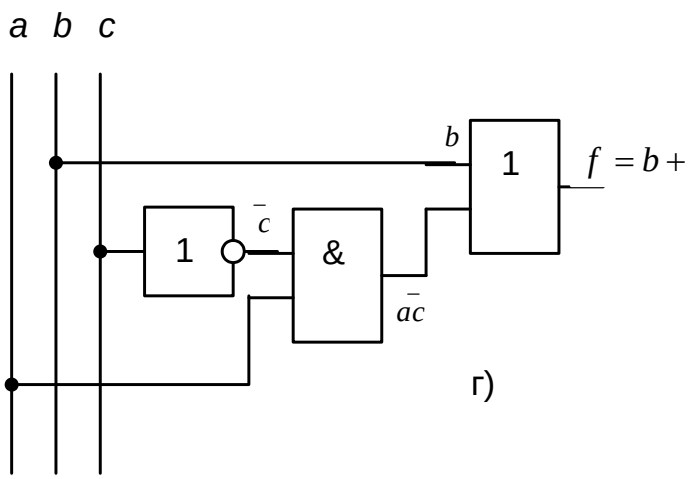
Первый контур охватывает четыре единицы, ему соответствует сумма минтермов: $\bar{a}bc+\bar{a}b\bar{c}+abc+ab\bar{c}$, в которой не изменяется только переменная b. *Второй контур* охватывает две единицы. Ему соответствует сумма минтермов $ab\bar{c}+a\bar{b}\bar{c}$, в которой переменная b принимает оба возможных значения, а произведение $a\bar{c}$ остается неизменным. Таким образом, получаем минимальное выражение:

$$f = b + a\bar{c}. \qquad (2)$$

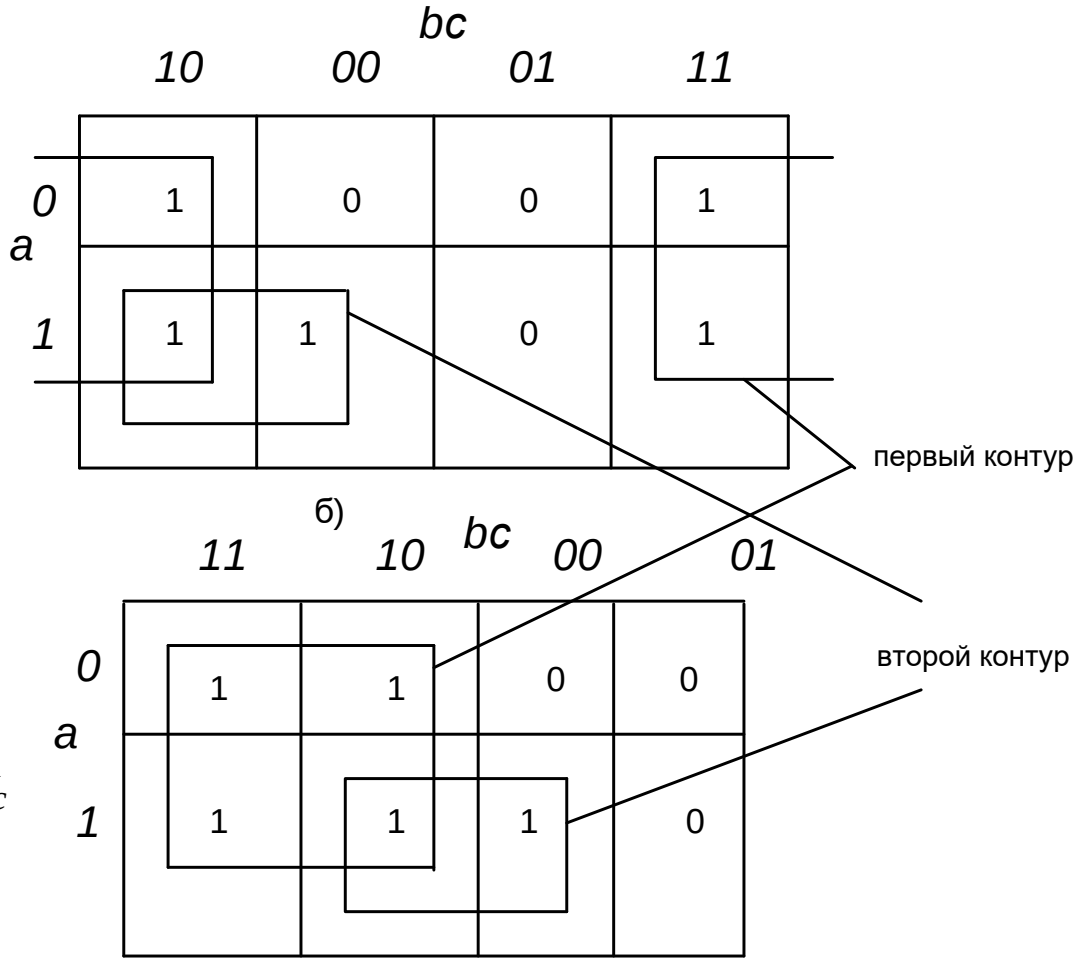
Ему соответствует логическая схема на рис.2.6,г.

a	b	c	f
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

а)



г)



б)

в)

Рис. 2.6. Минимизация функции трех переменных

Для сравнения запишем максимальное выражение:

$$f = \bar{a}b\bar{c} + \bar{a}bc + a\bar{b}\bar{c} + ab\bar{c} + abc. \qquad (3)$$

Разница между (2) и (3) очевидна и в комментариях не нуждается, за исключением того, что схема, реализованная по (3), будет на порядок сложнее и, соответственно, менее надежна, чем схема, показанная на рис. 2.6,г.

Пример 2. Написать минимальное выражение для таблицы истинности, представленной на рис. 2.7,а, и нарисовать по нему логическую схему.

a	b	c	d	f
0	0	0	0	1
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	0	1
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	0	1	1
1	0	1	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	0	0
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1
1	1	1		0

а)

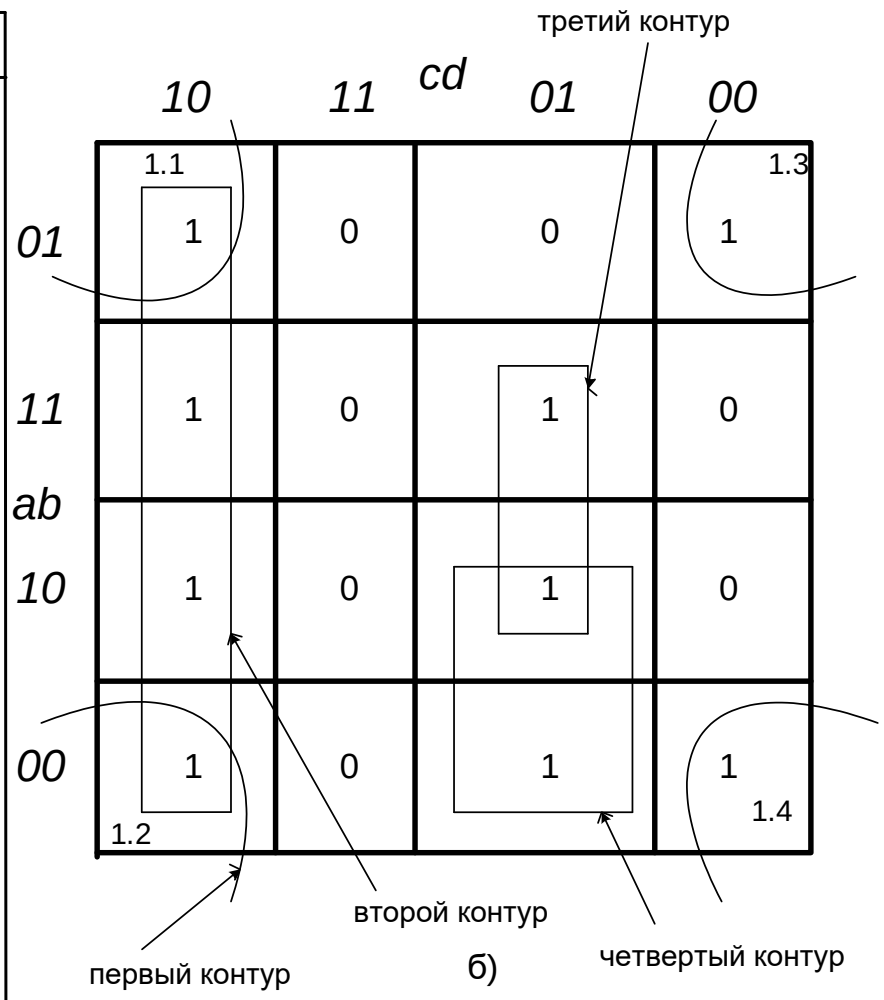


Рис. 2.7. Минимизация логической функции четырех переменных

При первоначально выбранной разметке осей (рис. 2.7,б) первый контур, состоящий из четырех единиц с номерами 1.1, 1.2, 1.3 и 1.4, расположенных по

углам карты, получается разорванным. Если же принять разметку, показанную на рис. 2.8, то контур будет иметь очертания квадрата, а выражение, ему соответствующее, останется без изменений. Учитывая, что крайние столбцы являются соседними и крайние строки являются соседними, карту Карно для функции четырех переменных можно представить себе как торроид, развернутый на плоскости. Проще представить себе обратный процесс получения торроида из плоской фигуры – квадрата. Для этого надо сначала соединить мысленно крайние строки – получим цилиндр. После этого основания цилиндров надо мысленно соединить. Получится торроид. На рис. 2.7,б представлена развертка такого торроида, «разрезанная» между комбинациями a*b*, равными 01 и 00 и между сочетаниями *cd*, равными 10 и 00. А на рис. 6 представлена развертка этого же торроида, «разрезанная» между комбинациями a*b*, равными 11 и 10 и между произведениями *cd*, равными 11 и 01. После анализа контуров получим минимальное выражение $f = \bar{a}\bar{d} + c\bar{d} + a\bar{c}d + \bar{b}\bar{c}d$. Соответствующая ему схема приведена на рис. 2.9.

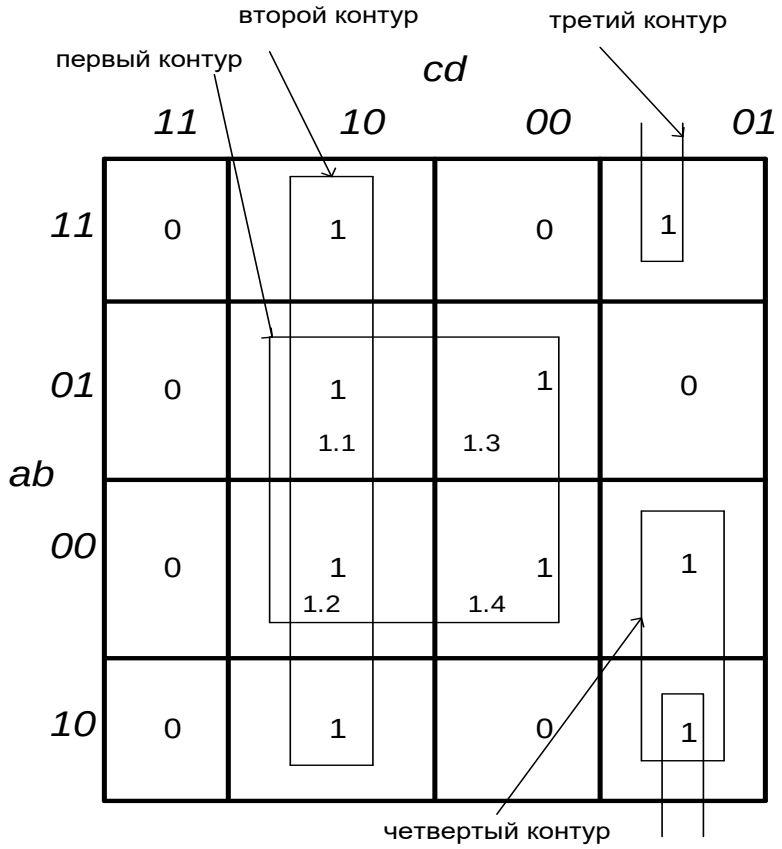


Рис. 2.8. К минимизации логической функции четырех переменных

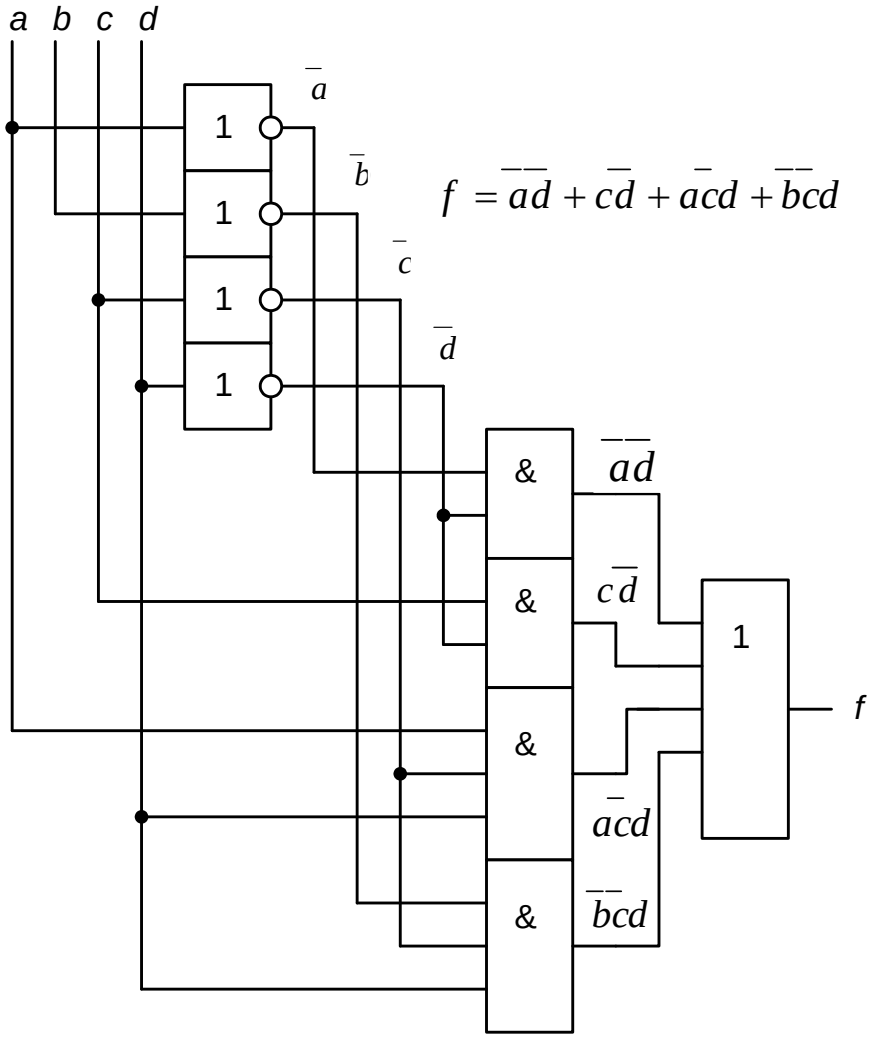


Рис. 2.9. Логическая схема для минимизированного логического выражения

Задание 2.2

Для заданного логического выражения (таблица 2.4) нарисовать логическую схему.

С помощью карты Карно получить минимальное логическое выражение и нарисовать соответствующую минимальную логическую схему.

Таблица 2.4

№	Логическое выражение
1	$y=\bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}+\bar{a}\bar{b}cd+\bar{a}bcd+\bar{a}b\bar{c}+a\bar{b}c+ab\bar{c}+abc+abd$.
2	$y=\bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}d+a\bar{b}c\bar{d}+a\bar{b}cd+ab\bar{c}\bar{d}+a\bar{c}d+abc\bar{d}+acd$.
3	$y=bc\bar{d}+\bar{a}bc+a\bar{b}\bar{d}+a\bar{b}d+a\bar{d}+a\bar{b}cd+ab\bar{c}\bar{d}+abd+abc$.
4	$y=\bar{a}\bar{b}cd+\bar{a}bc+\bar{a}bcd+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}d+abc\bar{d}+abcd+a\bar{b}c+acd+ab$.
5	$y=\bar{a}\bar{b}\bar{c}+\bar{a}\bar{b}cd+\bar{a}\bar{b}c\bar{d}+\bar{a}b\bar{c}+bc\bar{d}+\bar{a}b+abcd$.
6	$y=\bar{a}\bar{b}c\bar{d}+\bar{a}bc+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}d+a\bar{b}+\bar{b}cd+b\bar{c}\bar{d}+ab$.
7	$y=\bar{a}cd+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}+acd+ab\bar{c}+b\bar{c}d+ac\bar{d}+ad$.
8	$y=\bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}+\bar{a}bc\bar{d}+\bar{a}d+\bar{b}\bar{c}d+a\bar{b}c+a\bar{b}d+ab\bar{c}+ab+b\bar{d}$.
9	$y=\bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}+\bar{a}\bar{b}c+\bar{a}b\bar{c}+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{c}d+a\bar{b}c+ab\bar{c}\bar{d}+ab+abc+abcd$.
10	$y=\bar{a}\bar{b}+\bar{a}b+\bar{c}d+\bar{a}bc\bar{d}+\bar{a}bcd+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+ab\bar{c}\bar{d}+ab\bar{c}d+abc\bar{d}+abcd$.
11	$y=\bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}+\bar{a}\bar{b}cd+\bar{a}bcd+\bar{a}b\bar{c}+a\bar{b}c+ab\bar{c}+abc+\bar{b}d$.
12	$y=a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}d+a\bar{b}c\bar{d}+a\bar{b}cd+ab\bar{c}\bar{d}+a\bar{c}d+abc\bar{d}+bcd$.
13	$y=\bar{a}bc\bar{d}+\bar{a}bc+a\bar{b}\bar{d}+a\bar{b}d+a\bar{d}+a\bar{b}cd+ab\bar{c}\bar{d}+abd+\bar{a}bc$.
14	$y=\bar{a}bcd+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}d+abc\bar{d}+abcd+a\bar{b}c+acd+ab$.
15	$y=\bar{a}\bar{b}cd+\bar{a}\bar{b}\bar{c}d+\bar{a}\bar{b}c\bar{d}+\bar{a}bc+bc\bar{d}+\bar{a}b+abcd$.
16	$y=\bar{a}bcd+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}d+a\bar{b}+\bar{b}cd+b\bar{c}\bar{d}+ab$.
17	$y=\bar{a}\bar{b}cd+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}+acd+ab\bar{c}+b\bar{c}d+ac\bar{d}+a\bar{d}$.
18	$y=\bar{a}\bar{b}c\bar{d}+\bar{a}bc\bar{d}+\bar{a}d+\bar{b}\bar{c}d+a\bar{b}c+ab\bar{c}+ab+b\bar{d}$.
19	$y=\bar{a}\bar{b}c+\bar{a}b\bar{c}+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{c}d+a\bar{b}c+ab\bar{c}\bar{d}+ab$.
20	$y=\bar{a}\bar{b}+\bar{a}b+\bar{c}d+\bar{a}bcd+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+ab\bar{c}\bar{d}+abc\bar{d}+abcd$.
21	$y=\bar{a}\bar{b}+\bar{a}cd+\bar{a}bcd+\bar{a}b\bar{c}+a\bar{b}c+ab\bar{c}+abc+bd$.
22	$y=\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}d+a\bar{b}c\bar{d}+ab\bar{c}\bar{d}+a\bar{c}d+abc\bar{d}+bcd$.
23	$y=\bar{a}bc\bar{d}+\bar{a}bc+a\bar{b}\bar{d}+a\bar{b}d+a\bar{d}+a\bar{b}cd+ab\bar{c}\bar{d}+ab\bar{d}$.
24	$y=\bar{a}\bar{b}cd+\bar{a}bc\bar{d}+\bar{a}bcd+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}d+abc\bar{d}+a\bar{b}c+acd+\bar{a}b$.
25	$y=\bar{a}\bar{b}\bar{c}d+\bar{a}\bar{b}c\bar{d}+\bar{a}\bar{b}cd+\bar{a}b\bar{c}+bc\bar{d}+\bar{a}b+abc$.

26	$y=\bar{a}bcd+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}d+a\bar{b}+\bar{b}cd+b\bar{c}\bar{d}+abd$.
27	$y=\bar{a}bcd+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}+acd+ab\bar{c}+\bar{b}cd+ac\bar{d}+\bar{a}d$.
28	$y=\bar{a}bc\bar{d}+\bar{a}d+\bar{b}cd+a\bar{b}c+a\bar{b}d+ab\bar{c}+\bar{a}b+b\bar{d}$.
29	$y=abcd+\bar{a}\bar{b}c+\bar{a}b\bar{c}+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{c}d+a\bar{b}c+ab\bar{c}\bar{d}+\bar{a}b+abc$.
30	$y=\bar{a}b+\bar{c}d+\bar{a}b\bar{c}\bar{d}+\bar{a}bcd+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+ab\bar{c}\bar{d}+ab\bar{c}d+abc\bar{d}+abcd$.
31	$y=\bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}+\bar{a}\bar{b}cd+\bar{a}bc+a\bar{b}c+ab\bar{c}+abc+bd$.
32	$y=\bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}d+a\bar{b}c\bar{d}+a\bar{b}cd+ab\bar{c}\bar{d}+a\bar{c}d+abc$.
33	$y=\bar{a}bc\bar{d}+\bar{a}bc+a\bar{b}\bar{d}+a\bar{b}d+a\bar{d}+a\bar{b}cd+ab\bar{c}\bar{d}+ab\bar{d}$.
34	$y=ab+\bar{b}d+\bar{a}bcd+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}d+abc\bar{d}+abcd+a\bar{b}c+acd+$.
35	$y=\bar{a}\bar{b}\bar{c}d+\bar{a}\bar{b}c\bar{d}+\bar{a}\bar{b}cd+\bar{a}b\bar{c}+bc\bar{d}+\bar{a}b+abcd+ab$.
36	$y=\bar{a}bcd+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}d+a\bar{b}+\bar{b}cd+b\bar{c}\bar{d}+bc$.
37	$y=ad+\bar{a}\bar{b}cd+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}+acd+ab\bar{c}+b\bar{c}d+ac\bar{d}+a\bar{c}d$.
38	$y=bc\bar{d}+\bar{a}d+\bar{b}\bar{c}d+a\bar{b}c+a\bar{b}d+ab\bar{c}+a\bar{b}+b\bar{d}$.
39	$y=\bar{a}\bar{b}c+\bar{a}b\bar{c}+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{c}d+a\bar{b}c+ab\bar{c}\bar{d}+\bar{a}b+abc$.
40	$y=a\bar{b}+\bar{a}b+\bar{c}d+\bar{a}bc\bar{d}+\bar{a}bcd+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+abc\bar{d}+abcd$.
41	$y=\bar{a}bc\bar{d}+\bar{a}\bar{b}cd+\bar{a}bcd+\bar{a}b\bar{c}+a\bar{b}c+ab\bar{c}+a\bar{b}c+bd$.
42	$y=\bar{a}\bar{b}\bar{c}d+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}d+a\bar{b}c\bar{d}+a\bar{b}cd+ab\bar{c}\bar{d}+\bar{a}\bar{c}d$.
43	$y=abc\bar{d}+\bar{a}bc+a\bar{b}\bar{d}+a\bar{b}d+a\bar{d}+a\bar{b}cd+ab\bar{c}\bar{d}+abc$.
44	$y=\bar{a}\bar{b}cd+\bar{a}bcd+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}d+abcd+a\bar{b}c+\bar{a}cd+ab$.
45	$y=\bar{b}\bar{c}d+\bar{a}\bar{b}c\bar{d}+\bar{a}\bar{b}cd+\bar{a}b\bar{c}+bc\bar{d}+\bar{a}b+abcd$.
46	$y=ac+\bar{a}\bar{b}cd+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}+ad+ab\bar{c}+b\bar{c}d+ac\bar{d}+a\bar{c}d$.
47	$y=c\bar{d}+\bar{a}d+\bar{b}\bar{c}d+a\bar{b}c+a\bar{b}d+b\bar{c}+a\bar{b}+b\bar{d}$.
48	$y=\bar{b}c+\bar{a}b\bar{c}+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{c}d+a\bar{b}c+ab\bar{c}\bar{d}+\bar{a}b+ac$.
49	$y=a\bar{b}+\bar{a}b+a\bar{c}d+\bar{a}bc\bar{d}+\bar{a}bcd+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+abc\bar{d}+abcd$.
50	$y=\bar{a}bc\bar{d}+\bar{a}\bar{b}cd+\bar{a}bcd+\bar{a}b\bar{c}+a\bar{b}c+ab\bar{c}+bd$.
51	$y=\bar{a}\bar{b}\bar{c}d+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}c\bar{d}+a\bar{b}cd+ab\bar{c}\bar{d}+\bar{a}\bar{c}d$.
52	$y=\bar{a}bc+a\bar{b}\bar{d}+a\bar{b}d+a\bar{d}+a\bar{b}cd+ab\bar{c}\bar{d}+abc$.
53	$y=\bar{a}\bar{b}cd+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}d+abcd+a\bar{b}c+\bar{a}cd+ab$.
54	$y=\bar{b}\bar{c}d+\bar{a}\bar{b}cd+\bar{a}b\bar{c}+bc\bar{d}+\bar{a}b+abcd$.
55	$y=ad+\bar{a}\bar{b}cd+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}+acd+ab\bar{c}+b\bar{c}d+ac\bar{d}+a\bar{c}d$.
56	$y=bc\bar{d}+\bar{a}d+\bar{b}\bar{c}d+a\bar{b}c+a\bar{b}d+ab\bar{c}+a\bar{b}$.
57	$y=\bar{a}b\bar{c}+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{c}d+a\bar{b}c+ab\bar{c}\bar{d}+\bar{a}b+abc$.

58	$y=\bar{a}b+\bar{c}d+\bar{a}bc\bar{d}+\bar{a}bcd+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+abc\bar{d}+abcd$.
59	$y=\bar{a}\bar{b}cd+\bar{a}bcd+\bar{a}b\bar{c}+a\bar{b}c+ab\bar{c}+a\bar{b}c+bd$.
60	$y=\bar{a}\bar{b}\bar{c}d+a\bar{b}\bar{c}\bar{d}+a\bar{b}\bar{c}d+a\bar{b}cd+ab\bar{c}\bar{d}+\bar{a}\bar{c}d$.

2.5. Преобразователи произвольных кодов

Преобразователь произвольных кодов – это логическая схема, реализующая определённую математическую формулу. На вход такой схемы подаётся двоичный код, соответствующий значению переменной $x_{вх}$. На выходе схемы получается двоичный код, соответствующий значению функции $x_{вых}$, вычисленному по указанной математической формуле.

В качестве примера синтеза логической схемы рассмотрим 3-входовую схему, реализующую увеличение входного кода в три раза: $x_{вых}=3x_{вх}$. Последовательность действий при решении подобных задач следующая.

1) Определим максимально возможный код на выходе 3-входовой схемы: $7_{10} \times 3_{10} = 21_{10} = 10101_2$ - это *пятиразрядное* двоичное число. Поэтому количество выходов для данной схемы будет равно *пяти*.

2) Заполним таблицу истинности для синтезируемой схемы (таблица 3.1). Поскольку количество выходов данной схемы больше одного, таблица включает в себя несколько (здесь *пять*) столбцов, соответствующих двоичным разрядам выходного сигнала.

3) Для каждого выхода найдем минимальное выражение с помощью карт Карно (рис. 2.10).

4) По полученным выражениям построим логическую схему на пять выходов, каждый из которых соответствует двоичному разряду вычисляемого по заданной формуле числа (рис. 2.11).

Таблица 2.5

Таблица истинности трех-входовой схемы умножения на 3

Входной код				Выходной код					
В десятичном выражении	В двоичном коде			В десятичном выражении	В двоичном коде				
	a	b	c		Q_4	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0
	2^2	2^1	2^0		2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	3	0	0	0	1	1
2	0	1	0	6	0	0	1	1	0
3	0	1	1	9	0	1	0	0	1
4	1	0	0	12	0	1	1	0	0
5	1	0	1	15	0	1	1	1	1
6	1	1	0	18	1	0	0	1	0
7	1	1	1	21	1	0	1	0	1

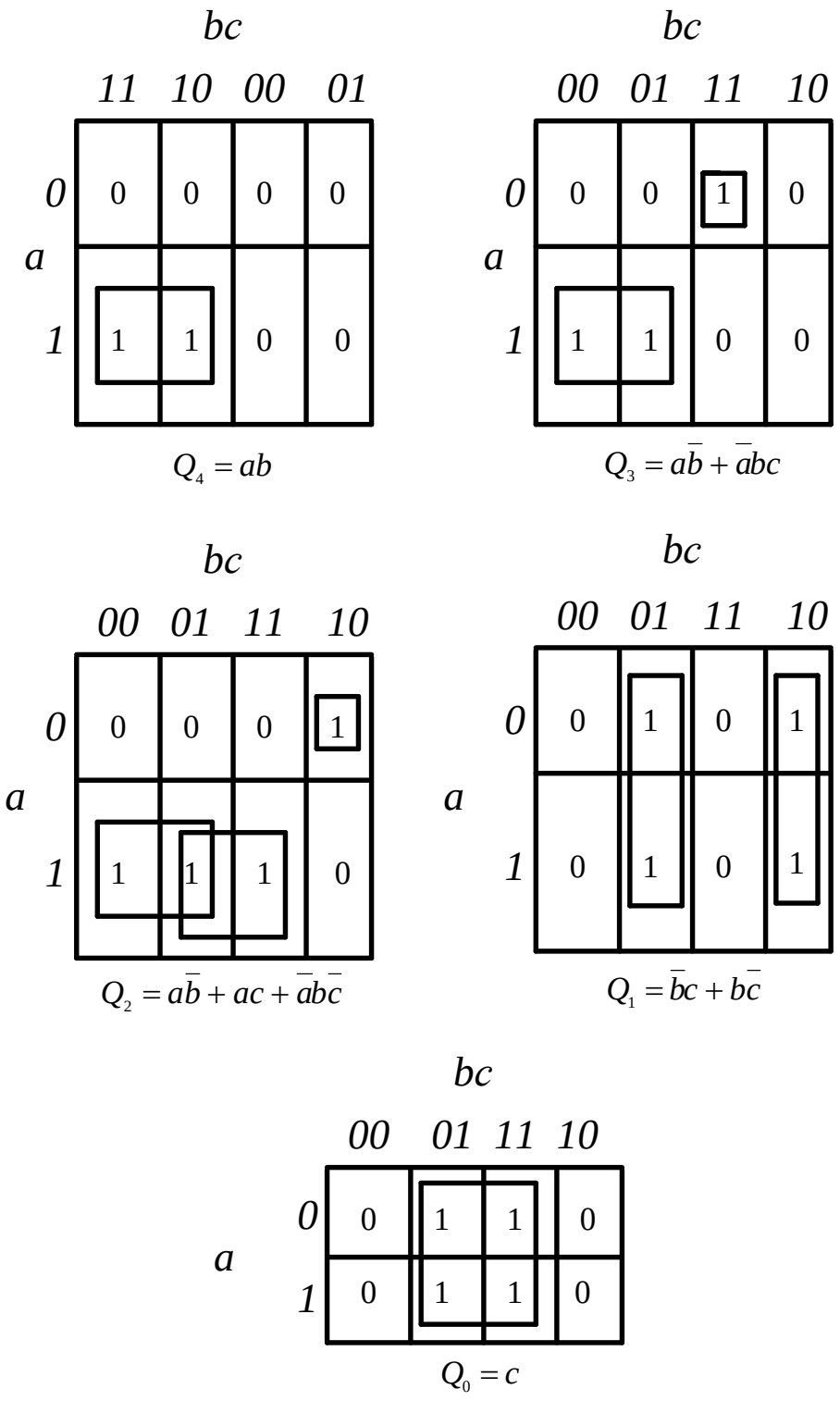


Рис. 2.10. Минимизация логических выражений для выходных сигналов преобразователя, реализующего формулу $x_{вых}=3x_{вх}$

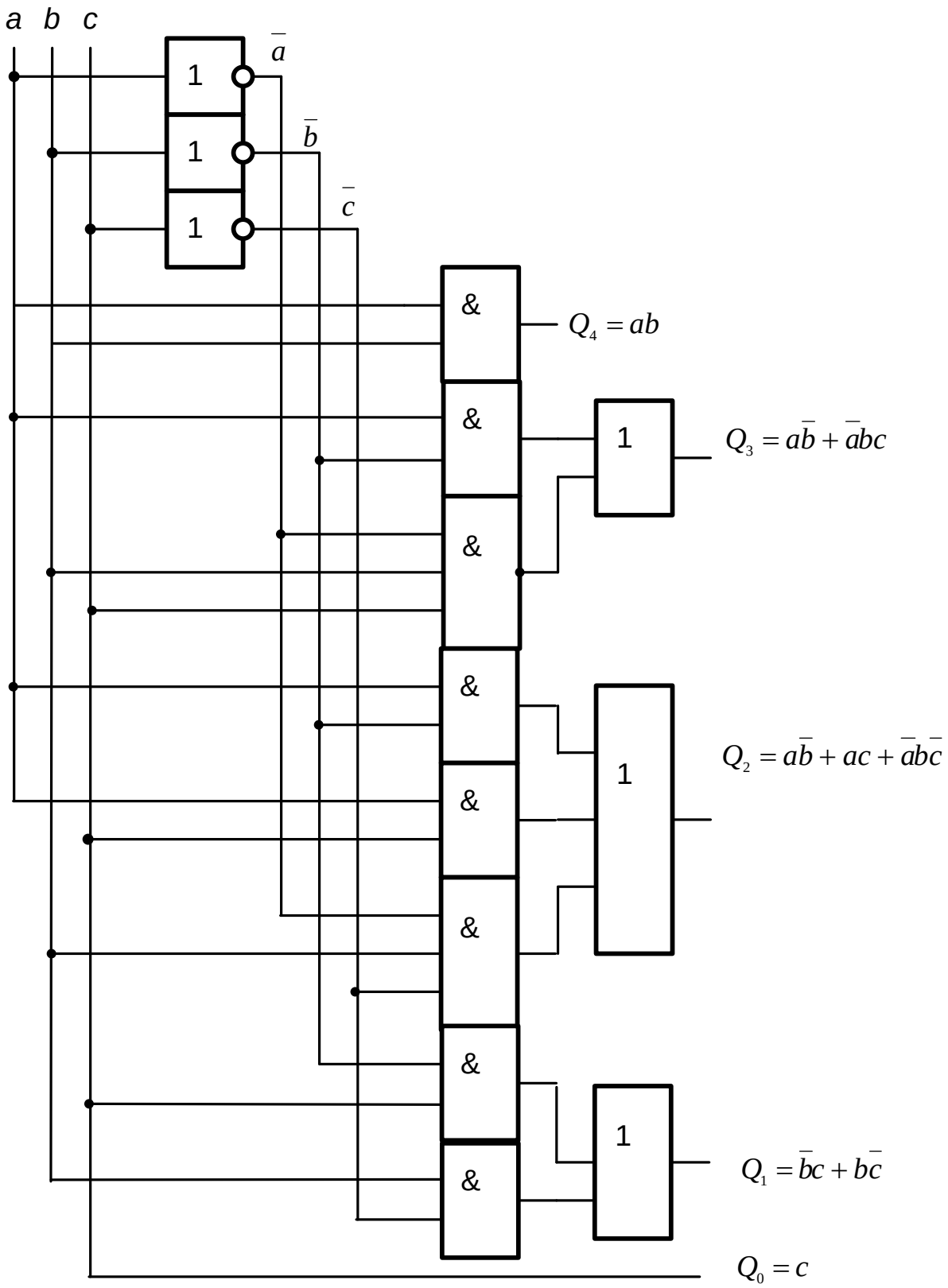


Рис. 2.11. Логическая схема преобразователя на 3 входа, реализующего формулу умножения на 3

Рассмотрим далее схему на 4 входа, реализующую ту же самую формулу $x_{вых}=3x_{вх}$. Алгоритм решения тот же.

1) Определим максимально возможный код на выходе 4-входовой схемы: $15_{10} \times 3_{10} = 45_{10} = 101101_2$ - это *шестиразрядное* двоичное число. Поэтому количество выходов для данной схемы будет равно *шести*.
2) Заполним таблицу истинности для синтезируемой схемы (таблица 3.2). Она включает в себя *шесть* столбцов, соответствующих двоичным разрядам Q_5 … Q_0 выходного сигнала.
3) Для каждого выхода найдем минимальное выражение с помощью карт Карно (рис. 2.12).
4) По полученным выражениям построим логическую схему на шесть выходов, каждый из которых соответствует двоичному разряду вычисляемого по заданной формуле числа (рис. 2.13).
5) Если весь столбец значений для выхода $Q_i=1$, это означает, что независимо от состояния входных сигналов на выход Q_i подаётся напряжение источника питания.
6) Если весь столбец значений для выхода $Q_i=0$, это означает, что независимо от состояния входных сигналов выход Q_i подключен к общей точке («земле»).

Таблица 2.6

Таблица истинности четырёх-входовой схемы умножения на 3

Входной код					Выходной код						
В десятичном выражении	В двоичном коде				В десятичном выражении	В двоичном коде					
	a	b	c	d		Q_5	Q_4	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0
	2^3	2^2	2^1	2^0		2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	3	0	0	0	0	1	1
2	0	0	1	0	6	0	0	0	1	1	0
3	0	0	1	1	9	0	0	1	0	0	1
4	0	1	0	0	12	0	0	1	1	0	0
5	0	1	0	1	15	0	0	1	1	1	1

6	0	1	1	0	18	0	1	0	0	1	0
7	0	1	1	1	21	0	1	0	1	0	1
8	1	0	0	0	24	0	1	1	0	0	0
9	1	0	0	1	27	0	1	1	0	1	1
10	1	0	1	0	30	0	1	1	1	1	0
11	1	0	1	1	33	1	0	0	0	0	1
12	1	1	0	0	36	1	0	0	1	0	0
13	1	1	0	1	39	1	0	0	1	1	1
14	1	1	1	0	42	1	0	1	0	1	0
15	1	1	1	1	45	1	0	1	1	0	1

ab \ cd	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	0	0	0	0
11	1	1	1	1
10	0	0	1	0

$$Q_5 = ab + acd$$

ab \ cd	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	0	0	1	1
11	0	0	0	0
10	1	1	0	1

$$Q_4 = a\bar{b}\bar{c} + a\bar{b}\bar{d} + \bar{a}bc$$

ab \ cd	00	01	11	10
00	0	0	1	0
01	1	1	0	0
11	0	0	1	1
10	1	1	0	1

$$Q_3 = \bar{a}b\bar{c} + a\bar{b}\bar{c} + abc + ac\bar{d} + \bar{a}\bar{b}cd$$

ab \ cd	00	01	11	10
00	0	0	0	1
01	1	1	1	0
11	1	1	1	0
10	0	0	0	1

$$Q_2 = \bar{b}c + bd + \bar{b}c\bar{d}$$

ab \ cd	00	01	11	10
00	0	1	0	1
01	0	1	0	1
11	0	1	0	1
10	0	1	0	1

$$Q_1 = \bar{c}d + c\bar{d}$$

ab \ cd	00	01	11	10
00	0	1	1	0
01	0	1	1	0
11	0	1	1	0
10	0	1	1	0

$$Q_0 = d$$

Рис. 2.12. Минимизация логических выражений для выходных сигналов 4-входового преобразователя, реализующего формулу $x_{вых}=3x_{вх}$

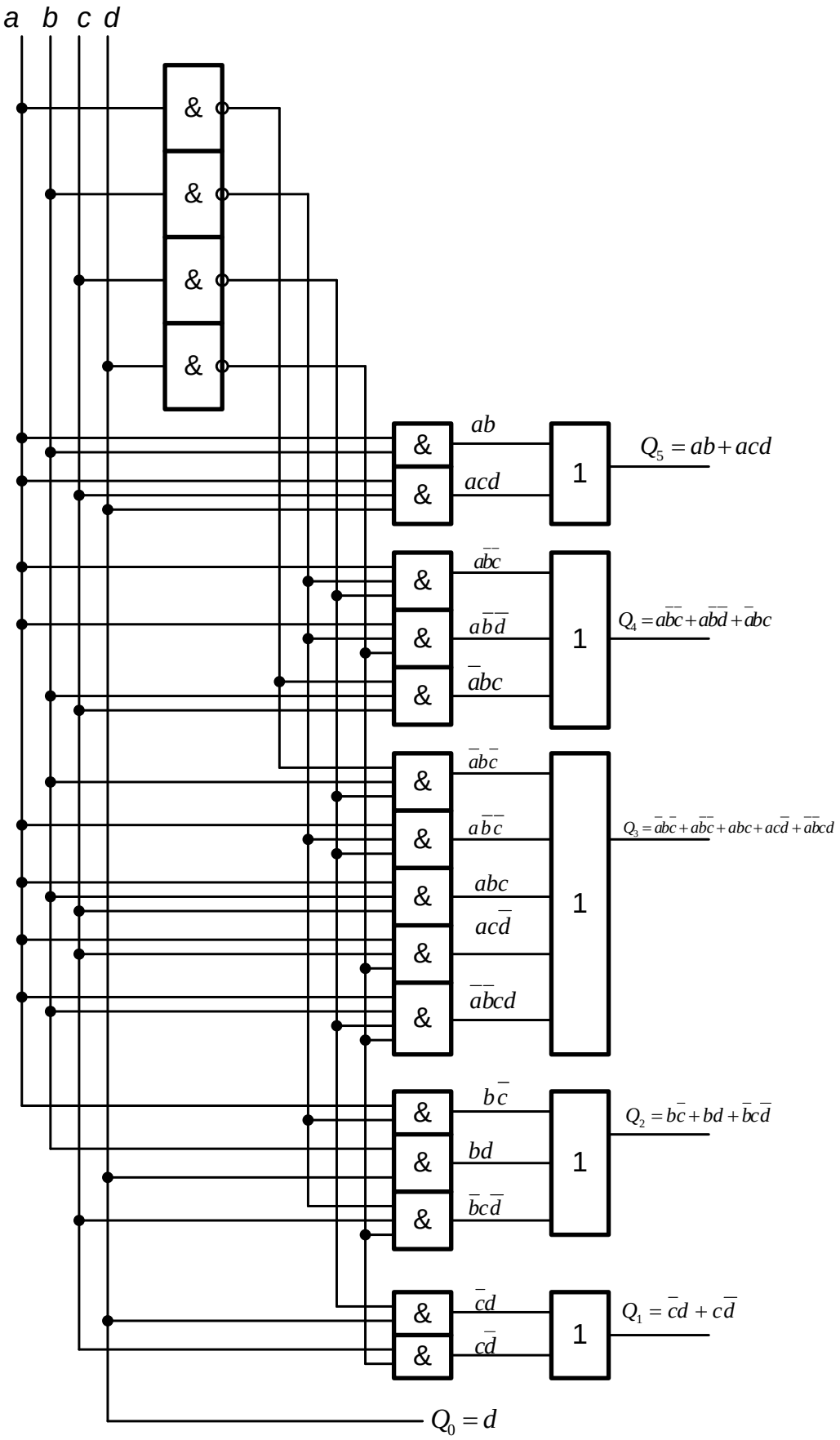


Рис. 2.13. Логическая схема преобразователя на 4 входа, реализующего формулу умножения на 3

ЗАДАНИЕ 2.3

Синтезировать логическую схему преобразователя на 3 входа, реализующего формулу согласно варианту (таблица 2.6).

Таблица 2.6

Варианты задания по преобразователю произвольных кодов

№	Формула	№	Формула	№	Формула
1	$x_{вых}= x_{вх}^2+2x_{вх}+1$	2	$x_{вых}= x_{вх}^2+x_{вх}+1$	3	$x_{вых}= 10x_{вх}^2+x_{вх}+1$
4	$x_{вых}= 2x_{вх}^2+2x_{вх}+1$	5	$x_{вых}= x_{вх}^2+x_{вх}+2$	6	$x_{вых}= 10x_{вх}^2+x_{вх}+2$
7	$x_{вых}= 3x_{вх}^2+x_{вх}+1$	8	$x_{вых}= 3x_{вх}^2+x_{вх}+4$	9	$x_{вых}= 10x_{вх}^2+x_{вх}+3$
10	$x_{вых}= x_{вх}^2+3x_{вх}+1$	11	$x_{вых}= x_{вх}^2+4x_{вх}+4$	12	$x_{вых}= 10x_{вх}^2+x_{вх}+4$
13	$x_{вых}= x_{вх}^2+4x_{вх}+1$	14	$x_{вых}= x_{вх}^2+x_{вх}+5$	15	$x_{вых}= 10x_{вх}^2+x_{вх}+5$
16	$x_{вых}= x_{вх}^2+5x_{вх}+1$	17	$x_{вых}= 6x_{вх}^2+x_{вх}+1$	18	$x_{вых}= 10x_{вх}^2+x_{вх}+6$
19	$x_{вых}= x_{вх}^2+6x_{вх}+1$	20	$x_{вых}= x_{вх}^2+7x_{вх}+5$	21	$x_{вых}= 10x_{вх}^2+x_{вх}+7$
22	$x_{вых}= x_{вх}^2+7x_{вх}+1$	23	$x_{вых}= x_{вх}^2+x_{вх}+8$	24	$x_{вых}= 10x_{вх}^2+x_{вх}+8$
25	$x_{вых}= x_{вх}^2+8x_{вх}+1$	26	$x_{вых}= 9x_{вх}^2+x_{вх}+1$	27	$x_{вых}= 10x_{вх}^2+x_{вх}+9$
28	$x_{вых}= x_{вх}^2+9x_{вх}+1$	29	$x_{вых}= x_{вх}^2+10x_{вх}+1$	30	$x_{вых}= 10x_{вх}^2+x_{вх}+10$
31	$x_{вых}= x_{вх}^2+10x_{вх}+1$	32	$x_{вых}= 2x_{вх}^2+x_{вх}+11$	33	$x_{вых}= 5x_{вх}^2+x_{вх}+1$
34	$x_{вых}= x_{вх}^2+x_{вх}+10$	35	$x_{вых}= 3x_{вх}^2+x_{вх}+1$	36	$x_{вых}= 5x_{вх}^2+x_{вх}+2$
37	$x_{вых}= x_{вх}^2+x_{вх}+11$	38	$x_{вых}= 4x_{вх}^2+x_{вх}+1$	39	$x_{вых}= 5x_{вх}^2+x_{вх}+3$
40	$x_{вых}= x_{вх}^2+x_{вх}+12$	41	$x_{вых}= x_{вх}^2+5x_{вх}+6$	42	$x_{вых}= 5x_{вх}^2+x_{вх}+4$
43	$x_{вых}= x_{вх}^2+x_{вх}+13$	44	$x_{вых}= x_{вх}^2+7_{вх}+8$	45	$x_{вых}= 5x_{вх}^2+x_{вх}+5$
46	$x_{вых}= 2x_{вх}^3+2x_{вх}^2+1$	47	$x_{вых}= 10x_{вх}^3+x_{вх}+2$	48	$x_{вых}= x_{вх}^3+9x_{вх}+1$
49	$x_{вых}= 3x_{вх}^3+x_{вх}^2+1$	50	$x_{вых}= 10x_{вх}^3+x_{вх}+3$	51	$x_{вых}= x_{вх}^3+10x_{вх}+1$
52	$x_{вых}= x_{вх}^3+3x_{вх}^2+1$	53	$x_{вых}= 10x_{вх}^3+x_{вх}+4$	54	$x_{вых}= x_{вх}^3+x_{вх}+10$
55	$x_{вых}= x_{вх}^3+9x_{вх}^2+1$	56	$x_{вых}= 10x_{вх}^3+x_{вх}+5$	57	$x_{вых}= x_{вх}^3+x_{вх}+11$
58	$x_{вых}= x_{вх}^3+10x_{вх}^2+1$	59	$x_{вых}= 10x_{вх}^3+x_{вх}+6$	60	$x_{вых}= 10x_{вх}^4+x_{вх}+7$

Библиография

1. Водовозов А.М. Элементы систем автоматики. – М.: Академия, 2009.
2. Музылева И.В. Элементная база для построения цифровых систем управления. – М: Техносфера, 2006.
3. http://ru.wikipedia.org/wiki/Логические_элементы [Электронный ресурс]

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАКЕТА ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ MATLAB/SIMULINK

3.1. Общие сведения

Библиотека Simulink, реализующая принцип визуального моделирования, является приложением к пакету MATLAB. Модель устройства создается на «поле моделирования» из библиотеки стандартных блоков.

При работе с Simulink есть возможность:

- модернизировать существующие библиотечные блоки;
- создавать свои собственные блоки;
- составлять новые библиотеки блоков.

Пополнять библиотеки блоков можно как с помощью подпрограмм написанных как на языке MATLAB, так и на языках C + +, Fortran и Ada.

При настройке процесса моделирования можно выбирать метод решения дифференциальных уравнений, а также способ изменения времени моделирования (с фиксированным или переменным шагом).

В ходе моделирования имеется возможность следить за процессами, происходящими в системе. Для этого используются специальные устройства наблюдения, входящие в состав библиотеки Simulink.

Результаты моделирования могут быть представлены в виде графиков или таблиц.

3.2. Запуск Simulink

Для запуска Simulink необходимо предварительно запустить пакет MATLAB. Основное окно пакета MATLAB R2014a с указанием расположения библиотеки показано на рис. 3.1.

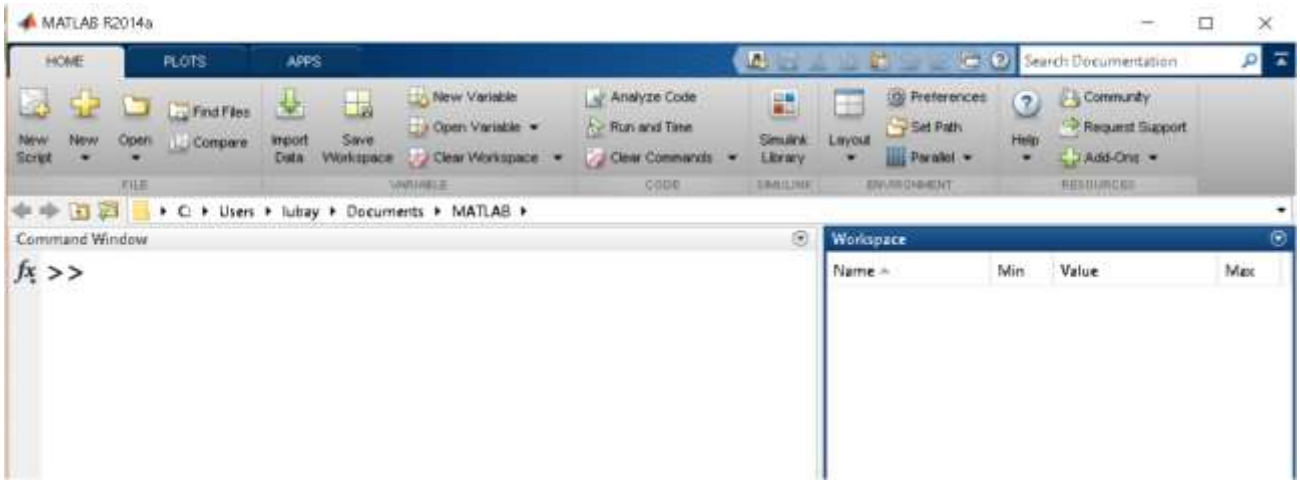
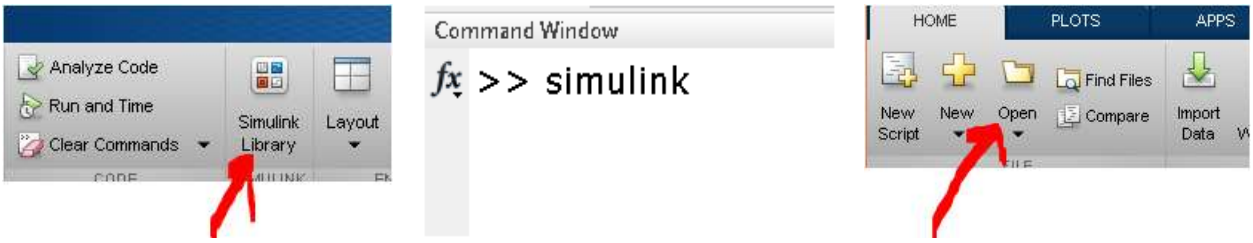


Рис. 3.1. Основное окно пакета Matlab/Simulink

После открытия основного окна программы MATLAB запустить программу Simulink можно одним из трех способов:

- нажать кнопку **Simulink Library** (рис. 3.2, а) на панели инструментов командного окна MATLAB;
- в командной строке главного окна MATLAB напечатать **Simulink** (рис. 3.2, б) и нажать клавишу Enter на клавиатуре;
- открыть папку **Open**… в командной строке (рис. 3.2, в) и файл модели.



а **б** **в**

Рис. 3.2. Способы запуска библиотеки Simulink

Вариант, представленный на рисунке 3.2, в, удобно использовать для запуска уже отлаженной модели, когда требуется провести расчеты и не нужно добавлять новые блоки в модель.

Использование первого и второго способов приводит к открытию окна обозревателя разделов библиотеки Simulink (рис. 3.3).

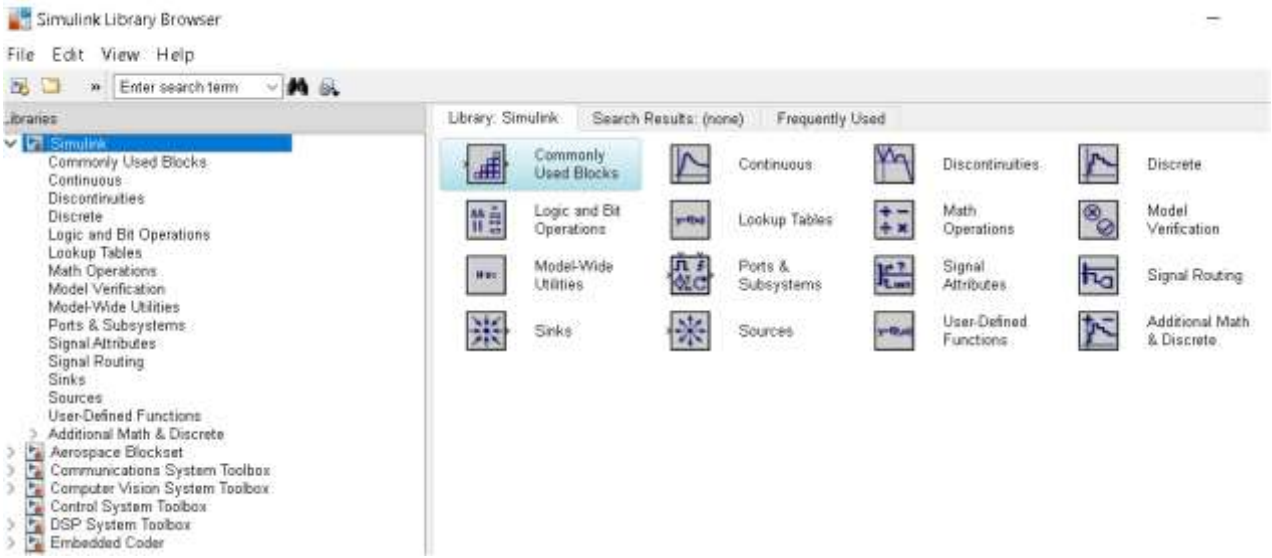


Рис. 3.3. Окно обозревателя разделов библиотеки Simulink

3.3. Блоки библиотеки Simulink

3.3.1 Sources – раздел блоков источников сигналов

На рис. 3.5. представлены все блоки источников сигналов.

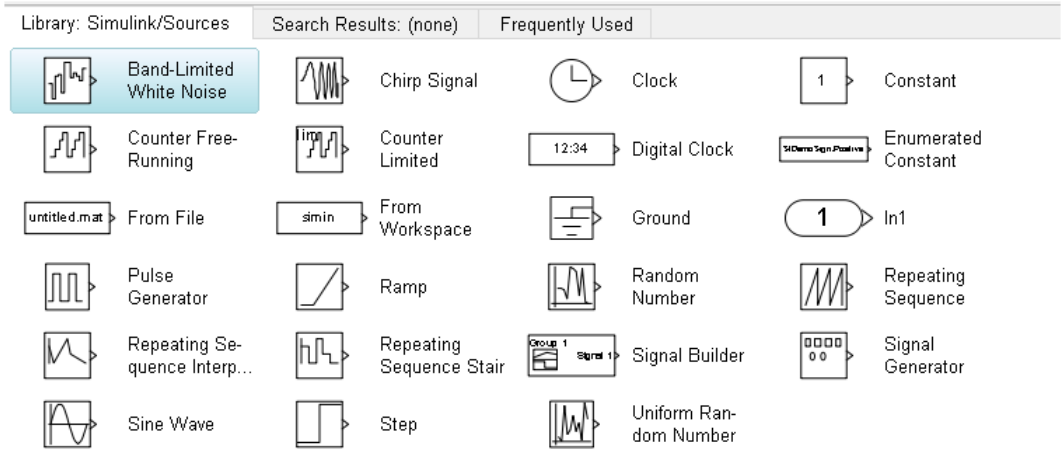


Рис. 3.5. Блоки источников сигналов

На начальном этапе работы в Simulink используются следующие блоки:

- Constant - источник постоянного воздействия, задающий константу ($t < 0$, $y = 0$; $t \geq 0$, $y = const$);
- Pulse Generator – источник дискретных импульсов;
- From File и From Workspace - источником сигнала для этих блоков служит файл или рабочая область MATLAB;

- Ramp – источник нарастающего воздействия;
- Sine Wave – источник синусоидального воздействия;
- Step – источник перепада сигнала (t < Step time, y = Initial value; t > Step time, y = Final value);
- Signal Generator – универсальный сигнал-генератор;

3.3.2. Sinks – раздел блоков получателей сигналов

На рис. 3.6. представлены блоки получателей сигналов.

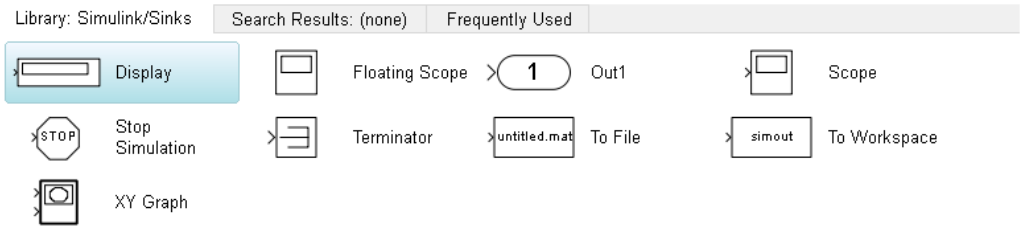


Рис. 3.6. Блоки получателей сигналов

На начальном этапе работы в Simulink используются следующие блоки:

- Display – блок, отображающий цифровую информацию (уровень сигнала в данный момент времени);
- Scope – виртуальный осциллограф, предназначенный для получения временных зависимостей (переходных процессов);
- XY Graph – виртуальный графопостроитель (построение фазовых портретов и различных двухмерных графиков);
- To File и To Workspace – блоки, передающие информацию в файл или в рабочую область MATLAB;
- Stop Simulink – остановка симуляции.

3.3.3. Logic and Bit Operations – раздел блоков логических функций и битовых операций

Для моделирования логических схем применяются блоки, представленные в данном разделе (рис. 3.7).

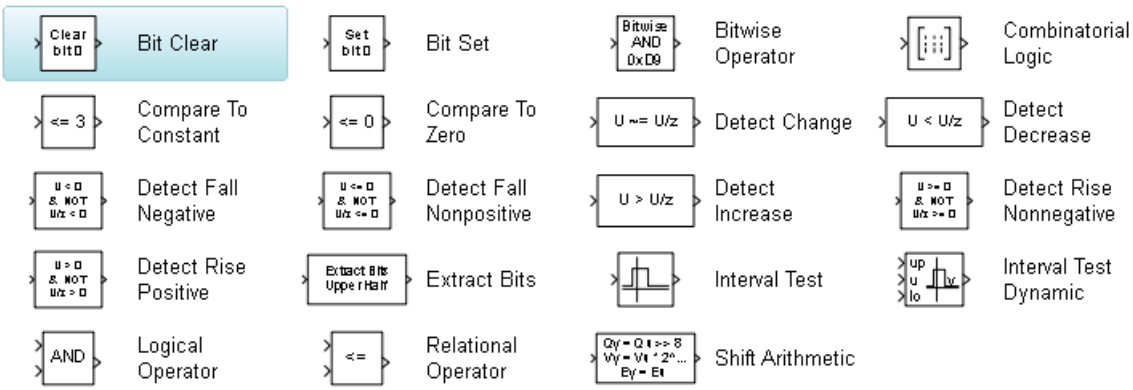


Рис. 3.7. Раздел Logic and Bit Operations

На начальном этапе работы в Simulink используются следующие блоки:

- Combinatorial Logic – блок обеспечивает получение выходного сигнала в соответствии с заданной таблицей истинности;
- Logical Operation и Relaition Operator – блоки производят известные логические операции «и» и «или», количество входов задается в поле настройки;
- Bitwise Logical Operator – универсальный блок, реализующий любую логическую функцию.

3.3.4 Signal Routing– раздел блоков маршрутизации сигналов

Для обеспечения подключения, отключения и переключения элементов модели применяются блоки маршрутизации сигналов (рис. 3.8), из которых на начальном этапе работы в Simulink используются следующие блоки:

- Mux – микшер сигналов, собирающий несколько сигналов в одну шину;
- Demux – блок, выполняющий действие, обратное действию предыдущего блока;

• Manual Switch – ручной переключатель, обеспечивает переключение при нажатии кнопкой мыши.

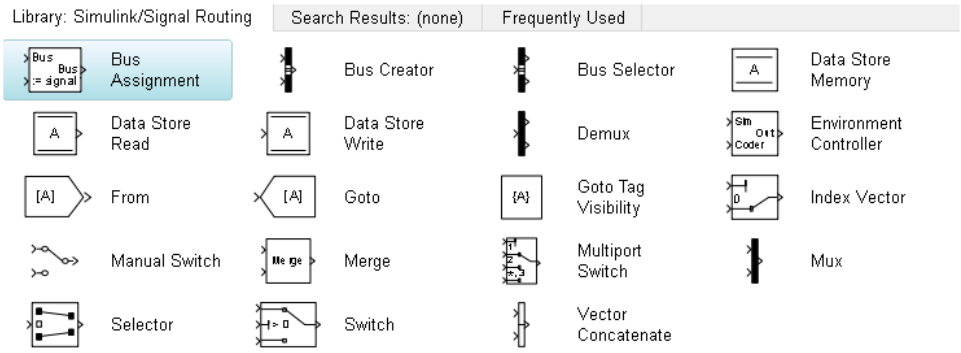


Рис. 3.8. Блоки маршрутизации сигналов

3.4. Создание модели в Simulink

3.4.1. Поле моделирования

Поле моделирования можно создать одним из способов:

• в окне обозревателя Симулинк необходимо нажать на значок, показанный на рис. 3.4;

• или открыть вкладку **File→New→Model**.

• Для редактирования ранее созданной модели необходимо пройти по пути **File→Open** и выбрать нужный файл.

Рис. 3.4. Иконка для создания нового поля модели

3.4.2. Командное меню окна модели

Важная роль принадлежит командному меню окна модели Simulink (рис.3.9). Оно дает более полный набор средств по управлению процессом моделирования.

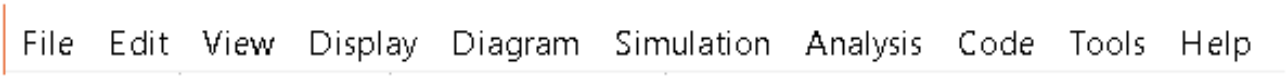


Рис.3.9. Полное Командное меню окна модели

На начальном этапе работы в Simulink используются следующие вкладки Меню:

1) **File - операции с файлами S-моделей:**

- ***New, Open и Close*** – стандартные операции создания, открытия и закрытия файла (окна) модели. Следует отдельно отметить возможность создания не только модели, но и раздела библиотеки, в который можно поместить как новые, так и уже существующие блоки (Ctrl+N, Ctrl+O и Ctrl+W соответственно);
- ***Save*** – сохранить модель (при первом сохранении запрашивается имя и место сохранения) (Ctrl+S);
- ***Save As…*** – сохранить модель под определенным именем и в определенном месте (можно использовать для полного копирования модели заданием другого имени для сохранения);
- ***Print…*** – распечатать содержимое окна модели (структурную схему модели) (Ctrl+P);
- *Print>Print setup…* – установки для печати;
- ***Exit MATLAB*** – выход из MATLAB, закрывает все открытые окна моделей и приложений системы, а также сам MATLAB (Ctrl+Q).

2) **Edit - операции редактирования текущей модели:**

- ***Undo Copy*** – отменить операцию отмены последнего действия (вместо слова ‘undo’ будет наименование последней операции) (Ctrl+Z);
- ***Can’t Redo*** – операция, обратная предыдущей (Ctrl+Y);
- ***Cut, Copy и Paste*** – стандартные операции редактирования – вырезать в буфер, скопировать в буфер и вставить из буфера (работают с выделенными объектами в окне моделирования) (Ctrl+X, Ctrl+C и Ctrl+V соответственно);
- ***Copy Current View to Clipboard > Metafile***- поместить модель в буфер обмена ОС Windows (удобно в случае, когда необходимо поместить модель в какой-либо электронный документ);
- ***Delete*** – очистить (стереть) выделенный объект (Del);
- ***Select All*** – выделить все объекты в окне (удобно для копирования или

очистки окна модели или подмодели) (Ctrl+A).

3) **View - управление видом окна модели:**

- ***Library Browser*** – показать браузер библиотек;
- ***Toolbar*** – показать/убрать панель инструментов;
- ***Status bar*** – показать/убрать строку состояния;
- ***Zoom In/Out*** - увеличение/уменьшение размера блоков в окне модели (изменение масштаба изображения блоков);
- ***Fit system to view*** – выбрать оптимальный масштаб изображения;
- ***Normal (100%)*** – вернуть “нормальный” (заданный по умолчанию) масштаб изображения.

4) **Simulation - операции запуска моделирования и его настройки:**

- ***Run***– запуск процесса моделирования (Ctrl+T);
- ***Stop*** – остановка процесса моделирования;
- ***Model Configuration Parameters*** – параметры процесса моделирования (Ctrl+E).

5) **Diagram**

- ***Format*** - операции форматирования текущей модели (работают с выделенными блоками и надписями):
    - Font Style… – выбор шрифта текста;
    - Text Alignment – операции выравнивания текста в текстовом окне;
    - Foreground Color – выбрать цвет линий блока;
    - Background Color – выбрать цвет поля блока;
    - Block Shadow –создание тени блока;
    - Show Block Name –показать/скрыть название блока;
- block – (Ctrl+I);
- Rotate&Flip –
    - повернуть блок на 90 градусов
    - по часовой стрелке (Ctrl+R),

- против часовой стрелки (Ctrl+Shift+R);
- изменить направление блока (вход-выход) (Ctrl+I);
- FlipBlockName – изменить положение названия блока.

- Arrange – изменение расположения блоков.

6) Help - доступ к средствам справочной системы

3.4.3. Размещение блоков в окне модели

Размещение блоков в окне модели производится одним из способов:

- в разделе библиотеки выбирается блок, который мы хотим поместить в окно создаваемой нами модели (выбор блока осуществляется одиночным нажатием на него левой кнопкой мыши). удерживая левую кнопку мыши, перетаскиваем блок в окно модели и отпускаем. В окне модели должна появиться пиктограмма этого блока.
- нажав правую клавишу мыши на нужном нам блоке в библиотеке, выбираем в контекстном меню команду Add to ‘имя модели’.

3.4.4. Выделение блока или группы блоков в окне модели

Для *выделения блока* достаточно навести на него стрелку мыши, В рамке блока по углам появятся маленькие прямоугольники, которые показывают, что блок выделен, <u>после нажатия левой кнопки мыши</u> блок подкрасится голубоватым свечением, это означает, что *блок выбран*.

Для *выделения/выбора* группы блоков нужно установить указатель мыши рядом с выделяемыми блоками и зажать левую кнопку мыши. При перемещении мыши появится подсвеченная расширяющаяся прямоугольная рамка. Как только в ней окажется какой-либо блок, он будет выделен. Таким образом, все попавшие в рамку блоки окажутся выделенными и выбранными.

Для выделения всех блоков модели можно воспользоваться командой Edit > Select All (Ctrl+A)

Выделенный блок или набор блоков можно копировать, перетаскивать мышью, удерживая ее левую кнопку на новое место.

3.4.5. Сохранение модели

Созданную модель можно сохранить для дальнейшего применения, показа, редактирования или модернизации. Для этого используется команда Save или Save As… меню File окна редактора моделей.

3.4.6. Установка параметров блоков, входящих в модель

Для того, чтобы установить необходимые параметры блока, нужно навести указатель мыши на изображение блока в окне модели и дважды щелкнуть левой кнопкой мыши или, нажав правую кнопку мыши в контекстном меню, выбрать команду **Block parameters**.

3.4.7. Установка параметров моделирования

Прежде чем запустить созданную модель, необходимо установить общие параметры моделирования. При выполнении команды **Simulation > ModelConfigurationParameters**... в меню **Simulation** появится окно установки параметров моделирования (рис.3.10).

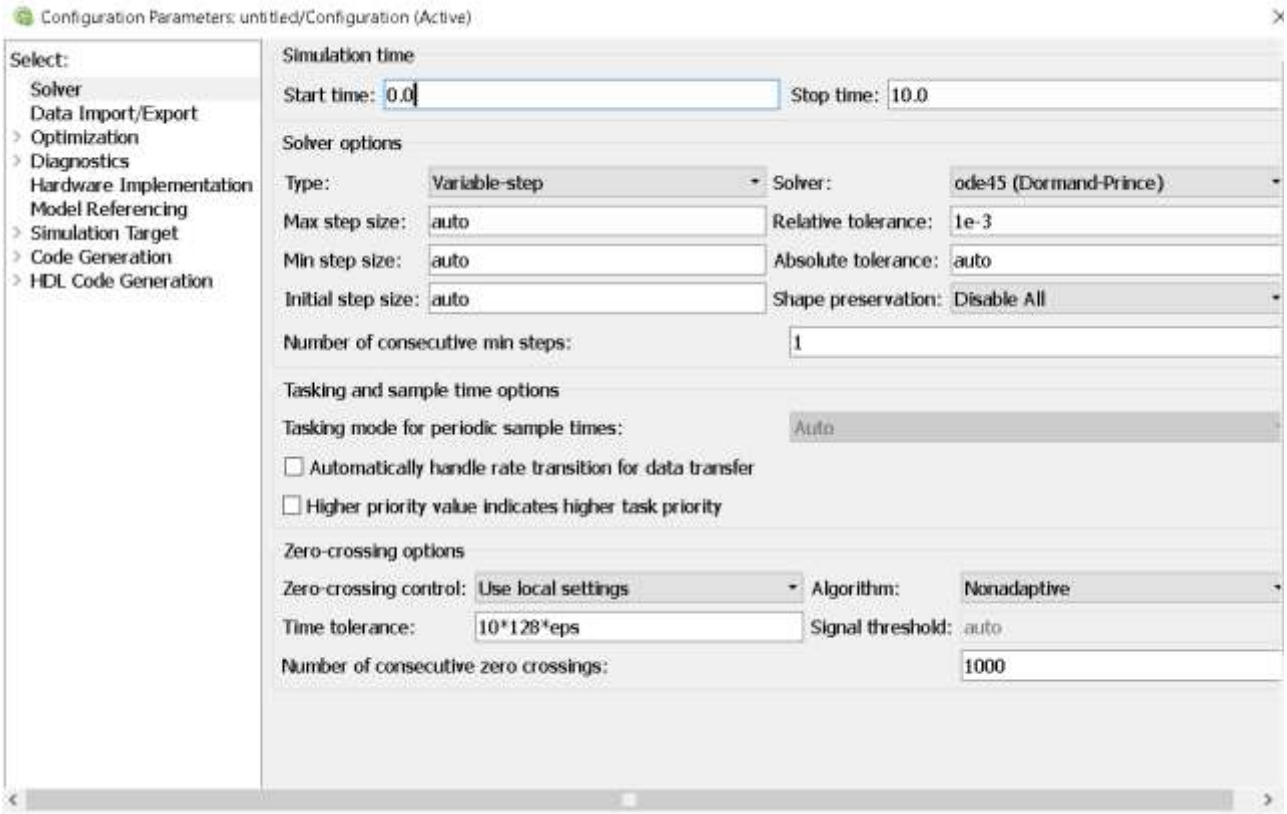


Рис. 3.10 Окно конфигурации параметров моделирования

К числу важнейших параметров относится время моделирования - Simulation time. Оно задается начальным временем **Start time** (обычно 0) и конечным временем **Stop time**.

Опции решателя **Solver options**:

- Type – тип решателя:
  - Variable step – с переменным шагом по времени;
  - Fixed step – с постоянным шагом по времени (для дискретных систем).
- Solve – метод моделирования:
  - discrete – дискретный,
  - ode45 и ode5 – метод Дорманда-Принса,
  - ode23 – три варианта, включая метод Розенброка,
  - ode113 – метод Адамса,
  - ode4 – метод Рунге-Кутта и др.

Следующая группа параметров является зависимой и автоматически изменяется при выборе типа решателя.

- ***Для переменного шага моделирования содержит:***
  - Max step size – максимальное значение шага моделирования;
  - Min step size – минимальное значение шага моделирования;
  - Initial step size – начальный шаг моделирования.

Для трех вышеописанных параметров по умолчанию устанавливается значение Auto (выбрать автоматически), но его можно изменять.

- Relative tolerance – относительная погрешность моделирования;
- Absolute tolerance – абсолютная погрешность моделирования.

- ***Для постоянного шага моделирования:***
  - Fixed step size – значение фиксированного шага моделирования (при значении auto устанавливается шаг, заданный источником сигнала, и если источников несколько – устанавливается наименьший шаг моделирования);

- Tasking mode for periodic sample times: – режим работы
  - auto – выбрать автоматически;
  - Single tasking – однозадачный режим;
  - Multi tasking – многозадачный режим.

При моделировании сложных систем необходимо правильно устанавливать значение всех вышеописанных параметров, в нашем случае важно только установить конечное время моделирования, остальные параметры можно оставить установленными автоматически. Для моделирования дискретных систем, необходимо выбрать тип решателя – с постоянным шагом моделирования и указать шаг (при необходимости).

3.4.8. Добавление надписей и текстовых комментариев

Правилом «хорошего тона» в программировании и моделировании является наличие необходимого количества комментариев к своей работе, что позволяет впоследствии без труда разобраться, что и как работает. Модели, не содержащие текстовых комментариев, не наглядны и трудно воспринимаются. Но и перенасыщение комментариями модели воспринимаются с трудом.

Для создания текстовой надписи в поле модели достаточно указать мышью место надписи, дважды щелкнув левой кнопкой мыши. При этом появится блок надписи с указателем ввода, куда собственно и вводится текст комментария.

Для изменения подписи к блокам моделей, необходимо установить мышь в область надписи и щелкнуть левой кнопкой мыши. При этом в подписи появится указатель ввода, и ее можно будет редактировать.

Чтобы убрать надпись, нужно выделить ее (как и любой другой объект) и выполнить команду **Edit > Clear** или нажать клавишу **Delete** на клавиатуре.

В связи с тем, что система MATLAB является англоязычной (это относится и к пакету Simulink), она плохо воспринимает русский язык. Поэтому при наличии большого числа комментариев на русском языке возможны сбои в работе системы.

3.4.9. Соединение блоков между собой

Соединение блоков между собой производится с помощью мыши. Блоки моделей имеют входы и (или) выходы. Как правило, выход какого-либо блока подключается к входу следующего блока и т. д. Для этого указатель мыши устанавливается на выходе блока, от которого должно исходить соединение. При этом указатель превращается в большой крестик из тонких линий. Держа нажатой левую кнопку мыши, надо плавно переместить указатель к входу следующего блока, где указатель мыши приобретет вид крестика из тонких сдвоенных линий.

Добившись протяжки линии к входу следующего блока (при этом указатель превратится в двойной крестик) надо отпустить левую кнопку мыши. Соединение будет завершено, и в конце его появится жирная стрелка. Щелчком мыши можно выделить соединение, признаком чего будут черные прямоугольники, расположенные в узловых точках соединительной линии.

Иногда бывает нужно сделать петлю соединительной линии в ту или иную сторону. Для этого нужно захватить нужную часть линии и отвести ее в нужную сторону, перемещая мышь с нажатой левой кнопкой. Создание петли линии заканчивается отпусканием левой кнопки мыши.

3.4.10. Создание отвода линий

Для отвода от уже созданной линии нужно подвести стрелку мыши к месту предполагаемого отвода, нажать правую кнопку мыши и, удерживая её, плавно переместить указатель к входу следующего блока. Добившись протяжки линии к входу следующего блока, отпустить кнопку мыши. Соединение будет завершено, и в конце его появится жирная стрелка.

3.4.11. Удаление соединений

Для удаления соединительной линии достаточно выделить ее щелчком мыши и выполнить команду **Clear** или **Cut** (или нажать клавишу **Delete** на клавиатуре).

3.4.12. Изменение размеров блоков

Simulink имеет расширенные возможности редактирования блок-схем. Так, блоки в окне редактирования можно не только перемещать с помощью мыши, но и изменять в размерах. Для этого блок выделяется, после чего указатель мыши надо установить на квадратики по углам блока. Как только указатель мыши превратится в двунаправленную диагональную стрелку, можно будет при нажатой левой кнопке растягивать блоки по диагонали, увеличивая или уменьшая их размеры.

Растягивается только графическое изображение (пиктограмма) блока, а размеры его названия в виде текстовой надписи не изменяются.

3.4.13. Перемещение блоков и вставка блоков в соединение

Блок, участвующий в соединении, можно перемещать в окне модели, выделив его и перетаскивая, мышью. При этом соединение не прерывается, а просто сокращается или увеличивается в длине. Перемещать блоки можно, выделив их и нажимая клавиши со стрелками на клавиатуре.

В длинное соединение можно вставить новый блок, не разрушая его и не выполняя сложных манипуляций. Для этого нужно совместить вход и выход нового блока с линиями соединения (справедливо для блоков с одним входом и одним выходом, для остальных блоков данный способ не работает).

3.4.14. Печать текущей модели

Команда **File > Print**... выводит окно печати модели. Это окно содержит все необходимые настройки для печати текущей модели. Прежде всего, это выбор типа принтера для печати, область печати и выбор опций печати.

Команда **Print Setup...** в меню File окна Simulink открывает окно настройки принтера. Кнопка «Свойства» открывает окно свойств выбранного принтера.

3.4.15. Вставка модели в текстовые редакторы

Для вставки модели в различные текстовые или графические редакторы необходимо выполнить команду **Edit > Copy model to clipboard** – модель скопируется в виде картинки в буфер обмена ОС Windows и может быть вставлена в любой текстовый или графический редактор путем нажатия клавиш **Shift+Insert** в открытом файле текстового редактора.

3.4.16. Создание простейшей модели

Любая модель, создаваемая в пакете Simulink, должна состоять из трех основных частей:

1) источник сигнала;
2) модель, состоящая из совокупности различных блоков;
3) приемник сигнала.

Для примера составим простейшую модель, состоящую из источника единичного воздействия (блок Constant из раздела Sources) и виртуального осциллографа (блок Scope из раздела Sinks). Модель будет представлена проводником, который является идеальным усилительным звеном с коэффициентом усиления, равным 1.

Для создания модели и ее моделирования необходимо выполнить следующие действия:

1) создать новое окно модели;
2) поместить в это окно блок Constant из раздела Sources (рис. 3.11);
3) поместить в окно модели блок Scope из раздела Sinks и расположить его справа от блока источника сигнала Constant (рис. 3.12);
4) соединить блоки Constant и Scope между собой (рис. 3.13);
5) установить необходимые параметры моделирования Stop time = 2с (остальные параметры оставляем без изменения);
6) запустить процесс моделирования;
7) посмотреть результаты моделирования, дважды щелкнув левой кнопкой мыши на блоке Scope (рис. 3.14);

8) при необходимости сохранить модель.

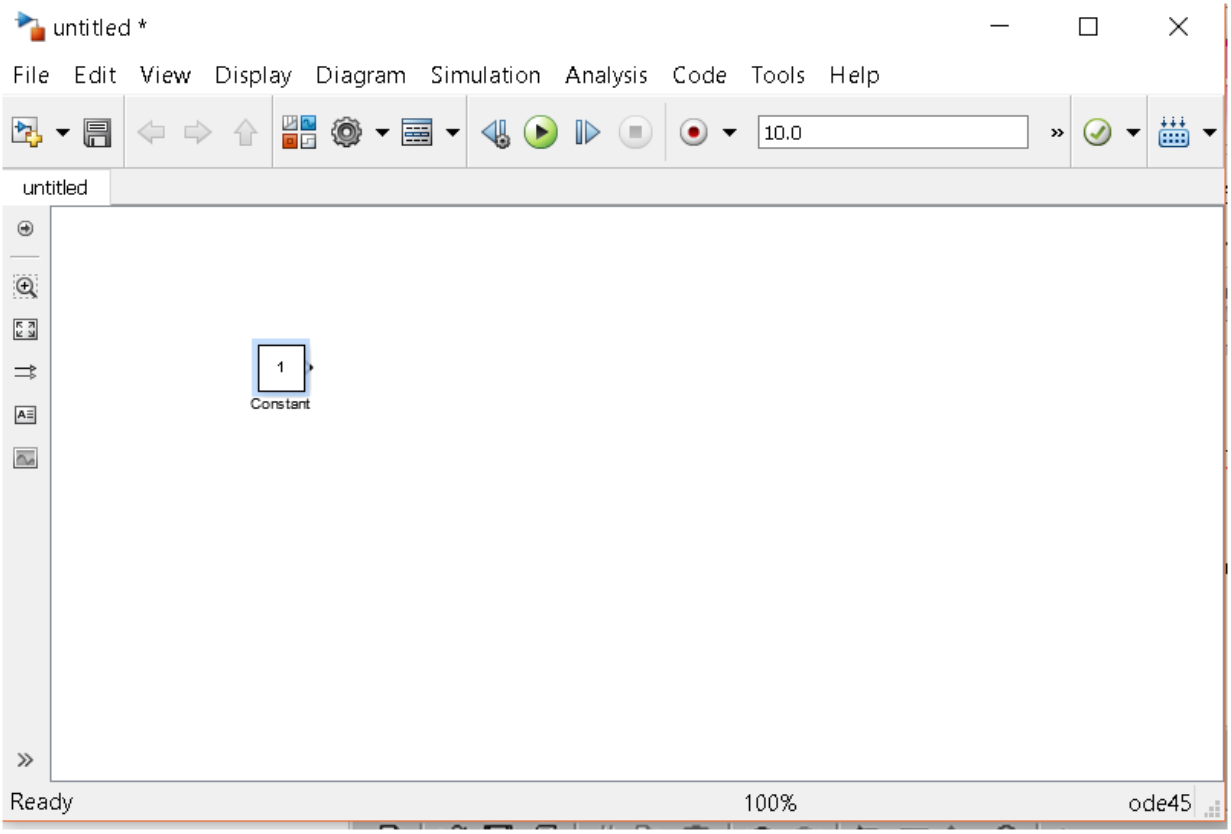


Рис.3.11. Источник сигнала, помещенный в окно модели

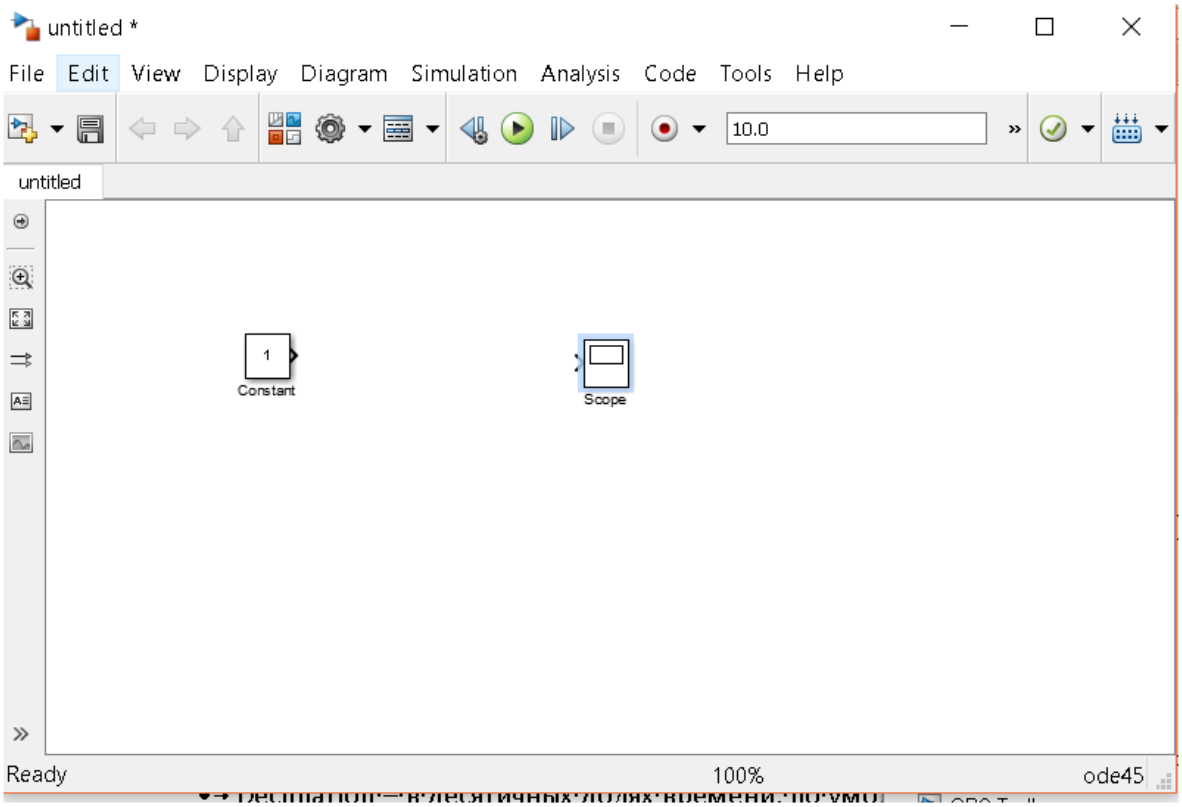


Рис.3.12. Источник сигнала и приемник сигнала, помещенные в окно модели

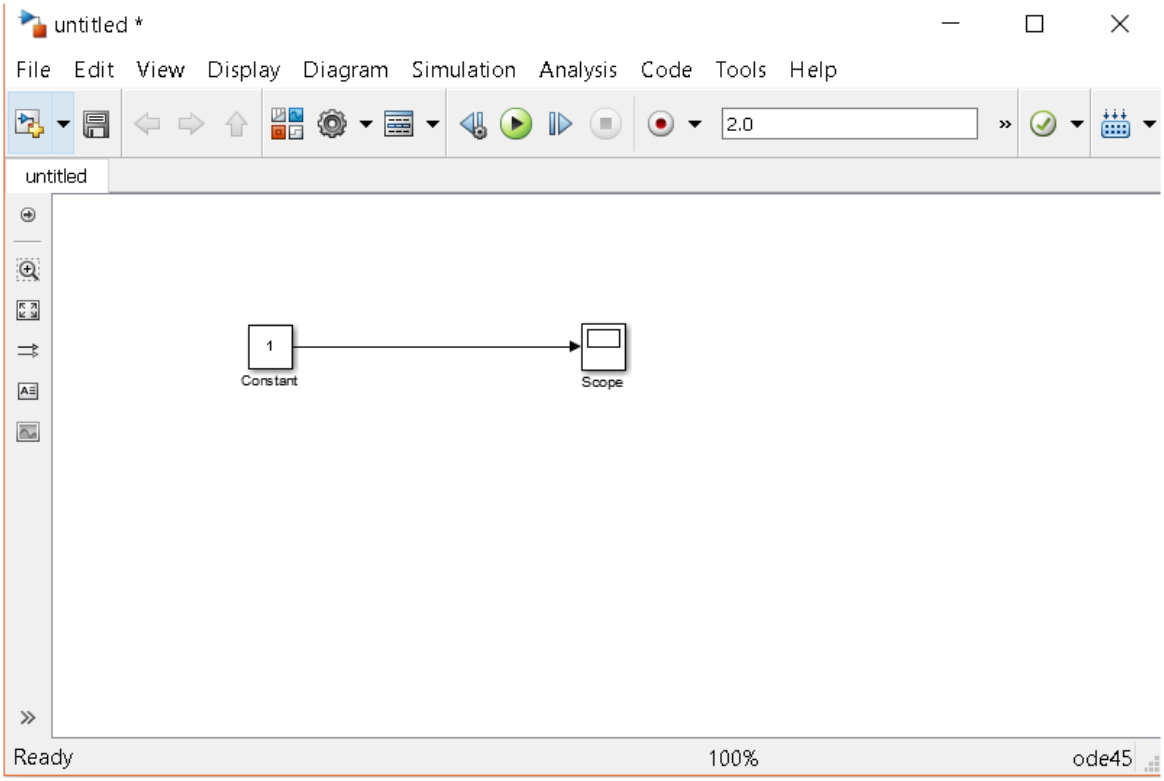


Рис.3.13. Простейшая модель, готовая к процессу моделирования

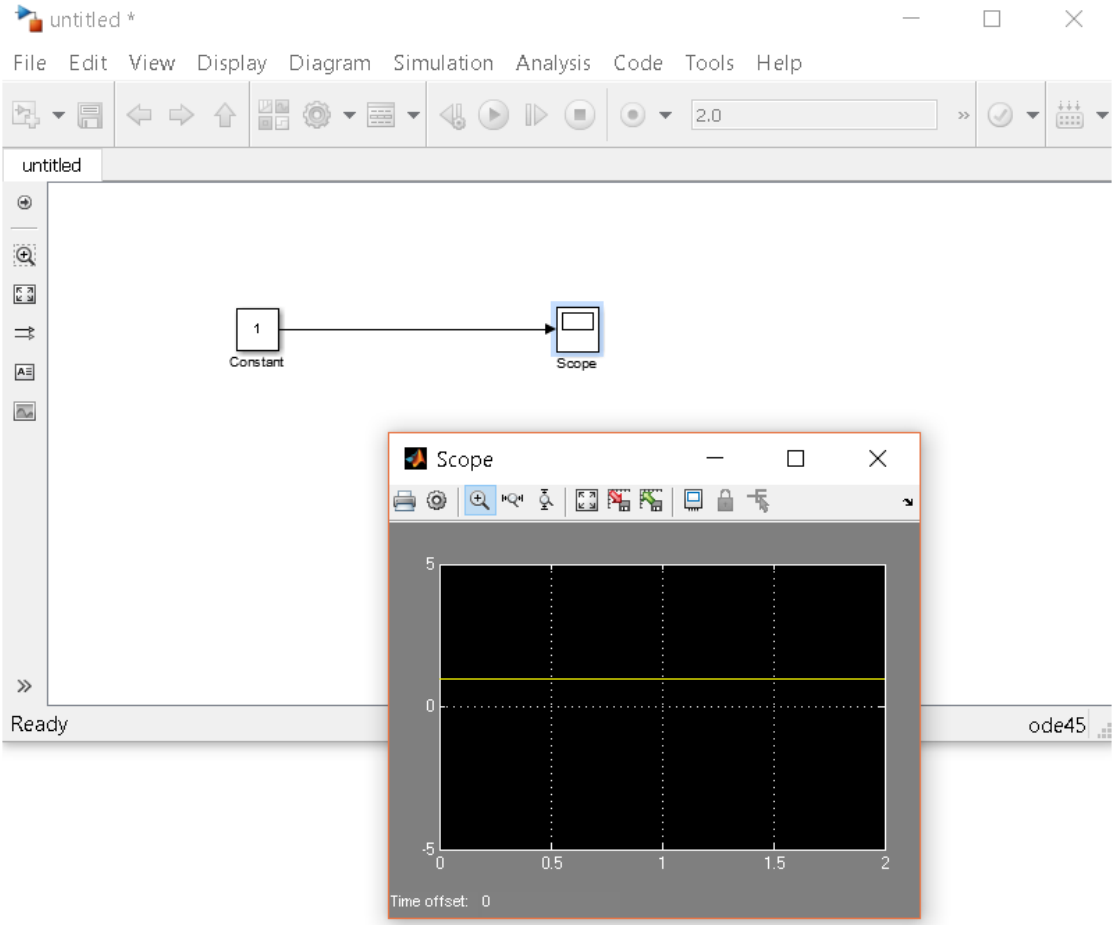


Рис.3.14. Результаты моделирования

3.4.17. Настройка виртуального осциллографа

В окне виртуального осциллографа (см. рис. 3.14) можно выделить две области: панель инструментов (сверху) и окно осциллографа (снизу), на котором представлены результаты моделирования.

Панель инструментов состоит из следующих кнопок (слева направо):

Print – печать графика переходного процесса.

Parameters - параметры и свойства блока;

Zoom – изменение масштаба графика переходного процесса по осям X-Y, с сохранением пропорций;

Zoom X-axis – изменение масштаба графика переходного процесса по оси X;

Zoom Y-axis – изменение масштаба графика переходного процесса по оси Y;

Autoscale – автоматический подбор масштаба;

Save current axes settings – сохранить текущие настройки блока;

Окно свойств блока Scope содержит три вкладки: **General** (основные свойства), **Data history** (сохранение данных) и **Style** (оформление).

Во вкладке General (рис.3.15) **располагаются настройки:**

1) Axes – осей:

- Number of axes – количество осей, при изменении этого параметра изменяется количество одновременно отображаемых графиков (на разных экранах, друг под другом) и соответственно количество входов;
- Time range – пределы временного интервала;
- Tick labels – настройка подписей по осям:

- bottom axis only – только под нижним графиком,
- all – под всеми графиками;
- none – не подписывать;

2) Sampling – установка временных соотношений:

- Decimation – в десятичных долях времени, по умолчанию 1;

- Sample time – в тактах эталонного времени (сэмплах), по умолчанию 0 – непрерывное время.

3) Legends – отображение легенды на экране блока Scope.

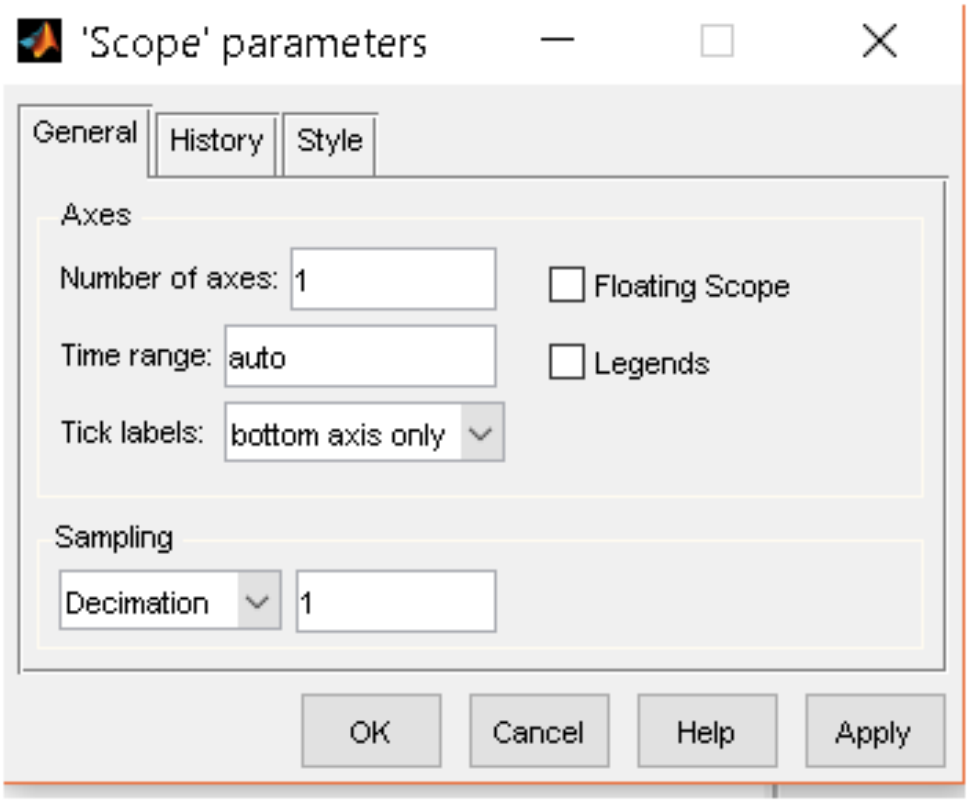


Рис.3.15. Окно свойств блока Scope, вкладка General

Во вкладке History располагаются настройки хранения данных (рис.3.16):

- Limit data point to last – включение/выключение предела и количества точек на графике (если моделируемая система работает достаточно долго и пропадает часть графика, то рекомендуется перед началом процесса моделирования убрать флажок с данной опции);
- Save data to workspace – сохранять результаты в рабочую область под именем, задаваемым в окне Variable name, и типы данных, задаваемых в окне Format (Structure with time – структура с временем, Structure – структура и Array – массив).

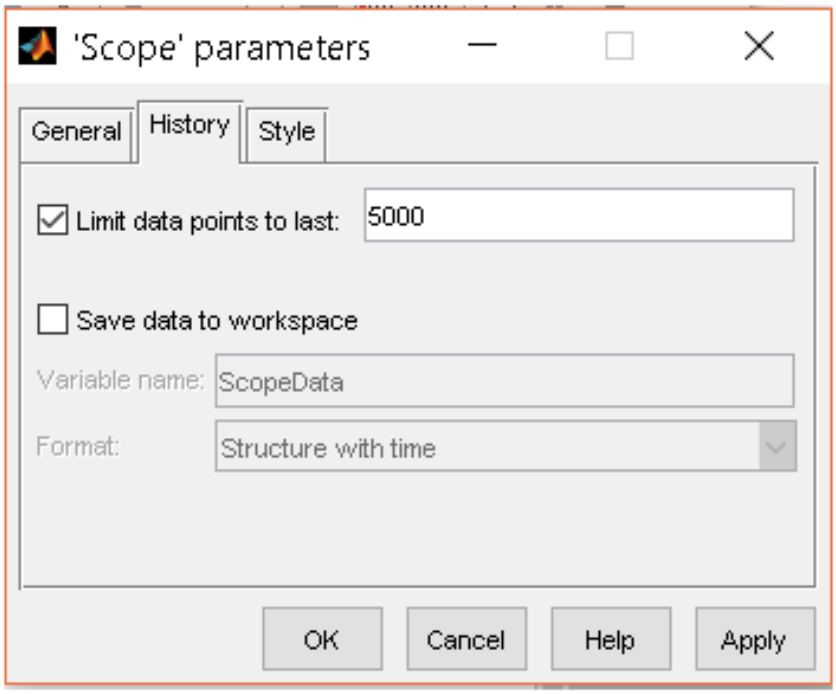


Рис.3.16. Окно свойств блока Scope, вкладка History

В третьей вкладке (Style) располагаются настройки стиля выводимых данных (рис.3.17):

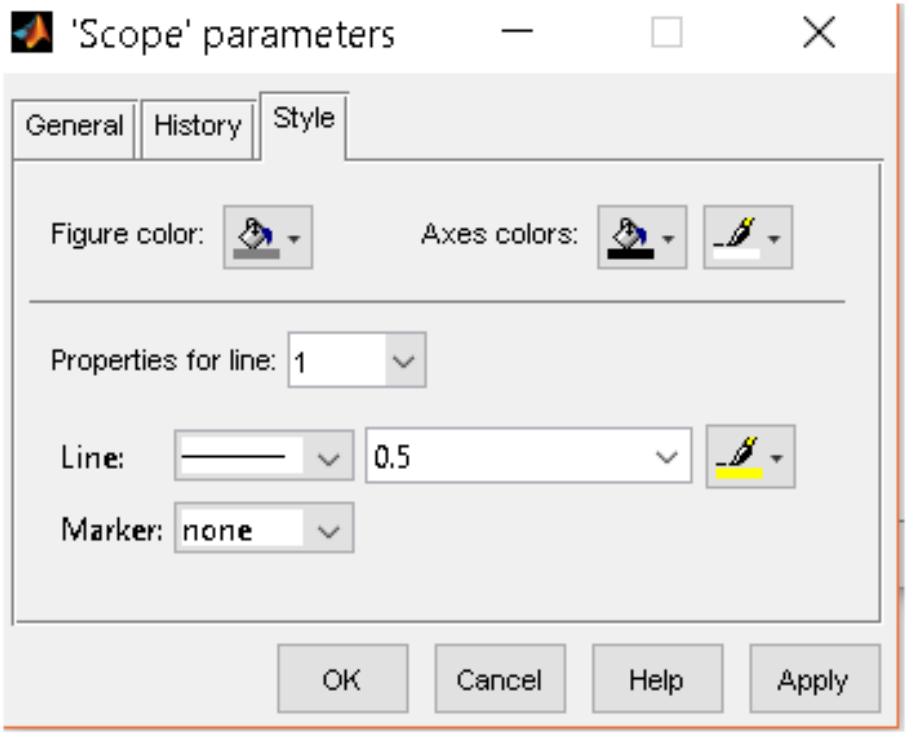


Рис.3.17. Окно свойств блока Scope, вкладка Style

На рис. 3.14 представленный результат моделирования переходного процесса идеального усилительного звена с коэффициентом усиления, равным 1.

3.5. Моделирование электротехнических систем

В версии Matlab/SimulinkR2014a для моделирования электротехнических и энергетических схем, систем и устройств применяется расширение SimPowerSystem>SpecializedTechnology, которое находится в пакете прикладных программ Simscape.

Возможности SimPowerSystem>SpecializedTechnology определяются в первую очередь компонентами входящих в него библиотек. Путь доступа к пакету представлен на рисунке 3.18.

Можно также вызвать окно с разделами библиотеки, выполнив команду **powerlib** в командной строке MATLAB.

3.5.1. Состав библиотеки SimPowerSystem/SpecializedTechnology

Полный состав библиотеки ***SpecializedTechnology*** представлен на рис. 3.19. Дя данного задания актуальны библиотеки следующих направлений:

- Electrical Sources – источники электрической энергии и сигналов;
- Elements – линейные и нелинейные компоненты электротехнических и электронных устройств;
- Measurements – измерительные и контрольные устройства;
- Powergui – графический интерфейс пользователя пакета моделирования энергетических систем.

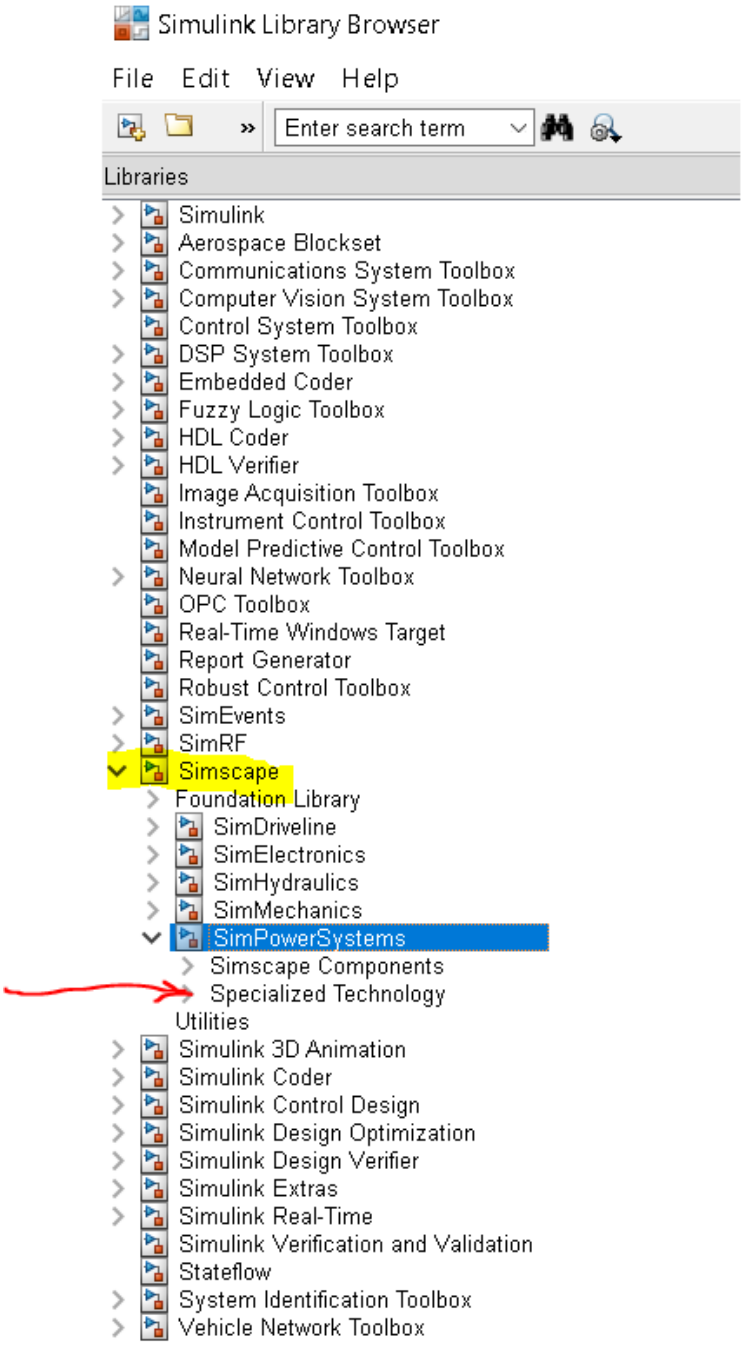


Рис. 3.18. Доступ к библиотекам SimPowerSystem/SpecializedTechnology

Рис. 3.19. Состав библиотеки SimPowerSystem/SpecializedTechnology

Состав библиотеки Electrical Sources

Пакет SimPowerSystem/SpecializedTechnology имеет модели источников, позволяющих имитировать реальные источники электроэнергии. Открыть окно этой библиотеки можно сделав двойной щелчок мыши по пиктограмме библиотеки Electrical Sources (рис. 3.20).

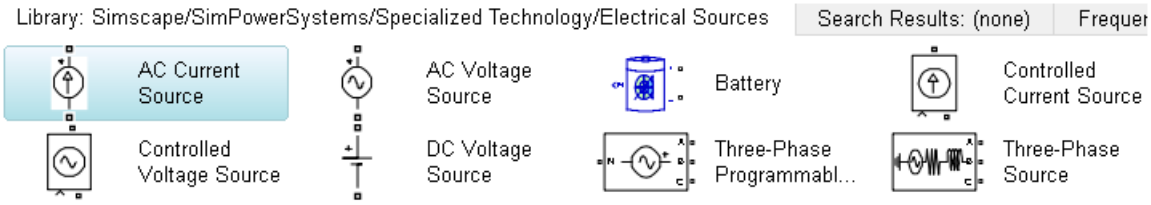


Рис. 3.20. Библиотека источников Electrical Sources

Эти источники образуют функционально полный набор источников электрической энергии. Для моделирования на учебной практике нужен только источник постоянного напряжения DC Voltage Source

Библиотека компонентов Elements

Основная библиотека компонентов (рис. 3.21) содержит ряд моделей, имеющих достаточно универсальный характер. С помощью одной модели можно создать модели нескольких компонентов.

Для выполнения задания понадобятся **Series RLC Branch** – последовательная RLC-цепь или **Parallel RLC Branch** – параллельная RLC-цепь.

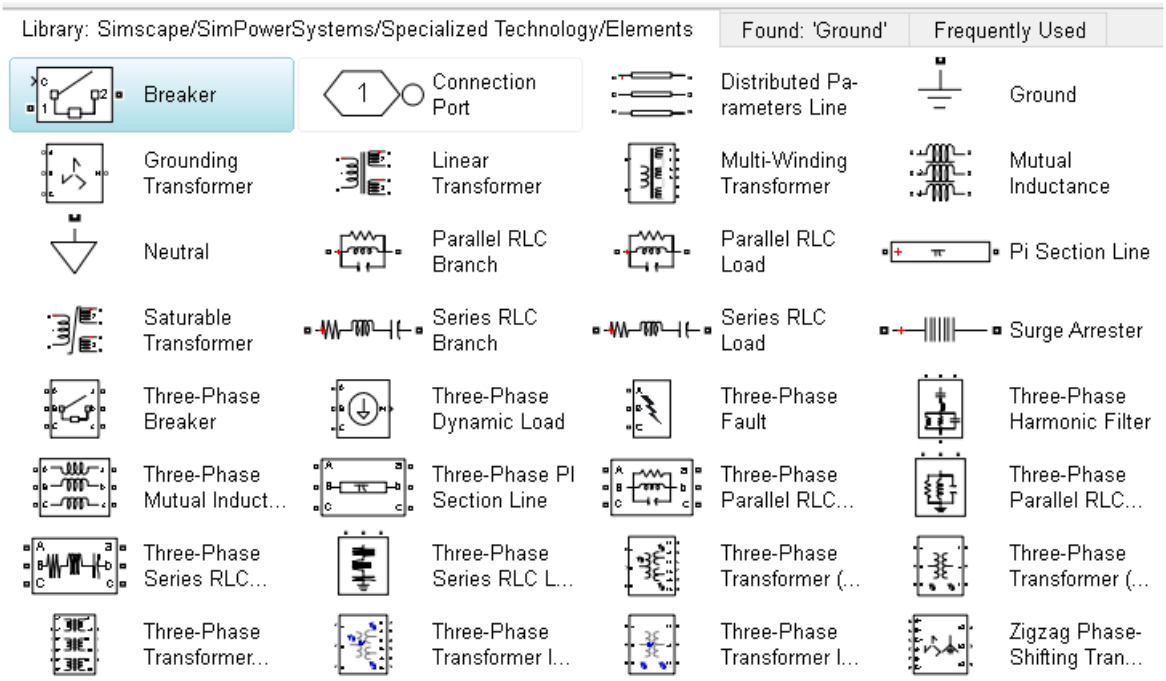
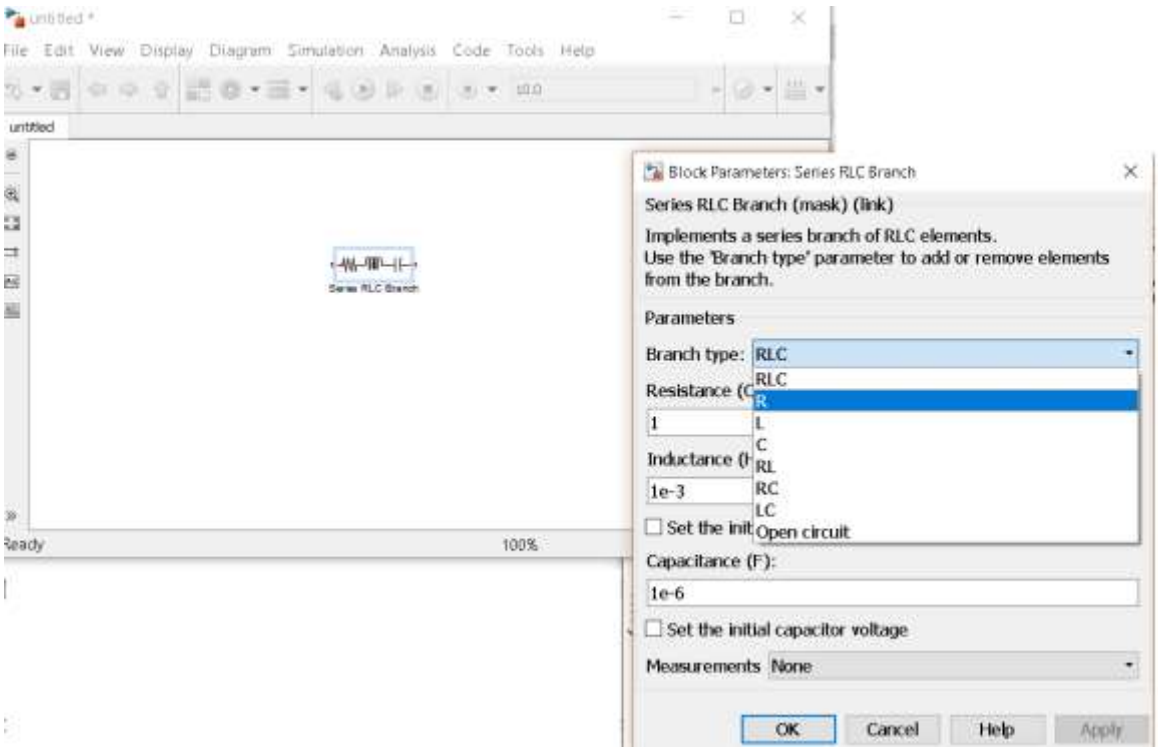
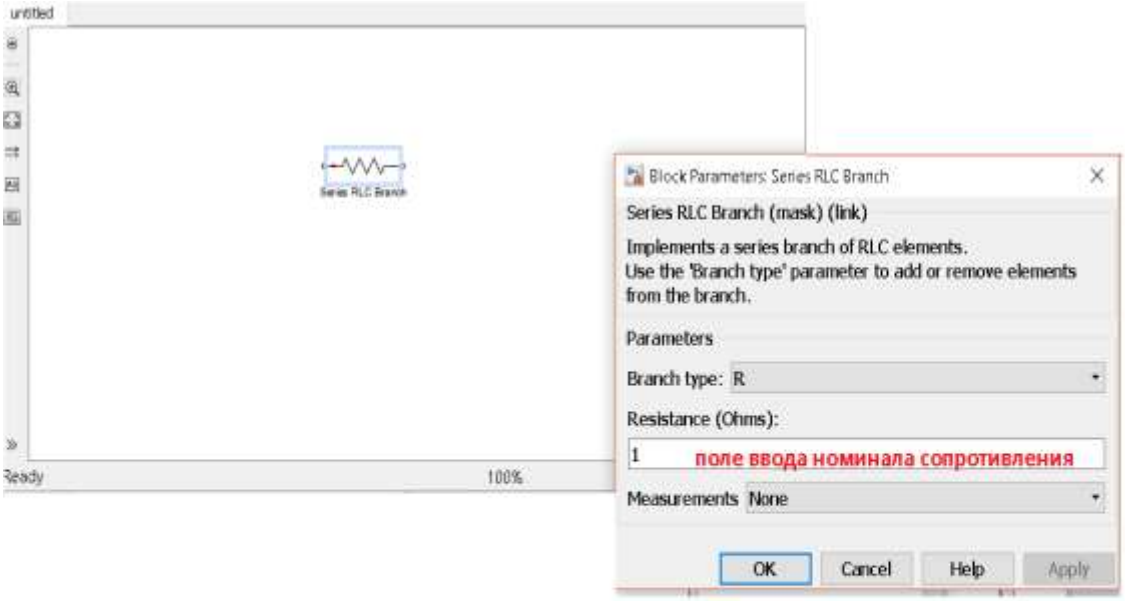


Рис. 3.21. Окно библиотеки компонентов Elements

Эти цепи задаются тремя параметрами: сопротивлением R, индуктивностью L и емкостью C. При необходимости использования в схеме указанные элементы по отдельности можно использовать любую из RLC-цепей. Пример выбора из последовательной RLC-цепи резистора R представлен на рисунке 3.22. Это правило модификации распространяется и на другие сложные компоненты.



а – порядок действий



б – результат выполненного выбора

Рис. 3.22. Пример выбора R из цепочки RLC

Библиотека блоков для измерений Measurements

Состав библиотеки представлен на рис. 3.23.

Блоки Voltage Measurements, Current Measurements предназначены для соединений измерительных блоков библиотеки Simulink с блоками пакета SimPowerSystem>SpecializedTechnology.

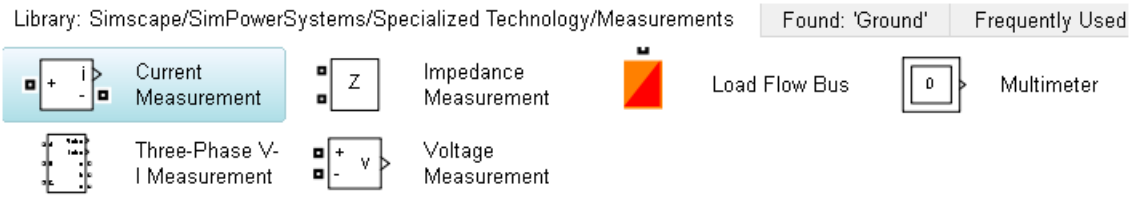


Рис. 3.23. Библиотека Measurements

3.6. Пример расчета электрических цепей постоянного тока в системе Matlab/Simulink

Для примера рассмотрим многоконтурную электрическую схему, содержащую три контура, шесть сопротивлений и два источника постоянного напряжения (рис. 3.24).

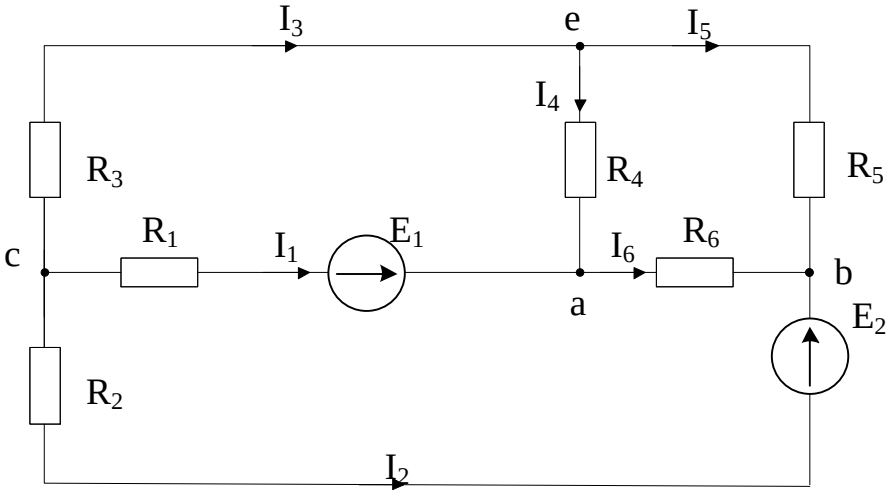


Рис. 3.24. Трехконтурная электрическая схема

Для аналитического расчета подобных электрических цепей обычно применяют различные методы: преобразования, применений законов Ома и Кирхгоффа, контурных токов, узловых потенциалов, активного двухполюсника

(эквивалентного генератора, формулы Тэвеннена) и наложения, которые будут изучаться в курсе «Теоретические основы электротехники».

При использовании пакета расширения SpecializedTechnology расчет трехконтурной схемы значительно упрощается и сводится к составлению электрической схемы с помощью библиотек пакета SpecializedTechnology и задания параметров элементов схемы.

Для примера заданы следующие значения элементов схемы:

R_1 = 20 Ом, R_2 = 80 Ом, R_3 = 100 Ом, E_1 = 100 В,

R_4 = 35 Ом, R_5 = 150 Ом, R_6 = 100 Ом, E_2 = 150 В.

Необходимо определить токи, протекающие во всех ветвях и напряжение на резисторах R_4 и R_2.

Порядок составления расчетной схемы для расчета параметров цепей постоянного тока в среде Simulink следующий:

1. Осуществить запуска пакета Simulink, способами, описанными в п.3.2.

2. Создать поле моделирования (п. 3.4.1).

3. Открыть пакет программ SpecializedTechnology (п. 3.5)

4. ВАЖНО!!! Первым блоком на поле моделирования электрических систем должен быть блок **Powergui.** Этот блок ни с чем не соединяется, необходимо его наличие.

5. Используя библиотеки, описанные в п. 3.5.1, составить модель и задать ее параметры.

Составленная модель электрической схемы постоянного тока, имеет вид, представленный на рис. 3.25.

При составлении схемы следует помнить, что все элементы библиотек Simulink являются элементами направленного действия. Поэтому необходимо следить за тем, чтобы выход предыдущего элемента был направлен ко входу последующего.

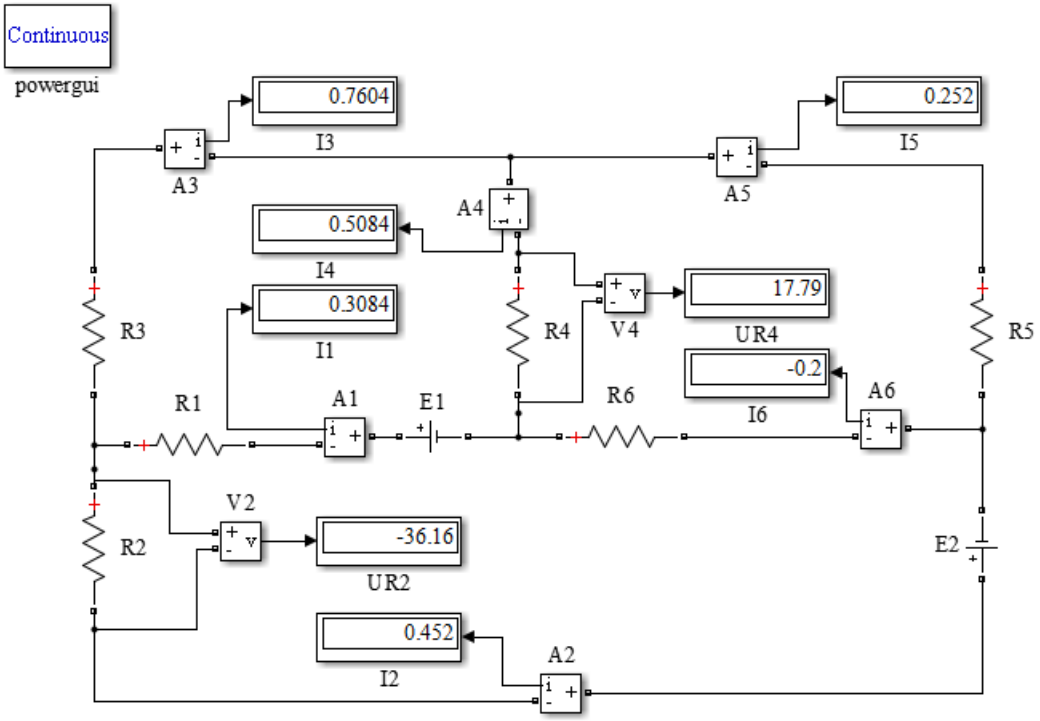


Рис.3.25. Модель электрической схемы
с результатами расчета токов в ветвях схемы

Перед запуском модели необходимо установить параметры моделирования **(CTRL+E).** Настройка параметров моделирования представлена на рис. 3.26, 3.27.

Модель запускается на расчет нажатием на кнопку «►» на панели управления модели. Результаты значений рассчитанных токов указаны на виртуальных дисплеях.

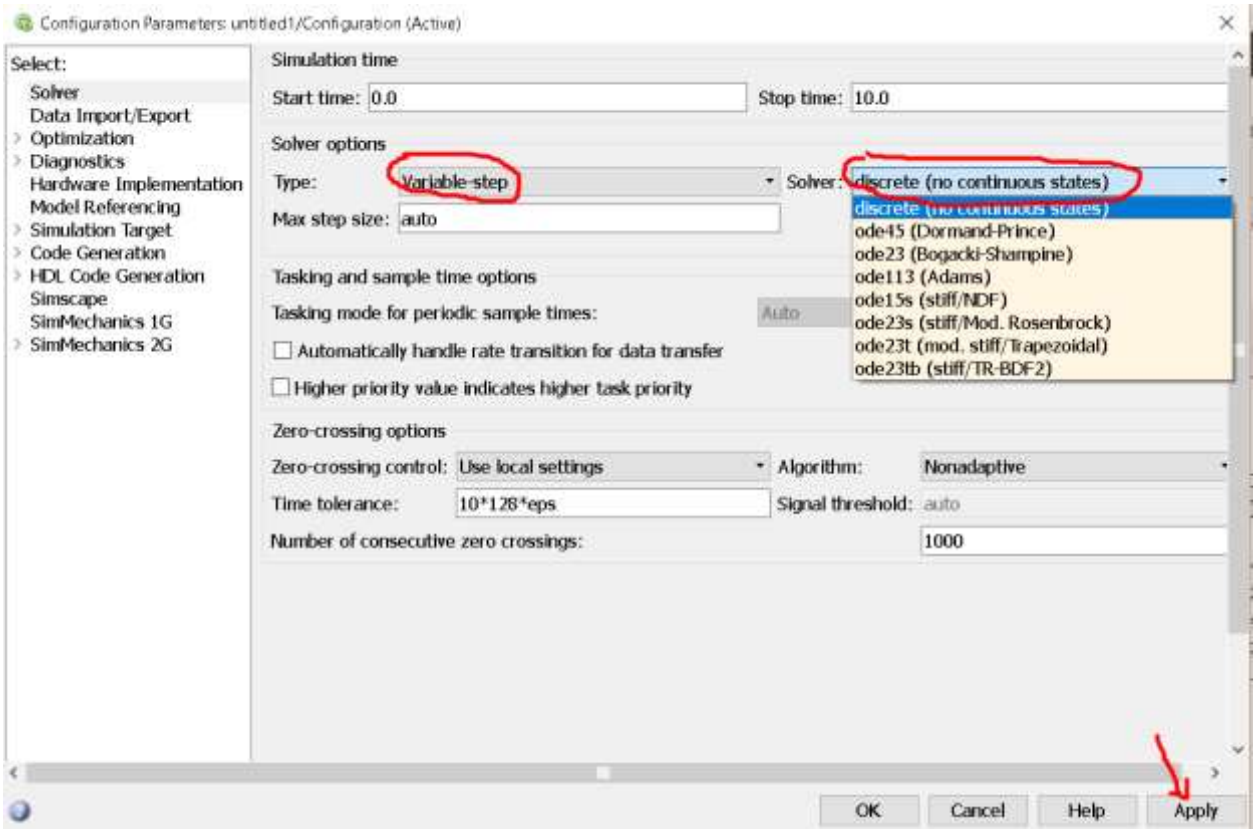


Рис. 3.26. Выбор типа решателя

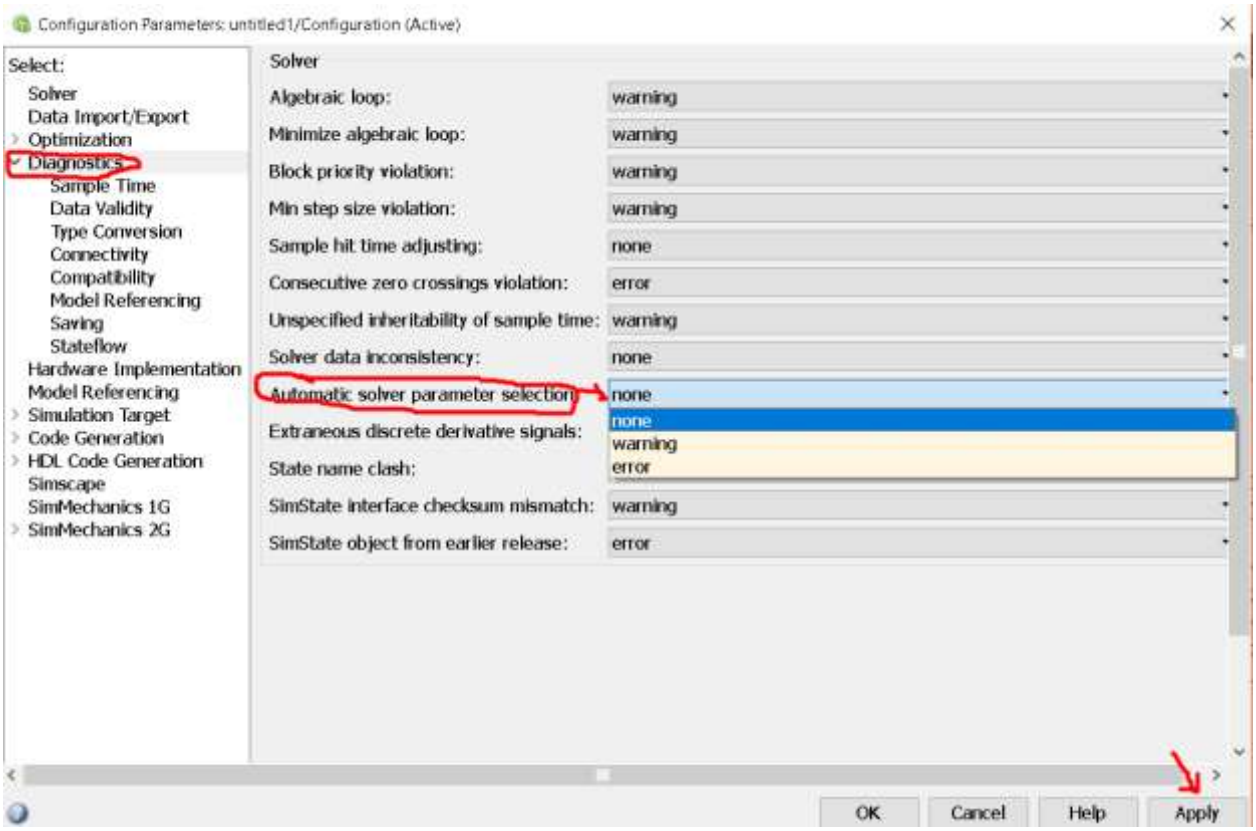


Рис. 3.27. Параметры диагностики

3.7. Пример моделирования логических схем

Порядок составления модели в среде Simulink следующий.

1. Осуществить запуск пакета Simulink способами, описанными в п. 3.2.

2. Создать поле моделирования (п. 3.4.1).

3. Используя блоки, описанные в п. 3.3.3, составить модель и задать ее параметры. Важно помнить, что тип данных в используемых элементах должен быть «boolean» (рис.3.28)

4. Перед запуском на расчет необходимо установить параметры моделирования: тип решателя с постоянным шагом; для диагностики выбрать параметр, как на рис. 3.27.

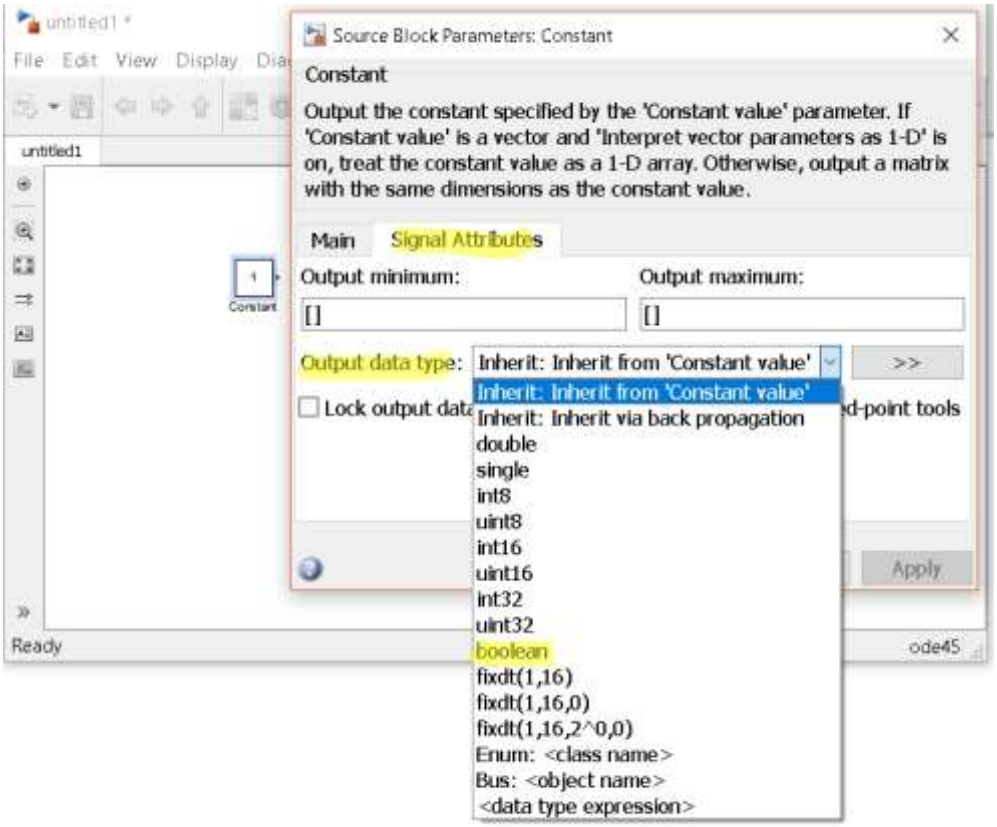


Рис.3.28 Установка атрибутов констант

3.7.1. Моделирование трех-входовой схемы умножения на 3

Таблица истинности представлена в табл. 2.5.

Модель составляется после выполнения всех процедур минимизации, т.е. по конечному выражению минимизированных функций (рис. 2.10):

$$Q_4 = ab,$$
$$Q_3 = \bar{a}bc + a\bar{b},$$
$$Q_2 = a\bar{b} + ac + \bar{a}b\bar{c},$$
$$Q_1 = \bar{b}c + b\bar{c},$$
$$Q_0 = c.$$

Модель логической схемы, имеет вид, представленный на рис. 3.29. Полученная модель аналогична схеме, представленной на рис. 2.11. Она позволяет проверить соответствие значений выходной функции каждой комбинации входных переменных.

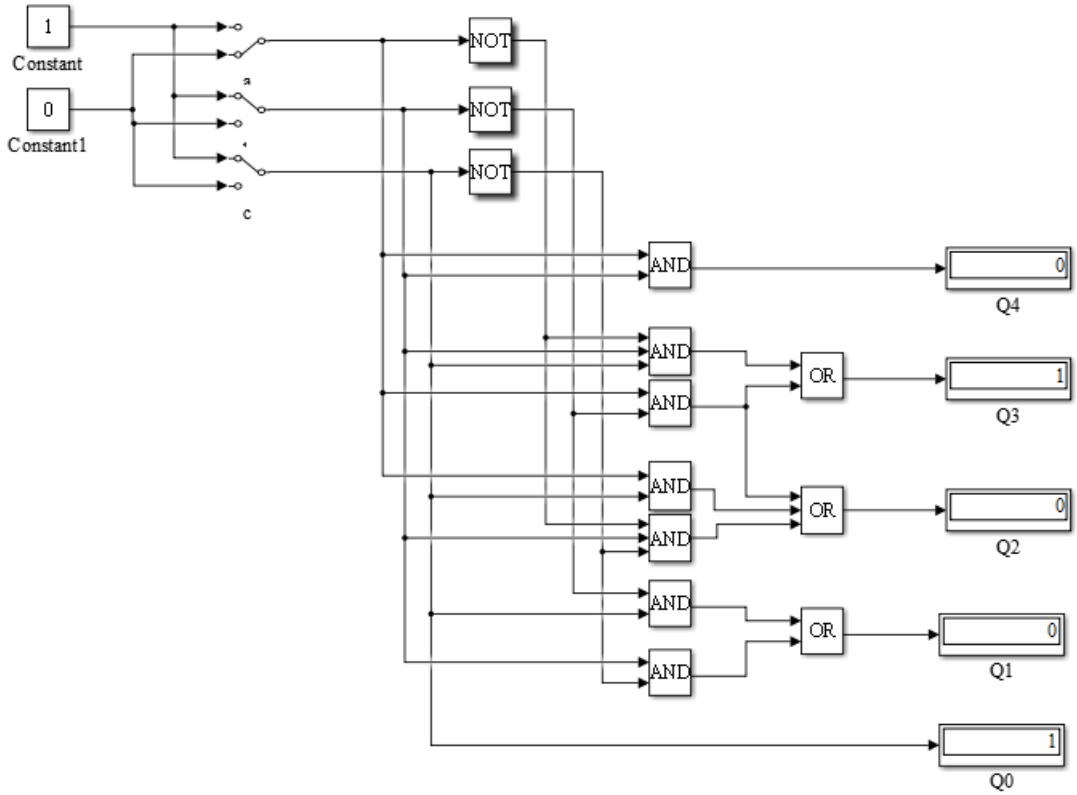


Рис.3.29. Модель логической схемы преобразователя произвольных кодов

3.8. Задание по разделу «Моделирование»

Моделирование электрических схем

Смоделировать в Matlab/Simulink электрическую цепь, с шунтом для амперметра и добавочным сопротивлением для вольтметра, рассчитанным по исходным данным п. 1.4.

Описать все этапы моделирования. Предоставить для проверки работающую модель.

Моделирование логических схем

Смоделировать в Matlab/Simulink все логические элементы и логические схемы, предусмотренные в заданиях 2.1, 2.2 и 2.3.

Описать все этапы моделирования. Предоставить для проверки работающую модель.

4. ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЙ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

4.1. Содержание отчёта

Отчет по учебной практике оформляется согласно правилам, изложенным в СТО-13-2016.

Отчет должен содержать:

- **титульный лист,**
- **содержание,**
- **основную часть.**

Образец титульного листа для очников приведён в приложении А, для очно-заочников и заочников – в приложении Б.

Содержание отчета:

1 Метрология и электрические измерения

1.1 Подбор шунта для амперметра

1.2 Расчет добавочного сопротивления для вольтметра

2 Логические выражения и логические схемы

2.1 Связь логического выражения, таблицы истинности и логической схемы

2.2 Минимизация логических схем

2.3 Синтез преобразователя произвольных кодов

3 Моделирование с применением пакета прикладных программ MATLAB/SIMULINK

3.1 Моделирование электрических схем

3.2 Моделирование логических схем

Примечания:

- ***Условия задания переписываются полностью.***
- ***Решение сопровождается пояснительным текстом, необходимыми промежуточными рисунками, скриншотами экранов и формулами.***

4.2. Оформление отчёта

4.2.1. Настройка полей

В рекомендациях к оформлению любой научно-технической публикации указаны требования к полям текстового документа. Для настройки полей выполняют следующие действия: **Разметка страницы>Поля>Настраиваемые поля.**

На рис. 4.1. показана настройка полей по требованиям СТО-13-2016

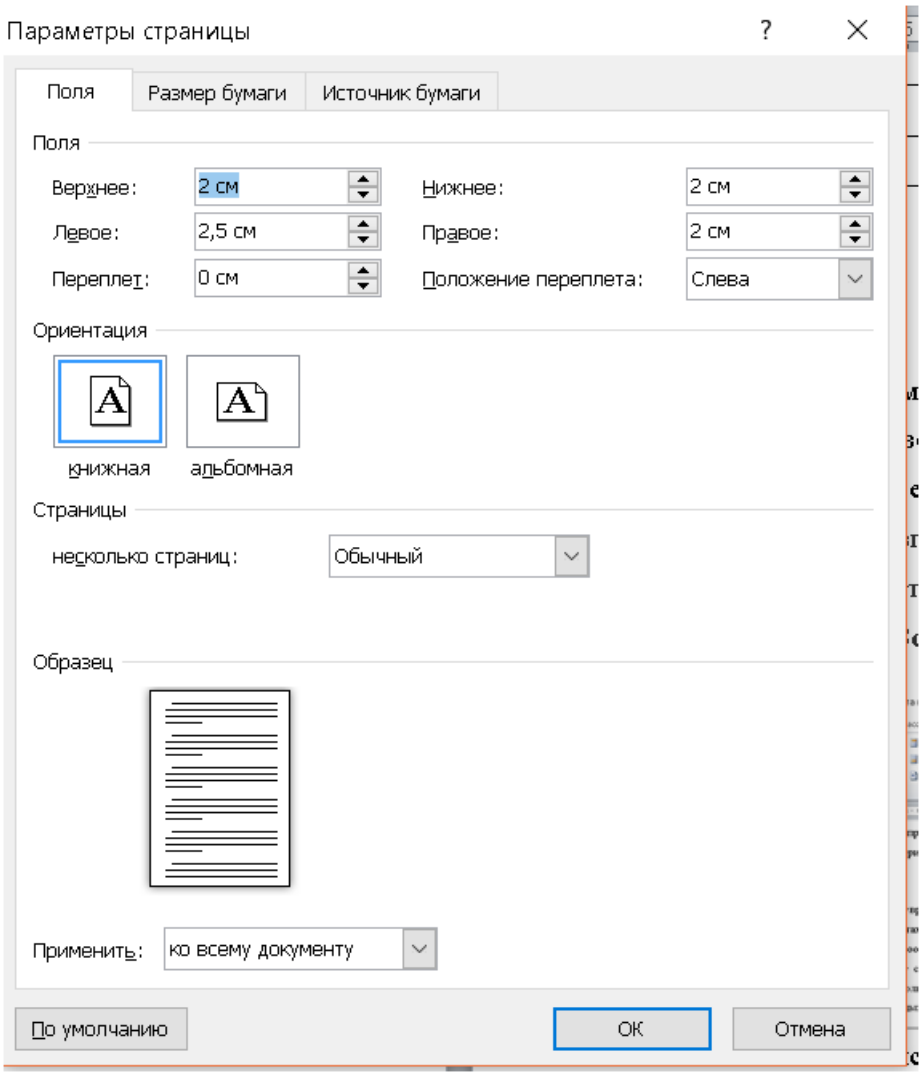


Рис. 4.1. Настройка полей

4.2.2. Оформление текста

Для правильного оформления текста в студенческих работах рекомендуется пользоваться специальными функциями, встроенными в MS Word.

Для форматирования текста используются инструменты вкладки **Главная** командной строки (рис. 4.2). При наведении на каждую иконку появляется всплывающая подсказка.

Новые части рекомендовано начинать с новой страницы, для этого после текста, завершенной части (раздела, подраздела) вставляют разрыв страницы **(Ctrl+Enter).**

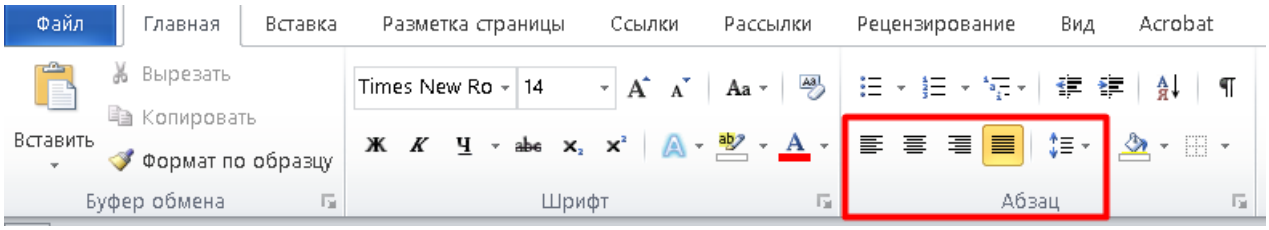


Рис. 4.2. Инструменты для форматирования текста

Абзац завершают нажатием клавиши **Enter**. Применение сочетания **Shift+Enter** приводит к переносу строки, но не завершает абзац и затрудняет форматирование текста.

Текст, скопированный из интернета, содержит большое количество непечатных символов, которые приводят к некорректному форматированию. Просмотр всех непечатных символов становится доступным после нажатия иконки рис.4.3.

Рис. 4.3. Иконка командной строки, для просмотра непечатных символов

Вид непечатных символов, которые мешают форматированию текста и требуют замены, представлен в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Непечатные символы, требующие замены

Непечатный символ	Символ, на который нужно заменить
°	пробел
символов↵	- удалить, если внутри слова; - пробел, если внутри абзаца; - enter, если конец абзаца
Двойные пробелы	Заменить на один пробел

4.2.3. Настройка вкладки «абзац»

Вид вкладки «Абзац» для выполнения требований СТО-13-2016 представлен на рис. 4.4.

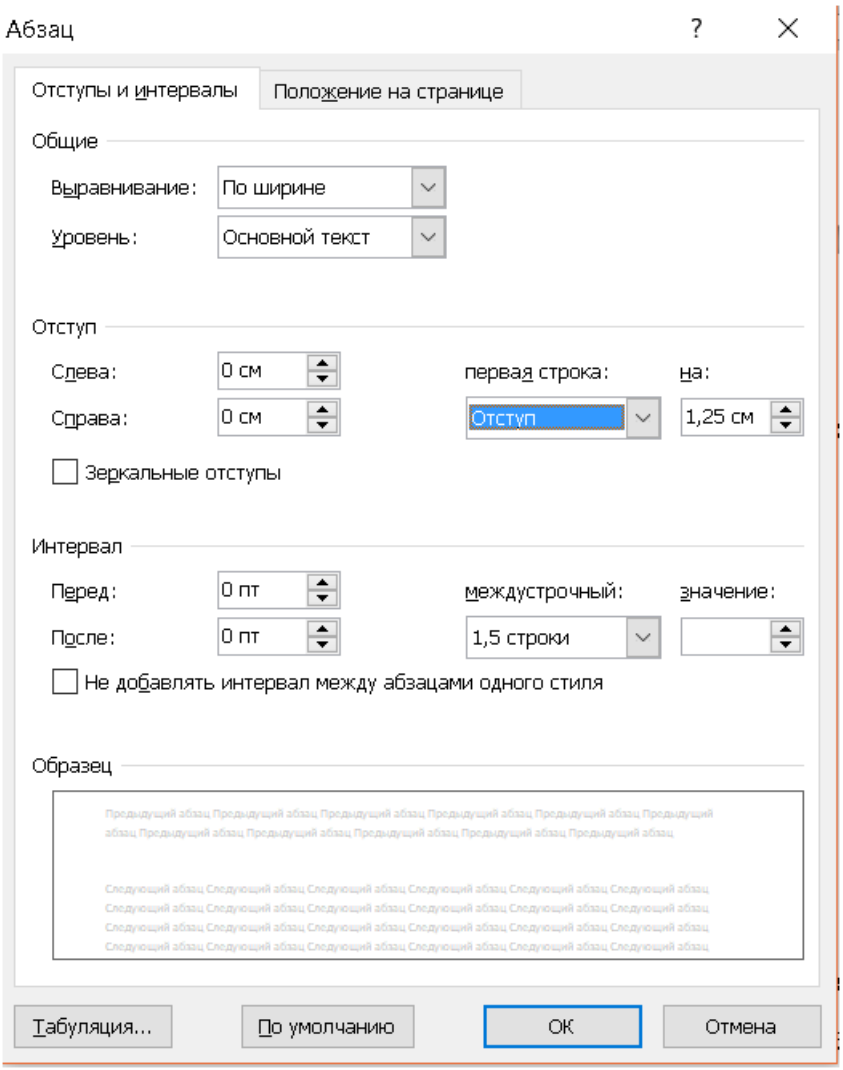


Рис. 4.4. Настройка вкладки

4.2.4. Вставка формул

Шрифт текста в формулах должен совпадать со шрифтом основного текста. Для этого необходимо выполнить вставку формул, последовательно выполнив следующие команды: **Вставка>Объект>Microsoft Equation 3.0** (рис 4.5.)

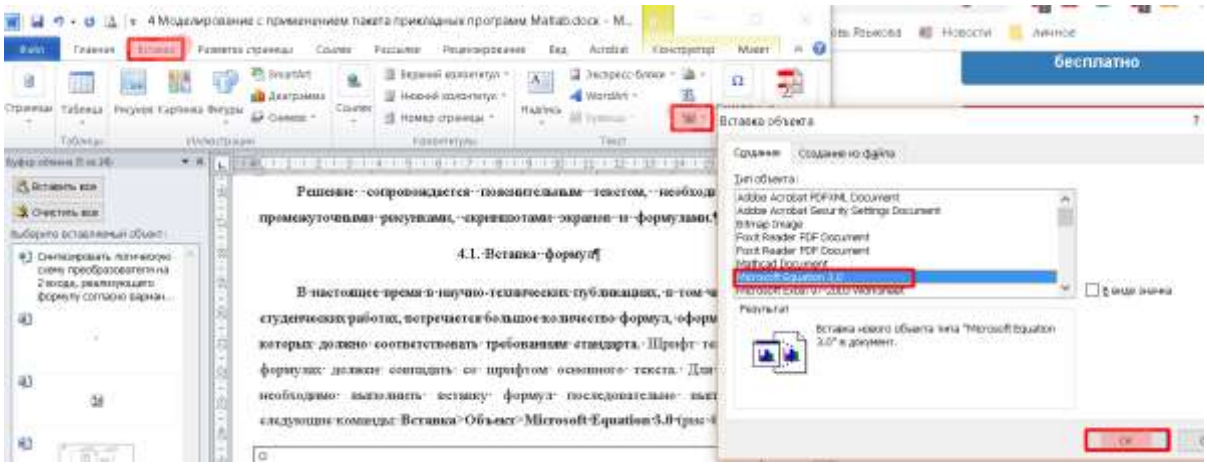


Рис. 4.5. Алгоритм вставки формул

После запуска редактора формул появляется окно (рис. 4.6.). В зависимости от вида формулы выбирается соответствующая иконка.

Рис. 4.6 Окно редактора формул

Настройка параметров формулы выполняется из командного окна редактора формул (рис. 4.7.). Требования к оформлению формул изложены в СТО-13-2016.

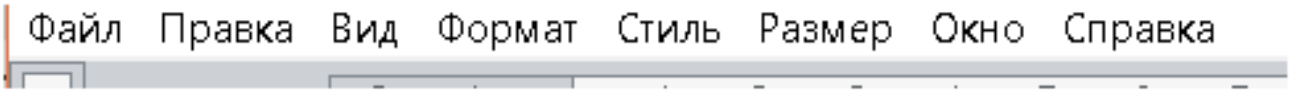


Рис. 4.7. Командное окно редактора формул

4.3. Выполнение графической части

Для выполнения рисунков и схем используется программа MS Visio. После запуска программы необходимо создать новый файл для создания схем и рисунков (рис. 4.8).

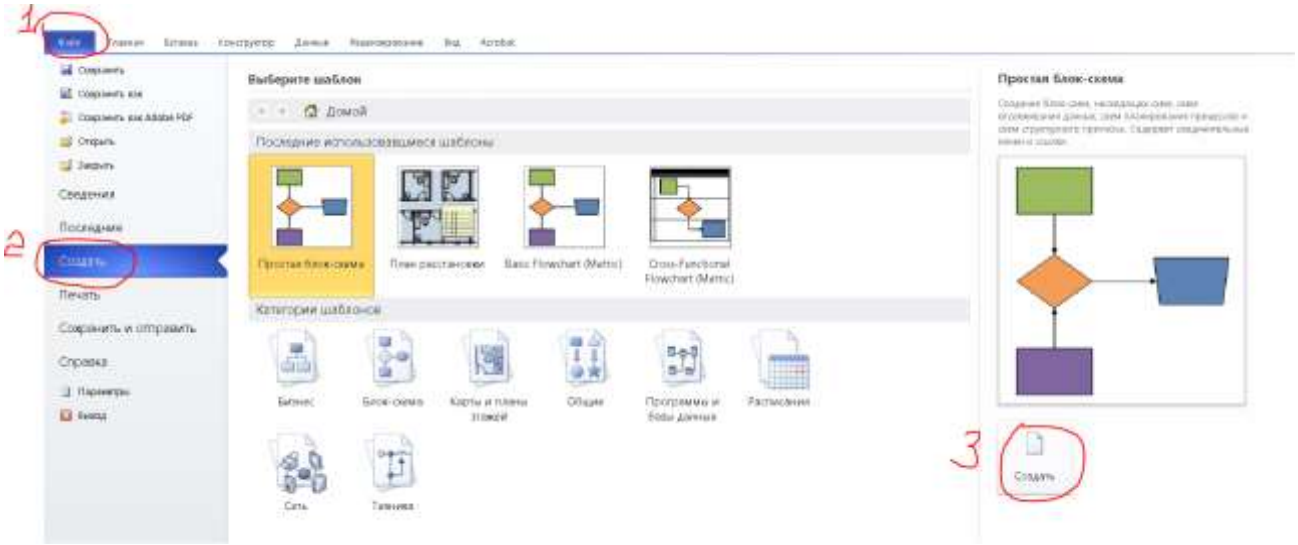


Рис. 4.8. Создание файла

4.3.1. Настройка ленты

Для настройки дополнительных параметров ленты (рис.4.9) нужно выполнить следующие действия **Файл>Параметры>Настройка ленты>все команды.**

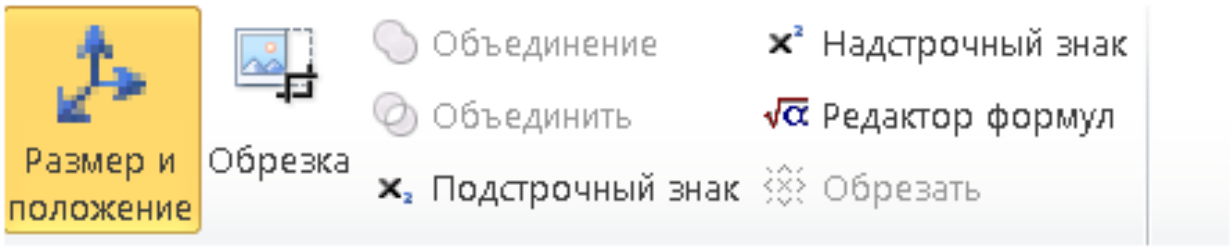


Рис. 4.9. Пользовательская вкладка

4.3.2. Инструменты для рисования

Выбор инструментов для рисования осуществляется в командном окне программы MS Visio (рис. 4.10).

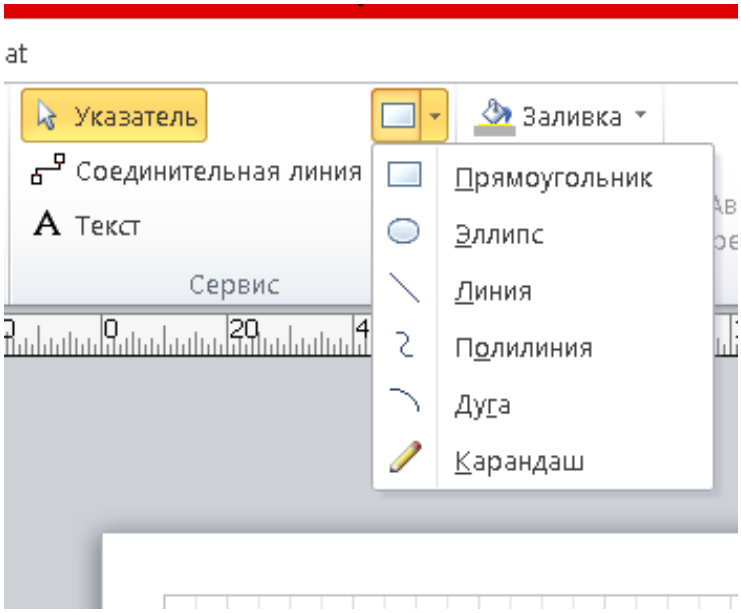


Рис. 4.10. Инструменты для рисования в MS Visio

4.3.3. Формирование пользовательского набора элементов

Стандартные фигуры функциональных блоков часто не соответствуют требованиям ГОСТов, и пользователю необходимо самостоятельно создавать новые элементы, которые удобно хранить в специально созданном пользовательском наборе.

Задача: На поле для рисования вычертить элемент в соответствии с требованиями ГОСТа (рис. 4.11).

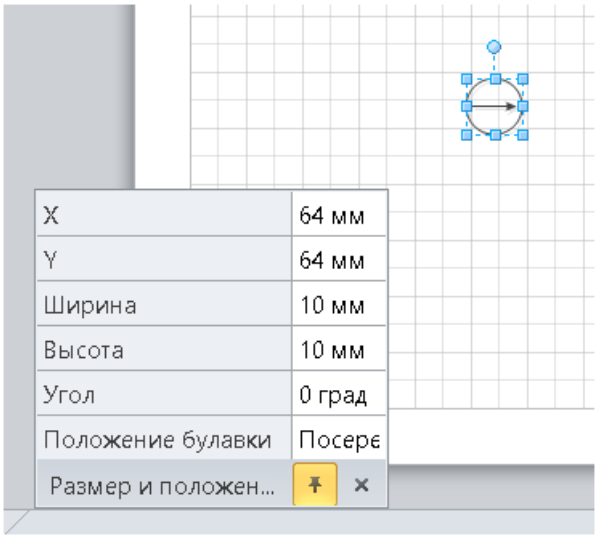


Рис. 4.11. Установка стандартных параметров элементов

Готовый элемент выделить, нажать функцию «Группировать» и перетащить на поле нового набора элементов (рис. 4.12).

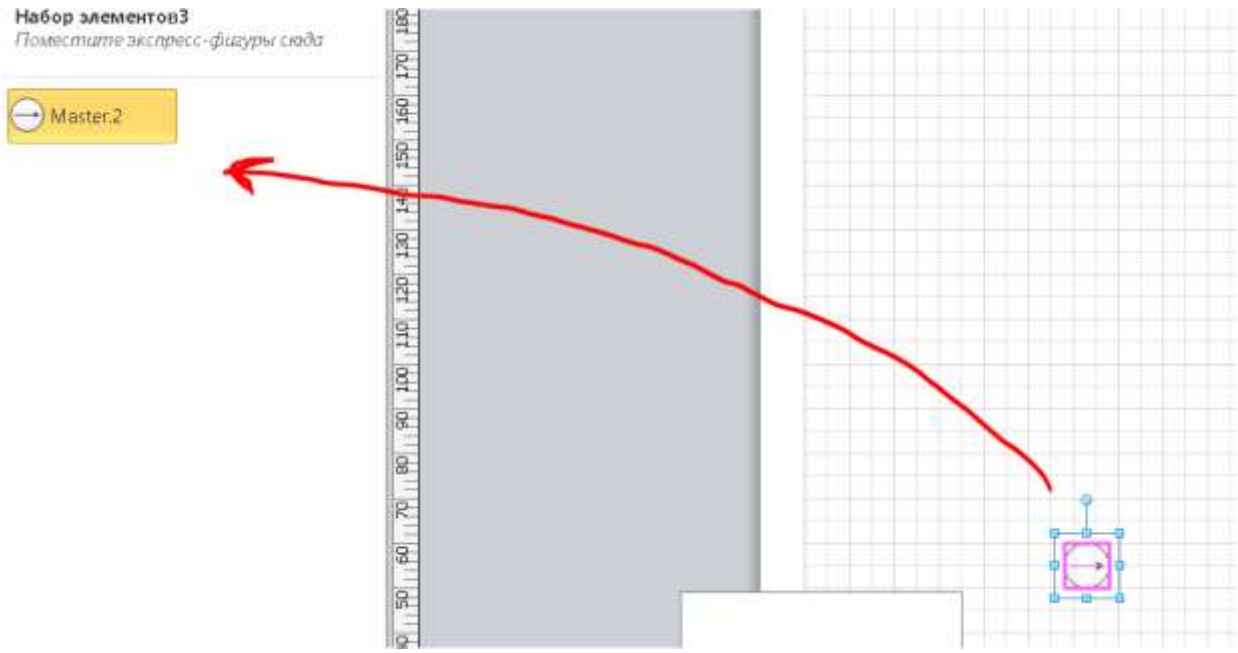


Рис. 4.12. Помещение готового элемента в пользовательский набор

Правила построения условных графических обозначений (УГО) элементов электрических и логических схем, выполняемых вручную или с помощью печатающих и графических устройств, определяются стандартами Единой системы конструкторской документации. Фрагменты ГОСТов представлены в приложениях В и Г.

Приложение А

Липецкий государственный технический университет

Факультет автоматизации и информатики

Кафедра электропривода

ОТЧЕТ

об учебной практике

Практика по получению

первичных профессиональных умений и навыков, в том числе

первичных умений и навыков в научно-исследовательской работе

Студент Иванов И.И.

Группа ЭП-18-1

Руководитель

к.т.н., доцент кафедры электропривода Музылева И.В.

Липецк 2019г.

Приложение Б

Липецкий государственный технический университет

Заочный факультет

Кафедра электропривода

ОТЧЕТ

об учебной практике

Практика по получению

первичных профессиональных умений и навыков, в том числе

первичных умений и навыков в научно-исследовательской работе

Студент Иванов И.И.

Группа ЭП-18-1

Руководитель

к.т.н., доцент кафедры электропривода Музылева И.В.

Липецк 2019г.

Приложение В

Правила оформления логических схем

ГОСТ 2.743-91 Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники. Определяет правила построения условных графических обозначений (УГО) элементов цифровой техники в схемах.

Условные графические обозначения элементов цифровой техники строят на основе прямоугольника (рис. В.1).

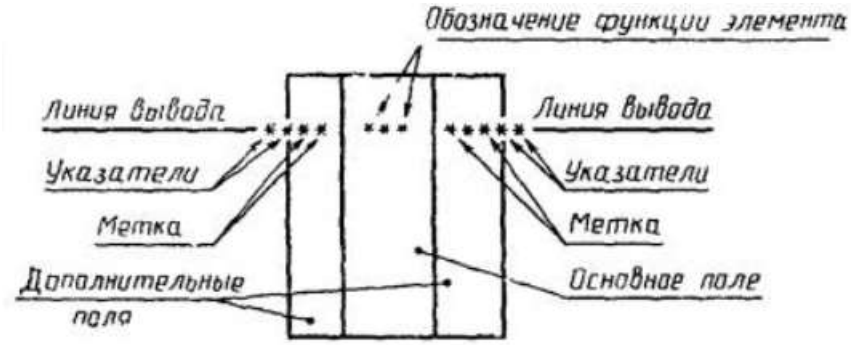


Рис. В.1. УГО логического элемента

В общем виде УГО может содержать основное и одно или два дополнительных поля, расположенных по обе стороны от основного.

В первой строке основного поля УГО помещают обозначение функции, выполняемой элементом.

В дополнительных полях помещают информацию о назначениях выводов (метки выводов, указатели).

Ширина основного поля должна быть не менее 10, дополнительных — не менее 5 мм (при большом числе знаков в метках и обозначении функции элемента эти размеры соответственно увеличивают на величины, кратные 5 мм).

Расстояние между выводами — 5 мм или кратно этой величине. Логическую схему вычерчивают, используя «правило сетки» с размером ячейки 5мм х 5 мм.

Таблица В.1

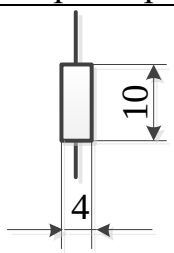
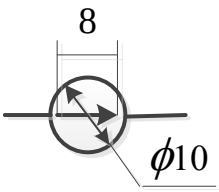
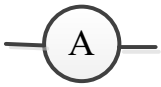
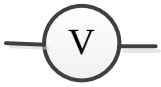
Условно-графические обозначения элементов логических схем

Название элемента	УГО с размерами	Примечание
Прямой статический вход		
Прямой статический выход		
Инверсный статический вход	Форма 1 Форма 2	Предпочтительнее форма 1
Инверсный статический выход	Форма 1 Форма 2	Предпочтительнее форма 1
Логический элемент 2ИЛИ	1 5 5 5 15 10	
Логический элемент 3И-НЕ	& 5 5 5 20 10	

Приложение Г

Таблица Г.1

Условно-графические обозначения элементов электрических схем

Название элемента	УГО с размерами	ГОСТ
Резистор постоянный		ГОСТ 2.728-74 Резисторы, конденсаторы
Источник напряжения		ГОСТ 2.721-74 Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения
Амперметр		
Вольтметр