

## 1. MICRO-CAP – КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ.

### 1.1 Компьютерные модели сигналов и электронных компонент в Micro-Cap.

Меню MC5 включает следующие разделы: **File** – работа с файлами, **Edit** – редактирование, **Component** – выбор компонент, **Windows** – работа с окнами, **Analysis** – анализ схем, **Options** – опции. В MC6 и MC7 добавлен пункт **Design** – синтез аналоговых пассивных и активных фильтров. Разделы меню - работа с файлами и их редактирование включают стандартные команды открытия файлов, их сохранения, печати, копирования, вставки и т.д. Главными разделами меню являются разделы **анализ схем и выбор компонент**. Раздел меню **Component** поддерживает:

**аналоговые** компоненты, в т.ч. пассивные (резисторы, емкости, индуктивности, трансформаторы, диоды и др.), активные (биполярные, полевые транзисторы, ОУ), источники напряжения и тока (батарея, источник импульсных и гармонических колебаний, функциональный источник и др.), коннекторы, ключи и др.;

**дискретные** компоненты, в т.ч. логические схемы (AND, OR, NAND, NOR, INV, XOR и др.), тристабильные компоненты, триггеры, программируемые логические матрицы, АЦП, ЦАП, линии задержки, генераторы двоичных сигналов и др.;

**библиотеки** аналоговых и дискретных компонент, описываемые макросами (подсхемами).

Ниже приводятся описания **компьютерных моделей сигналов** и основных аналоговых и дискретных компонент, принятые в MC5, MC6 и MC7.

Сигнал – это совокупность физического процесса (колебаний тока или напряжения) - переносчика информации с нанесенной на него путем модуляции сообщением - (переносчик + сообщение). Переносчик может иметь как гармоническую, так и импульсную и другую произвольную форму.

Сигналы принято разделять на детерминированные и случайные, непрерывные и дискретные. Модель сигнала – это выбранный способ его математического описания. Временная форма представления математической модели непрерывных сигналов имеет вид:

$$U(t) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \times \delta(t - \xi) dt ,$$

где  $u(t)$  – реальный сигнал,  $\delta(t - \xi)$  – дельта функция,  $\xi$  - текущий момент времени, т.е. функция  $U(t)$  выражена в виде совокупности примыкающих друг к другу импульсов бесконечно малой длительности. Временная форма дискретного сигнала может принимать вид дискретных отсчетов:

$$U_n(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} u(t) \times \delta(t - k \times \Delta t) ,$$

где  $k \times \Delta t$  – момент времени, кратный  $k$ .

Другая форма представления сигнала – частотная, которая выражается в виде суммы либо гармонических, либо экспоненциальных составляющих, что связано с преобразованиями Фурье в тригонометрической или комплексной форме, называемых в дальнейшем гармоническим и комплексным спектром.

Гармонический спектр имеет вид:

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} B_{mk} \times \sin(k\omega_1 t) + \sum_{k=1}^{\infty} C_{mk} \times \cos(k\omega_1 t) ,$$

где:

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(wt) d(wt) \text{ - постоянная составляющая;}$$

$$B_{mk} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(wt) \times \sin(kw_1 t) d(wt) = A_{mk} \times \cos(\psi_k);$$

$$C_{mk} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(wt) \times \cos(kw_1 t) d(wt) = A_{mk} \times \sin(\psi_k);$$

$$A_{mk} = \sqrt{B_{mk}^2 + C_{mk}^2} \text{ - амплитуда k-й гармоники;}$$

$$\operatorname{tg}(\psi_k) = \frac{C_{mk}}{B_{mk}}; \quad \psi_k \text{ - начальная фаза k-й гармонической составляющей.}$$

Дискретное преобразование Фурье функции (u):

$$U(t) = \frac{1}{2} \sum_{-\infty}^{\infty} F_n \times \exp(j \times k \times w \times t), \quad F_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} u(wt) \times \exp(j \times k \times w \times t) dt;$$

-  $F_n$  принято называть комплексным спектром.

Для непериодических сигналов вместо комплексного спектра применяется понятие спектральной плотности амплитуд сигнала, получаемое как интегральное преобразование Фурье.

Во временной области по формуле Винера – Хинчина спектральной плотности соответствует корреляционная функция, определяющая тесноту статистической связи между значениями сигнала.

Достаточно широко в MC5 представлены модели случайных сигналов, причем непрерывным случайным сигналом называют тот, для которого пространство состояний составляет континуум, а изменения случайной величины возможны в любой момент времени. Дискретный случайный сигнал характеризуется конечным множеством состояний, которые могут изменяться в произвольный момент времени. Если же изменения состояний возможны только в конечном или счетном числе моментов времени, то говорят о дискретных случайных последовательностях. Для случайных сигналов справедливы как временные, так и частотные формы представления.

**Источник синусоидального сигнала** - двухполюсник, выходное напряжение которого изменяется по синусоидальному закону, который может модулироваться по частоте или амплитуде. Имя источника задается при вводе в окне настройки буквой V и указанием номера модели или полного ее имени. В файле Split Text –

.MODEL GENERAL SIN (F=10MEG RP=1000N TAU=150N)

Таблица 1.1. Параметры модели источника.

Параметр	Обозначение	Физический смысл
0: Frequency	F	Частота
1: Amplitude/2	A	Амплитуда сигнала/2
2: D.C. Voltage level	dc	Уровень постоянной составляющей
3: Phase angle (Radians)	PH	Фазовый сдвиг (рад)
4: Source resistance	RS	Выходное сопротивление
5: Repetition period	RP	Период повторения модуляции
6: Exponential decay	TAU	Постоянная времени затухания
7: Frequency shift (Hz/sec)	FS	Скорость частотной модуляции (Гц/с)

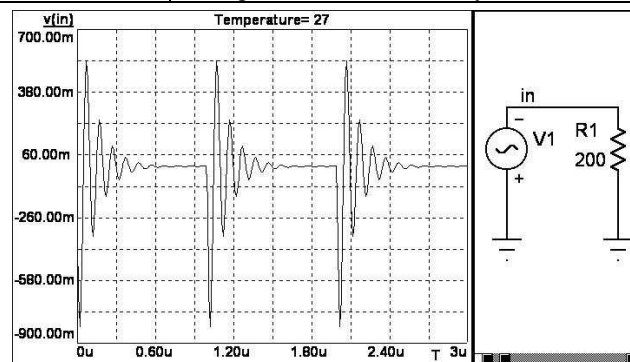


Рис. 1.1. Модулированный гармонический сигнал с временем затухания TAU=120.

**Программируемый источник** (импульсный) - двухполюсник, (см. Рис. 1.1) формирующий периодические или однократные импульсы напряжения с линейными или экспоненциально изменяющимися фронтами. Модель такого источника задается при вводе в окне настройки буквой V с указанием номера модели или полного имени. Модели и их параметры, задаваемые в Split Text, указаны ниже и в табл. 1.2.

.MODEL PULSE PUL (VZERO=0 VONE=0.1 P1=0u P2=.02u P3=2.4u P4=2.6u P5=4.4u).  
.MODEL TRIANGLE PUL (VZERO=0 VONE=2 P1=0 P2=500N P4=1000N)  
.MODEL IMPULSE PUL (VZERO=0 VONE=1 P1=0p P2=10000p P3=10000P P4=10000p P5=100000p)  
.MODEL SAWTOOTH PUL (VZERO=0 VONE=1 P1=0 P2=500N P4=501N)  
.MODEL SQUARE PUL (VZERO=0 VONE=1 P1=0 P2=0 P4=500N)

Таблица 1.2. Параметры модели программируемого источника.

Параметр	Обозначение	Физический смысл
0: Zero level voltage	Vzero	Нулевой уровень напряжения
1: One level voltage	Vone	Единичный уровень напряжения
2: Time delay to leading edge	P1	Задержка от нулевого отсчета времени до начала нарастания
3: Time delay to one level	P2	Задержка до достижения единичного значения
4: Time delay to falling edge	P3	Задержка до начала спада
5: Time delay to zero level	P4	Задержка до достижения нулевого уровня
6: Period of waveform	P5	Период повторения сигнала

Случайный непрерывный сигнал формируется с помощью датчика случайных чисел, например, по следующему алгоритму  $3 + 0,5 * (rnd - 0,5)$ , который читается так: если rnd (0-1) минус 0,5 больше 0, то 1, иначе 0.

### Генераторы дискретных последовательностей.

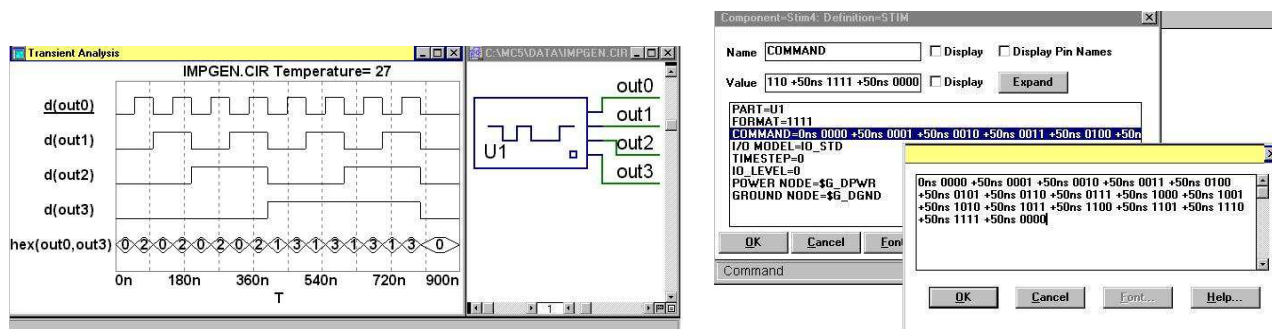


Рис. 1.2. Окна временного анализа и задания параметров модели генератора двоичной последовательности.

### Формат схмотехнической модели (SPICE):

U<название> STIM (<ширина>,<массив форматов>)  
+<цифровой разъем питания> <цифровое заземление>  
+<вход> <ведущий> <заземление> <конвертация>  
+<узел>\*<имя модели ввода-вывода>  
+[IO\_LEVEL=<значение выбора интерфейса подсхемы>]  
+[TIMESTEP=<размер временного шага>]  
+<команды>\*

Примеры моделей:

U1 STIM(1,1) \$G_DPWR –	U1 STIM(1,1) \$G_DPWR –	пример 5
пример1	пример3	T
+\$G_DGND IN	+\$G_DGND IN	D(4,3,2,1)
+IO_STD	+IO_STD	0 0000
+0ns 0	+0ns 0	25n 0001
+LABEL=START	+LABEL=START	50n 0010
		75n 0011

+ +50ns 1	+50ns 1	100n	0100
+ +50ns 0	+100ns 0	125n	0101
+ +50ns GOTO START -1 TIMES	+150ns GOTO START -1 TIMES	150n	0110
		175n	0111
U2 STIM(4,4) \$G_DPWR –	пример 4	200n	1000
	T	225n	1001
пример2	D(IN8,IN7,IN6,IN5,IN4,IN3,IN2,IN1)	250n	1010
\$G_DGND 4 3 2 1	0 ??101010	275n	1011
+IO_STD	100n ??0100FR	300n	1100
+0ns 0	200n ??010001	425n	1111
+label=start	300n ??1011XZ		
+ +25ns INCR BY 1	400n 00000000		
+50ns GOTO START UNTIL GT B			
+ +100ns F			

Команда **PART**: <имя> - определяет имя элемента.

Примеры:

U1

Uin

Команда **FORMAT**: <массив форматов> - определяет формат значений в stim-командах: 1=двоичный, 3=восьмеричный, 4=шестнадцатеричный. Сумма этих цифр в параметре <value> команды должна быть равна количеству выходов двоичного генератора.

Примеры:

<value> = 1311 - шесть выходов определенных тремя бинарными и одним восьмеричным значением.

<value> = 44 - восемь выходов определенных двумя шестнадцатеричными значениями.

<value> = 1 - один выход представленный одним двоичным значением

Команда **COMMAND**: - определяет команды для генератора. Имя генератора также может быть параметром, если его указать в выражении **.define** в текстовом окне (Split text).

Примеры:

В строке **COMMAND**:

0ns 0 label=start 50ns 1 100ns 0 150ns goto start -1 times

0ns 42 +10C A3 +10C 0F 25C 79.

В текстовом файле Split text в выражении **.define**:

.define AIN

+0ns 1011

+100ns 0011

+200ns 1010

+300ns RND

+400ns 100?

Команда **COMMAND** <команда>\* - описывают типы генерируемого выхода. Выход генерируется следующими stim - командами:

<time> <значение> ,

<LABEL=<название метки> ,

<time> INCR BY <значение> ,

<time> DECR BY <значение> ,

<time> GOTO <название метки> <repeat> TIMES ,

<time> GOTO <название метки> UNTIL GT <значение> ,

<time> GOTO <название метки> UNTIL GE <значение> ,

<time> GOTO <название метки> UNTIL LT <значение> ,

<time> GOTO <название метки> UNTIL LE <значение> .

Параметр <time> указывает время, когда генерируется новое <значение> команд INCR, DECR, или GOTO. <Time> может быть указано в секундах или циклах. Циклы указываются с

помощью символа "C". Значение TIMESTEP будет умножаться на то, что стоит перед символом "C", чтобы определить значение в реальных секундах. Время может быть объявлено относительно предыдущего времени с помощью знака "+", например +10с или +50ns.

Параметр <название метки> указывает начало цикла. GOTO <название метки> переведет исполнение программы к следующему необозначенному меткой оператору после выражения LABEL=<название той же метки>, а <repeat> указывает сколько раз повторять цикл. Значение -1 создает вечный цикл.

Время в командах stim может идти по возрастающей. Выражение GOTO должно обратиться к предыдущей метке <название метки>.

Параметр <значение> указывает значения для выходных зажимов генератора. Формат значений определяется командой Format 0, 1, R- фронт, F- спад, X - неопределенность, Z – высокий импеданс, RND – случайное число, ? – случайный символ, а также могут быть использованы бинарные, восьмеричные, и шестнадцатеричные числа. Параметры RND и ? - оба случайно принимают значение от 0 до 1. Значение RND покрывает все символы в <значении> в то время, как команда ? повлияет лишь на один символ.

Команда **I/O MODEL:** <название модели ввода-вывода> - этот параметр определяет имя модели для описания ввода-вывода.

Примеры:

IO\_STD  
IO\_ACT  
IO\_HC

Команда **TIMESTEP:** <размер временного шага> - команда распространяется только на значения в stim-командах, которые имеют суффикс 'C' и определяет количество секунд в одном временном шаге. Значения, указанные в секундах не будут затронуты.

Примеры:

5n  
10n

Команда **IO\_LEVEL:** <значение выбора интерфейса подсхемы> - этот параметр выбирает один из четырех интерфейсов подсхем AtoD или DtoA. Это подсхема, которая будет вызываться, когда аналоговое устройство будет подключено к генератору. По умолчанию - 0.

0 = значение DIGIOLVL в Глобальных Установках.  
1 = AtoD1/DtoA1  
2 = AtoD2/DtoA2  
3 = AtoD3/DtoA3  
4 = AtoD4/DtoA4

Пример: 4

Команда **POWER NODE:** <цифровой разъем питания>  
Этот параметр определяет цифровой разъем питания который будет использоваться подсхемой в случае подключения аналогового устройства к генератору.

Пример:

\$G\_DPWR

Команда **GROUND NODE:** <цифровой узел заземления> - определяет цифровой узел заземления, который будет использоваться подсхемами интерфейса, если аналоговое устройство связано с генератором.

Пример:

\$G\_DGND

Параметр <узел>\* - для компонентов схемы SPICE определяет названия узлов выхода. Для схематического компонента, эти данные автоматически соответствуют количеству выходов.

Параметр <размер шага> - <размер шага> команды TIMESTEP определяет количество секунд за один цикл. Промежутки времени можно указывать в секундах и циклах размеров в шаг, с помощью знака 'с'. Время вычисляется умножением количества шагов на размер шага. По умолчанию шаг равен нулю.

**Модели компонент** имеют две составляющие: схемотехническую и функциональную. Схемотехническая (пространственная) модель представляется на экране в виде чертежа и настраивается в специальном **окне настройки**, которое открывается всякий раз при вызове на экран текущего компонента. Функциональная модель скрыта от пользователя и представляется либо в окне, либо в специальном файле, **называемом Split Text**, который вызывается при помощи одноименной команды в меню Windows.

**Элементы R, C, L** задаются только в окне настройки указанием их номинальных значений. При этом необходимо помнить, что номиналы определяются системой СИ, т.е. Ом, Ф, Гн, соответственно. Для задания дробных и кратных единиц можно использовать буквенные обозначения, приведенные в табл. 1.3. Нулевой вывод схемы - "земля" - задается указанием типа элемента Ground. На схеме, изображенной на рис. 1.3, показано окно Split Text, где описания пассивных элементов отсутствуют, а присутствует только описание активного источника напряжения V1.

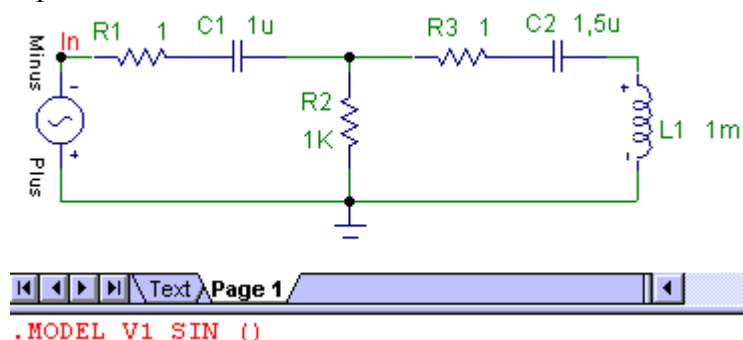


Рис. 1.3. Схема, содержащая R, C, L.

Таблица 1.3. Множители компонент.

Приставка	Обозначение	Множитель	Пример
тера	T	$10^{12}$	1T – резистор 1000Мом
мега	M	$10^6$	1M - резистор 1000 Ком
кило	K	$10^3$	1K - резистор 1000 Ом
-		1	47 – резистор 47 Ом
микро	U	$10^{-6}$	1U - емкость 1 мкФ
нано	N	$10^{-9}$	1N - индуктивность 1 нГ
пико	P	$10^{-12}$	1P - время 1 пикосек.
фемто	F	$10^{-15}$	1F - время 1 фемтосек.

**Ключ** - устройство, имеющее два состояния (включено и выключено). Как известно, ключ может управляться напряжением, током или временем. Ключ задается при вводе буквой S и последующим указанием четырех параметров (X,A,B,C) в виде: X,A,B,C

где: X - параметр, указывающий на тип управления, A, B и C - численные параметры.

Параметр X равен напряжению между управляющими узлами, если X=V, току через управляющий элемент, если X=I, и времени, если X=T.

Параметры A и B определяют нижнюю и верхнюю границу X при включении и выключении ключа. Обычно задается величина A<B.

Параметр C определяет сопротивление ключа в замкнутом и разомкнутом состоянии.

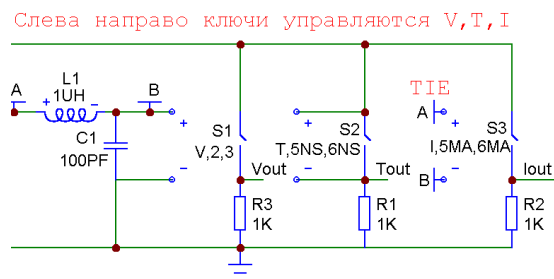


Рис. 1.4. Схема, содержащая ключи управления V, T, I.

**Соединитель TIE** используется при конструировании сложных схем. Он обозначает провод, соединяющий две (или более) точки схемы, подобно тому, как это делается в обозначении жгутов. Таким образом, экран не загромождается изображением проводников. Соединитель задается при вводе буквами TIE, после чего указывается номер провода (число или имя до 6 букв).

**Полупроводниковый диод** - нелинейный двухэлектродный прибор, статическая вольтамперная характеристика (BAX) которого описывается уравнением:  $I = IS0 * \exp(V/VT - 1)$ ,

где  $IS0$  - ток насыщения (A),  $V$  - напряжение на переходе (B),  $VT$  - тепловой потенциал (B). При  $V > 0$  диод открыт и через него протекает большой ток, сильно зависящий от напряжения  $V$ , а при  $V < 0$  диод закрыт и протекающий через него ток очень мал и близок к  $IS0$ . Имя диода задается наименованием в окне настройки и командой в файле Split Text (см. рис 1.5).

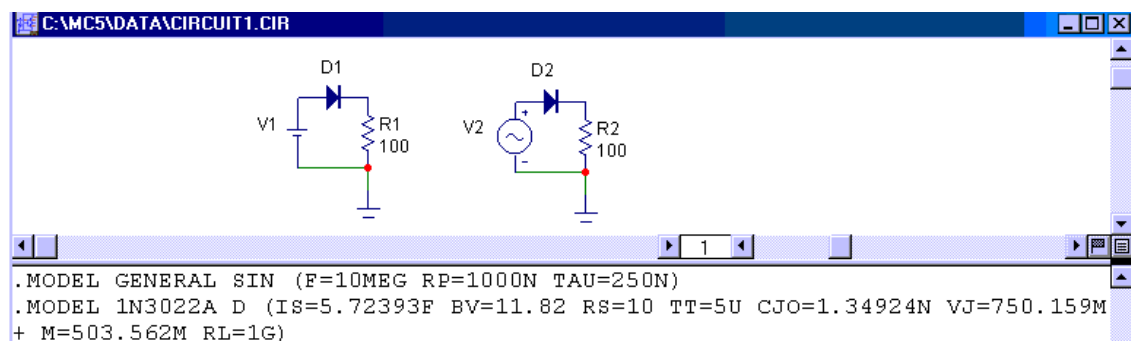


Рис. 1.5. Примеры подключения диодов для снятия характеристик.

Диод задается командой **.MODEL**, параметры которой приведены в таблице 1.4, после чего указывается либо номер его модели, либо полное имя диода (см. ниже).

.MODEL 5 D (LEVEL=1 IS=10F N=1 ISR=0 NR=2 IKF=0 BV=0 IBV=100P NBV=1 IBVL=0 NBVL=1 RS=0 TT=0 CJO=0 VJ=1 M=500M FC=500M EG=1.11 XTI=3 TIKF=0 TBV1=0 TBV2=0 TRS1=0 TRS2=0 KF=0 AF=1 RL=0)

Таблица 1.4. Основные параметры модели диода.

Название	Параметр	Единицы
LEVEL	Уровень модели, 1=Spice2G, 2=PSpice	
IS	Ток насыщения	Ампер
N	Коэффициент эмиссии	
ISR	Параметр рекомбинации тока	Ампер
NR	Коэффициент эмиссии для ISR	
IKF	Ток прямой	Ампер
BV	Напряжение обратного пробоя (колена)	Вольт
IBV	Ток обратного пробоя (колена)	Ампер
NBV	Фактор идеальности реверсного спада	

IBVL	Низкоуровневый ток обратного пробоя “колена”	Ампер
NBVL	Фактор идеальности низкоуровневого обратного пробоя	
RS	Сопротивление прямое	Ом
TT	Время пролета	Сек
CJO	Емкость перехода с нулевым смещением	Фарад
VJ	Контактная разность потенциалов	Вольт
M	Степенной коэффициент контакта	
FC	Коэффициент истощения напряжения прямого смещения	
EG	Ширина запрещенной зоны	eV
XTI	Температурная экспонента для IS	
TIKF	Температурный коэффициент IKF (линейный)	1/Градус
TBV1	Температурный коэффициент BV (linear)	1/Градус
TBV2	Температурный коэффициент BV (квадратичный)	1/(Градус <sup>2</sup> )
TRS1	Температурный коэффициент RS (linear)	1/ Градус
TRS2	Температурный коэффициент RS (квадратичный)	1/(Градус <sup>2</sup> )
KF	Коэффициент помех	
AF	Экспонента помех	
RL	Сопротивление утечки	Ом
T_MEASURED	Измеряемая температура	Градус
T_ABS	Абсолютная температура	Градус
T_REL_GLOBAL	По отношению к текущей температуре	Градус
T_REL_LOCAL	По отношению к модели АКО	Градус

**Биполярный транзистор** - трехэлектродный полупроводниковый прибор с двумя p-n переходами. Его работа основана на инжекции неосновных носителей эмиттерным переходом и сборании их коллекторным переходом. Биполярный транзистор представлен хорошо известной моделью Эберса-Молла. Он задается указанием марки в окне настройки и командой в файле Split Text (см. ниже, табл. 1.5).

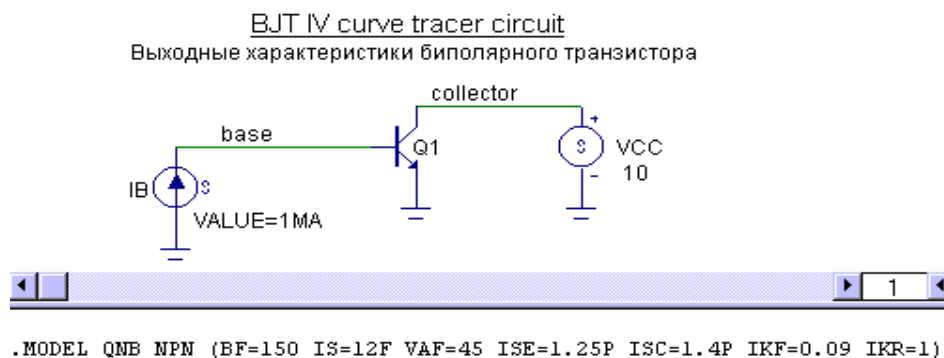


Рис. 1.6. Подключения биполярного транзистора для снятия статических выходных характеристик.

**.MODEL 2N1132 NPN** (IS=9.99916F BF=55.9464 NF=998.061M VAF=100 IKF=9.98401K ISE=3.62279F NE=1.10688 BR=1.55171 IKR=9.99993M ISC=106.162P RE=3.44553 RC=5.64395 CJE=104.717P VJE=700.004M MJE=499.511M CJC=175.838P VJC=699.998M MJC=499.794M TF=2.66025N XTF=500.005M VTF=10 ITF=9.68022M TR=10N).

Таблица 1.5 Основные параметры модели биполярного транзистора.

Параметр	Обозначение	Физический смысл
0: Forward beta	BF	Коэффициент передачи тока базы в прямом включении
1: Reverse beta	BR	Коэффициент передачи тока базы в инверсном включении



2: Temp coeff. of BETAF (PPM)	BETA TC BETA	Температурный коэффициент
3: Saturation current	ISO	Ток насыщения
4: Energy gap	EG	Ширина запрещенной зоны
5: CJC0	CJC0	Емкость коллекторного перехода при нулевом смещении
6: CJE0	CJE0	Емкость эмиттерного перехода при нулевом смещении
7: Base resistance	RB	Сопротивление базы
8: Collector resistance	RC	Сопротивление коллектора
9: Early voltage	VA	Напряжение Эрли
10: TAU forward	TF	Время переноса заряда в нормальном режиме
11: TAU reverse	TR	Время переноса заряда в инверсном режиме
12: MJC	MJC	Коэффициент аппроксимации барьерной емкости коллекторного перехода
13: VJC	VJC	Контактная разность потенциалов коллекторного перехода
14: MJE	MJE	Коэффициент аппроксимации барьерной емкости эмиттерного перехода
15: VJE	VJE	Контактная разность потенциалов эмиттерного перехода
16: CSUB	CSUB	Емкость коллектор-подложка
17: Minimum junction resistance	RJ	Минимальное сопротивление эмиттерного перехода

**МОП-транзистор** - полупроводниковый прибор, управляемый напряжением и имеющий структуру "металл - окисел - полупроводник". Прибор имеет канал между выводами истока и стока, проводимость которого зависит от напряжения приложенного к затвору, отделенному от канала окислом (диэлектриком). МОП-транзистор задается, как и биполярный, указанием типа канала (NMOS, PMOS) и последующим указанием номера модели или имени транзистора.

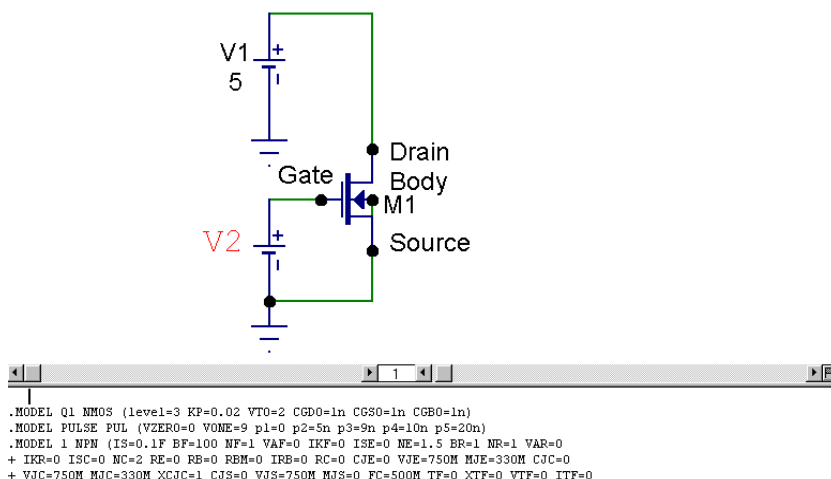


Рис. 1.7. Пример подключения полевого транзистора.

Таблица 1.6. Основные параметры модели МОП – транзистора.

Параметр	Обозначение	Физический смысл
0: BETA factor	BETA	Удельная крутизна
1: Threshold voltage	VTO	Пороговое напряжение
2: Gate-drain capacitance	CGD	Емкость затвор-сток
3: Gate-source capacitance	CGS	Емкость затвор-исток

4:Drain resistance	RD	Сопротивление стока
5:Source resistance	RS	Сопротивление истока
6:BETA Temp coeff.	BETA TC	Температурный коэффициент BETA
7:VT temp term (Volt/Deg C)	VTO TC	Температурный коэффициент порогового напряжения
8:Gate-Channel capacitance	CGC	Емкость затвор-канал
9:GAMMA	GAMMA	Коэффициент Боде
10:LAMBDA	LAMBDA	Коэффициент модуляции длины канала
11:PHI	PHI	Потенциал спрямления
12:COUT	COUT	Емкость сток-исток

**Трансформатор** - электромагнитный элемент, содержащий две обмотки с магнитной связью между ними. Трансформатор задается при вводе буквой Т и последующим указанием номера модели или полного имени.

Модель описывает неидеальный трансформатор и задается в окне настройки параметрами, приведенными в табл. 1.7 в виде (LP, LS, K).

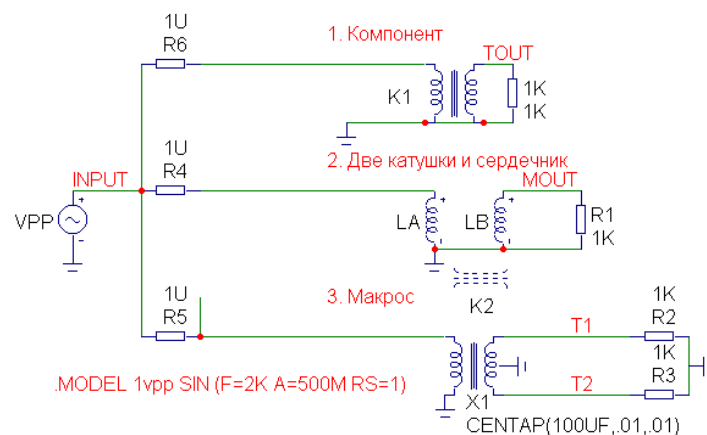


Рис. 1.8. Схемы с использованием трансформаторов.

Таблица 1.7 Параметры модели трансформатора

Параметр	Обозначение	Физический смысл
1:Input self-inductance	LP, LS	Индуктивность первичной и вторичной обмотки
2:Current gain (Turns ratio)	N	Коэффициент трансформации
3:Coeffitient of coupling	K	Коэффициент связи
4:Res-secondary	R	Сопротивление вторичной обмотки

**Операционный усилитель** - интегральная микросхема усилителя постоянного тока, усиливающего разность двух входных сигналов. Он имеет два входа и один выход. Операционный усилитель задается при вводе аббревиатурой ОРА с указанием номера модели или имени. Модель задается в окне настройки маркой или именем, а в файле Split Text параметрами моделей, приведенными ниже и в табл. 1.8.

### Модели ОУ

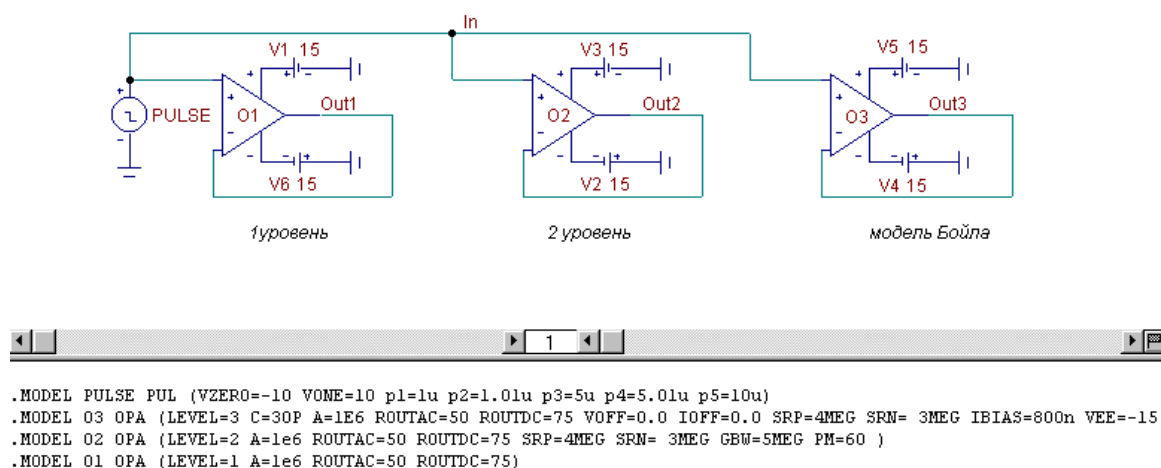


Рис. 1.9. Примеры подключения операционных усилителей.

.MODEL LF147 OPA (LEVEL=2 TYPE=3 C=10P A=100000 ROUTAC=50 ROUTDC=75 IOFF=25P SRP=13MEG SRN=17.5MEG IBIAS=50P VEE=-22 VCC=22 VPS=14 VNS=-14 GBW=4MEG) Таблица 1.8. Основные параметры модели ОУ.

Параметр	Обозначение	Физический смысл
Label	1,2,3	Уровень модели – см. ниже.
Type	1,2,3	1-NPN, 2-PNP, 3 -JFET
Input resistance	RIN	Входное сопротивление
Open loop gain	A	Коэффициент усиления
Output resistance	Rout	Выходное сопротивление
Offset voltage (Voffset)	VOFF	Входное напряжение смещения нуля
Temp coeff.of Voffset(V/Deg C)	VOS TC	Температурный коэффициент напряжения смещения нуля
Unity gain bandwidth, meg	GBW	Полоса пропускания, МГц
Negative (positive) power supply (V)	VEE,VCC	Напряжение питания, В
Slew rate (V/Sec)	SR	Скорость нарастания и спада выходного напряжения
Input offset current (I offset)	IOFF	Входной ток смещения нуля
Input bias current	IBIAS	Входной ток
Current doubling interval (Deg.C)	Int	Температура удвоения входного тока

Операционные усилители делятся условно на три уровня. Каждый последующий уровень предлагает все более реалистичные модели с все более сложными эквивалентными схемами.

• *Уровень 1* - простой управляемый напряжением источник тока с конечным выходным сопротивлением и коэффициентом усиления равным  $\infty$  без обратной связи.

• *Уровень 2* - три каскада, два источника питания, модель с ограничением уровня, конечный коэффициент усиления, и выходным сопротивлением.

• *Уровень 3* - улучшенная модель Бойла, подобная тем, которые в других программах SPICE являются макросами и подсхемами, но полностью внутренняя. Она моделирует положительный и отрицательный уровни, конечный коэффициент усиления, AC и DC выходное сопротивление, входное смещение напряжения и тока, запас по фазе, диапазон коэффициента усиления по частоте, три типа дифференциального входа, реальное выходное напряжение и текущее ограничение.

**Стандартные типы логических устройств.** Стандартные типы логических устройств приведены на рис. 1.10 и в таблице 1.9а).

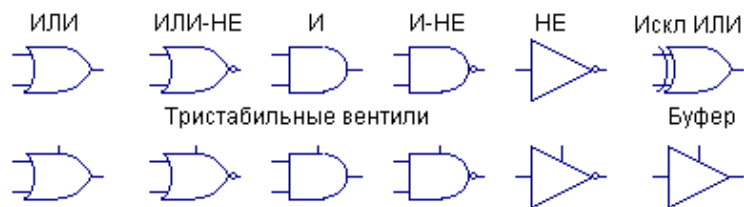


Рис. 1.10. Стандартные типы логических устройств в стандарте ANSI.

Таблица 1.9а). Типы логических схем.

Тип	Параметры	Узлы	Описание
AND	<количество входов>	in*,out	Вентиль И
BUF		in,out	повторитель
INV		in,out	инвертор
NAND	<количество входов>	in*,out	вентиль И - НЕ
NOR	<количество входов>	in*,out	ИЛИ - НЕ
NXOR		in1,in2,out	ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ - НЕ
OR	<количество входов>	in*,out	Вентиль ИЛИ
XOR		in1,in2,out	ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ Exclusive OR gate

Формат и список параметров схмотехнической модели, приводимой в окне настройки, для логических элементов приведен ниже. Знак + означает, что далее следует программная строка. Знак \* в таблице и модели означает, что входов и выходов может быть более 1.

**Формат:** U<название> <тип вентиля> [(<параметры>)\*]

+<питание> <земля>

+<вход>\* <выход>\*

+<название временной модели> <название модели ввода/вывода>

+ [MNTYMXDLY=<выбор значения задержки>]

+ [IO\_LEVEL=<выбор значения подсхемы интерфейса>]

Пример:

Вентиль И - НЕ с 3 входами:

```
U1 NAND(3)
+$G_DPWR $G_DGND
+IN1 IN2 IN3 OUT
+D0_GATE IO_STD
+MNTYMXDLY=0
+IO_LEVEL=2
```

Команда **PART:** <название элемента>.

Определяет символьное название элемента.

Примеры:

```
U1
Uor
USELECT
```

Команда **TIMING MODEL:** <название временной модели>. Этот параметр определяет название временной модели. Описание временной модели можно осуществить либо в текстовой области (файл Split text), либо в окне настройки схемы или в библиотеке.

Примеры:

```
D0_gate
DLY1
GATEDLY
```

Команда **I/O MODEL**: <название модели ввода-вывода>. Этот параметр дает название блоку определения модели ввода-вывода. Описание этой модели можно также осуществить в окне схемы или в библиотеках.

Примеры:

IO\_STD  
IO\_ACT\_OC  
IO\_HC

Команда **MNTYMXDLY**: <значение выбора задержки>. Этот параметр команды MNTYMXDLY служит для выбора минимальной, типичной, или максимальной задержки для временной модели вентилей. По умолчанию значение 0.

Если MNTYMXDLY = 0 - берется значение DIGMNTYMX в Глобальных Установках (Global Settings) в меню Options. Если MNTYMXDLY:

- =1 - берется минимальная задержка из временной модели
- =2 - берется типичная задержка
- =3 - берется максимальная задержка
- =4 - берется усредненная задержка (минимум/максимум).

Команда **IO\_LEVEL**: <значение выбора подсистемы интерфейса>.

Этот параметр определяет значение IO\_LEVEL для выбора одного из четырех стандартных интерфейсов. В MC5 переход от цифрового сигнала к аналоговому осуществляется через логические подсистемы. Этот параметр как раз и выбирает такую подсистему. Эта подсистема будет вызываться каждый раз, когда аналоговое устройство будет подсоединяться к вентилю. По умолчанию значение равно 0.

IO\_LEVEL = 0 - берется значение DIGIOLVL в Глобальных Установках (Global Settings) в меню Options.

- =1 - берется AtoD1/DtoA1
- =2 - берется AtoD2/DtoA2
- =3 - берется AtoD3/DtoA3
- =4 - берется AtoD4/DtoA4

Команда **POWER NODE**: <питание> - определяет узел питания, который будет использоваться подсистемой интерфейса, если аналоговое устройство подключено к вентилю.

Пример:

\$G\_DPWR

Команда **GROUND NODE**: <земля> - определяет узел заземления который будет использован в подсистеме интерфейса в случае подключения аналогового устройства к вентилю.

Пример:

\$G\_DGND

**Формат описания временной модели**, приводимой в файле Split Text:  
.model <название временной модели> UGATE ([параметры модели])

Пример:

.model DLY1 UGATE (tplhty=10ns tplhmx=25ns tphlty=12ns tphlmx=27ns)

Таблица 1.96) Таблица временных параметров стандартных вентиляей

Название	Параметр	Единицы	По умолчанию
TPLHMN	Delay low to high, min	секунды	0
TPLHTY	Delay low to high, typ	секунды	0
TPLHMX	Delay low to high, max	секунды	0
TPHLMN	Delay high to low, min	секунды	0
TPHLTY	Delay high to low, typ	секунды	0

TPHLMX	Delay high to low, max	секунды	0
--------	------------------------	---------	---

Delay low to high, min – минимальное (номинальное, максимальное) время задержки вход – выход при переключении от 0 к 1; Delay high to low, min - минимальное (номинальное, максимальное) время задержки вход – выход при переключении от 1 к 0;

**Типы тристабильных ИС.** Типы тристабильных схем приведены в табл.1.10. Параметры зависят от выбранного типа и также приводятся в таблице. Значения параметров должны идти сразу же за указанием типа тристабильного вентиля.

Формат входов и выходов приведен в колонке узлы. Знак \* обозначает один или больше узлов, а когда звездочки нет, это означает наличие одного контакта. Вход enable (управляющий) всего один.

Таблица 1.10. Таблица тристабильных вентиляей.

Тип вентиля	Параметры	Узлы	Описание
AND3	<количество входов>	in*,en,out	Вентиль AND
BUF3		in,en,out	Буфер
INV3		in,en,out	Инвертор
NAND3	<количество входов>	in*,en,out	Вентиль NAND
NOR3	<количество входов>	in*,en,out	Вентиль NOR
NXOR3		In1,in2,en,out	Исключающее NOR
OR3	<количество входов>	In*,en,out	Вентиль OR
XOR3		In1,in2,en,out	Исключающее OR

Формат и параметры моделей тристабильной схемотехники аналогичны схемам обычной логики, за исключением наличия сигнала enable.

**Триггеры (flip-flop).** Программой МС поддерживается три типа триггеров: RS – триггер с отдельными входами, универсальный JK – триггер и D – триггер.

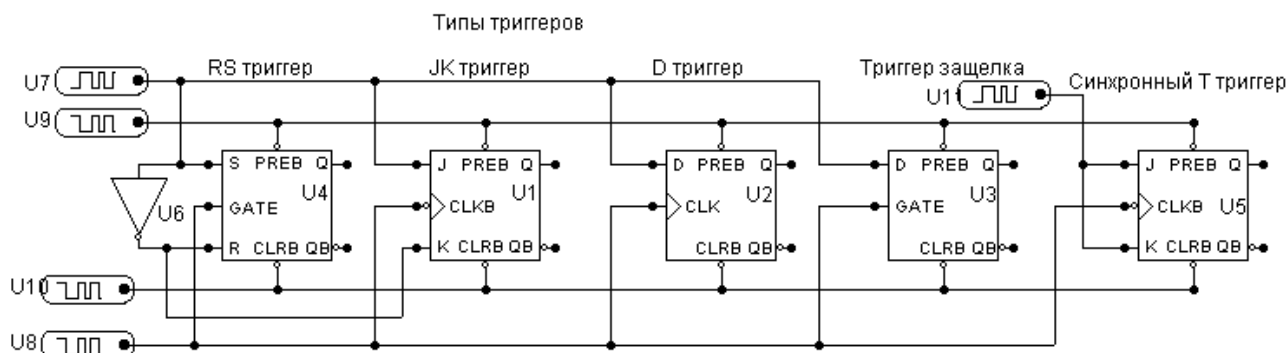


Рис. 1.11. Примитивы триггеров.

Формат и параметры модели схемы триггеров JK и D, приводимых в окне настройки, приведен ниже:

U<имя> JKFF (<количество триггеров>)

+<питание> <заземление>

+<контакт presetbar> <контакт clearbar> <контакт clockbar>

+<первый контакт J>...<последний контакт J>

+<первый контакт K>...<последний контакт K>

+<первый контакт Q>...<последний контакт Q>

+<первый выход QBAR>...<последний выход QBAR>

+<название временной модели> <модель ввода-вывода>

+ [MNTYMXDLY=<значение параметра задержки>]

+ [IO\_LEVEL=<значение выбора подсхемы интерфейса>]

U<название> DFF (<количество триггеров>)  
 +<питание> <заземление>  
 +<контакт presetbar> <контакт clearbar> <контакт clock>  
 +<первый вход D>...<последний вход D>  
 +<первый выход Q>...<последний выход Q>  
 +<первый выход QBAR>...<последний выход QBAR>  
 +<название временной модели> <модель ввода-вывода>  
 +[MNTYMXDLY=<значение выбора задержки>]  
 +[IO\_LEVEL=<значение выбора подсхемы интерфейса>]

Примеры:

```
U1 JKFF(2) $G_DPWR $G_DGND
+PREBAR CLRBAR CLK
+J1 J2 K1 K2 Q1 Q2 Q1BAR Q2BAR
+D0_EFF IO_STD IO_LEVEL=1

U4 DFF(1) $G_DPWR $G_DGND
+PREB CLRB CLKIN
+DIN Q QBAR DLY_DFF IO_ACT
```

Параметр <Количество триггеров> определяет их количество в схеме, выходы preset – установить в 1, clear – очистить 0, и clock – такт - общие для всех триггеров. Выводы preset и clear служат для начальной установки триггера JK и D. Синхронизированные триггеры изменяют свое состояние по фронту или спаду тактирующего импульса clock, так JK - по спаду импульса и D - по фронту. Логика переключения триггеров приводится в таблицах истинности.

Команда **PART:** <название>.

Определяет название элемента.

Примеры:

```
U1
Uff
UJK
```

Команда **TIMING MODEL:** <название временной модели>. Этот параметр описывает название временной модели. Временная модель может быть определена в текстовой области Split Text, в окне настройки или в библиотеках.

Примеры:

```
D0_EFF
DLY4
JKDLY
```

Команда **I/O MODEL:** <название модели ввода-вывода>. Этот параметр определяет название модели ввода-вывода. Описание этой модели также возможно несколькими способами.

Примеры:

```
IO_STD_ST
IO_AC
IO_S
```

Команда **MNTYMXDLY:** <значение выбора задержки>. Этот параметр определяет значение MNTYMXDLY для выбора минимальной, типичной или максимальной задержки временной модели. Значение по умолчанию 0.

Если MNTYMXDLY = 0 - значение DIGMNTYMX берется в Глобальных Настройках.  
 Если MNTYMXDLY:

- = 1 - минимальная задержка
- = 2 - типичная задержка
- = 3 - максимальная задержка
- = 4 - относительная задержка (минимум/максимум)

Команда **IO\_LEVEL**: <значение выбора подсхемы интерфейса>. - определяет параметр IO\_LEVEL для выбора одной из необходимых четырех подсхем AtoD или DtoA. Эта подсхема будет использоваться, когда аналоговое устройство подключено к триггеру. Значение по умолчанию 0.

- 0 = Значение DIGIOLVL в Глобальных Настройках.
- 1 = AtoD1/DtoA1
- 2 = AtoD2/DtoA2
- 3 = AtoD3/DtoA3
- 4 = AtoD4/DtoA4

Команда **POWER NODE**: <питание>. Этот параметр определяет подсхему питания, которая будет задействована в случае подсоединения аналогового устройства к триггеру.

Пример:  
\$G\_DPWR

Команда **GROUND NODE**: <заземление>. Этот параметр определяет подсхему заземления, которая будет использоваться в случае подключения аналогового устройства к триггеру.

Пример:  
\$G\_DGND

**Описание временной модели**, приводимой в Split Text:

.model <название временной модели> UEFF ([параметры модели])

Пример:

.model JKDLY UEFF (tpcqlhty=10ns tpcqlhmx=25ns tpclqlhty=12ns  
+twpcly=15ns tsudclky=4ns)

В таблице 1.11 показаны некоторые параметры триггеров.

Таблица 1.11 Некоторые временные параметры триггеров.

Название	Параметр	Единицы	По умолчанию
TPPCQLHMN	Задержка: от preb/clrb до q/qb от low до hi, минимум	Sec	0
TPPCQLHTY	Задержка: от preb/clrb до q/qb от low до hi, номинал	Sec.	0
TPPCQLHMX	Задержка: от preb/clrb до q/qb от low до hi, максимум	Sec.	0
TPPCQHLMN	Задержка: от preb/clrb до q/qb от hi до low, минимум	Sec.	0
TPPCQHLY	Задержка: от preb/clrb до q/qb от hi до low, номинал	Sec.	0
TPPCQHLMX	Задержка: от preb/clrb до q/qb от hi до low, номинал	Sec.	0
TWPCLMN	Задержка: min preb/clrb шириной low, минимум	Sec.	0
TWPCLTY	Задержка: min preb/clrb шириной low, номинал	Sec.	0
TWPCLMX	Задержка: min preb/clrb шириной low, максимум	Sec.	0



TPCLKQLHMN	Задержка: от фронта clk/clkb до q/qb от low до hi, минимум	Sec.	0
TPCLKQLHTY	Задержка: от фронта clk/clkb до q/qb от low до hi, номинал	Sec.	0
TPCLKQLHMX	Задержка: от фронта clk/clkb до q/qb от low до hi, максимум	Sec.	0
TPCLKQHLMN	Задержка: от фронта clk/clkb до q/qb от hi до low, минимум	Sec.	0
TPCLKQHHTY	Задержка: от фронта clk/clkb до q/qb от hi до low, номинал	Sec.	0
TPCLKQHLMX	Задержка: от фронта clk/clkb до q/qb от hi до low, максимум	Sec.	

### Программируемые логические матрицы (ПЛИМ).

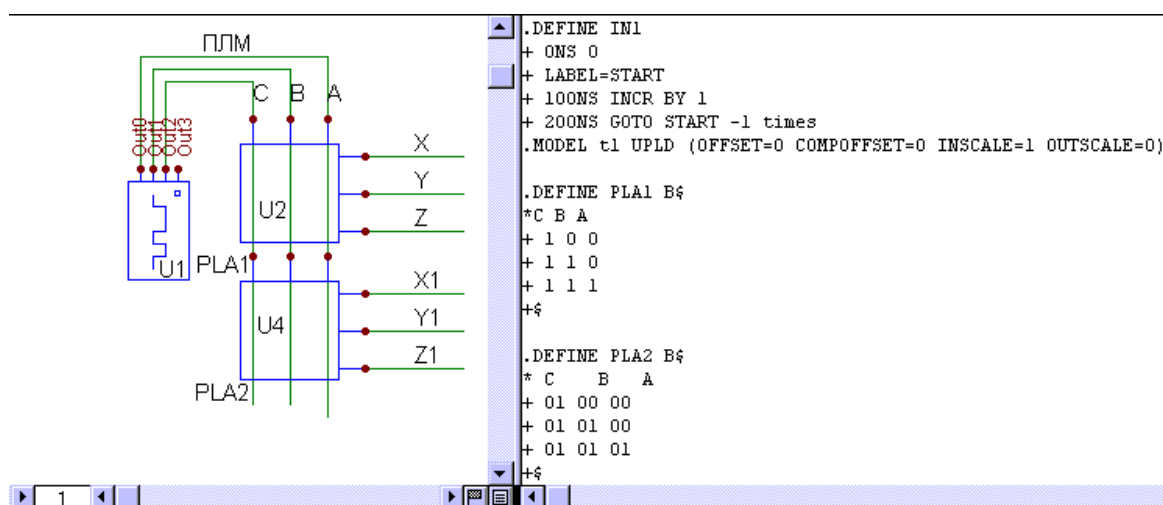


Рис. 1.12. Модели программируемых логических матриц (ПЛИМ).

Формат и параметры схемной модели ПЛИМ (SPICE), приводимой в окне настройки, показан ниже:

U<название> <тип матрицы> (<количество входов>,<количество выходов>)

+<цифровой разъем питания> <цифровое заземление>

+<входной узел>\* <выходной узел>\*

+<имя временной модели> <имя модели ввода-вывода>

+ [FILE=<константа имени файла или выражение имени файла>]

+ [DATA=<флаг>\$<данные программы>\$]

+ [MNTYMXDLY=<значение выбора задержки>]

+ [IO\_LEVEL=<значение выбора интерфейса подсхемы>]

Примеры:

Пример 1 логических выражений (~, &, | - инверсия, конъюнкция, дизъюнкция):

Out1 = (In1 & In3)

Out2 = (In1 & In2)

Out3 = (In2 & In3)

Модель ПЛИМ для примера 1:

U1 PLAND(3,3) \$G\_DPWR \$G\_DGND

+I1 I2 I3 O1 O2 O3

+D0\_PLA IO\_STD

+DATA=B\$

In1 In2 In3

+1 0 1 ;O1

```
+1 1 0 ;O2
+0 1 1 ;O3
+ $
```

Второй пример логических выражений:

O1 = ( $\sim$ I1 |  $\sim$ I2 | I3)

O2 = ( $\sim$ I1 | I2 | I3)

O3 = (I1 |  $\sim$ I3)

O4 = ( $\sim$ I1 |  $\sim$ I2 |  $\sim$ I3)

Модель ПЛМ для данных выражений:

U2 PLORC(3,4) \$G\_DPWR \$G\_DGND

+I1 I2 I3 O1 O2 O3 O4

+DLYPLOR IO\_LS

+DATA=B\$

I1 I2 I3

TF TF TF ; прямые и инверсные входы

+01 01 10 ;O1

+01 10 10 ;O2

+10 00 01 ;O3

+01 01 01 \$;O4

Команда **PART**: <название> - определяет название элемента.

Примеры:

U4

UAD

Команда **TIMING MODEL**: <название временной модели> - определяет имя для выражения временной модели, которую можно определить через текстовую область, в окне настройки схем или в библиотеках.

Примеры:

D0\_ADC

DLY\_B

ADCDLY

Команда **I/O MODEL**: <название модели I/O> - имя модели ввода-вывода, которая также может быть определена тремя различными способами.

Примеры:

IO\_STD

IO\_PLD

Команда **FILE**: <константа имени файла ИЛИ выражение имени файла> - определяет файл JEDEC, который содержит программу для матрицы.

Команда **DATA**:<<data constant> ИЛИ <<флаг>\$<данные программы ПЛМ>\$>> - этот параметр определяет данные программы ПЛМ, а также их вид: флаг В - бинарный, флаг О - восьмеричный или флаг Х - шестнадцатеричный. Имя, помещенное в <константа данных>, может быть названием программы ПЛМ, определенной в текстовом поле Split Text с директивой **.define**.

Примеры:

B\$ 1 0 1 1 1 0 0 1 1 \$ - бинарные данные,

O\$ 2 5 4 7 3 0 1 2 \$ - восьмеричные данные.

Шестнадцатеричные данные в подпрограмме PLORDATA с директивой .define показаны ниже. В данном случае подпрограмма PLORDATA помещается в файл Split text, а в атрибуте DATA указывается имя подпрограммы.

```
.define PLORDATA
+X $
+A 2 7 5
+3 1 9 C
+D E 2 6 $
```

Команда **MNTYMXDLY**: <значение выбора задержки> - выбирает минимальную, типичную или максимальную задержку для временной модели. По умолчанию равно 0.

- 0 = значение **DIGMNTYMX** в Глобальных Установках.
- 1 = Минимальная задержка
- 2 = Типичная задержка
- 3 = Максимальная задержка
- 4 = Наибольшая задержка (минимум/максимум)

Команда **IO\_LEVEL**: <значение выбора интерфейса подсхемы> - выбирает один из четырех интерфейсов подсхем AtoD или DtoA. Эта подсхема будет вызываться, когда аналоговое устройство будет подключено к ПЛИМ. По умолчанию - 0.

- 0 = значение DIGIOLVL в Глобальных Установках.
- 1 = AtoD1/DtoA1
- 2 = AtoD2/DtoA2
- 3 = AtoD3/DtoA3
- 4 = AtoD4/DtoA4

Команда **POWER NODE**: <цифровой разъем питания> - определяет цифровой разъем питания, который будет использоваться подсхемой в случае подключения аналогового устройства к ПЛИМ.

Пример:  
\$G\_DPWR

Команда **GROUND NODE**: <цифровой узел заземления> Параметр команды определяет цифровой узел заземления.

Пример:  
\$G\_DGND

Имеются два способа программирования ПЛИМ. Первый способ состоит в том, чтобы обеспечить данные в файле формата JEDEC. Эти файлы обычно создаются специалистами и обеспечивают программируемость ПЛИМ в процессе "изготовления". Второй метод состоит в том, чтобы ПЛИМ программировались пользователем, что обеспечивается включением данных непосредственно в модель SPICE в команду DATA. Кроме того, команда DATA может содержать в качестве параметра ссылку на имя текстовой матрицы, помещаемой пользователем в Split Text. Текстовые строки матрицы содержат значения данных, которые программируют ПЛИМ. Если значение переменной столбца равно "0", то входной столбец не связан с вентилями. Если значение переменной - "1", входной столбец связан с вентилями. Данные считываются из матрицы слева направо, т.е. начальные данные находятся в нулевом (левом) адресе. Матрица должна быть заключена в формат со знаком доллара \$ в начале и в конце, перед первым знаком \$ помещается флаг с указанием типа данных.

**Формат описания временной модели ПЛИМ**, помещаемой в Split Text:

.model <название модели> UPLD ([параметры])

Пример:

.model PLDMOD UPLD (tplhty=10ns tplhmx=25ns tphlty=12ns tphlmx=27ns)

Таблица 1.12. Таблица временных параметров программируемых логических матриц

Название	Параметр	Единицы	По умолчанию
TPLHMN	Задержка: in до out, low до high, минимум	Sec	0

TPLHTY	Задержка: in до out, low до high, номинал	Sec	0
TPLHMX	Задержка: in до out, low до high, максимум	Sec	0
TPHLMN	Задержка: in до out, high до low, минимум	Sec	0
TPHLTY	Задержка: in до out, high до low, номинал	Sec	0
TPHLMX	Задержка: in до out, high до low, максимум	Sec	0
OFFSET	Файл JEDEC: адрес первого входа и первой программы вентиля		0
COMPOFFSET	Файл JEDEC: адрес дополнения первого входа и первой программы вентиля		1

### Аналого-цифровые преобразователи

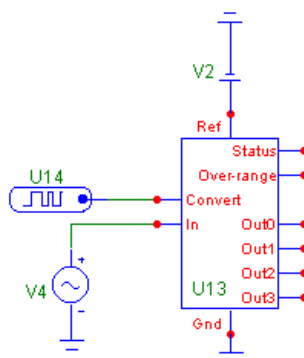


Рис. 1.13. Аналого-цифровой преобразователь

**Формат** и параметры, схемотехнической модели (SPICE), приводимой в окне настройки:

U<название> ADC (<количество битов>)

+<цифровой разъем питания> <цифровое заземление>

+<аналог.вход> <питание> <заземление> <преобразование>

+<статус> <over range node>

+<выход msb> ... <выход lsb>

+<имя временной модели> <имя модели ввода-вывода>

+ [MNTYMXDLY=<значение выбора задержки>]

+ [IO\_LEVEL=<значение выбора интерфейса подсхемы>]

Примеры:

U1 ADC(8) \$G\_DPWR \$G\_DGND

+ansig ref1 0 conv1 stat1 over1

+out7 out6 out5 out4 out3 out2 out1 out0

+D0\_ADC IO\_STD

Команда **PART**: <название> - определяет название элемента.

Примеры:

U4

UAD

Команда **TIMING MODEL**: <название временной модели> - определяет тип временной модели, которую можно задать через текстовую область Split Text, схемотехнически или в библиотеках.

Примеры:

D0\_ADC

DLY\_B

ADCDLY

Команда **I/O MODEL**: <название модели I/O> - модель ввода-вывода, также может быть определена тремя различными способами.

Примеры:  
 IO\_STD  
 IO\_ACT  
 IO\_HC

Команда **MNTYMXDLY**: <значение выбора задержки> - выбирает минимальную, типичную или максимальную задержку для временной модели. По умолчанию равно 0.

- 0 = значение DIGMNTYMX в Глобальных Установках.
- 1 = Минимальная задержка
- 2 = Типичная задержка
- 3 = Максимальная задержка
- 4 = Наибольшая задержка (минимум/максимум)

Команда **IO\_LEVEL**: <значение выбора интерфейса подсхемы> - этот атрибут выбирает один из четырех интерфейсов подсхем AtoD или DtoA. По умолчанию - 0.

- 0 = значение DIGIOLVL в Глобальных Установках.
- 1 = AtoD1/DtoA1
- 2 = AtoD2/DtoA2
- 3 = AtoD3/DtoA3
- 4 = AtoD4/DtoA4

Команда **POWER NODE**: <цифровой разъем питания> - этот атрибут определяет цифровой разъем питания который будет использоваться подсхемой в случае подключения аналогового устройства к АЦП.

Пример:  
 \$G\_DPWR

Команда **GROUND NODE**: <цифровой узел заземления> - этот признак определяет цифровой узел заземления, который будет использоваться подсхемами интерфейса, если аналоговое устройство связано с АЦП.

Пример:  
 \$G\_DGND

Выход АЦП будет эквивалентен ближайшему целому числу, рассчитанному по формуле:

$$(V(in,gnd)/V(ref,gnd)) * (2^{(\text{количество битов})}).$$

Если число больше, чем  $2^{(\text{количество битов})} - 1$ , то все выходы будут равны 1, и выход "over" будет установлен в 1. Если целое число меньше нуля, то все выходы будут равны 0, и выход "over" будет установлен в 1.

Вначале моделирования выходы Out0, Out1, ... Out N будут находиться в состоянии неопределенности "X", а выход STATUS станет равен "1" с задержкой TPCS секунд после фронта сигнала CONVERT, а TPDS секундами позже, Out0, Out1, ... Out N выходы станут равными истинным данным, а TPDS секундами позже, выход STATUS будет равен состоянию "0".

#### Синтаксис временной модели в Split Text:

.model <название временной модели> UADC ([параметры модели])

Пример:

.model ADCMOD UADC (tpcsty=10ns tpsdy=25ns tpdsty=12ns)

Таблица 1.13. Таблица временных параметров аналого-цифровых преобразователей.

Название	Параметр	Единицы	По умолчанию
TPCSMN	Задержка: фронт конверт к фронту статуса, минимум	Sec.	0
TPCSTY	Задержка: фронт конверт к фронту статуса, номинал	Sec.	0

TPCSMX	Задержка: фронт конверт к фронту статуса, максимум	Sec.	0
TPSDMN	Задержка: фронт статуса к выходу и диапазонному сигналу, минимум	Sec.	0
TPSDTY	Задержка: фронт статуса к диапазонному сигналу, максимум	Sec.	0
TPSDMX	Задержка: фронт статуса к выходу и диапазонному сигналу, максимум	Sec.	0
TPDSMN	Задержка: выход и диапазонный сигнал к спаду статуса, минимум	Sec.	0
TPDSTY	Задержка: выход и диапазонный сигнал к спаду статуса, номинал	Sec.	0
TPDSMX	Задержка: выход и диапазонный сигнал к спаду статуса, максимум	Sec.	0

**Цифро-аналоговые преобразователи** по модели аналогичны АЦП и представляют собой следующую конструкцию:

**Формат** схемотехнической модели - SPICE:

U<название> DAC (<количество битов>)

+<цифровой разъем питания> <цифровое заземление>

+<выход> <питание> <заземление>

+<вход msb> ... <вход lsb>

+<имя временной модели>

+<имя модели ввода-вывода>

+MNTYMXDLY=<значение выбора задержки>

+IO\_LEVEL=<значение выбора интерфейса подсхемы>.

Примеры:

U1 DAC(8) \$G\_DPWR \$G\_DGND

+outsig ref1 0

+in7 in6 in5 in4 in3 in2 in1 in0

+D0\_DAC IO\_STD

### Подсхемы

Подсхемы представляют собой законченные устройства, аналогичные реальным микросхемам, которые используются в разделах меню Analog Library и Digital Library - библиотеки компонент. Они доступны через файлы с расширением .LIB. Подсхема программируется процедурой .SUBCKT, а команды OPTIONS, PARAMS, TEXT позволяют передавать множество параметров подсхеме.

Примеры:

.SUBCKT CLIP 1 2

+ PARAMS: LOW=0, HIGH=10

X1 10 20 CLIP; results in LOW=0, HIGH=10

X2 10 20 CLIP PARAMS: LOW=1, HIGH=2 ;results in LOW=1, HIGH=2

X3 10 20 CLIP PARAMS: HIGH=4; results in LOW=0, HIGH=4

Команда TEXT позволяет вам вставлять в схему текстовые сообщения или файлы:

.SUBCKT STIMULUS 1 2 3 4

+ TEXT: FILE="TEST1"

X1 10 20 30 40 STIMULUS; results in FILE="TEST1"

X2 2 4 5 8 STIMULUS TEXT: FILE="PROD" ; results in FILE="PROD"

Использовать компоненты подсхем в MC5 очень легко. Сначала, нужно выбрать необходимую подсхему в библиотеке компонент и затем указать ее название в окне настроек.

В качестве примера создания устройства (рис. 1.13), приведем фрагмент файла библиотеки дискретных устройств Micro-Cap, DIG000.LIB, описывающий микросхему дешифратора (декодера) 74145, отечественный аналог которого К155ИД10.

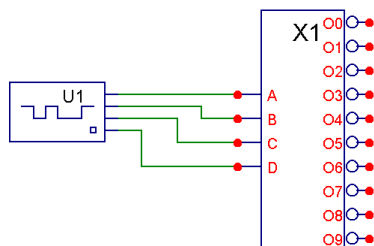


Рис. 1.14. Микросхема дешифратора 74145.

Следует учесть, что любая строка файла дискретной библиотеки, начинающаяся со знака \*, является комментарием и применяется для описания схем, все строки, начинающиеся со знака +, являются строками программы.

\* ----- 74145 -----

\* Двоично-десятичный декодер

\*

\* взято из: The TTL Logic Data Book, 1988, TI Pages 2-447 to 2-449

\* bss 3/17/94

\*

\* Подсхема 74145, описание входов: четыре входа A,B,C,D (входы всегда обозначаются буквами) и десять выходов, обозначаемых числами после буквы O - O0, O1, O2, O3, O4, O5, O6, O7, O8 и O9

.SUBCKT 74145 A B C D O0 O1 O2 O3 O4 O5 O6 O7 O8 O9

\* Необязательные параметры: знак \$ обозначает абсолютное значение, установленное в Главных Настройках MC5.

Формат описания параметров следующий:

<буквенное название>=<абсолютная переменная> или значение.

+ optional: DPWR=\$G\_DPWR DGND=\$G\_DGND

\* Стандартные временные параметры, формат:

<название переменной>=<значение>

+ params: MNTYMXDLY=0 IO\_LEVEL=0

\* Описание логического устройства. Формат следующий:

U<название> LOGICEXP <количество входов, количество выходов>

<питание> <заземление>

В данном случае название схемы - 1LOG, входов - 4, выходов - 10

U1LOG LOGICEXP(4,10) DPWR DGND

\* Входы устройства

+ A B C D

\* Выходы устройства

+ O0\_O O1\_O O2\_O O3\_O O4\_O O5\_O O6\_O O7\_O O8\_O O9\_O

\* Установка значений стандартных переменных

+ D0\_GATE IO\_STD MNTYMXDLY={MNTYMXDLY} IO\_LEVEL={IO\_LEVEL}

\* Логические выражения устройства. Указывается название переменной и в фигурных скобках значение. Можно указывать имена входов и выходов, как в этом примере.

Используемые знаки логических операций:

~ инверсия

& И

^ ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ

| ИЛИ

+ LOGIC:

\*Согласно логическому уравнению дешифратора возьмем инверсные значения входов

+ abar = {~A}

+ bbar = {~B}

+ cbar = {~C}

+ dbar = {~D}

\*Присвоили выходам соответствующие значения согласно логическому уравнению дешифратора

+ O0\_O = {~(abar & bbar & cbar & dbar)}

+ O1\_O = {~(A & bbar & cbar & dbar)}

+ O2\_O = {~(abar & B & cbar & dbar)}

+ O3\_O = {~(A & B & cbar & dbar)}

+ O4\_O = {~(abar & bbar & C & dbar)}

+ O5\_O = {~(A & bbar & C & dbar)}

+ O6\_O = {~(abar & B & C & dbar)}

+ O7\_O = {~(A & B & C & dbar)}

+ O8\_O = {~(abar & bbar & cbar & D)}

+ O9\_O = {~(A & bbar & cbar & D)}

\*Описание задержек при прохождении сигналов от входных контактов до выходных.

Формат описания - следующий:

U<название> PINDLY (<количество путей>,<количество контактов enable>,<количество ссылок>)

<питание> <заземление>

В данном случае количество путей равно количеству выходов, и, значит, это 10. Название - 2DLY.

U2DLY PINDLY(10,0,0) DPWR DGND

+ O0\_O O1\_O O2\_O O3\_O O4\_O O5\_O O6\_O O7\_O O8\_O O9\_O

\*Сколько всего выходов

+ O0 O1 O2 O3 O4 O5 O6 O7 O8 O9

\*Стандартные переменные

+ IO\_STD MNTYMXDLY={MNTYMXDLY} IO\_LEVEL={IO\_LEVEL}

+

+ PINDLY:

\*Контакты, на которые распространяется задержка

+ O0 O1 O2 O3 O4 O5 O6 O7 O8 O9 = {

+ CASE(

+ DELAY(-1,-1,50ns))}

\*Конец программы работы подсхемы

.ENDS 74145

## 1.2 Схемотехническое проектирование и анализ средствами Micro-Cap.

На рисунках 1.15 - 1.17 приведены центральные окна программ MC5, MC6 и MC7. Учитывая, что меню команд у всех программ одинаковы, а строки инструментов отличаются, по большому счету незначительно, дальнейшее изложение будет ориентировано на MC5.



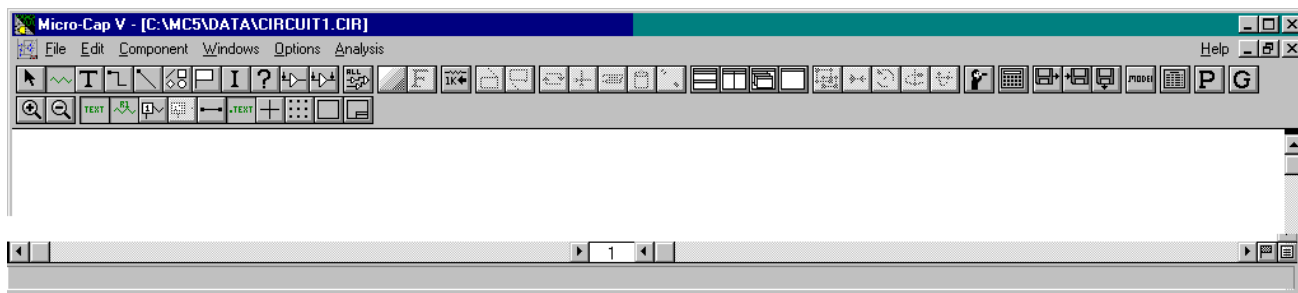


Рис. 1.15. Центральное окно программы MC5.

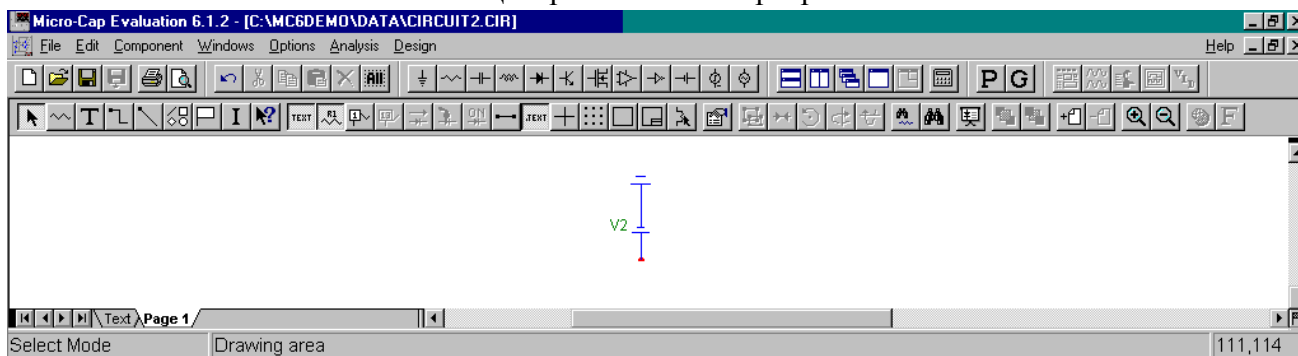


Рис. 1.16. Центральное окно программы MC6.

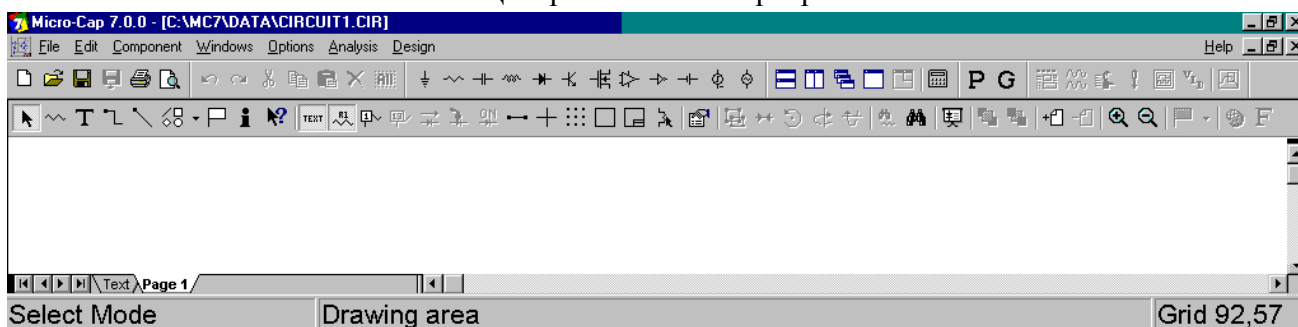


Рис. 1.17. Центральное окно программы MC7.

Проектирование схем выполняется в центральном окне системы Micro-Cap путем выбора изображений необходимых компонентов из меню Component и размещения их в нужном месте экрана. При этом приходится выбирать компоненты из библиотек, перемещать изображения компонентов, поворачивать их вокруг базовой точки, указывать их имена и номиналы.

Например, в главном меню Component => Analog Primitives => Active Devices => OPAMP с помощью мыши наведите на позицию OPAMP и нажмите левую клавишу (для MC6 и MC7 - удерживайте ее после нажатия). Разместите указатель мыши на то место поля, где должен быть установлен усилитель и щелкните левой клавишей (для MC6 и MC7 - отпустите). На экране появится изображение операционного усилителя. Оно сразу занимает правильное положение, но вы можете покрутить его, если будете нажимать правую клавишу, не отпуская левую. Как только положение усилителя Вас устроит, отпустите левую клавишу.

В этот момент на экране появится окно настроек с перечислением типов операционных усилителей. Установите курсор мыши на желаемый тип операционного усилителя и нажмите левую клавишу мышки. Меню типов операционных усилителей исчезнет, а его имя появится в меню MODEL и рядом с изображением усилителя появится надпись о его типе. На этом ввод первого компонента (операционного усилителя) завершается. Аналогичным образом введите другие компоненты схемы. Одновременно с этим в окне Split Text появится описание модели операционного усилителя, например, в таком виде:

.MODEL LF155 OPA (LEVEL=3 TYPE=3 ROUTAC=50 ROUTDC=75 VOFF=2M IOFF=3P SRP=7MEG SRN=7MEG IBIAS=30P VEE=-22 VCC=22 GBW=2.5MEG).

При построении схемы вам придется неоднократно соединять компоненты отрезками проводов. Удобно делать это с помощью пиктограммы с изображением провода. Установите

мышь на начало отрезка и нажмите левую клавишу мыши, затем переместите курсор на нужную позицию и опустите левую кнопку мыши - будет построен нужный отрезок. Так можно "нарисовать" любые соединительные линии. На рис. 1.18 приведена полностью введенная схема усилителя.

Системы схемотехнического моделирования Micro-CAP выгодно отличаются от других систем (например, PSPICE или Electronic Workbench, Serenade) своим сервисом. Самый трудный этап проектирования (задание схемы и ее топологическое и математическое описание) в них реализован простым и наглядным графическим диалогом. Он напоминает сборку схем с помощью аппликативного конструктора, содержащего компоненты электронных схем, из которых пользователь собирает нужную схему.

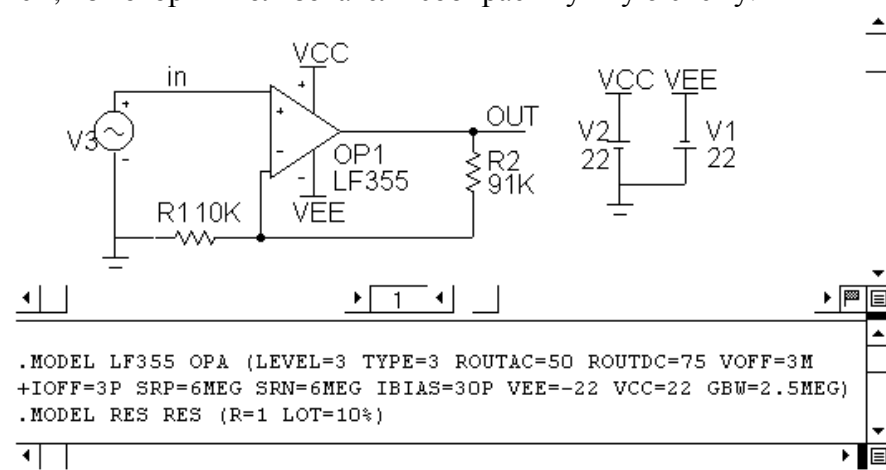


Рис. 1.18. Полностью собранная схема усилителя.

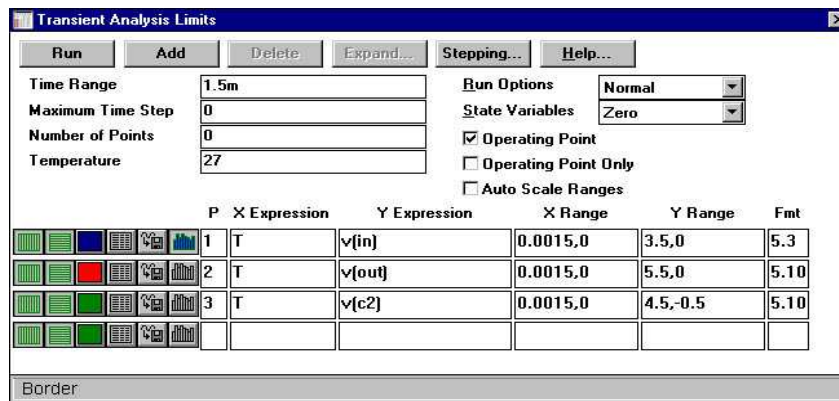
Особенностью Micro-Cap является то, что для задания схем и управления системой в ходе анализа "правильности" построения схем и их моделирования, не требуется знания никаких входных языков. Результаты анализа получаются как в числовой (табличной форме), так и в виде графиков, напоминающих осциллограммы, получаемые при исследовании схемы с помощью электронного осциллографа, характериографа или измерителя частотных характеристик.

#### Малосигнальный анализ во временной области (переходный процесс).

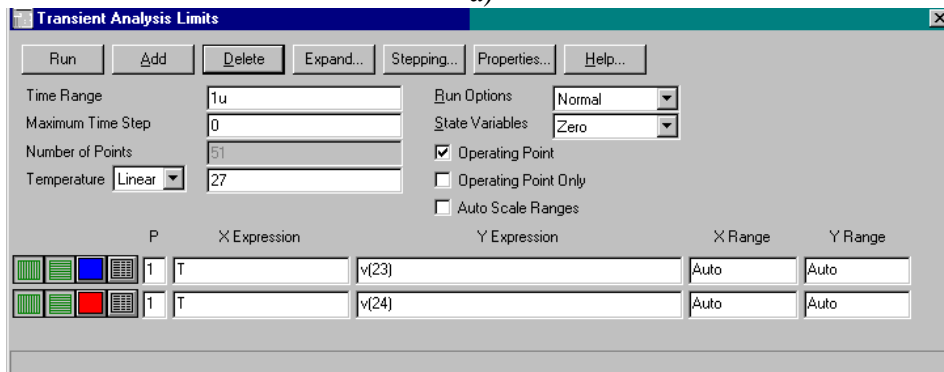
После задания параметров всех компонент собранной схемы, она считается введенной в ЭВМ, после чего Micro-Cap автоматически формирует сложные системы дифференциальных уравнений состояния, описывающих работу схем. Расчет переходных процессов производится интегрированием уравнений состояния конечно – разностным методом с переменным шагом во времени (идет адаптация к скорости моделируемых процессов). Переменные состояния определяют коэффициенты или условия математической модели, которая представляет схему в любой момент времени. Эти переменные должны быть установлены в начальные значения для запуска анализа.

Micro-Cap выбирает начальные условия следующим образом: когда впервые выбирается временной анализ, все переменные состояния устанавливаются в ноль и все цифровые уровни в "X". Это называется начальной инициализацией (setup initialization). Каждый раз, когда запускается новый процесс анализа, нажатием F2 или кнопки Run, выполняется текущая инициализация. Для того, чтобы решить что делать, Micro-Cap читает опции переменных состояния из меню анализа. С помощью команд можно установить один из трех режимов инициализации:

#### Временной анализ: диалоговое окно управления



a)



б)

Рис. 1.19. Диалоговое окно временного анализа а) - для MC5; б) - для MC6 и MC7.

**Zero:** Переменные состояния, напряжения выводов, все токи приравняются к 0. Цифровые уровни устанавливаются в "X", а для триггеров их выходы Q и QB, устанавливаются в "0", "1", или "X" в зависимости от глобального значения DIGINITSTATE. Это значение определено в Глобальных Установках.

**Read:** Micro-Cap читает переменные из файла CIRCUITNAME.TOP. Этот файл создается Редактором Переменных Состояния.

**Leave:** Micro-Cap ничего не делает с переменными состояния. Он просто не замечает их. При этом:

**First run:** Если переменные не редактировались с Редактором Переменных Состояния, они все же принимают нулевые значения начальной инициализации.

**Later run:** Если переменные не редактировались с Редактором Переменных Состояния, они принимают конечные значения последнего анализа.

**Edited:** Если переменные редактировались с Редактором Переменных Состояния, то их значения берутся из данных редактора. Все подключенные к генераторам последовательностей контакты меняются на их значение  $T = t_{min}$ .

Когда выполняется Transient Analysis (временной анализ) из меню Analysis, Micro-Cap тестирует схему на топологическую правильность, и правильность задания параметров модели. Если ошибки не найдены, на экран выводится диалоговое окно ТА-анализа, которое называется Analysis Limits (рис. 1.19). Это диалоговое окно позволяет вводить данные, регулирующие режим выполнения анализа, выбирать временной и частотный диапазоны, выбирать шкалу и выводить графики. Диалоговое окно Analysis Limits разделено на пять областей: Кнопки, Числовые пределы, Опции форм графика, Выражения и Опции.

### Кнопки

**Run:** эта кнопка запускает процесс анализа. Если нажать кнопку Run из меню Tool, или клавишу F2 - тоже запустится анализ.

**Add:** Эта команда добавляет новую строку графика, после строки, где установлен курсор. Строка графика состоит из полей опций и полей выражений, характеризующих оси графика X и Y.

**Delete:** Эта команда удаляет строку графика, которая содержит курсор.

**Expand:** Эта кнопка расширяет текстовое поле, где находится курсор в большое диалоговое окно для редактирования и просмотра. Чтобы использовать эту кнопку, выделите мышью нужное текстовое поле и нажмите кнопку.

**Stepping:** Эта команда вызывает диалоговое окно пошагового анализа.

**Help:** Эта команда вызывает подсказку.

### Числовые пределы

**Time Range:** Это поле указывает временные границы анализа. Формат: tmax, tmin. Например, "3u,1u" указывает промежуток от 1 микросекунды до 3 микросекунд. По умолчанию tmin = 0.

**Maximum Time Step:** Это поле обуславливает максимальный временной шаг для анализа. Micro-Cap выбирает наибольший возможный шаг по алгоритму адаптивной временной дискретизации, учитывая параметр RELTOL, причем погрешность дискретизации определяется автоматически. Мелкий шаг создает большее количество точек графика, крупный – меньшее. Точность контролируется встроенным механизмом LTE (Local Truncation Error). По умолчанию значение шага (tmax-tmin)/50.

**Number of Points:** это поле указывает количество расчетных точек. По умолчанию - 51.

**Temperature:** Это поле указывает температурные условия работы схемы, которые обычно указываются в градусах по Цельсию. Формат описания следующий: высшая точка, низшая точка, шаг изменения. Температура изменяется от низшей до высшей с указанным шагом. Один полный анализ проводится для каждого температурного изменения. Переменная текущей температуры называется TEMP и может использоваться в других выражениях.

### Waveform Options – опции форм графиков

Эти поля находятся ниже числовых пределов. Каждая опция свойств графика действует только на график в своей строке. Опции следующие:

**X Log/Linear Scale:** Линейный или экспоненциальный масштаб по оси X. Иконка слева - экспоненциальный масштаб, справа - линейный.

**Y Log/Linear Scale:** Аналогичная опция для оси Y.

**Color:** Вызывает меню цветов. Есть 16 цветов для каждого конкретного графика.

**Numeric Output:** Эта кнопка выбирает график для цифрового вывода. Этот вывод производится в файл CIRCUITNAME.ANO и показывается в окне Numeric Output.

**User File:** Если эта кнопка нажата, тогда выражение Y в этой строке будет сохранено в пользовательский файл в табличном виде. Таблица позже может быть использована в других схемах пользовательских устройств, которые читают этот файл. Для дальнейшей информации обращайтесь к соответствующим разделам. Количество сохраняемых значений зависит от RELTOL:

$$\text{Количество значений} = 2^{(6 - \lg(\text{RELTOL}))}$$

Например, типичные значения RELTOL Number of values .001 512 .0001 1024 .00001 2048

**Monte Carlo:** Эта опция применяет к выходным параметрам алгоритмы Монте - Карло. Эти алгоритмы производят статистический анализ выбранного параметра, причем для анализа может быть выбран только один параметр.

**Plot Group(P):** Число от 1 до 9 в этом столбце делит графики на различные группы. Все графики с одним номером находятся в одной группе. Если поле - не заполнено, то это значит, что данный график не выводится на экран.

### Expressions

Эти поля указывают диапазон значений шкалы (X) и (Y) для графиков и выражений. Micro-Cap может обрабатывать большой набор переменных и выражений для каждой оси. Обычно, они легки для понимания, как F(частота) или V(1) (напряжение в узле схемы № 1). Хотя, могут быть выражения и сложнее, например, V(2)\*I(V1). Примеры:

D(A) дискретный сигнал в узле A  
V(A) напряжение в узле A

$V(A,B)$  разность потенциалов в узлах A и B  
 $V(D)$  падение напряжения на элементе D  
 $I(D)$  ток через элемент D  
 $I(A,B)$  ток между точками A и B  
 $IR(Q)$  ток, например, коллектора транзистора Q  
 $VRS(Q)$  падение напряжения, например, между базой и эмиттером Q  
 $CRS(Q)$  емкость, например, между базой и эмиттером Q  
 $R(R)$  сопротивление резистора R  
 $C(X)$  емкость конденсатора или диода X  
 $Q(X)$  добротность конденсатора или диода X  
 $L(L)$  индуктивность катушки или дросселя L  
 $X(L)$  поток в катушке или дросселе L  
 $B(L)$  индукция B поля или дросселя L  
 $H(L)$  напряженность H поля дросселя L  
 $T$  время  
 $F$  частота  
 $S$  комплекс  $= 2 \cdot \pi \cdot F \cdot j$   
 $RND$  датчик случайных чисел ( $0 \leq RND \leq 1$ )

$ONoise$  напряжение помехи на выходном узле  
 $INoise$  напряжение помехи на входе ( $ONoise / \text{коэф. усиления}$ )

**X expression:** поля в этом столбце используются для определения выражений оси X. Могут использоваться - T (время), иногда H(K1) (поле H элемента K1).

**Y expression:** выражения для оси Y. Обычно, здесь записаны выражения напряжений между контактами, например, V(12,11), или источника тока I(V1), но иногда записываются и сложные выражения такие, как  $V(VCC) \cdot I(VCC)$  (мощность источника VCC).

**X range:** определяет границы диапазона графиков по оси X. Формат: Правая граница, Левая граница. Например, чтобы указать промежуток от 1 до 10 микросекунд, нужно писать "10u,1u". Значение левой границы по умолчанию равно нулю. Ключевое слово 'AUTO' также может быть использовано, тогда все границы будут определены автоматически.

**Y range:** то же самое для оси Y.

### Options

Опции Transient Analysis находятся справа. Эти опции контролируются либо выпадающим списком, либо кнопками. Опции Run и устанавливаются выпадающими списками и могут быть доступны двумя путями.

Доступные опции:

### Run Options

**Normal:** запускает моделирование без записи ее на диск.

**Save:** Записывает результаты моделирования на диск. Данные записываются в файл CIRCUITNAME.TSA.

**Retrieve:** Загружает сохраненные ранее данные о моделировании из файла CIRCUITNAME.TSA.

Опции возымеют действие только после повторного проведения анализа.

**Operating Point:** Эта кнопка включает режим построения переходного процесса, когда сначала рассчитываются токи и напряжения схемы по постоянному току для каждой точки, а затем по схемам замещения – амплитуды переменного тока, а на графике видно и то и другое.

**Operating Point Only:** Если включена эта кнопка, то расчет схемы ведется только в режиме переменного тока.

**Auto Scale Ranges:** Данная кнопка включает режим автоматического разбиения шкалы по осям X и Y.

Пример проведения сеанса моделирования приведен на рис. 1.20а),б),в) для усилителя, изображенного на рис. 1.18.

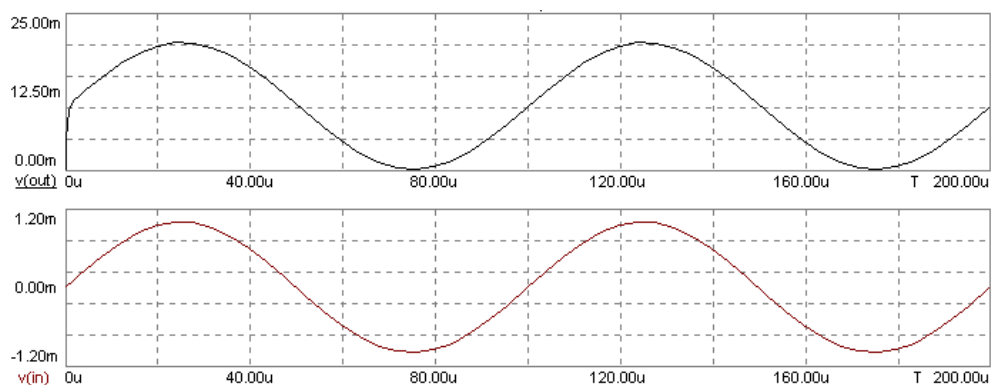


Рис. 1.20а) Моделирование работы усилителя при подаче на его вход гармонического сигнала  $V(\text{In}) = 1\text{ мВ}$ , частотой  $F = 10000\text{ Гц}$ . Коэффициент усиления  $V(\text{out})/V(\text{In})$ .

Режим пошагового анализа при изменении амплитуды входного сигнала показан на рис. 1.20б).

Режим моделирования Монте - Карло при случайных отклонениях резистора  $R2$  в пределах 10% приведен на рис. 1.19в,г).

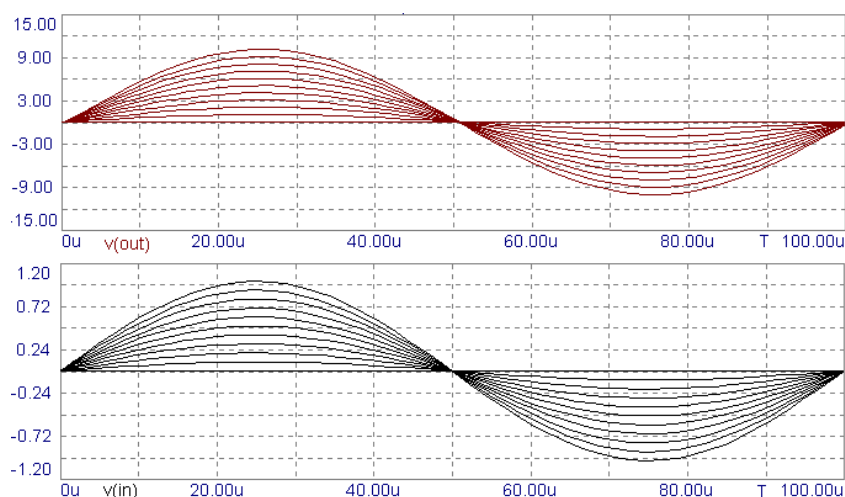


Рис. 1.20б) Пошаговое моделирование работы усилителя при изменении  $V(\text{In})$  от 0 до 1000 мВ.

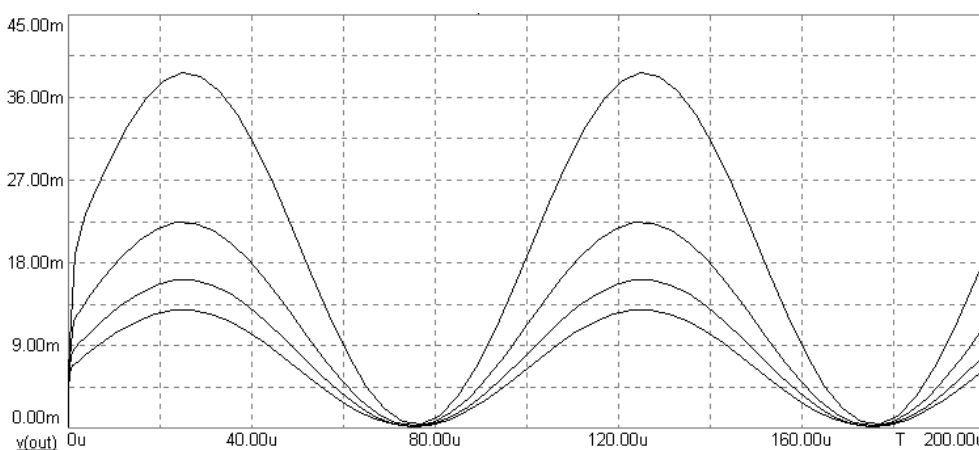


Рис. 1.20в) Амплитуда выходного сигнала усилителя при изменении номинала резистора  $R1$  от 5кОм до 20кОм с шагом 4кОм.

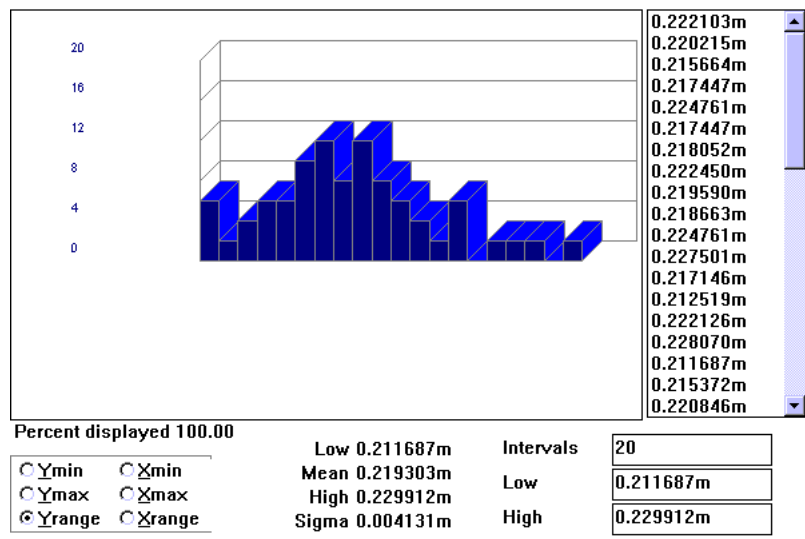


Рис. 1.20г) Гистограмма напряжения  $V(out)$  в интервале моделирования в зависимости от промышленного разброса величины резистора  $R2$ .

### Малосигнальный анализ в частотной области (АС – анализ).

АС-анализ - частотный линейный анализ, осуществляемый Micro-Cap по следующему алгоритму:

1. Рассчитывается режим схемы по постоянному току.
2. Создаются линейные эквиваленты моделей по переменному току для каждого компонента схемы.
3. Создается набор линейных дифференциальных уравнений.
4. Устанавливается частота входного сигнала  $f_{min}$ .
5. Решаются все уравнения для напряжений и токов во всех узлах схемы.
6. Строятся и выводятся запрошенные переменные.
7. Если частота равна  $f_{max}$ , то расчет заканчивается, если иначе – частота увеличивается на один шаг и переходят к пункту 5.

Частотный анализ используется при построении амплитудно – частотных и фазо – частотных характеристик аналоговых схем, а также при расчете реактивной мощности, например, на конденсаторе  $C1$ . При этом следует указывать в строке графика выражение -  $V(C1)*I(C1)$ , а чтобы построить реактивную мощность катушки индуктивности  $L1$ , указывайте -  $V(L1)*I(L1)$ .

### АС-анализ: окно управления.

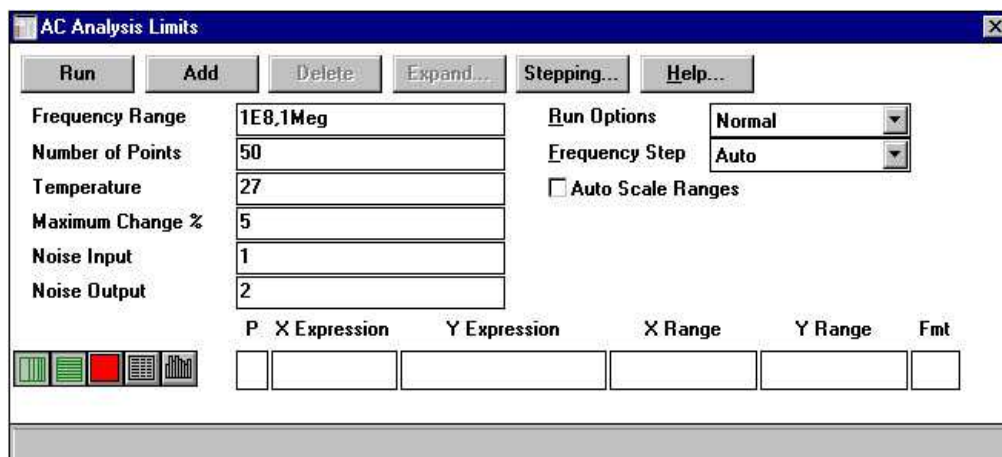


Рис. 1.21. Диалоговое окно АС-анализа.

Когда выбирается АС-анализ из меню Analysis, Micro-Cap тестирует схему и готовит внутренние структуры к анализу. Если ошибки не найдены, на экран выводится диалоговое окно АС-анализа. Называется оно Analysis Limits. Это диалоговое окно позволяет ввести данные, выбирать диапазон частоты, количество точек, графики. Диалоговое окно Analysis Limits разделено на пять областей: Кнопки, Числовые пределы, Опции формы графика, Выражения, и Опции.

Область "кнопки" аналогична такой же области при временном анализе.

### **Числовые пределы**

**Frequency range:** Это поле определяет диапазон частот. Формат - fmax , fmin. Например, чтобы определить диапазон от 10 Гц до 100 кГц, печатайте его в следующем виде "100K, 10". Анализ начинается подстановкой частоты fmin и идет до тех пор, пока частота не изменится до fmax. Ввод одиночного значения производит одиночное вычисление для заданного значения частоты.

**Number of points:** В АС-анализе, данные рассчитываются в следующих оцифрованных точках:

Для фиксированного линейного метода:

$(f_{max}-f_{min})/(\text{Number of Points} - 1)$

Для фиксированного логарифмического метода:

$(f_{max}/f_{min})^{(1/(\text{Number of points} - 1))}$

**Temperature:** Это поле указывает температурные значения в градусах по Цельсию. Формат описания - следующий: высшая точка ,низшая точка ,шаг изменения.

**Maximum change:** Указывает допуск изменения графика, что полезно для создания плавных кривых. Формат: Node1, Node2. Две точки разделяются запятой.

### **Waveform Options**

Эти поля находятся ниже Числовых пределов. Каждая опция свойств графика действует только на график в своей строке. Опции аналогичны временному анализу.

### **Options (Опции)**

Опции АС находятся справа. Эти опции контролируются либо выпадающим списком, либо кнопками. Опции Run и Frequency Step устанавливаются выпадающими списками и могут быть доступны двумя путями.

Доступные опции:

### **Run Options**

Normal: запускает симуляцию без записи ее на диск.

Save: Записывает симуляцию на диск. Данные записываются в файл CIRCUITNAME.ASA.

Retrieve: Загружает сохраненные ранее данные о симуляции из файла CIRCUITNAME.ASA.

### **Frequency Step**

Auto: Этот метод использует свои алгоритмы для построения наиболее четкого и полезного графика, автоматически подбирая частоту.

Fixed Linear: устанавливает изменение частоты в линейный режим.

Fixed Log: устанавливает изменение частоты в логарифмический режим.

**Auto Scale Ranges:** Все границы по осям координат выбираются автоматически.

Пример частотного анализа схемы усилителя приведен на рис. 1.22.



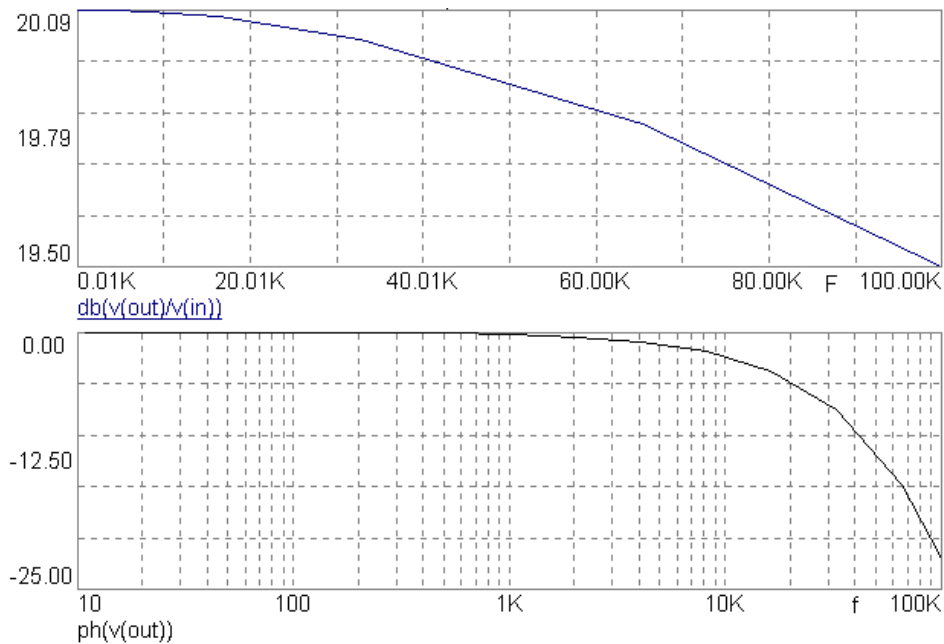


Рис. 1.22. Амплитудно – частотная (в dB) и фазо - частотная (в градусах) характеристики усилителя в диапазоне 10 кГц – 100 кГц.

### Расчет передаточных функций по постоянному току (DC анализ)

Анализ по постоянному току предполагает расчет токов и напряжений во всех узлах схемы и дает возможность построить ее статическую характеристику. В ходе этого анализа формируется и решается система нелинейных алгебраических уравнений итерационным методом Ньютона-Рафсона и открывает окно управления.

#### DC-анализ: окно управления.

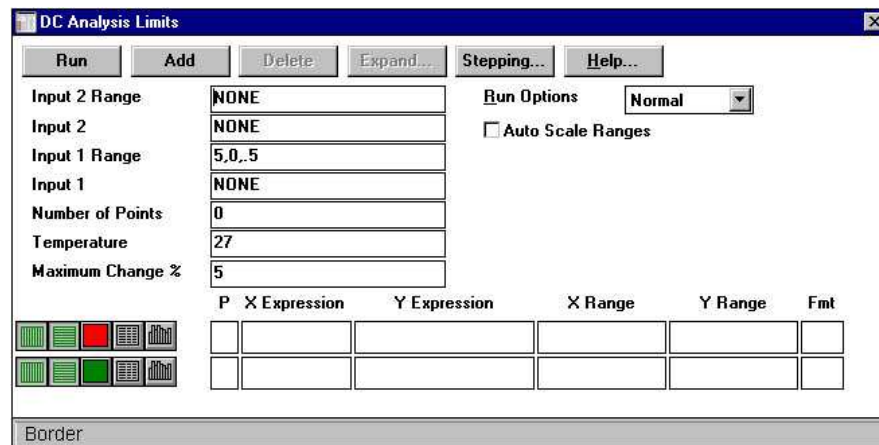


Рис. 1.23. Диалоговое окно DC-анализа.

Меню "кнопки" режима DC аналогично режиму временного анализа.

#### Числовые пределы

**Input 2 range:** Это поле указывает начальное значение, конечное значение, и размер шага второго входа. Формат: конечное значение, начальное значение, шаг.

**Input 2:** Это поле указывает название второго входа. Следует ввести слово "NONE" если второй вход не используется.

**Input 1 range:** Это поле указывает начальное значение, конечное значение, и величину шага первого входа. Формат: конечное значение, начальное значение, максимальный шаг.

**Input 1:** Название первого входа.

**Number of Points:** это поле указывает количество расчетных точек. По умолчанию - 51, минимальное значение -5. Например, если вычислено 100 значений, а запрошены были 200 значений, то их значения вычисляются благодаря линейной интерполяции.

**Temperature:** Это поле указывает температурные значения.

**Maximum change:** Указывает допуск изменения графика, что полезно для создания плавных кривых. Формат: Node1[, Node2]. Две точки разделяются запятой.

**Waveform Options** Эти поля находятся ниже Числовых пределов. Каждая опция свойств графика действует только на график в своей строке. Опции аналогичны временному анализу.

**Options (Опции)**

Опции DC находятся справа. Эти опции контролируются либо выпадающим списком, либо кнопками.

**Auto Scale Ranges:** Все границы по осям координат выбираются автоматически.

Пример анализа усилителя по постоянному току при изменении температуры окружающей среды приведен на рис. 1.24.



Рис. 1.24. Статическая характеристика усилителя  $V(\text{Out}) = F(V(\text{In}))$  в диапазоне температур – 50 - +70°C с шагом 20°C.

**Редактор переменных состояния** используется для обзора или редактирование значений начальных условий для решения системы уравнений. Редактор показывает список напряжений, токов, цифровых уровней узлов. Прокрутка могут быть использована для обзора тех значений, которые не видны. Все значения могут быть изменены.

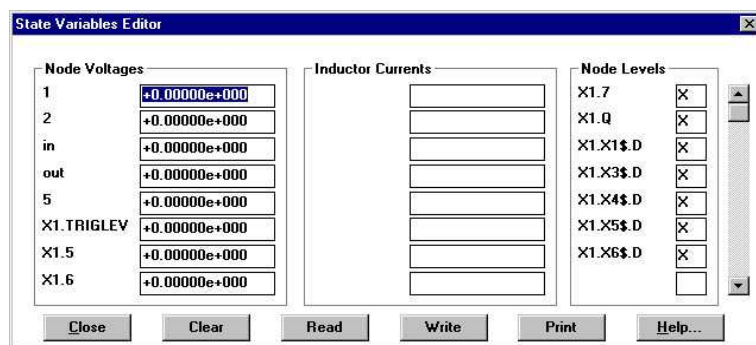


Рис. 1.25. Диалоговое окно редактора переменных состояния.

Кнопки меню предназначены для следующих действий:

**Close:** закрывает редактор.

**Clear:** немедленно устанавливает все аналоговые значения в ноль, а дискретные в состояние "X".

**Read:** Немедленно читает данные из файла CIRCUITNAME.TOP. Его можно создать с помощью команды Write.

**Write:** Записывает все измененные значения в специальный файл на диске для последующего считывания либо редактором, либо при проведении анализов CIRCUITNAME.TOP.

**Print:** Копирует значения в файл и окно называемое CIRCUITNAME.SVV. Чтобы послать значения на принтер нужно либо в файле, либо в окне с данными выполнить команду print.

**Help:** Вызывает подсказку по редактору переменных состояния. Очень важно запомнить, что редактор делает немедленные изменения, не дожидаясь конца анализа, в то время как команды Zero и Read в меню анализов действуют после начала следующего анализа.

**Числовой вывод** может быть осуществлен через выражения для осей X и Y каждого графика нажатием на кнопку Numeric Output в строке нужного параметра. Цифровые выводы могут быть нескольких типов.

Вывод сохраняется в следующие файлы в зависимости от типа произведенного анализа:

Тип анализа	Имя файла
временной	CIRCUITNAME.TNO
AC	CIRCUITNAME.ANO
DC	CIRCUITNAME.DNO

Результаты цифрового вывода печатаются в окне Numeric Output. Это окно доступно после прохождения анализа.

### Спектральный анализ

Анализ Фурье встроен в диалоговое окно Временного Анализа в тригонометрической и комплексной формах (операторы HARM и FFT).

Первое и главное условие для проведения спектрального анализа - это получение графиков в течение одного цикла. Если график представляет не- периодическую функцию или не рассчитывается за один цикл, гармоники, рассчитываемые с помощью анализа Фурье, могут не согласоваться с ожидаемыми. Если схема должна работать какое-то время, чтобы прийти к устойчивому состоянию, смотрите раздел "Игнорирование переходного процесса". Поля для анализа Фурье в окне Временного Анализа - следующие:

**Time Range:** временные границы, устанавливают частоту первой гармоники следующим выражением:

$$f_0 = 1 / \text{Time range}$$

Когда производится анализ Фурье, в спектре показываются только основные гармоники. Если вы хотите наблюдать больше гармоник, устанавливайте временные границы кратные периоду основной гармоники.

**Maximum Time Step:** Этот шаг контролирует количество вычисляемых гармоник. Меньший шаг создает больше данных и потому больше гармоник. Алгоритм требует, чтобы количество точек данных было кратно степени 2 (512 или 4098, например). Когда происходит Временной Анализ, этот параметр контролирует количество вычисляемых точек данных. Например, если время моделирования установлено в 1мкс и Maximum Time Step установлен 2нс, то будет рассчитано минимум 500 точек данных. Так как это число близко к 512, т.е. степени 2, то при временном анализе будет вычисляться 512 точек для анализа Фурье. Количество гармоник равно количеству точек данных для анализа Фурье, поделенному на 2. Если вы моделируете 1мкс с шагом 2нс, то будет получено 512 точек данных для Фурье, и это создаст 256 гармоник кратных 1МГц.

В качестве примера рекомендуется просмотреть файлы FFT1.cir и FFT3. cir в библиотеке Micro-Cap, а также графики, где моделируются источник напряжения NF, описываемый непериодической функцией времени и источники одиночных импульсов, показанные на рис. 1.27.

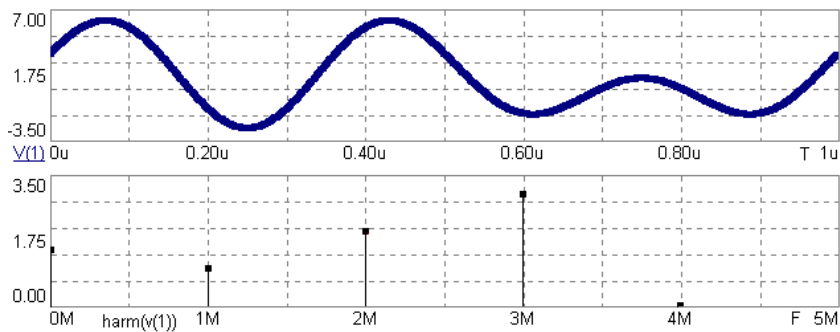


Рис. 1.26. Спектральный анализ функции:

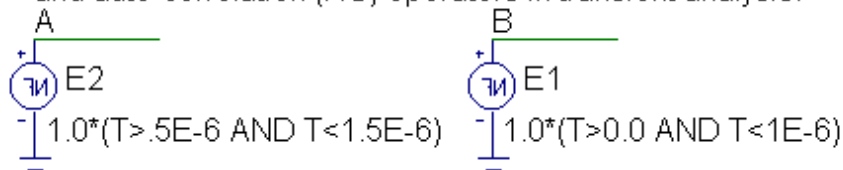
NF  $V(1) = 1.5 + 1 \cdot \sin(2\pi \cdot 1 \cdot e6 \cdot t) + 2 \cdot \cos(2\pi \cdot 2 \cdot e6 \cdot t) + 3 \cdot \sin(2\pi \cdot 3 \cdot e6 \cdot t)$  –  
тригонометрическая форма.

Кроме этого, MC5 поддерживает следующие операторы обработки аналоговых сигналов, которые помещаются строку графика Y Expression:

HARM(u)	Спектральный анализ Фурье функции (u)
THD(S)	Общее гармоническое искажение спектра (S) в процентах от первой гармоники
FFT(u)	Дискретное преобразование Фурье функции (u) $X(k) = \text{Sum from } n=0 \text{ to } N-1 \text{ of } (x(n) \cdot \exp(-2\pi \cdot j \cdot k \cdot n/N))$
IFT(S)	Обратное преобразование Фурье спектра (S) $x(k) = (1/N) \cdot \text{Sum from } n=0 \text{ to } N-1 \text{ of } (X(n) \cdot \exp(2\pi \cdot j \cdot k \cdot n/N))$
CONJ(S)	Спектр, сопряженный спектру S
CS(S,S2)	Кросс-спектр S и S2, $\text{CONJ}(\text{FFT}(S) \cdot \text{FFT}(S2))$
AS(S)	Авто - спектр S, $\text{CS}(S,S)$
CC(u,v)	Кросс - корреляция функций u и v, $\text{IFT}(\text{CS}(u,v))$
AC(u)	Автокорреляция функции u. $\text{IFT}(\text{AS}(u))$
COH(u,v)	Сцепление u и v, $\text{CC}(u,v)/\sqrt{\text{AC}(u(0)) \cdot \text{AC}(v(0))}$
REAL(S)	Вещественная часть спектра S
IMAG(S)	Мнимая часть спектра S
MAG(S)	Амплитуда спектра S
PHASE(S)	Фаза спектра S с помощью анализа Фурье

#### Signal Processing operators

This circuit illustrates the use of the cross-correlation (CC) and auto-correlation (AC) operators in transient analysis.



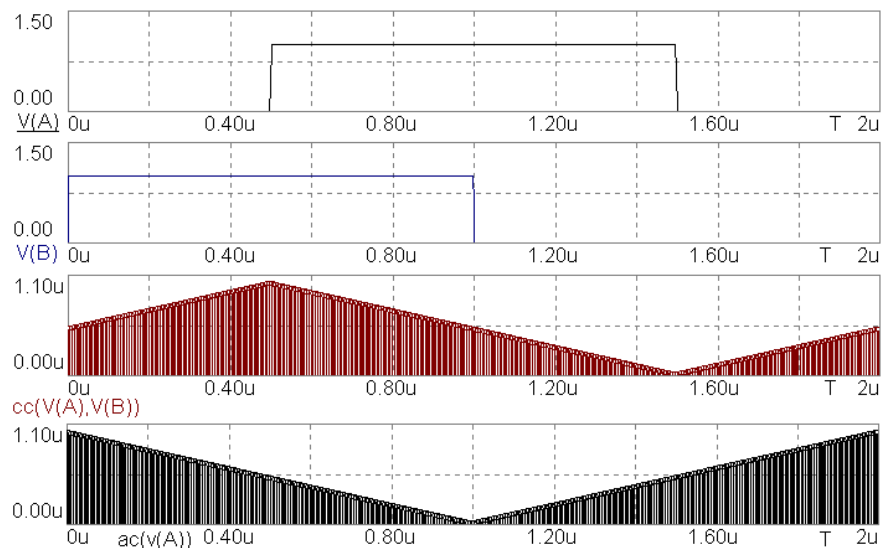


Рис. 1.27. Кросс – корреляционная и автокорреляционная функции одиночных импульсов V(A), V(B). В верхней части рисунка показаны модели одиночных импульсов.

Некоторые другие операторы обработки аналоговых сигналов приведены ниже:

ABS(y)	Абсолютное значение y, $ y $
dB(y)	Децибелл $20 \cdot (\log  y )$
SQRT(y)	Квадратный корень из y, $\sqrt{y}$
SGN(y)	Оператор Sign, +1 if $y > 0$ , -1 if $y < 0$ , 0 if $y = 0$
POW(y,x)	Оператор мощности, $y^x$
RMS(y)	Среднеквадратическое отклонение y по времени
AVG(y)	Среднее значение y по времени
SUM(y, x)	Вычисление интеграла функции y от x
DEL(y)	Оператор дельта, например, $DEL(y)/DEL(t)$ производная y.
IMPORT(f, y)	Импорт функции y из файла f. Файл должен иметь табличную структуру файлов SPICE или MC5.
RE(X)	Действительная часть X
IM(X)	Мнимая часть X
MAG(X)	Амплитуда X
PH(X)	Фаза X в градусах
GD(X)	Групповое время задержки, $Delta(фаза\ X)/Delta(частота)$

**Пример проектирования логической схемы мультиплексора** приведен на рис. 1.28. На схеме показаны три разновидности логических устройств, описываемых тремя типами моделей:

- Элементы И, ИЛИ, НЕ включающие простейшую модель, состоящую из пространственной и временной составляющих.
- Генераторы двоичных последовательностей U1, U6 и др., описываемые пространственной составляющей и программной конструкцией с директивой .DEFINE ....
- Дешифратор 74145 описываемый подсхемой - процедурой .SUBCKT.

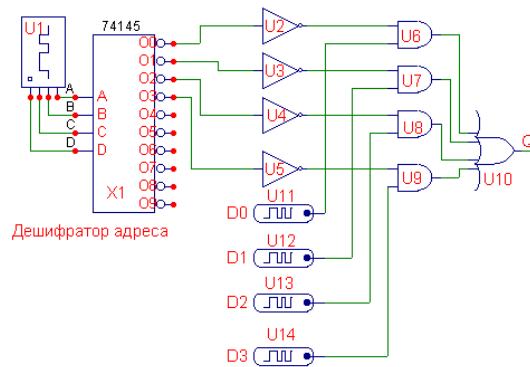


Рис. 1.28. Полностью введенная схема мультиплексора.

Перечень моделей компонент мультиплексора приведен ниже:

```
.DEFINE IN – динамическая модель генератора двоичных сигналов ABCD
+0NS 0
+LABEL=START
+100NS INCR BY 1
+200NS GOTO START -1 TIMES
.MODEL D0_GATE UGATE () – идеальная (безынерционная) модель логических элементов И,
ИЛИ, НЕ
.DEFINE a – статическая модель источника рабочего входа A
+0NS 1
.DEFINE b - статическая модель источника рабочего входа B
+0NS 0
.DEFINE c - статическая модель источника рабочего входа C
+0NS 1
.DEFINE d - статическая модель источника рабочего входа D
+0NS 1
```

Исследование дискретных схем производится в основном в режиме временного анализа, который позволяет оценить работоспособность в соответствии с таблицей истинности или логическим уравнением. В частности, для схемы мультиплексора, на рис. 1.29 показана временная диаграмма.

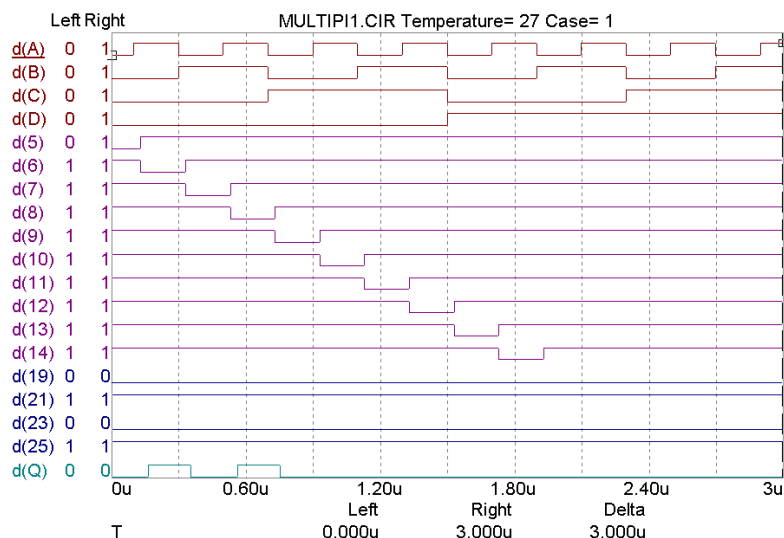


Рис. 1.29. Временная диаграмма функционирования мультиплексора.

Как видно из диаграммы, параллельный рабочий код на входе мультиплексора 0101 (d(19), d(20), d(21), d(25)) преобразуется в последовательный на его выходе d(Q).

Если элементы схемы одинаковы, то все пути прохождения сигналов на выход имеют одинаковую задержку и, как видно из диаграммы состязания сигналов отсутствуют, а, соответственно, и помехи. Однако, при различной задержке сигналов на разных путях, в схеме могут иметь место состязания сигналов, что приведет, как показано на рис. 30, к возникновению "лишнего нуля" - помехи на выходе  $d(Q)$  типа 10101, при входном параллельном коде 1011.

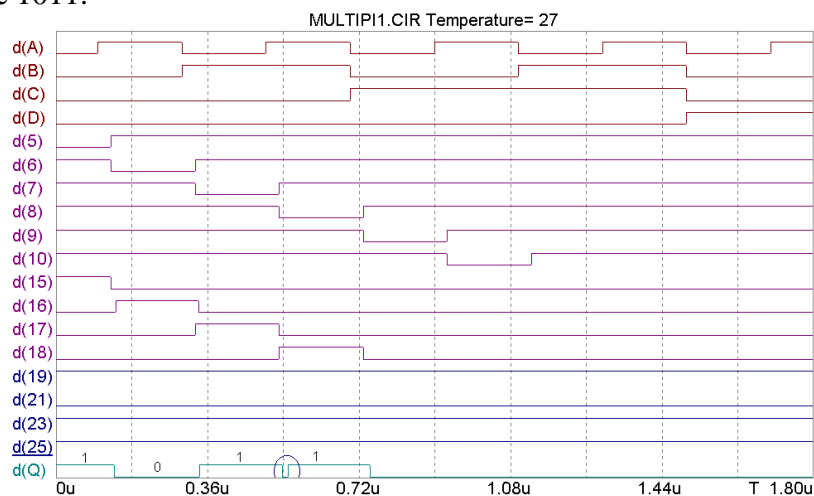


Рис. 1.30. Возникновение состязаний (гонок) в схеме мультиплексора.

В окне временного анализа могут также использоваться нижеприведенные операторы обработки дискретных сигналов:

HEX(A,B,C,D) Шестнадцатеричное представление переменных A, B, C, D.

BIN(A,B,C,D)	Бинарное представление	A, B, C, D.
--------------	------------------------	-------------

DEC(A,B,C,D) Десятичное представление A, B, C, D.

ОСТ(A,B,C,D) Восьмеричное представление A, B, C, D.

AND            Оператор И

## NAND Оператор И-НЕ

NOR	Оператор ИЛИ-НЕ
-----	-----------------

NOT Инверсия НЕ

OR    Оператор ИЛИ

XOR      Оператор ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ.