

Физические основы электроники

Практическое занятие 1

**Занятия проводит
доцент, к. т. н.
О. Л. Соколов**

Занятие 1

Исследование R-C и R-D – делителей напряжения

1. Цель занятия

Усвоить методику анализа формирующих и преобразующих свойств пассивных делителей напряжения.

Научиться определять по известной схеме её рабочий режим или по заданному режиму рассчитывать параметры элементов схемы, обеспечивающие этот режим.

Научиться анализировать переходные процессы в делителях, вызванные наличием в схеме энергоёмких элементов.

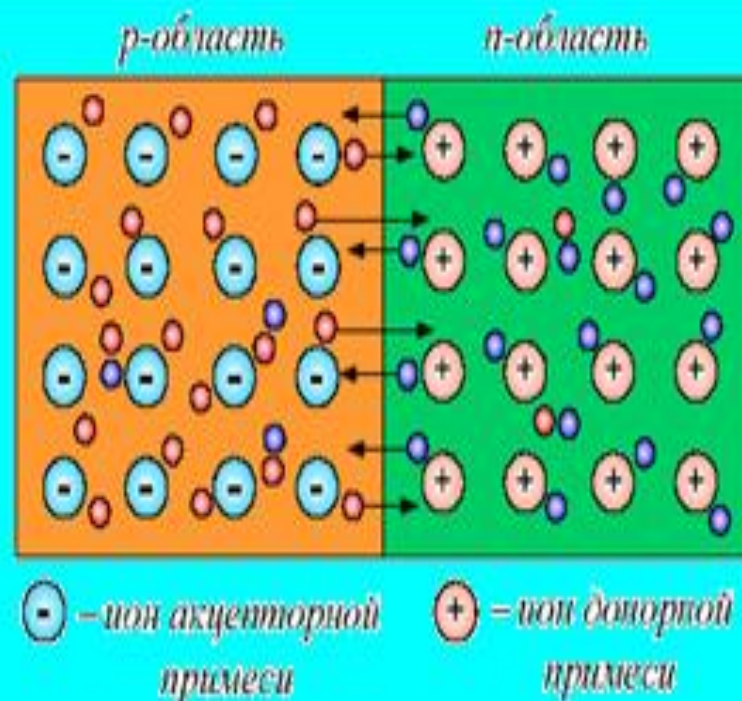
Электронно-дырочный переход

Работа целого ряда полупроводниковых приборов (диодов, транзисторов, тиристоров и др.) основана на явлениях, возникающих в контакте между полупроводниками с разными типами проводимости, либо в точечном контакте полупроводника с металлом. Граница между двумя областями монокристалла полупроводника, одна из которых имеет электропроводность типа p , а другая – типа n называется электронно-дырочным переходом. Концентрации основных носителей заряда в областях p и n могут быть равными или существенно отличаться.

P – n -переход, у которого концентрации дырок и электронов практически равны $N_{акц} \approx N_{дон}$, называют *симметричным*. Если концентрации основных носителей заряда различны ($N_{акц} \gg N_{дон}$ или $N_{акц} \ll N_{дон}$) и отличаются в 100...1000 раз, то такие переходы называют *несимметричными*.

Несимметричные p - n -переходы используются шире, чем симметричные, поэтому в дальнейшем будем рассматривать только их.

Рассмотрим монокристалл полупроводника (рис.), в котором, с одной стороны, введена акцепторная примесь, обусловившая возникновение здесь электропроводности типа p , а с другой стороны, введена донорная примесь, благодаря которой там возникла электропроводность типа n .



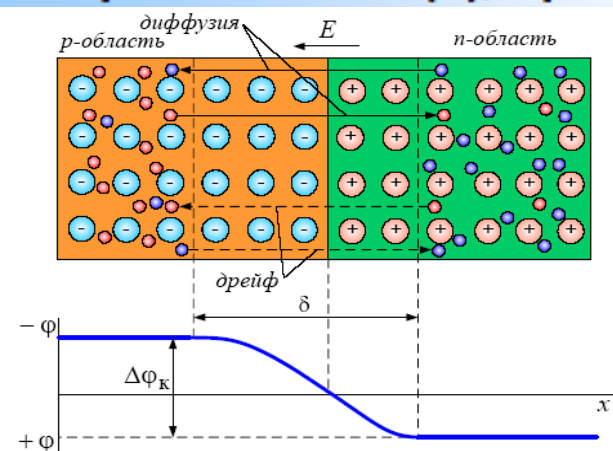
Любой электронный прибор интересен, прежде всего, с точки зрения его управляемой проводимости.

Величина проводимости полупроводникового диода на основе p — n -перехода определяется в основном потенциальным барьером, возникающем в переходном слое за счет возникновения там некомпенсированного объемного заряда ионов донорной и акцепторной примесей.

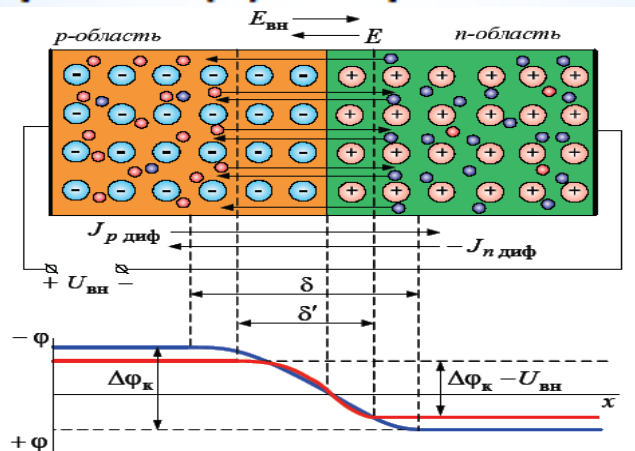
Любой электронный прибор интересен, прежде всего, с точки зрения его управляемой проводимости.

Величина проводимости полупроводникового диода на основе p — n -перехода определяется в основном потенциальным барьером, возникающем в переходном слое за счет возникновения там некомпенсированного объемного заряда ионов донорной и акцепторной примесей.

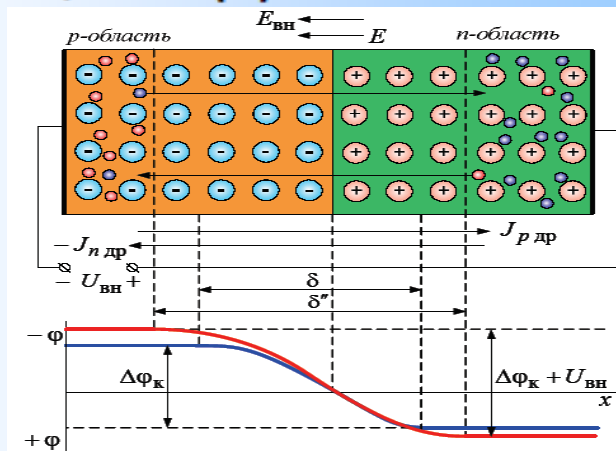
На рисунках показаны структуры p — n -перехода в состоянии равновесия (а), при прямом (б) и обратном смещении (в).



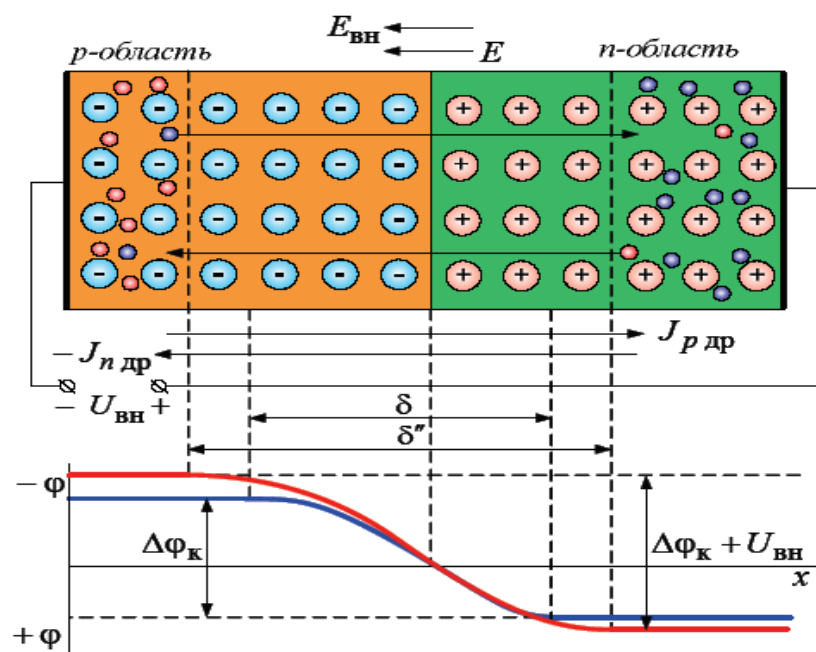
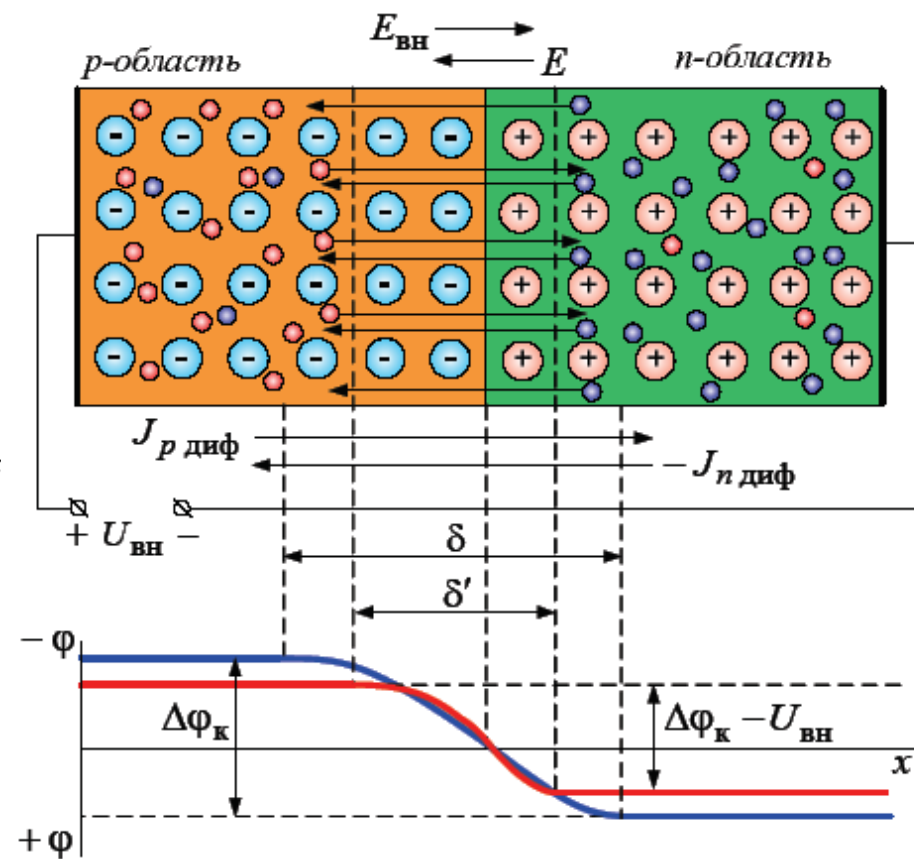
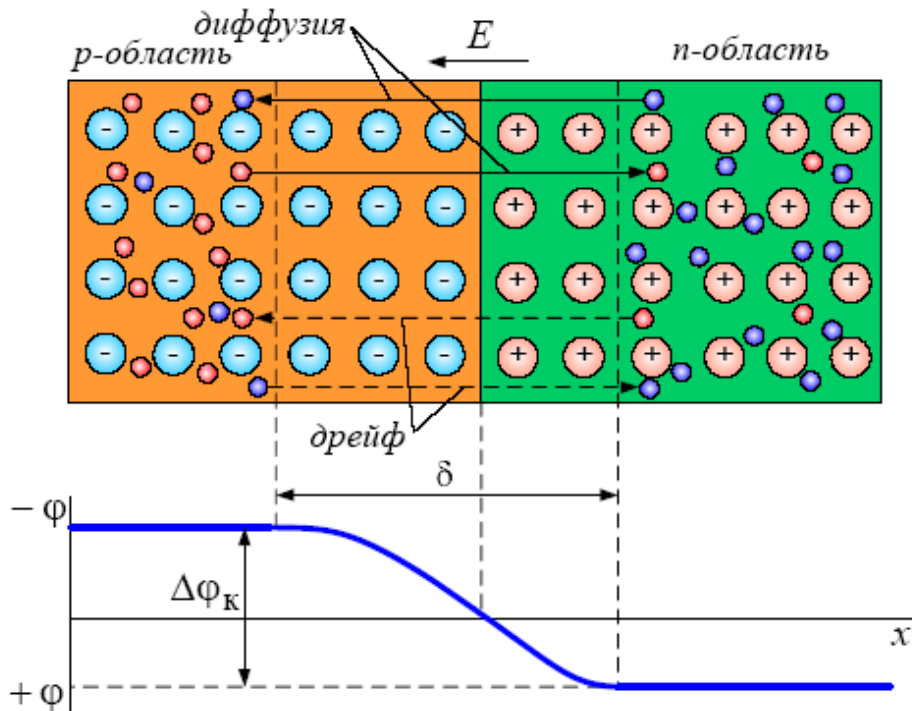
а



б



в



Величина потенциального барьера при прямом смещении уменьшается, проводимость структуры резко возрастает и во внешней цепи устанавливается прямой ток, величина которого определяется сопротивлением внешней по отношению к прибору цепи (рис. б).

При обратном смещении p — n -перехода величина потенциального барьера (рис. в) возрастает (также увеличивается ширина запирающего слоя $\delta' > \delta$) и основные носители заряда n (электроны) и p (дырки) не могут преодолеть этот барьер.

Неосновные носители при обратном смещении переносят небольшой ток $I_{0бр}$, определяя низкую проводимость структуры.

В целом влияние на проводимость прибора при изменении внешнего напряжения хорошо демонстрирует его вольтамперная характеристика (ВАХ).

Неосновные носители при обратном смещении переносят небольшой ток $I_{обр}$, определяя низкую проводимость структуры.

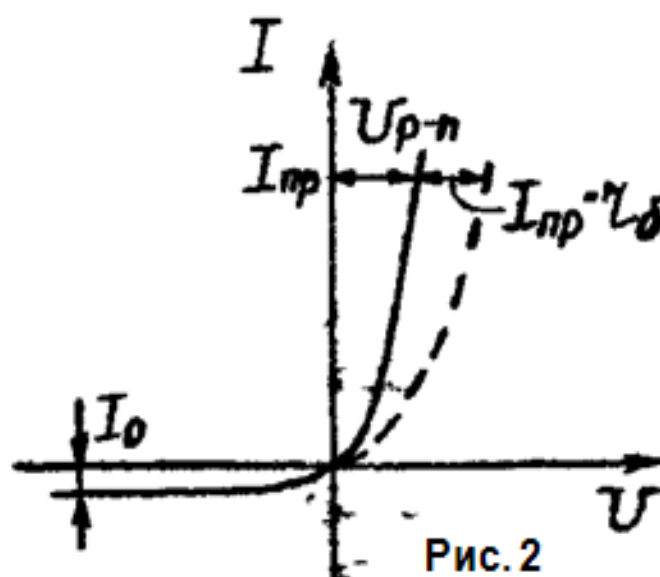
В целом влияние на проводимость прибора при изменении внешнего напряжения хорошо демонстрирует его вольтамперная характеристика (ВАХ).

Формула вольтамперной характеристики идеального $p-n$ -перехода имеет вид

$$I = I_0(e^{U/\varphi_t} - 1),$$

где φ_t — температурный потенциал, равный 0,025 при комнатной температуре.

График этой зависимости изображен на рис. 2.



Рабочим режимом диода называется его работа в цепи преобразователя (делителя) напряжения, когда рабочая точка делителя определяется сопротивлением внешней по отношению к диоду цепи.

Схемы $R - D$ делителя напряжения, на вход которого подается от генератора e_T переменное напряжение типа «меандр», с амплитудой E_{Tm} , изображены на рис. 3. а, б.

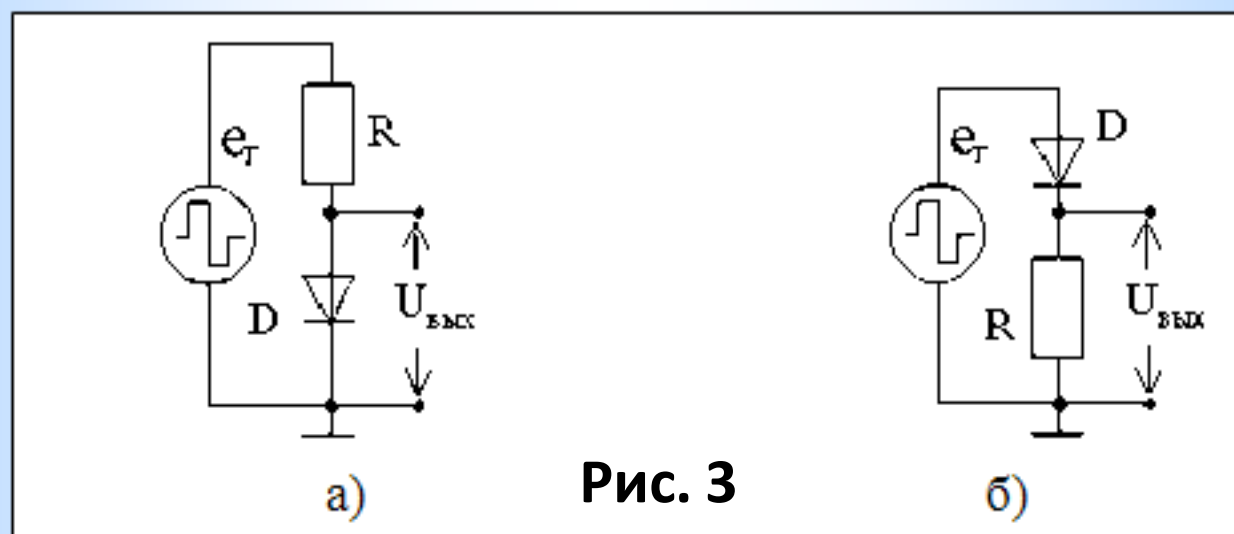


Рис. 3

Рабочей точкой делителя называется точка, соответствующая условию равенства токов его плеч: $i_R = i_d$.

Рабочей точкой делителя называется точка, соответствующая условию равенства токов его плеч: $i_R = i_d$.

Чтобы найти положение рабочей точки графически необходимо построить в одной и той же системе координат графики вольт-амперных характеристик (ВАХ) резистора и диода.

Точка пересечения этих графиков и будет рабочей точкой делителя.

Графики ВАХ диода обычно берутся из справочника или измеряются в лаборатории.

Выражение для ВАХ резистора $i_R = \frac{U_R}{R}$ представляется в ви-

де $i_d = \frac{E_{\Gamma m} - U_d}{R}$, так как $U_R = E_{\Gamma m} - U_d$, а $i_R = i_d$.

Прежде всего следует построить линию **ВАХ** резистора при E_{rm}^+ , а затем— при E_{rm}^- .

Построить линии можно по двум точкам. В первом случае, при E_{rm}^+ , задаемся двумя значениями напряжения на диоде. Например:

$$\text{1-я точка: } U_d = 0\text{В}, i_d = \frac{E_{rm}^+ - 0\text{В}}{R};$$

$$\text{2-я точка: } U_d = 0,3 \text{ В}, i_d = \frac{E_{rm}^+ - 0,3\text{В}}{R}.$$

Во втором случае, при E_{rm}^- , задаемся двумя значениями тока диода, например: $I_d = 0$ и $I_d = 30 \text{ мкА}$.

Крайние рабочие точки траектории находятся как точки пересечения построенных линий **ВАХ** резистора при E_{rm}^+ и E_{rm}^- и **ВАХ** диода (рис. 4).

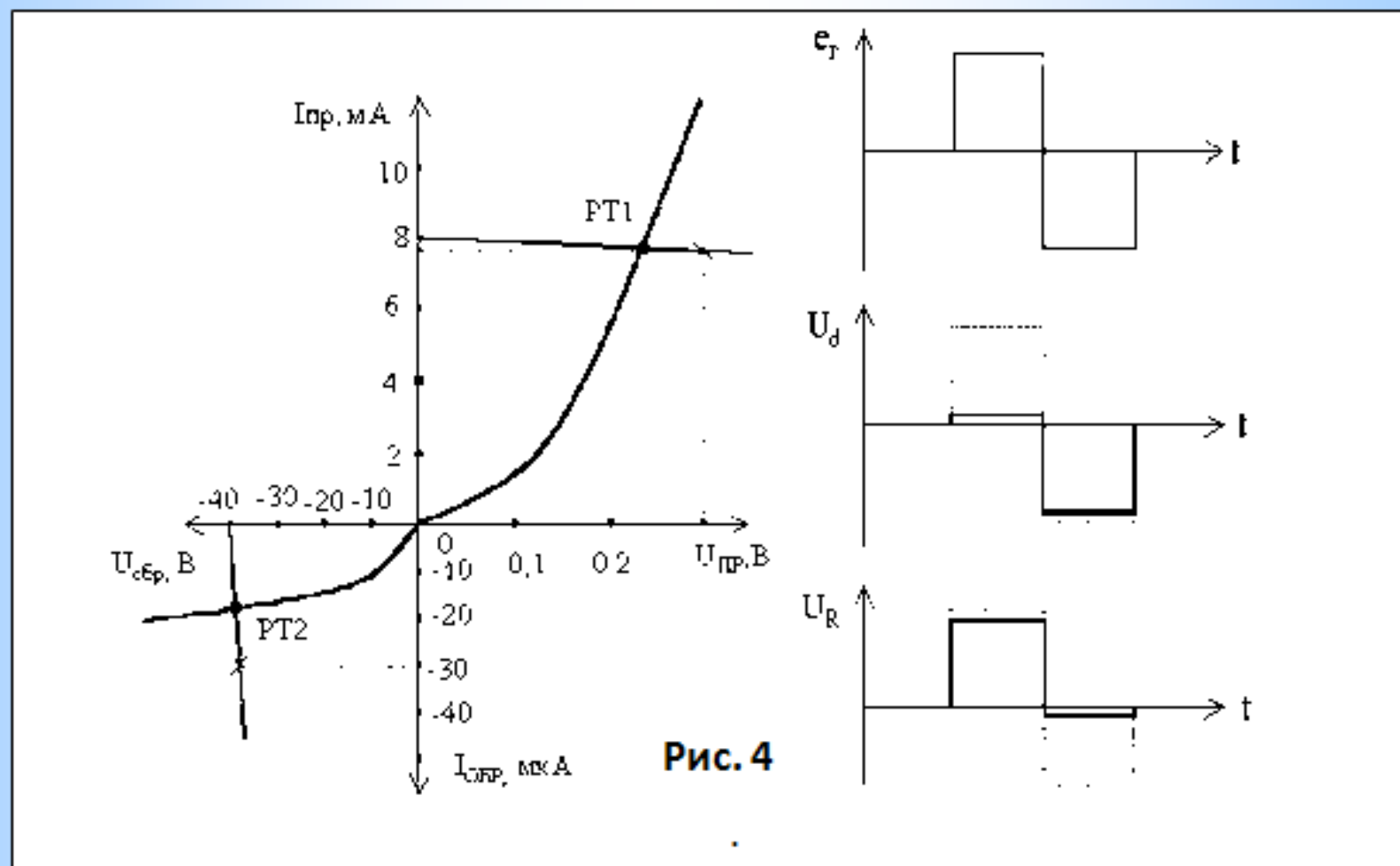


Рис. 4

Таким образом, при изменении напряжения на входе делителя рабочая точка движется по ВАХ диода между этими крайними точками.

По движению рабочей точки можно определить, как меняется напряжение на диоде во времени, и построить необходимые временные диаграммы (рис. 4).

Исследуемые схемы

Перед выполнением практических занятий необходимо ознакомиться со схемами, выполненными в среде «Micro-Cap 9 DEMO».

Схемы делителей напряжения, подлежащие анализу в практических занятиях 1, представлены на рис. 5 и 6.

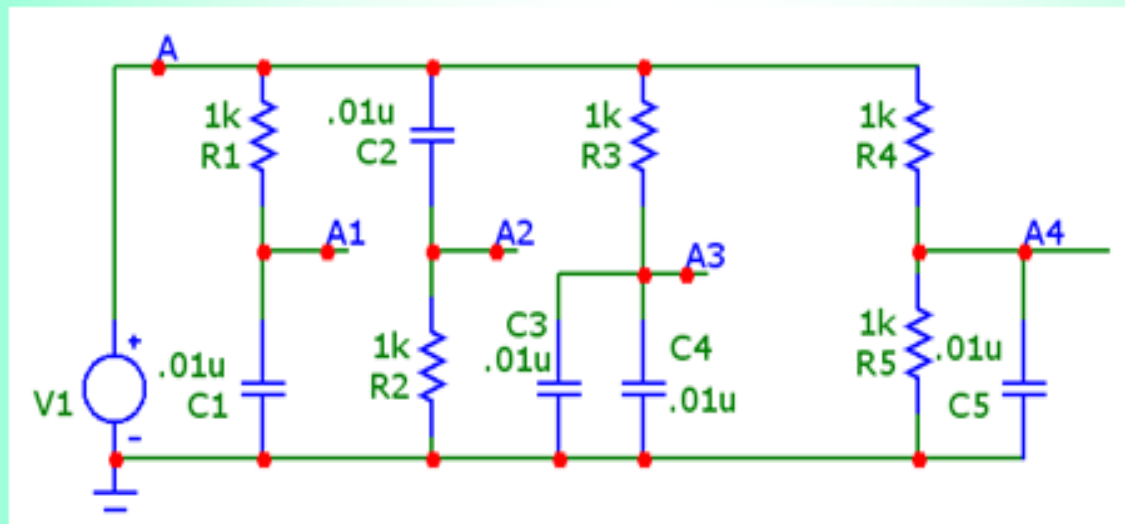


Рис. 5

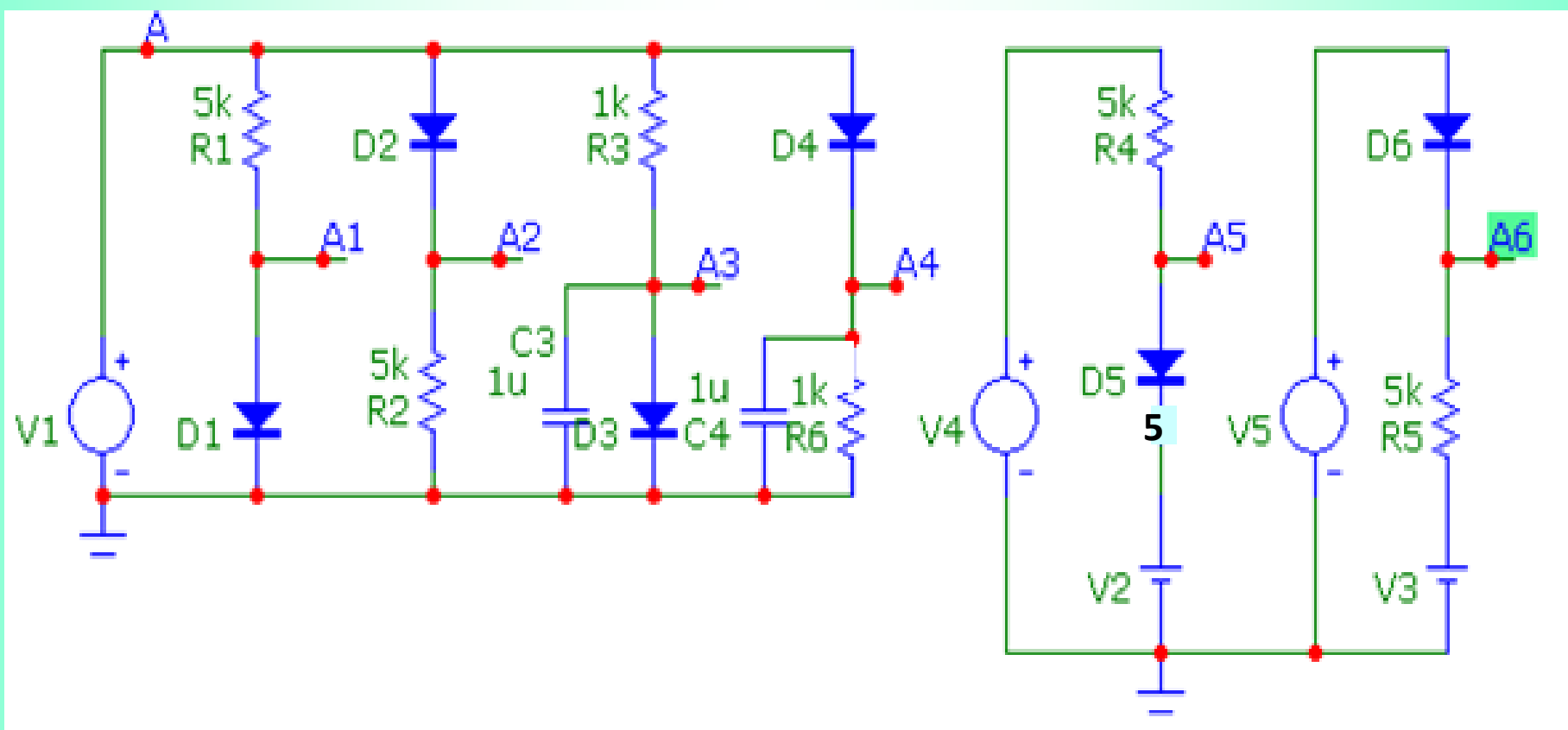


Рис .6

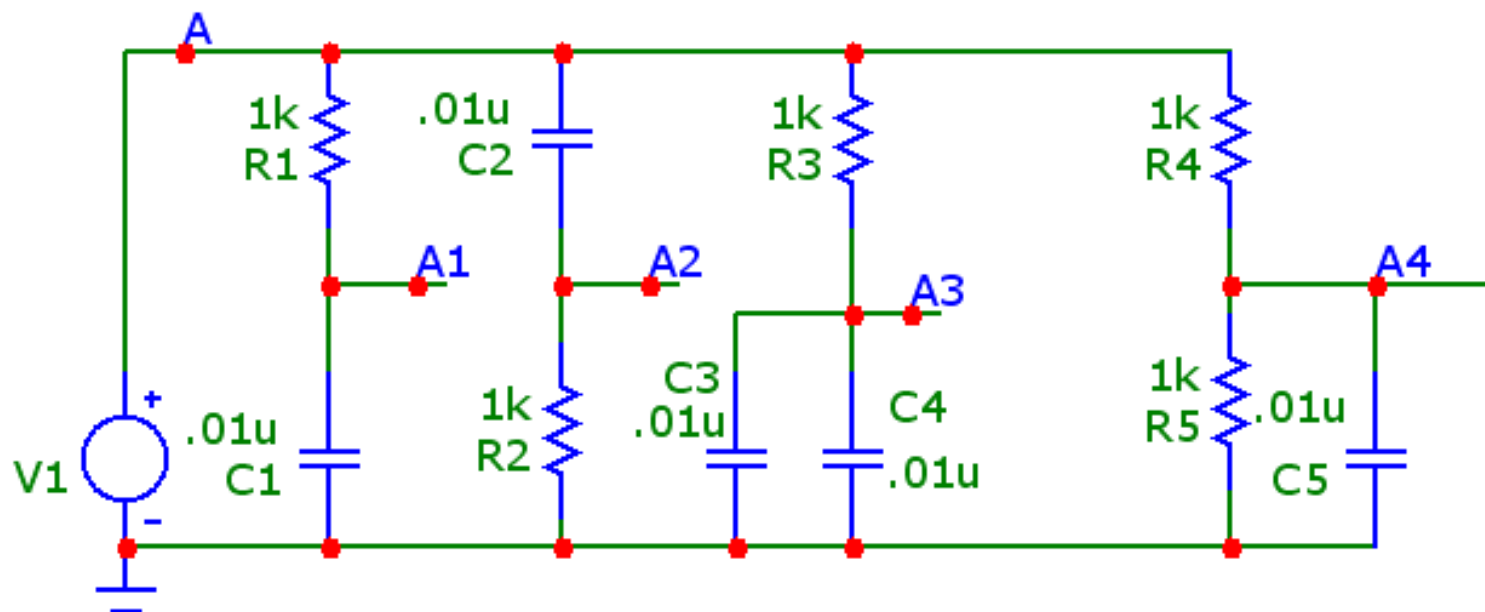


Рис. 5

В делителях напряжения, изображенных на рис.5 , на вход подается последовательность прямоугольных импульсов, с амплитудой 10 В , длительностью 0.1 мс и периодом 0.2 мс .

В среде «Micro-Cap 9 DEMO» необходимо провести временной анализ (Transient), получить временные диаграммы напряжений на резисторе и конденсаторе при известных величинах параметров элементов делителя и определить длительность переходных процессов.

При воздействии на последовательную R-С цепь прямоугольных импульсов напряжения с амплитудой U_0 и длительностью $\tau_{и}$ с момента появления импульса начинается заряд конденсатора. При этом, в моменты времени $0 \leq t \leq \tau_{и}$, напряжения на элементах цепи описываются выражениями:

$$U_C(t) = U_0(1 - e^{-t/\tau_c}), \quad (1)$$

$$U_R(t) = U_0 e^{-t/\tau_c}, \quad (2)$$

где $U_C(t)$ - мгновенное значение напряжения на конденсаторе; $U_R(t)$ - мгновенное значение напряжения на резисторе; e - основание натурального логарифма ($e=2,718$); $\tau_c = RC$ - постоянная времени цепи (R - сопротивление резистора, C - емкость конденсатора); t - время.

После окончания прямоугольного импульса напряжения (при $t \geq \tau_H$), происходит разряд конденсатора, при этом напряжения на элементах цепи описываются выражениями:

$$U_C(t) = U_C(\tau_H) e^{-(t-\tau_H)/\tau_C}, \quad (3)$$

$$U_R(t) = -U_C(\tau_H) e^{-(t-\tau_H)/\tau_C}, \quad (4)$$

где $U_C(\tau_H)$ - напряжение на конденсаторе в момент окончания импуль-

са, которое рассчитывается по формуле (1) при $t = \tau_H$.

Графики напряжений $U_C(t)$ и $U_R(t)$ соответственно представлены на рис. 7.

Постоянная времени цепи τ_C определяет скорость изменения напряжения на элементах R-C цепи. Чем больше τ_C , тем медленнее происходит заряд и разряд емкости.

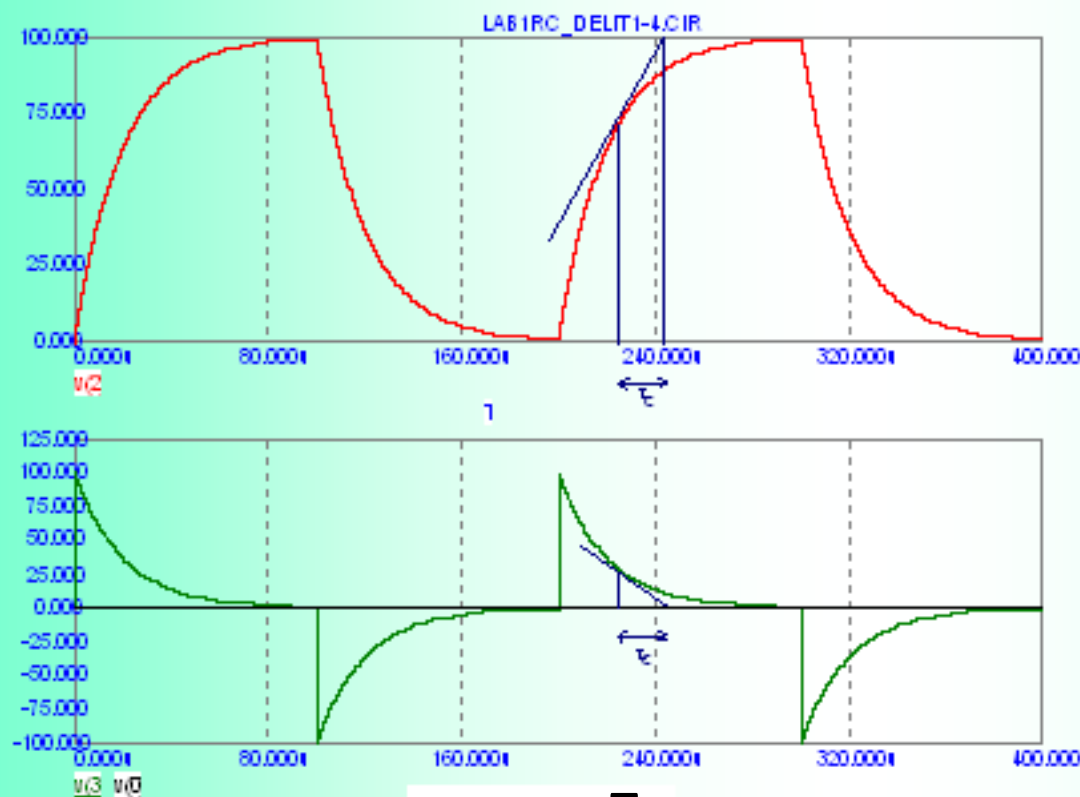


Рис. 7

Методические указания

1. Провести анализ переходных характеристик RC-делителей напряжения, изображенных на рис. 5, при подаче на их входы последовательности прямоугольных импульсов с параметрами, указанными выше. (В генераторе прямоугольных импульсов эти параметры установлены заранее). Для этого необходимо:

а) Открыть файл описания схемы с именем «ОЛС ФОЭ ПЗ 1 д1-4»;

б) В меню Analysis выбрать команду Transient и в появившемся окне задания параметров моделирования установить параметры в соответствии с рис. 8.

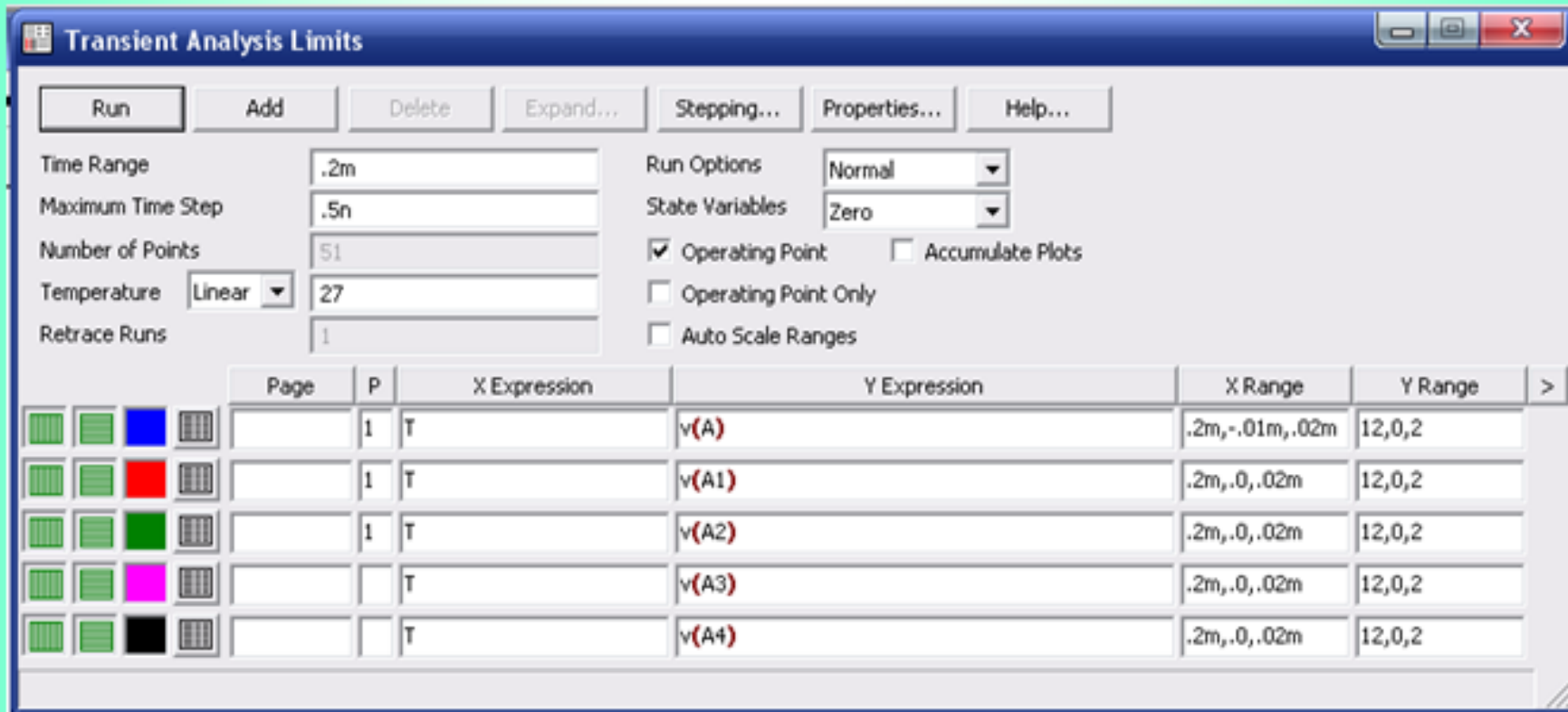
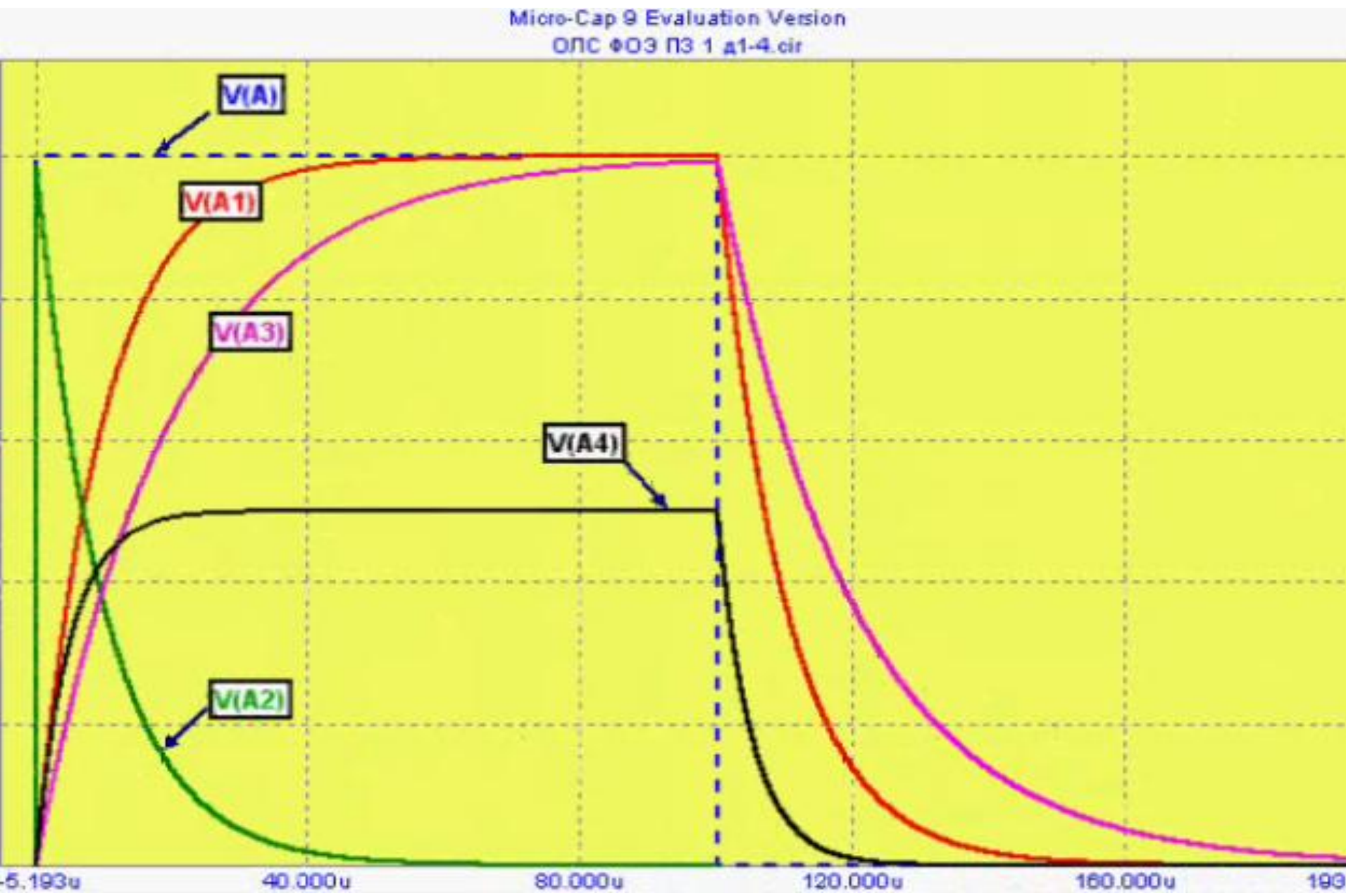


Рис. 8

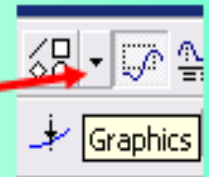
в) Запустить программу на выполнение моделирования, нажав кнопку «Run».

Осциллограммы напряжений на выходах схем рис. 5



г) по результатам анализа определить постоянную времени τ_c , как показано на рис. **7**. Сравнить с расчётными τ_c .

Для проведения касательной линии нажать на кнопку.



Выполнить команду “Cursor”, нажав функциональную клавишу F8 или щелкнув соответствующую пиктограмму . Измерить с помощью двух курсоров постоянную времени τ_c и сравнить измеренную величину с расчетной $\tau_c = RC$, предварительно определив $C_{\text{экв}}$ для схемы 3;

д) повторить анализ для схем с выходами A1 и A2, предварительно увеличив величину емкости C2 в 3 раза;

е) объяснить результаты анализа.

Во всех пунктах моделирования студенты выбирают типы диодов согласно последней «а» цифры шифра из табл. 1.

Таблица 1

<i>a</i>	1	2	3	4	5
Диод	IN3879	IN3889	IN3899	IN3900	IN3909
<i>a</i>	6	7	8	9	0
Диод	IN4001	IN4198	IN4933	IN4934	IN4935

Получить вольт-амперную характеристику диода, который выбран по последней цифре шифра согласно табл. 1.

Для этого следует открыть схемный файл «ОЛС ФОЭ пз 1 ВАХ D». В файле две схемы с текстами «прямосмещенный диод» и «обратносмещенный диод», согласно которым получить ВАХ диода, выбранного из табл. 1.

Получите ВАХ резистора в схеме RD-делителя, и найти рабочие точки при пересечении ВАХ диода и резистора (см. рис. 4).

2. Провести анализ переходных процессов на делителях напряжения R-D, изображенных на рис. 2, выходы A1 и A2, при подаче переменного напряжения типа «меандр», амплитудой 10 В и с периодом 2 мс . Получить графики временной зависимости напряжений на диоде U_d и резисторе U_R , если $R=5\text{ кОм}$.

Для этого необходимо:

- а) Открыть файл описания схемы с именем «ОЛС ФОЭ ПЗ 1 д5-8»;
- б) В меню “Analysis” выбрать команду “Transient” и в появившемся окне задания параметров моделирования установить параметры в соответствии с рис. 9.

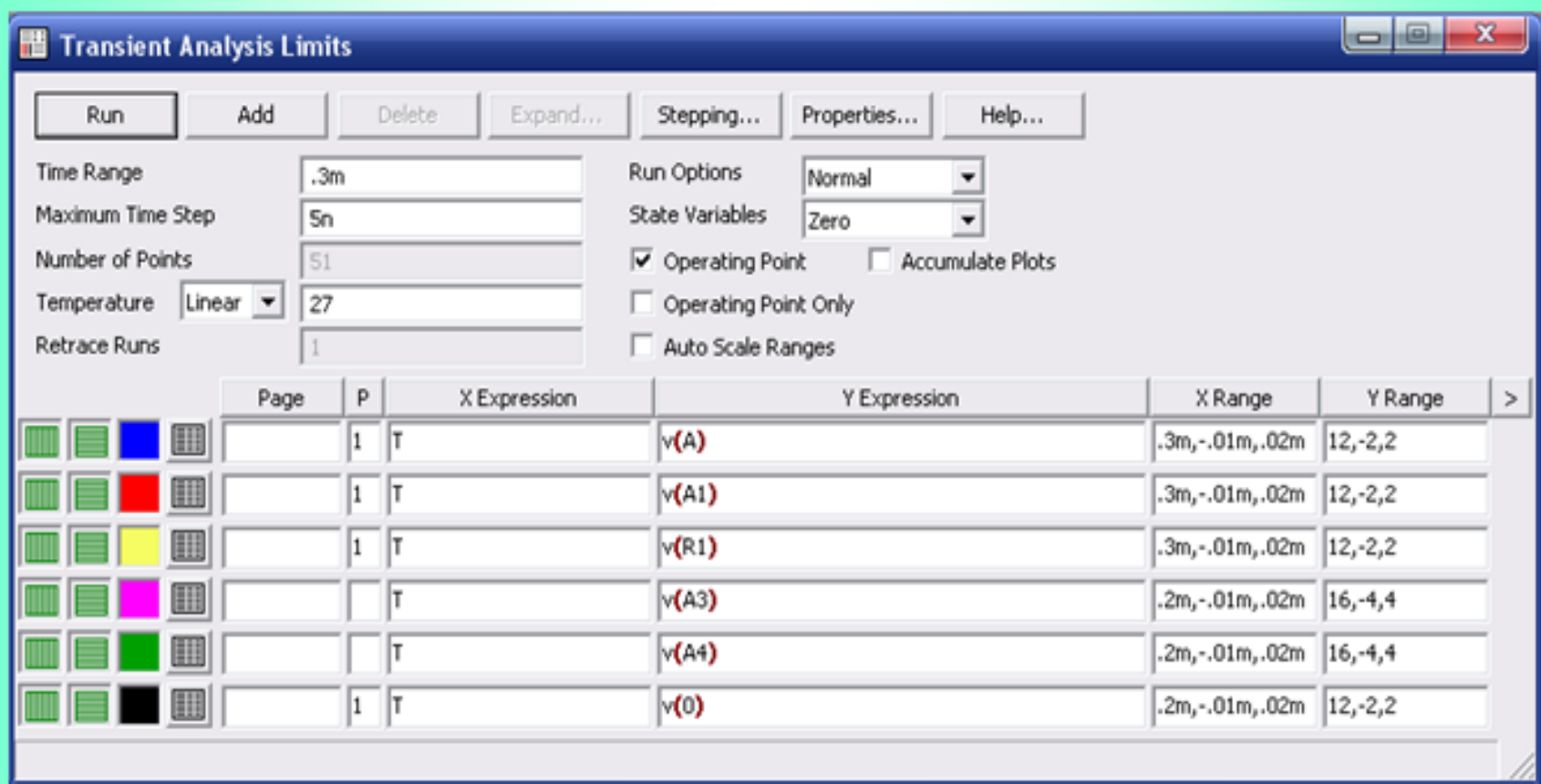


Рис. 9.

В графе “P” оставить номера только тех графических окон, которые будут выводиться на экран.

В данном случае это окна 1,2,3. Выражением “v(0)” в графе “Y Expression” обозначены напряжения нулевого уровня;

в) запустить программу на выполнение моделирования, нажав кнопку “Run” или функциональную клавишу F2;

г) скопировать с экрана «Prt Sc» полученные осциллограммы в отчёт по занятию;

д) объяснить результаты анализа.

3. В схемах, изображенных на рис.5, (выходы А3 и А4) показать цепь заряда и разряда нагрузочного конденсатора C_H .

а) Открыть файл описания схемы с именем «ОЛС ФОЭ ПЗ 1 д7-8»;

б) Записать выражения для постоянных времени заряда и разряда, определяющих скорость протекания этих процессов.

в) Провести анализ переходных характеристик в соответствии с п.2, оставив в графе “Р” только номера графических окон 1, 4, 5, 6 при заданных сопротивлениях делителей.

По результатам анализа определить постоянные времени заряда и разряда конденсатора.

г) открыть файл схемы «ОЛС ФОЭ пз 1д 9-10», и провести анализ переходных процессов на выходах А5 и А6.

Объяснить полученные результаты.