

4. Виды анализа

...отрезал кусок ананаса, посолил его, поперчил, съел и после этого так залихватски ткнул вторую стопку спирта, что все заплодировали.

М. А. Булгаков, «Мастер и Маргарита»

Среда OrCAD 9.2 предоставляет пользователям возможность производить следующие виды анализа моделей (краткая характеристика основных видов анализа приведена в разд. 1.3):

- 1) анализ по постоянному току;
- 2) анализ по переменному току;
- 3) анализ шумов;
- 4) анализ переходных процессов;
- 5) фурье-анализ;
- 6) параметрический анализ;
- 7) температурный анализ;
- 8) анализ разброса параметров методом Монте-Карло;
- 9) анализ чувствительности методом наихудшего случая;
- 10) анализ начального приближения;
- 11) анализ характеристик.

Более подробное описание перечисленных видов анализа и рецепты, позволяющие ими пользоваться, приведены в настоящей главе.

4.1. Анализ по постоянному току

Анализ по постоянному току позволяет осуществлять для анализируемой цепи перебор источников (тока или напряжения), глобальных параметров, параметров модели или температуры в заданных диапазонах.

Начальное приближение для цепи рассчитывается для каждой перебираемой величины. Это полезно для нахождения передаточной функции усилителя, пороговых значений «1» и «0» для логических схем и так далее.

При вычислении реакции аналоговой цепи на воздействие постоянного тока PSpice не производит временной анализ. Это осуществляется путем исключения из схемы конденсаторов, закорачивания всех индуктивностей и использования только постоянной составляющей источников напряжения и тока. Аналогично анализируются цифровые схемы: задержки распространения сиг-

4. Виды анализа

нала полагаются равными нулю и значения всех источников сигналов устанавливаются в соответствии их величинам в нулевой момент времени.

Для решения уравнений цепи в PSpice используется итеративный алгоритм. Для аналоговых цепей эти уравнения являются непрерывными, а для цифровых — логическими. Если в PSpice не достигается сходимость после определенного количества итераций, аналого-цифровые устройства приводятся к состоянию неопределенности «X» и осуществляются следующие итерации. Этот подход определяется тем, что неопределенное состояние на входе цифрового элемента обеспечивает неопределенное состояние на его выходе и логические уравнения всегда могут быть решены.

Если состояние цифрового узла не может быть задано в качестве известного при итерациях по постоянному току, то его состояние устанавливается неопределенным.

В табл. 4.1 приведены минимальные требования, которым должна удовлетворять цепь при анализе по постоянному току.

Таблица 4.1. Минимальные требования к цепи при анализе по постоянному току

Анализируемая переменная	Требования
Источник напряжения	Источник напряжения, обеспечивающий постоянную составляющую (например VDC)
Температура	Отсутствуют
Источник тока	Источник тока, обеспечивающий постоянную составляющую (например IDC)
Параметр модели	Модель PSpice A/D (.MODEL)
Глобальный параметр	Глобальный параметр, определенный в параметрическом блоке (.PARAM)

4.1.1. Выбор анализа по постоянному току

Задача.

Из списка возможных видов анализа выбрать анализ по постоянному току (DC Sweep).

Решение.

PE — D3.Analysis Type^DC Sweep, OK↓

4.1.2. Настройка и запуск анализа по постоянному току

Задача.

Перед анализом по постоянному току задать его настройки: анализируемую переменную 'X', ее начальное 'Y1' и конечное 'Y2' значения, шкалу (линейную или логарифмическую), приращение 'Z' и начать моделирование.

Решение.

PE — D3.Analysis Type^DC Sweep, {Sweep Variable.Name->'X' & Sweep Type. Start Value->'Y1' & Sweep Type. End Value->'Y2' & Sweep Type. Increment->'Z' & Linear [Logarithmic^Decade][Logarithmic^Octave],OK — D4↓

Замечание 1.

В качестве переменной могут фигурировать источники тока или напряжения, глобальные параметры, параметры модели и температура.

Замечание 2.

Диапазон значений переменной может быть заменен набором ее дискретных значений.

4.1.3. Пример анализа по постоянному току

В качестве примера анализа по постоянному току рассмотрим процесс включения IGBT-транзистора типа IRG4PH50UD от источника постоянного напряжения (см. схему на рис. 4.1, транзистор показан условно). В коллекторную цепь транзистора VT1 включено сопротивление R1 величиной 50 Ом.

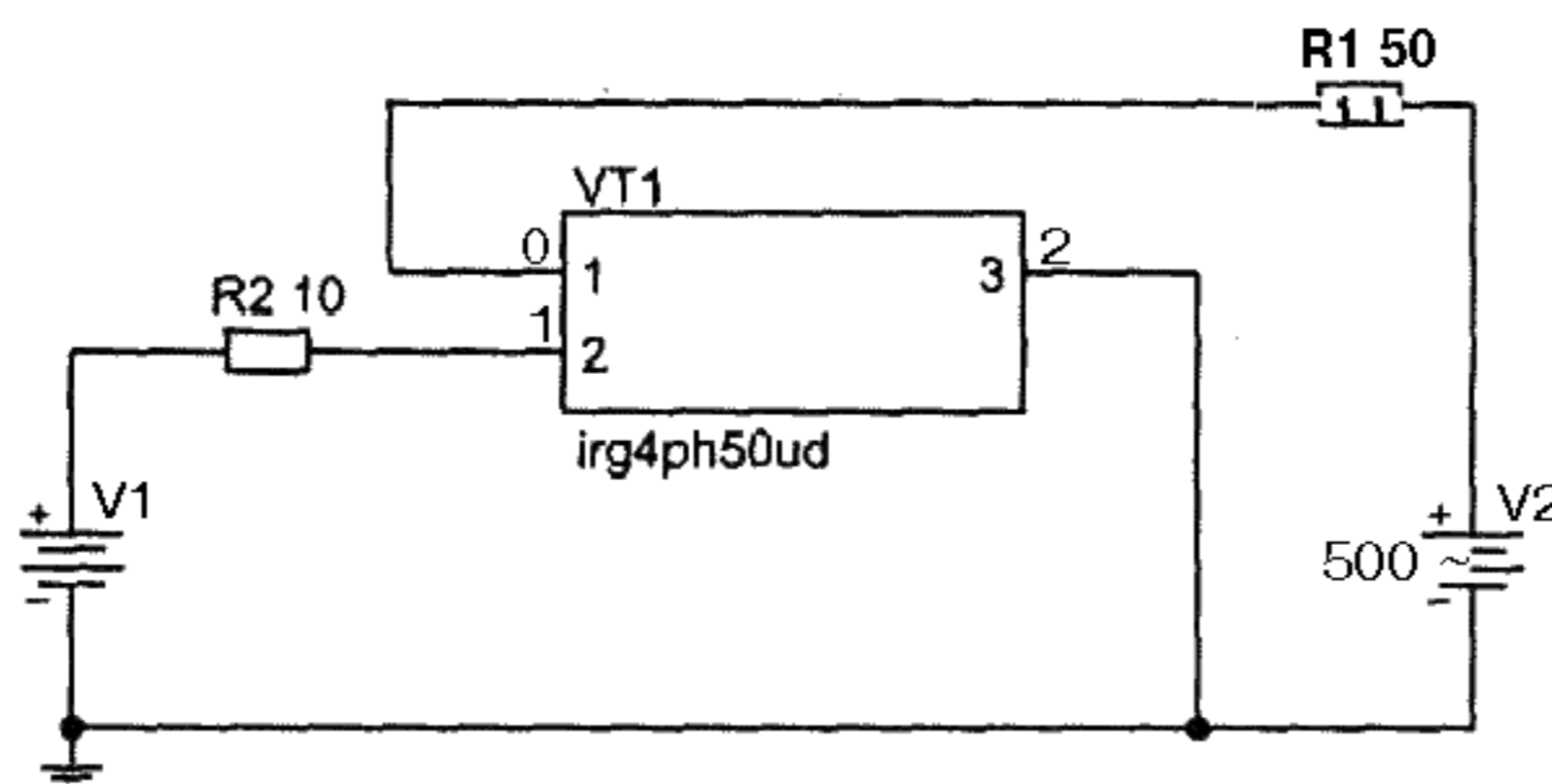


Рис. 4.1. Схема включения транзистора IRG4PH50UD при анализе по постоянному току

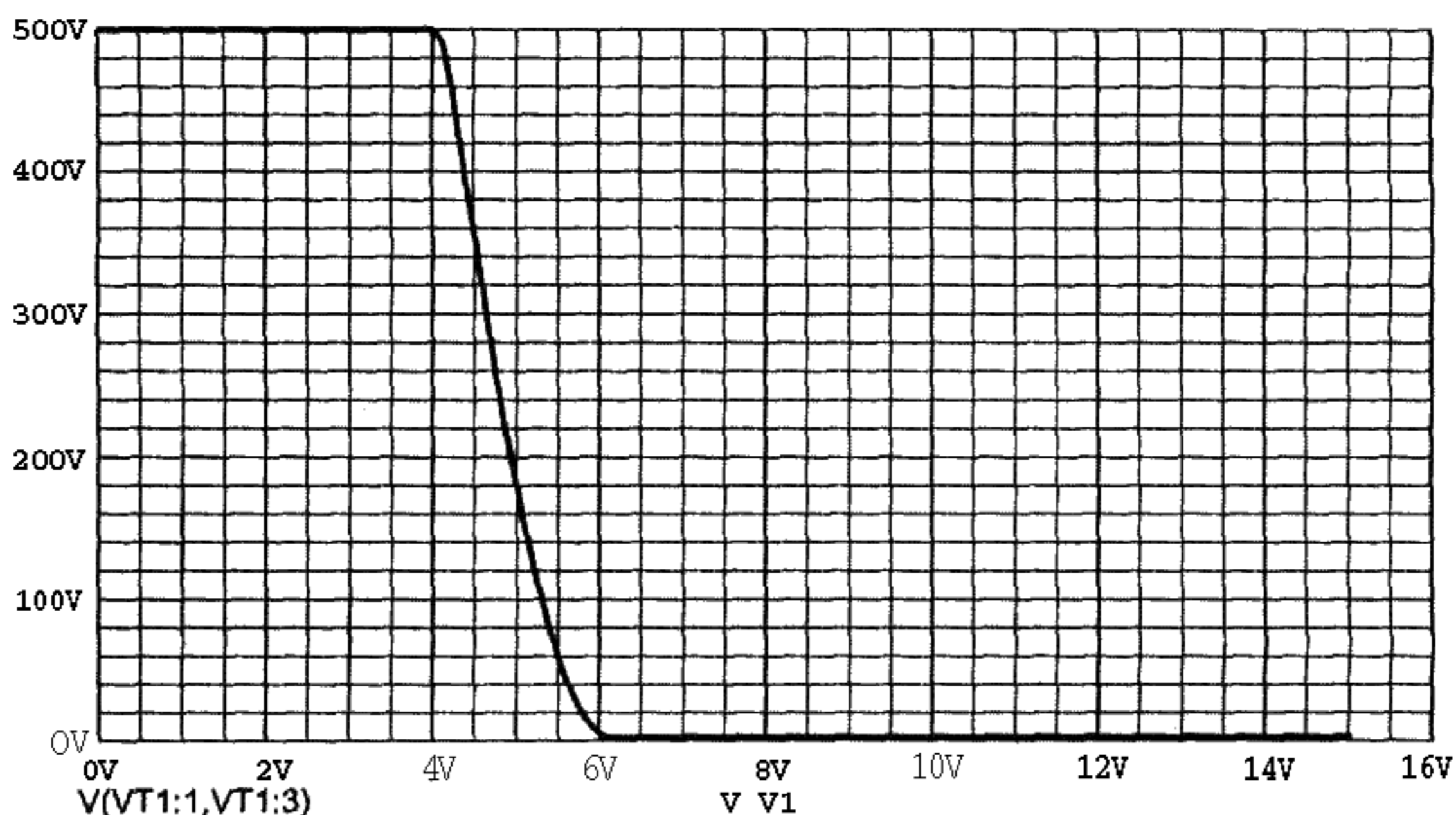


Рис. 4.2. Характеристика включения транзистора IRG4PHS0UD при анализе по постоянному току

Транзистор запитан от источника постоянного напряжения $V2 = 500$ В. На затвор транзистора через сопротивление $R2$ величиной 10 Ом для отпираания подается напряжение от источника постоянного напряжения $V1$. Начальное значение напряжения (Start Value) 1 В, конечное напряжение (End Value) — 15 В, шаг изменения напряжения (Increment) — 0,1 В.

Выходной характеристикой анализа по постоянному току в рассматриваемом примере является величина напряжения на коллекторе транзистора при изменении напряжения затвора от 1 до 15 В с шагом 0,1 В. В результате проведения анализа удастся установить, что в рассматриваемой схеме (рис. 4.1) при изменении напряжения затвора от 1 до 4 В транзистор находится в закрытом состоянии, при изменении напряжения от 4 до 6 В транзистор находится в активном режиме и при напряжениях более 6 В переходит в ключевой режим (см. рис. 4.2).

4.2. Анализ по переменному току

Анализ по переменному току представляет собой определение реакции цепи на изменение частоты. PSpice определяет малосигнальную реакцию цепи на комбинацию входных сигналов в окрестности точки начального приближения при условии линеаризации анализируемой цепи. При этом необходимо учитывать следующее:

Нелинейные устройства, такие как управляемые напряжением или током ключи, преобразуются в линейные цепи в окрестности начального приближения и, только после этого PSpice A/D производит малосигнальный линейный анализ.

Цифровые устройства сохраняют состояния, которые PSpice определяет, рассчитывая начальное приближение.

Поскольку анализ по переменному току является линейным, определяются только амплитуда и фаза реакции цепи; напряжение и ток не ограничиваются.

Рекомендуется производить анализ по переменному току при назначении единичной амплитуды источника. При этом относительная величина выходного сигнала определяется по отношению к амплитуде входного сигнала (т. е. к 1).

4.2.1. Выбор анализа по переменному току

Задача.

Из списка возможных видов анализа выбрать анализ по переменному току (AC Sweep).

Решение.

PE — D3.Analysis Type^AC Sweep/Noise, OK↓

4.2.2. Настройка и запуск анализа по переменному току

Задача.

Перед анализом по переменному току задать его настройки: стартовую частоту (Start Frequency), равную 'X', конечную частоту (End Frequency), равную 'Y', количество точек на выбранном диапазоне частот (Total Points) при линей-

ной оси частот или количество точек на декаду (Points/Decade) или октаву (Points/Octave) при логарифмической оси и начать моделирование.

Решение.

PE — D3.Analysis Type^AC Sweep/Noise, AC Sweep Type, {Linear[Logarithmic^Decade[Octave]]&Start Frequency->'X'&End Frequency->'Y'&Total Points[Points/Decade][Points/Octave]->'Z'} ,OK — D4↓

4.2.3. Введение дополнительных щупов при анализе по переменному току

Задача.

После проведения анализа по переменному току использовать кроме штатных щупов (ток, напряжение, разность потенциалов, мощность) дополнительный щуп величины напряжения в децибелах (db Magnitude of Voltage) на выводе элемента с псевдонимом X.

Решение.

PE — A7.Markers.Advanced.db Magnitude of Voltage — 'X'↓

Замечание.

При анализе по переменному току также возможно использование следующих дополнительных щупов:

- щуп величины тока в децибелах (db Magnitude of Current);
- щуп фазы напряжения (Phase of Voltage);
- щуп фазы тока (Phase of Current);
- щуп группового запаздывания напряжения (Group Delay of Voltage);
- щуп группового запаздывания тока (Group Delay of Current);
- щуп действительной части напряжения (Real Part of Voltage);
- щуп действительной части тока (Real Part of Current);
- щуп мнимой части напряжения (Imaginary Part of Voltage);
- щуп мнимой части тока (Imaginary Part of Current).

4.2.4. Пример анализа по переменному току

В качестве примера анализа по переменному току рассмотрим резонансные явления в контуре, схема которого приведена на рис. 4.3. При назначении параметров, определяющих анализ по переменному току (AC Sweep Type), выбрана линейная шкала частот (Linear), начальная частота (Start Frequency) — 5 кГц, конечная частота (End Frequency) — 15 кГц, общее число расчетных точек (Total Points) — 10000. Осциллограммы токов через сопротивления R1 и R2 приведены на рис. 4.4.

Замечание.

При анализе по переменному току применяется источник VAC, определяемый амплитудой переменной составляющей напряжения Vac и постоянной со-

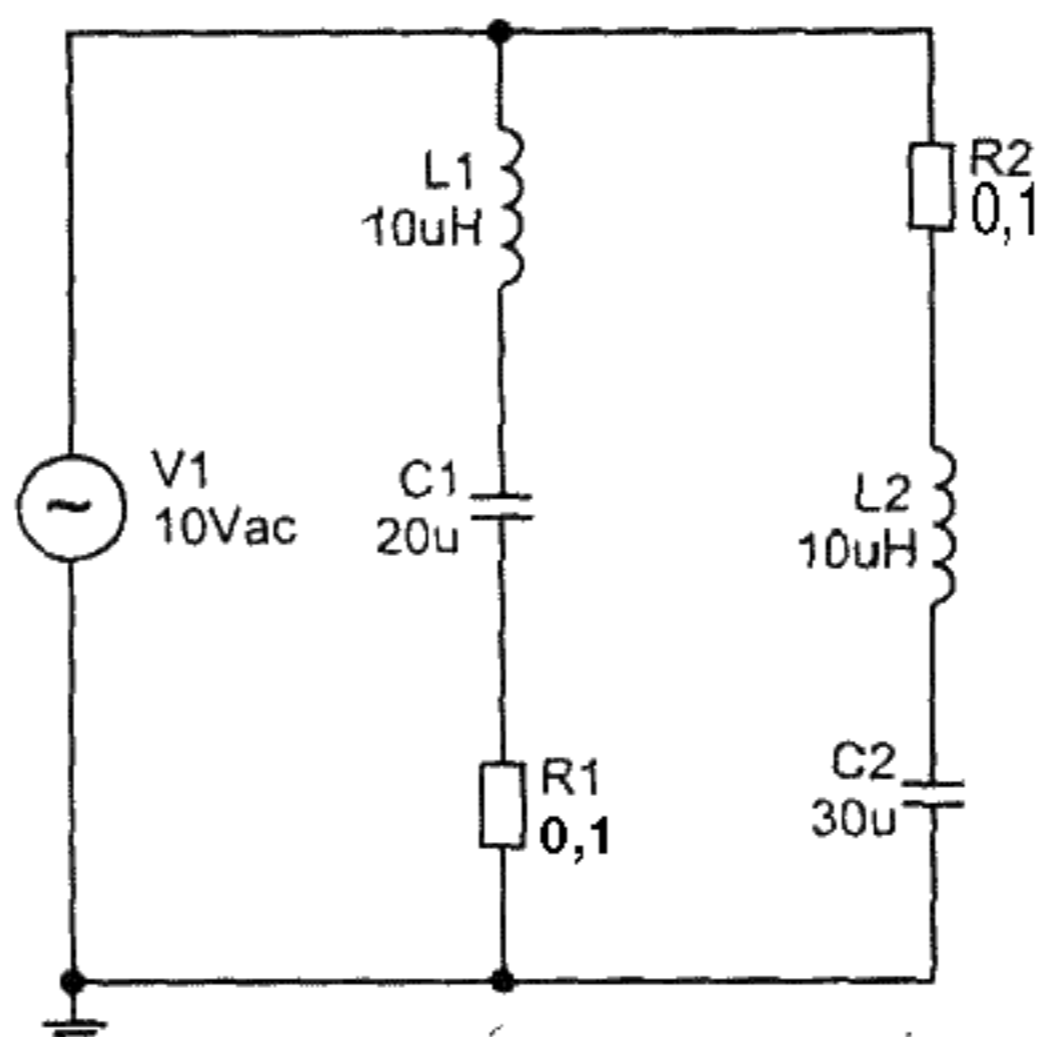


Рис. 4.3. Схема контура при анализе по переменному току

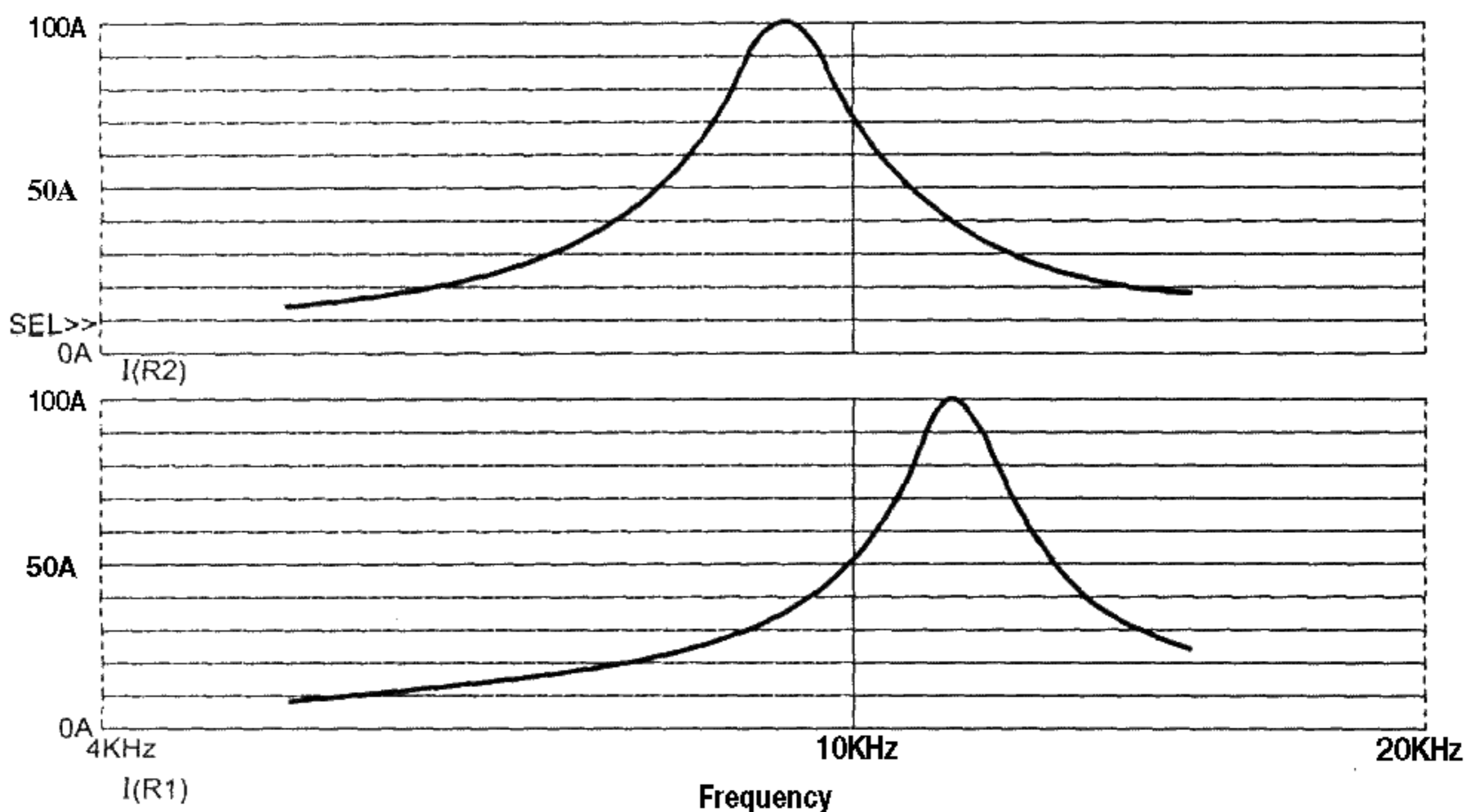


Рис. 4.4. Резонансные кривые токов в ветвях контура при анализе по переменному току

ставляющей V_{dc} или источник I_{AC} , определяемый амплитудой переменной составляющей тока I_{ac} и постоянной составляющей T_{dc} . (Не путать с источниками V_{SIN} и I_{SIN} .)

4.3. Анализ шумов

При анализе шумов PSpice рассчитывает и выдает следующую информацию для каждой частоты, для которой производится анализ по переменному току:

- шум, генерируемый на выходе некоторого устройства, который складывается из шумов, генерируемых каждым резистором и полупроводником, из

которых состоит данное устройство. Для полупроводникового устройства составляющая шума определяется режимами его работы;

- общий выходной и эквивалентный входной шум.

В табл. 4.2 приведены входные и выходные характеристики цепи, рассчитываемые при анализе шумов.

Таблица 4.2. Входные и выходные характеристики цепи, рассчитываемые при анализе шумов

Характеристика	Способ определения
Выходной шум	Среднеквадратичное значение шумов всех элементов цепи
Входной шум	Эквивалентный входной шум, который бы обеспечивал на выходе соответствующий выходной шум в случае идеальной (не шумящей) цепи

При вычислении полного шума на выходе цепи PSpice вычисляет среднеквадратичную сумму шумов, генерируемых всеми «шумящими» элементами данной цепи.

При вычислении эквивалентного входного шума PSpice делит общий выходной шум на шум, который распространяется по анализируемой цепи от входа к выходу. Этот результат получается при определении входного шума, который обеспечивает на выходе эквивалентный расчетный выходной шум в случае идеальной (не шумящей) цепи.

4.3.1. Выбор анализа шумов

Задача.

Из списка возможных видов анализа выбрать анализ шумов (Noise).

Решение.

PE — D3.Analysis Type^ AC Sweep/Noise, Noise Analysis, Enabled->'√', OK↓

4.3.2. Настройка и запуск анализа шумов

Задача.

Перед анализом шумов задать его настройки: выходное напряжение (Output Voltage), равное 'X', источник питания (I/V Source), обозначаемый 'Y', интервал к расчета парциальных уровней шума (Interval), обозначаемый 'Z', и начать моделирование.

Решение.

PE — D3.Analysis Type^AC Sweep/Noise, Noise Analysis, Enabled->'√', {Output Voltage->'X' & I/V Source->'Y' & Interval->'Z'}, OK - D4↓

4.4. Анализ переходных процессов

Анализ переходных процессов производится для сформированного проекта путем обращения к диалоговому окну Simulation Settings и выбору вида анализа Transient Analysis.

Во время анализа переходных процессов PSpice обеспечивает величину временного шага, которая непрерывно изменяется в соответствии с требуемой точностью до тех пор, пока величина шага не становится предельно допустимой. Если моделируемые процессы являются медленно изменяющимися, величина временного шага увеличивается. Естественно, что для быстропеременных процессов шаг уменьшается. Максимальная величина временного шага может управляться назначением параметра Maximum time step в диалоговом окне Simulation Settings. PSpice никогда не будет увеличивать значение шага более чем на два процента от общего времени анализа переходного процесса вне зависимости от абсолютной величины этого времени. Если максимальный шаг не задается пользователем, то по умолчанию его величина устанавливается равной TSTOP/50. При определении максимального шага по умолчанию при моделировании переходных процессов может возникнуть ситуация, которая сводится к тому, что при изменении времени TSTOP одна и та же схема с полностью идентичными параметрами анализа может успешно анализироваться или анализ прерывается из-за неустойчивости процессов численного интегрирования (Convergence). В этом случае обеспечить устойчивый анализ переходных процессов при любом значении TSTOP можно подбором величины Maximum Time Step. Ориентировочное значение этой величины при подборе определяется как TSTOP/50 при значении TSTOP, обеспечившем успешный анализ переходного процесса без конвергенции при назначении Maximum Time Step по умолчанию.

Временной шаг при интегрировании может не соответствовать требуемым временным шагам выдачи информации. Величины временных шагов выдачи информации рассчитываются исходя из шагов интегрирования с помощью интерполяционных полиномов второго порядка.

При моделировании смешанных аналого-цифровых цепей фактически реализуются два временных шага: аналоговый и цифровой. Это необходимо для повышения эффективности моделирования. Так как аналоговая и цифровая части моделируемой схемы часто характеризуются существенно различными скоростями протекания переходных процессов, то есть являются «быстрыми» и «медленными», то любая попытка совместить при моделировании аналоговые и цифровые части в одно целое может приводить к существенному замедлению процесса моделирования. Временной шаг, выдаваемый на осциллограммы при моделировании переходного процесса, фактически является шагом моделирования аналоговой части схемы.

Моделирование переходных процессов в цепях с коммутациями может вести к существенному увеличению времени моделирования. Временной шаг в PSpice при этом выбирается исходя из времени между коммутациями, а переходный процесс может включать в себя большое количество таких межкоммутационных интервалов времени.

Один из методов решения этой проблемы заключается в том, что схема с коммутациями преобразуется в эквивалентную схему без коммутаций. Эквивалентная цепь представляет собой квазистационарный аналог исходной схемы и позволяет корректно моделировать исходную схему на промежутках времени, когда переменные изменяются достаточно «медленно».

По умолчанию анализ переходных процессов осуществляется с нулевыми начальными условиями. В этом случае перед началом анализа переходного процесса среда OrCAD 9.2 анализирует схему по постоянному току и назначает полученные при этом напряжения на емкостях и токи через индуктивности в качестве начальных условий для анализа переходных процессов. Режим анализа по постоянному току может быть отключен (SKIPBP). В этом случае начальные условия могут быть либо нулевыми, либо отличными от нуля (задается пользователем, см. 3.2.3.3).

Режим вывода информации при анализе переходных процессов определяется заданием параметра Start saving data after ... seconds. При нулевом значении этого параметра осциллограммы переходных процессов выдаются на экран с момента времени $t = 0$. В случае, если указанный параметр назначается равным t , осциллограммы выдаются на интервале времени от t до TSTOP, что иногда бывает удобно в случае необходимости «растягивания» по времени определенных участков переходного процесса.

4.4.1. Выбор анализа переходных процессов

Задача.

Из списка возможных видов анализа выбрать анализ переходных процессов (Transient Analysis).

Решение.

PE — D3.Analysis Type^Time Domain(Transient), ОК↓

4.4.2. Настройка и запуск анализа переходных процессов

Задача.

Перед анализом переходных процессов задать время моделирования, равное 'X', и начать моделирование.

Решение.

PE — D3.Analysis Type^Time Domain(Transient), TSTOP->'X', ОК — D4↓

4.4.3. Отключение расчета режима по постоянному току при анализе переходных процессов

Задача.

Отключить расчет режима по постоянному току при анализе переходных процессов.

4. Виды анализа

Решение.

PE D3.Analysis TypeTime Domain(Transient), Transient options, SKIPVP->' ', OK↓

Замечание.

По умолчанию анализ по постоянному току перед анализом переходных процессов производится.

4.4.4. Включение расчета режима по постоянному току при анализе переходных процессов

Задача.

Включить расчет режима по постоянному току при анализе переходных процессов.

Решение.

PE D3.Analysis TypeTime Domain(Transient), Transient options, SKIPVP->'√', OK↓

Замечание.

Если перед анализом переходных процессов задается режим анализа по постоянному току и назначаются пользователем начальные условия, то анализ переходных процессов осуществляется с начальными условиями, задаваемыми пользователем.

4.4.5. Анализ переходных процессов с временным сдвигом выдачи осциллограмм

Задача.

Осуществить анализ переходного процесса с выдачей осциллограмм на временном интервале от t до TSTOP.

Решение.

PE — D3.Analysis TypeTime Domain(Transient), Start saving data after->'t' sec, OK↓

4.4.6. Пример анализа переходного процесса

В качестве примера приведем анализ переходного процесса в схеме широтно-импульсного регулятора (см. рис. 4.5). Регулятор собран на двух поочередно включаемых IGBT-транзисторах IRG4PH50UD с обратными диодами (на схеме указаны условно). В качестве систем управления транзисторами применены источники импульсного напряжения VPULSE. Модель выпрямителя представлена в виде последовательно включенных источника постоянного напряжения VDC и диода. Регулятор нагружен на активное сопротивление R1. Численные значения параметров элементов приведены на рис. 4.5. При анализе TSTOP за-

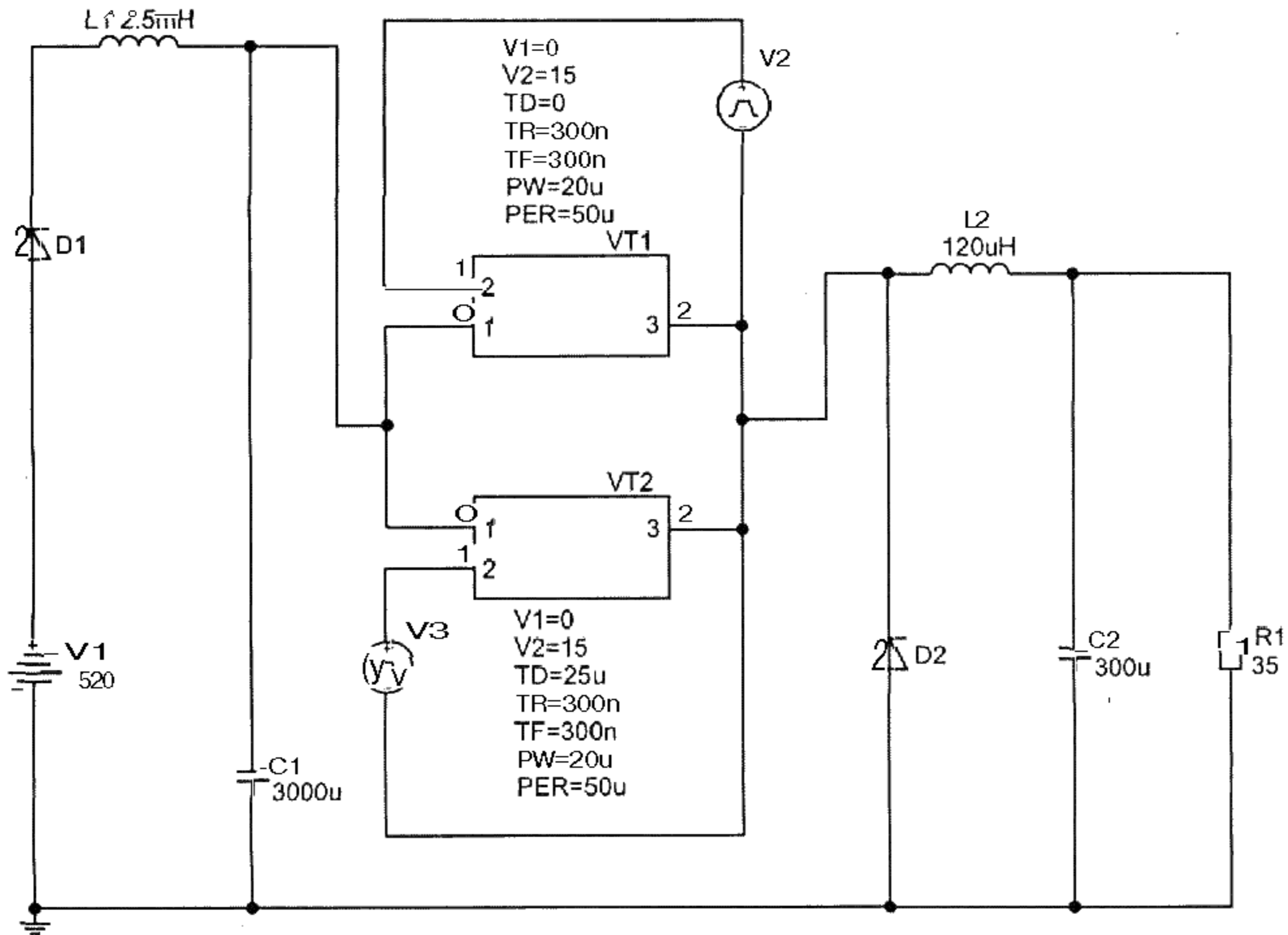


Рис. 4.5. Схема модели широтно-импульсного регулятора

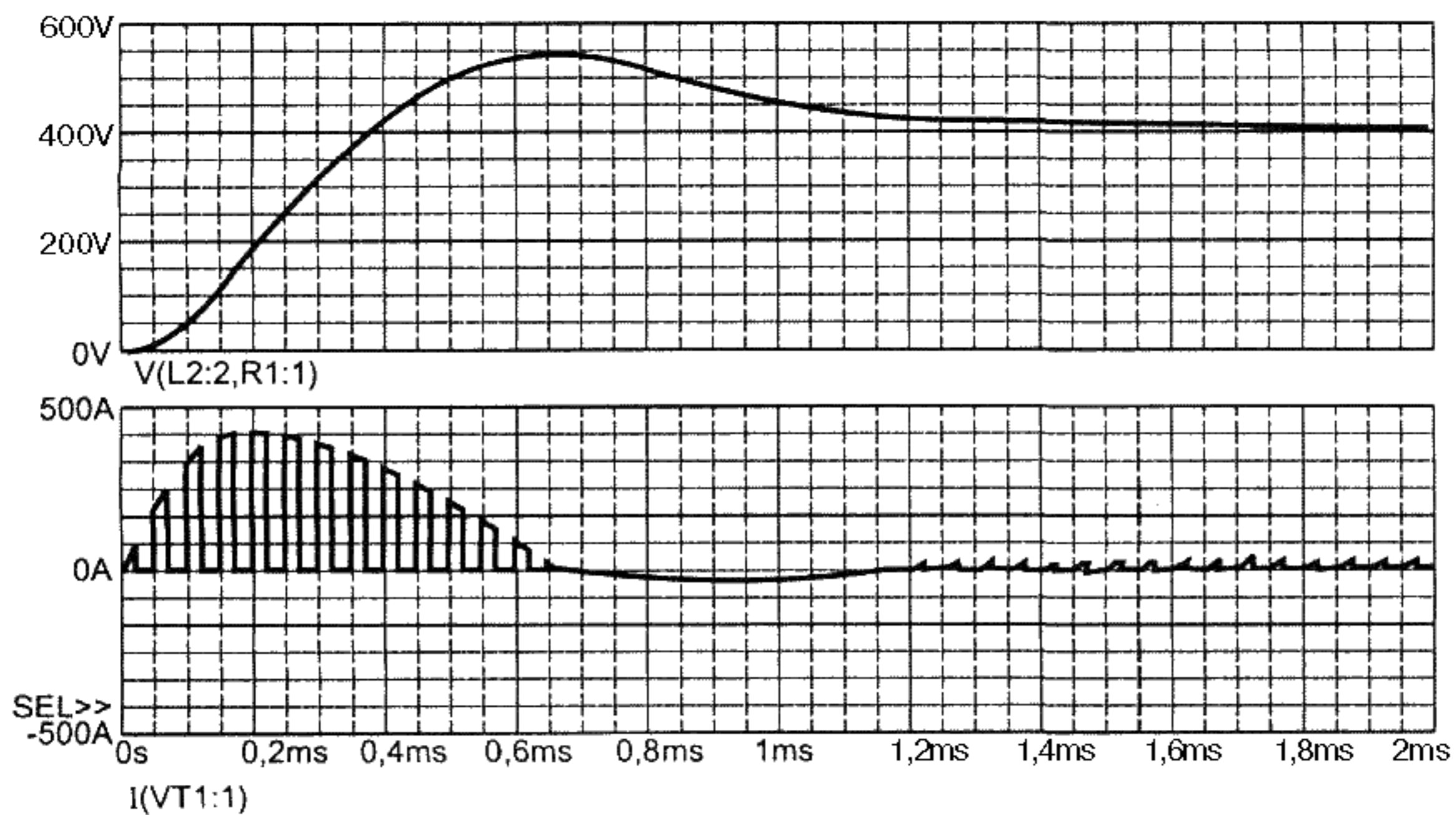


Рис. 4.6. Осциллограммы токов и напряжений при анализе переходных процессов в модели широтно-импульсного регулятора

дано равным 2 мс, Maximum step size задан по умолчанию, расчет режима по постоянному току отключен. На рис. 4.6 приведены осциллограммы тока через транзистор VT1 и напряжение на нагрузочном сопротивлении R1.

4.5. Фурье-анализ

Фурье-анализ предназначен для проведения спектрального анализа результатов моделирования. Возможно два варианта использования фурье-анализа:

- Быстрое преобразование Фурье (FFT), которое проводится для осциллограмм, полученных в результате анализа переходных процессов. При этом в выходных файлах не содержатся численные результаты фурье-анализа, а на экран выдаются амплитуды соответствующих гармоник, как функции частоты.
- Фурье-анализ, осуществляющий обработку результатов анализа переходных процессов с выдачей результатов в численном виде. При этом выдаются постоянная составляющая анализируемой кривой, заданное число гармоник, соответствующие этим гармоникам частоты в герцах, амплитуды разложения Фурье, соответствующие каждой частоте в абсолютных и относительных величинах, абсолютные и относительные фазы смещения относительно заданной центральной частоты в градусах и коэффициент нелинейных искажений в процентах, определяемый по формуле:

$$K = 100 \frac{\sqrt{A_2^2 + A_3^2 + \dots + A_n^2}}{A}.$$

При этом варианте анализа фурье-разложение на экран не выдается.

4.5.1. Выбор фурье-анализа

Задача.

Из списка возможных видов анализа выбрать фурье-анализ (Fourier Analysis).

Решение.

PE — D3.Analysis Type^Time Domain(Transient), Output File Options. Perform Fourier Analysis↓

4.5.2. Настройка и запуск фурье-анализа

Задача.

Перед фурье-анализом задать центральную частоту 'X', число гармоник 'Y' и выходную переменную с псевдонимом Z и начать моделирование.

Решение.

PE — D3.Analysis Type^Time Domain(Transient), Output File Options. Perform Fourier Analysis, {Center Frequency->'X' & Number of Harmonics->'Y' & Output Variables->'Z'}, ОК, ОК

Замечание.

Максимально возможное количество гармоник — 100. По умолчанию берутся первые 9.

4.5.3. Быстрое преобразование Фурье

Задача.

Осуществить быстрое преобразование Фурье для функции, выведенной на осциллограмме.

Решение.

PS – C6↓

4.5.4. Изменение частотного диапазона

Задача.

Дана осциллограмма функции, разложенной в ряд Фурье. Изменить ее частотный диапазон с исходного на интервал [X,Y].

Решение.

PS - A7.XAxis, DataRange^UserDefined->'X' to 'Y', OK↓

4.5.5. Пример фурье-анализа

В качестве примера применения фурье-анализа рассмотрим спектральный состав входного и выходного напряжений на схеме (рис. 4.7) фазного регулятора напряжения с помощью встречно-параллельно включенных тиристоров

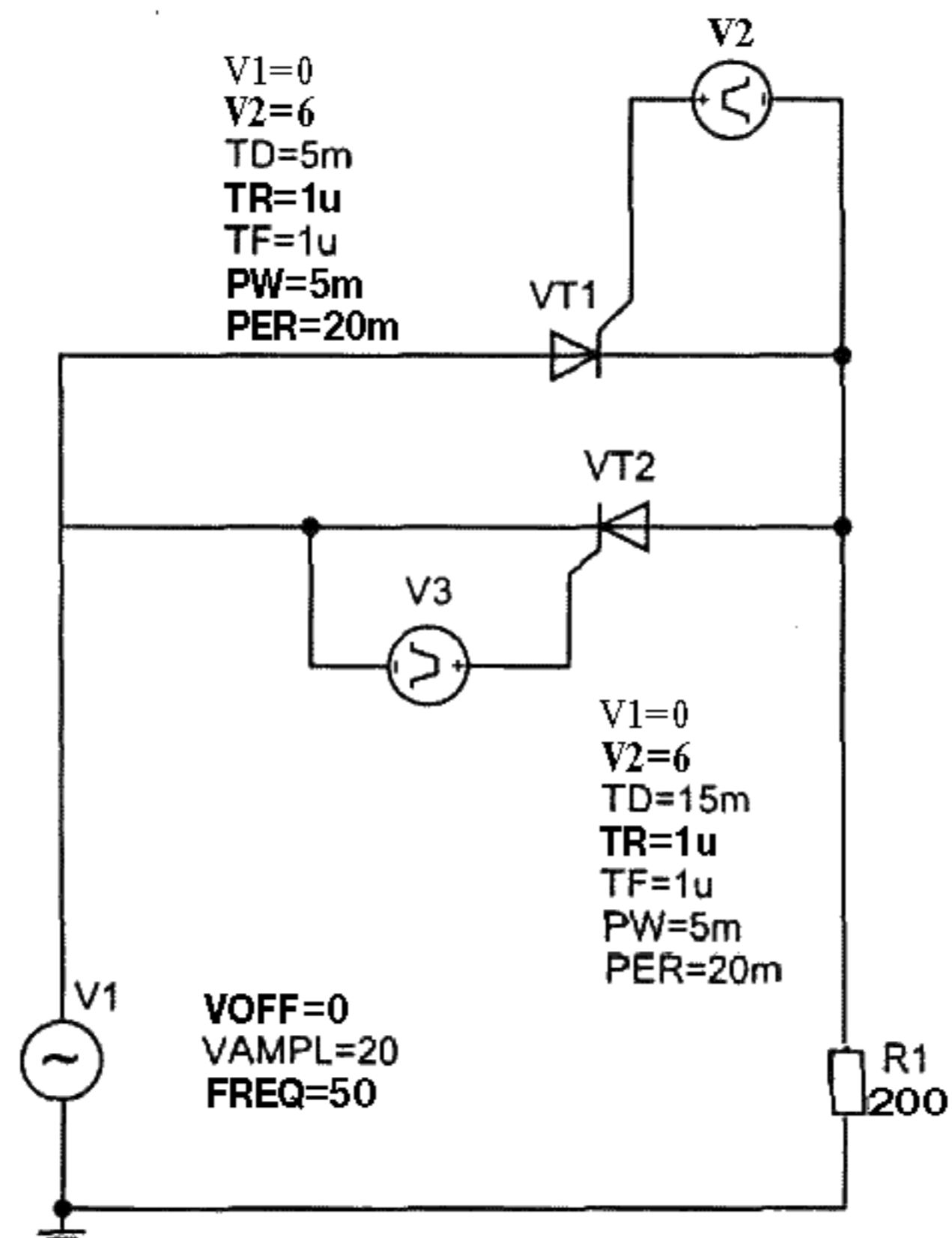


Рис. 4.7. Схема фазного регулятора выходного напряжения с помощью встречно-параллельно включенных тиристоров

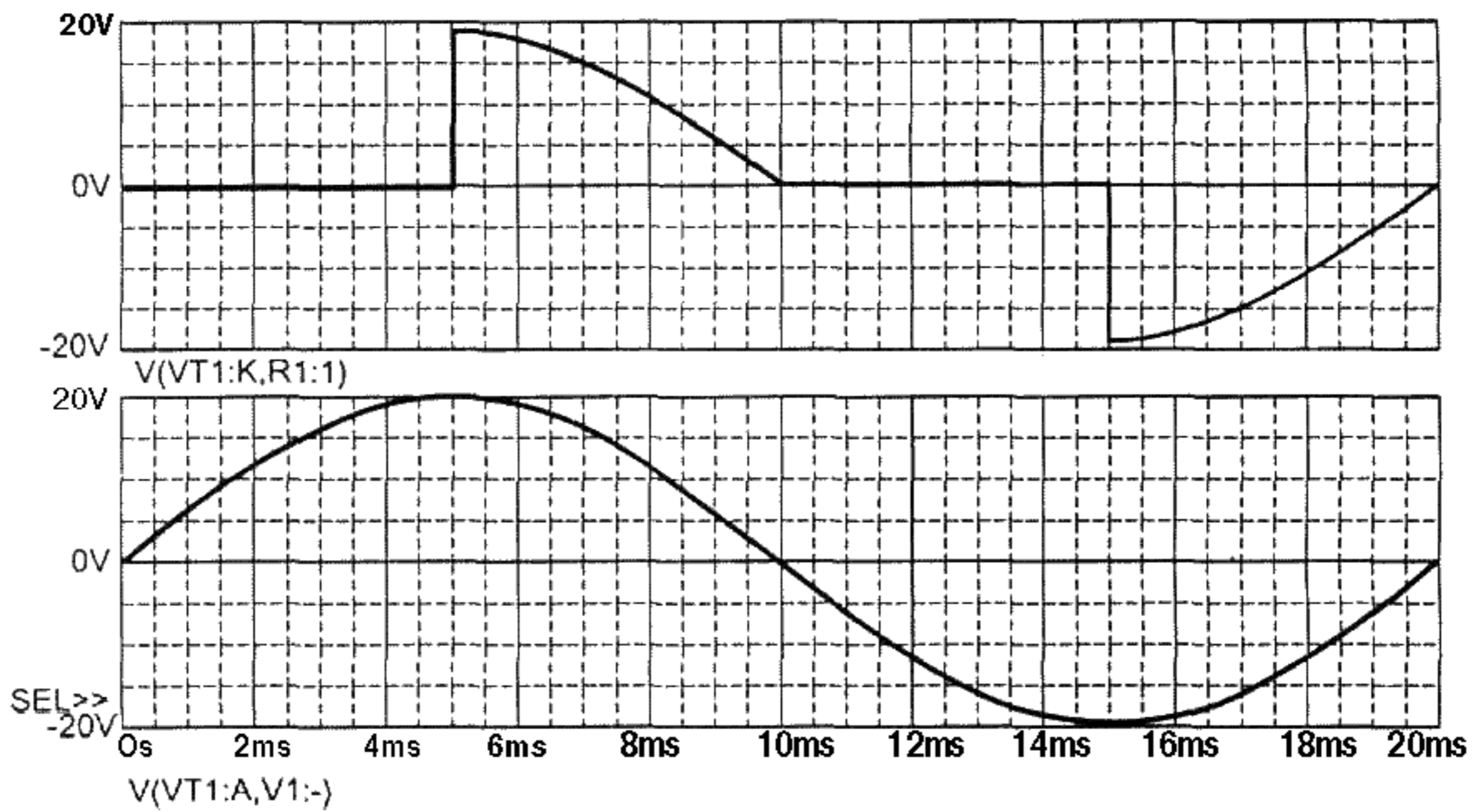


Рис. 4.8. Осциллограммы напряжений на элементах схемы фазного регулятора

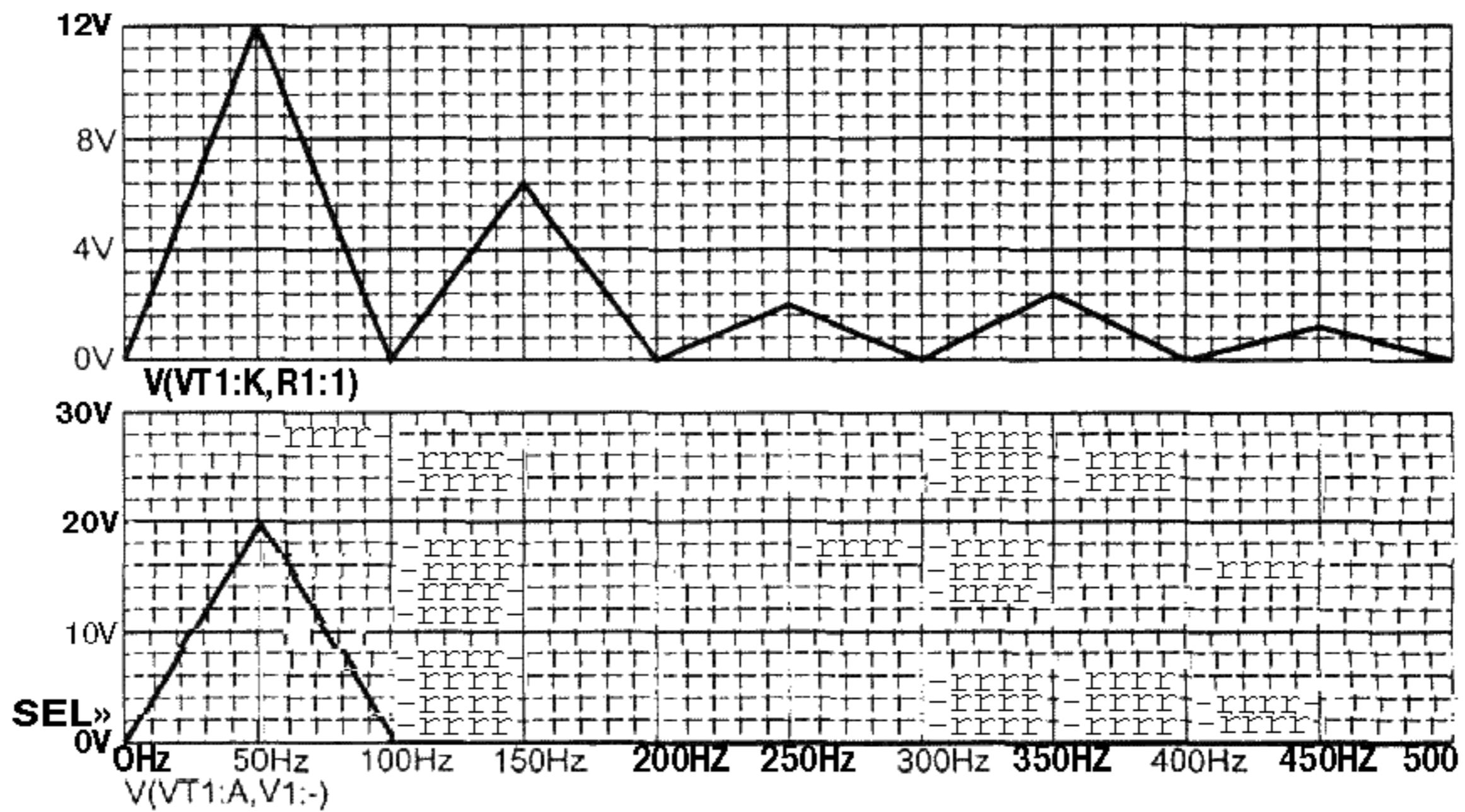


Рис. 4.9. Осциллограммы спектрального анализа напряжений на элементах схемы фазного регулятора

ров. В качестве входного применяется источник синусоидального напряжения VSIN, используются тиристоры 2N1595, в качестве нагрузки применено активное сопротивление R1. Управление тиристорами осуществляется от источников импульсного напряжения VPULSE. Численные значения параметров элементов приведены на схеме. Осциллограммы напряжений на входном источнике VSIN и на нагрузочном сопротивлении R1 приведены на рис. 4.8. Осциллограммы, полученные в результате быстрого преобразования Фурье, приведены на рис. 4.9. Характерным является ухудшение спектрального состава выходного напряжения.

4.6. Параметрический анализ

Параметрический анализ представляет собой многократно повторяемые итерации одного из типов стандартных анализов, когда изменяется глобальный параметр, параметр модели, величина компонента или рабочая температура. При этом за одно обращение к среде достигается эффект, эквивалентный многократному обращению при пошаговом изменении параметра.

При работе в режиме параметрического анализа необходимо вместо значения элемента, величина которого является переменной, указать в фигурных скобках произвольное имя переменной. Кроме этого необходимо обратиться к библиотеке `special.olb` и извлечь из нее элемент `PARAM`, войти в свойства этого элемента и добавить свойство (см. п. 3.2.3.2) с именем, идентичным имени переменной, заданным в фигурных скобках. В качестве начального значения этого свойства внести начальное значение параметра.

4.6.1. Выбор параметрического анализа

Задача.

Из списка возможных видов анализа выбрать параметрический анализ (Parametric Sweep).

Решение.

PE — D3.Analysis Type^AC Sweep/Noise [Time Domain(Transient)], Parametric Sweep, ОК↓

4.6.2. Настройка и запуск параметрического анализа

Задача.

Перед параметрическим анализом задать его настройки: анализируемую переменную 'X', ее начальное 'Y1' и конечное 'Y2' значения, шкалу (линейную или логарифмическую), приращение 'Z' и начать моделирование.

Решение.

PE — D3.Analysis Type^Time Domain (Transient)[DC Sweep],Options^Parametric Sweep, {Sweep Variable.Name->'X' & Sweep Type. Start Value->'Y1' & Sweep Type. End Value->'Y2' & Sweep Type. Increment->'Z' & Linear [Logarithmic^Decade] [Logarithmic^Octave],ОК — D4↓

Замечание.

Диапазон значений переменной может быть заменен набором ее дискретных значений.

4.6.3. Пример параметрического анализа

В качестве примера параметрического анализа рассмотрим влияние сопротивления `R1` в цепи затвора на скорость и время задержки включения и выключения IGBT-транзистора типа `IRG4PH50UD` (со встречно-параллельным

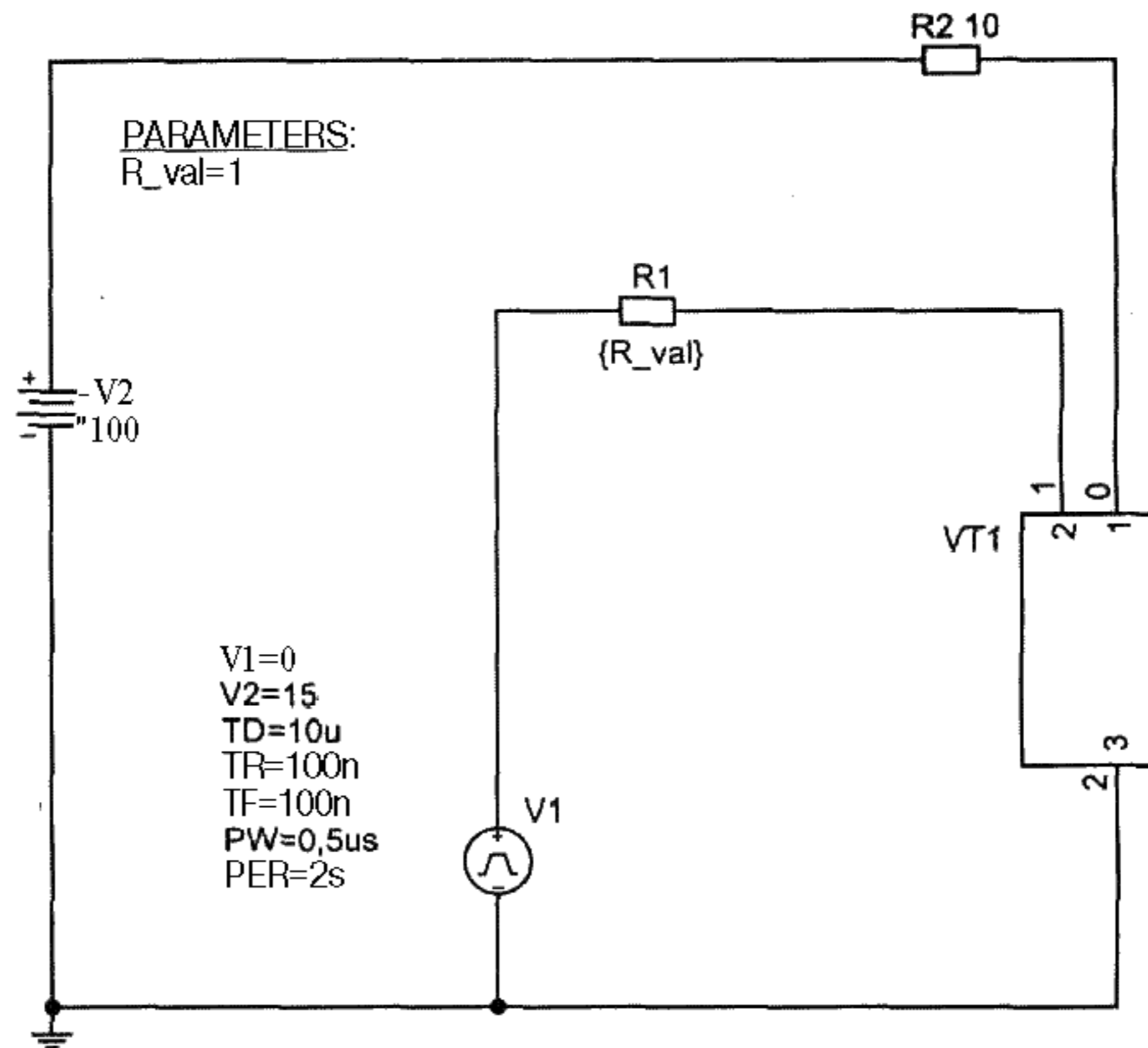


Рис. 4.10. Схема для определения влияния времени задержки и крутизны включения и выключения IGBT-транзистора (параметрический анализ)

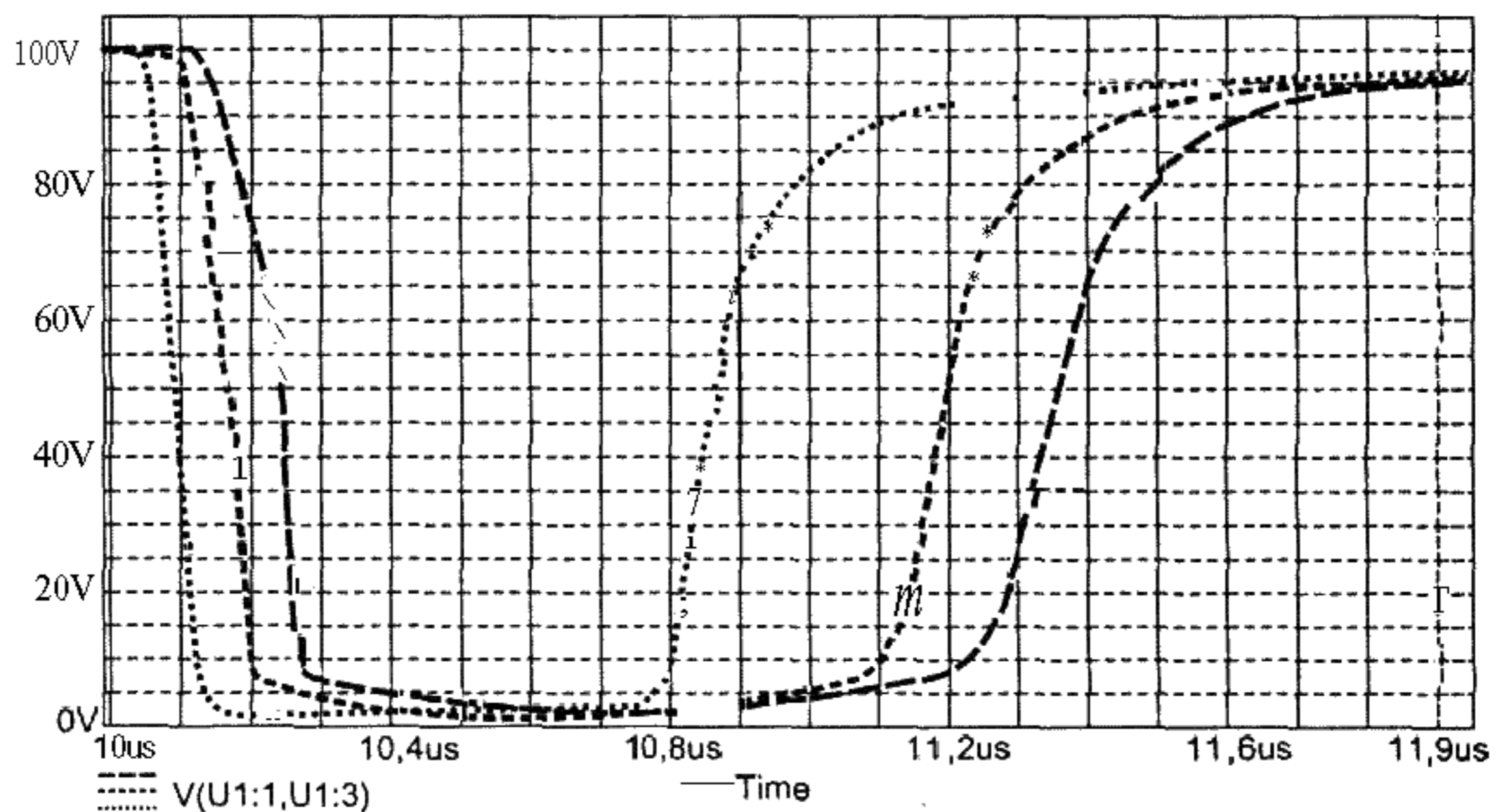


Рис. 4.11. Осциллограммы напряжения на транзисторе при определении влияния времени задержки и крутизны включения и выключения (параметрический анализ)

диодом). Принципиальная схема включения транзистора и параметры элементов схемы приведены на рис. 4.10. В качестве глобального параметра берется величина сопротивления R1. В фигурных скобках около этого сопротивления указывается имя переменной (в нашем случае {R_val}). При обращении к элементу PARAM из библиотеки special.olb задается свойство R_val с начальным

значением, равным 1. Далее, согласно рецепту 4.6.2, задаются следующие свойства: {Global parameter->'R_val'& Value List->'1, 25, 50'}. На рис. 4.11 приведены осциллограммы напряжения на транзисторе при значениях сопротивления затвора, соответственно 1, 25, 50 Ом. Из осциллограмм видно, что величина сопротивления затвора существенным образом влияет на крутизну и время задержки включения и выключения IGBT-транзистора.

4.7. Температурный анализ

При температурном анализе PSpice использует стандартные виды анализа из диалогового окна Simulation Settings при различных температурах.

Количество температурных точек при анализе может быть нулевым или отличным от нуля. Если температурная точка не определена, анализ цепи выполняется при 27 °С. Если в списке температурных точек больше чем один элемент, анализ производится для каждой температурной точки этого списка.

Установка температуры большей, чем максимально допустимая паспортная температура элемента, приводит к перерасчету значений параметров элементов, зависящих от температуры.

4.7.1. Выбор температурного анализа

Задача.

Из списка возможных видов анализа выбрать температурный анализ (Temperature Sweep).

Решение.

PE - D3.Analysis Type^AC Sweep/Noise [Time Domain(Transient)], Options^Temperature Sweep, OK↓

4.7.2. Настройка и запуск температурного анализа

Задача.

Перед температурным анализом задать его настройку — температуру 'Т' (или ряд температур T1...TN), при которых производится анализ модели, и начать моделирование.

Решение.

PE - D3.Analysis Type^AC Sweep/Noise [Time Domain(Transient)], Options^Temperature Sweep, Run the simulation at temperature -XT' [Repeat the simulation for each of the temperatures]-> 'T1...TN', OK — D4↓

Замечание.

Температура задается в градусах Цельсия.

4.7.3. Пример температурного анализа

В качестве примера температурного анализа рассмотрим процесс коммутации IGBT-транзистора IRG4PH50UD (со встречно-параллельным диодом) для температур 25, 50, 75, 100 °С. Принципиальная схема и параметры элементов приведены на рис. 4.12. На рис. 4.13 приведены осциллограммы напряжения на транзисторе для вышеприведенных температур. Моделирование показывает, что включение транзистора для данной схемы практически не зависит от температуры, а процесс выключения существенно зависит от рабочей температуры.

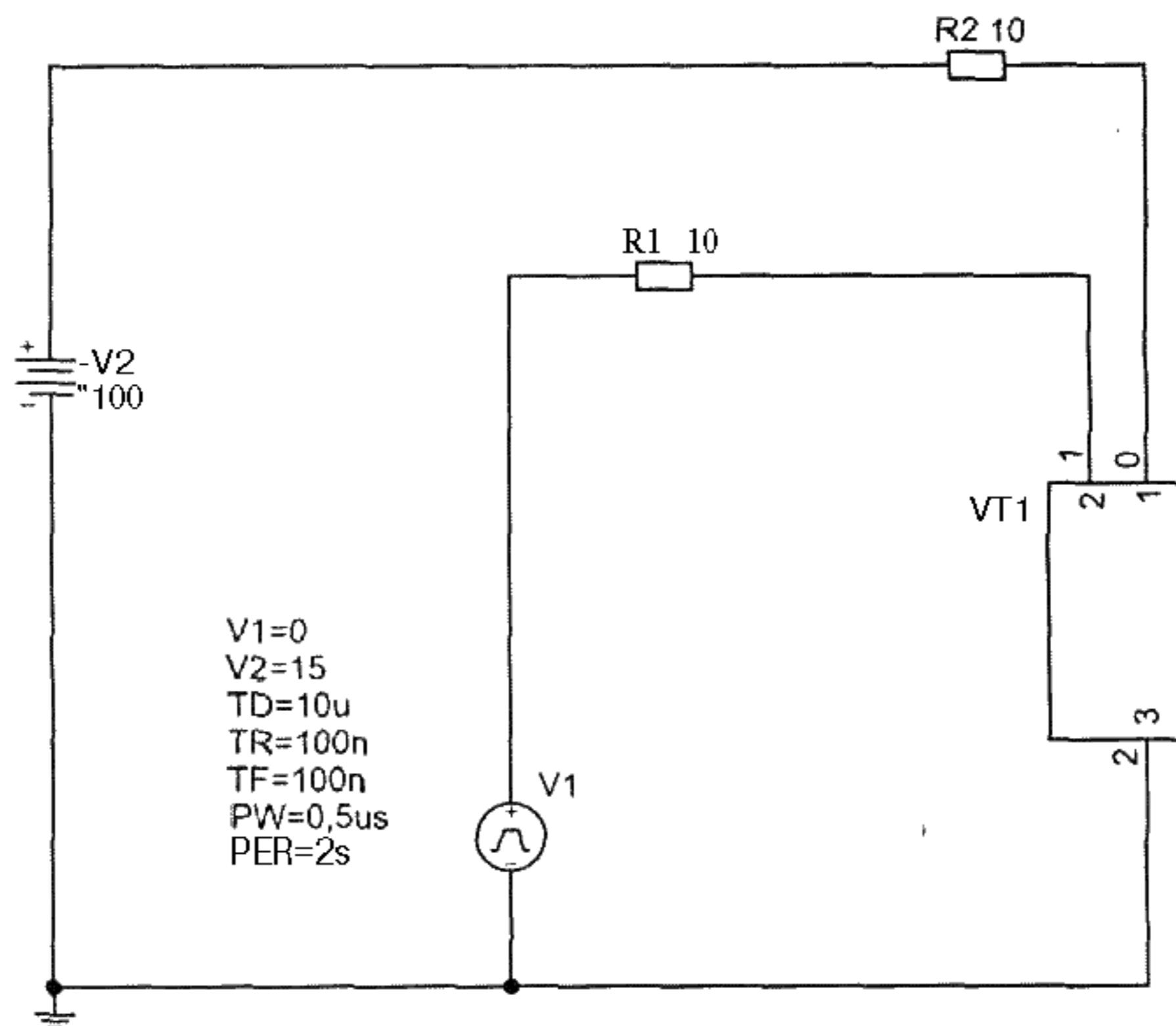


Рис. 4.12. Схема для определения влияния температуры на процессы коммутации транзистора

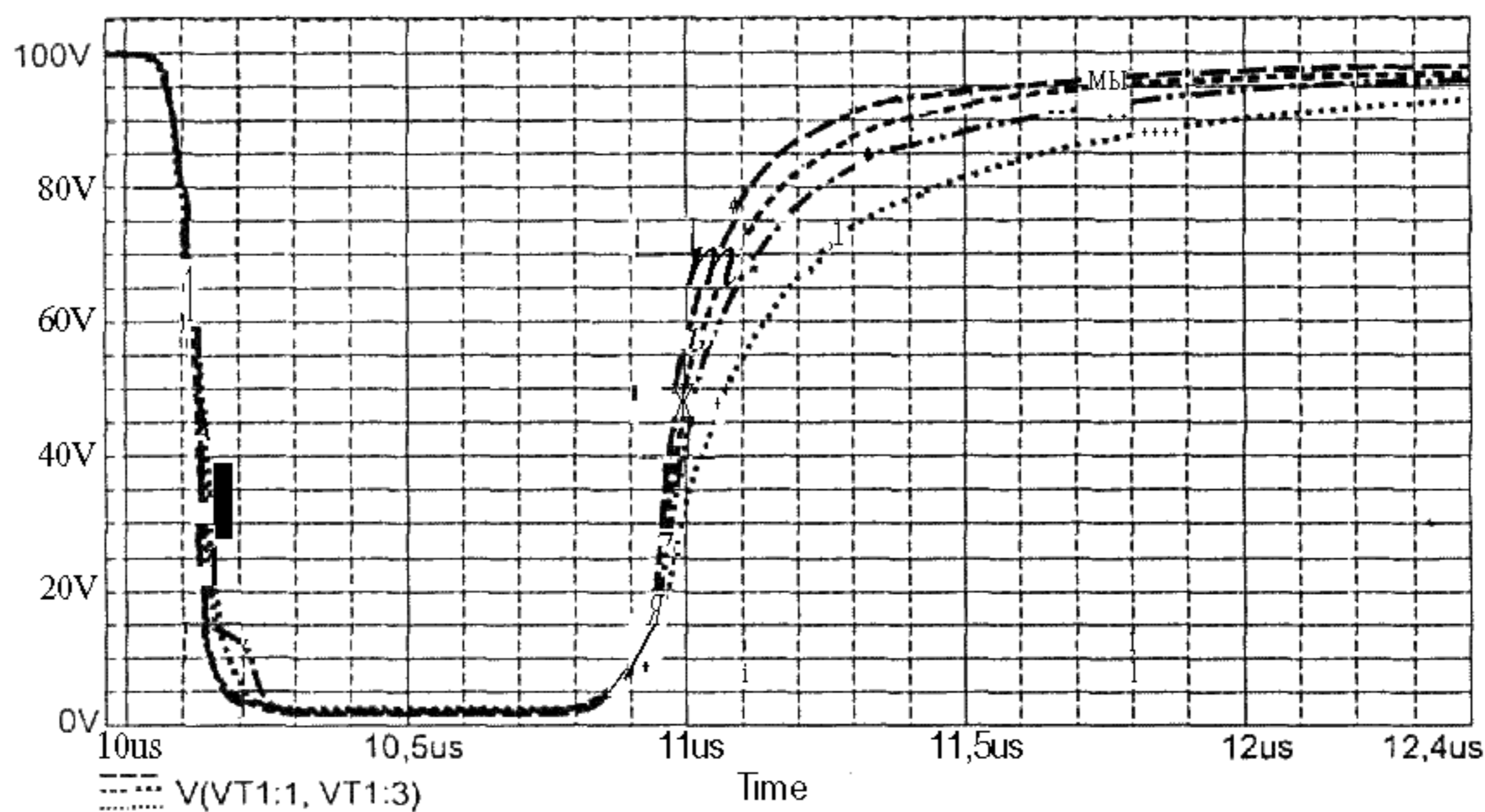


Рис. 4.13. Осциллограммы напряжения на транзисторе при различных рабочих температурах

4.8. Анализ разброса параметров методом Монте-Карло

Анализ разброса параметров методом Монте-Карло является видом статистического анализа.

При анализе методом Монте-Карло изменяются наборы допусков параметров устройств при следующих видах анализа: по постоянному току, по переменному току или переходных процессов, которые запускаются из диалогового окна Simulation Settings с номинальными значениями параметров моделируемых элементов. Перед запуском анализа следует задать модель и набор допусков на необходимые параметры модели.

При анализе методом Монте-Карло генерируются следующие виды отчетов:

- значения параметров модели, используемые для каждого просчета;
- кривые или набор переменных, получаемые при каждом просчете как функция определенной совокупности параметров.

Таким образом, при всех вариантах просчета есть возможность сопоставить некоторые выходные функции.

Полученные в виде результатов данные служат для анализа соответствующих зависимостей. При анализе методом Монте-Карло можно использовать анализ характеристик для построения гистограмм выходных данных.

Для анализа методом Монте-Карло может быть использовано пять вариантов выходных переменных, которые можно определить в диалоговом окне Monte Carlo (приведены в табл. 4.3).

Таблица 4.3. Варианты выходных переменных при анализе методом Монте-Карло

Вариант	Характеристика
<none>	Выходные переменные не генерируются
All	Обеспечивает генерацию всех выходных данных (включая просчет, соответствующий номинальному набору исходных данных)
First*	Генерирует выходные данные только для первых n вариантов просчетов
Every*	Генерирует выходные данные для каждого n-ного просчета
Runs (list)*	Производит анализ и генерирует выходные данные в соответствии со списком, в который может быть занесено до 25 значений

* Указывает на то, что можно устанавливать номер просчета в текстовом окне.

Значения выходных переменных определяются для выбранных просчетов и сохраняются в выходном файле моделирования и файле данных.

Замечание.

Даже небольшое число просчетов может привести к созданию выходных файлов больших размеров.

В случае проведения анализа по методу Монте-Карло PSpice сохраняет результаты анализа по постоянному току для дальнейшей обработки и сравнения. После того как анализ с номинальным значением параметров завершен, PSpice A/D проводит дополнительные просчеты (например, анализ по постоянному току).

Последующие просчеты осуществляются в том же виде анализа, что и просчет номинального варианта, но с принципиальным отличием: вместо использования номинальных значений параметра, просчет производится со значением параметра, определенным с учетом указанных допусков, то есть с новым значением параметра.

Имеется выбор при определении количества просчетов при анализе по методу Монте-Карло. Большее количество просчетов обеспечивает более достоверные статистические данные, но при этом требуются большие затраты времени. Количество временных шкал непосредственно линейно связано с количеством просчетов. Во время просчета анализа по методу Монте-Карло PSpice обеспечивает на дисплее индикацию текущего просчета и количество уже выполненных просчетов.

По мере того как количество расчетов по методу Монте-Карло возрастает, процесс моделирования требует большего времени и размер файла данных возрастает. Увеличение размера файла данных может привести к замедлению открытия данных и замедлению вывода осциллограмм.

Один из способов избежать проявления этого эффекта состоит в том, что необходимо организовать не последовательное выполнение всех просчетов по методу Монте-Карло, а создать блок команд, обеспечивающих каждый раз новое обращение к просчету по методу Монте-Карло. Можно установить набор программных заданий, обеспечивающих построение соответствующих осциллограмм по методу Монте-Карло и оставить выполнение этой задачи на ночь.

4.8.1. Выбор анализа разброса параметров методом Монте-Карло

Задача.

Из списка возможных видов анализа выбрать анализ разброса параметров методом Монте-Карло (Monte Carlo).

Решение.

PE — D3.Analysis Type^Time Domain(Transient)[DC Sweep][AC Sweep/Noise], Options^Monte Carlo/Worst Case, Monte Carlo, OK↓

4.8.2. Настройка и запуск анализа разброса параметров методом Монте-Карло

Задача.

Перед анализом разброса параметров методом Монте-Карло задать его настройки: выходную переменную 'X', число просчитываемых вариантов 'Y', вид

распределения (равновероятное либо гауссовское), начальное значение датчика случайных чисел 'Z' и начать моделирование.

Решение.

PE — D3.Analysis Type^Time Domain(Transient)[DC Sweep][AC Sweep/Noise], Options^Monte Carlo/Worst Case, Monte Carlo, Output variable->'X', Monte Carlo options, {Number of runs->'Y' & Use distribution^Uniform [Gaussian] & Random number seed->'Z', OK — D4↓

Замечание.

Начальное состояние датчика случайных чисел может задаваться в виде нечетных чисел в диапазоне 1...32767. По умолчанию оно равняется 17533.

4.8.3. Составление отчета о значениях параметров модели при анализе методом Монте-Карло

Задача.

При анализе методом Монте-Карло составить отчет о значениях параметра модели.

Решение.

PE — D3.Analysis Type^Time Domain(Transient)[DC Sweep][AC Sweep/Noise], Options^Monte Carlo/Worst Case, Monte Carlo, More Settings.List model parameter value in the output file for each run -> '√', OK, OKI

4.8.4. Создание гистограмм

Задача.

При анализе по методу Монте-Карло создать гистограммы выходного параметра с псевдонимом X для целевой функции 'Y'.

Решение.

PS — A6.Axis Settings, Processing Options, Performance Analysis->'√', OK — A5.Add Trace, {Function or Macros^'Y' & Simulation Output Variables^'X'}, OKI

4.8.5. Задание количества делений интервала целевой функции для формирования гистограмм

Задача.

Задать количество делений интервала целевой функции для формирования гистограмм равным N.

Решение.

PS — A8.Options, Number of Histogram Divisions->'N', OKI

4.8.6. Пример анализа разброса параметров методом Монте-Карло

В качестве примера анализа разброса параметров методом Монте-Карло рассмотрим влияние разброса параметров сопротивления R1 на величину коллекторного тока (целевая функция). Схема приведена на рис. 4.14. Численные значения параметров элементов приведены на схеме. Тип анализа — переходный процесс. Распределение случайной величины — гауссовское, число про-

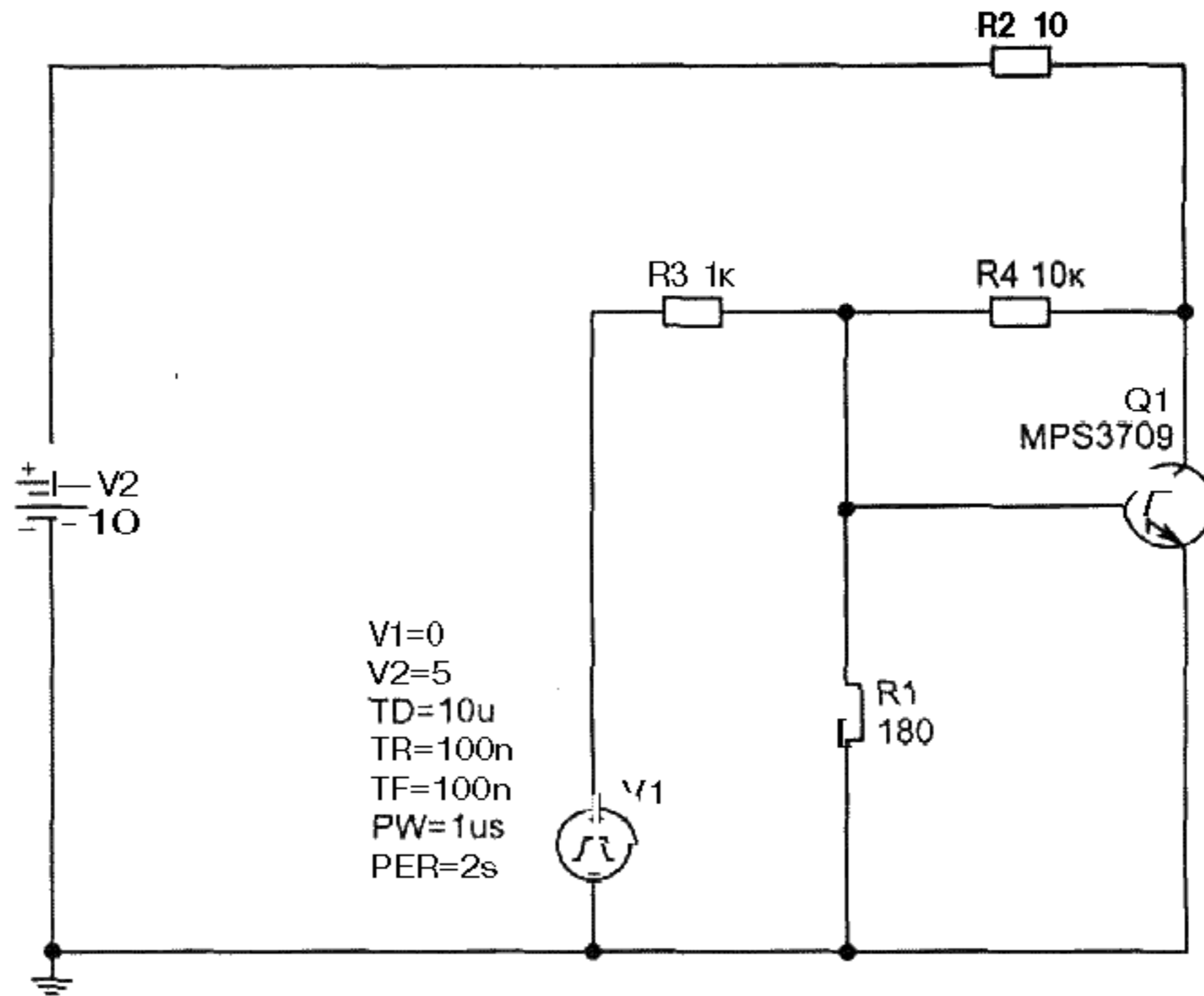


Рис. 4.14. Схема для определения влияния разброса параметров элемента на разброс целевой функции (метод Монте-Карло)

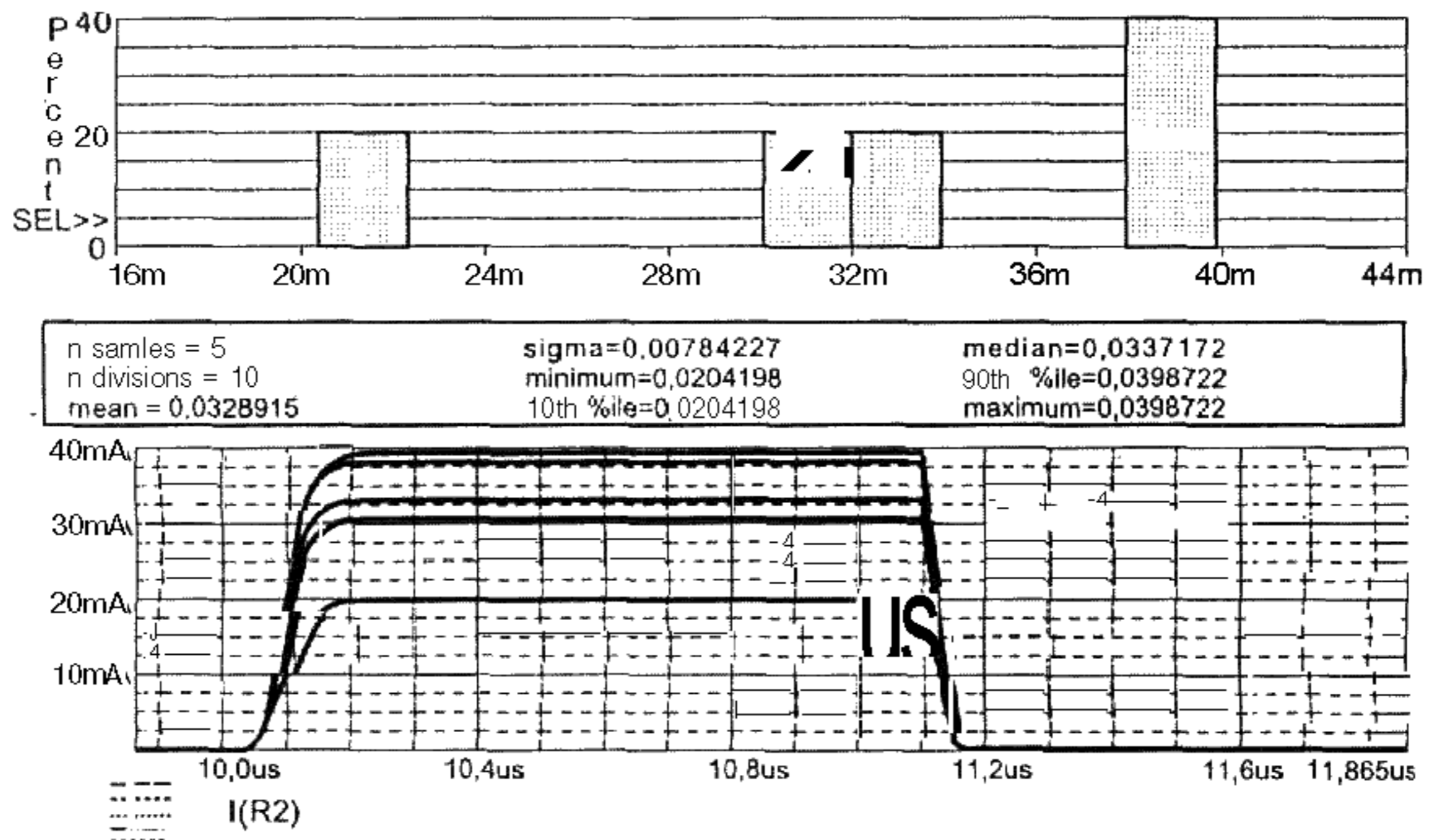


Рис. 4.15. Осциллограммы коллекторного тока (целевая функция) и соответствующая гистограмма

счетов целевой функции — 5, допуск на изменение величины сопротивления R_1 — 20%, количество делений интервала целевой функции для формирования гистограммы — 10.

Осциллограммы коллекторного тока и соответствующая гистограмма приведены на рис. 4.15. Кроме этого на рис. 4.15 приведены численные значения следующих статистических величин: число просчетов целевой функции (n samples), количество делений интервала целевой функции для формирования гистограммы (n divisions), среднее значение целевой функции (mean), среднеквадратичное отклонение целевой функции (σ), минимальное значение целевой функции (minimum), десятипроцентная окрестность минимального значения целевой функции (10 %ile), медиана (median), десятипроцентная окрестность максимального значения целевой функции (90 %ile), максимальное значение целевой функции (maximum).

4.9. Анализ чувствительности методом наихудшего случая

Анализ чувствительности методом наихудшего случая используется, чтобы найти наихудший возможный вариант режима работы схемы или устройства с учетом разброса параметров. Например, если рассматриваются три резистора R_1 , R_2 и R_3 и допуск на их сопротивление $\pm 10\%$, при анализе по наихудшему случаю будет найдена комбинация возможных значений сопротивлений, которые обеспечивают наихудший случай и будет проведено для этого варианта моделирование. При анализе чувствительности методом наихудшего случая рассматриваются три важных элемента: вход, рабочая процедура и выход.

В дополнение к описанию моделируемой схемы необходимо обеспечить следующую информацию:

- допуски параметра;
- определение понятия наихудшего случая.

Возможно установление допусков на любое количество параметров, которые характеризуют модель.

Критерий для определения наихудшего случая, для расположения параметров модели в допустимых пределах их изменения, определяется директивой .WC как некоторая функция базовых выходных переменных при определенном типе анализа.

В заданном диапазоне каждый параметр приводится к соответствующему значению с использованием одной из пяти функций (см. табл. 4.4).

Наихудший случай определяется как наибольшее (HI) или наименьшее (LO) возможное значение функции по отношению к номинальному значению.

Чтобы установить начальное значение функции, по отношению к которой определяется наихудший случай (функция сопоставления), анализ начинается с просчета номинального режима, определяемого номинальными значениями параметров модели.

Таблица 4.4. Функции для определения значения параметра при анализе методом наихудшего случая

Вариант	Характеристика
MAX	Максимальное значение выходной переменной
MIN	Минимальное значение выходной переменной
YMAX	Значение выходной переменной в точке, где она максимально отличается от текущего значения
RISE_EDGE	Номинальное значение, при котором выходная переменная находится выше заданного уровня
FALL_EDGE	Номинальное значение, при котором выходная переменная находится ниже заданного уровня

Затем с помощью ряда просчетов определяется индивидуальное воздействие каждого параметра модели на функцию сопоставления. Это осуществляется изменением параметров модели по одному при каждом просчете. Направление (лучше или хуже), в котором изменение функции сопоставления происходит с малым увеличением при изменении каждого параметра модели, регистрируется.

Наконец, для просчета наихудшего случая значение величины каждого параметра берется так далеко от номинала, как это позволяет допуск в направлении, которое вызывало изменение функции сопоставления к ее худшему значению (задается максимальным HI или минимальным LO относительным значением функции сопоставления).

Анализ нахождения наихудшего случая не является оптимизационным процессом; при нем не происходит поиск набора параметров, которые дают наихудший результат.

Это предполагает, что наихудший случай реализуется, когда каждый параметр находится на одном из концов интервала допуска или принимает свое номинальное значение. Наихудший случай выдается, когда функция сопоставления монотонна при всех комбинациях допусков параметров.

Обычно уверенности в том, что это утверждение истинно, нет, но проведение поиска наихудшего случая указывает на возможность аномального поведения анализируемой цепи.

Результаты анализа чувствительности печатаются в выходном файле (.OUT). Этот результат показывает процентное изменение величины функции сопоставления, отнесенное к малым (по умолчанию — 1%) изменениям каждого параметра модели. Если директива **.PROBE** включена в файл схемы, тогда результаты номинального просчета и просчета для наихудшего случая сохраняются для просмотра в окне Probe. Для каждого изменяемого параметра задаются: изменение функции сопоставления в процентах и значения переменных, в которых заданы значения функции сопоставления. При применении функции сопоставления **YMAX** в выходном файле также перечисляются отклонения и среднеквадратичные отклонения значений. Это основывается на изменениях выходных переменных от номинального значения на каждой точке при каждом просчете анализа чувствительности.

4.9.1. Выбор анализа чувствительности методом наихудшего случая

Задача.

Из списка возможных видов анализа выбрать анализ чувствительности методом наихудшего случая (Worst Case/Sensitivity).

Решение.

PE — D3.Analysis Type^Time Domain(Transient)[DC Sweep][AC Sweep/Noise], Options^Monte Carlo/Worst Case, Worst Case/Sensitivity, OK↓

4.9.2. Настройка и запуск анализа чувствительности методом наихудшего случая

Задача.

Перед анализом чувствительности методом наихудшего случая задать его настройки: выходную переменную 'TOUT', вид допуска (DEV или LOT) и перечень типов элементов модели схемы 'X', участвующих в анализе чувствительности методом наихудшего случая, и начать моделирование.

Решение.

PE — D3.Analysis Type^Time Domain(Transient)[DC Sweep][AC Sweep/Noise], Options^Monte Carlo/Worst Case, Worst Case/Sensitivity, Output Variable->'TOUT', {Vary Devices that have^ DEV [LOT][both DEV and LOT] & Limit devices to type(s)->'X'}, OK - D4↓

4.9.3. Пример анализа чувствительности методом наихудшего случая

Анализ чувствительности методом наихудшего случая проведен на схеме (рис. 4.16), которая обеспечивает коммутацию биполярного транзистора MPS3709, управляемого от источника напряжения VPULSE. При этом допуск 20% имеют резисторы R1 и R4, а резисторы R2 и R3 являются постоянными (допуск на их изменение не задается). Остальные параметры элементов приведены на схеме. Функцией сопоставления является величина тока через резистор R2.

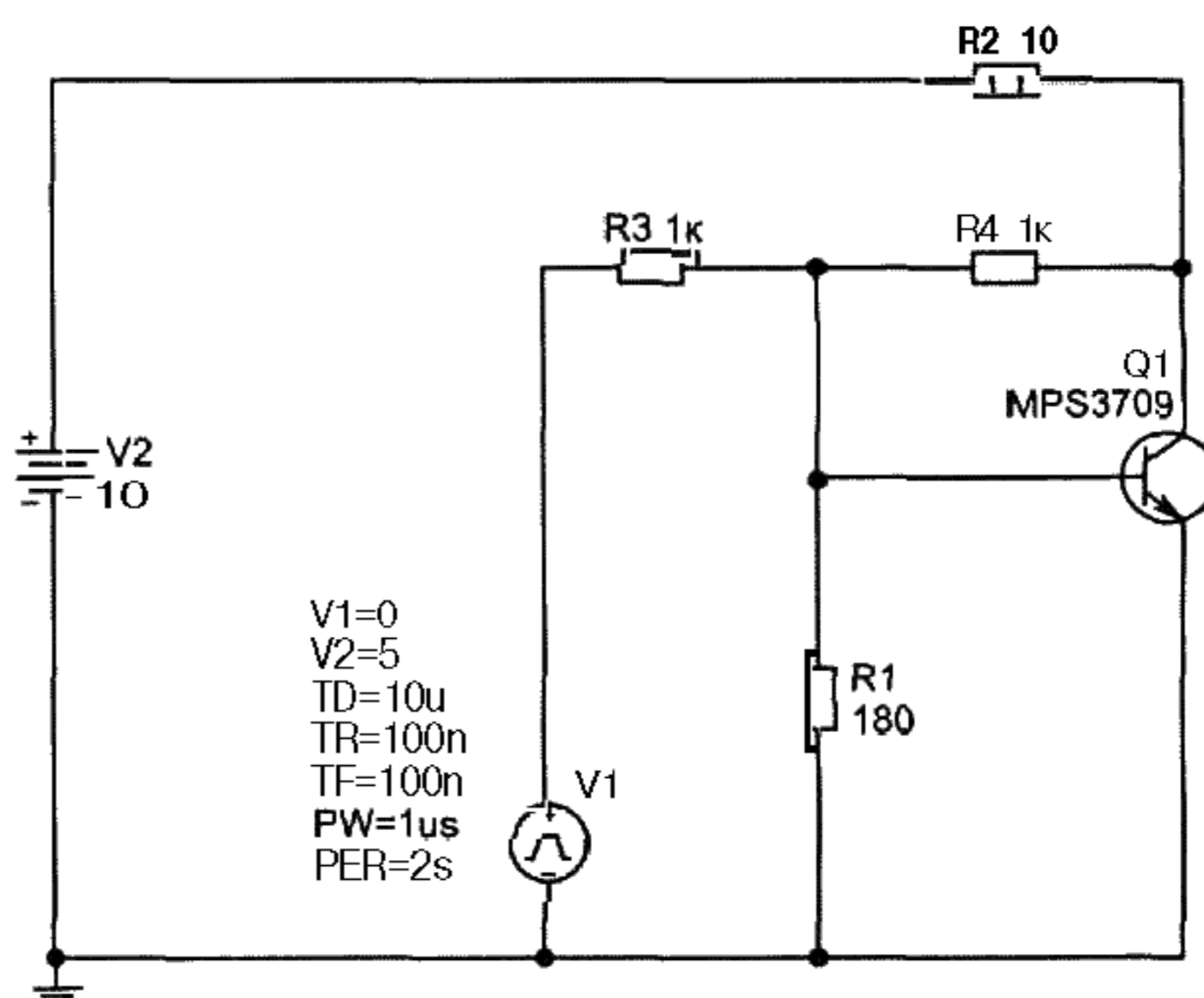


Рис. 4.16. Схема для определения чувствительности методом наихудшего случая

4. Виды анализа

Рассмотрены два случая:

1. Минимальное значение выходной переменной $I(R2)$ при минимальном значении функции сопоставления (LO). Осциллограммы приведены на рис. 4.17. При этом осциллограмма с максимальным значением тока 135,83 мА соответствует базовым значениям параметров сопротивлений $R1$ и $R4$, а осциллограмма, расположенная ниже базовой, является результатом анализа по самому худшему случаю. Выходная переменная при этом имеет значение 110,69 мА,

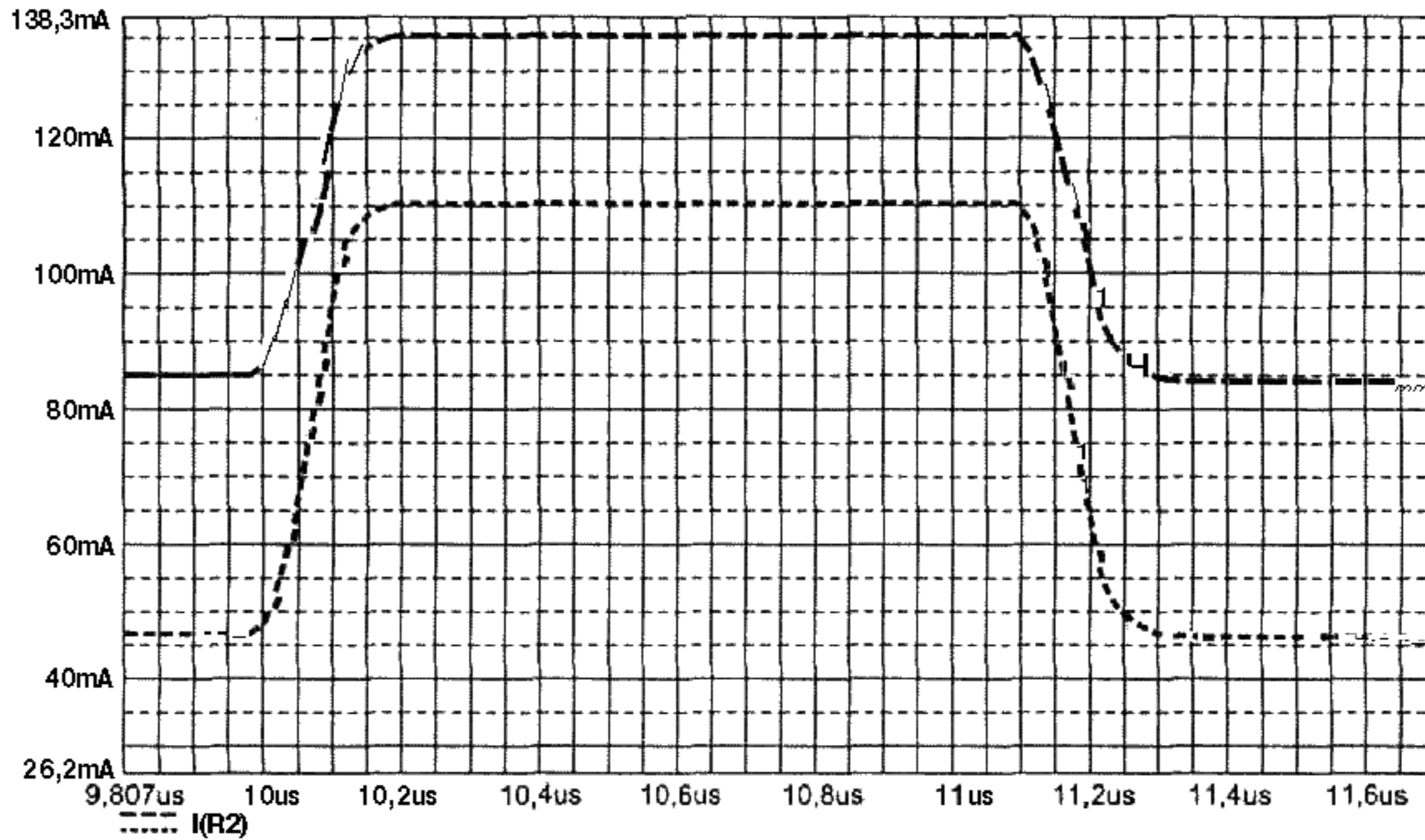


Рис. 4.17. Осциллограммы значений выходной переменной $I(R2)$ для номинального режима и худшего случая (минимальное значение)

Ниже приведен фрагмент выходного файла .OUT для рассмотренного случая.

```

RUN          MINIMUM VALUE
R_R1 RBREAK R          0.1357 at T = 10.5520E-06
              (0.3163% change per 1% change in Model Parameter)
R_R4 RBREAK R          0.1356 at T = 10.5600E-06
              (-0.5482% change per 1% change in Model Parameter)
UPDATED MODEL PARAMETERS    TEMPERATURE = 27.000 DEG C
      WORST CASE ALL DEVICES
Device  MODEL    PARAMETER  NEW VALUE
R_R1    Rbreak   R          .8        (Decreased)
R_R4    Rbreak   R          1.2      (Increased)
      SORTED DEVIATIONS OF I(R_R2)    TEMPERATURE = 27.000 DEG C
      WORST CASE SUMMARY
The range is ( 1.02500E-05 to 1.10000E-05)
RUN          MINIMUM VALUE
      WORST CASE ALL DEVICES
              0.1105 at T = 10.5100E-06
              (81.418% of Nominal)

```

2. Максимальное значение выходной переменной $I(R2)$ при максимальном значении функции сопоставления (НП). Осциллограммы приведены на рис. 4.18. При этом осциллограмма с максимальным значением тока 135,83 мА соответствует базовым значениям параметров сопротивлений $R1$ и $R4$, а осциллограмма, расположенная выше базовой, является результатом анализа по наихудшему случаю. Выходная переменная при этом имеет значение 159,93 мА.

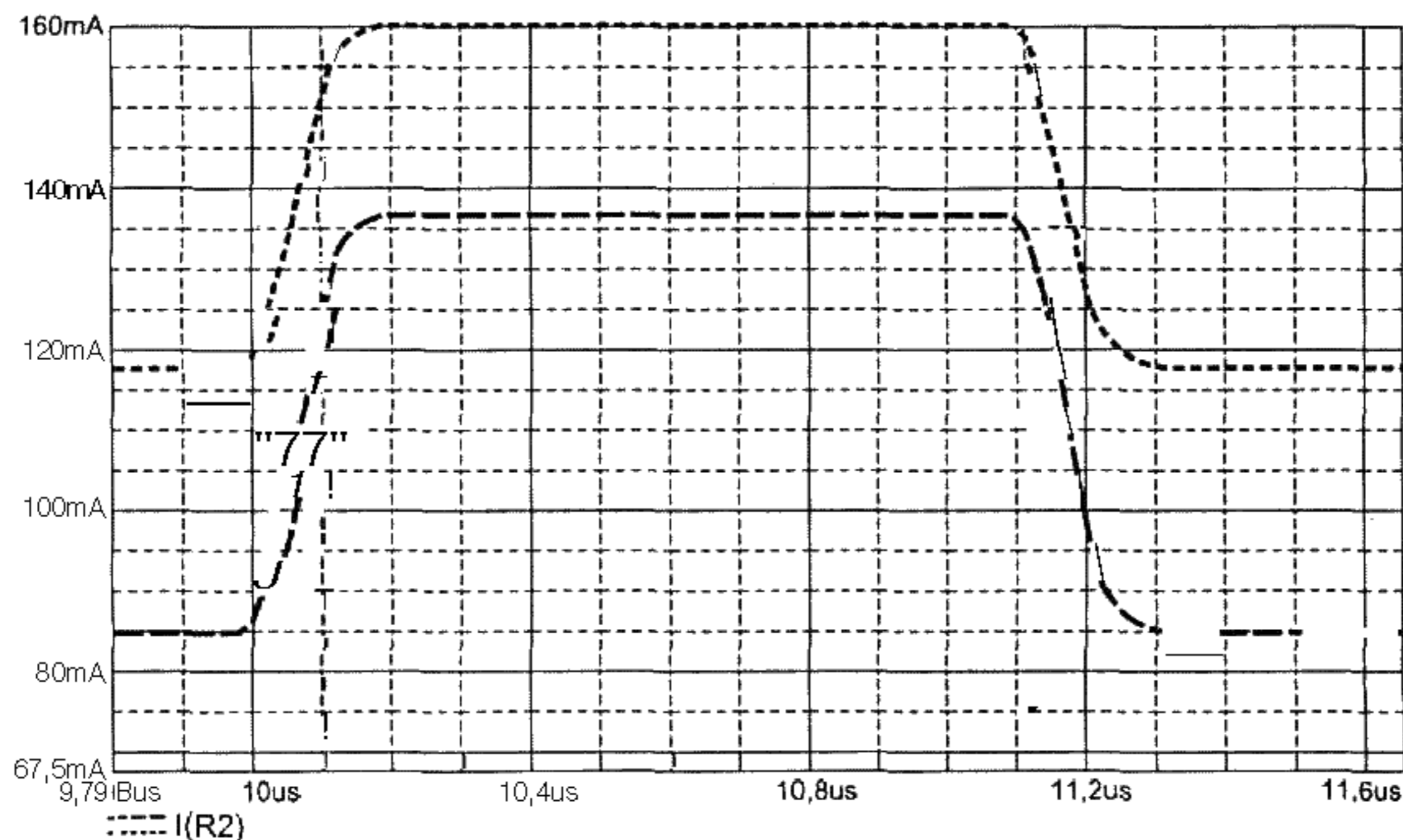


Рис. 4.18. Осциллограммы значений выходной переменной $I(R2)$ для номинального режима и наихудшего случая (максимальное значение)

Ниже приведен фрагмент выходного файла .OUT для рассмотренного случая.

```

RUN                MAXIMUM VALUE
R_R1 RBREAK R      0.1359 at T = 10.3560E-06
                   (0.3587% change per 1% change in Model Parameter)
R_R4 RBREAK R      0.1358 at T = 10.3580E-06
                   (-0.5366% change per 1% change in Model Parameter)
UPDATED MODEL PARAMETERS    TEMPERATURE = 27.000 DEG C
      WORST CASE ALL DEVICES
Device  MODEL    PARAMETER  NEW VALUE
R_R1    Rbreak   R          1.2    (Increased)
R_R4    Rbreak   R          .8    (Decreased)
SORTED DEVIATIONS OF I(R_R2)    TEMPERATURE = 27.000 DEG C
      WORST CASE SUMMARY
The range is ( 1.02500E-05 to 1.10000E-05)
RUN                MAXIMUM VALUE
      WORST CASE ALL DEVICES
                   0.1599 at T = 10.3180E-06
                   (117.74% of Nominal)
    
```

4.10. Анализ начального приближения

Анализ начального приближения осуществляется для любого вида анализа, вне зависимости от того, включено или нет проведение этого анализа в диалоговом окне Simulation Settings. В случае если анализ начального приближения включен в диалоговом окне, объем выходной информации увеличивается.

Когда анализ начального приближения не включается, в выходной файл выдаются только аналоговые напряжения и состояния узлов в цифровых схемах.

Когда анализ начального приближения включен, в выходном файле содержится следующая информация:

- список всех напряжений аналоговых узлов;
- список всех состояний цифровых узлов;
- для каждого источника напряжения задаются его ток и мощность;
- список малосигнальных параметров для всех устройств.

4.10.1. Выбор анализа начального приближения

Задача.

Из списка возможных видов анализа выбрать анализ начального приближения (Bias Point).

Решение.

PE — D3.Analysis Type^Bias Point, ОК↓

4.10.2. Настройка и запуск анализа начального приближения

Задача.

Перед анализом начального приближения задать его настройки: расчет начального приближения для нелинейных управляемых источников и полупроводников, расчет чувствительности и расчет малосигнальных импульсов и начать моделирование.

Решение.

PE — D3.Analysis Type^Bias Point, Output File Options, {.OP->'√' & .SENS->'V & .TF->'√'} ,ОК - D41

4.10.3. Расчет малосигнальных импульсов, входного и выходного сопротивлений

Задача.

В схеме имеется входной источник 'V'. Выходная переменная — 'Vout'. Рассчитать прохождение импульса малого сигнала от входного источника к выходу, входное и выходное сопротивление.

Решение.

PE — D3.Analysis Type^Bias Point, Output File Options, .TF->'√', From Input Source Name->'V', To Output Variable->'Vout', OK — D4↓

4.10.4. Сохранение начального приближения

Задача.

Сохранить начальные приближения для элементов схемы в файле под псевдонимом X.

Решение.

PE — D3.Analysis,Options^Save Bias Point->'√', Save Bias Information in filename->'X', OK↓

4.10.5. Настройки для сохранения начального приближения

При сохранении начального приближения среда OrCAD 9.2 предоставляет следующие варианты настроек:

- один раз за время моделирования;
- с повторением через каждые t секунд.

Эти варианты настроек могут применяться в случае, когда переменная при параметрическом анализе и/или анализе по методу Монте-Карло и/или температурном анализе достигает заданного пользователем значения.

Задача.

Задать настройку для начального приближения: сохранить один раз за время моделирования в 't' секунд, переменная при параметрическом анализе имеет значение 'X', при анализе по методу Монте-Карло — 'Y', при температурном анализе — 'Z'.

Решение.

PE — D3.Analysis,Options^Save Bias Point->'√', Options,Once at simulation time->'t', {When Parametric Sweep Value->'X' & When Monte Carlo run number->'Y' & When Temperature Sweep temperature is->'Z', OK↓

4.10.6. Сохранение начального приближения без учета токов и напряжений в подсхемах

Задача.

Сохранить начальные приближения для элементов схемы в файле под псевдонимом X не учитывая токи и напряжения в подсхемах.

Решение.

PE — D3.Analysis,Options^Save Bias Point->'√', Options, Do not save subcircuit voltages and currents->'√', Save Bias Information in filename->'X', OK↓

4.10.7. Загрузка начального приближения

Задача.

Загрузить начальные приближения для элементов схемы из файла под псевдонимом X.

Решение.

PE — D3.Analysis,Options^Load Bias Point->'√', Load Bias Information from filename->'X', OK↓

4.10.8. Выдача в выходной файл информации о начальном приближении

Задача.

Выдать в выходной файл (.OUT) информацию о начальном приближении в схеме.

Решение.

PE — D3.Options, Category^Output List, NOBIAS->'√', OK↓

4.10.9. Визуализация всей информации о начальном приближении

Задача.

Визуализировать всю информацию о начальном приближении.

Решение.

PE - A7.Bias Point.Enable->'√'↓

4.10.10. Девизуализация всей информации о начальном приближении

Задача.

Девизуализировать всю информацию о начальном приближении.

Решение.

PE — A7.Bias Point.Enable->' '↓

4.10.11. Визуализация информации о начальном приближении токов схемы

Задача.

Визуализировать информацию о начальном приближении токов схемы.

Решение.

PE — A7.Bias Point.Enable Bias Current Display->'√'↓

4.10.12. Девизуализация информации о начальном приближении токов схемы

Задача.

Девизуализировать информацию о начальном приближении токов схемы.

Решение.

PE — A7.Bias Point.Enable Bias Current Display->' '↓

4.10.13. Визуализация информации о начальном приближении напряжений схемы

Задача.

Визуализировать информацию о начальном приближении напряжений схемы.

Решение.

PE — A7.Bias Point.Enable Bias Voltage Display->'√'↓

4.10.14. Девизуализация информации о начальном приближении напряжений схемы

Задача.

Девизуализировать информацию о начальном приближении напряжений схемы.

Решение.

PE — A7.Bias Point.Enable Bias Voltage Display->' '↓

4.10.15. Визуализация информации о начальном приближении мощностей схемы

Задача.

Визуализировать информацию о начальном приближении мощностей схемы.

Решение.

PE — A7.Bias Point.Enable Bias Power Display->'√'↓

4.10.16. Девизуализация информации о начальном приближении мощностей схемы

Задача.

Девизуализировать информацию о начальном приближении мощностей схемы.

Решение.

PE — A7.Bias Point.Enable Bias Power Display->' '↓

4.10.17. Визуализация информации о начальном приближении выбранных токов схемы

Задача.

Визуализировать информацию о начальном приближении выбранных токов схемы.

Решение.

PE — A7.Bias Point.Toggle Selected Bias Current->'√'↓

4.10.18. Девизуализация информации о начальном приближении выбранных токов схемы

Задача.

Девизуализировать информацию о начальном приближении выбранных токов схемы.

Решение.

PE — A7.Bias Point.Toggle Selected Bias Current->' '↓

4.10.19. Визуализация информации о начальном приближении выбранных напряжений схемы

Задача.

Визуализировать информацию о начальном приближении выбранных напряжений схемы.

Решение.

PE — A7.Bias Point.Toggle Selected Bias Voltage->'√'↓

4.10.20. Девизуализация информации о начальном приближении выбранных напряжений схемы

Задача.

Девизуализировать информацию о начальном приближении выбранных напряжений схемы.

Решение.

PE — A7.Bias Point.Toggle Selected Bias Voltage->' '↓

4.10.21. Визуализация информации о начальном приближении выбранных мощностей схемы

Задача.

Визуализировать информацию о начальном приближении выбранных мощностей схемы.

Решение.

PE — A7.Bias Point.Toggle Selected Bias Power->'√'↓

4.10.22. Девизуализация информации о начальном приближении выбранных мощностей схемы

Задача.

Девизуализировать информацию о начальном приближении выбранных мощностей схемы.

Решение.

PE — A7.Bias Point.Toggle Selected Bias Power->'√'↓

4.11. Анализ характеристик

Анализ характеристик представляет собой отдельную область в PSpice и позволяет сравнить характеристики семейства кривых схемных функций, обрабатывая их с помощью целевых функций, перечень которых приведен в окне PS — A6.Add Traces.

4.11.1. Выбор анализа характеристик

Задача.

Для выходной осциллограммы произвести анализ характеристик (Performance Analysis).

Решение.

PS — C7↓

5. Моделирование

Но рыбой не насытишься — это еда несущественная;
главное в обеде не рыба, не соусы, а жаркое.

А. П. Чехов, «Сирена»

Среда OrCAD 9.2 дружелюбна к пользователю и позволяет ему с удобствами использовать широкие возможности настройки процессов моделирования и обработки результатов. В настоящей главе будут приведены рецепты настройки и обработки результатов моделирования, а также некоторые приемы, позволяющие эффективно использовать возможности среды OrCAD 9.2.

5.1. Настройка процесса моделирования

5.1.1. Моделирование схемы из Capture

Задача.

Запустить моделирование из Capture.

Решение.

PE – D4↓

5.1.2. Моделирование схемы из PSpice

Задача.

Запустить моделирование из PSpice.

Решение.

PS – B13↓

5.1.3. Пауза в PSpice при моделировании

Задача.

Временно остановить моделирование из PSpice.

Решение.

PS – B14↓

5.1.4. Переназначение времени TSTOP в процессе моделирования

В некоторых случаях, особенно при моделировании новой схемы, трудно определить время моделирования TSTOP, поскольку характер и длительность переходного процесса заранее неизвестны. Если время TSTOP первоначально установлено неверно и не позволяет получить необходимую о переходном процессе информацию, необходимо либо начать моделирование с нулевого момента времени, установив новое значение TSTOP, либо продолжить моделирование с момента остановки, задав необходимые начальные условия и состояния соответствующих нелинейных и/или ключевых элементов, что не всегда просто реализовать. Среда OrCAD 9.2 предоставляет удобную возможность продолжать анализ переходного процесса до тех пор, пока это необходимо, устанавливая в процессе счета новое значение TSTOP (счет с продолжением).

Задача.

Проект запущен на моделирование. Необходимо изменить длительность моделирования TSTOP на время 'Y' из PSpice, не прерывая моделирования.

Решение.

PS - B14 - B12->'Y' - B13↓

Замечание.

Процедуру назначения новой величины времени TSTOP необходимо произвести до остановки процесса моделирования.

5.1.5. Остановка в PSpice при моделировании

Задача.

Остановить моделирование из PSpice.

Решение.

PS - A5.Stop↓

5.1.6. Остановка моделирования для изменения параметров расчетов

После установки параметров моделирования может возникнуть необходимость проверки оптимального (рационального) их выбора. В частности, это может касаться максимальной величины шага (Maximum Step Size, TMAX), а также параметров, задаваемых во вкладке Options диалогового окна Simulation Settings. При этом перечисленные параметры подбираются из соображений поддержания необходимой точности моделирования при минимальных затратах времени. Для упрощения этого процесса среда OrCAD 9.2 предоставляет специальную процедуру.

Задача.

Проект запущен на моделирование. Необходимо изменить параметры моделирования из PSpice, не прерывая моделирования.

Решение.

PS — B14 — A5.Edit Simulation Settings, "внести новые параметры в поля Change To", OK & Resume Simulation↓

Замечание.

Доступны к изменению следующие параметры: RELTOL, ABSTOL, VNTOL, GMIN, TSTOP, TMAX, ITL1, ITL2, ITL4 (смысл и значение параметров, обозначенных перечисленными терминами см. в разделе 3.5).

5.1.7. Плановое изменение опций моделирования

Функционирование численных методов решения уравнений, описывающих модель, определяется параметрами, заключенными во вкладке **.OPTIONS** диалогового окна Simulation Settings (см. п. 3.4.2). Соответствие этих параметров конкретной модели является очень важным, так как определяет точность получаемых результатов и время моделирования. В случае, когда модель является существенно нелинейной (ключи, тиристоры, транзисторы, диоды и т. д. — то есть ключевые элементы), работа схемы подразделяется на периоды между коммутациями ключевых элементов. Вообще говоря, для каждого такого периода возможно назначение набора параметров из вкладки **.OPTIONS**, являющегося оптимальным по обеспечению точности или быстродействия, а часто на практике — рациональным для обеспечения точности и быстродействия одновременно. При этом наборы этих параметров для каждого из периодов между коммутациями могут существенно отличаться. Задача определения набора параметров одновременно являющегося рациональным с точки зрения точности и быстродействия на всем временном интервале моделирования является достаточно сложной. В случае, если моменты коммутаций ключевых элементов заранее известны, можно для каждого периода между коммутациями устанавливать свой рациональный (а может быть, и оптимальный) набор параметров. Среда OrCAD 9.2 предоставляет пользователю возможность назначения набора параметров из диалогового окна Simulation Settings в соответствующие моменты времени.

Задача.

Установить значение параметра RELTOL в интервале времени от 0 до t_1 — 'X₁', от t_1 до t_2 — 'X₂' и от t_2 до TSTOP — 'X₃' и запустить моделирование. Настройки сохранить в файле с псевдонимом Y.

Решение.

PE - A2.New.Text File - -> .OPTIONS RELTOL - {SCHEDULE (0s, 'X₁', t_1 , 'X₂', t_2 , 'X₃')} - A2.SaveAs, Имя файла (Filename) -> 'Y' - PE - D3.Include Files, Filename->'Y', Add to Design, OK — D4↓

Замечание 1.

Данный рецепт справедлив для любого из параметров из диалогового окна Simulation Settings или их произвольного набора.

Замечание 2.

Количество временных интервалов может быть произвольным.

5.1.8. Установка опций для менеджера очереди

Задача.

Установить опции для менеджера очереди.

Решение.

PS — C28 — Tools.Options, "выбрать нужные опции", ОК↓

Замечание.

Имеются два блока опций. В первом выбирается один из трех пунктов:

- отобразить моделирование в очереди (Display simulation in queue);
- приостановить текущее моделирование и запустить следующее (Pause the current simulation and run the new one);
- остановить текущее моделирование и запустить следующее (Stop the current simulation and run the new one).

Во втором блоке выбирается один из двух пунктов:

- продолжить моделирование (Resume simulation);
- ждать вмешательства пользователя (Wait for user intervention).

5.1.9. Использование PSpice при работе с очередью

Задача.

При моделировании проекта 'X', стоящего в очереди, просмотреть его осциллограммы.

Решение.

PS — C28 — 'X' — View.Simulation Results↓

5.1.10. Запуск параллельного моделирования

Задача.

Даны два проекта 'X' и 'Y'. Необходимо осуществить их параллельное моделирование.

Решение.

DM — A2.Open.Project, Имя файла (Filename)->'X' — PE — D4 -- DM — A2.Open.Project, Имя файла (Filename)->'Y' — PE — D4↓

5.1.11. Запуск проекта на моделирование из очереди

Задача.

Запустить проект 'X' на моделирование из очереди.

Решение.

PS — C28 — 'X' — Simulation.Run↓

5.1.12. Добавление проектов в очередь на моделирование

Задача.

Добавить проект 'X' в очередь на моделирование.

Решение.

PS - - C28 - File.Add Simulation, Имя файла (Filename)->'X', Открыть (Open)↓

5.1.13. Пауза при моделировании проекта из очереди

Задача.

При моделировании проекта 'X' поставить из окна очереди паузу.

Решение.

PS — C28 — 'X' — Simulation.Pause↓

5.1.14. Остановка моделируемого проекта из очереди

Задача.

Остановить моделирование проекта 'X' из очереди.

Решение.

PS — C28 — 'X' — Simulation.Stop↓

5.1.15. Трансляция PSpice-программы в исполняемый файл

Пусть на компьютере проведено моделирование схемы в среде OrCAD 9.2. Для демонстрации результатов моделирования на компьютерах, на которых не установлена среда OrCAD 9.2, имеется возможность после окончания моделирования оттранслировать программу получения результатов моделирования в исполняемый файл.

Задача.

Оттранслировать PSpice-программу в файл с псевдонимом X.

Решение.

PS — A2.Log Commands, Имя файла (Filename)->'X', Сохранить (Save)↓

5.2. Обработка результатов моделирования

Обработка результатов моделирования в среде OrCAD 9.2 может быть подразделена на следующие пункты:

- обработка графической и связанной с ней символьной информации;
- функциональные преобразования полученной информации;
- вспомогательные преобразования полученной информации.

5.2.1. Отображение осциллограммы с помощью щупа

При моделировании возникает задача вывода осциллограммы (ток, напряжение, потенциал, мощность). Одним из способов вывода осциллограммы является использование щупов.

Задача.

В схеме имеется элемент с псевдонимом X. Необходимо с помощью щупа получить осциллограмму тока через этот элемент.

Решение.

PE - D8.'X'↓

Замечание 1.

Щуп необходимо устанавливать на выводе элемента.

Замечание 2.

Аналогично решаются задачи получения осциллограмм потенциала (D6) и мощности (D9) на элементе.

Замечание 3.

Для получения осциллограммы напряжения необходимо разместить два щупа (D7) в соответствующих точках схемы.

5.2.2. Отображение осциллограммы путем задания переменной

При моделировании возникает задача вывода осциллограммы (ток, напряжение, потенциал, мощность). Одним из способов вывода осциллограммы является задание переменной.

Задача.

В схеме имеется элемент с псевдонимом X. Необходимо с помощью задания переменной получить осциллограмму тока через этот элемент.

Решение.

PS - C9.Full List^I('X'),OK↓

Замечание 1.

Аналогично могут быть получены значения потенциалов V('X') и мощностей W('X').

Замечание 2.

Для получения осциллограммы напряжения необходимо рассмотреть разность между потенциалами двух соответствующих точек схемы.

5.2.3. Изменение цвета осциллограммы

Задача.

Для осциллограммы 'X' изменить цвет на 'Z'.

Решение.

PS — 'X' — "RightMouse".Properties, Colors ^ 'Z'.OK↓

Замечание.

По умолчанию в Capture маркеры имеют серый цвет. PSpice отображает выбранные маркерами в Capture осциллограммы, автоматически назначая их цвета. Цвет, назначенный маркеру, будет совпадать с цветом осциллограммы в PSpice и наоборот.

5.2.4. Изменение ширины линии осциллограммы

Задача.

Изменить ширину линии осциллограммы 'X', выведенной на экран на ширину, равную 'Y'.

Решение.

PS - 'X' - "RightMouse".Properties, Width^'Y', OK↓

Замечание.

По умолчанию осциллограммы имеют минимальную ширину линии.

5.2.5. Отображение осциллограмм без специальных значков

Задача.

Отобразить осциллограмму без значков, идентифицирующих осциллограммы при печати.

Решение.

PS — A8.Options, Use Symbols.Never — OK↓

Замечание.

По умолчанию значки присутствуют.

5.2.6. Нахождение локального максимума на заданном участке

Задача.

Найти локальный максимум на заданном участке 'X' осциллограммы 'Y'.

Решение.

PS - 'Y' - C3 - <'X'> - C13 - C18↓

5.2.7. Нахождение локального минимума на заданном участке

Задача.

Найти локальный минимум на заданном участке 'X' осциллограммы 'Y'.

Решение.

PS - 'Y' - C3 - <'X'> - C13 - C17↓

5.2.8. Определение длительности импульса двумя лучами

Задача.

Дан импульс с фронтами T_r и T_f . Определить его длительность двумя лучами.

Решение.

PS - C13 - "LeftMouse" ^ T_r , "RightMouse" ^ T_f ↓

Замечание.

Значение длительности импульса отображается в пункте dif окна Probe-Cursor.

5.2.9. Отображение осциллограммы в требуемом диапазоне по оси ординат

Задача.

Отобразить осциллограмму 'X' в требуемом диапазоне 'Y'...'Z' по оси ординат.

Решение.

PS — 'X' — "RightMouse".Settings, Y Axis.Data Range ^ User Defined -> 'Y' to 'Z', OK ↓

Пример.

Отображение переменной величины, положительное отклонение которой настолько больше отрицательного, что отрицательное неразлично. Отображение осуществляется на двух осциллограммах: на первой отображается весь сигнал, а на второй — его отрицательная часть.

5.2.10. Увеличение на осциллограмме масштаба окрестности заданной точки с дискретным шагом

Задача.

Увеличение масштаба осей осциллограммы с псевдонимом X, в окрестности заданной точки 'Y'.

Решение.

PS - 'X' - C1 - 'Y' ↓

Замечание.

Данная процедура может повторяться.

5.2.11. Уменьшение на осциллограмме масштаба окрестности заданной точки с дискретным шагом

Задача.

Уменьшение масштаба осей осциллограммы с псевдонимом X, в окрестности заданной точки 'Y'.

Решение.

PS - 'X' - C2 - 'Y'↓

Замечание.

Данная процедура может повторяться.

5.2.12. Выделение на осциллограмме требуемой области с увеличением масштаба

Задача.

Выделить на осциллограмме с псевдонимом X требуемую область в окрестности точки 'Y'.

Решение.

PS - 'X' - C3 - <'Y'>↓

Замечание.

Данная процедура может повторяться.

5.2.13. Возвращение к масштабу осциллограмм, определенному при первоначальной настройке моделирования

Задача.

Вернуться к масштабу осциллограмм, определенному при первоначальной настройке моделирования.

Решение.

PS - C4↓

5.2.14. Изменение переменной по оси абсцисс

Задача.

Заменить переменную по оси абсцисс на 'X'.

Решение.

PS — A7.Axis Settings, Axis Variable, Full List^'X'[Trace Expression->'X'], ОК, ОКІ

Замечание.

По умолчанию переменной по оси абсцисс является Time.

5.2.15. Добавление второй оси ординат

В случае, если в одном окне выдачи осциллограмм отображаются две осциллограммы, среда OrCAD 9.2 предоставляет возможность построения второй оси ординат. Масштабы осей могут задаваться различными.

Задача.

Добавить вторую ось ординат в окно выдачи осциллограмм.

Решение.

PS - A7.Add Y Axis↓

5.2.16. Удаление второй оси ординат**Задача.**

Удалить вторую ось ординат из окна выдачи осциллограмм.

Решение.

PS — A7.Delete Y Axis↓

5.2.17. Отображение двух осциллограмм в одном окне**Задача.**

Отобразить в одном окне две осциллограммы с псевдонимами X и Y.

Решение.

PS - A6.Add Trace, Full List^'X','Y',OK↓

Замечание.

Данная задача может быть решена для занесения в одно окно количества осциллограмм большего, чем две. Все осциллограммы отображаются в окне разными цветами.

5.2.18. Отображение в одном окне графиков двух осциллограмм, амплитуда которых существенно отличается**Задача.**

Отобразить в одном окне графики двух осциллограмм, амплитуда которых существенно отличается.

Пример.

Ток через вентиль и импульс управления на вентиле.

Решение.

Ввести масштабный коэффициент для одной из осциллограмм.

Пример.

В качестве примера рассмотрим ток через тиристор и импульсы управления тиристором для схемы, приведенной на рис 5.1. На рис. 5.2 приведены осциллограммы тока через тиристор и импульсов управления для случая с естественным масштабам ПО ОСИ Ординат, а

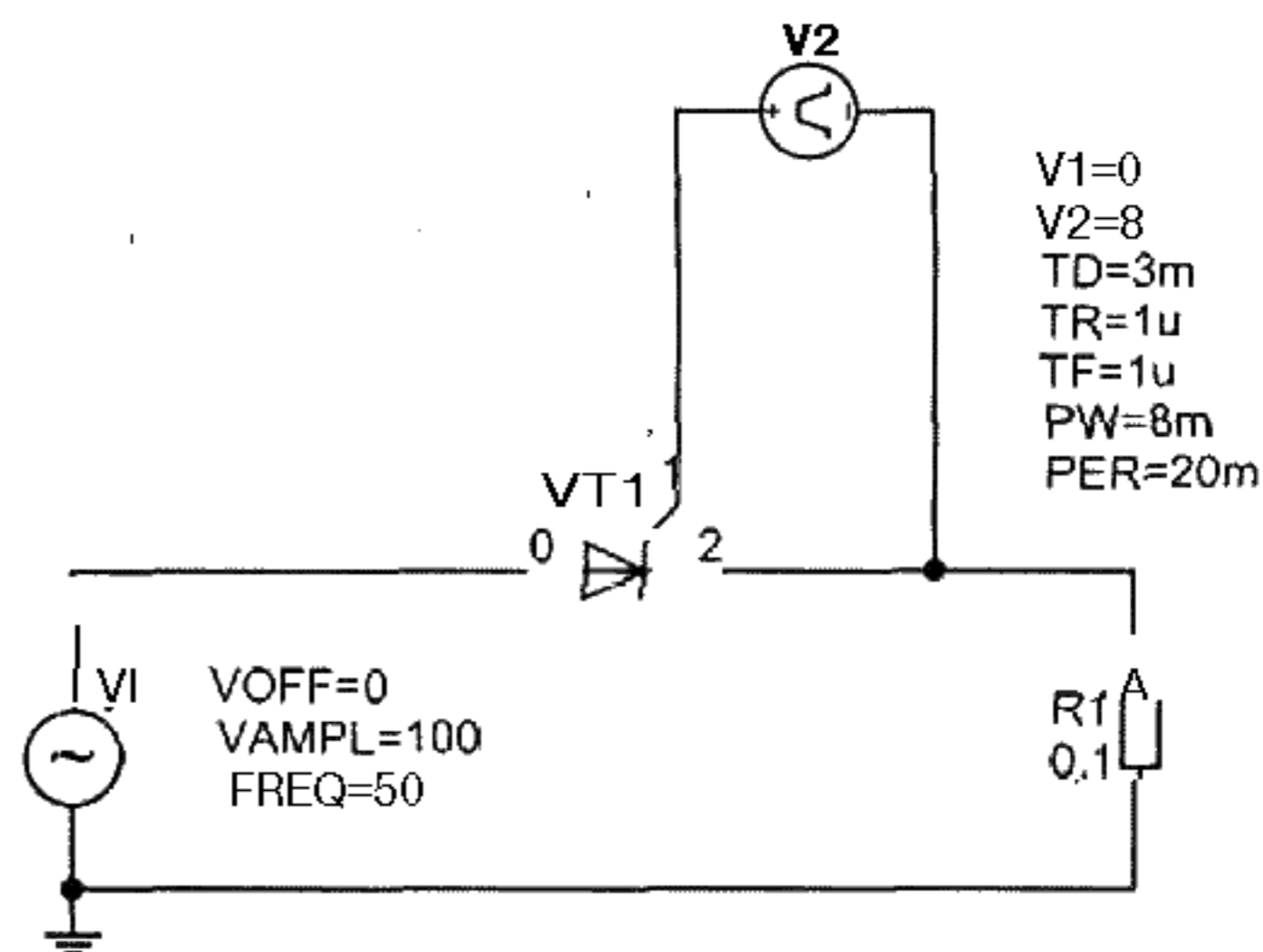


Рис. 5.1. Схема для иллюстрации отображения в одном окне графиков двух осциллограмм, амплитуда которых существенно отличается

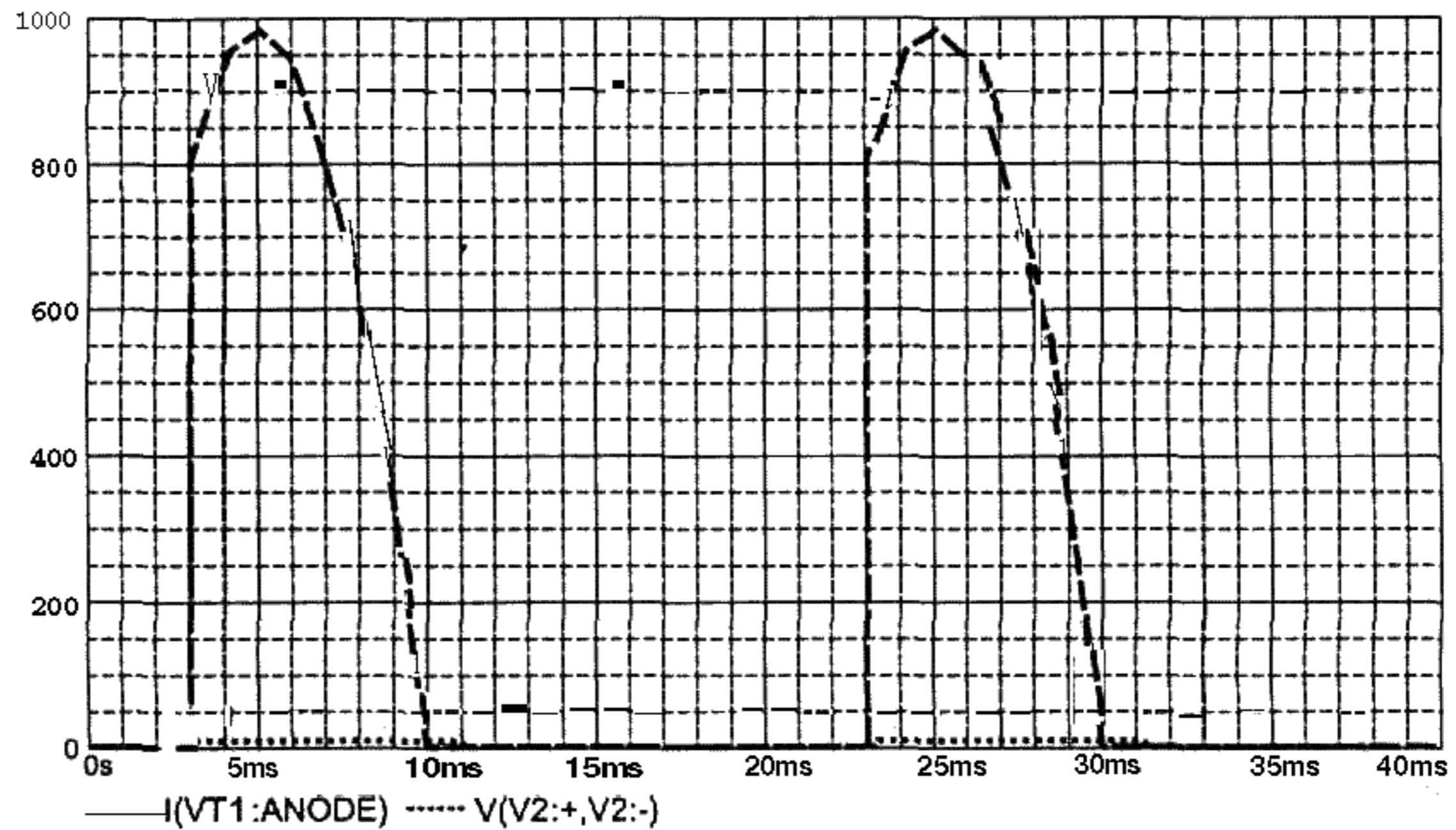


Рис. 5.2. Осциллограммы тока через тиристор и импульсов управления для случая с естественным масштабом по оси ординат



Рис. 5.3. Осциллограммы тока через тиристор и импульсов управления для случая, когда масштаб отображения импульсов управления искусственно увеличен для удобства работы

на рис. 5.3 осциллограммы тока через тиристор и импульсов управления для случая, когда масштаб отображения импульсов управления искусственно увеличен для удобства работы.

5.2.19. Отображение в одном окне осциллограмм из разных проектов

Задача.

Отобразить в одном окне две осциллограммы с псевдонимами X и Y из разных проектов.

Решение.

PS — A6.Add Trace, Full List^'X' —A2.Append Waveform, Имя файла (Filename)->'Y', Открыть (Open)↓

Замечание.

Данная задача может быть решена для занесения в одно окно количества осциллограмм большего, чем две. Все осциллограммы отображаются в окне разными цветами.

5.2.20. Построение выражений в PSpice

В PSpice кроме выдачи осциллограмм токов, напряжений, потенциалов и мощностей имеется возможность строить более сложные выражения (например, функции от токов, напряжений, потенциалов и мощностей). Выражения могут быть построены с помощью набора стандартных функций, приведенных в табл. 1.4.

Задача.

Построить осциллограмму значения модуля тока через резистор R1.

Решение.

PS — A6.Add Trace, Trace Expression->ABS(I(R1)), ОК↓

5.2.21. Вычисление средних значений

Очень часто при анализе схем разработчику необходимо знание средних и/или действующих значений напряжений, токов, мощностей и т. д. Рассмотрим вычисление средних и действующих значений в среде OrCAD 9.2. По определению:

$$I_{\text{cp}} = \frac{1}{T} \int_0^T I(t) dt, \quad (5.1)$$

$$I_{\text{дейст.}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) dt}. \quad (5.2)$$

При анализе переходных процессов часто требуется вычисление «текущих» средних и действующих значений и реализуется счет по формулам, где вместо значений периода T подставляется текущее время (Time). В среде OrCAD 9.2 применяются следующие формулы:

$$AVG(f(x))_i = \frac{\int_{x_0}^{x_1} f(x) dx}{x_1 - x_0}, \quad (5.3)$$

$$RMS(f(x))_i = \sqrt{\frac{\int_{x_0}^{x_1} |f(x)|^2 dx}{x_1 - x_0}}. \quad (5.4)$$

5. Моделирование

Вообще говоря, формулы (5.1) и (5.2) дают результат, отличный от полученного по формулам (5.3) и (5.4) соответственно. Покажем, что погрешность при этом для достаточно больших значений времени T_{ime} может быть допустимо малой.

Вычисление определенного интеграла предполагает нахождение предела

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum S}{\sum t},$$

где $\sum S = nS + \Delta S$ — суммарная площадь геометрических фигур, образуемых графиком рассматриваемой функции и осью времени.

Здесь S — площадь под кривой в размере одного периода установившегося процесса; n — число рассматриваемых периодов; ΔS — площадь под кривой в размере части полного цикла;

$\sum t = nT + \Delta t$ — суммарное время интегрирования.

Здесь T — полный период; n — число рассматриваемых периодов; Δt — дополнительный временной интервал, меньший полного периода T , входящий в суммарное время интегрирования (и соответствующий ΔS).

Очевидно, что по мере роста n вышеуказанный предел все более приближается к некоторой постоянной величине:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum S}{\sum t} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{nS + \Delta S}{nT + \Delta t} \right) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{nS}{nT} = \frac{S}{T}.$$

Это есть не что иное, как среднее значение функции за время T (в том числе и среднее значение корня из квадрата функции, что дает действующее значение).

Следует заметить, что в моменты времени, когда $\Delta t = 0$ и $\Delta S = 0$, искомый предел равен среднему значению при любом n для любой функции.

Рассмотрим, например, вычисление среднего значения величины синусоидального тока для схемы, приведенной на рис. 5.4.

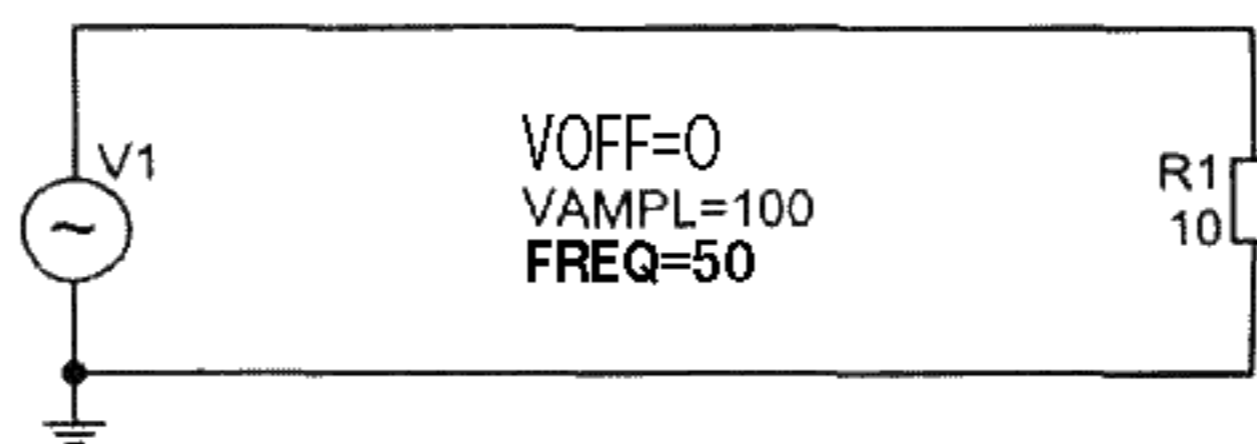


Рис. 5.4. Схема для вычисления среднего значения тока

Для данной схемы амплитуда тока I будет равна 10 ампер, а среднее значение синусоидального тока, как известно, определится как $2/\pi \times I$ и будет равно 6,38 ампера. На осциллограммах (рис. 5.5) представлены мгновенное значение синусоидального тока и его среднее значение, вычисленное с применением стандартных математических функций среды OrCAD 9.2 (см. п. 1.4) как $AVG(ABS(I(R1)))$, равняется 6,43 ампера (погрешность 0,8% имеет тенденцию

к уменьшению при увеличении времени рассмотрения процесса). Закономерности, полученные при вычислении среднего значения, могут быть распространены на действующее значение.

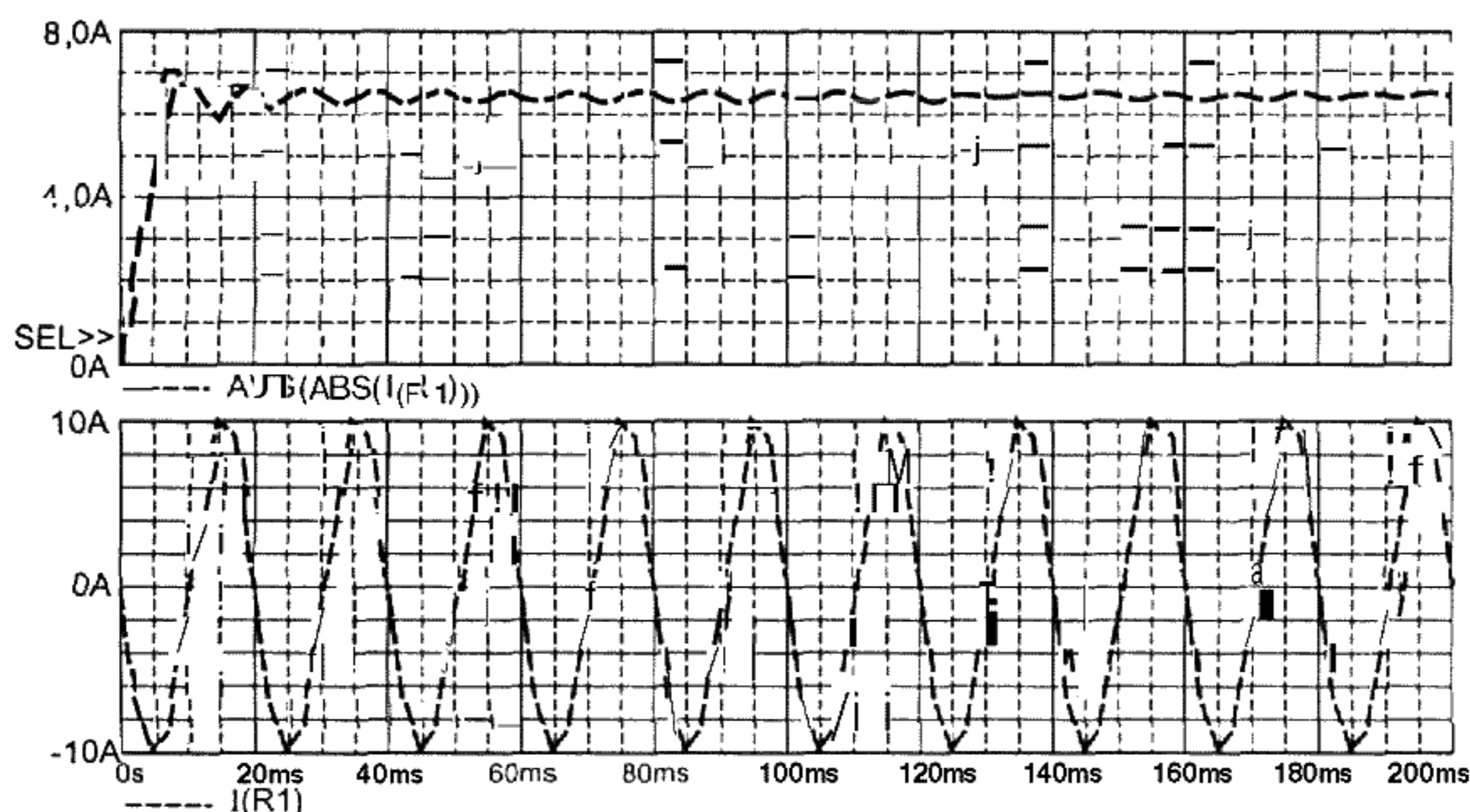


Рис. 5.5. Осциллограммы, поясняющие вычисление среднего значения синусоидального тока

Задача.

Вычислить среднее значение величины 'X' на осциллограмме.

Решение.

Существует два способа решения данной задачи:

- 1) PS — A7.Add Plot to Window — C9 [A6.Add Trace], Trace Expression-> AVG ('X'), OK↓
- 2) PS — A7.Add Plot to Window — C9 [A6.Add Trace], Trace Expression-> S('X')/Time, OK↓

Внимание.

$S('X')/Time \neq AVG('X')$, $\forall t_0 > 0$ в течение времени Δt .

5.2.22. Вычисление действующих значений

Задача.

Вычислить действующее значение величины 'X' на осциллограмме.

Решение.

PS — A7.Add Plot to Window — C9 [A6.Add Trace], Trace Expression-> SQRT (S('X'*'X')/Time), OK↓

Пример.

Пусть в исследуемой схеме необходимо вычислить действующее значение тока в резисторе R5. Тогда его следует вычислить следующим образом:

PS — A7.Add Plot to Window — C9 [A6.Add Trace], Trace Expression-> SQRT (S(I(R5)*I(R5))/Time), OK↓

5.2.23. Выбор типов переменных, отображаемых при построении графиков

Задача.

Назначить тип переменной Analog, отображаемой в окне Add Traces, которая может быть построена в виде графика, из перечня (Analog, Digital, Voltages, Currents, Power, Noise, Alias Names, Subcircuit Nodes).

Решение.

PS - A6.Add Trace, Analog->'v', ОК↓

Замечание.

Из перечня может быть выбрана любая входящая в него переменная или любая их комбинация.

5.2.24. Вызов списка целевых функций

Задача.

Вызвать список целевых функций.

Решение.

PS — A6.Eval Goal Function(s)↓

5.2.25. Добавление целевой функции в список

Задача.

Добавить в список целевую функцию с псевдонимом X.

Решение.

PS — A6.Goal Functions, New, New Goal Function Name->'X', ОКI

5.2.26. Выдача целевых функций в виде графика

Задача.

Выдавать целевые функции на экран в виде графиков.

Решение.

PS — A8.Options, Display Evaluation->'v', ОК 4

5.2.27. Выдача целевых функций в виде текста

Задача.

Выдавать целевые функции на экран в виде текста.

Решение.

PS — A8.Options, Display Evaluation->'t', ОК ↓

5.2.28. Удаление всех осциллограмм из окна моделирования

Задача.

Удалить все осциллограммы, отображенные в окне моделирования с псевдонимом X.

Решение.

PS - 'X' - A6.Delete All Traces↓

5.2.29. Просмотр выходного файла результатов моделирования

Задача.

Просмотреть результаты моделирования в текстовом виде.

Решение.

PS - C26↓

5.2.30. Добавление текстовых меток в PSpice

Задача.

В окно выдачи осциллограммы 'X' добавить текстовую метку со значением 'Y'.

Решение.

PS - A7.Label.Text, Enter Text Label->'Y', ОК, 'X'↓

5.2.31. Способ сравнения идентичных схемных характеристик, реализуемых различными схемами

В некоторых случаях при сравнении различных схемных вариантов, реализующих определенную эквивалентную схемную функцию, удобно сравнивать работу двух схем или параметрических различий в одной схеме, имея на экране сразу **оба** сравниваемых варианта. Добиться этого можно, поместив в один проект две различные схемы или вариант одной схемы с различными параметрами некоторых элементов. При этом появляется возможность вывести на экран эквивалентные токи, напряжения, мощности, либо другие, более сложные схемные функции двух схем, рассмотреть разность требуемых схемных функций, отклонение от требуемого результата и т. д.

Задача.

Провести в одном проекте моделирование двух схем.

Решение.

Создать в одном проекте две принципиальные схемы. Запустить моделирование.

Замечание 1.

Следует помнить, что две моделируемые схемы будут иметь потенциальную связь через «землю».

Замечание 2.

Рецепт также справедлив для количества схем, большего двух.

6. Модели и их особенности

Кулебяка должна быть аппетитная, бесстыдная во всей своей наготе, чтоб соблазн был. Подмигнешь на нее глазом, отрежешь этакий кусище и пальцами над ней пошевелишь вот этак, от избытка чувств. Станешь ее есть, а с нее масло, как слезы, начинка жирная, сочная, с яйцами, с потрохами, с луком...

А. П. Чеков, «Сирена»

Как известно, моделью является объект-заменитель объекта-оригинала. Средства OrCAD 9.2 предоставляет следующие возможности при работе с моделями:

- 1) использование готовых моделей элементов из стандартных библиотек;
- 2) использование готовых моделей элементов из любых других источников информации (фирменные сайты, публикации и т. д.);
- 3) использование стандартных шаблонов среды OrCAD 9.2 для построения новых моделей. Всего имеется 11 стандартных шаблонов элементов: диод (Diode), биполярный транзистор (Bipolar Transistor), магнитный сердечник (Magnetic Core), IGBT-транзистор (Ins Gate Bipolar Tran), JFET (Junction FET), операционный усилитель (Operational Amplifier), MOSFET (MOSFET), компаратор (Voltage Comparator), стабилизатор напряжения (Voltage Reference), регулятор напряжения (Voltage Regulator), транзистор Дарлингтона (Darlington Transistor);
- 4) создание моделей в виде подсхем (.SUBCKT);
- 5) создание моделей как схем, состоящих из моделей, перечисленных в пунктах 1 — 4.

6.1. Создание моделей

Для создания моделей в среде OrCAD 9.2 предназначен редактор Model Editor. Одной из функций этого редактора является расчет параметров моделей по паспортным данным. В некоторых случаях для расчета параметров моделей требуются исходные данные, которые выходят за рамки задаваемых в паспортах или технических условиях (например, данные, требуемые для построения модели силового диода). В этом случае требуется либо поиск дополнительной информации из специальных источников, либо проведение экспериментальных работ.

Существенным этапом создания модели является ее тестирование, подтверждающее адекватность созданной модели оригиналу. При этом необходимо

различать тестирование модели в паспортных условиях и в условиях, отличных от приведенных в паспорте:

1) при тестировании моделей в условиях, которые оговариваются в паспортных данных на элемент, следует помнить, что в этом случае совпадение параметров модели с паспортными гарантирует ее адекватность элементу только в условиях, при которых получались паспортные данные. При использовании модели в отличных от паспортных режимах ее адекватность элементу, вообще говоря, не гарантируется (точно также, как не гарантируется работа моделируемого элемента);

2) при эксплуатации модели в условиях, отличных от паспортных, целесообразно проведение специализированного тестирования модели на режимах, в которых ожидается ее эксплуатация.

В данной главе будут рассмотрены примеры создания и корректировки моделей распространенных элементов электронных схем.

6.1.1. Примеры создания моделей по шаблонам

6.1.1.1. Модель сердечника

Задача.

Создать модель сердечника X в редакторе Model Editor. Характеристики модели: величина зазора G, площадь сердечника A, длина средней линии P, коэффициент заполнения Pk.

Решение.

1. Создание собственно модели сердечника:

ME — A2.Open:"C:\Program Files\ OrCAD\ Capture\ Library\ PSpice\ magnetic.lib" — A5.New, {Model->'X' & From Model ^ Magnetic Core}, OK — Hysteresis Curve. {H(Oers).1->0 & B(Gauss).1->'Br' & H(Oers).2->'Hc' & B(Gauss).2->0 & H(Oers).3->'Hm' & B(Gauss).3->'Bm' & Initial Perm->'μ'} — A7.Extract Parameters — Parameters.{Gap->'G' & Area->'A' & Path->'P' & Pack->'Pk'} — B3

2. Создание графического изображения модели сердечника:

DM — A2.Open.Library:" C:\Program Files\ OrCAD\ Capture\ Library\ PSpice\ magnetic.olb" — A3.New Part, {Name-> 'X' & Part Preference Prefix->K & Attach Implementation, {Implementation Type ^ PSpice Model & Implementation->'X'}}, OK — OK — A6.Part Properties, {Implementation->'X' & Value->'X'} — OK↓

Замечание 1.

При создании модели сердечника приняты следующие условные обозначения:

1) Hc [Эрстед] — напряженность электромагнитного поля сердечника при индукции, равной нулю;

2) Br [Тесла] — индукция в сердечнике при напряженности электромагнитного поля, равной нулю;

3) Hm [Эрстед] — напряженность электромагнитного поля сердечника при индукции, равной индукции насыщения;

4) Bt [Тесла] — индукция насыщения;

5) Initial Perm — значение первоначального намагничивания.

Замечание 2.

Построение петли гистерезиса производится при занесении в таблицу, описывающую кривую гистерезиса, трех пар чисел:

- 1) (0, V_T);
- 2) (H_C , 0);
- 3) (H_T , V_T).

Попытка более точного построения петли гистерезиса по большему количеству точек не дает положительных результатов, так как в Model Editor рассматриваются только три первых занесенных в таблицу пары чисел.

6.1.1.2. Модель тиристора

К сожалению, в вышеприведенный перечень шаблонов моделей среды OrCAD 9.2 тиристор не входит. Однако в библиотеке **thyristor.lib**, в которой приводится перечень тиристоров фирмы Motorola, в файле SCR дана модель тиристора, обращение к которой представляется следующим образом:

```
.subckt SCR anode gate cathode PARAMS
V_DRM, V_RRM, I_DRM > I_H, dvdt, I_GT, V_GT, V_TM, I_TM, T_ON, T_OFF.
```

СМЫСЛ входных параметров модели приведен в табл. 6.1.

Таблица 6.1. Параметры PSpice-модели тиристора ТБ-143-630-14 и ее тестирование

№ п/п	2	3	4	5	6
1	Неповторяющееся импульсное напряжение в открытом состоянии, В	U_{DSM}	1500	PW VSIN = 10 ms	1493
2	Неповторяющееся импульсное обратное напряжение, В	U_{RSM}	1500	PW VSIN = 10 ms	1493
3	Повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии, В	U_{DRM}^*	1400	PW VSIN = 10 ms	1400
4	Повторяющееся импульсное обратное напряжение, В	U_{RRM}^*	1400	PW VSIN = 10 ms	1400
5	Средний ток в открытом состоянии, А, не более	I_{TAV}	630	PW ISIN = 10 ms	—
6	Ударный ток в открытом состоянии, кА, не более	I_{TSM}	10,5	PW ISIN = 10 ms	—
7	Критическая скорость нарастания тока в открытом состоянии, А/мкс, не более	di/dt	1000	$U_D = 0,67U_{DRM}$	—
8	Импульсное напряжение в открытом состоянии, В, не более	U_{TM}^*	2	$I_{TM} = 1980 A^*$	2,12
9	Пороговое напряжение в открытом состоянии, В, не более	U_T	1		0,75

№ п/п	2	3	4	5	6
10	Повторяющийся импульсный обратный ток, мА, не более	I_{RRM}	70	$U_R = U_{RRM}$	15
11	Повторяющийся импульсный ток в закрытом состоянии, мА	I_{DRM}^*	70	$U_D = U_{DRM}$	15
12	Отпирающий постоянный ток управления, мА, не более	I_{GT}^*	320	$U_D = 12 \text{ В}$	320
13	Отпирающее постоянное напряжение управления, В, не более	U_{GT}^*	2,5	$U_D = 12 \text{ В}$	2,5
14	Неотпирающее постоянное напряжение управления, В, не более	U_{GD}	0,25	$U_D = 0,67U_{DRM}$	0,27
15	Время включения, мкс	T_{on}^*	3,2	$U_D = 0,67U_{DRM}$	Исх.
16	Время выключения, мкс	T_{off}^*	32	$U_D = 0,67U_{DRM}$	Исх.
17	Критическая скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии, В/мкс, не менее	du_D/dt^*	1000	$U_D = 0,67U_{DRM}$	1000
18	Ток удержания, мА, не более	I_H^*	500	$U_D = 12 \text{ В}$	420

На примере тиристора ТБ-143-630-14 проведено тестирование PSpice-модели по его паспортным данным. В табл. 6.1 приведена следующая информация. Столбец 1 — порядковый номер параметра, столбец 2 — наименование параметра, столбец 3 — обозначение параметра, столбец 4 — паспортное значение параметра, столбец 5 — условия, при которых изготовитель производил экспериментальное измерение данного параметра, столбец 6 — величина параметра, полученная на PSpice-модели. Кроме этого в столбце 3 значком «*» обозначены параметры, являющиеся входными для PSpice-модели. Условия тестирования (столбец 5, табл. 6.1) воспроизводились с помощью PSpice-программы на схемах, приведенных на рис. 6.1, а, б.

На рис. 6.1, а дана тестовая схема для проверки следующих параметров: I_H , I_{GT} , I_{DRM} , I_{RRM} , I_T , dU_D/dt . В этом случае схема запитана от источника трапецеидальных импульсов напряжения VPULSE. Для проверки I_H , I_{GT} , I_T подается напряжение 12 В, I_{DRM} и I_{RRM} — 1400 В. При проверке dU_D/dt подается напряжение $U_D = 0,67 \times 1400 = 938 \text{ В}$ и изменяется крутизна фронтов TR и TF (см. параметры источника VPULSE на рис. 6.1, а).

На рис. 6.1, б приведена тестовая схема для проверки следующих параметров: U_{DRM} , U_{RRM} , U_{DSM} , U_{RSM} , U_{TM} . В этом случае схема запитана от синусоидального источника напряжения VSIN частотой 50 Гц, амплитудой 1400 В.

Таким образом, полученная модель соответствует паспортным параметрам, которые определяются заводом-изготовителем. Вопрос о достоверности модели в режимах, отличных от паспортных, точно также, как и для самого тиристора ТБ143-630-14, является открытым и требует дополнительного тестирования, для чего необходимо рассмотрение его характеристик в реально работающей схеме.

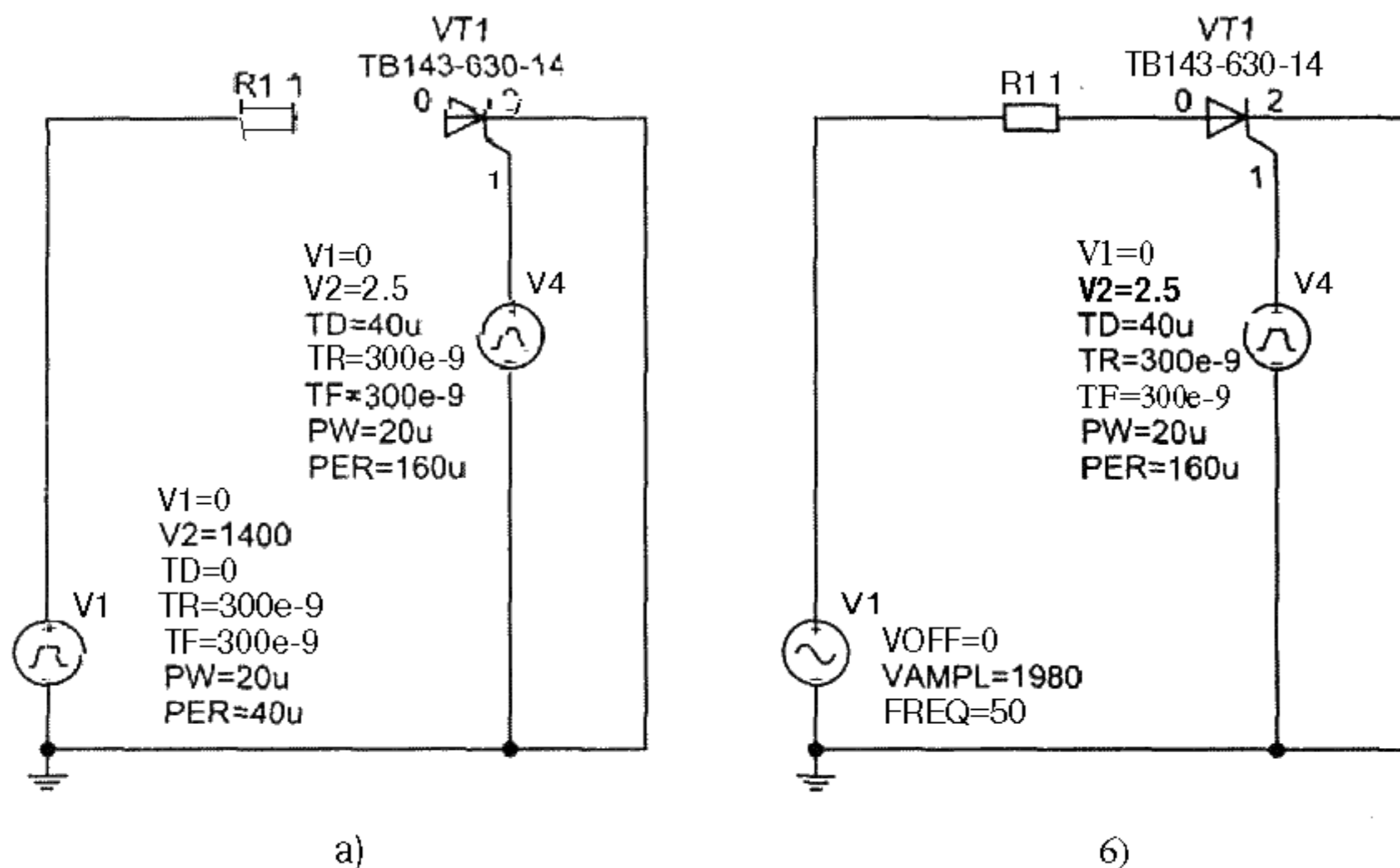


Рис. 6.1. Схемы для тестирования паспортных параметров тиристора:
а — с трапецидальным источником напряжения; *б* — с синусоидальным источником напряжения

Рассматриваемая модель тиристора адекватно описывает паспортные параметры, за исключением параметров, определяющихся тепловыми потерями. Она тестировалась также при анализе электромагнитных процессов в схемах автономных инверторов для индукционного нагрева металла и показала хорошее соответствие экспериментальным данным.

Таким образом, предлагается следующая методика построения моделей силовых тиристоров:

- 1) в файл SCR библиотеки thyristr.lib вводятся 11 паспортных параметров тиристора, перечисленных выше;
- 2) разрабатываются схемы, позволяющие произвести тестирование модели на соответствие паспортным параметрам;
- 3) в случае, если разработанная модель соответствует паспортным параметрам, она считается адекватной тиристорам;
- 4) достоверность работы модели на режимах, отличных от паспортных, требует дополнительных исследований (точно также как сам тиристор, при его эксплуатации в режимах, отличных от паспортных, нуждается в соответствующих экспериментальных проверках).

6.1.2. Схемные модели

В библиотеках среды OrCAD 9.2 содержится большое количество разнообразных моделей элементов, однако эти модели, естественно, не покрывают всех возможных потребностей пользователя. Как говорилось выше, одним из способов создания новых моделей являются схемные комбинации известных моделей. Ниже приведены несколько примеров построения таких моделей.

6.1.2.1. Модель трансформатора

Задача.

Построить модель двухобмоточного трансформатора, используя модель сердечника с псевдонимом X (см. 6.1.1.1.).

Решение.

Схема модели двухобмоточного трансформатора приведена на рис. 6.2.

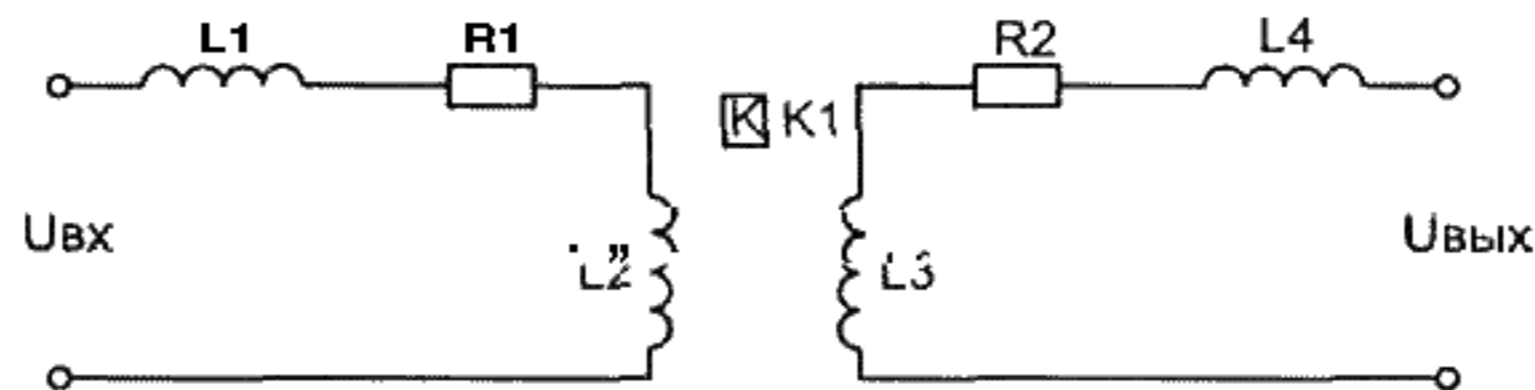


Рис. 6.2. Схема модели двухобмоточного трансформатора

На рис. 6.2:

K1 — сердечник, выбирается из PE — E2.Libraries^Magnetic, PartList^'X' [Part->'X'], ОК↓

L1...L4 — выбираются из PE — E2.Libraries^Analog, PartList^'L' [Part->'L'], ОК↓

R1, R2 — выбираются из PE — E2.Libraries^Analog, PartList^'R' [Part->'R'], ОК↓

Uвх — входное напряжение; Uвых — выходное напряжение.

где:

L1 — индуктивность рассеяния первичной обмотки;

L2 — число витков первичной обмотки;

L3 — число витков вторичной обмотки;

L4 — индуктивность рассеяния вторичной обмотки;

R1 — активное сопротивление первичной обмотки;

R2 — активное сопротивление вторичной обмотки;

K1 — модель сердечника.

Замечание 1.

В модель трансформатора при описании сердечника вводится коэффициент связи Coupling.

Замечание 2.

Аналогично строятся модели трансформатора с числом обмоток от 3 до 6.

6.1.2.2. Модель диода на основе ключа SBreak

Задача.

Построить идеализированную модель диода, позволяющую работать при больших значениях прямых токов и обратных напряжений.

Решение.

Целесообразно использование модели псевдоидеального диода, построенной на базе ключа SBreak (библиотека breakout.lib).

Схема модели приведена на рис. 6.3, где: А — анод; К — катод; R1 — резистор (PE — E2.Libraries^Analog, PartList^'R' [Part->'R'], ОК↓); S1 — ключевой элемент (PE — E2.Libraries^Breakout, PartList^'Sbreak' [Part->'Sbreak'], ОК↓).

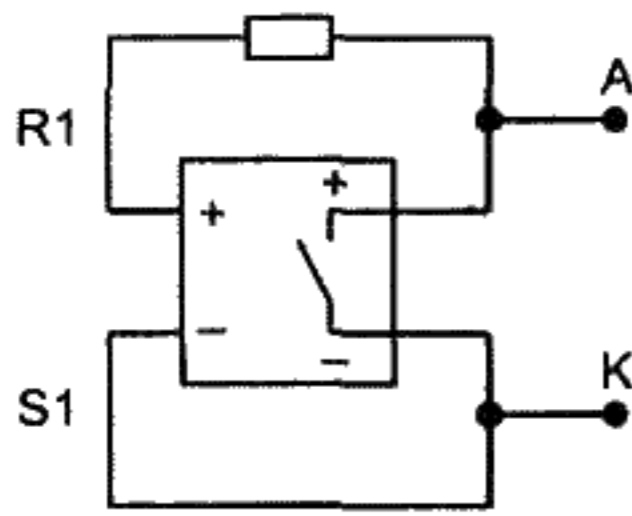


Рис. 6.3. Схема модели псевдоидеального диода

Характерной особенностью данной модели является возможность ее использования на очень больших значениях обратных напряжений и прямых токов. При этом величина обратного напряжения ограничивается значением сопротивления ключа в закрытом состоянии (свойство **ROFF**), а прямое падение напряжения — сопротивлением ключа в открытом состоянии (свойство **RON**). Следует учитывать, что для обеспечения устойчивости процесса моделирования разработчиками среды OrCAD 9.2 заложено требование, что $RON > 0$, а $ROFF < (1/GMIN)$, где **GMIN** — минимальная проводимость ветви цепи (задается во вкладке **OPTIONS** диалогового окна Simulation Settings среды OrCAD 9.2).

По умолчанию $RON = 1 \text{ Ом}$, $ROFF = 10^6 \text{ Ом}$, $GMIN = 10^{12} \text{ См}$.

6.1.2.3. Модель однофазного выпрямительного моста из диодов на основе ключа SBreak

Задача.

Построить модель выпрямительного моста из псевдоидеальных диодов.

Решение.

Схема модели выпрямительного моста приведена на рис. 6.4 где:

$\sim U_{вх1}$, $\sim U_{вх2}$ — входные клеммы (переменное напряжение);

$+U_{вых}$ — плюсовая выходная клемма;

$-U_{вых}$ — минусовая выходная клемма;

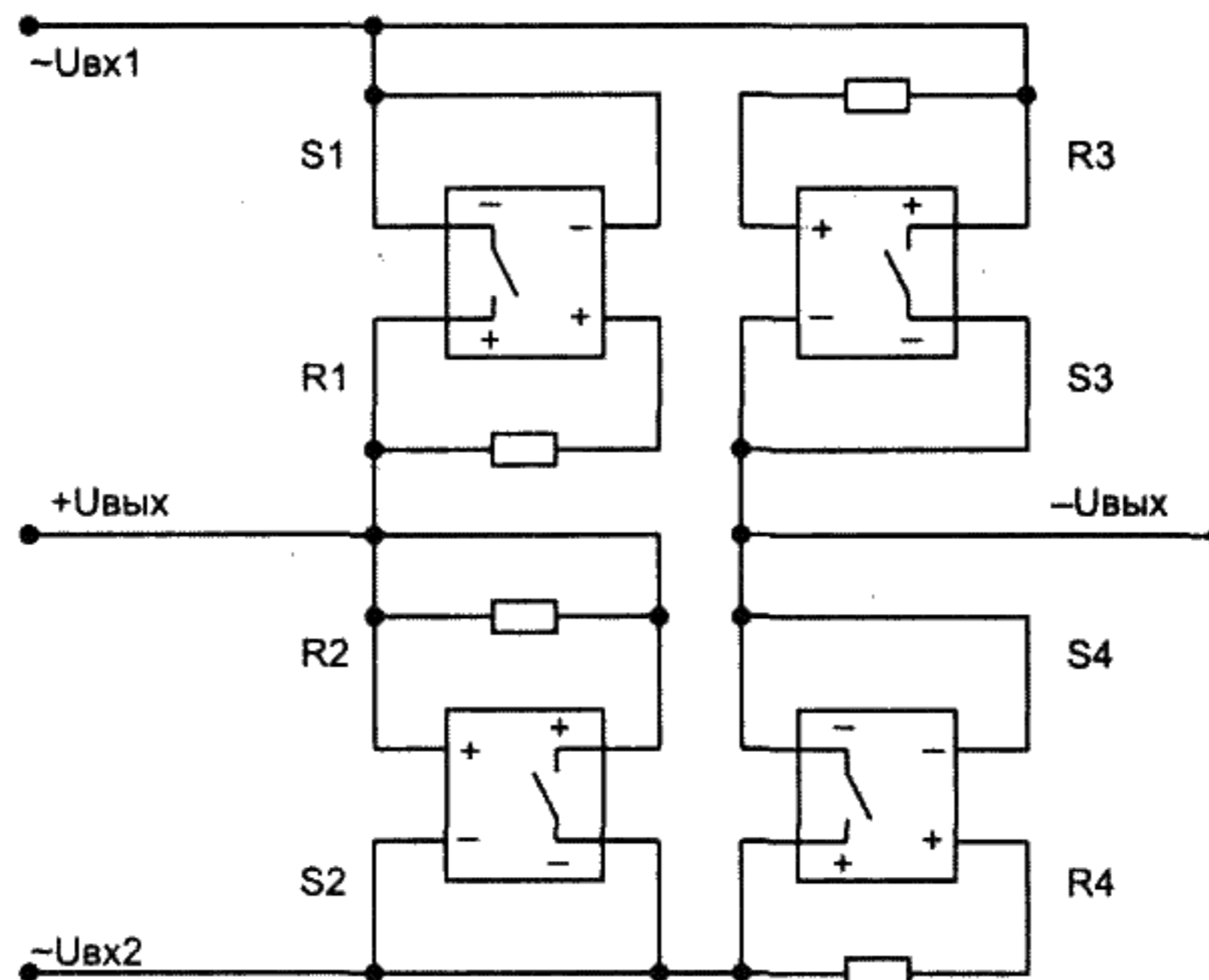


Рис. 6.4. Схема модели выпрямительного моста

R1 — R4 выбираются из PE — E2.Libraries^Analog, Part List^R [Part->R], OK↓;
 S1, — S4 выбираются из PE — E2.Libraries^Breakout, Part List^Sbreak
 [Part->SBreak], OKI

Замечание.

Аналогичные модели могут быть построены для трехфазного моста и других выпрямительных схем.

6.1.2.4. Модель двухполярного источника

Задача.

Построить двухполярный источник импульсов.

Решение.

На схеме (рис. 6.5) приведено решение, реализованное в виде встречно включенных источников напряжения VPULSE или источников тока IPULSE.

На рис. 6.5 V1, V2 выбираются из PE — E2.Libraries^Source, Part List^VPULSE [Part->VPULSE], OKI



Замечание.

Меняя амплитуды импульсов и их временные параметры, можно получить достаточно большое количество двухполярных импульсов различной формы.

Рис. 6.5. Модель двухполярного источника импульсов

Пример.

На осциллограмме (рис. 6.6) приведены двухполярные импульсы, полученные на модели двухполярного источника при следующих параметрах источников VPULSE:

V1: V1 = 0; V2 = 10; TD = 5u; TR = 1u; TF = 1u; PW= 10u; PER = 40u.

V2: V1 = 0; V2 = 10; TD = 0; TR = 20u; TF = 20u; PW = 0,1u; PER = 40u.

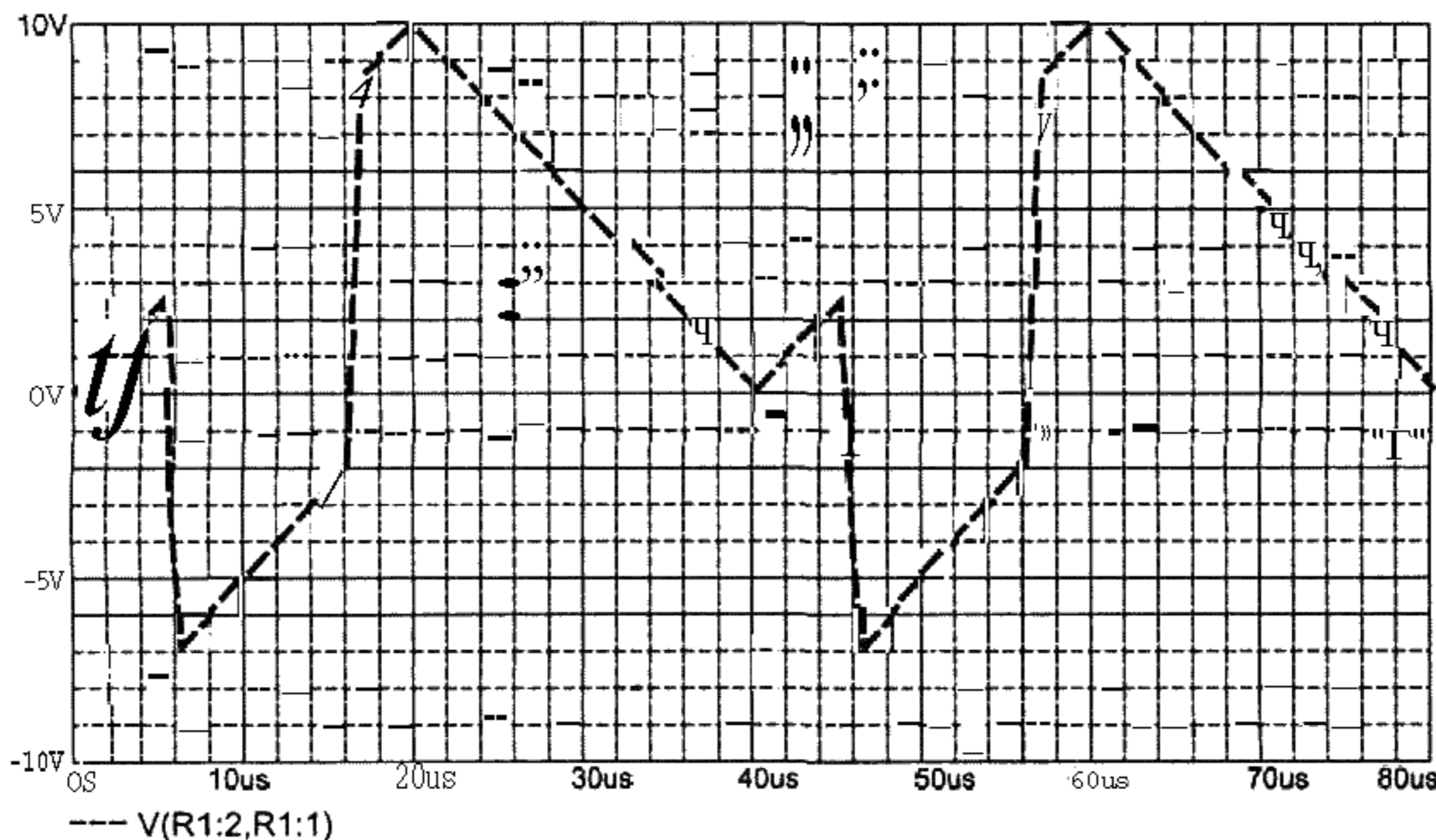


Рис. 6.6. Осциллограммы двухполярных импульсов, полученные на модели, состоящей из встречно включенных источников VPULSE

6.1.2.5. Модель источника на основе наложения синусоид

Задача.

Построить модель источника, выдающего сигнал следующей формы (см. рис. 6.7).

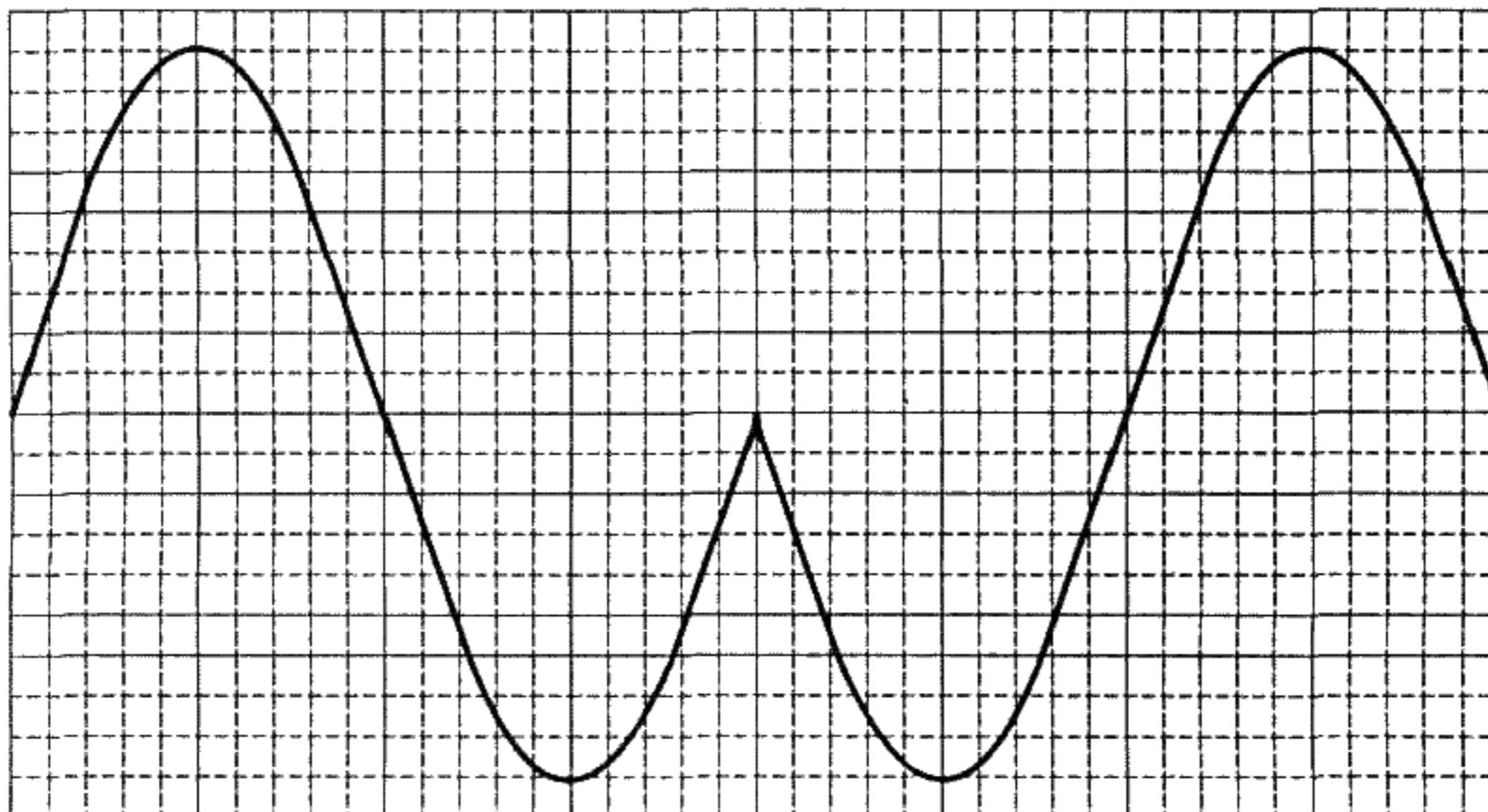


Рис. 6.7. Сигнал специальной формы

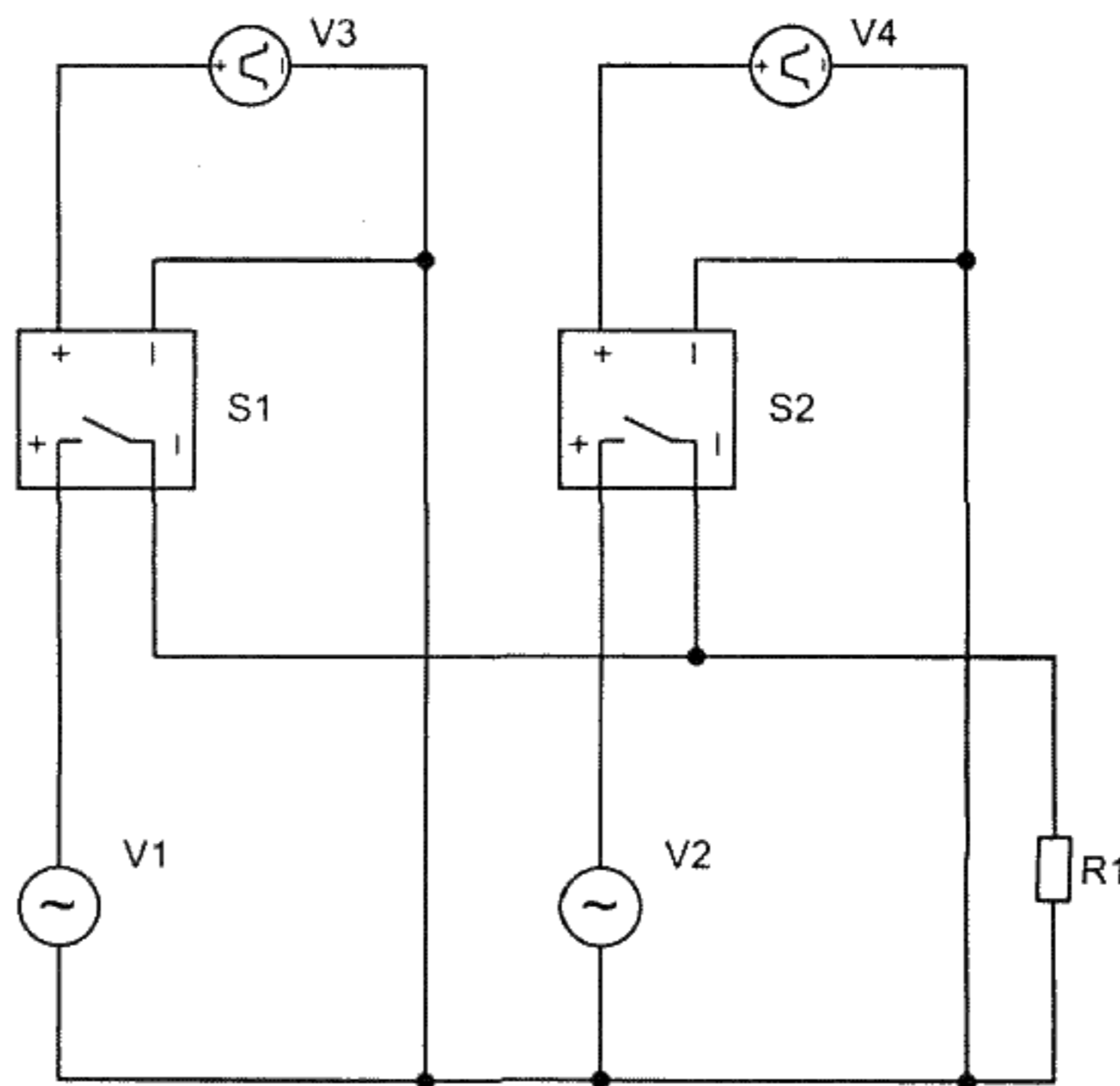


Рис. 6.8. Схема модели для получения сигнала специальной формы (см. рис. 6.7)

Решение.

Схема решения приведена на рис. 6.8, где

V1, V2 выбираются из PE — E2.Libraries^Source, Part List^VSIN [Part->VSIN], OKI

V3, V4 — выбираются из PE — E2.Libraries^Source, Part List^VPULSE [Part->VPULSE], OK↓

S1, S2 — выбираются из PE — E2.Libraries^Breakout, Part List^SBreak [Part->SBreak], OK↓

Замечание 1.

Амплитуды источников V1, V2 должны быть обратными, например +100 и -100.

Замечание 2.

Меняя параметры источников VSIN (амплитуда, частота, фаза) и параметры источников управления VPULSE ключей SBreak, можно получить достаточно большое количество сигналов сложной формы.

6.1.2.6. Модель идеального компаратора

Задача.

Создать модель идеального компаратора.

Решение.

Использовать элемент EVALUE из библиотеки ABM.OLB. Значение свойства EXPR установить в виде $LIMIT(1Meg * V(\%IN+, \%IN-), <VCC>, <VEE>)$,

где

1 Meg — коэффициент усиления;

<VCC> — положительное напряжение двухполярного источника питания;

<VEE> — отрицательное напряжение двухполярного источника питания.

На входы IN+ и IN- подать сравниваемые сигналы. Выходной сигнал снимается с выхода OUT+. Выход OUT- заземляется.

Пример.

На рис. 6.9 приведена схема идеального компаратора, построенного на базе элемента EVALUE. На входы IN+ и IN- подаются синусоидальные напряжения от источников VSIN. Амплитуды синусоид — 1 В, частоты — 1 кГц, сдвиг по фазе — 50°. На выходе установлено сопротивление 100 кОм. В качестве VCC и VEE заданы величины напряжений +15 В и -15 В соответственно. Осциллограммы, поясняющие работу схемы, приведены на рис. 6.10.

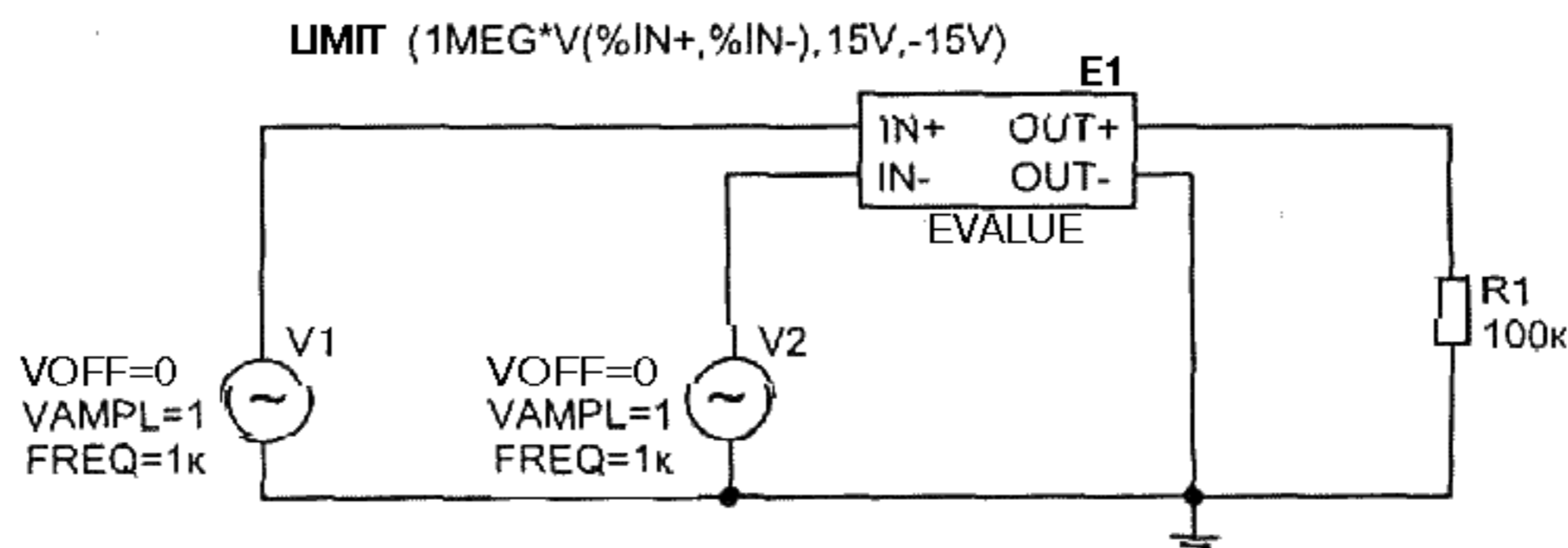


Рис. 6.9. Схема идеального компаратора на базе элемента EVALUE

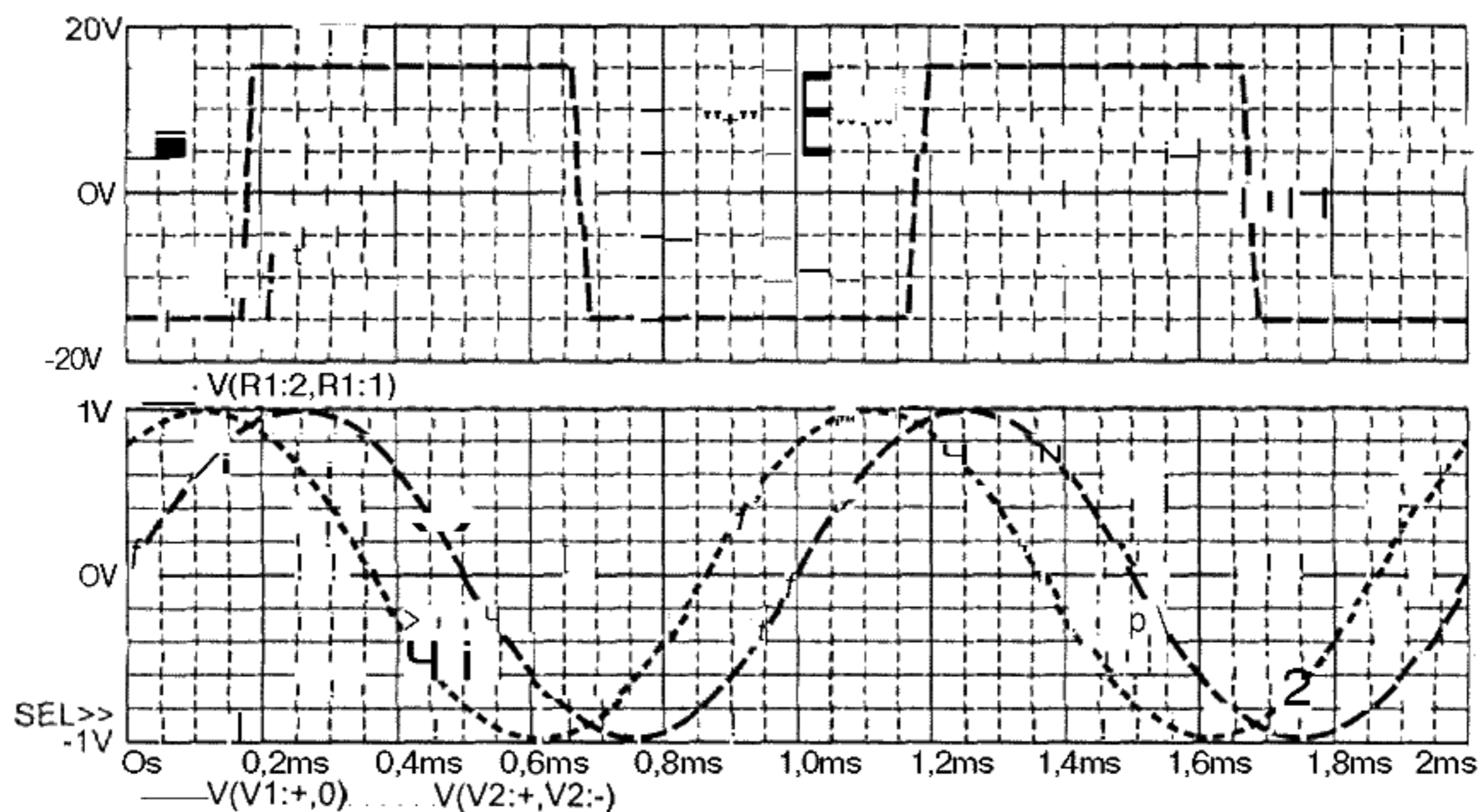


Рис. 6.10. Осциллограммы, поясняющие работу идеального компаратора на базе элемента EVALUE

6.1.2.7. Оформление подсхемы в качестве модели

Задача.

Оформить подсхему некоторой схемы модели в качестве модели элемента.

Решение.

1) Выделить подсхему, оформление которой в качестве модели элемента целесообразно. На все провода, связывающие данную подсхему с остальной частью схемы поставить иерархические порты (PE — A5.Hierarchical Port)↓

2) PE - A2.Save↓

3) DM — A6.Create Netlist, PSpice, Options, Create Subcircuit Format Netlist->'√', OKI

Замечание.

Отличие полученной таким образом модели подсхемы от иерархического блока заключается в том, что модель может быть включена в соответствующую библиотеку.

6.1.3. Коррекция моделей в Capture

Как говорилось выше, одним из способов создания модели является изменение или добавление некоторых свойств в уже известных моделях. Отметим, что при использовании этого способа нужно проявлять определенную осторожность, так как изменение одного из свойств или параметров модели может привести к изменению ее характеристик, например, повышение класса тиристора путем изменения повторяющегося импульсного прямого и обратного напряжений (см. табл. 6.1) приведет к увеличению токов утечки по сравнению с Паспортными при значениях прямого и обратного напряжений выше паспортных.

Ниже приведены рецепты, позволяющие получить новые модели путем коррекции известных моделей в Capture.

6.1.3.1. Изменение свойства модели в Capture

Задача.

Существует модель элемента с псевдонимом X. Необходимо изменить значение ее свойства с псевдонимом Y на 'Z'.

Решение.

PE - 'X' — A3.Properties, 'Y'->'Z'↓

6.1.3.2. Создание модели путем изменения значения ее параметра

Задача.

Существует модель с псевдонимом X, описываемая, кроме прочих параметров, параметром 'Y', имеющим некоторое значение. Необходимо изменить значение параметра 'Y' на 'Z' и сохранить модель с измененным параметром.

Решение.

ME — A2.Open, Имя файла (Filename) ->'Y', Открыть (Open) — Models List^'X', 'Y'->'Z' — B3↓

Замечание.

Количество одновременно изменяемых параметров может быть больше одного.

6.1.3.3. Визуализация свойства модели в Capture

Задача.

Существует модель элемента с псевдонимом X. Необходимо визуализировать ее свойство с псевдонимом Y.

Решение.

PE — 'X' — A3.Properties,'Y', Display.Display Format, Name and Value->'•', OK↓

6.1.3.4. Девизуализация свойства модели в Capture.

Задача.

Существует модель элемента с псевдонимом X. Необходимо девизуализировать ее свойство с псевдонимом Y.

Решение.

PE — 'X' — A3.Properties,'Y', Display.Display Format, Do Not Display->'•', OK↓

6.1.3.5. Добавление свойства модели в Capture

Задача.

Существует модель элемента с псевдонимом X. Необходимо добавить ей свойство с псевдонимом Y и значением 'Z'.

Решение.

PE - 'X'.New Column, Name->'Y', Value->'Z', OK↓

6.1.3.6. Удаление свойства модели в Capture

Задача.

Существует модель элемента с псевдонимом X. Необходимо удалить ее свойство с псевдонимом Y.

Решение.

PE — 'X' — A3.Properties, 'Y', Delete Property↓

6.1.3.7. Генерация значений параметров модели

В среде OrCAD 9.2 каждая модель определяется набором параметров. В ряде случаев эти параметры легко могут быть определены непосредственно из справочной литературы или путем элементарных расчетов. Построение таких моделей не вызывает затруднений. Однако в некоторых случаях получение параметров модели из справочной литературы или расчетным путем существенно затруднено. В этом случае OrCAD 9.2 предоставляет для ряда моделей сервисные возможности генерации значений параметров модели по общедоступным характеристикам моделируемого элемента.

Задача.

Некоторые характеристики модели с псевдонимом X из библиотеки с псевдонимом Y задаются в виде графиков и/или таблиц. Необходимо произвести генерацию значений параметров модели.

Решение.

ME — A2.Open, Имя файла (Filename) ->'Y', Открыть (Open) — Models List^'X' — A7.Extract Parameters↓

Замечание.

В качестве примера укажем, что для создания модели диода необходимо задать прямую ветвь вольт-амперной характеристики, зависимость барьерной емкости перехода от модуля напряжения обратного смещения, зависимость тока утечки от абсолютной величины напряжения обратного смещения, абсолютную величину напряжения пробоя при токе пробоя, дифференциальное сопротивление на участке пробоя, ток пробоя, время рассасывания носителей заряда, ток диода в прямом направлении до переключения, обратный ток диода после переключения, эквивалентное сопротивление нагрузки (включая выходное сопротивление генератора). По перечисленным зависимостям и параметрам программа Model Editor осуществляет построение модели диода.

6.1.4. Создание графического изображения модели

Создание или изменение графического изображения модели в среде OrCAD 9.2 обычно вызывается следующими причинами:

1) в ряде библиотек OrCAD содержится только математическое описание модели и отсутствует ее графическое изображение, что делает невозможным обращение к этой модели и требует создания ее графического изображения;

2) в ряде случаев существующие графические изображения моделей могут не устраивать пользователя в силу несовпадения существующих в различных странах стандартов на изображение элементов электронных схем;

3) может возникнуть потребность внесения или исключения некоторой информации в существующих графических изображениях модели.

Существует три способа создания графического изображения модели. Наиболее удобным и простым является автоматический метод. В этом случае создаваемое графическое изображение будет повторять уже созданные для аналогичного типа элементов (диод-диод, транзистор-транзистор и т. д.). К сожалению, этот метод недоступен в случаях, когда модель является принципиально новой и не существует графических изображений его подобий. Метод создания «по образу и подобию» также достаточно прост и сводится к тому, что существующему графическому изображению модели ставится в соответствие математическая модель другого элемента. Метод создания вручную неудобен, но обладает тем достоинством, что позволяет создать изображение модели с требуемой пользователю графикой.

Ниже приведены рецепты, позволяющие создавать и редактировать графические изображения моделей.

i

6.1.4.1. Создание графического изображения модели автоматическим методом

Задача.

Существует модель 'X'. Необходимо создать ее графическое изображение автоматическим методом.

Решение.

ME, Models List ^'X' — A7.Options, {Always Create Part when Saving Model->'√' & Schematic Editor ^ Capture & Save Symbols To ^Part Library Path same as model library & Base Parts on-> "C:\Program Files\OrCAD\Capture\Library\Pspice\'X'.olb"}, ОК↓

6.1.4.2. Создание графического изображения модели «по образу и подобию»

Задача.

Существует модель 'X', относящаяся к классу элементов 'Z'. Необходимо создать ее графическое изображение «по образу и подобию» существующей модели 'Y' из класса 'Z'.

Решение.

DM — A2.Open.Library: "C:\Program Files\OrCAD\Capture\Library\PSpice\'X'.olb" - File^'Y' -- "LeftMouse" - A3.Select All -- B6 -- LE -- "'X'.olb' - A3.New Part, {Name->'X' & Part Preference Prefix->'Z' & Attach Implementation, {Implementation Type ^ PSpice Model & Implementation->X}, ОК} — ОК — A6.Part Properties, {Implementation->'X' & Value->'X'} — ОК↓

6.1.4.3. Создание графического изображения модели вручную

Задача.

Существует модель 'X', относящаяся к классу элементов 'Z'. Необходимо создать ее графическое изображение вручную.

Решение.

DM - A2.Open.Library: "C:\Program Files\OrCAD\Capture\Library\PSpice\X'.olb" - File^".\X'.olb" - A3.New Part, {Name->'X' & Part Preference Prefix->'Z' & Attach Implementation, {Implementation Type ^ PSpice Model & Implementation->X}, OK} - OK - "нарисовать требуемое графическое изображение, используя D1...D10" - LE↓

6.1.4.4. Связь изображения элемента с его моделью по указанному пути

Задача.

Существует графическое изображение элемента с псевдонимом X. Необходимо связать его с моделью этого элемента, находящейся в библиотеке Y.

Решение.

PE - 'X'. "Right Mouse", Edit Properties, {Implementation->'X' & Implementation Path->'Y'} - PE↓

6.1.4.5. Размещение на графическом изображении модели элемента IEEE символа

Задача.

Разместить на графическом изображении модели элемента соответствующий ему IEEE символ.

Решение.

PrE - D2↓

6.1.4.6. Изменение значения свойства принадлежности графического изображения модели

Задача.

Существует графическое изображение модели 'X' некоторого элемента. Поставить в соответствие графическому изображению модели 'X' элемент 'Z'.

Решение.

LE - 'X' - PrE - A6.Part Properties, Properties^Implementation, Implementation->'Z', OK↓

6.2. Работа PSpice-моделей полупроводниковых приборов в аварийных режимах

Ряд моделей силовых элементов, применяемых в среде OrCAD 9.2, неадекватно описывают поведение элемента в аварийных ситуациях (здесь под аварийной ситуацией будет пониматься режим работы элемента, при котором значения некоторых его параметров, например ток, напряжение, крутизна нарастания тока, крутизна нарастания напряжения, время, предоставляемое для восстановления запирающих свойств и т. д., превосходят паспортные значения). Неадекватность описания сводится к тому, что реальный вентиль в подавляющем большинстве случаев при аварийной ситуации выходит из строя необратимо — «сгорает», а модель вентиля может, в случае если параметр возвращается в пределы, допустимые по паспорту, вернуться к нормальному функционированию. В ряде случаев это приводит к тому, что моделируемая схема продолжает функционировать в периодическом режиме, существенно отличающемся от штатного, в то время как реальная установка «сгорает». Часто, если выход за паспортные параметры вентиля происходит только в переходном процессе, заметить это при моделировании достаточно трудно.

Пример.

На рис. 6.11 — 6.13 приведены тестовая схема и осциллограммы, иллюстрирующие поведение функционирования модели тиристора в штатном и аварийном режимах.

Для тиристора 2N1595 максимально допустимые паспортные прямое и обратное напряжение составляют 50 В. При амплитуде источника питания на схеме (рис. 6.11) 40 вольт схема функционирует в штатном периодическом режиме. Тиристор открывается по импульсу управления через 7 мс после начала периода и закрывается отрицательной полуволной тока в 10 мс. К закрытому тиристорному прикладывается напряжение, амплитуда которого составляет

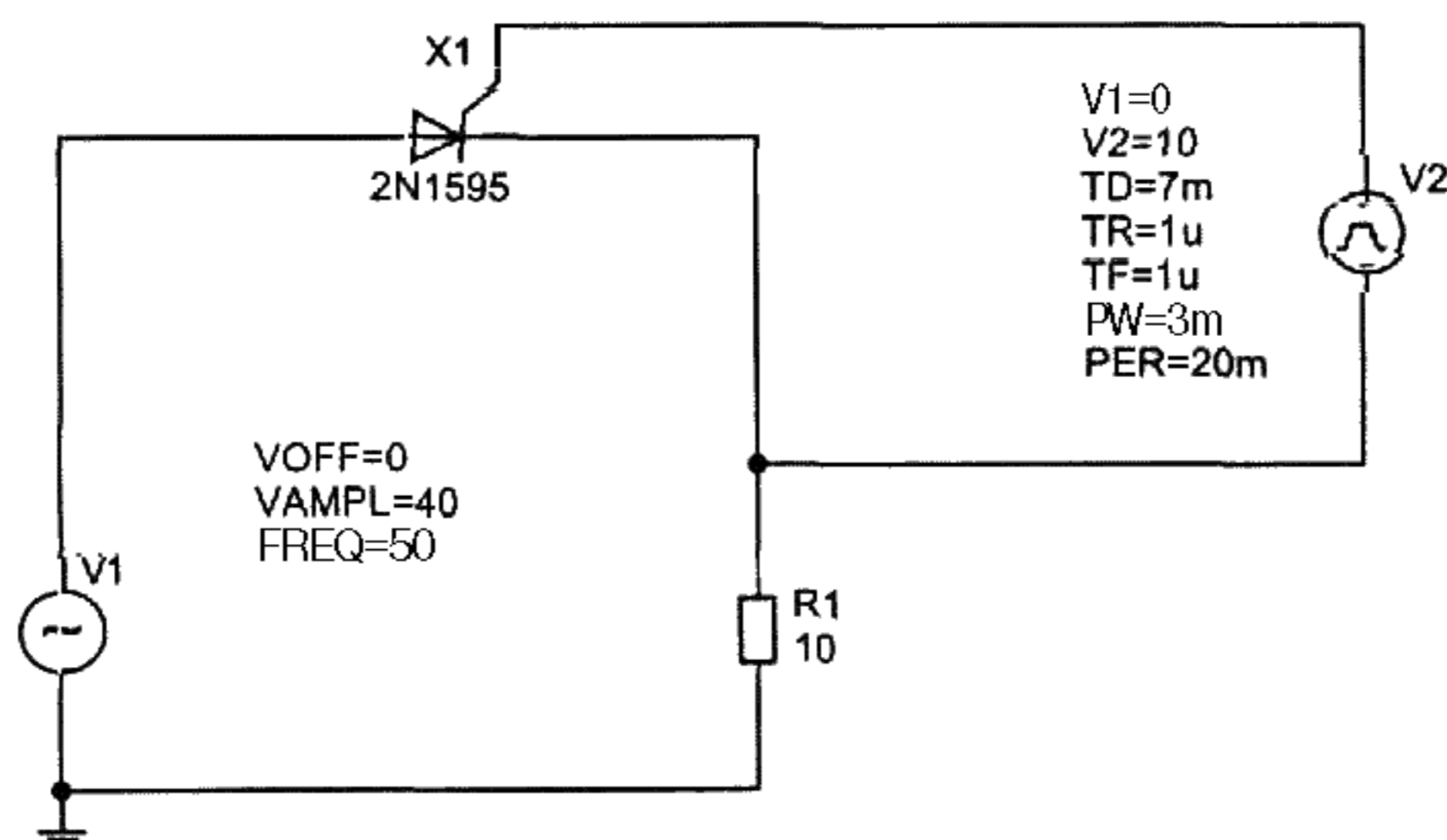


Рис. 6.11. Тестовая схема для иллюстрации поведения модели тиристора в штатном и аварийном режимах

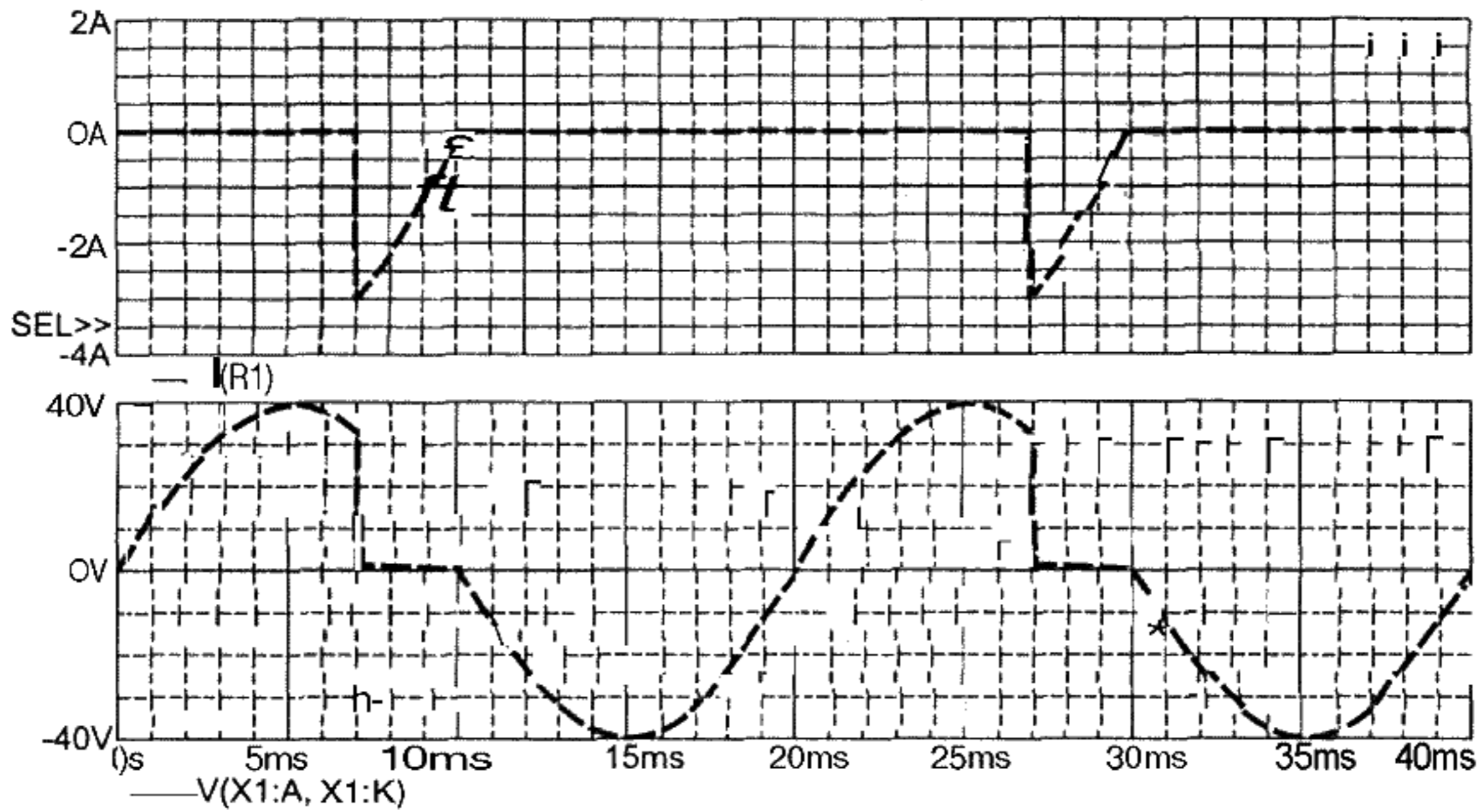


Рис. 6.12. Осциллограммы токов и напряжений на элементах схемы в штатном режиме

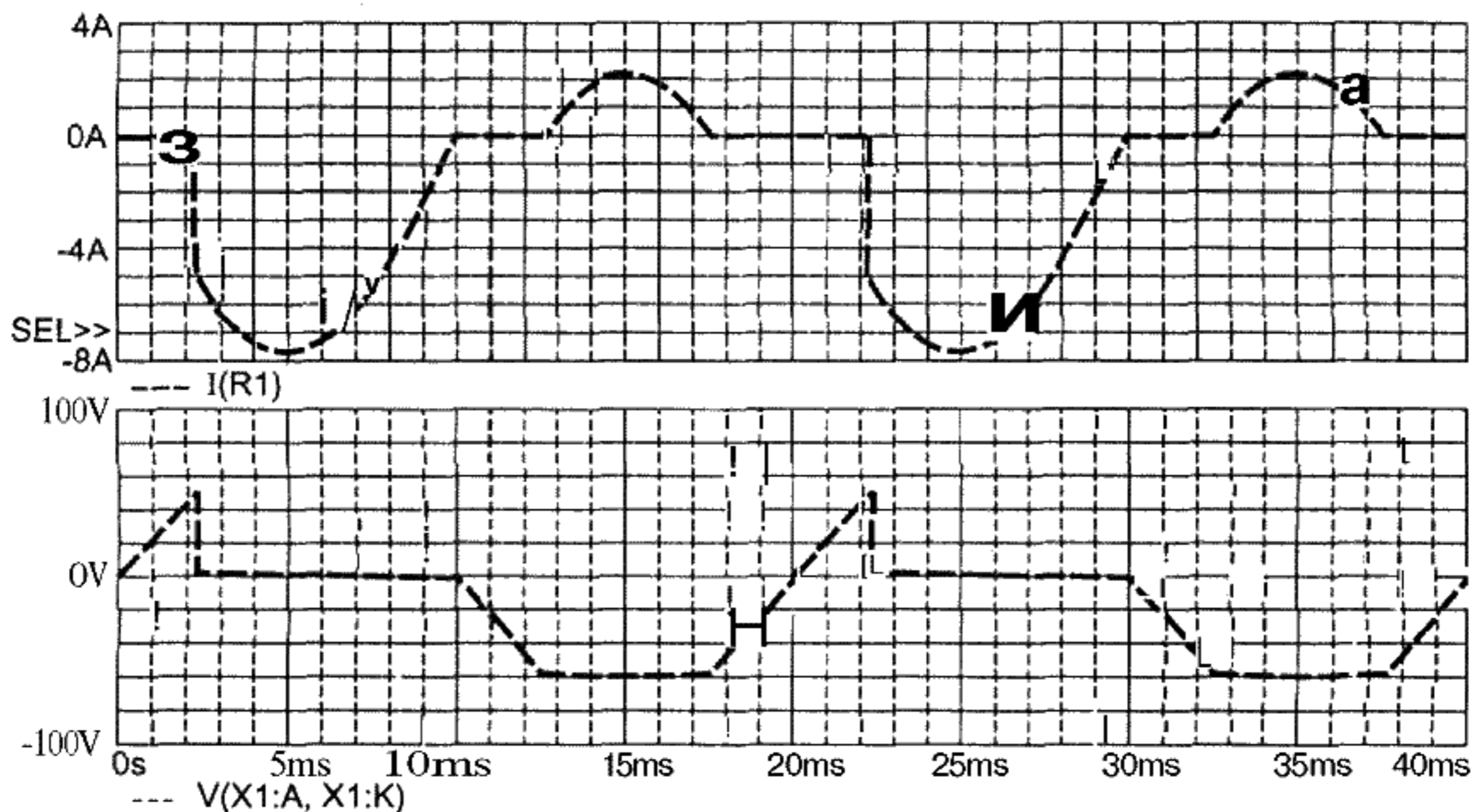


Рис. 6.13. Осциллограммы токов и напряжений на элементах схемы в аварийном режиме

40 вольт. Соответствующая осциллограмма приведена на рис. 6.12. При имитации аварийного режима амплитуда напряжения источника питания выбирается 80 вольт. При этом тиристор отпирается не по импульсу управления, а при достижении прямого напряжения на нем, равного 50 вольт. Модель также ограничивает величину обратного напряжения на тиристоре значением 50 вольт (рис. 6.13). Тем не менее аварийный режим, полученный на модели, является периодическим, а моделируемая реальная схема перестает функционировать.

Поскольку количество видов моделей, реализуемых в системе OrCAD 9.2, достаточно велико и поведение их в аварийных режимах различно, рекомендуется при работе с новым типом модели на простейшей схеме определить поведение модели в интересующих пользователя аварийных режимах и в дальнейшем учитывать это при моделировании для исключения возможных ошибок.

6.3. Сервисные функции при работе с моделями

Среда OrCAD 9.2 предоставляет при работе с моделями элементов некоторые сервисные функции.

6.3.1. Вызов текста модели

Задача.

Вызвать текст модели с псевдонимом X из библиотеки 'Y' на экран.

Решение.

ME — A2.Open, Имя файла (Filename) ->'Y', Открыть (Open) — Models List^'X' - A4.Model Text↓

6.3.2. Импорт моделей

Задача.

Существует модель с псевдонимом X. Необходимо импортировать ее в библиотеку с псевдонимом Y и сохранить под псевдонимом Z.

Решение.

ME — A2.Open, Имя файла (Filename) ->'Y', Открыть (Open) — A5.Copy From, From Model^'X', NewModel->'Z', ОК↓

7. Конвергенция и достоверность получения результатов при моделировании

Спробуй заячий помет!
Он — ядреный! Он проймет!
И куды целебней меду,
Хоть по вкусу и не мед.

Он на вкус, хотя и крут,
И с него, бывает, мрут,
Но какие выживают —
Те до старости живут!

*Л. Филатов,
«Про Федота-стрельца, удалого молодца»*

Для вычисления начального приближения по постоянному току и проведения анализа переходного процесса для аналоговых устройств в PSpice решается система нелинейных уравнений, которые описывают поведение схемы по постоянному току. При этом используется итерационный метод **Ньютона—Рафсона**, который запускается при наличии начального приближения и осуществляет итерационное улучшение решения до удовлетворительной сходимости по вычисляемым напряжениям и токам.

В некоторых случаях решение нелинейного уравнения не может быть найдено, то есть не достигается сходимость к истинному решению по токам и напряжениям.

При анализе переходных процессов могут встретиться дополнительные трудности, связанные с ограниченными возможностями уменьшения шага интегрирования, вызванными наличием в анализируемой схеме быстро изменяющихся процессов.

Отсутствие сходимости при реализации метода Ньютона — Рафсона и неустойчивость вычислительного процесса, связанная с размерами максимально и минимально возможных шагов интегрирования, определяется термином «конвергенция».

7.1 Требования, определяемые методом Ньютона—Рафсона

Метод Ньютона—Рафсона обладает свойством абсолютной сходимости. Однако эта сходимость может быть достигнута при следующих условиях:

- 1) система нелинейных уравнений должна иметь решение;
- 2) уравнения должны быть непрерывны;

- 3) уравнения должны быть дифференцируемы;
- 4) начальное приближение должно быть достаточно близко к решению.

Для успешного нахождения решения требуется совместное выполнение этих условий. Алгоритмы PSpice имеют конечную точность и конечную динамическую разрядную сетку, что накладывает следующие ограничения:

- напряжения и токи в PSpice ограничены величиной $\pm 10^{10}$ вольт и ампер;
- производные в PSpice ограничены величиной 10^{14} ;
- в PSpice используется арифметика двойной точности, что обеспечивает получение достоверных 15 знаков.

Основная трудность при предварительном анализе схемы заключается в том, что соответствие нелинейной системы уравнений вышеперечисленным условиям определить по топологии схемы и параметрам ее элементов затруднительно.

При создании модели следует учитывать ограничения на токи, напряжения и их производные, приведенные выше.

Например, цепь, состоящая из источника напряжением один мегавольт, нагруженного на резистор сопротивлением один микроом, не может быть проанализирована из-за ограничений на величину тока ($\pm 10^{10}$ ампер).

Вообще говоря, следует быть осторожным при анализе схем, в которых токи и напряжения не ограничиваются.

Уравнения, которые формируются и решаются в PSpice, непрерывны. Функции, реализуемые при имитационном моделировании, также непрерывны. Таким образом, для реальных физических цепей уравнения являются непрерывными.

При этом исключения, которые встречаются при моделировании в PSpice, обычно касаются численных ограничений на параметры модели, приводящие к изменениям токов и напряжений на элементах, происходящим с крутизной, превышающей приведенное на производные ограничение (10^{14}). Во время предварительного анализа модели необходимо оценивать значения производных токов и напряжений и, в случае необходимости, осуществлять их схемное ограничение.

Метод Ньютона—Рафсона гарантирует сходимость только при достаточно близком начальном приближении. Однако не существует способа, позволяющего определить, достаточно ли близко начальное приближение для получения сходимости.

В PSpice эта проблема решается на основе непрерывности переменных. Каждая задача анализа начинается с первого приближения. При этом для нахождения следующего приближения применяется переменный шаг. Если последующее решение не сходится, осуществляется уменьшение размера шага и возврат к первому приближению.

Самая сложная часть процесса анализа — нахождение начального приближения. PSpice на первом этапе анализирует схему с номинальными токами и напряжениями источников питания. При этом нахождение решения не гарантируется, но, в большинстве случаев, алгоритмы PSpice его находят. В противном случае токи и напряжения источников питания уменьшаются до уровня,

близкого к нулю. При этом влияние нелинейностей не сказывается на работе схемы, то есть цепь становится линейной и решение может быть найдено всегда (естественно, близкое к нулю). Затем токи и напряжения источников питания повышаются до номинальных значений и используется переменный размер шага.

Как только найдено начальное приближение, обеспечивающее сходимость, анализ переходных процессов может быть выполнен. Шаг является переменным и автоматически выбирается таким образом, чтобы обеспечить, если это возможно, устойчивое нахождение решения.

7.2. Анализ по постоянному току

При анализе по постоянному току используются гибридные методы. Первым реализуется алгоритм поиска начального приближения (за счет изменения параметров источников токов и напряжений). Для последующих этапов это приближение используется в качестве исходного. Однако при этом шаг не меняется. Если решение не может быть найдено при этом шаге, тогда алгоритм начального приближения используется для получения результата, реализуемого при данном шаге.

Этот процесс является достаточно неэффективным по временным затратам. При этом также требуется, чтобы схема была линейна при малых значениях параметров источников тока и напряжения.

Альтернативным алгоритмом анализа по постоянному току является пошаговое изменение параметра $GMIN$. По умолчанию этот алгоритм не работает и включается при анализе цепи путем установки флажка $STEPGMIN$ в меню *Analysis/Setup/Options* (или путем внесения $.OPTION STEPGMIN$ в списке соединений). При включении алгоритма $STEPGMIN$ (он применяется в случае, когда схема не может быть проанализирована при номинальных значениях параметров источников тока и напряжения и если алгоритм также не приводит к результату) параметры источников напряжения и тока уменьшаются до малых значений.

Алгоритм пошагового изменения параметра $GMIN$ для нахождения решения, на первом шаге реализуется с большой величиной параметра $GMIN$. Первоначально эта величина определяется умножением номинального значения $GMIN$ на 10^{10} . Если при этом решение найдено, то $GMIN$ уменьшается в 10 раз и поиск решения повторяется. Это продолжается до тех пор, пока либо $GMIN$ не придет к номинальному значению, либо не появится конвергенция. В последнем случае $GMIN$ восстанавливается до номинальной величины и начинается процедура снижения параметров тока и напряжения источников.

Как было отмечено выше, PSpice использует алгоритм, который реализует процесс изменения параметров источников питания практически от нуля до номинальных значений. Начальной точкой является значение параметров 0,001 % от номинального значения параметров источников питания, а конеч-

ной точкой — номинальное значение. Минимальный размер шага принимается равным 10^{-6} ($\geq 0,0001$ % от TSTOP). Первый шаг итераций начинается при нулевом значении всех напряжений.

7.3. Параметры моделей полупроводниковых и ключевых элементов

При моделировании полупроводниковых приборов в технической документации по PSpice рекомендуется следующее:

1) при рассмотрении моделей полупроводниковых приборов необходимо избегать физически нереализуемых параметров;

2) следует исключить моделирование р-п-переходов без последовательно включенного сопротивления;

3) следует избегать ситуаций, при которых идеальный источник обеспечивает протекание тока через обратносмещенный р-п-переход без параллельно включенного сопротивления. Во многих PSpice-моделях, разработанных пользователями, р-п-переходы не имеют почти никакого сопротивления утечки, и это может привести к появлению на переходе напряжения более 10^{10} В, что, как говорилось выше, недопустимо.

Библиотеки моделей, поставляемые с PSpice, построены с учетом этих трех принципов.

Типичной ошибкой разработчиков моделей является задание нереальных параметров элемента. Следующий MOSFET:

```
M1 3, 2, 1, 0 MMOD L=5 W=3
```

характеризуется длиной пять метров и шириной три метра вместо микрометров. Правильное описание такого MOSFET должно выглядеть следующим образом:

```
M1 3, 2, 1, 0 MMOD L=5u W=3u
```

PSpice выдаст ошибку в том случае, если величина L слишком велика, но не сделает этого для мощности, потому что модели MOSFET построены таким образом, что ограничение мощности в них не реализуется. Опция LIST отражает информацию о мощности, выделяемой в MOSFET-модели. При перечислении элементов в выходном файле, их величины отображаются в экспоненциальном формате, что облегчает запись больших или малых величин.

В PSpice ключи в момент коммутаций имеют значения внутренних параметров, существенно превосходящие значения таковых в установленном режиме. При последовательном соединении нескольких ключей суммарное значение этих параметров может обеспечить превышение максимально допустимой величины производной, равной 10^{14} . Это может случиться при моделировании простых логических пороговых элементов с использованием идеальных ключей (totem-role), включенных последовательно. Обычно каскад из двух ключей работает, а из трех или более — уже нет.

7.4. Анализ переходных процессов

Анализ переходных процессов начинается с использования начального приближения — при этом за начальные условия принимаются значения переменных, полученные при анализе схемы по постоянному току. Эти значения переменных используются как наиболее близкое начальное приближение на каждом шаге. В случае необходимости в процедуре **Ньютона—Рафсона** при итерации делается шаг назад для нахождения нового момента времени, который обеспечивает лучшее начальное приближение. Величина шага выбирается подходящей для того, чтобы обеспечить вычисление зарядов и потоков с необходимой точностью.

Теоретически те же самые соображения были изложены, когда обсуждалось принятие результатов анализа по постоянному току как начальных условий при анализе переходных процессов.

Однако практически первое приближение начальных значений корректируется для получения лучшего варианта и только после этого начинается анализ переходного процесса. Анализ переходных процессов может быть прерван до завершения, если шаг интегрирования становится слишком малым (конвергенция).

Это может создать два различных эффекта:

- 1) метод **Ньютона—Рафсона** не сходится даже для минимально допустимого размера временного шага;
- 2) существенные изменения в токах и напряжениях схемы происходят за интервал времени меньший, чем минимально допустимый размер шага.

В выходной файл PSpice выдается информация о том, по какой причине произошло прерывание.

Опция **SKIPBP** при анализе переходных процессов пропускает вычисление начального приближения. В этом случае анализ переходного процесса не имеет исходного начального решения и поэтому не гарантирует схождения в начальной по времени точке. Поэтому использование этой опции не рекомендуется.

Переменная **TIME** определяет время моделирования переходного процесса и является переменной двойной точности, что обеспечивает точность 15 знаков. Динамический диапазон устанавливается таким образом, что из 15 знаков (переменная **TIME**) вычитается число знаков, определяемое параметром **RELTOL**. Для значения по умолчанию $RELTOL = 0,001$ (0,1 % или 3 знака), что определяет динамический диапазон **TIME** как $15 - 3 = 12$ знаков. Из этого следует, что минимальный временной шаг вычисляется как заданное время счета **TSTOP**, поделенное на 10^{12} . Таким образом, если в анализируемой схеме за время, меньшее либо равное $TSTOP/10^{12}$, происходят существенные изменения переменных, то такая схема практически не может быть проанализирована. Динамический диапазон PSpice достаточно большой, но конечный. Для анализа процессов с быстрыми изменениями переменных рекомендуется уменьшение величины **TSTOP**.

Возможно расширить этот динамический диапазон при анализе некоторых цепей. Рассмотрим, например, хранирующее устройство, в котором заряжается емкость 100 мкФ за 100 секунд. При определенном пороговом значении компа-

ратор включает силовой MOSFET. При этом заданное время счета — 100 секунд. Параметр RELTOL по умолчанию дает минимальное значение шага интегрирования 100 пикосекунд. Если компаратор и остальная часть анализируемой цепи имеет элементы, которые коммутируются за времена порядка наносекунд, для анализа такой цепи с достаточной точностью для PSpice необходима величина шага, меньшая, чем 100 пикосекунд.

Если при анализе переходных процессов происходит срыв на первом шаге интегрирования, то обычно причиной этого являются емкость или индуктивность с необоснованно большим значением параметра. Как правило, это опечатка. Рассмотрим следующий пример:

C 1 3, 0 10uf

Ошибка заключается в замене цифры «0» буквой «O». В результате конденсатор получает значение одной фарады вместо 10 микрофарад. Наиболее простой путь выявления ошибок — использование опции LIST (из блока команд .OPTIONS).

Опция LIST передает информацию обо всех элементах схемы в выходной файл. Значения параметров элементов выводятся в экспоненциальном формате.

Это дает возможность легко определить элемент с нереальными параметрами. Такая ситуация не возникает во время анализа начального приближения, потому что конденсаторы и индуктивности при этом исключаются из рассмотрения.

Подобные рассуждения относятся и к паразитным емкостям моделей транзисторов и диодов. Эта информация стандартно отображается в выходном файле (опция NOMOD исключает отображение, но по умолчанию оно включено). В выходной информации опции LIST параметры отображаются в экспоненциальной форме, что облегчает поиск ошибок. Дальнейшая диагностика направлена на то, чтобы уточнить информацию о начальном приближении (опция .TRAN/OP), которая выдает информацию о перечне малосигнальных параметров для каждого полупроводникового элемента, включая расчетные паразитные емкости.

Важно, чтобы время переключения было отличным от нуля. Это гарантируется в случае, если устройство имеет паразитные емкости. Такие емкости имеются в моделях полупроводников в стандартных библиотеках PSpice. Если используются ключи и/или управляемые источники, то необходимо обеспечить условия, при которых никакие участки цепи не коммутировались за нулевое время (мгновенно). На практике это означает, что если существует любая петля положительной обратной связи (например, триггер Шмитта, встроенный в ключ), то она должна содержать емкость.

Другой способ решения проблемы состоит в том, что уравнения, описывающие переходный процесс, должны быть непрерывны в течение всего времени анализа (а именно во время вычисления начального приближения уравнения должны быть непрерывны с номинальными параметрами источников питания). При этом следует учитывать, что полное сопротивление конденсаторов понижается при высоких частотах (и малых шагах интегрирования), а полное

сопротивление индуктивностей растет. Индуктивности в PSpice имеют неограниченную ширину частотного диапазона.

Реальные индуктивности имеют ограниченную ширину диапазона частот из-за потерь на вихревые токи и/или поверхностный эффект. На высоких частотах индуктивности падают. Другими словами, дело в том, что реальные индуктивности характеризуются частотой, при которой их добротность начинает достаточно резко падать. Модели индуктивностей в PSpice не имеют такого ограничения. Это может привести к очень острому пику напряжения, вызванному коммутацией транзистора или диода, подключенного к индуктивности. Острые пики в PSpice, в свою очередь, могут потребовать нереально малого шага интегрирования. Поэтому при работе в OrCAD 9.2 рекомендуется параллельно индуктивностям включать резистор (последовательное сопротивление хорошо использовать для моделирования по постоянному току, но оно не расширяет частотный диапазон индуктивности).

Параллельные резисторы дают хорошие модели, учитывающие вихревые токи и ограничение частотного диапазона. Номинал резистора должен устанавливаться таким образом, чтобы полное сопротивление индуктивности, характеризующее добротностью, начинало спадать на той же частоте, что и у реальной индуктивности.

Пример.

Для обычной индуктивности с сердечником номиналом 1 мГн Q начинает спадать на частоте не меньшей, чем 100 кГц. Оптимальное значение номинала параллельного резистора определится как $R = 2 \times \pi \times 100 \times 10^3 \times 0,001 = 628$ Ом. До частоты, на которой начинается падение Q , доминирует индуктивная составляющая, а выше этой частоты — резистивная составляющая. Это позволяет избежать появления нереально острых пиков.

7.5. Диагностика при конвергенции

Если при анализе схем с помощью PSpice возникает конвергенция, то в выходном файле появляется сообщение, которое выглядит следующим образом.

```
ERROR -- Convergence problem in transient analysis at Time = 7.920E-03
```

```
Time step = 47.69E-15, minimum allowable step size = 300.0E-15
```

```
These voltages failed to converge:
```

```
V(x2.23) = 1230.23 / -68.4137
```

```
V(x2.25) = -1211.94 / 86.6888
```

```
These supply currents failed to converge:
```

```
I(X2.L1) = -36.6259 / 2.25682
```

```
I(X2.L2) = -36.5838 / 2.29898
```

```
These devices failed to converge:
```

```
X2.DCR3 X2.DCR4 x2.ktr X2.Q1 X2.Q2
```

Last node voltages tried were:

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE
(1)	25.2000	(3)	4.0000	(4)	0.0000	(6)	25.2030
(x2.23)	1230.2000	(X2.24)	9.1441	(x2.25)	-1211.9000	(X2.26)	256.9700
(X2.28)	-206.6100	(X2.29)	75.4870	(X2.30)	-25.0780	(X2.31)	26.2810
(X3.34)	1.771E-06	(X3.35)	1.0881	(X3.36)	.4279	(X2.XU1.6)	1.2636

Сообщение всегда включает заголовок (ERROR -- convergence problem ...) и завершается концовкой (Last node voltages tried were ...). Наличие всех трех блоков, содержащихся между заголовком и концовкой, не обязательно.

Концовка Last node voltages tried... показывает узловые потенциалы при последней итерации **Ньютона—Рафсона**. Если величина потенциала любого из узлов нереально велика, это является признаком ошибки. Сообщение «These voltages failed to converge» содержит список узлов, которые не были проверены по критерию приемлемости их величин. Там также указываются их величины во время двух последних итераций. Сообщение «These supply currents failed converge» выдает аналогичную информацию для токов через источники напряжения и индуктивности. Если любая из перечисленных величин попадает в диапазон $\pm 10^{10}$, это является признаком, что величина реальна. Наконец, сообщение «These devices failed to converge» выдает список элементов, токи через которые или магнитные потоки в сердечниках не были проверены по критерию приемлемости их величин.

7.6. Эмпирическая процедура подбора параметров, позволяющих избежать конвергенции

В среде OrCAD 9.2 для управления численными методами при анализе переходных процессов используются следующие параметры (в скобках — значения по умолчанию):

- 1) RELTOL — относительная точность вычисления токов и напряжений (10^{-3});
- 2) VNTOL — абсолютная точность вычисления напряжения (10^{-6});
- 3) ABSTOL — абсолютная точность вычисления тока (10^{-12});
- 4) CHGTOL — абсолютная точность вычисления заряда (10^{-14});
- 5) GMIN — минимальная проводимость ветви электрической цепи (10^{-12});
- 6) IPL4 — максимальное количество итераций на одном временном шаге (10);
- 7) STEPGMIN — включение алгоритма расчета режима по постоянному току вариацией проводимости (Выкл.)

Эти параметры вносятся во вкладке Options диалогового окна Simulation Settings. Кроме того, настройка численных методов может осуществляться изменением величины максимального временного шага (Maximum step size), вносящегося во вкладке Analysis диалогового окна Simulation Settings. По умолча-

7.6. Эмпирическая процедура подбора параметров, позволяющих избежать конвергенции

нию значение максимального временного шага равняется $1/50$ от конечного времени анализа (TSTOP).

Выскажем следующие соображения, позволяющие уменьшить вероятность появления ошибки ERROR — Convergence and "time step too small errors".

1. Принципиальная схема модели анализируемого устройства должна быть построена таким образом, чтобы избегать в модели «быстрых процессов» изменения токов и напряжений, не свойственных моделируемой схеме.

2. В системах силовой электроники оперируют с большими значениями токов и напряжений, поэтому использовать точность ABSTOL, VNTOL и CHGTOL, предлагаемую разработчиками по умолчанию, в таких системах нецелесообразно.

3. Загрубление вышеупомянутых параметров до значений, равных вольтам и амперам недопустимо, так как может привести к большим погрешностям при определении моментов коммутации силовых ключевых элементов (тиристоры, транзисторы и т. д.).

4. В электронных системах других типов параметры ABSTOL, VNTOL и CHGTOL должны выбираться исходя из допустимых максимальных и минимальных погрешностей на токи и напряжения.

Для систем силовой электроники предлагается следующая эмпирическая процедура подбора параметров, позволяющих уменьшить вероятность ошибки, связанной с конвергенцией (в порядке их применения в случае возникновения ошибки ERROR — Convergence and "time step too small errors"):

1) попытка анализа переходного процесса с набором значений перечисленных параметров по умолчанию.

2) перевод параметра STEPGMIN в режим «Вкл.»;

3) установка параметра ITL4 = 100;

4) установка параметра ITL4 = 1000;

5) установка параметров VNTOL = 10^{-3} и ABSTOL = 10^{-3} ;

6) установка параметров CHGTOL = 10^{-8} и GMIN = 10^{-6} ;

7) установка параметра RELTOL = 0,01;

8) установка параметра RELTOL = 0,0001;

9) ввод величины максимального временного шага, равной 10^{-6} ;

10) уменьшение величины максимального временного шага на $0,1 \times 10^{-6}$ до величины 10^{-10} (при уменьшении шага растет и может стать недопустимо большим время счета).

Применение вышеприведенной процедуры, вообще говоря, не гарантирует исключение конвергенции, но, в некоторых случаях, может оказаться полезным.

Следует отметить, что манипулирование вышеперечисленными параметрами, определяющими численную устойчивость при моделировании, является небезопасным, особенно для существенно нелинейных схем. Для иллюстрации этого рассмотрим пример.

Пример.

На рис. 7.1 приведена электрическая принципиальная схема силового тиристорного инвертора с активной нагрузкой, включенной в цепи разделительной емкости. Анализ этой схемы осуществлялся с набором параметров, управ-

7.6. Эмпирическая процедура подбора параметров, позволяющих избежать конвергенции

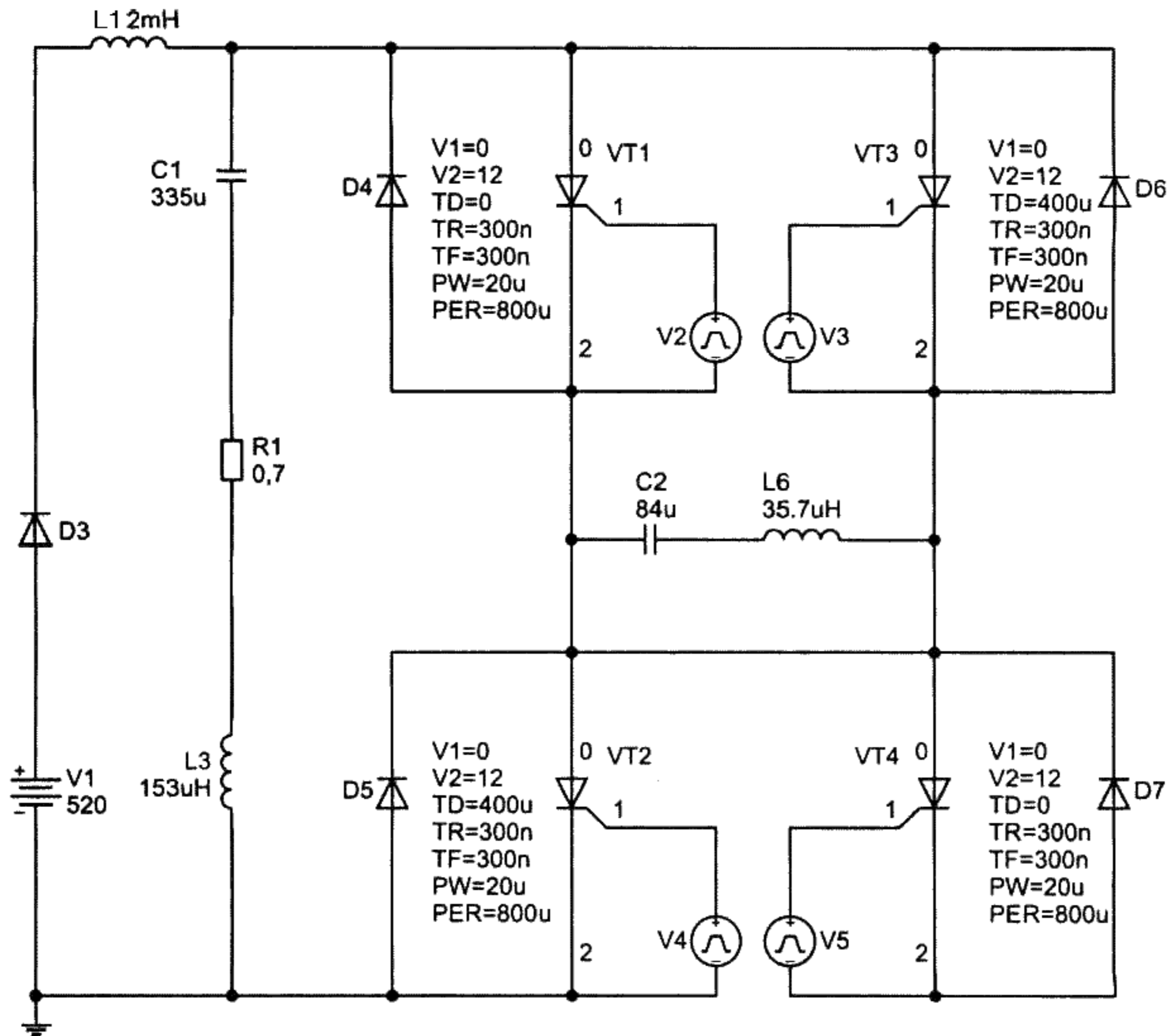


Рис. 7.1. Схема силового тиристорного инвертора с активной нагрузкой, включенной в цепи разделительной емкости

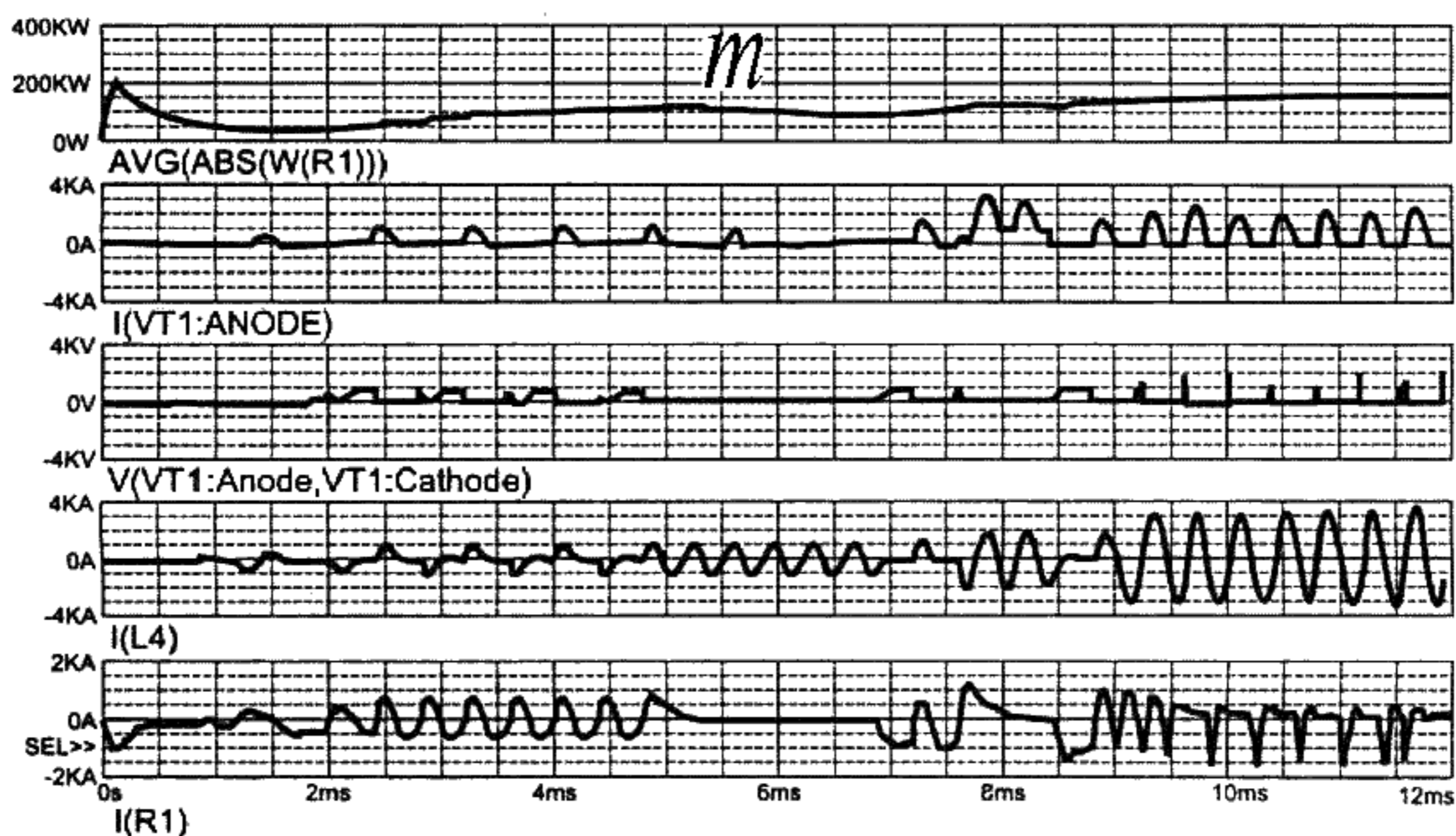


Рис. 7.2. Осциллограммы токов и напряжений на элементах схемы (рис. 7.1), полученные при моделировании с максимально допустимым шагом 0,2 миллисекунды

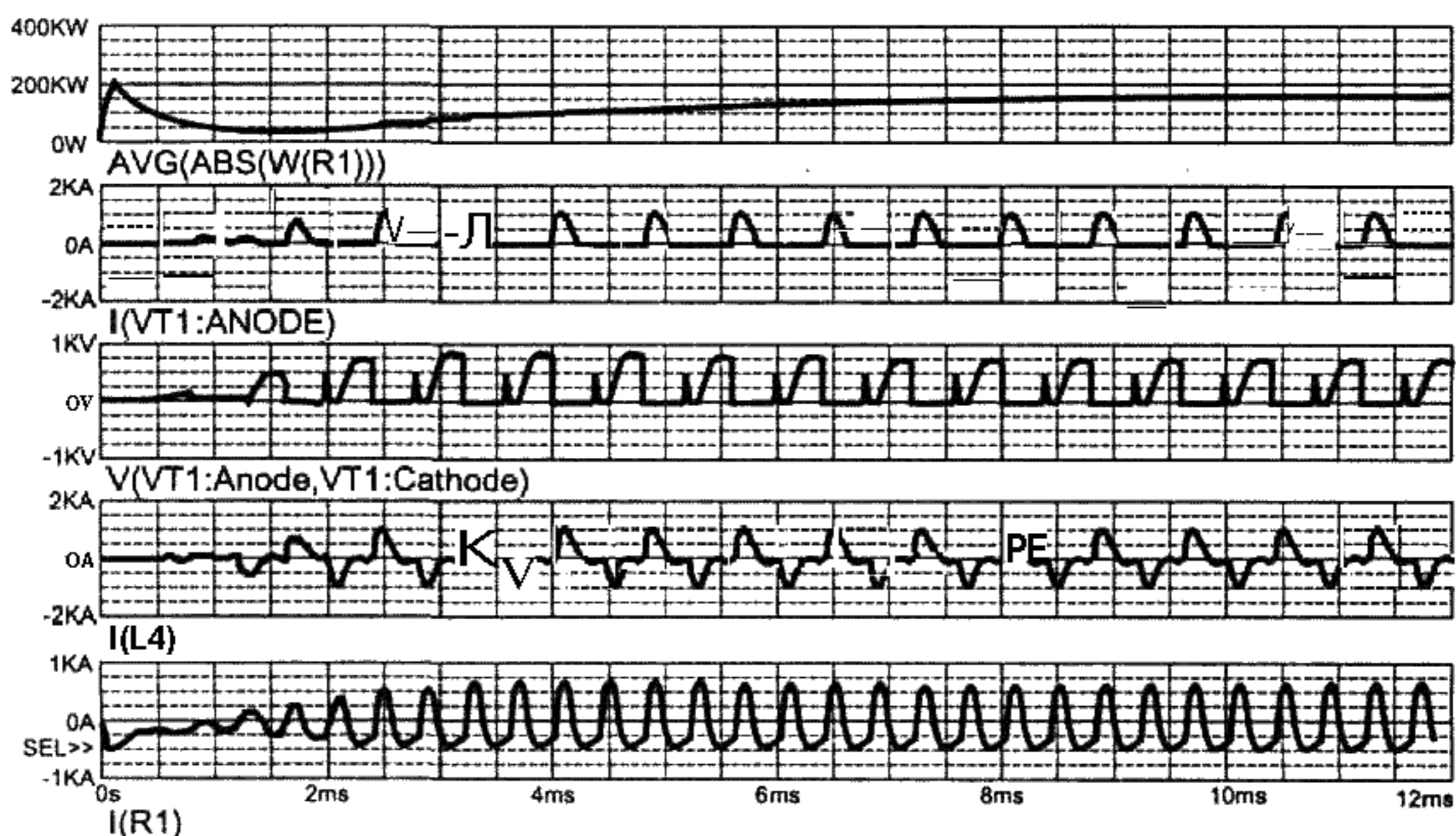


Рис. 7.3. Осциллограммы токов и напряжений на элементах схемы (рис. 7.1), полученные при моделировании с максимально допустимым шагом 1 микросекунда

ляющих численными методами, при моделировании принятыми по умолчанию, и величиной максимально допустимого шага 0,2 миллисекунды, который назначается по умолчанию при TSTOP = 30 миллисекунд (рис. 7.2) и 1 микросекунда (рис. 7.3).

Из осциллограмм на рис. 7.2 следует, что пуск схемы инвертора является неустойчивым и приводит к срыву инвертирования (ошибочное заключение). Из осциллограмм на рис. 7.3 следует, что пуск схемы с указанными параметрами является устойчивым, что подтверждается упрощенными аналитическими расчетами и экспериментальными данными.

Приведенный пример демонстрирует необходимость критического подхода к полученным при моделировании схем результатам.

8. Иерархические структуры

...мой повар начинает барашка сосисками, которые он выписывает из Страсбурга; колбасками, которые он заказывает в Труа; жаворонками, которые он получает из Питивье. Когда барашка режут ломтями... изнутри течет розовый сок, и на глаз приятный, и на вкус восхитительный.

*А. Дюма,
«Виконт де Бражелон или Десять лет спустя»*

В Capture имеется возможность представления схемы в виде одного блока или иерархической структуры путем использования приема, применяемого при автоматизации проектирования электронных устройств (EDA), при котором используется либо планарный вариант (разводка печатных плат), либо иерархический (синтез и моделирование). Если в схеме несколько раз используется один и тот же фрагмент, иерархическое построение дает возможность изображать его только один раз и использовать данное изображение (иерархический блок) многократно.

Различают следующие виды иерархических структур:

1. Простая иерархия — иерархическая структура без повторения одних и тех же фрагментов схемы, оформленных в виде иерархических блоков.
2. Сложная иерархия — иерархическая структура с повторением одних и тех же фрагментов схемы, оформленных в виде иерархических блоков.

Планарные проекты применяются для небольших схем, расположенных на малом количестве страниц. Планарный проект является структурой, в которой соответствующие выводы страниц соединяются с помощью объектов **Off-Page Connectors**. Планарные проекты не могут быть организованы с помощью иерархических объектов (блоков, портов, выводов или ссылок на иерархический проект). Структура планарного проекта приведена на рис. 8.1. Все страницы схемы в планарном проекте содержатся в одной папке **Windows** и находятся на одном уровне менеджера проектов (**Design Manager**).

Имеется возможность создавать объекты на страницах схемы, которые находятся в различных папках. Эти объекты называются иерархическими блоками. Многоуровневое расположение иерархических блоков называется иерархией.

Любая схемная страница может содержать иерархические блоки (или ссылки на проект с иерархической структурой), которые находятся в различных папках **Windows**; структура проекта может иметь много уровней. Папка **Windows**, находящаяся на высшем уровне и содержащая прямые или косвенные

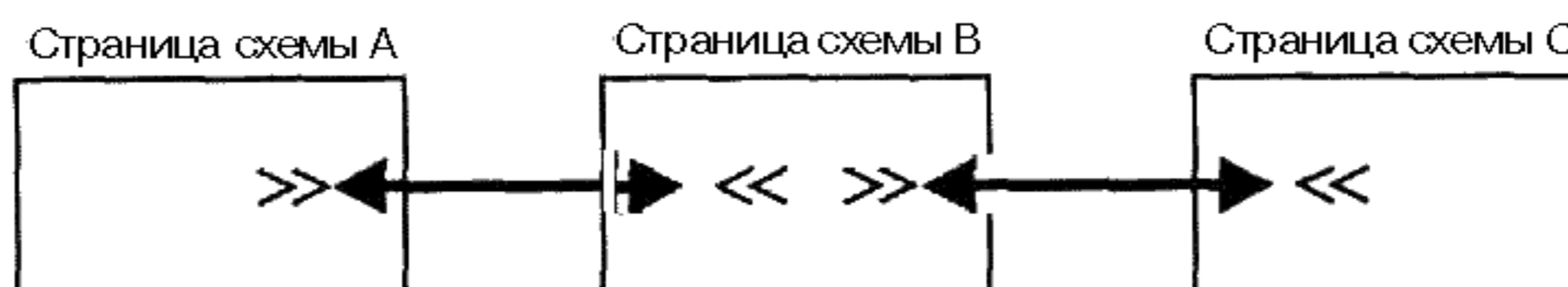


Рис. 8.1. Структура планарного проекта

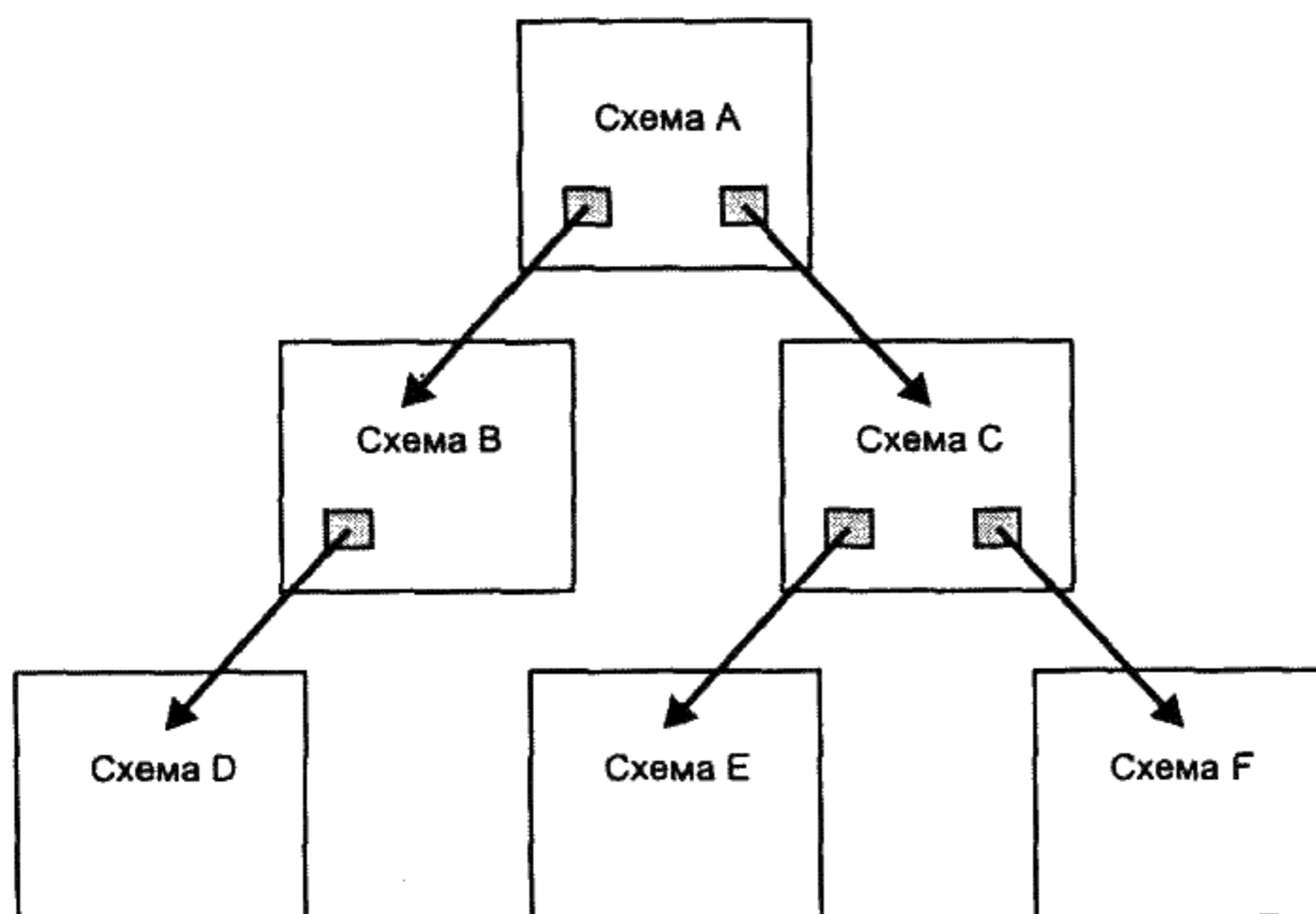


Рис. 8.2. Структура проекта с простой иерархией

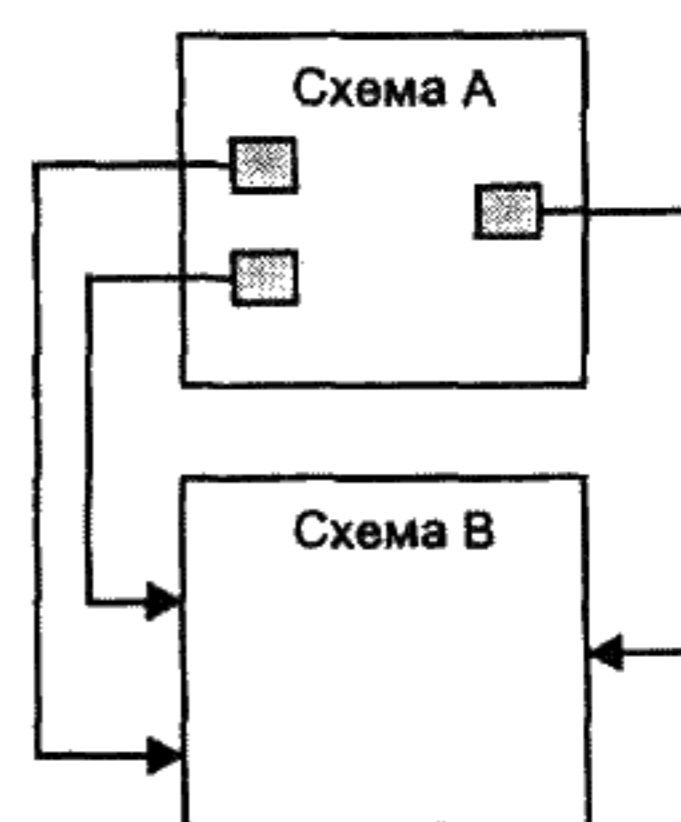


Рис. 8.3. Структура проекта со сложной иерархией

обращения ко всем другим папкам, называется корневой. Количество страниц в корневой папке не ограничено.

Взаимно однозначное соответствие между иерархическими блоками (или ссылками на проекты с иерархической структурой) и папками Windows, на которые они ссылаются, называется простой иерархией. Пример простой иерархии приведен на рис. 8.2.

В простой иерархии каждый иерархический блок или ссылка на проект с иерархической структурой содержится в отдельной папке Windows.

Если имеется более чем одна связь между иерархическими блоками или ссылками на проекты с иерархической структурой и папками Windows, то такая структура называется сложной иерархией. На рис. 8.3 приведен пример структуры со сложной иерархией. Схема А связана со схемой В по трем различным путям.

8.1. Иерархические блоки

Иерархические блоки (или элементы, содержащие ссылки на папки Windows) относятся к нисходящим схемам, соединение с которыми осуществляется только сверху вниз. Иерархические выводы в иерархическом блоке и внешние иерархические порты являются точками соединения иерархических блоков с остальной частью электрической схемы.

Иерархические порты обеспечивают вертикальные восходящие соединения и соединения на одном уровне в иерархических проектах. Иерархический порт соединяется вертикально с иерархическим выводом внутри иерархического блока или соединяется на одном уровне с узлами на той же странице схемы или иерархическими портами в той же папке Windows.

Иерархические выводы обеспечивают только вертикальные нисходящие связи. Они подключаются к соответствующим иерархическим портам на страницах схемы.

Кроме иерархических блоков существует такой тип иерархических структур, как иерархический символ.

Каждый иерархический блок можно преобразовать в иерархический символ и поместить его в библиотеку, что позволяет в дальнейшем размещать на схеме ранее созданные структуры. В этом случае для размещения на схеме еще одного такого же блока не нужно создавать его вновь, а можно поместить на схему как обычный символ. Графика такого символа создается автоматически.

При создании иерархической структуры формируется список соединений иерархического формата, рассчитанный на использование в составе принципиальной схемы иерархических блоков.

Иерархический формат списка соединений позволяет воспользоваться рядом возможностей, недоступных в простом формате, например, маркером мощности в иерархическом блоке.

Только для иерархического списка соединений поддерживается индикация значений тока в иерархических выводах в PSpice. Они не поддерживаются для простого списка соединений PSpice. Когда информация для Probe ограничена директивой «At Markers Only», тогда простой список соединений заставит PSpice остановить выполняемое моделирование с выдачей ошибки: ERROR — Must be a two terminal device (Должны быть два присоединенных устройства). Эта ошибка возникает, если маркер помещен на вывод иерархического символа или иерархического блока.

Далее приведены некоторые рецепты, позволяющие работать с иерархическими блоками.

8.1.1. Назначение глобальных параметров иерархических блоков

Задача.

Назначить глобальные параметры иерархических блоков в проекте.

Решение.

PE — A9.Design Template, Hierarchy, Hierarchical Blocks, Primitive->'•' [Non-primitive->'•'], ОК↓

Замечание.

В случае выбора пункта Nonprimitive иерархические блоки могут содержать в себе другой иерархический блок.

8.1.2. Переход на верхний уровень иерархии

Задача.

Задан иерархический проект. Следует перейти на его верхний уровень иерархии.

Решение.

PE — A4.Ascend Hierarchy↓

8.1.3. Переход на нижний уровень иерархии

Задача.

Задан иерархический проект под псевдонимом 'X'. Следует перейти на его нижний уровень иерархии.

Решение.

PE — A4.Descend Hierarchy↓

8.1.4. Переход к иерархическому формату списка соединений

Задача.

Перейти от простого к иерархическому формату списка соединений.

Решение.

DM — '*.dsn' — A6.Create Netlist, PSpice.Options -> '√', OK↓

8.2. Пример использования иерархической структуры

В данном параграфе приведен пример использования иерархической структуры, демонстрирующий возможности сокращения графического начертания схемы и исключения дублирования однотипных фрагментов схемы. На рис. 8.4 приведена схема автономного инвертора на IGBT-транзисторах с включением

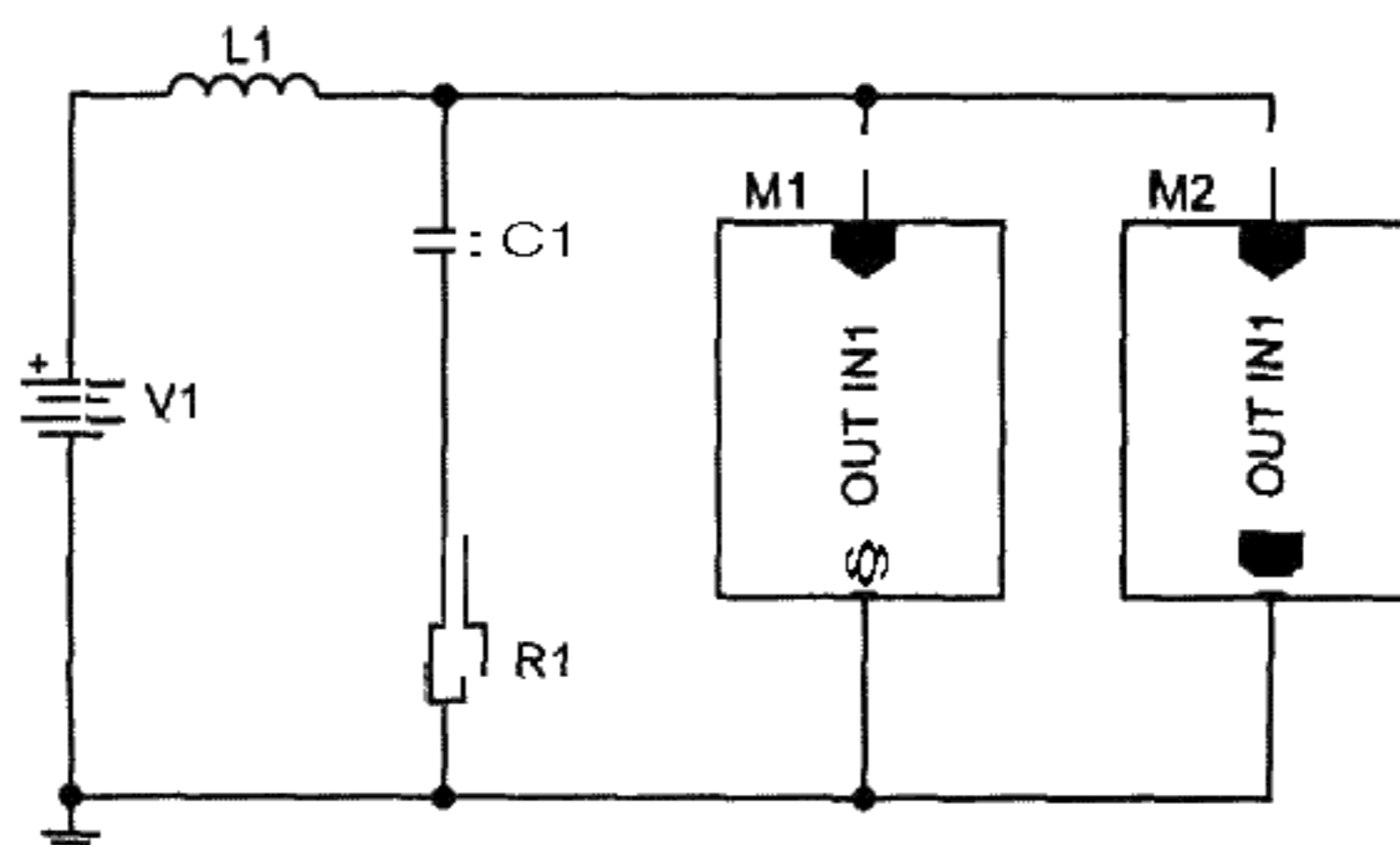


Рис. 8.4. Схема автономного инвертора, построенная с применением иерархической структуры

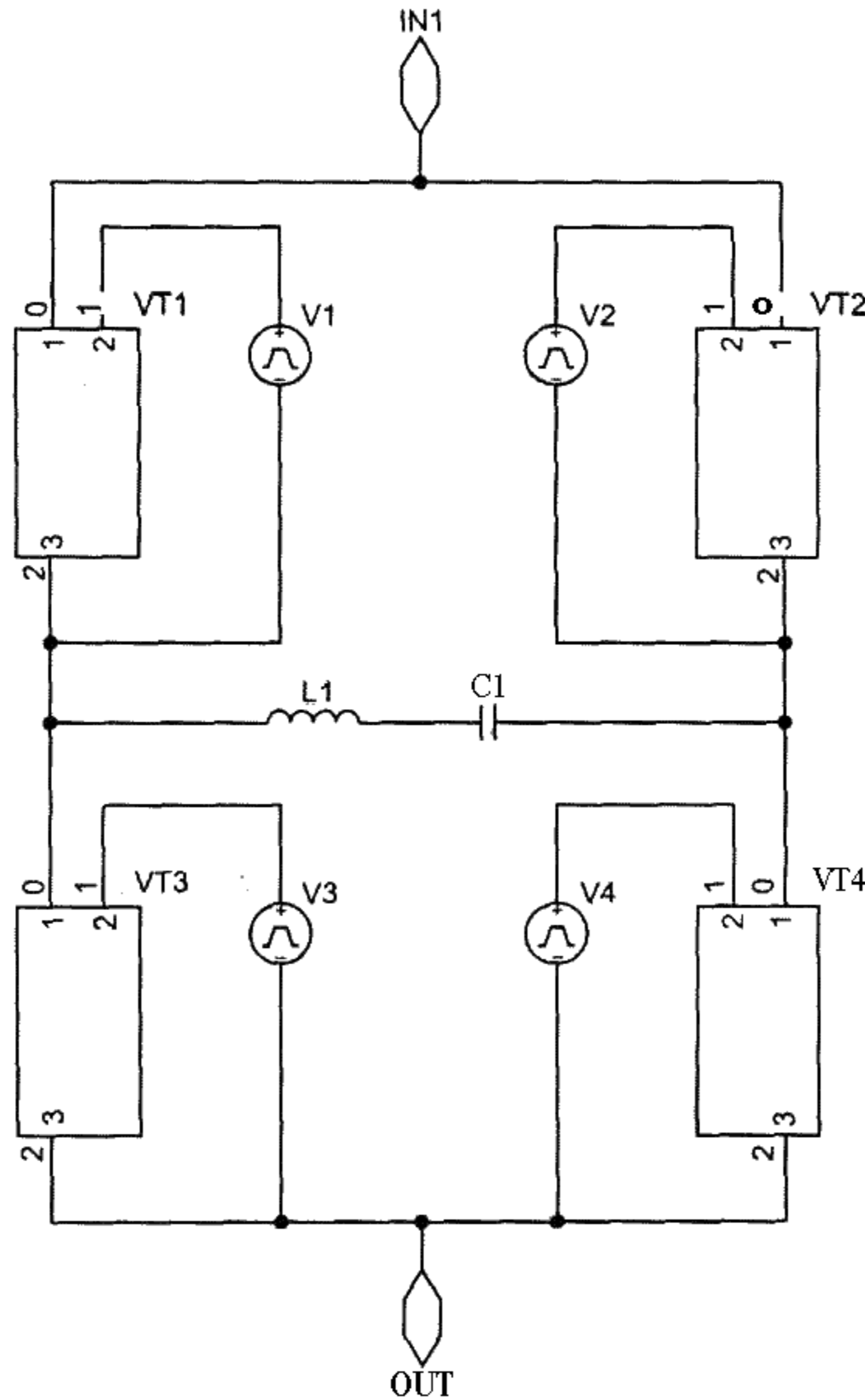


Рис. 8.5. Схема транзисторного моста, оформленного в виде иерархического блока

нагрузки в цепь разделительного конденсатора, позволяющая получать удвоение частоты по отношению к частоте следования импульсов управления. Здесь M1 и M2 — инверторные мосты на транзисторах типа IRG4PH50UD с включением LC-цепей во вторую диагональ моста. M1 и M2 являются иерархическими блоками и подключаются к схеме с помощью иерархических выводов IN1 и OUT. Параметры и соединения остальных элементов схемы ясны из рисунка.

На рис. 8.5 приведена схема транзисторного моста, входящего в схему автономного инвертора, приведенного на рис. 8.4 в виде иерархических блоков M1 и M2. На рис. 8.5 IN1 и OUT являются иерархическими портами.