

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

Э.В. Семенов

**НЕЛИНЕЙНЫЕ
СВЕРХКОРОТКОИМПУЛЬСНЫЕ СИСТЕМЫ
ЗОНДИРОВАНИЯ, ДИАГНОСТИКИ И
ИЗМЕРЕНИЯ**

Методические указания по выполнению лабораторных работ

2022

УДК 621.317
ББК 32.842
С30

Рецензент:

Артищев С.А., доцент кафедры конструирования узлов и деталей
ТУСУР, канд. техн. наук

Семенов, Эдуард Валерьевич

С30 Нелинейные сверхкороткоимпульсные системы зондирования, диагностики и измерения: методические указания по выполнению лабораторных работ. – Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2022. – 37 с.

Настоящие методические указания содержат описания трех лабораторных работ по курсу «Нелинейные сверхкороткоимпульсные системы зондирования, диагностики и измерения». Каждая из лабораторных работ реализована в двух вариантах: с использованием реального измерительного оборудования и в виртуальной среде моделирования.

Одобрено на заседании каф. РСС, протокол № 8 от 11 мая 2022 г.

УДК 621.317
ББК 32.842

© Семенов Э.В., 2022
© Томск. гос. ун-т систем упр.
и радиоэлектроники, 2022

Содержание

Лабораторная № 1 Изучение рефлектометрического метода измерения вольтамперных характеристик	4
Лабораторная № 2 Изучение рефлектометрического метода измерения вольтамперных характеристик (без использования измерительного оборудования).....	10
Лабораторная № 3 Изучение рефлектометрического метода измерения вольт-фарадных характеристик.....	15
Лабораторная № 4 Изучение рефлектометрического метода измерения вольт-фарадных характеристик (без использования измерительного оборудования).....	21
Лабораторная № 5 Изучение принципа нелинейной видеоимпульсной локации	29
Лабораторная № 6 Изучение принципа нелинейной видеоимпульсной локации (вариант без использования измерительного оборудования).....	33
Литература	37

Лабораторная № 1 Изучение рефлектометрического метода измерения вольтамперных характеристик

1.1 Цель работы

Целью лабораторной работы является изучение рефлектометрического видеоимпульсного метода измерения вольтамперных характеристик (ВАХ).

1.2 Требования к программному и аппаратному обеспечению

Программное обеспечение лабораторной работы написано для комбинированного прибора Keysight DSOX1102G. Для работы программного обеспечения требуется установленная на компьютере библиотека LabVIEW Run-Time Engine, а также библиотеки, необходимые для работы с прибором Keysight DSOX1102G.

Измерительный тракт включает линию задержки длиной 5 м, кабель длиной 15...20 см для подключения генератора, тройник и меры короткого замыкания и согласованной нагрузки. В качестве объекта измерения используется полупроводниковый диод КД521 или аналогичный.

1.3 Последовательность выполнения работы

1. Включите прибор Keysight DSOX1102G. По возможности, перед выполнением следующих пунктов прибор должен прогреться в течение 15...30 мин.

2. Выполните калибровку. Перед этим убедитесь, что защита коэффициентов калибровки выключена: нажмите кнопку «Utility» в появившемся на экране меню нажмите кнопки «Параметры / Дополнительно». Снимите флажок «Cal Protect». Далее нажмите «Utility / Сервис / Запуск калибровки». В процессе выполнения калибровки все разъемы от прибора должны быть отключены.

3. Нажмите кнопку «Триггер». В появившемся на экране меню нажмите кнопку «Тип запуска». Затем кнопкой «Источник» выберите источник синхронизации «WaveGen».

4. Запустите утилиту Keysight Connection Expert. Убедитесь, что утилита обнаружила измерительный прибор и скопируйте в буфер строку «VISA Address».

5. Запустите программное обеспечение «Импульсный измеритель ВАХ DSOX1102G.exe» и переключитесь во вкладку «Настройки генератора». В поле «Имя прибора» вставьте полученный в предыдущем пункте адрес.

6. Проверьте, что установлены следующие значения параметров генератора:

- длительность тестового видеоимпульса 200 нс;
- скважность 10;
- минимальная амплитуда 0.1 В;
- максимальная амплитуда 10 В;
- количество точек при сканировании по амплитуде тестового импульса 100;
- усреднение 4000.

Для пробы вы можете поэкспериментировать с разными значениями параметров измерительной системы (если вы понимаете, что делаете и сможете правильно интерпретировать полученные результаты), но для отчета желательно использовать указанные значения.

7. Соберите измерительный тракт: на вход осциллографа присоедините тройник. К одному из входов тройника присоедините кабелем выход генератора. Ко второму входу тройника присоедините линию задержки – коаксиальный кабель длиной 4.5 м. К выходу линии задержки будут присоединяться меры и объекты измерения. Присоедините к выходу линии задержки меру холостого хода.

8. Нажмите системную кнопку запуска программы LabVIEW и убедитесь, что на графике «Зарегистрированный сигнал» появилась осциллограмма. Скриншот текущей вкладки приведите в отчете.

9. Осциллограмма состоит из двух «ступенек». Объясните ее вид учитывая, что тестовым сигналом является ступенчатая функция (функция Хевисайда).

10. Падающая и отраженная волны в использованном методе измерения разделяются стробированием во времени. Для настройки стробирования перейдите во вкладку «Падающая и отраженная волны». В окне «Начало отраженной волны» укажите момент времени, когда начинается вторая ступенька на рефлектограмме. В окне «точка стробирования» укажите момент времени в конце плоской вершины импульса. В этот момент времени далее будут регистрироваться измеряемые параметры.

11. Зная волны напряжения и волновое сопротивление тракта, мы можем найти волны тока (правый график в текущей вкладке) по закону Ома. Особенность выполняемой далее калибровки состоит в том, что волновое сопротивление тракта принимается равным

сопротивлению меры согласованной нагрузки. Значение сопротивления меры согласованной нагрузки обозначено на ней. Впишите это сопротивление в окно «Волновое сопротивление тракта».

Дополнительная особенность состоит в том, что отраженная волна тока на холостом ходу имеет противоположный знак по отношению к падающей волне. Подумайте и поясните в отчете, почему это так.

Запустите программу. Скриншот текущей вкладки приведите в отчете. Поясните в отчете наблюдаемые графики волн напряжения и тока.

12. Знание падающей и отраженной волн напряжения и тока позволяет найти напряжение на объекте измерения, ток через него и коэффициент отражения от объекта. Перейдите во вкладку «Коэффициент отражения, напряжение и ток». Приведите скриншот данной вкладки в отчете. Коэффициент отражения находится как отношение отраженной волны к падающей. Его можно рассчитать как для волн напряжения, так и волн тока (и значения получаются разные). На крайнем левом графике приведен коэффициент отражения по напряжению, если найти его как отношение временных функций отраженной и падающей волн. Поясните вид графика в отчете.

13. В программе реализуется сканирующий метод измерения ВАХ. При этом для каждого значения амплитуды тестового сигнала на плоской вершине соответствующих графиков выбирается для дальнейшего использования одна точка (в момент стробирования, определенный на предыдущей вкладке). На втором слева графике приведена зависимость коэффициента отражения от амплитуды тестового сигнала. Должен ли зависеть коэффициент отражения на холостом ходу от амплитуды тестового сигнала?

14. На текущий момент в программе не выполнено никакой калибровки. Действительное значение коэффициента отражения от холостого хода по напряжению равно 1. Оцените и приведите в отчете относительную погрешность измерения коэффициента отражения по второму слева графику в текущей вкладке.

15. В текущей вкладке на двух правых графиках приведены напряжение на объекте и ток объекта как функции напряжения тестового сигнала. Учитывая, что в данный момент имеет место

режим холостого хода, поясните вид и численные значения на этих графиках.

16. Далее в программе будет выполняться калибровка с использованием мер короткого замыкания, холостого хода и согласованной нагрузки (short, open, load – SOL). Нажмите кнопку «Записать коэффициент отражения в файл» и запустите программу. В появившемся системном диалоге укажите имя файла «open.txt» и сохраните его в каталог с выполняемой программой.

17. Подключите к выходу линии задержки меру короткого замыкания. Сохраните результат измерения коэффициента отражения в файл «short.txt». Действительное значение коэффициента отражения меры короткого замыкания принимается равным -1 . Оцените и приведите в отчете абсолютную погрешность измерения коэффициента отражения короткого замыкания.

18. Подключите к выходу линии задержки меру согласованной нагрузки. Сохраните результат измерения коэффициента отражения в файл «load.txt». Действительное значение коэффициента отражения меры согласованной нагрузки принимается равным 0 . Оцените и приведите в отчете относительную погрешность измерения коэффициента отражения согласованной нагрузки.

19. Отожмите кнопку «Записать коэффициент отражения в файл». Перейдите во вкладку «Относительная калибровка». Этот вид калибровки позволяет устранить систематическую погрешность измерения величин, которые определяются как отношения каких-либо параметров, линейно зависящих от амплитуды тестового сигнала (коэффициенты отражения и сопротивления). Проверьте, что в окнах «Действительные значения коэффициента отражения мер» записаны правильные значения. Запустите выполнение программы. При этом будут считаны коэффициенты отражения из файлов, которые вы записали в предыдущем пункте. Исходя из измеренных и действительных значений коэффициентов отражения рассчитываются параметры рассеяния (S -параметры) четырехполюсника погрешностей. Они приведены на левых трех рисунках. Приведите скриншот текущей вкладки в отчете. Укажите, какими бы были S -параметры четырехполюсника погрешностей, если бы погрешности не было.

20. Зная параметры четырехполюсника погрешностей, мы можем исключить систематическую погрешность измерения относительных величин (например, коэффициента отражения). На правом графике в текущей вкладке приведен коэффициент отражения с исключенной систематической погрешностью измерения. Измерьте исправленный коэффициент отражения для холостого хода, короткого замыкания и согласованной нагрузки. Оцените и приведите в отчете абсолютную погрешность измерения коэффициента отражения после выполнения калибровки. Сравните ее с погрешностью без калибровки.

21. Подключите к выходу линии задержки диод. Приведите в отчете получающийся график коэффициента отражения. Объясните его вид.

22. Абсолютная калибровка в данной работе не выполняется. Погрешность измерения напряжения, таким образом, остается определяемой метрологическими характеристиками осциллографа. Однако мы можем перейти от матрицы рассеяния четырехполюсника погрешностей к матрице а-параметров. При этом появляется возможность вносить исправления в измеренные напряжения и токи. Перейдите во вкладку «Калибровка (напряжение и ток)». Здесь изображены коэффициенты матрицы а-параметров четырехполюсника погрешностей. Приведите скриншот текущей вкладки в отчете.

23. Перейдите во вкладку «Ток, напряжение, ВАХ». На левых двух графиках приведены напряжение на объекте и ток объекта (с исключенной систематической погрешностью измерения) как функции напряжения тестового сигнала. Приведите в отчете скриншот вкладки и объясните вид этих графиков.

24. На правых двух графиках приведена ВАХ объекта в линейном и логарифмическом масштабе. Проанализируйте и поясните в отчете вид этих графиков.

25. Выполните несколько измерений ВАХ диода и определите ток, начиная с которого систематическая погрешность измерения позволяет считать измерение достоверным (погрешность не должна превышать 25...30%).

1.4 Оформление отчета

Отчет должен содержать следующее:

- 1) титульный лист;
- 2) цель работы;

- 3) требуемые скриншоты программы с необходимыми пояснениями;
- 4) анализ результатов и выводы.

Лабораторная № 2 Изучение рефлектометрического метода измерения вольтамперных характеристик (без использования измерительного оборудования)

2.1 Цель работы

Целью лабораторной работы является изучение рефлектометрического метода измерения вольтамперных характеристик (ВАХ). Работа модифицирована для дистанционного выполнения.

2.2 Требования к программному обеспечению

Для выполнения лабораторной работы требуется установленное на компьютере программное обеспечение AWR Design Environment версии не ниже 13.

Данное руководство предполагает наличие базовых знаний интерфейса AWR Design Environment и не заменяет справочные и обучающие материалы по основам моделирования в этой САПР.

2.3 Последовательность выполнения работы

1. Запустите программное обеспечение AWR Design Environment. Откройте прилагаемый к данному руководству файл «Модели диодов.emp». Там создано поле принципиальной схемы с именем Schematics, на котором размещены модели диодов. Выберите модель диода в соответствии с вашим вариантом, остальные можете удалить.

2. Создайте схему измерительного рефлектометрического тракта, как приведено на рисунке 1. Обратите внимание, что надпись «A=1» создается через меню Draw/Add Equation. Нижнее, верхнее значение диапазона амплитуд и шаг по амплитуде для тестового сигнала (на рисунке 2.1 это первый, второй и третий параметры функции swpstr , соответственно) должны быть установлены в соответствии с вашим вариантом работы, указанным преподавателем.

3. Установите необходимые настройки симулятора.

а) в меню Options/Project Options во вкладке Frequencies установите режим Single Point и установите частоту повторения тестового сигнала 0.5 МГц (соответствует периоду повторения 2000 нс);

б) в меню Options/Default Circuit Options во вкладке APLAC Sim в ветке Transient Options снимите галочку Use HB settings и установите параметры Stop Time и Step Time соответственно 2000 и 1 нс.

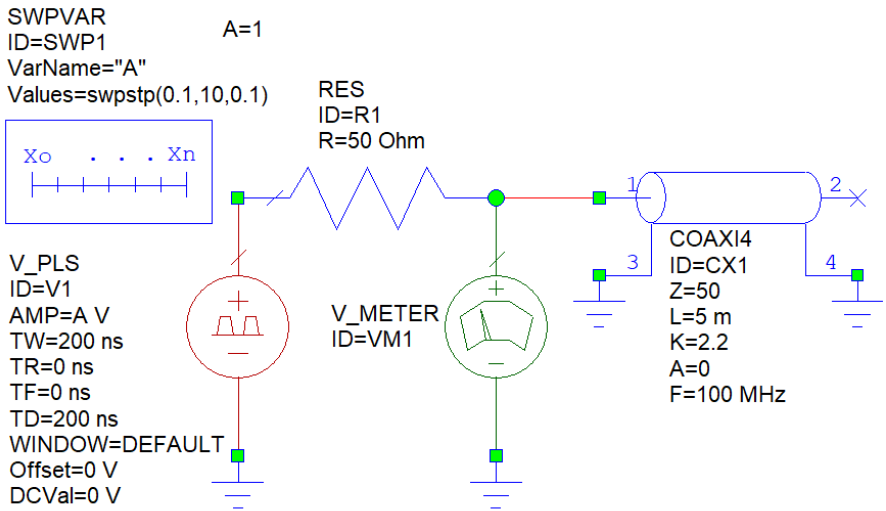


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема тракта для рефлектометрического измерения ВАХ

4. Постройте регистрируемую осциллографом V_METER рефлектограмму:

- а) через меню Project/Add Graph создайте поле для прямоугольного графика;
- б) через меню Project/Add Measurement добавьте новую кривую на график. В появившемся меню в ветке Nonlinear/Voltage выберите тип измерения Vtime;
- в) проследите, чтобы в качестве источника данных (Data Source Name) была указана принципиальная схема Schematics;
- г) в качестве компонента для измерения (Measurement Component) выберите V_METER.VM1;
- д) выберите симулятор APLAC Trans;
- е) для наглядности можете выбрать построение либо всех рефлектограмм сразу (область SWPVAR.SWP1), либо одной рефлектограммы для единственной амплитуды тестового сигнала (рисунок 2);
- ж) скриншот рефлектограммы приведите в отчете.

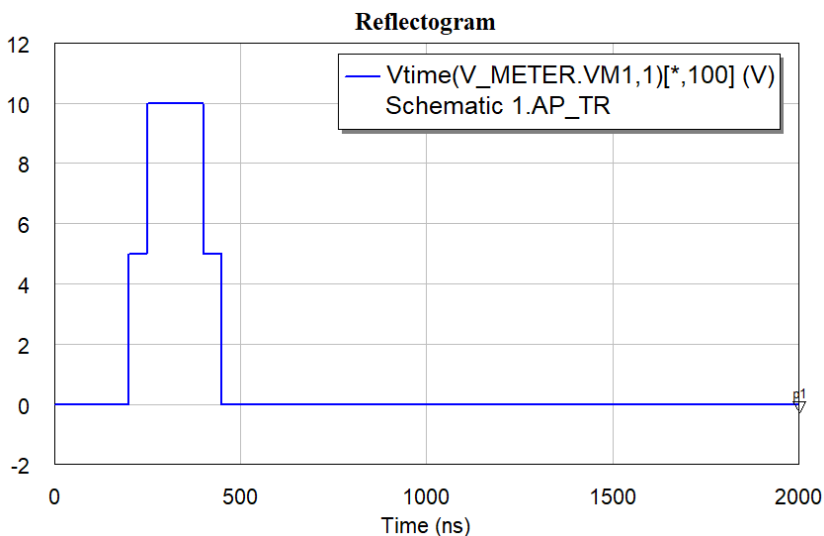


Рисунок 2.2 – Исходная рефлектограмма

5. Постройте зависимость амплитуды падающей волны от амплитуды тестового сигнала:

а) падающую волну «в чистом виде» можно зарегистрировать лишь до того, как вернулся первый отклик от объекта из линии задержки CX1 (т.е. на первой «полке» рефлектограммы). Определите момент времени примерно посередине данной «полки»;

б) создайте новый прямоугольный график и добавьте на него из ветки Nonlinear/Waveform измерение типа VPeak для компонента V_METER.VM1. В области Peak Type выберите Overall Max. Этот тип измерения отображает максимальное значение сигнала в заданном диапазоне времен. В области Start Time и End Time впишите одинаковые значения – момент времени стробирования посередине первой полки рефлектограммы. Для горизонтальной оси графика выберите переменную SWPVAR.SWP1 (в раскрывающемся списке выбрать Use for x-axis).

6. На том же графике постройте зависимость суммы отраженной и падающей волны от амплитуды тестового сигнала. Она наблюдается, когда отклик от конца линии задержки CX1 уже вернулся к осциллографу V_METER, т.е. на верхней плоской вершине сигнала. Выполните действия, предусмотренные пунктом 5, только укажите момент времени стробирования на верхней плоской вершине сигнала (ближе к ее окончанию).

7. Информация о характеристиках объекта заключена в отраженной от него волне. В данном измерительном тракте ее можно определить, только если вычесть из суммы падающей и отраженной волны (п. 6) падающую волну (п. 5). Для этого выполните следующие действия:

- а) в дереве проекта выберите ветку Output Equations и нажмите правую клавишу мыши. Создайте новое окно Output Equations;
- б) Выберите в меню Draw/Add Output Equation. В появившемся окне установите настройки, аналогичные п. 5;
- в) задайте подходящее имя переменной, например, Incident_U, поскольку по п. 5 регистрируется напряжение падающей волны;
- г) таким же образом создайте Output Equation в соответствии с настройками из п. 6. Задайте имя переменной, например, Incident_Reflected_U, поскольку по п. 6 регистрируется сумма напряжений падающей и отраженной волны;
- д) через меню Draw/Add Equation добавьте выражение для вычисления напряжения отраженной волны, например, вида $Reflected_U = Incident_Reflected_U - Incident_U$;
- е) на том же графике, где у вас были построены падающая волна и сумма падающей и отраженной волн, добавьте измерение из ветки Output Equations (Measurement Type) для выражения с именем Reflected_U. Обратите внимание, что для данного типа измерений по умолчанию данные интерпретируются как комплексные и, если ничего не менять, то отображается модуль отраженной волны. Нужно установить отображение вещественной части Reflected_U;
- ж) скриншот графика приведите в отчете так, чтобы было понятно, какая кривая что означает.

8. Как соотносятся сейчас падающая и отраженная волны напряжения? Почему? Ответ приведите в отчете.

9. Удобным параметром в рефлектометрии является коэффициент отражения (отношение отраженной волны к падающей). Используя Output Equations постройте график зависимости коэффициента отражения от напряжения тестового сигнала. Скриншот приведите в отчете с пояснениями.

10. Для отыскания ВАХ нужно найти ток объекта. Чтобы найти падающий и отраженный токи, воспользуйтесь уже созданной областью Output Equations. Чтобы найти ток падающей волны, нужно поделить напряжение падающей волны на волновое сопротивление измерительного тракта (50 Ом). Ток отраженной

волны находится аналогично, только нужно учитывать, что при отражении от объекта ток падающей волны меняет знак. Ток объекта находится как простая сумма тока падающей и отраженной волны. Постройте три этих кривых (падающий, отраженный ток и ток объекта) на одном графике по аналогии с п. 7. Скриншот приведите в отчете.

11. Как соотносятся падающий, отраженный ток и ток объекта в данном случае? Ответ приведите в отчете.

12. Создайте на выходе коаксиальной линии режим короткого замыкания. Как изменились рефлектограмма, волны напряжений и токов, коэффициент отражения? Приведите скриншоты и пояснения в отчете.

13. Создайте на выходе коаксиальной линии режим согласованной нагрузки (50 Ом). Как изменились рефлектограмма, волны напряжений и токов, коэффициент отражения? Приведите скриншоты и пояснения в отчете.

14. Присоедините на выход коаксиальной линии модель диода, указанную преподавателем. Приведите скриншоты волн напряжения, тока и коэффициента отражения в отчете.

15. Постройте график ВАХ диода. Для этого на прямоугольном поле графика добавьте измерение PlotVs из ветки Data. В окне настроек данного типа измерений справа указываются измерения, которые нужно использовать по горизонтальной и вертикальной осям. В выпадающем списке будут все измерения, которые вы разместили на других графиках. Для вертикальной оси выберите измерение для тока объекта, а для горизонтальной оси – измерение для суммы падающей и отраженной волны напряжения на объекте.

16. График ВАХ диода постройте в линейном и логарифмическом по вертикальной оси масштабе. Скриншоты приведите в отчете.

2.4 Оформление отчета

Отчет должен содержать следующее:

- 1) титульный лист;
- 2) цель работы;
- 3) требуемые скриншоты программы с необходимыми пояснениями;
- 4) анализ результатов и выводы.

Лабораторная № 3 Изучение рефлектометрического метода измерения вольт-фарадных характеристик

3.1 Цель работы

Целью лабораторной работы является изучение рефлектометрического видеоимпульсного метода измерения вольт-фарадных характеристик (ВФХ).

3.2 Требования к программному и аппаратному обеспечению

Программное обеспечение лабораторной работы написано для комбинированного прибора Keysight DSOX1102G. Для работы программного обеспечения требуется установленная на компьютере библиотека LabVIEW Run-Time Engine, а также библиотеки, необходимые для работы с прибором Keysight DSOX1102G.

3.3 Последовательность выполнения работы

1. Включите прибор Keysight DSOX1102G. Запустите утилиту Keysight Connection Expert. Убедитесь, что утилита обнаружила измерительный прибор, и скопируйте в буфер строку «VISA Address».

2. Запустите программное обеспечение «Импульсный измеритель ВФХ DSOX1102G.exe» и переключитесь во вкладку «Настройки прибора». В поле «Имя прибора» вставьте полученный в предыдущем пункте адрес.

3. Проверьте, что установлены следующие значения параметров измерительной системы:

- а) длительность тестового видеоимпульса 200 нс;
- б) скважность 10;
- в) минимальная амплитуда 0.1 В;
- г) максимальная амплитуда 9.9 В;
- д) количество точек при сканировании по амплитуде тестового импульса 10;
- е) полярность тестового видеоимпульса «Положительная»;
- ж) усреднение 4000.

Для пробы вы можете поэкспериментировать с разными значениями параметров измерительной системы (если вы понимаете, что делаете и сможете правильно интерпретировать полученные результаты), но для отчета желательно использовать указанные значения.

4. Проследите, чтобы все флажки в «чекбоксах» в данной вкладке были сняты.

5. Для данных измерений требуется косвенно определять заряд интегрированием тока. Поэтому важно, чтобы система правильно задавала и регистрировала нулевые значения тока и напряжения до начала и после окончания тестового импульса. Поэтому вначале выполните калибровку нуля осциллографа. Поскольку программное обеспечение автоматически меняет вертикальный диапазон регистрации сигнала в зависимости от текущей амплитуды тестового импульса, делать это нужно отдельно для каждой амплитуды тестового импульса:

а) проверьте, что к первому каналу осциллографа ничего не подключено;

б) на графике «Смещение» установите галочку «Записать данные в файл»;

в) нажмите системную кнопку запуска программы LabVIEW. На графике слева вы увидите зависимость смещения нуля осциллографа от регистрируемого диапазона напряжений;

г) в появившемся системном окне введите имя файла «gx_offset.txt»;

д) на графике «Смещение» снимите флажок «Записать данные в файл» и установите флажок «Коррекция смещения осциллографа». После этого программа будет считывать смещение из файла «gx_offset.txt» и вычитать его из регистрируемого осциллографом сигнала;

е) запустите программу еще раз и убедитесь, что регистрируемое смещение уменьшилось примерно на порядок.

6. Соберите измерительный тракт: на вход осциллографа присоедините тройник. К одному из входов тройника присоедините кабелем выход генератора. Второй вход тройника служит для подключения мер или объекта измерения (далее измерительный порт).

7. Установите флажок «Записать данные в файл» на графике «Смещение» и запустите программу. Теперь вы видите смещение нуля генератора сигнала. Оно определяется по части сигнала (график справа), где тестовый импульс еще не начался. В появившемся системном окне введите имя файла «tx_offset.txt». На графике «Смещение» снимите флажок «Записать данные в файл» и установите флажок «Коррекция смещения генератора». Запустите

программу и убедитесь, что смещение нуля генератора скомпенсировано примерно на порядок. Скриншот текущей вкладки приведите в отчете.

8. В рефлектометрических методах полное (измеренное) напряжение на объекте u представляется в виде суммы напряжений падающей $u_{\text{пад}}$ и отраженной $u_{\text{отр}}$ волн: $u = u_{\text{пад}} + u_{\text{отр}}$. Напряжение падающей волны от импеданса объекта не зависит и поэтому должно быть измерено заранее для определения на данном этапе $u_{\text{отр}}$, несущего информацию об объекте измерения. В данной работе $u_{\text{пад}}$ находится из напряжения на мере согласованной нагрузки.

9. Присоедините меру согласованной нагрузки к измерительному порту. На графике «Зарегистрированный сигнал» установите галочку «Записать сигналы в файл». При этом сигналы напряжения на мере согласованной нагрузки сохраняются в файл «load.lvm» в директории программы. Такое напряжение соответствует отсутствию отраженной от нагрузки волны и в дальнейшем используется для нахождения падающей и отраженной волн простым вычитанием (без использования мостов, направленных ответвителей или линий задержки). Запустите программу для записи сигналов в файл. Снимите галочку «Записать сигналы в файл». Скриншот графика с импульсом на согласованной нагрузке приведите в отчете.

10. Перейдите во вкладку «Падающая и отраженная волны». В окошке «Сопротивление меры согласованной нагрузки» введите действительное значение меры, обозначенное на ее корпусе. На графике «Волны напряжения» установите флажок «Читать напряжение на мере согласованной нагрузки из файла». Присоедините к измерительному порту меру холостого хода («пустой» разъем, такой же как тот, к которому подключен объект измерения).

11. Если бы сопротивление меры согласованной нагрузки R_L было в точности равно внутреннему сопротивлению измерителя R (оно складывается из внутреннего сопротивления генератора и, в небольшой мере, внутреннего сопротивления осциллографа), то напряжение на мере u_L и было бы напряжением падающей волны: $u_{\text{пад}}(u_L) = u_L$ (так как в этом случае отраженная волна отсутствует). Однако в общем случае это условие в точности не выполняется. Временно впишите в окошко «Волновое сопротивление тракта» значение, равное действительному значению сопротивления меры

согласованной нагрузки. Запустите программное обеспечение. На среднем графике отображаются кривые падающей на объект и отраженной от объекта волн напряжения. Приведите скриншот текущей вкладки в отчете.

12. Скорее всего, вы заметите разницу в амплитудах падающей и отраженной волны, хотя для холостого хода такого быть не может – от обрыва волноведущей цепи отражается весь импульс, который на этот обрыв упал. Источник этой погрешности – отличие сопротивления меры согласованной нагрузки R_L от действительного значения волнового сопротивления тракта R . Получите самостоятельно и приведите в отчете формулу для $u_{\text{пад}}(u_L)$ для случая $R_L \neq R$.

13. Варьируя значение в окошке «Волновое сопротивление тракта» добейтесь равенства амплитуд падающей и отраженной волн напряжения. Скриншот текущей вкладки приведите в отчете.

14. Волны тока находятся как волны напряжения, деленные на волновое сопротивление тракта. Объясните (в отчете) соотношение между падающими и отраженными волнами тока для случая холостого хода.

15. Подключите к измерительному порту меру короткого замыкания. Скриншот текущей вкладки приведите в отчете. Объясните соотношение между падающей и отраженной волнами по току и напряжению для этого случая.

16. Перейдите во вкладку «Кэф. отражения, напряжение и ток объекта». Подключите меру холостого хода к измерительному порту. Запустите программное обеспечение. Приведите в отчете скриншот текущей вкладки. Объясните в отчете кривые коэффициента отражения по напряжению и току для этого случая.

17. Ток объекта на данной вкладке находится как сумма токов падающей и отраженной волн. На графике будет виден короткий импульс тока. Он обусловлен зарядом собственной емкости осциллографа и емкости меры холостого хода. На плоской вершине тестового сигнала ток должен быть нулевым. Если это не так, подстройте дополнительно значение волнового сопротивления измерительного тракта. Скриншот с итоговым графиком тока холостого хода приведите в отчете.

18. Перейдите во вкладку «Напряжение, заряд и емкость». Пронаблюдайте форму вычисленного заряда. Приведите скриншот графика заряда в отчете.

19. В области, где тестовый сигнал еще не начался, кривая заряда может иметь наклон (положительный или отрицательный). Это соответствует постоянному смещению кривой тока и обусловлено дрейфом нуля осциллографа. Чтобы динамически (в каждом считанном сигнале) компенсировать этот дрейф, установите на графике «Заряд объекта» флажок «Автонуль». Запустите программное обеспечение и получите график заряда с динамической компенсацией дрейфа нуля осциллографа. Приведите скриншот этого графика в отчете и оцените эффективность компенсации. Объясните форму кривой заряда и ее соотношение с формой тестового напряжения.

20. Чтобы в дальнейшем скомпенсировать заряд, который обусловлен емкостями осциллографа и меры холостого хода, установите на графике «Заряд объекта» флажок «Записать данные в файл» и запустите программное обеспечение. При этом кривые заряда для меры холостого хода записываются в файл «q.lvm». Снимите флажок «Записать данные в файл» и установите флажок «Включить компенсацию влияния емкости измерителя». При этом программа считывает записанные в файл «q.lvm» кривые и вычитает их из результатов измерения заряда. Запустите программное обеспечение и наблюдайте результат. Скриншот графика заряда приведите в отчете. Оцените остаточную (после компенсации) величину заряда.

21. На графике «Емкость объекта» приведена статическая емкость объекта измерения, найденная как отношение временных зависимостей вычисленного заряда объекта к напряжению на нем. Приведите скриншот этого графика в отчете.

22. Для установленной меры холостого хода в области плоской вершины тестового импульса емкость должна быть близка к нулю (в пределах ± 1 пФ). Обратите внимание на то, что отклонение емкости от нуля (погрешность измерения) меньше в окрестности начала тестового импульса и увеличивается с течением времени. Это связано с косвенным характером измерения заряда объекта по зарегистрированному току. Ток через емкость существует только на фронте сигнала и по удалению от него неопределенность значения заряда объекта увеличивается. С учетом предыдущего пункта выберите момент времени в начале плоской вершины импульса напряжения на объекте и впишите выбранное значение в окошко «Положение строба для измерения емкости». Запустите

программное обеспечение и пронаблюдайте измеренную вольт-фарадную характеристику (ВФХ) (правый график). Скриншот текущей вкладки приведите в отчете.

23. В окошке «Емкость объекта» отображается значение емкости объекта, зарегистрированной на каждом шаге в установленный момент стробирования. Запустите программное обеспечение четыре раза и считайте четыре результата измерения емкости холостого хода. Найдите среднеквадратическое отклонение этих результатов. Умножьте на коэффициент Стьюдента для четырех измерений (3.182 для доверительной вероятности 0.95). Полученный результат есть абсолютная погрешность измерения емкости данной установкой. Приведите ее значение в отчете.

24. Присоедините к измерителю меру емкости. Запустите программное обеспечение. Скриншот текущей вкладки приведите в отчете.

25. Обратите внимание, что фронт напряжения на объекте заметно затянулся. На графике «Емкость объекта» найдите наиболее равномерный участок и установите положение строба для измерения емкости в середине этого участка. Запустите программное обеспечение. Скриншот текущей вкладки приведите в отчете.

26. С учетом указанного на мере действительного значения емкости путем многократных измерений (не менее четырех) найдите относительную погрешность измерения емкости.

27. Присоедините к измерителю варикап в обратном смещении. Запустите программу и пронаблюдайте его ВФХ. При необходимости откорректируйте положение строба для измерения емкости так, чтобы он располагался на плоском участке зависимости заряда объекта от времени. Скриншот графика ВФХ приведите в отчете. Объясните форму графика. В данном случае наблюдается статическая емкость или дифференциальная? Барьерная или диффузионная? Ответы приведите в отчете.

3.4 Оформление отчета

Отчет должен содержать следующее:

- 1) титульный лист;
- 2) цель работы;
- 3) требуемые скриншоты программы с необходимыми пояснениями;
- 4) анализ результатов и выводы.

Лабораторная № 4 Изучение рефлектометрического метода измерения вольт-фарадных характеристик (без использования измерительного оборудования)

4.1 Цель работы

Целью лабораторной работы является изучение рефлектометрического видеоимпульсного метода измерения вольт-фарадных характеристик (ВФХ). Работа модифицирована для использования в дистанционной форме обучения.

4.2 Требования к программному обеспечению

Для выполнения лабораторной работы требуется установленное на компьютере программное обеспечение AWR Design Environment версии не ниже 13.

Данное руководство предполагает наличие базовых знаний интерфейса AWR Design Environment и не заменяет справочные и обучающие материалы по основам моделирования в этой САПР.

4.3 Последовательность выполнения работы

1. В отличие от первой лабораторной работы, в данном случае используется другой метод разделения падающей и отраженной волн. Он включает запоминание сигнала на согласованной нагрузке (при отсутствии отраженной волны). Затем этот сигнал (сигнал падающей волны) будет вычитаться из регистрируемой совокупности падающей и отраженной волн. Такой подход позволяет обойтись без линии задержки, которая при измерениях на относительно низких частотах (десятки-сотни МГц) имеет большую длину и неидеальные передаточные характеристики. Поэтому на рисунке 4.1 нет обычной для рефлектометров линии задержки.

2. Запустите AWR Design Environment. Откройте прилагаемый к данному руководству файл «Модели диодов.emp». Там создано поле принципиальной схемы с именем Schematics, на котором размещены модели диодов. Выберите модель диода в соответствии с вашим вариантом, остальные можете удалить.

3. Создайте схему измерительного тракта, как показано на рисунке 4.1. Обратите внимание, что надпись « $A=1$ » создается через меню Draw/Add Equation. Нижнее, верхнее значение диапазона амплитуд и шаг по амплитуде для тестового сигнала (на рисунке 4.1 это первый, второй и третий параметры функции `swpstp`, соответственно) должны быть установлены в соответствии

с вашим вариантом работы, указанным преподавателем. Скриншот получившейся схемы приведите в отчете.

4. В данном случае осциллограф рефлектометра имитирует элемент VCCS (источник тока, управляемый напряжением). Левая часть этого элемента (полюса 1 и 2) регистрирует напряжение в измерительном тракте U (как осциллограф). Через правые полюса (3 и 4) устанавливается ток $I = U \cdot M$. В данном случае $M = 1/50 \text{ См}$ (волновая проводимость измерительного тракта). Таким образом, этот узел имитирует пересчет напряжения, регистрируемого осциллографом, в ток в измерительном тракте в точке подключения осциллографа. Это нужно, чтобы рассчитать заряд (интегрированием тока), поскольку емкость находится из соотношения заряда и напряжения. В реальном приборе интегрирование имело бы смысл выполнять программно, однако в данной САПР более простой способ – реализовать интегратор схемотехнически. Проанализируйте и отразите в отчете, какова в данном случае интегрирующая цепь, и как она действует.

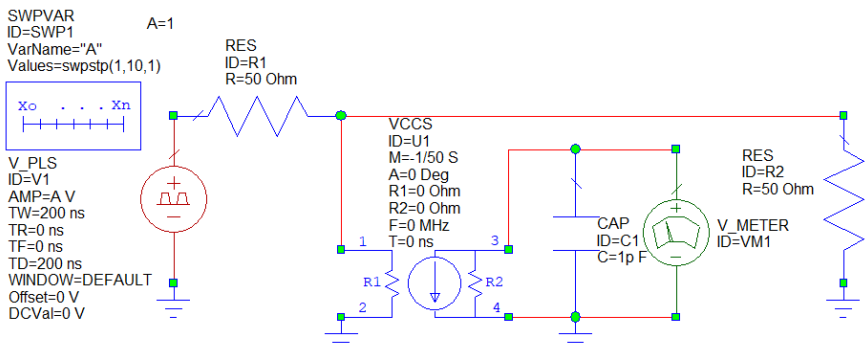


Рисунок 4.1 – Принципиальная схема тракта для рефлектометрического измерения ВФХ

5. Установите необходимые настройки симулятора. В меню Options/Project Options во вкладке Frequencies установите режим Single Point и установите частоту повторения тестового сигнала, указанную в вашем варианте задания. В меню Options/Default Circuit Options во вкладке APLAC Sim в ветке Transient Options снимите галочку Use HB settings и установите параметры Stop Time и Step Time в соответствии с вашим вариантом задания.

6. Постройте рефлектограмму напряжения на входе «осциллографа». Через меню Project/Add Graph создайте поле для прямоугольного графика. Через меню Project/Add Measurement добавьте новую кривую на график. В появившемся меню в ветке Nonlinear/Voltage выберите тип измерения Vtime. Проследите, чтобы в качестве источника данных (Data Source Name) было указано имя вашей принципиальной схемы. В области Measurement Component нажмите кнопку с троеточием. Отметьте левой клавишей мыши элемент VCCS. Области слева снизу выберите первый вывод этого элемента (VCCS@1). Нажмите Enter. Выберите симулятор APLAC Trans. Для наглядности можете выбрать построение либо всех рефлектограмм сразу (область SWPVAR.SWP1), либо одной рефлектограммы для единственной амплитуды тестового сигнала. Окончательно оставьте одну рефлектограмму для максимальной амплитуды тестового сигнала (рисунок 4.2). Выполните симуляцию (меню Simulate/Analyze). Должен получиться прямоугольный сигнал с амплитудой вдвое меньше амплитуды сигнала генератора V_PLS. Скриншот рефлектограммы приведите в отчете.

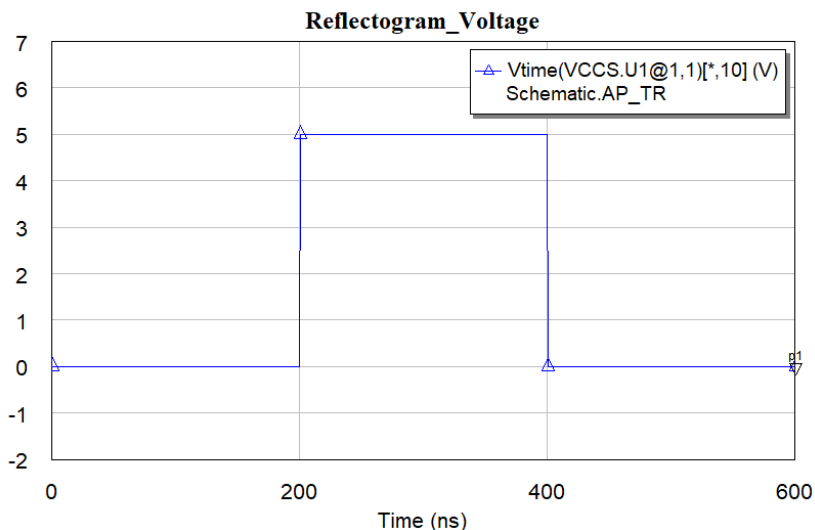


Рисунок 4.2 – Рефлектограмма сигнала при согласованной нагрузке

7. Текущие результаты расчета схемы AWR Design Environment автоматически сохраняет на диск. Обратится к этим

результатам можно во вкладке Project в ветке Data Sets/Имя вашей схемы. Результат последнего расчета обозначен зеленым прямоугольником. Чтобы в дальнейшем этот результат не «потерялся» присвойте ему понятное имя (правая клавиша мыши → Rename Data Set), например, Load. Эти данные понадобятся в дальнейшем для отыскания отраженного от объекта сигнала.

8. Проверьте, что преобразователь «напряжение – ток» работает корректно. Аналогично п. 5 на новом графике постройте рефлектограмму тока (ветка Nonlinear/Current, тип измерения Itime) заряда конденсатора C1 (выберите точку CAP.C1@1. Скриншот графика тока приведите в отчете.

9. Напряжение на конденсаторе C1 пропорционально интегралу тока в измерительном тракте. Если бы емкость C1 была равна 1 Ф, напряжение на C1 было бы численно равно заряду. Однако устанавливать такую емкость не стоит. Дело в том, что в заряд используемых импульсов имеет порядок $\sim 10^{-9}$ Кл. При этом напряжение на C1 оказывается порядка 10^{-9} В. Симулятор AWR Design Environment не ориентирован на точный расчет напряжений такой величины (считает их близкими к нулю). Поэтому в схеме емкость C1 установлена равной 1 пФ, и напряжение на ней численно равно заряду в пКл. Аналогично п. 5 постройте рефлектограмму переданного по измерительному тракту заряда (на новом графике). Для этого выберите измерение типа Vtime, а в качестве элемента для измерения укажите вольтметр V_METER.VM1. Для дальнейшей наглядности оставьте только одну рефлектограмму (область SWPVAR.SWP1) для максимальной амплитуды тестового импульса. Приведите в отчете скриншот этого графика. Объясните его форму и амплитуду.

10. Теперь вместо R2 подключите к измерителю меру емкости (конденсатор). Диоды в разных вариантах работы сильно отличаются по емкости, поэтому значение меры емкости также зависит от варианта работы. Рассмотрите и приведите в отчете рефлектограмму заряда в измерительном тракте. То, что вы видите, является разностью заряда, падающего на объект, и заряда, отраженного от объекта (разность – поскольку отраженный ток имеет обратное направление по отношению к падающему).

11. На том же графике отобразите заряд только падающей волны. Для этого добавьте на график точно такое же измерение (Vtime для элемента V_METER.VM1), только в области Select Data

Set нужно указать имя набора данных, содержащего результаты моделирования для согласованной нагрузки 50 Ом (без отраженной волны).

12. Чтобы найти отраженный заряд, несущий информацию о емкости объекта, используйте ветку Output Equation во вкладке Project. Нажмите правую клавишу мыши на ветке Output Equation. Создайте новое окно Output Equations. Выберите в меню Draw/Add Output Equation. Установите измерение Vtime из ветки Nonlinear/Voltage. Проследите, чтобы в качестве источника (Data Source Name) была указана ваша схема. В качестве элемента измерения установите вольтметр V_METER.VM1. Установите отображение рефлектограммы для максимального значения свип-переменной SWPVAR.SWP1. Симулятор по-прежнему устанавливается APLAC Trans. Установите текущий набор данных ({Current Result} в области Select Data Set). В качестве имени переменной (Variable name) используйте, например, A_minus_B, поскольку падающую и отраженную волны принято обозначать, соответственно, A и B.

13. Аналогично п. 12 постройте амплитуду падающей волны. Отличие состоит в том, что в окне настроек Output Equation в области Select Data Set нужно указать имя набора данных, содержащего результаты моделирования для согласованной нагрузки 50 Ом (без отраженной волны). В качестве имени переменной используйте, например, A.

14. Через меню Draw/Add Equation добавьте выражение для вычисления напряжения отраженной волны, например, вида

$$B = A - A_minus_B.$$

15. На том же графике, где у вас были построены падающая волна и сумма падающей и отраженной волн, добавьте измерение из ветки Output Equations (Measurement Type) для выражения с именем B. Обратите внимание, что для данного типа измерений по умолчанию данные интерпретируются как комплексные и, если ничего не менять, то отображается модуль отраженной волны. Нужно установить отображение вещественной части. Скриншот графика приведите в отчете так, чтобы было понятно, какая кривая что означает.

16. Как соотносятся сейчас падающая и отраженная волны заряда? Почему? Ответ приведите в отчете.

17. Для отыскания емкости объекта нужно найти его заряд. Заряды подчиняются тем же законам Кирхгофа, что и токи, поэтому заряд объекта находится как простая сумма падающего и отраженного зарядов. Вычислите заряд объекта в области Output Equation и постройте на том же графике, что и остальные рефлектограммы заряда. Приведите скриншот данного графика в отчете так, чтобы было понятно, какая кривая что означает. Как соотносится заряд конденсатора с напряжением на нем (рефлектограмма напряжения на объекте уже есть в проекте)?

18. Чтобы построить вольт-кулонную и вольт-фарадную характеристики объекта, нужно выполнить стробирование заряда объекта и напряжения на объекте в определенный момент времени. Для этого на отдельном графике разместите измерение VPeak из ветки Nonlinear/Waveform. В качестве элемента измерения (Measurement Type) установите вольтметр V_METER.VM1. Параметры Start Time и Stop Time установите одинаковыми. В них нужно вписать момент стробирования (ближе к концу тестового импульса, когда процесс заряда конденсатора практически завершен). В области Peak Type установите Overall Max. Для горизонтальной оси выберите переменную SWPVAR.SWP1 (в области SWPVAR.SWP1 выбрать Use for x-axis). То, что вы получили, есть зависимость разности падающей и отраженной волн заряда ($A - B$) от амплитуды тестового сигнала. Аналогично на этом же графике постройте зависимость падающей волны заряда (A) от амплитуды тестового сигнала (в области Select Data Set выбрать результат моделирования для согласованной нагрузки).

19. В области Output_Equation вычислите отраженную волну заряда как разность двух предыдущих графиков. В области Output Equation это уже сделано, только для случая, когда волны A и $(A - B)$ являются функциями времени. Теперь они являются функциями напряжения. Постройте график зависимости отраженной волны заряда от напряжения тестового импульса на том же графике, что и предыдущие две кривые.

20. Аналогично в области Output Equation найдите заряд объекта ($A + B$) как функцию напряжения тестового импульса. Скриншот с четырьмя вольт-кулонными кривыми приведите в отчете так, чтобы было понятно, какая кривая что означает. Прокомментируйте эти кривые.

21. Чтобы построить собственно вольт-кулонную характеристику объекта (зависимость заряда объекта от напряжения на нем) нужно построить зависимость напряжения на объекте от амплитуды тестового сигнала. Для этого на отдельном графике постройте измерение VPeak с теми же настройками, что и в п. 18, только в качестве элемента измерения выберите первый вывод DCCS (как описано в п. 6). Скриншот приведите в отчете. Если длительность импульса достаточно большая, то напряжение на конденсаторе не будет отличаться от напряжения тестового импульса, однако в общем случае это может быть и не так.

22. Постройте на отдельном графике вольт-кулонную характеристику объекта. Для этого установите тип измерения (Measurement Type) PlotVs из ветки Data. В окне настроек данного типа измерений справа указываются измерения, которые нужно использовать по горизонтальной и вертикальной осям. В выпадающем списке будут все измерения, которые вы разместили на других графиках. Для вертикальной оси выберете измерение заряда объекта (как функции напряжения тестового сигнала), а для горизонтальной оси – измерение напряжения на объекте (как функции напряжения тестового сигнала). Приведите скриншот графика в отчете, с учетом того, что заряд представлен в пКл. О чем говорит линейный характер данной кривой?

23. Постройте зависимость емкости объекта от напряжения тестового импульса. Для этого в области Output Equation вычислите емкость (обозначив, например, как C) как отношение заряда объекта к напряжению на нем. На отдельном графике разместите измерение типа Output Equation для переменной C. Учитывайте, что емкость отображается в пФ, так как заряд вычислялся в пКл. Приведите скриншот графика в отчете и прокомментируйте его.

24. Для отображения вольт-фарадной характеристики объекта разместите на новом графике измерение PlotVs. Для вертикальной оси выберете измерение емкости как функции напряжения тестового сигнала, а для горизонтальной оси – напряжение на объекте как функцию напряжения тестового сигнала. Скриншот ВФХ конденсатора приведите в отчете. Сопоставьте данную кривую с истинным значением емкости конденсатора.

25. Присоедините к измерителю указанный в вашем варианте диод **в обратном смещении**. Скриншот его ВФХ приведите в

отчете и прокомментируйте. Вы получили статическую или дифференциальную емкость? Какую емкость диода вы наблюдаете – барьерную? диффузионную? ту и другую вместе? Как соотносится данная кривая с физикой работы p - n -перехода в обратном смещении?

26. Постройте семейство рефлектограмм напряжения на диоде (как в п. 6, только для всех значений SWPVAR.SWP1). Как соотносится изменение формы напряжения на диоде с изменением его емкости?

4.4 Оформление отчета

Отчет должен содержать следующее:

- 1) титульный лист;
- 2) цель работы;
- 3) требуемые скриншоты программы с необходимыми пояснениями;
- 4) анализ результатов и выводы.

Лабораторная № 5 Изучение принципа нелинейной видеоимпульсной локации

5.1 Цель работы

Целью лабораторной работы является изучение принципа нелинейной видеоимпульсной локации на примере зондирования специально сконструированного нелинейного рассеивателя.

5.2 Требования к программному и аппаратному обеспечению

Программное обеспечение лабораторной работы написано для комбинированного прибора Keysight DSOX1102G. Для работы программного обеспечения требуется установленная на компьютере библиотека LabVIEW Run-Time Engine, а также библиотеки, необходимые для работы с прибором Keysight DSOX1102G.

5.3 Последовательность выполнения работы

1. Включите прибор Keysight DSOX1102G. Запустите утилиту Keysight Connection Expert. Убедитесь, что утилита обнаружила измерительный прибор, и скопируйте в буфер строку «VISA Address».

2. Соберите измерительный тракт:

- а) на вход осциллографа через тройник присоедините выход генератора тестовых сигналов;
- б) к оставшемуся входу тройника присоедините линию задержки (отрезок коаксиального кабеля длиной 5 м);
- в) к выходу линии задержки присоедините антенну в виде магнитного диполя диаметром 10 см с площадью поперечного сечения провода 2.5 мм^2 .

3. Зачем нужна линия задержки в измерительном тракте? Ответ приведите в отчете.

4. Запустите программное обеспечение «Нелинейный видеоимпульсный локатор». Откройте вкладку «Настройки генератора». В поле «Имя прибора» вставьте полученный в пункте 1 адрес. Проверьте, что амплитуда тестовых импульсов установлена равной 8 В. Удвоенное время запаздывания в линии задержки составляет около 45 нс, поэтому можно устанавливать длительность тестового импульса от 200 нс. По умолчанию она установлена равной 500 нс. Большие значения будут замедлять работу локатора. Запустите программу, наблюдайте и

приведите в отчете график сгенерированного цифрового тестового сигнала.

5. Откройте вкладку «Настройки осциллографа». Проверьте, что вертикальный диапазон оцифровки установлен равным 20 В. Усреднение имеет смысл устанавливать в диапазоне 100...1000. Меньшее значение позволяет работать практически в режиме реального времени, большее значение обеспечивает меньший уровень шума. Пронаблюдайте и приведите в отчете зарегистрированную рефлектограмму. Объясните, почему она имеет такой вид.

6. Перейдите во вкладку «Разделение первой и второй рефлектограмм». Программа автоматически разделяет рефлектограммы-отклики на фронт и спад тестового ступенчатого сигнала. Зачем это делается? Ответ приведите в отчете. Оцените правильность выполнения данной операции. Скриншот графика приведите в отчете.

7. Перейдите во вкладку «Выделение тестовых сигналов». Для вычисления характеристики нелинейности (нелинейной рефлектограммы) необходимо выделить тестовые сигналы. Они разделяются от откликов по времени (стробированием). Разделение тестовых сигналов и откликов выполняется после дифференцирования исходной рефлектограммы. Почему делается именно так? Пронаблюдайте производную рефлектограмм. Приведите график в отчете с пояснениями, почему он выглядит именно так.

8. Обратите внимание на повышенный уровень шума в производной исходной рефлектограммы (рассмотрите ее в крупно). Почему так происходит? Будет ли это иметь последствия? Ответ приведите в отчете.

9. Определите возможно точнее момент начала и длительность производной тестовых сигналов. Запишите эти значения в окна «Начало» и «Ширина». Пронаблюдайте графики отстробированных тестовых сигналов (средний график). Если в окно попадает лишняя часть шумовой дорожки или часть тестового сигнала подрезается, измените значение начальной точки стробирования или ширины стробирующего окна. Окончательный график приведите в отчете.

10. Пронаблюдайте график спектра производной тестовых сигналов. Оцените ширину спектра по одному-двум первым

лепесткам спектра. Приведите график и оценку ширины спектра в отчете.

11. Откройте вкладку «Нелинейная рефлектограмма». По какой формуле вычисляется нелинейная рефлектограмма? Установите частоту среза фильтра (окно снизу) равной ранее определенной ширине спектра тестовых сигналов. На графике не должно быть выраженных экстремумов. Если на нелинейной рефлектограмме присутствуют выраженные ступеньки, разрывы, подстройте ширину (и, возможно, положение) стробирующего окна тестовых сигналов. Почему на нелинейной рефлектограмме не отражаются отклики от линейных неоднородностей (например, от индуктивности антенны)? Оцените амплитуду шума на нелинейной рефлектограмме в отсутствие нелинейных объектов.

12. Разместите на расстоянии 1 см от антенны локатора тестовый нелинейный рассеиватель – магнитный вибратор диаметром 10 см с диодом Шотки в его разрыве. На нелинейной рефлектограмме должен появиться отклик от нелинейного рассеивателя. Уточните частоту среза ФНЧ (окно снизу) так, чтобы на графике отфильтрованной нелинейной рефлектограммы (справа) обеспечивалось наибольшее подавление шума при наименьшем влиянии на форму отклика от нелинейного рассеивателя. Приведите скриншот текущей вкладки в отчете.

13. Что получится, если перевернуть нелинейный рассеиватель? Проведите эксперимент, приведите скриншот в отчете и объясните результат.

14. Разместите вместо нелинейного рассеивателя короткозамкнутое кольцо провода такого же диаметра. Нелинейный отклик должен отсутствовать. Приведите скриншот окна в отчете.

15. Регулируя расстояние между нелинейным рассеивателем и антенной локатора, определите максимальное расстояние между ними, при котором нелинейный рассеиватель обнаруживается (магнитные вибраторы должны оставаться коаксиальными). Нелинейную рефлектограмму при таком удалении нелинейного рассеивателя приведите в отчете.

16. Замените антенну локатора на антенну такого же диаметра (10 см) из тонкого провода. Оцените дальность обнаружения нелинейного рассеивателя. Как она изменилась? Почему?

17. Верните антенну из провода сечением 2.5 мм^2 . Разместите нелинейный рассеиватель в сумке из диэлектрического материала. Изменилась ли дальность обнаружения?

18. Разместите между нелинейным рассеивателем и антенной локатора металлический лист? Обнаруживается ли нелинейный рассеиватель?

5.4 Оформление отчета

Отчет должен содержать следующее:

- а) титульный лист;
- б) цель работы;
- в) требуемые скриншоты программы с необходимыми пояснениями и ответами на заданные вопросы;
- г) анализ результатов и выводы.

Лабораторная № 6 Изучение принципа нелинейной видеоимпульсной локации (вариант без использования измерительного оборудования)

6.1 Введение

Целью лабораторной работы является изучение принципа нелинейной видеоимпульсной локации на примере зондирования специально сконструированного нелинейного рассеивателя. Работа модифицирована для использования в дистанционной форме обучения.

Нелинейные локаторы предназначены, в основном, для обнаружения объектов, содержащих полупроводниковые элементы: специальных меток, сотовых телефонов, носителей информации и пр. Видеоимпульсные нелинейные локаторы отличаются простотой конструкции, большой импульсной мощностью, высокой проникающей способностью излучения.

6.2 Требования к программному обеспечению

Для выполнения лабораторной работы требуется установленное на компьютере программное обеспечение AWR Design Environment версии не ниже 13.

Данное руководство предполагает наличие базовых знаний интерфейса AWR Design Environment и не заменяет справочные и обучающие материалы по основам моделирования в этой САПР.

6.3 Последовательность выполнения работы

1. Откройте прилагаемый файл «Модели диодов.emp». Выберите там указанную в вашем варианте модель диода. Остальные можете удалить. Соберите модель нелинейного видеоимпульсного локатора, приведенную на рисунке 6.1.

Амплитуда тестового сигнала (генератор G1) должна быть достаточно большой (в данном случае 50 В на нагрузке 50 Ом) для обнаружения реальных радиоэлектронных устройств. Двукратное тестовое воздействие (как требуется в нелинейном зондировании) получается в результате отклика объекта на два фронта (нарастание и спад) меандра, формируемого генератором G1. Комбинируются эти два отклика (для формирования нелинейной рефлектограммы) в линии задержки U1. Объясните (лучше в виде формулы) каким образом из входного сигнала (Test_Wave) формируется нелинейная рефлектограмма (Reply_Wave). Индуктивность L1 моделирует магнитную антенну нелинейного локатора. Точка «К» в модели

этой индуктивности в дальнейшем будет использована для указания связи с зондируемым объектом (по магнитному полю). Линия задержки W1 в данной модели принципиально не нужна. Но она требуется для разделения тестовых сигналов и откликов объекта, если данную схему реализовать на практике.

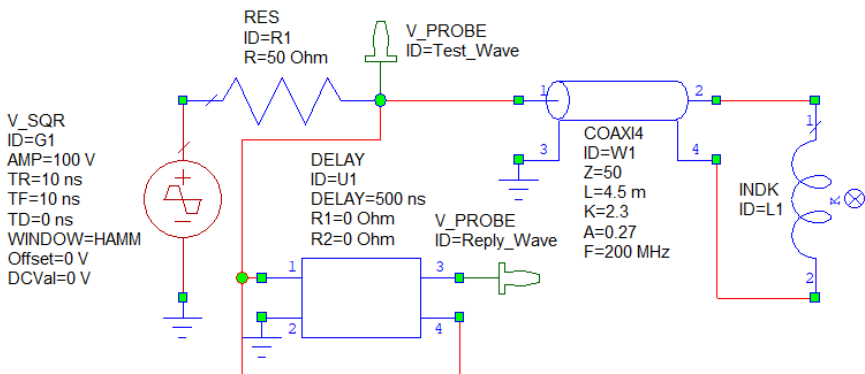


Рисунок 6.1 – Модель нелинейного видеоимпульсного локатора

2. Антенна L1 представляет собой одиночный круглый виток диаметром 10 см из медной трубки. Диаметр трубки указан в вашем варианте работы. Рассчитайте индуктивность антенны по [1]. В данном случае нужно использовать формулу (5-4). Расчеты приведите в отчете. Установите номинал L1 в соответствии с результатами расчета. Скриншот получившейся схемы приведите в отчете.

3. Настройте симулятор. Частоту анализа установите 1 МГц (меню Options/Project/Options/Frequencies). Схема содержит модель реального коаксиального кабеля W1 с частотно-зависимыми потерями. Такие цепи невозможно корректно моделировать путем рекурсивного анализа во временной области, поэтому далее будет использоваться метод гармонического баланса. Для адекватного описания используемых импульсных сигналов нужно установить достаточно большое число гармоник. В меню Options/Default Circuit Options во вкладке AWR Sim в ветке Harmonic Balance Options/Tone Harmonics установите значение Tone 1 Harmonics 400.

4. Постройте график тестового сигнала для контрольной точки Test_Wave. Для этого создайте новое поле прямоугольного графика (меню Project/Add Graph). На этом поле разместите новое

измерение V_{time} (меню Project/Add Measurement) из ветки Nonlinear/Voltage. В качестве симулятора укажите Harmonic Balance. Выполните симуляцию (меню Simulate/Analyze). Приведите скриншот графика в отчете. Объясните форму графика с учетом того, что тестовый сигнал является меандром.

5. Аналогично п. 5 постройте график нелинейной рефлектограммы (для контрольной точки Reply_Wave). На этом графике отображено два периода частоты анализа (умолчание метода гармонического баланса), в каждом из которых имеется два тестовых воздействия. Фактически вам нужна только четверть этого графика. Нажмите правую клавишу мыши на поле графика и в выпадающем меню выберите пункт Options. Во вкладке Axes для оси «x» снимите галочку Auto limits и установите верхний предел времени 500 нс. Приведите скриншот графика в отчете. Этот сигнал должен быть близок к нулю. О чем это говорит?

6. В соответствии с рисунком 2 разместите возле передающей антенны объект зондирования.

Объект зондирования моделируется диодом VD1. Тип диода указан в вашем варианте задания. Индуктивность $L2$ моделирует электропроводящую петлю в схеме зондируемого устройства вокруг полупроводникового элемента. Эта петля выполнена из провода диаметром 1 мм. Диаметр самой петли указан в вашем варианте задания. Рассчитайте индуктивность этой петли по формуле (5-4) из [1]. Расчеты приведите в отчете.

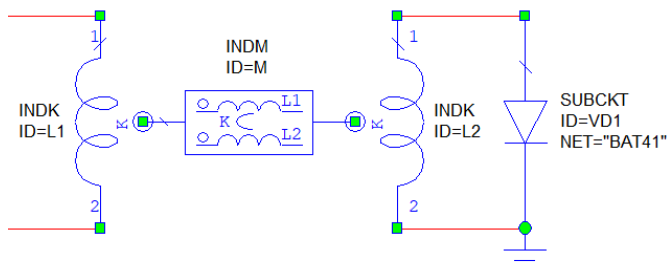


Рисунок 6.2 – Нелинейный объект зондирования, магнитно связанный с передающей антенной

7. Элемент M на рисунке 2 обозначает магнитную связь между передающей антенной и электропроводящей петлей в зондируемом объекте. Примите расстояние до объекта равным 2 см (расстояние между антенной $L1$ и петлей $L2$). При этом условии по формуле (5-

19) из [1] рассчитайте взаимную индуктивность между $L1$ и $L2$. Расчеты приведите в отчете.

8. Выполните симуляцию и приведите график нелинейной рефлектограммы в отчете для случая размещения нелинейного объекта на расстоянии 2 см.

9. Будем считать, что нелинейный локализатор может обнаружить нелинейный объект, если амплитуда нелинейной рефлектограммы превышает 10 мВ. Подберите значение взаимной индуктивности M так, чтобы получить такую амплитуду нелинейной рефлектограммы. Нелинейную рефлектограмму и значение взаимной индуктивности для этого случая приведите в отчете. Используя формулу (5-19) из [1] подберите такое расстояние до зондируемого объекта, при котором получается минимально допустимая взаимная индуктивность. Значение этого расстояния приведите в отчете.

10. Проверьте, что нелинейный локализатор не реагирует на линейные элементы. Вместо диода $VD1$ включите короткое замыкание. Нелинейная рефлектограмма должна быть близка к нулю. Объясните по схеме на рисунке 1 почему так получается.

11. Большой или маленькой получилась дальность обнаружения? Можно ли использовать на практике такой нелинейный локализатор? Какие существуют ресурсы для увеличения дальности обнаружения нелинейных объектов локализаторами с таким принципом действия?

6.4 Оформление отчета

Отчет должен содержать следующее:

- а) титульный лист;
- б) цель работы;
- в) требуемые скриншоты программы;
- г) анализ результатов и выводы.

Литература

1. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей: справочная книга. – 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. – 488 с.