

Руководство к лабораторному практикуму: ОСНОВЫ ТЕХНИКИ СВЯЗИ

Плата EMONA Communications для NI ELVIS III



Лабораторная работа 8: Частотная модуляция

Перечень изменений

Дата	Что изменено
4/1/2018	Оформлена окончательная версия документа

© 2018 Emona Instruments Pty Ltd

Все авторские права на все руководства пользователя по Emona TIMS/ETT-Series/DxIQ, руководства к лабораторным практикумам и прилагаемое к ним программное обеспечение принадлежат компании Emona Instruments Pty Ltd и ее подразделениям. Все права защищены.

ОГРАНИЧЕНИЯ НА КОПИРОВАНИЕ РУКОВОДСТВ TIMS

Лицензионное соглашение предоставляет ограниченные полномочия только тем образовательным учреждениям, которые приобрели учебное лабораторное оборудование Emona TIMS/ETT/DxIQ. Эти полномочия включают в себя тиражирование (полностью или частично) и/или распространение любых руководств пользователя и лабораторных практикумов TIMS/ETT/DxIQ, изданных компанией Emona Instruments, для исключительного использования студентами этих учреждений.

Ограниченные полномочия не предусматривают никаких лицензионных выплат компании Emona.

Компании Emona Instruments Pty Ltd принадлежат права на любые переизданные и/или вторичные документы.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Компания Emona Instruments Pty Ltd уважает чужие права на интеллектуальную собственность и призывает читателей к тому же самому. Этот ресурс защищен законами об авторском праве и интеллектуальной собственности.

LabVIEW и National Instruments являются торговыми марками корпорации National Instruments.

Все другие торговые марки и наименования компаний, упомянутые здесь, являются собственностью соответствующих компаний.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

Читатель принимает на себя все риски, связанные с использованием настоящего ресурса и всей информации, теоретических сведений, программ, которые там содержатся или описываются. Этот ресурс может содержать технические неточности, типографические ошибки, прочие ошибки и упущения, а также устаревшую информацию. Ни автор, ни издатель не несут никакой ответственности за любые ошибки и упущения, за обновление любой информации, за любые нарушения патентных и других прав интеллектуальной собственности.

Автор и издатель не дают никаких гарантий, включая, без ограничений, любые гарантии на полноту данного ресурса и любой информации, теоретических сведений или программ, содержащихся или описываемых в ресурсе. Также они не дают никаких гарантий, что любые содержащиеся или описываемые в данном ресурсе информация, теоретические сведения и программы не нарушают ничьих патентных прав и иных прав интеллектуальной собственности. **ДАННЫЙ РЕСУРС ПОСТАВЛЯЕТСЯ "КАК ЕСТЬ". НЕ ДАЮТСЯ НИКАКИЕ ГАРАНТИИ, ЯВНЫЕ ИЛИ ПОДРАЗУМЕВАЕМЫЕ, ВКЛЮЧАЯ, НО НЕ ОГРАНИЧИВАЕМЫЕ, ЛЮБЫЕ И ВСЕ ПОДРАЗУМЕВАЕМЫЕ ГАРАНТИИ ТОВАРНОЙ ПРИГОДНОСТИ, ПРИГОДНОСТИ ДЛЯ КОНКРЕТНОЙ ЦЕЛИ И ОТСУТСТВИЯ НАРУШЕНИЙ ПРАВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ.**

Никаких прав и лицензий не предоставляются издателем или автором под любым патентом или другим правом на интеллектуальную собственность явно, косвенно или по решению суда.

НИ ПРИ КАКИХ ОБСТОЯТЕЛЬСТВАХ ИЗДАТЕЛЬ ИЛИ АВТОР НЕ БУДУТ НЕСТИ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА ЛЮБОЙ ПРЯМОЙ, КОСВЕННЫЙ, УМЫШЛЕННЫЙ, НЕУМЫШЛЕННЫЙ, СТРАХОВОЙ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ИЛИ ВТОРИЧНЫЙ УЩЕРБ, ОБУСЛОВЛЕННЫЙ ДАННЫМ РЕСУРСОМ И ЛЮБОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ, ТЕОРЕТИЧЕСКИМИ СВЕДЕНИЯМИ И ПРОГРАММАМИ, КОТОРЫЕ ТАМ СОДЕРЖАТСЯ И ОПИСЫВАЮТСЯ, ДАЖЕ ЕСЛИ ОСВЕДОМЛЕННЫ О ВОЗМОЖНОСТИ ТАКОГО УЩЕРБА И ДАЖЕ ЕСЛИ ЕГО ПРИЧИНОЙ ИЛИ ЕГО СПОСОБСТВОВАНИЮ ЯВЛЯЛАСЬ НЕВНИМАТЕЛЬНОСТЬ ИЗДАТЕЛЯ, АВТОРА ИЛИ ИНЫХ ЛИЦ. Применяемый закон не допускает исключений или ограничений по неумышленному или вторичному ущербу. Следовательно, вышеприведенные исключения или ограничения к вам не относятся.

Содержание

Лабораторная работа 8: Частотная модуляция	6
Цель работы	6
Предварительные условия	6
Необходимые инструментальные средства и технологии	7
Ожидаемые результаты.....	7
Часть 1: FM модуляция	8
1.1 Предварительное обсуждение	8
1.2 Модуляция сигнала VCO генератора двумя дискретными уровнями	11
1.3 Генерация FM сигнала, модулированного речевым сообщением.....	15
1.4 Мощность FM сигнала.....	16
1.5 Полоса частот FM сигнала.....	20
Рисунок 1: Графики FM сигналов	9
Рисунок 2: Схема соединений для формирования FM сигнала с помощью генератора VCO	13
Рисунок 3: Пример FM сигнала в частотной области	14
Рисунок 4: Блок-схема формирования FM сигнала с помощью генератора VCO	14
Рисунок 5: Генерация FM сигнала, модулированного речевым сообщением, с помощью модуля VCO.....	16
Рисунок 6: Модуляция сигнала VCO синусоидой 2,08 кГц	18

Лабораторная работа 8: Частотная модуляция

В этой лабораторной работе вам предстоит сгенерировать частотно-модулированный (Frequency modulated - FM) сигнал из различных источников сообщений, а также измерить мощность и ширину спектра FM сигнала, наблюдая сигнал во временной и в частотной областях. Кроме того, вы рассчитаете девиацию частоты для схемы модулятора.

Цель работы

После выполнения этой лабораторной работы вы должны уметь:

1. Генерировать FM сигнал из различных источников сообщений
2. Исследовать реальный FM сигнал с помощью осциллографа и сравнивать его с исходным сообщением
3. Вычислять мощность FM сигнала
4. Определять ширину спектра FM сигнала
5. Вычислять девиацию частоты FM модулятора

Предварительные условия

Вы должны выполнить лабораторные работы 1 и 2 и быть знакомыми с оборудованием, его применением и мерами предосторожности при работе с оборудованием.

Необходимые инструментальные средства и технологии

Платформа: NI ELVIS III

Измерительные приборы:

- Осциллограф в режиме измерений во временной области
- Осциллограф в режиме БПФ
- Функциональный генератор

- ✓ Установка приборов:
<http://www.ni.com/documentation/en/ni-elvis-iii/latest/getting-started/installing-the-soft-front-panel/>
- ✓ Доступ к приборам:
<https://measurementslive.ni.com>
- ✓ Руководство пользователя
<http://www.ni.com/en-us/support/model.ni-elvis-iii.html>
- ✓ Учебные пособия
https://www.youtube.com/playlist?list=PLvcPIuVaUMIWm8ziaSxv0gwtshBA2dh_M

Аппаратные средства:

плата Emona Communications

Компоненты, используемые в этой лабораторной работе:

- 4 шнура с разъемами BNC - штекер "банана" 2 мм
- Проводники со штекерами 2 мм
- Наушники или микронаушники

- ✓ Руководство пользователя:
<http://www.ni.com/en-us/support/model.emona-communications-board-for-ni-elvis-iii.html>

Ожидаемые результаты

В этой главе вы должны собрать для отчета:

- ✓ Результаты вычислений
- ✓ Результаты измерений
- ✓ Результаты наблюдений

Преподавателю, скорее всего, необходимо предъявить полный отчет о работе. Узнайте у вашего преподавателя, есть ли конкретные требования к отчету или шаблон для его оформления.

Часть 1: FM модуляция

1.1 Предварительное обсуждение

Основным недостатком коммуникационных систем, основанных на амплитудной модуляции (AM), модуляции с двумя боковыми полосами и подавлением несущей (DSBSC) модуляции с одной боковой полосой и подавлением несущей (SSB) является чувствительность к электромагнитным помехам, воздействующим на среду передачи сигналов (канал связи). Это обусловлено тем, что помеха изменяет амплитуду передаваемого сигнала, а принцип действия демодулятора основан на восстановлении амплитуды сигнала.

Как следует из названия, при частотной модуляции уровень сигнала сообщения управляет частотой несущего сигнала, а не его амплитудой. Следовательно, FM демодулятор реагирует на изменение частоты сигнала и поэтому является менее чувствительным к изменениям амплитуды и более помехозащищенным, чем AM демодулятор. В этом смысле применение FM в системах связи более предпочтительно.

Существует несколько методов формирования FM сигналов, но все они основаны на управлении частотой выходного сигнала генератора путем изменения напряжения входного сигнала. Обычно, если напряжение на входе генератора равно 0 В, на его выходе формируется сигнал *собственной (центральной)* частоты. Если входное напряжение изменяется в большую или меньшую сторону относительно 0 В, частота выходного сигнала генератора перестраивается вверх или вниз относительно центральной частоты (имеет место девиация частоты). Т. е. чем больше уровень входного напряжения, тем больше девиация частоты.

На рисунке 1 показан исходный прямоугольный сигнал передаваемого сообщения (Message), немодулированная несущая (Unmodulate dcarrier), а также результат модулирования несущей сигналом сообщения – FM сигнал (FM signal).

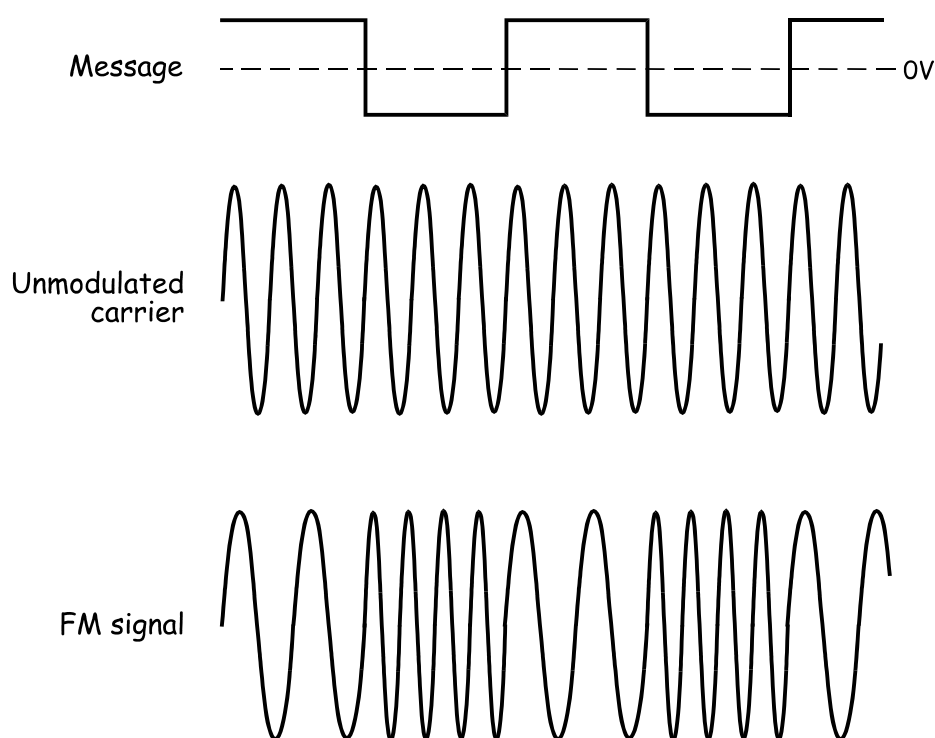


Рисунок 1: Графики FM сигналов

Необходимо знать несколько наиболее важных свойств FM сигнала. Во-первых, огибающая FM сигнала плоская, поскольку амплитуда несущей не изменяется. Во-вторых, его период (и частота) изменяется под воздействием амплитуды сигнала сообщения. В третьих, изменение сигнала сообщения в большую или меньшую сторону относительно 0 В приводит к изменению частоты несущей вверх или вниз относительно центральной частоты. (**Примечание:** Можно также разработать такой FM демодулятор, который изменял бы частоту несущего колебания в направлении, противоположном изменению полярности сигнала сообщения).

Прежде чем продолжить обсуждение частотной модуляции, важно отметить следующее. Прямоугольная форма сигнала сообщения помогает нам наглядно показать, как формируется FM сигнал. Рисунок 1 наводит на мысль, что FM сигнал состоит из двух гармоник: у одной частота выше несущей, у другой – ниже. Однако, на самом деле спектральный состав такого сигнала значительно сложнее, чем кажется.

Этим подчеркивается одно из важных отличий FM от других видов модуляции, рассмотренных ранее. Как следует из математической модели FM сигнала, его спектр может состоять из множества гармоник, даже если сигнал сообщения имеет синусоидальную форму. В то же время, для этого же сигнала сообщения спектр AM сигнала состоит из *трех* гармоник, спектр DSBSC сигнала – из двух гармоник, а спектр SSBSC сигнала – всего лишь из одной гармоники. Отсюда не следует автоматически, что спектр FM сигнала шире, чем спектр всех этих

сигналов (для одного и того же сигнала сообщения). Однако практически это действительно так.

Еще одно важное отличие FM от ранее упомянутых видов модуляции заключается в том, что мощности AM, DSBSC и SSBSC сигналов изменяются в зависимости от индекса модуляции, поскольку действующее значение напряжения несущей неизменно, а действующие значения напряжения боковых частотных составляющих пропорциональны индексу модуляции. Напротив, при FM в зависимости от индекса модуляции действующие значения напряжений несущей и боковых гармоник FM сигнала изменяются таким образом, что сумма их мощностей всегда равна мощности немодулированной несущей. Таким образом, мощность FM сигнала постоянна.

Наконец, при ознакомлении с принципом действия FM модулятора вы, возможно, поняли, что на плате Emona есть модуль, который работает аналогично генератору, управляемому напряжением, – это модуль VCO (Voltage Controlled Oscillator). На практике генератор, управляемый напряжением, иногда используют в качестве модулятора FM сигналов (хотя существуют и более совершенные, чем VCO, устройства).

1.2 Модуляция сигнала VCO генератора двумя дискретными уровнями

С помощью модуля VCO вам предстоит сформировать настоящий FM сигнал. Сначала вы настроите модуль VCO таким образом, чтобы он формировал немодулированную несущую известной частоты. Затем вы пронаблюдаете, каким образом происходит частотная модуляция несущего колебания прямоугольным сигналом, а затем и речевым сигналом. Наконец, вам предстоит пронаблюдать спектр FM сигнала с помощью осциллографа станции NI ELVIS III в режиме FFT, а также исследовать распределение мощности между несущей и боковыми спектральными составляющими при различных уровнях модулирующего напряжения.

Время выполнения эксперимента – около 40 мин.

Включение питания платы EMONA Communications

1. Убедитесь, что кнопка *Board Power* включения питания платы в левом верхнем углу NI ELVIS III находится в состоянии OFF (не светится).
2. Аккуратно вставьте плату EMONA Communications в слот станции NI ELVIS III, убедившись, что она полностью зафиксирована спереди и сзади.
3. Убедитесь в том, что станция NI ELVIS III подключена к компьютеру с помощью USB кабеля, и компьютер включен.
4. Включите питание платы, нажав один раз на кнопку *Board Power*, и убедитесь в том, что она светится. Светодиоды на плате EMONA Communications также должны светиться. Если они не светятся, немедленно выключите питание платы и проверьте, правильно ли она вставлена и подключена.
5. Откройте в вашем браузере утилиту Instrument Launcher (утилита запуска измерительных приборов) и выберите нужные измерительные приборы.

Конфигурация осциллографа

Channel Voltage range (Масштаб по оси напряжения)	2 V/div (2 В/дел)
Horizontal Timebase (Масштаб по оси времени)	50us/div (50 мкс/дел)
Trigger (Запуск)	Analog Edge, Chan 1, Rising (Аналоговый "фронт", канал 1, нарастающий)
Probe Attenuation (Коэффициент деления пробника)	1x

6. Соберите схему согласно рисунку 2.
7. Установите регулятор *GAIN* (коэффициент преобразования) модуля *VCO* на минимум, повернув его против часовой стрелки до упора. Затем элементом управления *FREQ* (частота) настройте генератор на формирование выходного синусоидального сигнала частотой около 100 кГц. Период этого сигнала равен 10 мкс, так что вам будет просто получить хорошую осциллограмму во временной области.
8. Плавно увеличивайте коэффициент *GAIN* до максимального значения, которому (вращая элемент управления *GAIN* по часовой стрелке до упора).

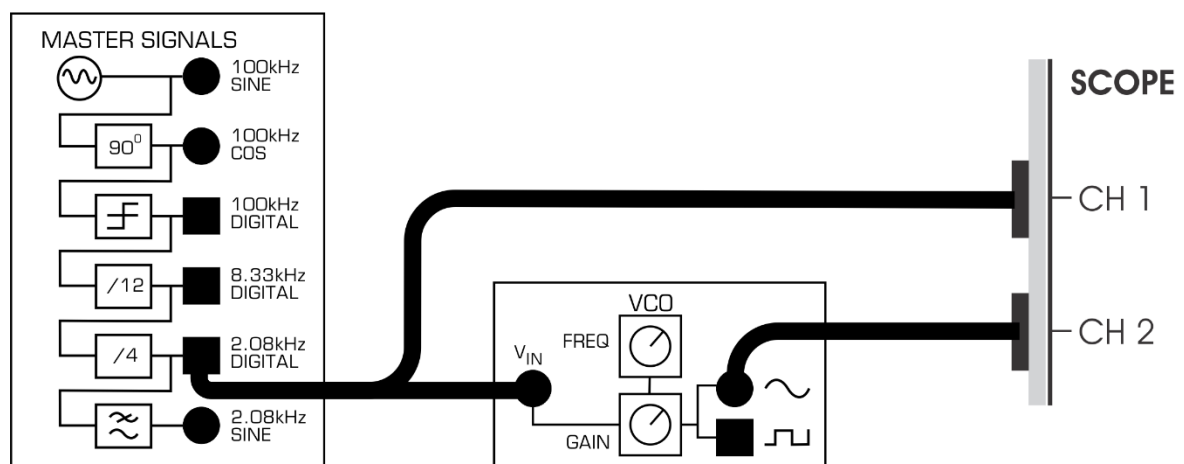


Рисунок 2: Схема соединений для формирования FM сигнала с помощью генератора *VCO*

Эту схему можно представить блок-схемой, приведенной на рисунке 4. На вход генератора *VCO* поступает прямоугольный сигнал сообщения частотой 2,08 кГц с выхода модуля *MASTER SIGNALS* (генератор опорных сигналов), а на выходе *VCO* формируется FM сигнал с несущей частотой 100 кГц.

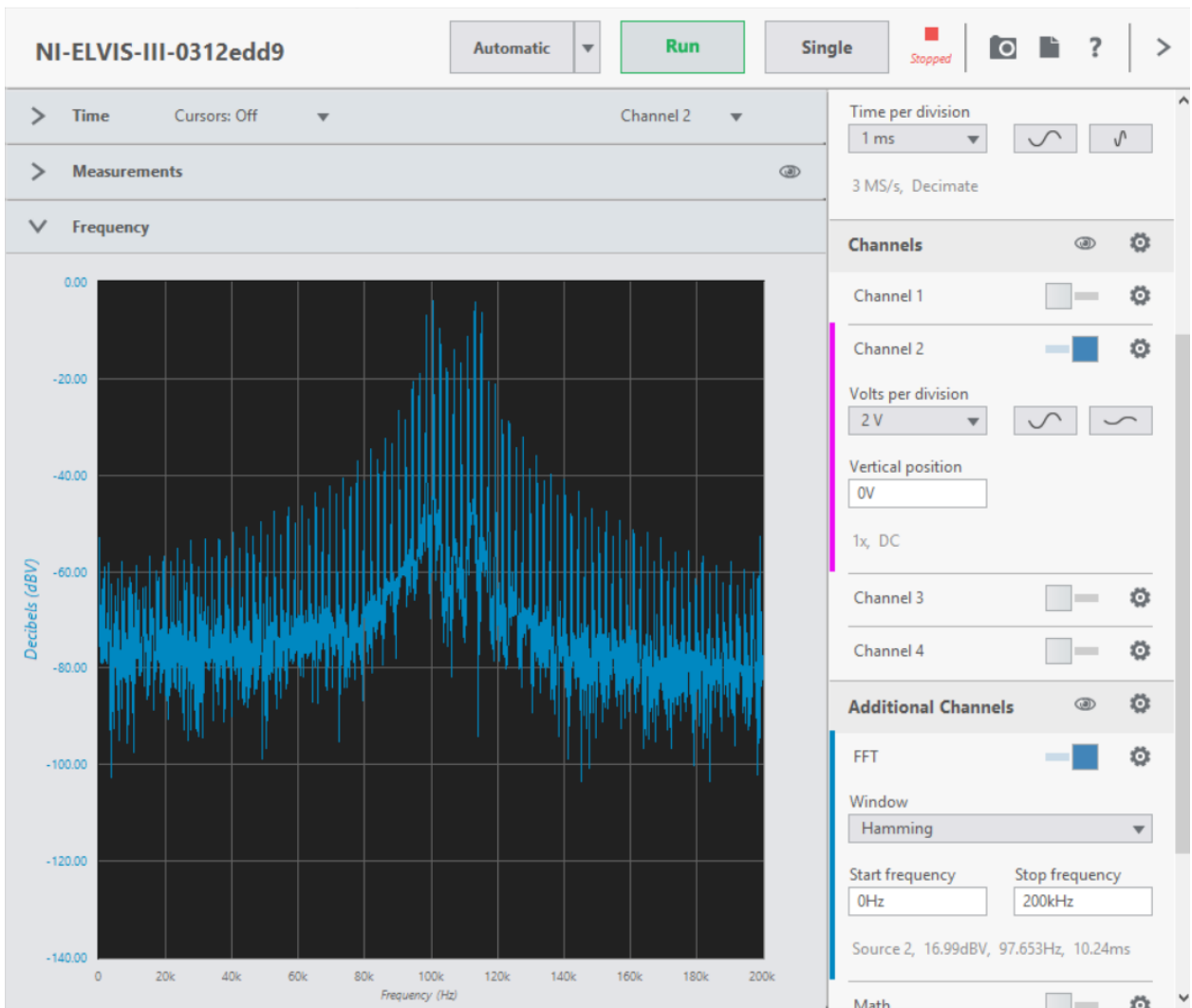


Рисунок 3: Пример FM сигнала в частотной области

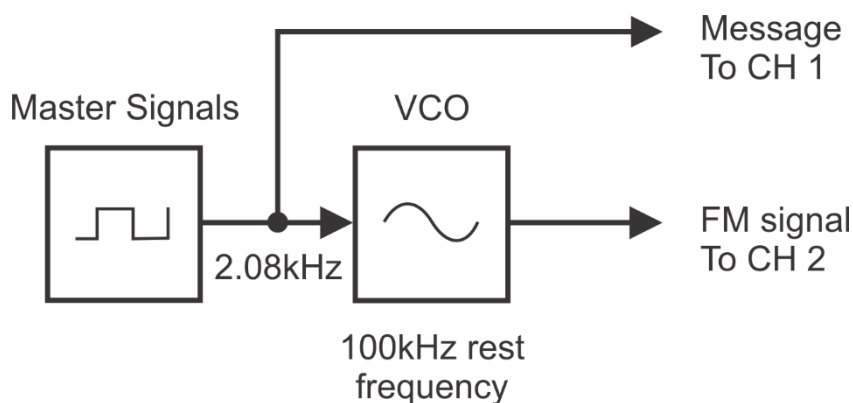


Рисунок 4: Блок-схема формирования FM сигнала с помощью генератора VCO

Master Signals – генератор опорных сигналов, VCO – генератор, управляемый напряжением, 100 kHz rest frequency – центральная частота 100 кГц, Message To CH1 – сообщение к каналу1, FM signal To CH2 – FM сигнал к каналу 2,

9. Пронаблюдайте одновременно входной и выходной сигналы модуля VCO, настроив запуск осциллографа по нарастающему фронту прямоугольного входного сигнала.
3. Пронаблюдайте изменение частоты выходного сигнала при входном напряжении 0 В и +5 В. Этот эксперимент демонстрирует модуляцию выходного сигнала модуля VCO входным сигналом. Вам следует использовать режим работы осциллографа SINGLE (однократный) и отключить запуск по фронту входного сигнала для выполнения измерений.

1-1 При максимальном коэффициенте преобразования GAIN измерьте частоту для обоих состояний входных сигналов. Чему равны эти частоты?

11. Включите режим FFT осциллографа. Измените масштаб по оси времени на значение 1 ms/div .
12. Установите диапазон частот отображаемой части БПФ спектра, скажем, от 0 кГц до 200 кГц, чтобы обеспечить широкую полосу обзора в частотной области. Изменяйте положение элемента управления GAIN модуля VCO, и наблюдайте, как это влияет на спектр выходного сигнала.
13. Сделайте скриншот экрана осциллографа и вставьте его в отчет. Прокомментируйте скриншот, чтобы идентифицировать сфотографированные сигналы. Если необходимо, то с помощью курсоров выделите важные уровни и точки перехода сигнала.

1.3 Генерация FM сигнала, модулированного речевым сообщением

В предыдущем разделе был рассмотрен простейший случай формирования FM сигнала для прямоугольного сигнала сообщения. На самом деле, в коммерческих системах связи, как правило, передаются речь или музыка. При выполнении этой части эксперимента вы будете наблюдать FM сигнал, модулированный речевым сообщением.

1. Верните регулятор уровня сигнала запуска осциллографа *Trigger Level* на уровень 0 В.
2. Отключите штекеры от выхода *2.08 kHz DIGITAL* генератора опорных сигналов.
3. Подключите их к выходу преобразователя речевых сигналов *SPEECH*, как показано на рисунке 5.

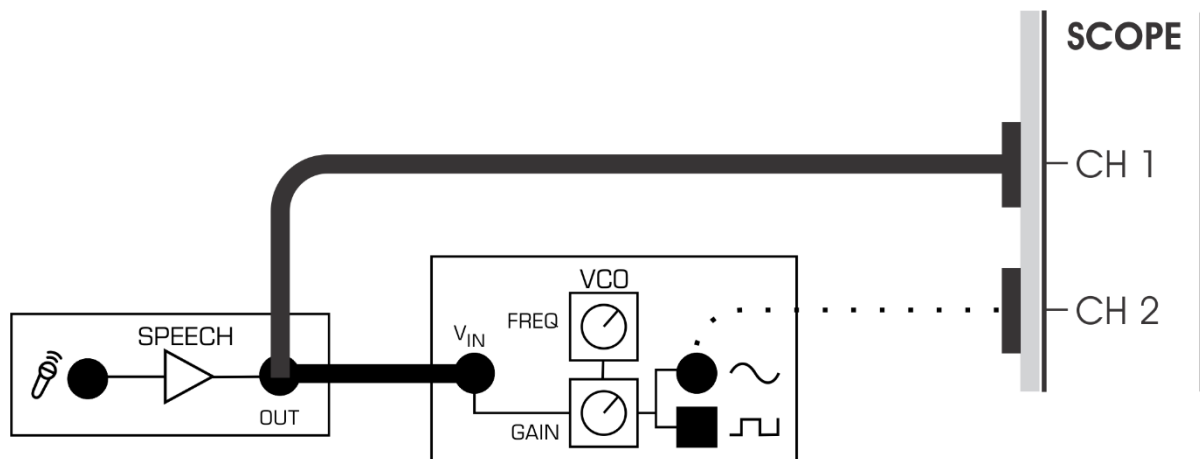


Рисунок 5: Генерация FM сигнала, модулированного речевым сообщением, с помощью модуля VCO

4. Установите элемент управления *Timebase* в положение $100\mu\text{s}/\text{div}$.
5. Шумите, говорите и хлопайте в микрофон, наблюдая за экраном осциллографа.

1.4 Мощность FM сигнала

Как упоминалось ранее, мощность FM сигнала остается постоянной независимо от индекса модуляции. Убедиться в этом вам поможет следующая часть эксперимента.

1. Найдите модуль VCO.
2. Сохраните неизменной предыдущую схему (рисунок 5).
3. Или вы можете соединить вход с гнездом заземления (GND). Выполнение пункта 4 делает это ненужным.

4. Поверните регулятор *GAIN* модуля VCO до минимума (против часовой стрелки до упора), и затем установите такое значение элемента управления *FREQ*, чтобы модуль выдавал синусоиду с частотой 100 кГц или около того. Период этого сигнала равен 10 мкс, и вы можете просто получить хорошую осциллограмму сигнала во временной области.
5. Пронаблюдайте спектр сигнала на экране осциллографа в режиме FFT.
6. Должна отображаться одна значимая гармоника.
7. Убедитесь, что это действительно так.
8. Измерьте частоту этой гармоники и убедитесь в том, что это центральная частота генератора VCO (в данном случае 100 кГц).
9. Измерьте действующее (RMS) напряжение сигнала и запишите его в таблицу 1
10. Возведите это напряжение в квадрат и также запишите его в таблицу.

Таблица 1

Немодулированная несущая, V_{RMS}	Немодулированная несущая, V_{RMS}^2

Почему возводим в квадрат действующее значение напряжения? Чтобы ответить на этот вопрос, следует вспомнить, что мы исследуем мощность FM сигнала, а анализаторы сигналов (и большинство других измерительных приборов) не могут измерять мощность. Однако, из формулы ($P = \frac{V_{RMS}^2}{R}$) следует, что мощность пропорциональна квадрату действующего значения напряжения. Это означает, что мы можем исследовать мощность FM сигнала косвенно по квадрату действующего значения напряжения сигнала, поскольку мощность пропорциональна квадрату действующего значения напряжения при любом значении сопротивления R .

11. Модифицируйте схему в соответствии с рисунком 6.

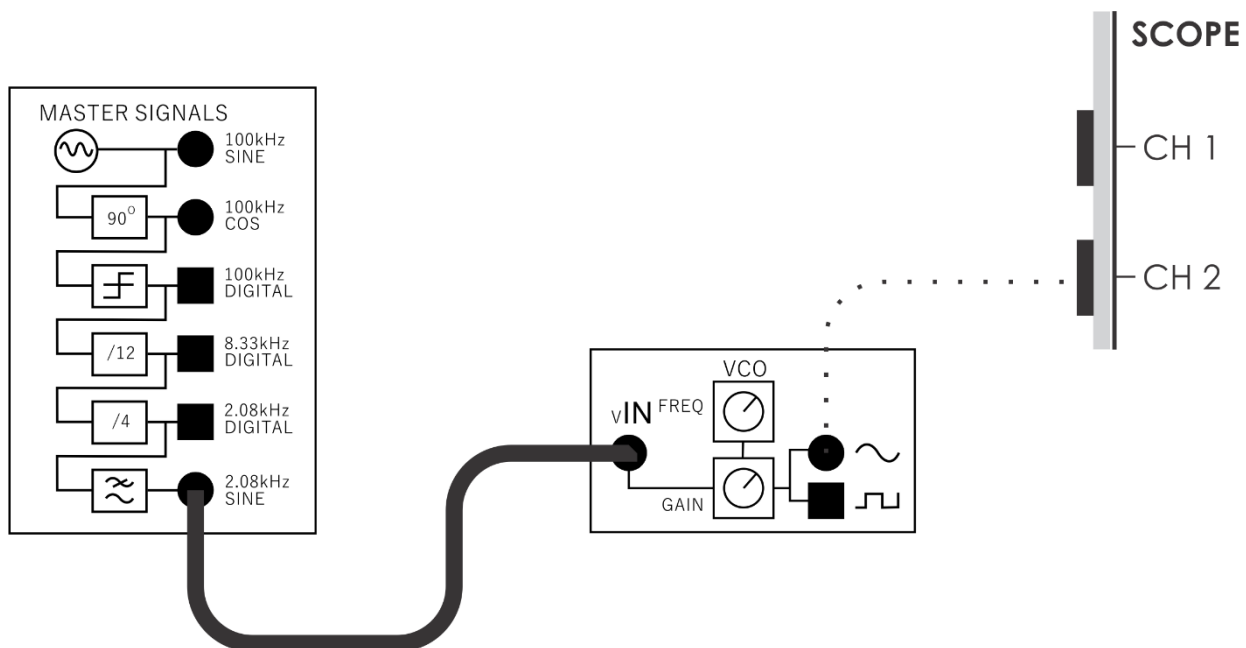


Рисунок 6: Модуляция сигнала VCO синусоидой 2,08 кГц

Теперь несущая модулируется сигналом низкого уровня. Это означает, что на экране анализатора спектра будут наблюдаться около четырех боковых полос. Поскольку уровень этих боковых полос намного меньше уровня несущей, их лучше наблюдать, установив временно логарифмический масштаб (значение опции *Units* анализатора спектра dB вместо *Linear* (линейный)).

12. Если не удастся увидеть 4 слабые боковые гармоники, верните линейный масштаб отображения спектра.
13. С помощью регулятора коэффициента преобразования *Gain* модуля VCO плавно увеличивайте глубину частотной модуляции до тех пор, пока не будут четко видимы пять боковых полос.
14. С помощью курсора определите действующие значения напряжений всех пяти гармоник наблюдаемого спектра сигнала и занесите их в таблицу 2.
15. Возведите их в квадрат.
16. Запишите возведенные в квадрат напряжения в таблицу 2.

Таблица 2

Номер гармоники	V_{RMS}	V_{RMS}^2
1		
2		
3		
4		
5		
	Сумма	

17. С помощью того же регулятора *Gain* модуля VCO увеличивайте индекс модуляции до тех пор, пока значение гармоники несущей FM сигнала **впервые не уменьшится до нуля**.
18. Повторите эти же действия для 6 гармоник и заполните таблицу 3.

Таблица 3

Номер гармоники	V_{RMS}	V_{RMS}^2
1		
2		
3		
4		
5		
6		
	Сумма	

1-1 Как соотносятся суммы гармоник в таблицах 2 и 3 между собой и со значением в таблице 1?

1-2 Что подтверждают эти измерения? Поясните ваш ответ.

1.5 Полоса частот FM сигнала

Спектр FM сигнала может состоять из большого количества боковых гармоник, мощность многих из них по сравнению с мощностью несущей может быть намного более низкой. Обычно инженерное решение оценивается по тому, как много гармоник включается в полосу частот FM сигнала. Существует несколько стандартных методик оценки, одним из общепринятых является критерий, в соответствии с которым в полосу частот входят все боковые гармоники, уровень которых равен или превышает 1% от мощности немодулированной несущей (или V_{RMS}^2). Этот критерий предполагается использовать в следующем эксперименте по определению полосы частот (ширины спектра) FM сигнала.

1. С помощью регулятора *Gain* модуля VCO настройте индекс модуляции так, чтобы были четко видны только 5 гармоник спектра FM сигнала.
2. С помощью курсора *C1* анализатора спектра найдите самую низшую гармонику FM сигнала с уровнем квадрата напряжения V_{RMS}^2 большим либо равным 1 % от значения, приведенного в таблице 1.

Примечание: Вы должны делать это путем измерения действующих значений напряжения гармоник с наименьшим уровнем и возведения их в квадрат до тех пор, пока не найдете первую гармонику, квадрат уровня которой V_{RMS}^2 больше либо равен соответствующему значению в таблице 1.

3. С помощью курсора *C2* анализатора спектра найдите самую высшую гармонику FM сигнала с уровнем квадрата напряжения V_{RMS}^2 большим либо равным 1 % от значения, приведенного в таблице 1.
4. Значение df (Hz) анализатора сигналов соответствует измеренной разности положений курсоров по частоте. Как следует из предыдущих пунктов, это значение есть полоса частот FM сигнала. Запишите ее в таблицу 4.

Таблица 4

Полоса частот FM сигнала

1-3 Вычислите полосу частот для амплитудно-модулированного сигнала, у которого несущая частота 100 кГц, а частота модулирующей синусоиды 2 кГц.

1-4 Как соотносятся полосы частот (ширина спектра) FM сигнала и AM сигнала для одних и тех же модулирующих сигналов?

1-5 Насколько разнесены друг от друга боковые частоты?

5. С помощью регулятора *Gain* модуля VCO увеличивайте индекс модуляции до тех пор, пока значение гармоники несущей FM сигнала впервые не уменьшится до нуля.

6. Повторите действия с п.2 по п.4, и запишите результаты в таблицу 5.

Таблица4

Полоса частот FM сигнала

1-6 Как связаны амплитуда сигнала сообщения и ширина спектра FM сигнала?
