1. Тема доклада: проектирование цифрового измерительного генератора, с контролем выходных напряжений и токов.
2. Обзор аналоговых методов генерации периодических сигналов.
3. Обзор цифровых методов генерации периодических сигналов.
4. Обзор методов генерации сигналов-шумов.
5. Обзор выбранного метода цифровой генерации периодических сигналов (DDS).
6. Обзор выбранного метода генерации сигналов-шумов.
7. Обзор ОС, используемой как каркас программы измерительного генератора (FreeRTOS).
8. Обзор различных методов, используемых в работе прибора.
9. Демонстрация сигналов генерируемых приборов (картинки).
10. Анализ потребления различных схем, при различных условиях.
11. Экономическая часть.
12. Охрана труда и ЧС.
13. Размышления о возможностях использования прибора на практике.

Уважаемые члены государственной экзаменационной комиссии, уважаемые гости! Вашему вниманию представляется выпускная работа на тему «Разработка цифрового измерительного генератора».

При проектировании и отладке радиотехнических систем использование устройств позволяющих моделировать реальные сигналы, которые будут присутствовать на проектируемом устройстве, является необходимым требованием. На проектируемых устройствах будут присутствовать сигналы, закон изменения которых сложен, однако они могут быть представлены сумой сигналов, изменяющихся по простым законам. Именно такие, простые, сигналы и должно выдавать разрабатываемое устройство – генератор простых сигналов различной формы.

Рассмотрим аналоговые методы генерации периодических сигналов.

Существует несколько методов генерации аналоговых сигналов, среди них: генераторы использующие RC-цепочки в избирательных цепях, генераторы использующие LC-цепочки в избирательных цепях и генераторы использующие кварцевые резонаторы в своих избирательных цепях.

Аналоговые генераторы состоят из: усилителя, избирательной цепи и цепи обратной связи. После включения генератора, на избирательной цепи, включенной в выходную цепь усилителя, появляется напряжение, спектр которого содержит большое количество гармоник, с малой амплитудой. Избирательная цепь, настроенная на определенную частоту гармоники, выделяет её, а остальные подавляет. Сигнал после этой избирательной цепи поступает, через цепь обратной связи, на вход усилителя, где выделенная составляющая усиливается и опять подается на избирательную цепь и так по кругу. Напряжение, появляющееся на входе избирательной цепи, содержит большое количество гармоник из-за хаотического движения электронов.

RC, LC и кварцевые генераторы отличаются друг о друга своими избирательными цепями. Собственно в RC генераторе это RC цепочка, в LC генераторе – LC цепочка, в кварцевом – LC цепочка, где в качестве индуктивности выступает кварцевый резонатор. RC генераторы обладают наихудшей стабильностью частоты, LC получше, а кварцевые ещё лучше.

Теперь рассмотрим такие цифровые генераторы: генераторы на основе синтеза частот и генераторы на основе прямого цифрового синтеза.

Генератор на основе синтеза частот состоит из двух генераторов: один легко перестраиваемый, но с плохой стабильностью частоты и один с хорошей стабильностью, но трудно перестраиваемый; два делителя частоты и фазовый детектор. Напряжение с генератора со стабильной частотой поступает на один из делителей частоты, затем оно поступает на вход фазового детектора, на другой вход которого поступает напряжение с выхода не стабильного генератора через другой делитель. Выходное напряжение фазового детектора, которое прямо пропорционально разности частот сигналов, поступающих на его входы, подается на управляющий элемент, управляющий перестройкой частоты не стабильного генератора. Это напряжение будет поддерживать стабильность частоты не стабильного генератора. При отклонении частоты нестабильного генератора, на выходе ФД появляется управляющее напряжение, воздействующее на управляющий элемент нестабильного генератора до исчезновения отклонения.

Генератор на основе прямого цифрового синтеза состоит из генератора ТИ, аккумулятора фазы, ПЗУ с отсчетами сигнала, ЦАПа и аналогового интерполирующего ФНЧ. На слайде можно увидеть блок-схему такого генератора, программная реализация которой используется в устройстве. Будем рассматривать случай sin. Основная идея DDS состоит в замене генерации нелинейно меняющихся значений отсчетов sin, сложных к вычислению, на генерацию линейно меняющихся значений фазы sin. Связь между линейно меняющимися значениями фазы и нелинейно меняющимися значениями функции sin осуществляется благодаря ПЗУ, хранящего значения функции sin. Аккумулятор фазы формирует адрес для ПЗУ, куда записана таблица одного периода функции sin, отсчеты с выхода ПЗУ поступают на ЦАП, который формирует на выходе синусоидальный сигнал, подвергающийся фильтрации в ФНЧ и поступающий на выход.

Аналоговый генератор шумов состоит из источника шума, широкополосного усилителя и аттенюатора. Аттенюатор позволяет контролировать уровень выходного сигнала. Наибольшее распространение в качестве источников шума получили резисторы, вакуумные и полупроводниковые диоды, фотоэлектронные умножители и газоразрядные лампы. Шум, возникающий в резисторе, обусловлен хаотическим тепловым движением электронов, которое прекращается только при абсолютном нуле. Вакуумный диод, работающий в режиме насыщения, является источником шума вследствие случайного характера процесса термоэлектронной эмиссии.

Цифровой генератор на регистре сдвига состоит собственно из регистра сдвига. В регистре сдвига выделяют две части: собственно регистр сдвига и схема вычисляющая значение вдвигаемого бита. Регистр состоит из ячеек машинного слова, в каждой из которой хранится текущее состояние одного бита. Количество ячеек L, называют длиной регистра. В ячейку 1 происходит вдвижение вычисленного бита, а из последней ячейки извлекается выдвигаемый очередной сгенерированный бит. Вычисление вдвигаемого бита обычно производится до сдвига регистра, и только после сдвига значение вычисленного бита помещается в ячейку 1.

Для генерации сигналов данное устройство использует метод прямого цифрового синтеза DDS (Direct Digital Synthesis). Данный метод реализован функцией, которая, после каждого изменения параметров генерации (амплитуда, смещение), пересчитывает модельку сигнала – четверть периода, и складывает её в ram\_buffer. Затем, периодически, переносит её в dac\_buffer, учитывая текущую частоту и четверть. Из dac\_buffer отсчеты попадут на ЦАП. Учет частоты, согласно методу DDS, представляет выборку отсчетов из ram\_buffer с шагом, зависящим от частоты. Учет четверти проиллюстрирован разноцветными стрелками на верхнем рисунке. Красный -> черный -> светло зеленый -> зеленый.

Для генерации шумов данное устройство использует программную реализацию генератора на сдвиговом регистре, алгоритм работы которого представлен на верхнем рисунке. Его программная реализация представлена ниже. Реализация генерации чисел с нормальным распределением вероятности показана внизу слайда, и представляет собой суммирование значений поучаемых на сдвиговом регистре, по центральной предельной теореме. Поскольку ЦАП 12 битный, берем 12 старших значащих бит, путем сдвига.

Исходя из поставленной задачи (необходимо: опрашивать клавиатуру, реагировать на действия пользователя, выводить информацию на экран, выдавать звуковые сигналы, генерировать сигналы, измерять параметры потребления нагрузок и записывать их на SD-карточку) было решено использовать ОС FreeRTOS для облегчения написания программы. FreeRTOS позволяет разбить задачу на несколько независимых подзадач – потоков и обеспечивает средства для их взаимодействия.

В программе использовались такие интересные, с моей точки зрения, особенности как: state-machine для опроса клавиатуры, блокировка доступа к аппаратуре таймера, ответственного за выдачу звука и циклический буфер для генерации и измерений параметров. state-machine для опроса клавиатуры позволяет реализовать такие же события как и стандартная PC-клавиатура: нажатие, отпускание, зажатие и зажатие нескольких клавиш. Для блокировки доступа к аппаратуре таймера используется мютекс, предоставленный FreeRTOS, обеспечивая корректность выдачи звуковых сигналов. На этом слайде можно увидеть принцип защиты ресурсов таймера (регистров). Есть ресурс, два потока и мютекс. Поток А пытается захватить мютекс, связанный ресурсом, это у него получается и начинает работать с ним. Поток Б, получив управление, пытается захватить мютекс, но у него не получается и он блокируется, до тех пор пока поток А не отдаст мютекс. Защита таймера необходима, поскольку возможен вариант, что поток А настроит таймер и он начнет считать, а поток Б может его перенастроить, не дав досчитать до конца.

На данном слайде показана подсистема вывода отсчетов сигналов. Имеется ПДП буфер, ранее он упоминался как dac\_buffer, по происшествию временного интервала таймер генерирует событие, которое заставляет ЦАП выставить на свои выходы значения отсчетов и сгенерировать запрос ПДП контроллеру на пересылку новой порции данных. Это позволяет одновременно и выводить отсчеты (аппаратно) и вычислять их (программно).

На этом слайде можно увидеть сигналы, которые генерирует устройство (перечислить типы).

Была рассчитана себестоимость спроектированного и изготовленного устройства. Также было вычислена точка безубыточности.

Было рассчитано общее сопротивление растеканию тока заземляющего устройства. Была построена карта ожидаемой пожарной обстановки, которая может возникнуть на территории Павловского авиационного завода в результате возгорания мазута на котельной.

**Анализ потребления различных схем, при различных условиях**