



С давних пор людей привлекают приборы для поиска **скрытых металлических предметов**. Причины этого интереса различны.

Строителей интересует расположение металлической арматуры в стенах, искатели кладов мечтают найти в развалинах старого здания кувшин с золотыми монетами, саперы разыскивают неразорвавшиеся «подарки» прошлых войн. Всех этих людей объединяет желание иметь недорогой, компактный и экономичный прибор, который поможет им обнаружить через слой земли или бетона металлические предметы и, по возможности, определить из какого металла они состоят.

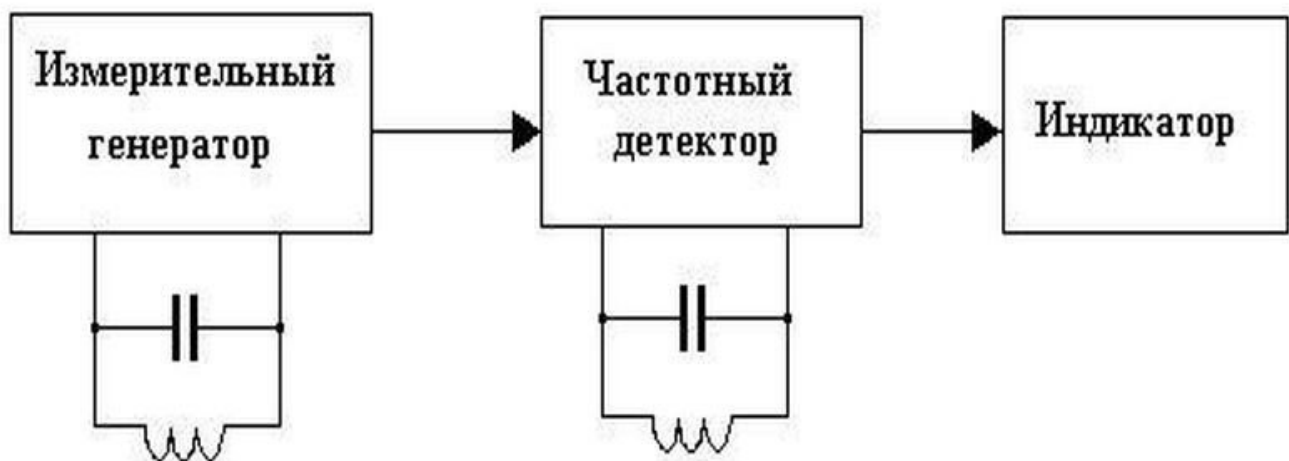
Если исключить экзотические методы, вроде лозоискательства и экстрасенсов, то абсолютное большинство таких приборов строится на базе электронных приборов, реагирующих на изменение металлическими предметами электромагнитного поля возбуждаемого поисковым прибором. Наиболее часто в качестве катушки возбуждения и одновременно датчика прибора используется рамочная катушка, состоящая из нескольких сотен витков медного провода и включенная в контур автогенератора.

В таких приборах используется тот эффект, что при приближении металлического предмета к катушке изменяется ее индуктивность и, как следствие, частота работы автогенератора. При этом, в общем случае, ферромагнитные предметы (железо, чугун) понижают частоту, а неферромагнитные (медь, золото, алюминий) повышают частоту генерации. Регистрируя величину и знак отклонения частоты, можно сделать заключение о типе металлического предмета, попавшего в зону поиска рамки.

Основные различия между большинством типов таких металлоискателей заключаются в способах регистрации изменения частоты. Далее приводится краткое описание наиболее часто используемых способов.

Частотный детектор.

Один из самых простых - это прибор, работающий по принципу "срыва резонанса" (OR - Off Resonance). Принцип действия этого прибора основан на использовании частотного детектора на основе колебательного контура. См. **рис. 1**.



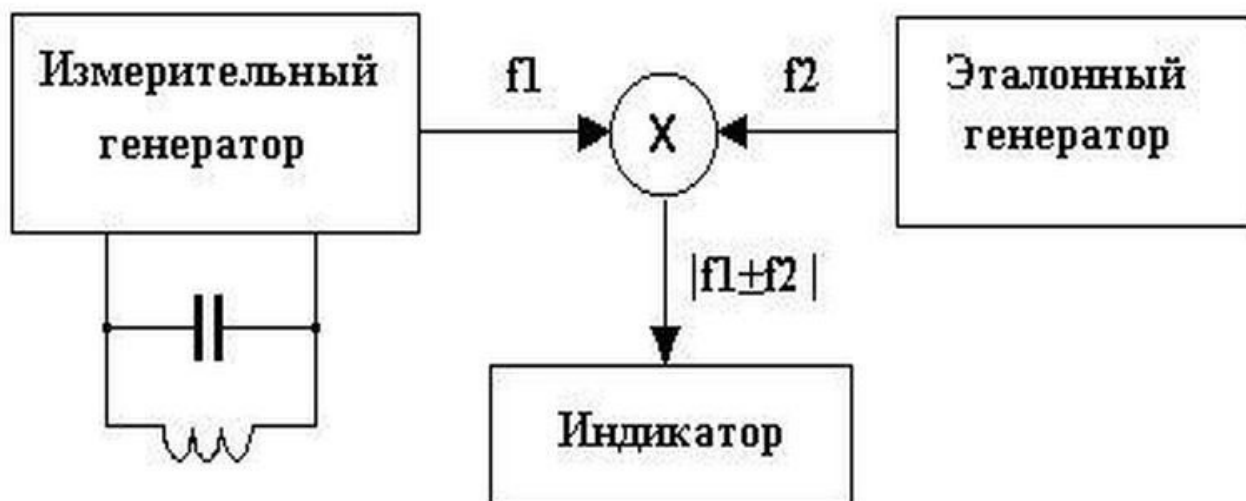
Lavandamd.ru

Рис.1. Структурная схема OR металлоискателя

Колебательный контур частотного детектора имеет резонансную частоту, близкую к частоте поискового генератора. Изменение частоты генератора приводит к изменению амплитуды сигнала на контуре, что фиксируется помощью индикатора, например стрелочного прибора. Такие приборы не нашли широкого применения. Их недостатки - необходимость обеспечения стабильной амплитуды сигнала на выходе генератора, а также необходимость подстройки резонансной частоты контура из-за влияния дестабилизирующих факторов как на контур поискового генератора, так и на контур частотного детектора.

Метод биений.

Другой прибор, - это металлоискатель на биениях (BFO - Beat Frequency Oscillation). Принцип действия такого металлоискателя основан на биениях частоты эталонного генератора и частоты поискового генератора. См **рис. 2**.



Lavandamd.ru

Рис.2. Структурная схема BFO металлоискателя

Измерительный и эталонный генераторы настраиваются на одинаковую частоту. При изменении частоты измерительного генератора на выходе смесителя появляется сигнал разностной частоты. Оператор воспринимает этот сигнал на слух или визуально – в зависимости от конструкции.

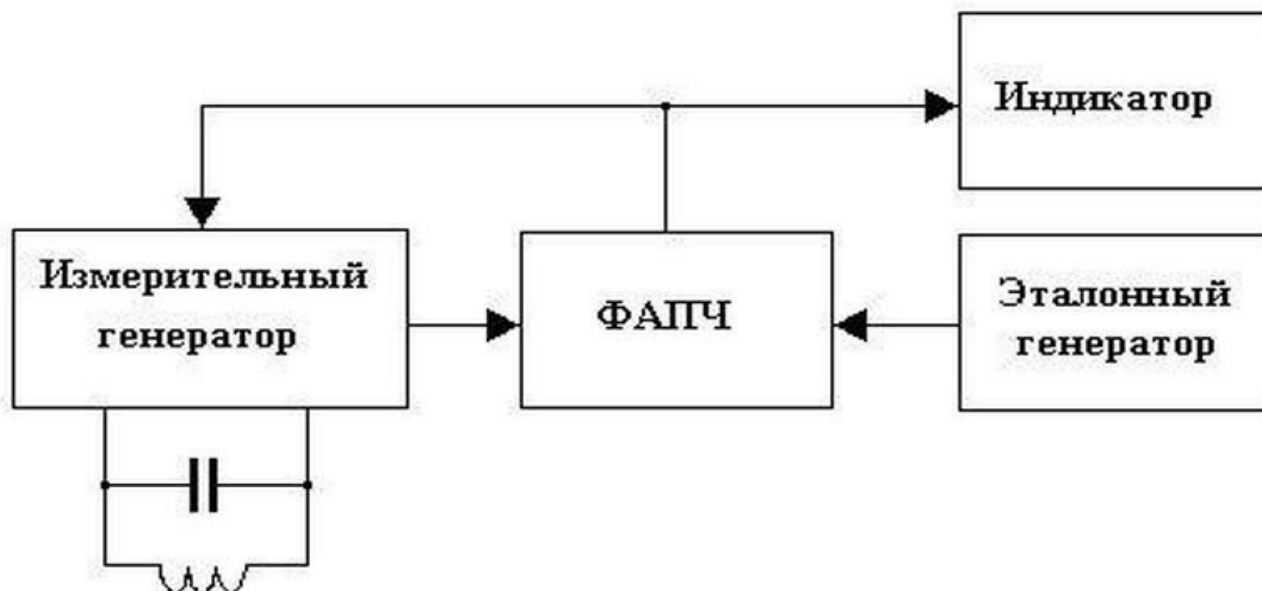
Такие приборы производятся уже несколько десятилетий. Сейчас по такому принципу строятся, в основном, недорогие металлоискатели-игрушки и любительские металлоискатели. Такие приборы имеют ряд недостатков. Первый - это наличие паразитной взаимной синхронизации обоих генераторов. Это приводит к тому, что оказывается невозможным оценить очень малую разность частот и как следствие – существенно снижается чувствительность прибора.

Второй недостаток - это отсутствие селекции по типам металлов. Ферромагнитные

объекты вызывают понижение частоты, а металлические неферромагнитные – повышение частоты измерительного генератора. Однако после смесителя в ВFO металлоискателе информация о знаке ухода частоты теряется.

Частотный детектор на основе ФАПЧ.

Следующий прибор (PLL - Phase Locked Loop) - это прибор, в котором недостаток металлоискателя на биениях используется во благо. В таком приборе оба генератора, измерительный и эталонный, работают строго на одной частоте. Причем частота измерительного генератора подстраивается под частоту эталонного генератора с помощью системы ФАПЧ. См. **рис. 3**.



lavandamd.ru

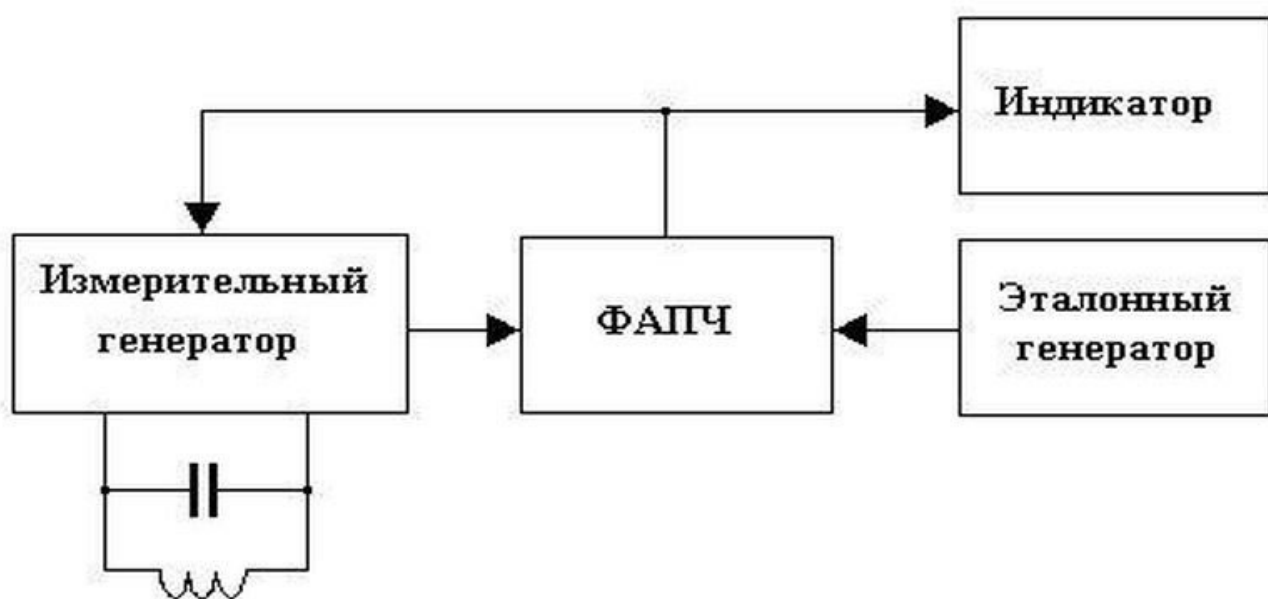
Рис.3. Структурная схема PLL металлоискателя.

Сигнал напряжения подстройки используется для определения величины и знака изменения частоты. Такие металлоискатели обладают селекцией по типам металлов. Существует несколько радиолюбительских конструкций такого типа [2]. К недостаткам таких приборов можно отнести следующее - наличие "полезной" ФАПЧ не исключает наличия паразитной взаимной синхронизации обоих генераторов, как и в приборе на биениях. Это приводит к тому, что уменьшается крутизна регулировочной характеристики, и как результат уменьшается дальность обнаружения.

Цифровой частотомер.

Идея использования цифрового частотомера для регистрации ухода частоты измерительного генератора не нова [3]. Такой металлоискатель (FM - Frequency Meter см. Рис.4.) свободен от большинства недостатков, присущих предыдущим схемам. Его принцип действия заключается в следующем:

Сначала электронный частотомер оценивает частоту измерительного генератора, когда датчик находится вдали от объектов поиска. Это значение заносится в запоминающий регистр. Затем, в процессе поиска, частотомер непрерывно измеряет текущую частоту измерительного генератора. Из полученных значений вычитается значение эталонной частоты, и результат подается на устройство индикации. Очевидно, что в такой конструкции эффект паразитной взаимной синхронизации генераторов будет выражен значительно слабее – ведь теперь частота измерительного генератора (единицы-десятки кГц) на несколько порядков ниже частоты опорного генератора (десятки МГц). С помощью частотомера можно измерить не только величину ухода частоты измерительного генератора, но и ее знак, следовательно, такой металлоискатель обладает селективностью по типам металлов.



lavandamd.ru

Рис.4. Структурная схема FM металлоискателя

Однако реализация этой идеи "в лоб", как это сделано в [3], не позволяет получить реальную чувствительность, большую чем в приборе на биениях. Это связано с тем, что невозможно напрямую в реальном масштабе времени (20...40 мс на один отсчет) регистрировать очень малые уходы частоты (единицы и доли герц). Нам удалось

решить эту проблему [4] следующим образом - из теории радиоизмерений известен метод "быстрого" измерения низких частот - т.н. метод обратного счета. В этом методе измеряется период сигнала, а частота вычисляется как его обратная величина. Оставалась только задача практической реализации.

Практическая конструкция металлоискателя

Очевидно, что если реализовывать такое устройство на элементах средней степени интеграции, то получится сравнительно сложный и громоздкий прибор, что для мобильного исполнения нежелательно. Выходом из этой ситуации стало применение микроконтроллера. На микроконтроллер оказалось возможно возложить не только задачу по измерению периода, но и практически все функции по обработке результатов – вычисление разности частот, звуковую и световую индикацию результатов измерений. Наш металлоискатель реализован на микроконтроллере AT90S2313-10PI производства фирмы Atmel.

Это 8-битный экономичный RISC микроконтроллер. Имеет на частоте 10 MHz производительность 10 MIPS. Содержит: 2 КБ флэш памяти, 128 байт EEPROM, 15 линий ввода/вывода, 32 рабочих регистра, два таймера/счетчика, сторожевой таймер, аналоговый компаратор, универсальный последовательный порт. Более подробно с семейством AVR микроконтроллеров можно ознакомиться на WWW-сайте производителя. [5].

Основные технические характеристики металлоискателя.

Напряжение питания 5,5-20 В

Потребляемый ток 15 мА

Индикация световая - 7 светодиодов и звуковая

Режимы поиска статический и динамический

Дискриминация ферромагнетики/неферромагнетики

Глубина обнаружения (на воздухе):

Монета диаметром 25 мм 11 см

"Пистолет" 17 см

"Каска" 37 см

Нех-код прошивки контроллера металлоискателя.

Принципиальная схема

Принципиальная схема металлоискателя по принципу частотомера изображена **рис.5**.



Данные о состоянии окружающей среды в 2019 году. В 2019 году в области не было выявлено загрязнений, связанных с деятельностью предприятий, осуществляющих добычу полезных ископаемых.





~~Рис. 9. Бюджетная плата~~

~~1. Введение. Цель работы. Задачи работы. Оборудование. Методика работы. Результаты работы. Заключение. Литература.~~