

## Часть 2. Резонансный кольцевой датчик

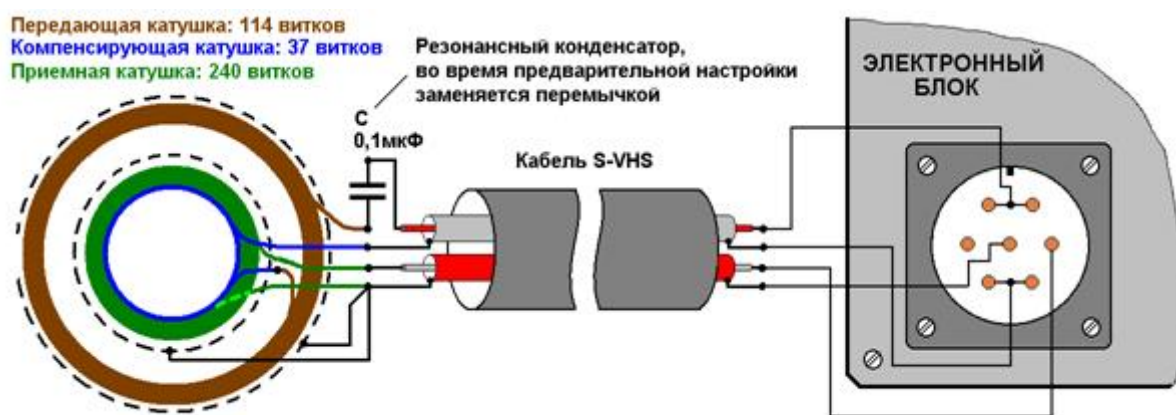
Многие производители металлодетекторов комплектуют свои приборы резонансными датчиками. Основная причина такого выбора заключается в том, что с помощью резонанса в передающей катушке можно "малой кровью" получить более выгодные энергетические показатели по сравнению с нерезонансными датчиками. Например, с помощью параллельного резонансного контура можно заметно уменьшить потребление выходного каскада, а с помощью последовательного резонансного контура можно увеличить напряженность поля катушки и, как следствие, - глубину обнаружения. Справедливости ради следует заметить, что нерезонансные датчики тоже могут быть "энергосберегающими". В нашей [статье](#) мы ранее уже показывали, что система, использующая рекуперацию, эквивалентна по энергетике параллельному колебательному контуру. Однако при низковольтном питании выходного каскада более актуально не энергосбережение, а увеличение тока, протекающего через излучающую катушку. В этой статье мы рассмотрим изготовление и настройку 200-мм датчика для Кощей-20М, использующего последовательный резонанс.

Конструкция этого датчика, в общем-то, очень похожа на конструкцию нерезонансного датчика, описанного в предыдущей [статье](#). Отличия будут заключаться лишь в намоточных данных катушек, использовании контурного конденсатора и еще некоторых нюансах. Для целостности описания некоторые моменты из предыдущей статьи мы повторим и здесь, а в некоторых случаях будем отсылать к вышеупомянутой статье. Поэтому настоятельно советуем с ней ознакомиться. Здесь мы также не будем показывать некоторые фотографии промежуточных этапов, т.к. они практически идентичны фотографиям для нерезонансного датчика.

Итак, вначале нам потребуется намотать катушки. Передающая катушка наматывается проводом диаметром 0.38мм на оправке диаметром 173мм и шириной 6мм. Эта катушка должна содержать 114 витков. Компенсирующая катушка наматывается таким же проводом на оправке диаметром 74мм и шириной 6мм. Она содержит 37 витков. Эту обмотку нужно намотать аккуратно виток к витку. Поверх нее наматывается приемная катушка проводом диаметром 0.23мм. Она содержит 240 витков. При намотке этой катушки, как и в случае нерезонансного датчика, нужно также соблюсти тонкость - начальные витки должны как можно скорее скрыть под собой компенсирующую катушку.

Сначала берем заливочную форму и укладываем в радиальные "спицы" углублений полоски из стеклоткани или обычной ткани (для армирования). Сверху укладываем наши катушки. Перед укладкой узелки стягивающих нитей разворачиваем таким образом, чтобы они оказались снизу. Это приподнимет катушки и позволит смоле легко затечь под них.

Далее подключаем катушки к кабелю согласно схеме. Особое внимание следует уделить фазировке катушек при подпайке кабеля. Передающая и компенсирующая катушки должны быть включены встречно. Для удобства восприятия на схеме условно показаны начала и концы всех катушек в виде выводов, выходящих из катушек в определенном направлении. Именно так и нужно ориентировать и распаивать концы "настоящих катушек". Важный нюанс - на этом этапе для предварительной настройки мы включаем датчик без контурного конденсатора. Т.е. он временно превращается в нерезонансный датчик!



Выводы катушек фиксируем с помощью небольшой цилиндрика из пластилина. Входы проводов обмоток в цилиндр должны при этом располагаться на уровне горизонтальной поверхности пластика blisterной формы, а выходы в сторону распайки кабеля - выше уровня заливки эпоксидной смолы. Теперь приступаем к предварительной балансировке датчика. Сначала в пункте меню "Параметры" устанавливаем "Усиление" равным 8 и запоминаем его, нажав ВВОД. Далее, располагаем датчик подальше от металлических предметов и включаем сервисный режим "Калибровка тракта".

Итак, подключаем датчик к прибору, включаем его, с помощью описанных в предыдущей [статье](#) манипуляций делаем доступным пункт меню "Калибровка тракта" и входим в него, выбрав для редактирования профиль №1. Первым делом с помощью кнопок навигации изменяем значение рабочей частоты. Пусть это будет 7.01кГц. Далее выставляем амплитуду электронной компенсации равной нулю. Ее фаза на данном этапе значения не имеет. Фазу выходного сигнала выставляем в пределах 260-280 градусов, амплитуду выходного сигнала уменьшаем до нуля. Далее начинаем плавно повышать амплитуду выходного сигнала, и следим за поведением шкал X и Y.

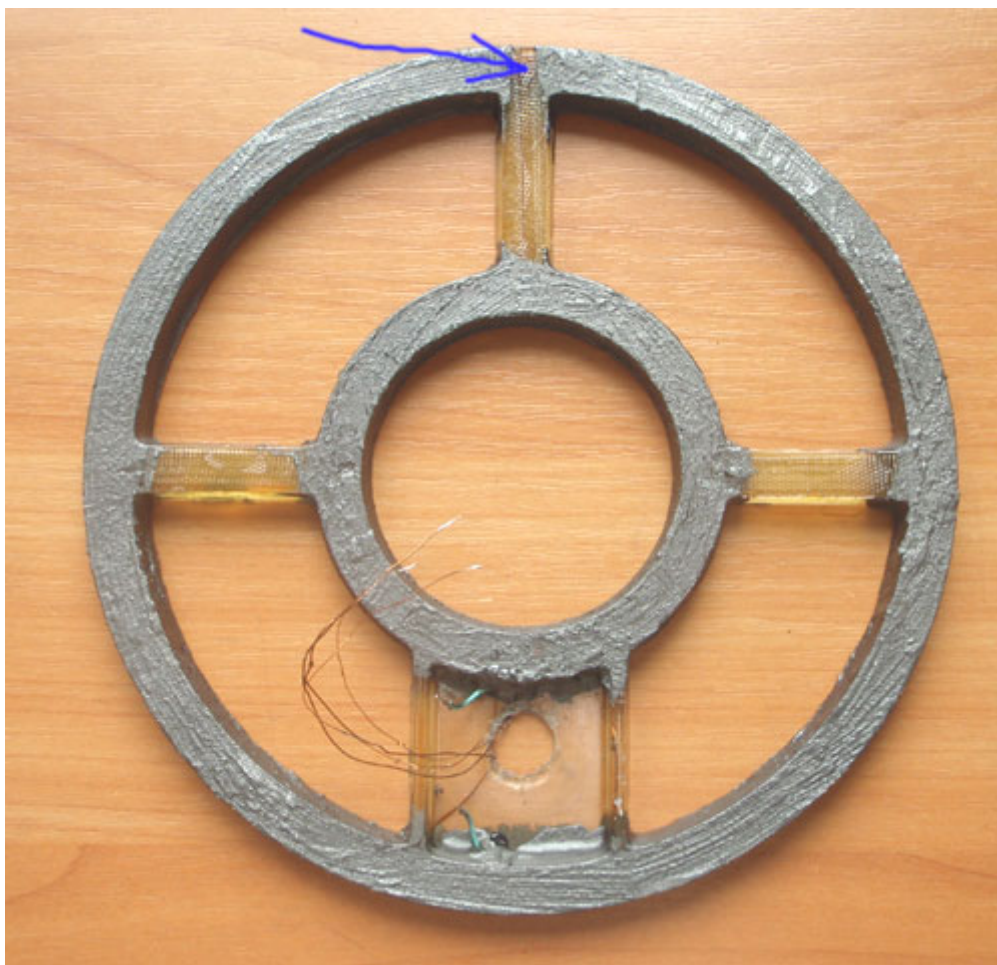
Намоточные данные катушек подобраны таким образом, чтобы вначале компенсирующая катушка создавала небольшую избыточную компенсацию. В этом случае шкалы X и Y отклоняются вправо. А при попытке слегка

приподнять малую катушку над формой, эта картина только усугубляется. Т.е. шкалы при этом не должны переходить влево через ноль. Если же у вас при подъеме все-таки показания шкал переходят через ноль, значит, из-за погрешностей в диаметрах провода или оправок получилась небольшая недокомпенсация. В этом случае нужно аккуратно добавить (допаять и протиснуть сквозь стягивающие нити) один и несколько витков в компенсирующую катушку до достижения баланса или небольшой перекомпенсации.

Рассмотрим способ устранения этой небольшой перекомпенсации. Для этого нам нужно немного удалить компенсирующую катушку от приемной. Делаем это с помощью деревянной зубочистки - внедряем ее под витки компенсирующей катушки и слегка отгибаем их к центру. При этом следим за показаниями, стремясь получить нулевой баланс по обоим шкалам X и Y.

Т.к. провод компенсирующей катушки достаточно жесткий, отогнутые витки не нуждаются в дополнительной фиксации. Следя за показаниями шкал, отгибаем необходимое число витков. Если для баланса не хватает витков одного сектора между нитяными утяжками, переходим к другому сектору. Добившись близких к нулю показаний при определенной амплитуде выходного сигнала, повышаем ее и при необходимости корректируем положение витков. Итак, конкретно для этого датчика на частоте 7кГц амплитуду выходного сигнала следует повышать до значения 70. Ток выходного каскада при этом составит около 10мА. В отличие от датчика, описанного в предыдущей [статье](#), здесь нужно добиваться разбаланса не хуже +5%. Дело в том, что последующее подключение контурного конденсатора увеличит этот разбаланс в десятки раз. После достижения указанных результатов предварительную балансировку можно считать завершенной. Чтобы запомнить уже настроенные параметры, нажимаем кнопку ВВОД. На экране появится надпись, требующая подтверждения. Снова нажимаем ВВОД. Далее выключаем прибор, отпаиваем кабель и приступаем к заливке катушек эпоксидной смолой. Этот процесс абсолютно ничем не отличается от описанного [ранее](#), поэтому подробности опускаем.

Следующий этап - это покрытие корпуса датчика токопроводящим лаком. В данной конструкции экранируется не корпус датчика, а непосредственно залитые катушки. С помощью кисти вначале покрываем лаком "малое кольцо". Не забываем установить вывод заземления - небольшой отрезок многожильного изолированного провода, один конец которого нужно зачистить и "распустить", а потом смазать проводящим лаком. Для удобства этот проводник можно предварительно зафиксировать с помощью капли термоклея. Далее таким же образом экранируем "большое кольцо" с аналогичным выводом заземления экрана. В этом заключается отличие от конструкции, описанной в предыдущей статье ([ссылка](#)). Еще пара важных нюансов, на которые следует обратить особое внимание. "Спицы" (радиальные участки отливки) ни в коем случае экранировать нельзя! Это создаст паразитные контуры тока, которые существенно уменьшат добротность резонансного контура. По этой же причине экран передающей катушки должен содержать разрыв шириной около 5мм. Для этого перед экранированием в месте, указанном на фото стрелкой, на датчик наклеивается кусочек изоленты, который удаляется позже. На малом кольце делать разрыв в экране не нужно.



После нанесения лака датчик необходимо просушить в течение нескольких часов, а затем проверить качество экрана.

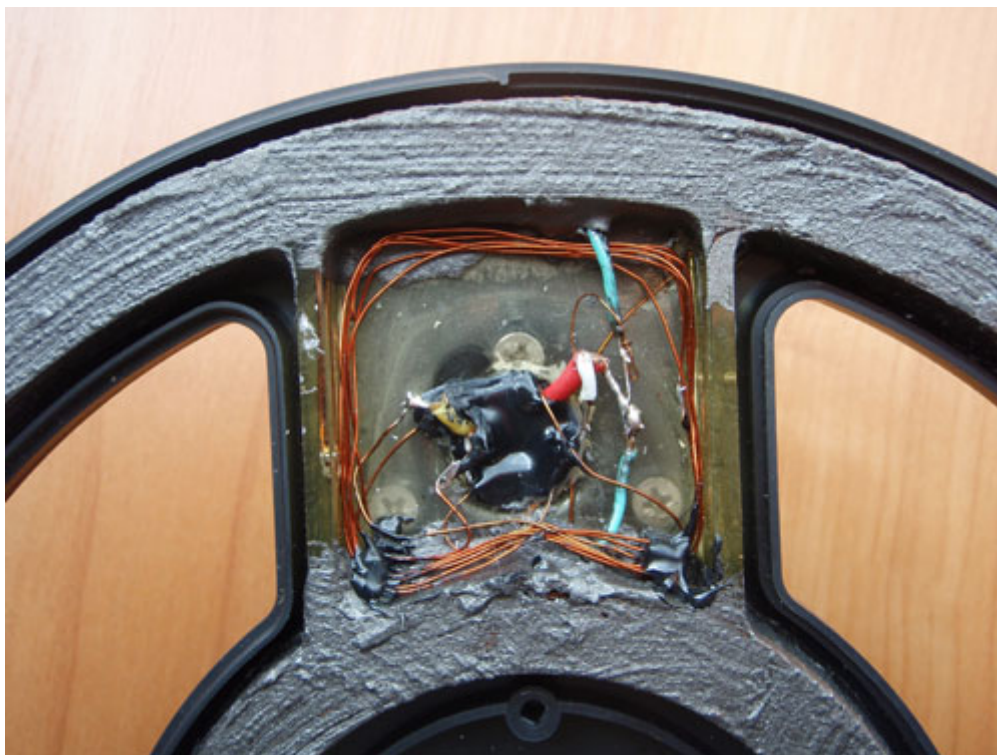
Далее приступаем к размещению датчика внутри корпуса. Процесс аналогичен описанному [здесь](#), поэтому

подробности опускаем.

Затем подпаиваем концы катушек к кабелю согласно схеме, которая была приведена выше (опять без контурного конденсатора).

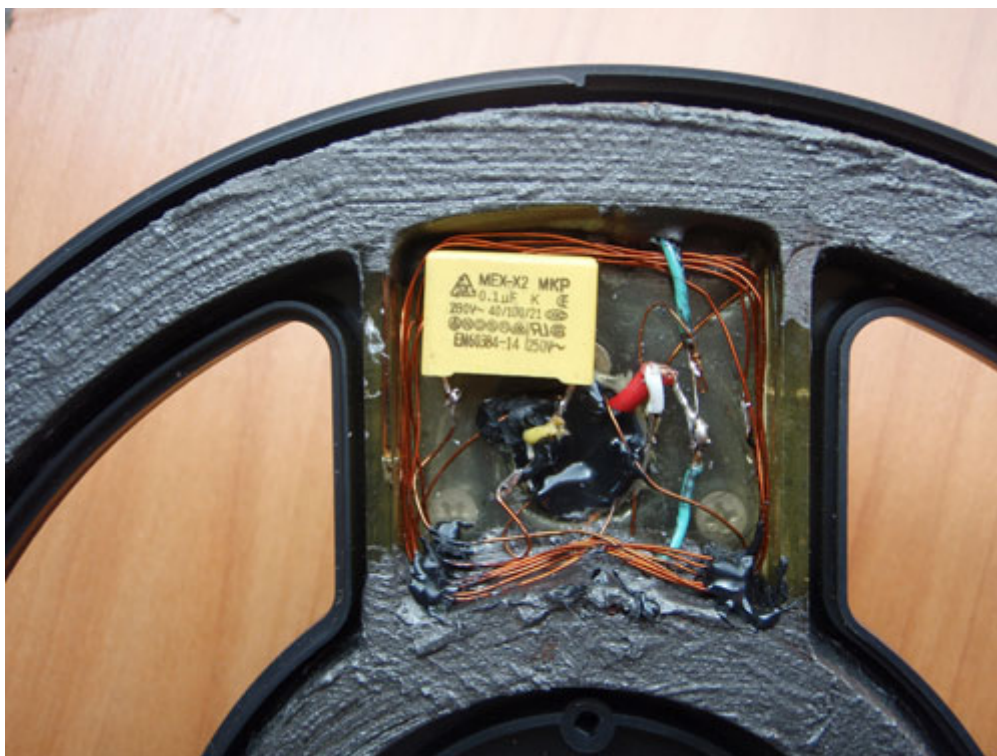
Подключаем датчик к прибору, входим в режим "Калибровка тракта" для профиля №1 и проверяем баланс. Теперь нам нужно будет уделить особое внимание выводам из более толстого провода, которые подпаиваются к кабелю. Положение этих выводов существенно влияет на баланс! Поэтому их нужно уложить оптимальным образом. Наибольшую чувствительность к балансировке эти выводы имеют при укладке рядом с приемной катушкой. Направление укладки также имеет значение. От него зависит в какую сторону мы движемся - перекомпенсации или недокомпенсации. Следим за показаниями шкал и укладываем выводы таким образом, чтобы баланс по обоим шкалам стремился к нулю. Наша задача на данном этапе по шкалам X и Y получить как можно меньший разбаланс, в идеале близкий к нулю.

Отдельно следует остановиться на случае, когда балансировка с помощью имеющихся "хвостов" не получается. В этом случае один из выводов следует нарастить таким же проводом и уложить его по периметру внутри "ванночки". Такая петля провода играет роль вспомогательной компенсирующей обмотки. Направление укладки определяем по показаниям шкал. В случае сильного разбаланса может потребоваться несколько таких витков. Таким способом можно "лечить" и перекомпенсацию, и недокомпенсацию. Уложенные витки желательно закрепить парой капель термоклея. Вертикальную подстроечную петельку, как в датчиках для Кошья-18М, оставлять не нужно. Теперь с подстройкой справится электронная компенсация.

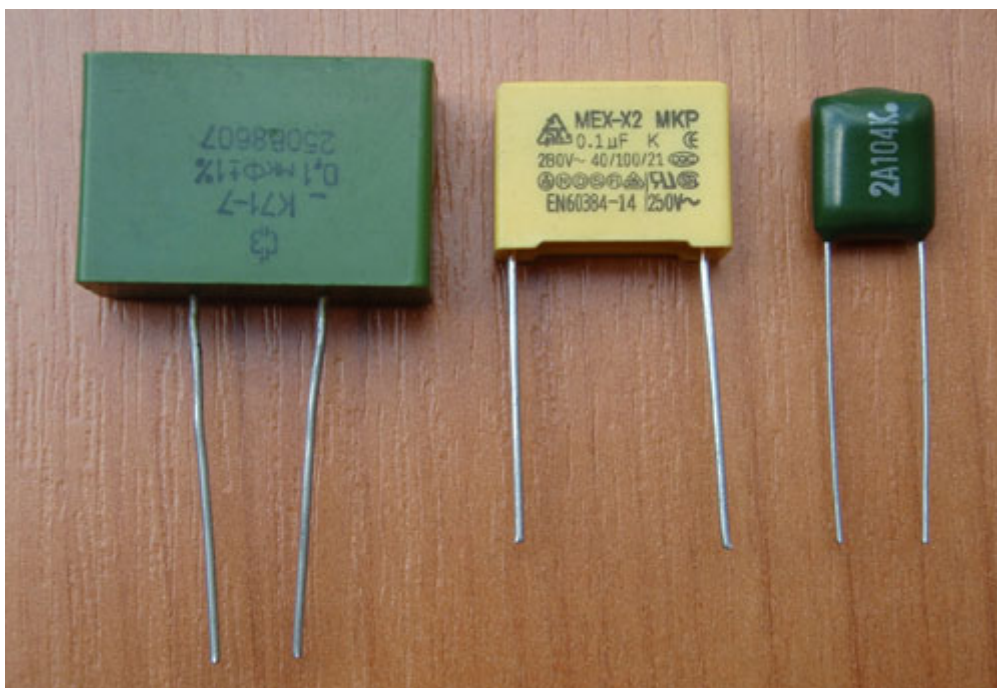


А теперь, наконец, пришла пора превратить наш датчик в резонансный. Для этого выключаем прибор и последовательно с передающей катушкой включаем конденсатор согласно схеме. При этом физически этот контурный конденсатор должен также располагаться в "ванночке" датчика.





На этом конденсаторе остановимся более подробно. Это должен быть термостабильный пленочный конденсатор номиналом 0.1мкф с рабочим напряжением не менее 100В. Из более-менее доступных наилучшие результаты дают полистирольные конденсаторы, например К71-7. Чуть похуже помехоподавляющие полипропиленовые конденсаторы серии МКР-X2. На самый крайний случай пойдут полиэтилентерефталатные конденсаторы. Например, типа К73-17 или CL11.



Теперь снова включаем прибор и входим в режим калибровки тракта. Прежде всего, нам нужно подстроить резонансную частоту. Для приведенных намоточных данных катушек и конденсатора емкостью 0.1мкФ резонансная частота датчика должна получаться в районе 7кГц. Чтобы найти ее точное значение, устанавливаем амплитуду выходного сигнала, равной 70. Затем начинаем плавно изменять частоту примерно от 6 до 8кГц, и следим за током выходного каскада. Та частота, на которой этот ток будет иметь максимальное значение и будет резонансной. Величина тока выходного каскада при этом должна получиться в пределах 85-100мА. Далее возвращаемся к подстройке баланса. Из-за того, что ток в передающей катушке на резонансе возрос примерно в 20-40 раз, то и разбаланс вырастет примерно во столько же. И показания шкал Х и Y скорее всего у нас опять находятся в глубоком насыщении. Поэтому тонкую балансировку нам опять придется повторить заново по описанному ранее алгоритму. Для этого снижаем амплитуду выходного сигнала до тех пор, пока показания шкал Х и Y не выйдут из насыщения. После этого будет полезно провести предварительную фазовую калибровку с помощью феррита. Дело в том, что после такой калибровки механическая балансировка будет влиять в основном на шкалу Y. Это несколько облегчает балансировку. Подробности этой процедуры опять читаем в предыдущей [статье](#). Здесь лишь следует обратить внимание на тот факт, что значение фазы TX для правильно

откалиброванного экземпляра резонансного датчика может варьироваться в достаточно широких пределах. Поэтому мы его не приводим. Это связано с дискретностью перестройки рабочей частоты прибора и небольшим отличием ее от истинной резонансной частоты конкретного датчика.

Затем начинаем укладывать концы провода в "ванночку" до достижения баланса. Обращаем ваше внимание на то, что теперь влияние изгибов провода на баланс также вырастет в десятки раз! Добившись близких к нулю показаний при определенной амплитуде выходного сигнала, повышаем ее и при необходимости корректируем положение витков. Нам нужно добиться, чтобы разбаланс был не хуже +80% при амплитуде выходного сигнала равной 70. Ток выходного каскада при этом будет 85-100мА. Добившись таких значений, запоминаем все настройки профиля.

Далее размещаем датчик строго горизонтально и аккуратно заливаем "ванночку" эпоксидной смолой.



В случае, когда для балансировки нам потребовалась дополнительная многовитковая петля (как на фото выше), ее также желательно заэкранировать для устранения возможного емкостного эффекта при приближении датчика к грунту. Поэтому после застывания смолы покрываем токопроводящим лаком и заливаем "ванночку". При этом экраны большого и малого колец должны быть разделены разрывом в пару миллиметров для избежания образования замкнутого контура (экраны должны соединяться только в одной точке проводниками). Такой разрыв легко сделать проклеив тонкую полоску изоленты перед нанесением лака, а затем удалив ее.



После высыхания лака еще раз проверяем баланс и, если нужно, корректируем его с помощью электронной компенсации, как это было описано [здесь](#). После чего к датчику можно приклеивать нижнюю крышку. Внешне такой датчик ничем не будет отличаться от описанного ранее нерезонансного датчика. Поэтому, если у вас есть

оба этих датчика, имеет смысл их как-то пометить :-)

Теперь настало время выполнить окончательную фазовую калибровку тракта с помощью феррита. Значение фазового сдвига полностью собранного датчика может немного отличаться от значений, полученных на предварительном этапе. После этой калибровки датчик готов к работе.

### **Выводы**

Проверив глубину обнаружения, убеждаемся, что она заметно больше, чем у соизмеримого нерезонансного датчика при примерно том же энергопотреблении. Например, 5 копеек СССР теперь обнаруживаются с расстояния около 36см (по воздуху).

Из недостатков можно выделить такие моменты:

- такой датчик может работать только на одной частоте;
- заметно более хлопотный процесс настройки;