

О диаметре провода передатчика

Мне часто доводилось слышать вот такое мнение: "У меня нет провода 0.4, которым рекомендуется мотать катушку передатчика. Зато много провода 0.3. Намотаю им, ничего страшного". Я неоднократно обращал внимание на то, что предпочтительнее мотать резонансные катушки передатчиков более толстым проводом, если нет такого, какой указан автором. Но мое мнение чаще всего не принимается во внимание.

Давайте на практике проверим, как влияет диаметр провода, которым намотана катушка передатчика с параллельным резонансом. Для этого изготовим два совершенно одинаковых датчика, но в одном катушку передатчика наматываем в два провода. Типа такой литцендрат применили.

| | | | |
|-----------------------------|---------|---|-------------|
| Число витков передатчика | 31 | | |
| Диаметр провода передатчика | 0.41 мм | и | 2 x 0.41 мм |
| Число витков приемника | 350 | | |
| Диаметр провода приемника | 0.16 | | |

Датчик настроен на 13 кГц при резонансных емкостях: для передатчика 270 нф, для приемника 6.8 нф. Для частоты 7 кГц параллельно емкости передатчика подключается конденсатор 680 нф, приемника - 8.2 нф.

Настроим датчики. Для этого подключим их к стенду и запитаем передатчик от 8 В, как в ПМД. Установим максимально возможный импульсный ток I_d через катушку передатчика и измерим средний ток потребления I_b датчика от батареи. Вот что получилось.

| Частота, кГц | I_d , мА | I_b , мА | Utr, В | Катушка передатчика |
|--------------|------------|------------|--------|---------------------|
| 7 | 570 | 43 | 14 | 0.41 мм |
| 7 | 640 | 29 | 16 | 2 x 0.41 мм |

Как видно из таблицы, датчик, намотанный в один провод, менее эффективен и потребляет от батареи большую мощность. И это значительные потери, около 48% по отношению ко второму датчику. При этом ток в контуре у первого датчика меньше на 11%, чем у второго. В итоге чувствительность первого датчика будет значительно меньше.

Принципиально не буду приводить формулы для расчета резонансных контуров. Я пользуюсь старым справочником Кронегера, еще со школьных лет. Кому интересно - найдите, посмотрите, посчитайте и убедитесь, что активное сопротивление контура играет огромное значение. Вывод: мотайте датчики толстым проводом.

О резонансных датчиках с контуром накачки

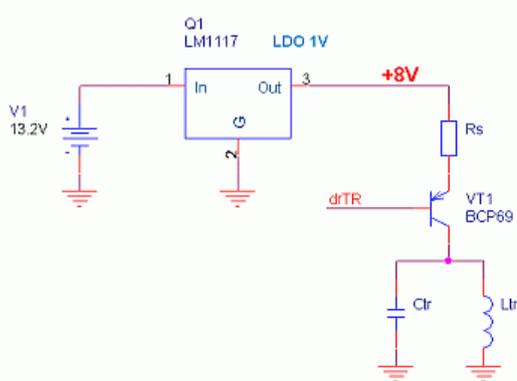
Последнее время стали применять датчики, которые имеют контур с параллельным резонансом для накачки передатчика, имеющего последовательный резонансный контур. Меня заинтересовали возможности такого передатчика, тем более что МД, где я его встречал, работают довольно неплохо. Я решил проверить, что можно "выжать" из такого передатчика и какова его эффективность по сравнению с типовым.

Напомню, что для меня типовой датчик имеет вот такие параметры. Число витков передатчика - 31, намотан в два провода $\varnothing 0.41$ мм. Число витков катушки связи - 11, намотана проводом $\varnothing 0.41$ мм. Число витков приемника - 350, провод $\varnothing 0.15$ мм. Питание передатчика от +8 В.

Результаты испытаний приведены в таблице ниже. Здесь: I_d - импульсный ток в катушке передатчика, I_b - ток потребления от батареи, I_s - размах синусоиды на выходе передатчика, U_{tr} и C_{tr} и C_{rc} - резонансные конденсаторы передатчика и приемника.

| Частота, кГц | I_d , мА | I_b , мА | I_s , мА | U_{tr} , В | C_{tr} , мкф | C_{rc} , нф |
|--------------|------------|------------|------------|--------------|----------------|---------------|
| 13 | 380 | 14 | | 16 | 0.27 | 6.8 |
| 7 | 640 | 29 | | 15.5 | 0.27+0.68 | 6.8+6.8 |

Для датчика с контуром накачки пришлось изменить витки передатчика, так как в нем применена катушка с последовательным резонансным контуром. Он имеет такие параметры. Число витков передатчика - 48, провод $\varnothing 0.41$ мм. Число витков катушки связи - 16, провод $\varnothing 0.41$ мм. Число витков приемника - 350, провод $\varnothing 0.15$ мм. Индуктивность дросселя L_p 2.2 мГн. Датчики исследовались на стенде, первый при питании 8 В, второй при питании 5 В. Схема включения приведена на рисунке ниже.



Стандартная схема

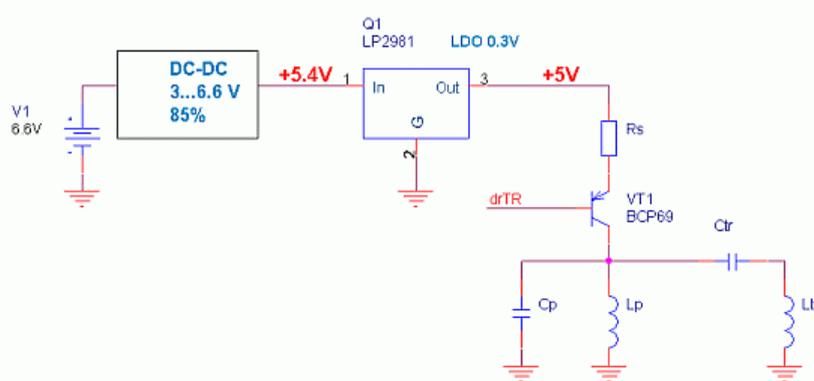


Схема с контуром накачки

Эксперимент состоял из подбора резонансных емкостей для контура накачки и контура передатчика. Я применил вот такой ряд емкостей конденсаторов: 220 нф, 330 нф, 470 нф, 680 нф, 1 мкф, 1.5 мкф. Для каждого конденсатора в контуре накачки из этого ряда проверялись все значения емкостей конденсаторов, из этого же ряда. Результаты заносились в таблицу. Таблица получилась большой, 30 строк. В результате я оставил две наиболее приемлемых по эффективности строки. Их можно видеть в таблице ниже.

| Частота, кГц | I_d , мА | I_b , мА | I_s , мА | U_{tr} , В | C_p , мкф | C_{tr} , мкф | C_{rc} , нф |
|--------------|------------|------------|------------|--------------|-------------|----------------|---------------|
| 13 | 260 | 28 | 28 | 25 | 0.47 | 0.22 | 5.6 |
| 7 | 480 | 137 | 62 | 22 | 1.0+0.47 | 0.22+0.47 | 5.6+15 |

К сожалению, при таком числе витков передатчика не удалось получить ток в контуре, хотя бы примерно такой же, как в типовом датчике. Но сравнить можно. Хотя уже сейчас возникло предположение, что этот метод включения подходит для высоких частот передатчика. Так, Fisher F70 работает на частоте 13 кГц, Troy Shadow - на частоте 17 кГц.

Попытаемся вывести некий коэффициент, показывающий эффективность передатчика. Например, для частоты 7 кГц.

Стандартная схема.

При максимальном заряде батарей будут самые большие потери, поэтому расчеты произведем для напряжения батареи 13.2 В.

| | |
|---------------------|---|
| Общая мощность: | $P_o = V_1 * I_b = 13.2 * 29 = 383 \text{ мВА}$ |
| Мощность потерь: | $P_p = (V_1 - 8) * I_b = (13.2 - 8) * 29 = 151 \text{ мВА}$ |
| К.п.д | $n = (P_o - P_p) : P_o = (383 - 151) : 383 = 61\%$ |
| Мощность в датчике: | $P_d = U_{tr} * I_d * n = 15.5 * 640 = 9920 \text{ мВА}$ |
| Эффективность: | $\Xi = (P_d : P_o) * n = (9920 : 383) * 0.61 = 16$ |

Схема с контуром накачки.

Самые большие потери будут при минимальном заряде батарей, поэтому расчеты произведем для напряжения батареи 3 В. При этом КПД преобразователя 80%, ток от батареи 137 мА.

| | |
|---------------------|--|
| Общая мощность: | $P_o = V_1 * I_{dc} = 3 * 137 = 411 \text{ мВА}$ |
| Мощность потерь: | $P_p = P_o - 5 * I_s = 411 - 5 * 62 = 101 \text{ мВА}$ |
| К.п.д | $n = (P_o - P_p) : P_o = (411 - 101) : 411 = 75\%$ |
| Мощность в датчике: | $P_d = U_{tr} * I_d = 22 * 480 = 10560 \text{ мВА}$ |
| Эффективность: | $(P_d : P_o) * n = (10560 : 411) * 0.75 = 19$ |

Знаете, сам не ожидал... Получилось, что схема с накачкой эффективнее традиционной. Надо проверить этот датчик и эту схему на "живом" металлодетекторе. Что-то гложут меня сомнения, правильна ли методика расчетов. И будет ли нормальная чувствительность...

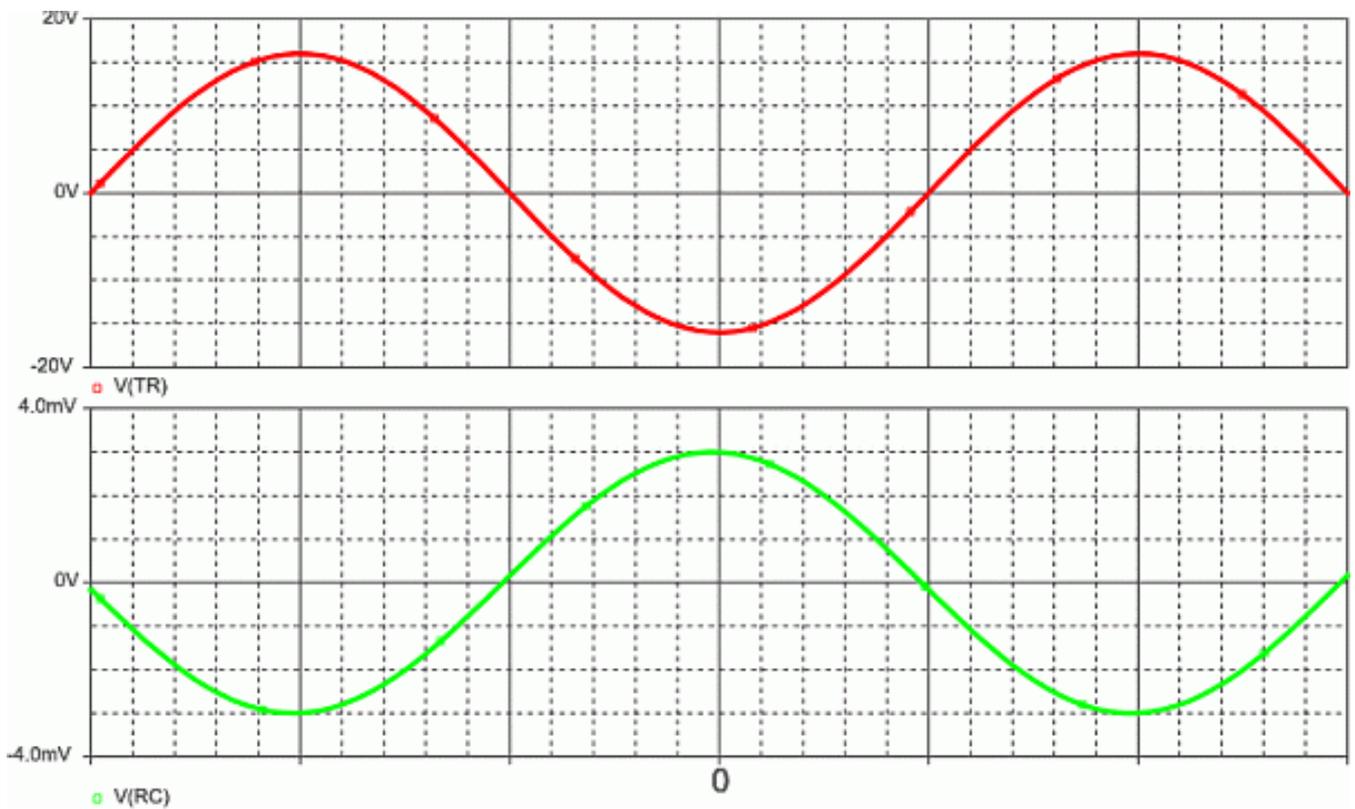
Есть, правда, маленькая ложка дегтя. Это повышенный ток потребления от батареи. Применяв аккумуляторы емкостью 2100 мА•ч, получим $2100 : 137 = 15$ часов непрерывной работы. Для традиционной схемы время работы $2100 : 60 = 35$ часов. Если учесть, что аккумулятор Варта на 2100 мА•ч стоит 42 грн, то экономия составит 168 грн. Тоже неплохо, хотя выбирать Вам...

[О настройке резонанса приемной катушки](#)

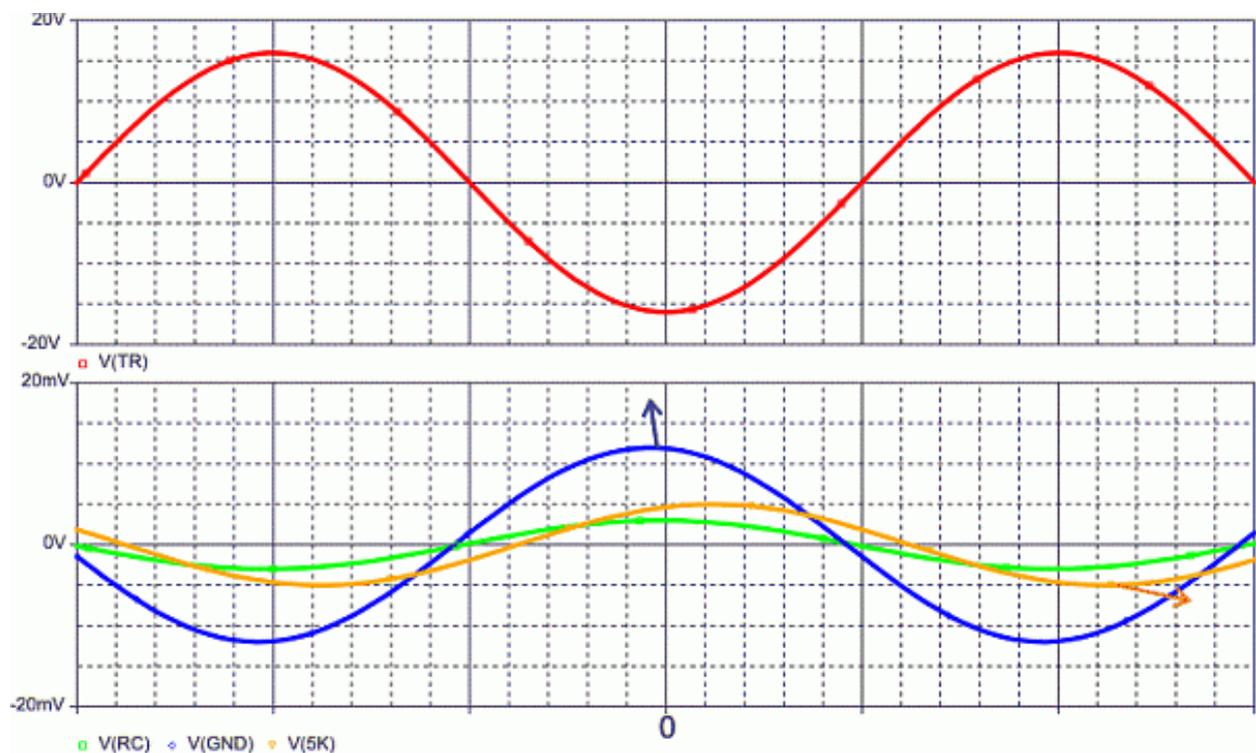
Очень часто приходится читать в описании МД фразы типа "...резонанс катушки приемника ниже по частоте на xxx Гц относительно резонанса передатчика". Или что-то подобное, но суть в том, что если передатчик настроен в резонанс на частоту 6.5 кГц, то приемник может быть настроен на 4.5 кГц.

Зачем это делают? Да просто, чтобы избежать значительных фазовых сдвигов при нагреве - охлаждении датчика. Амплитуда сигнала тоже меняется значительно меньше, чем в датчиках с "настоящим" резонансом. Это когда совпадают резонансные частоты приемника и передатчика.

Я в свое время провел пару экспериментов. Это было, когда я осваивал датчик "Кольцо" (примерно в 2001 году?). Я сделал датчик, настроил в резонанс катушку передатчика и затем, по аналогии с Blue Max 950, подобрал резонансный конденсатор приемника до совпадения с фазой передатчика. Получилось примерно вот такая диаграмма.



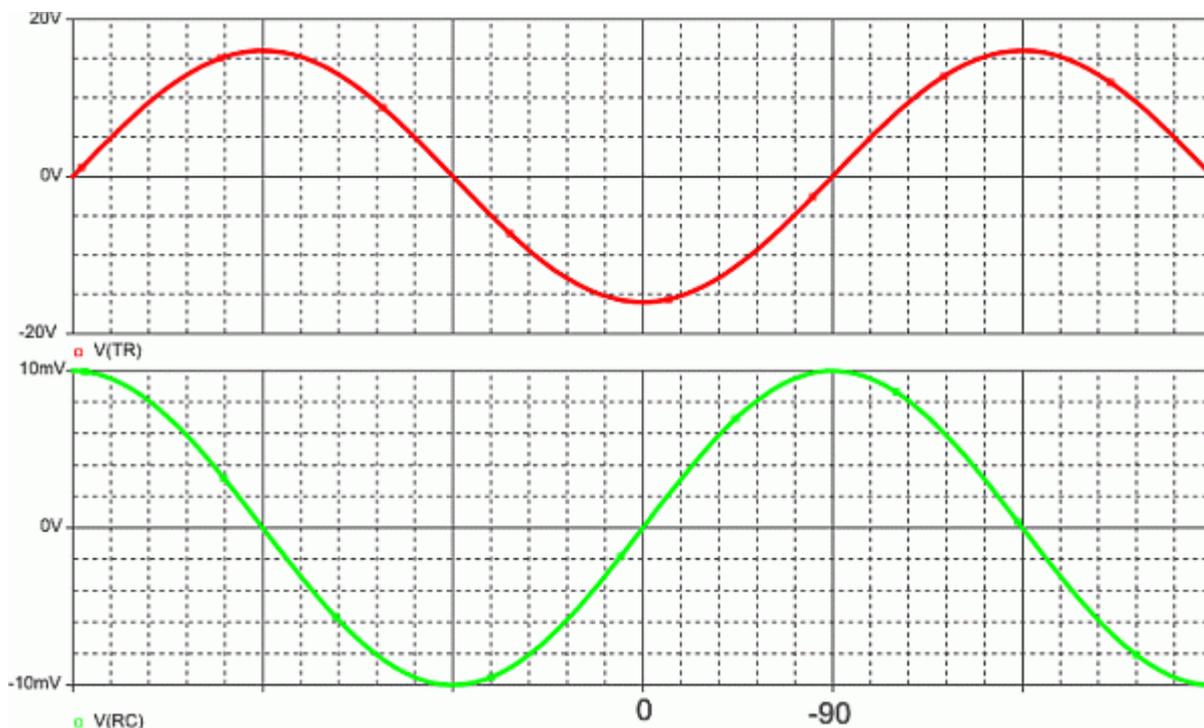
Фаза сигнала приемника почти совпадает с фазой сигнала передатчика. Напряжение на катушке передатчика 16 В, приемника 3 мВ или меньше. Затем я испытал датчик тестовыми предметами. Результаты на рисунке ниже. И чувствительность, и фазовые сдвиги соответствовали результатам испытаний Blue Max 950 (я их нашел в какой-то статье).



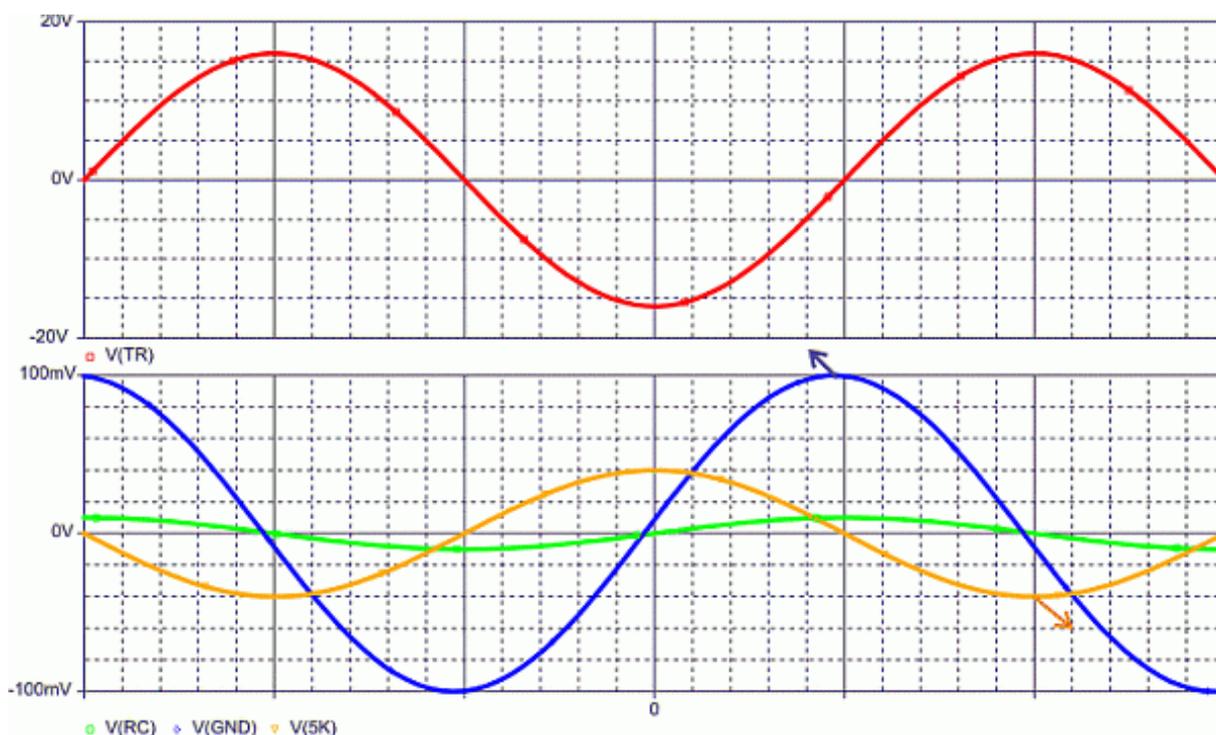
Синяя диаграмма - это почва, оранжевая - это пятак. При такой характеристике датчика дискриминатор работает правильно.

Все это прекрасно укладывается в схему White's 6000, например. Там именно канал X имеет схему автобаланса - при нагреве - охлаждении датчика изменение амплитуды сигнала приемника на порядок выше изменения фазы. От этого никуда не уйти, и, если усиление по DC велико или есть канал G (там сигналы X и Y складываются) - наличие автобаланса обязательно.

Но меня не оставляло чувство, что здесь что-то не так. Уж очень слабой была реакция датчика на железки. Должен сказать, что до этого я безуспешно делал конструкции, где катушки приемника и передатчика имели одинаковую частоту резонанса. Выглядело это вот так.



Напряжение на контуре передатчика 16 В, на контуре приемника 10 мВ. Это больше, чем у Blue Max, но и чувствительность такого датчика была намного выше. На рисунке ниже показана реакция датчика с "настоящим" резонансом.



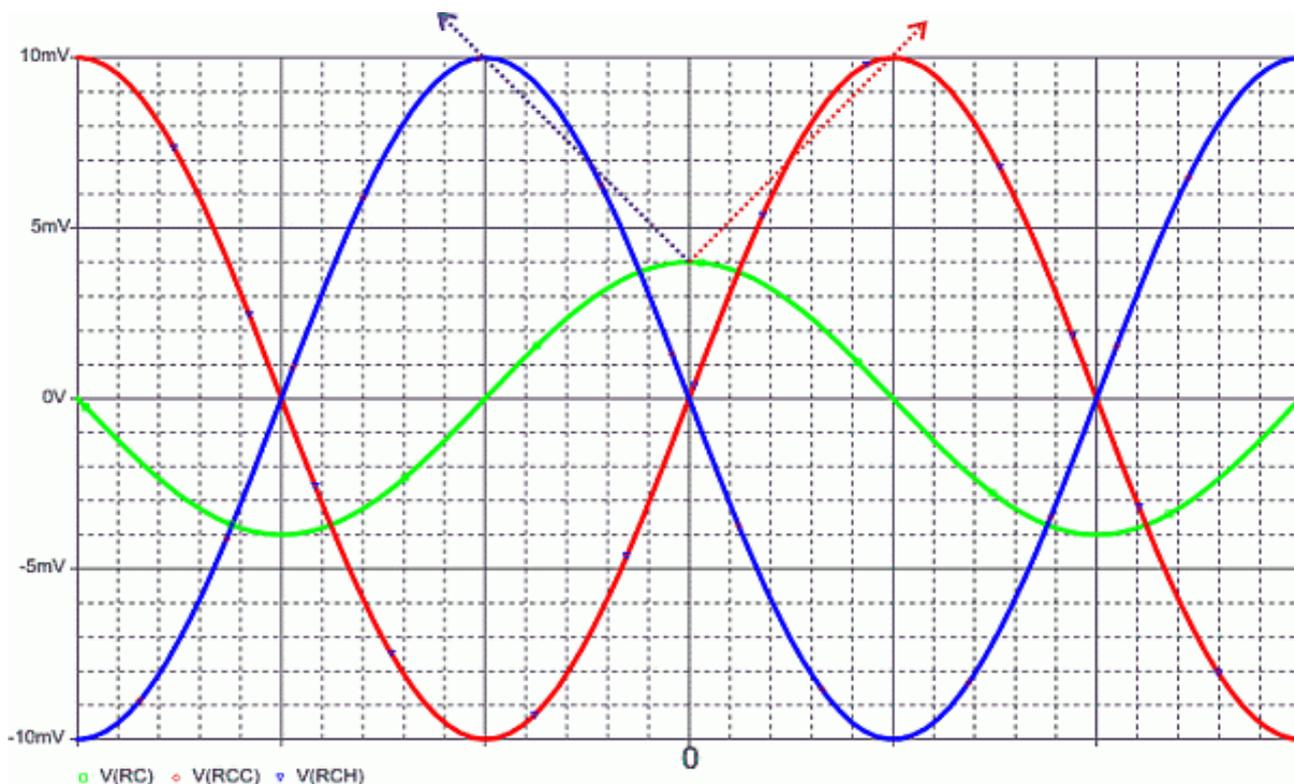
Видно, что реакция датчика примерно в 4-6 раз выше, чем у копии фирменного. Сигналы сдвинуты на 90°, так что я тогда поменял местами drX и drY. Синяя диаграмма - это почва, оранжевая - это пятак. Вроде все хорошо.

Но МД с таким датчиком не работал. На столе все было прекрасно, однако стоило мне выйти во двор, на жаркое солнце, как все "расползлось". Очень быстро нагрев датчика приводил к перегрузке усилителей синхронных детекторов и чувствительность падала до нуля. В то время я искренне считал, что чем выше усиление синхронных детекторов, тем лучше.

Каково же было мое удивление, когда, подключив Blue Max собственной разработки к плате, я очень долго, на том же солнце, находил во дворе кочегарки ржавые гвозди и масляные болты. Я тогда для лаборатории арендовал комнатку в старой кочегарке. Платил натурой, ремонтируя разный хлам в соседней, действующей. Но всякому кайфу приходит конец, прибор к обеду "отрубился". Я подумал немного, уменьшил усиление СД и поднял усиление фильтра. Прибор заработал хорошо, если чувствительность 15-18 см на пятак можно считать хорошим результатом. Но тогда и это было шагом вперед. Правда, на своем датчике с "настоящим" резонансом я получал до 22-25 см на тот же пятак. Кстати, тогда у меня был старенький С1-76, одноканальный, и я пользовался каналом синхронизации в полный рост, превращая его в псевдо - двухканальный. В качестве первого канала, от которого синхронизировал сигнал, я использовал нарисованную на экране фломастером осциллограмму (как правило, передатчика) - просто обводил сигнал. Затем тыкал щупом в другую точку и зарисовывал на листике "два канала" :-)

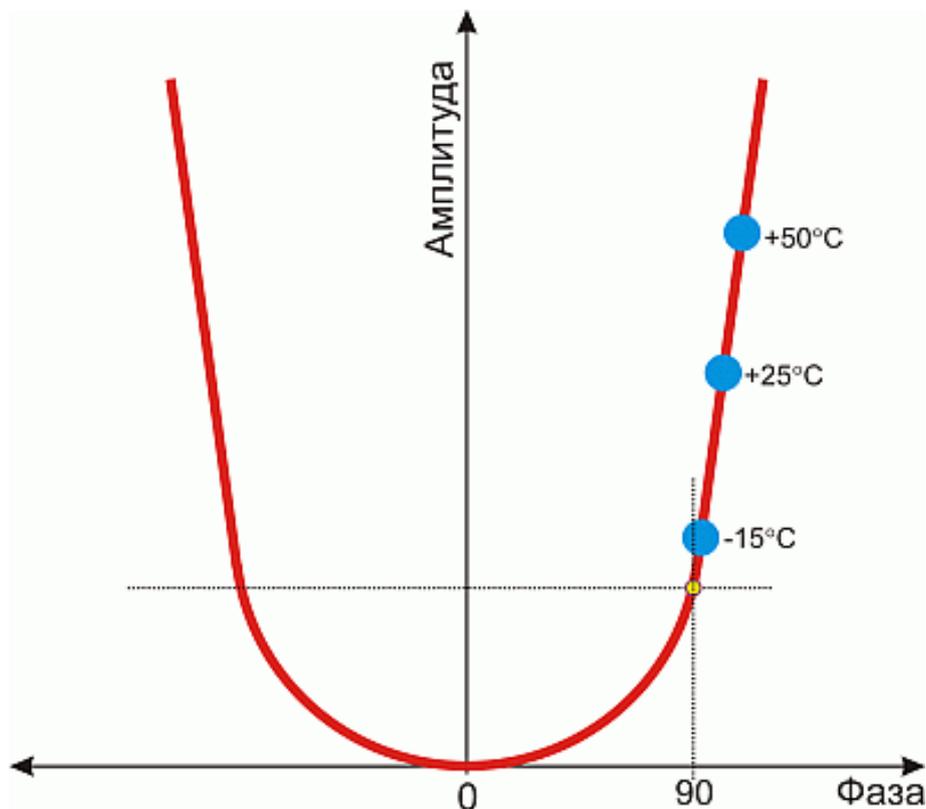
Но именно тогда я уяснил, в чем дело и провел первые эксперименты по нагреву - охлаждению датчиков. В кочегарке был старый холодильник, он охлаждал примерно до -5°C , и это в морозилке. На подоконнике датчик разогревался до $+60^{\circ}\text{C}$, по термометру. Юг, однако...

Итак, вот диаграммы охлаждения датчиков до -5°C и нагрева до $+50^{\circ}\text{C}$.



Я в начале работ с металлодетекторами наивно считал, что настраивать датчики надо по минимуму напряжения на катушке приемника. Но посмотрите, что выходит: при охлаждении сигнал (синяя диаграмма) "едет" влево, одновременно увеличивается его амплитуда. При нагреве он смещается вправо (красная диаграмма), опять же амплитуда увеличивается. Для вашей катушки может быть наоборот - при охлаждении сигнал смещается вправо, при нагревании влево. Сути это не меняет, амплитуда увеличивается.

Я бился на датчиками, наверное, год - пока до меня не дошло, что, если начертить зависимость фазы и амплитуды, то получится примерно вот такая картинка.



Видно, что немного, раза в два увеличив начальную амплитуду сигнала, можно добиться небольшого и примерно линейного изменения фазы. Осталось найти точку, лежащую на линейном участке характеристики, которая соответствовала бы $+25^{\circ}\text{C}$ - примерно при этой температуре я делаю датчики. Точками синего цвета показано примерное расположение рабочей температуры датчика на линейном участке. Глядя на эти диаграммы, я решил сделать металлодетектор с "настоящим" резонансным датчиком. Жалко было терять такое усиление из-за какого то градусника :-)

Мне это удалось, датчики имеют повышенную отдачу, а изменение фазы почти линейно - это прекрасно алгоритмизируется и код процессора получается простой. Но заняло всё это не один год...

[О кабеле и разъеме](#)

Второй важнейший элемент металлодетектора. Если кто-то забыл - первым является датчик. Он должен иметь достаточно жесткую конструкцию, чтобы не срабатывать при ударах о камни и разную траву. До глубин 30 см я применял четырехпроводный экранированный кабель белорусского производства, и все было нормально. Потом я увеличил отдачу датчика, поднял усиление прибора и начались неприятности. Разумеется, если датчик неподвижен, то все в порядке - чувствительность от 33-35 см, при работающих компьютере и телевизоре. Казалось бы, такая подсказка понятна и дураку. Но нет, я опять думал о схеме, алгоритме распознавания, помехах от почвы и так далее. И вообще, если есть возможность совершить, например, десять ошибок, то я не ограничусь пятью. Я совершу не менее девяти. И через год попытаюсь сделать их опять, на том же месте...

Выглядело это следующим образом. При маховом движении датчиком прибор не реагировал на монетку, лежащую на поверхности земли. А если видел, то не всегда, и чаще всего в конце маха... Я думаю, что в конце маха изгибается штанга - датчик обладает некоторой массой, штанга гибкостью, - вот эта конструкция и гнется. А кабель-то намотан на штангу...

В результате кабель растягивается, возникают помехи, начинаются произвольные срабатывания. Позже, когда я разобрался в сути происходящего, то понял и причины того, что прибор срабатывает не каждый раз на мах, а так, что есть махи с ложными срабатываниями, а есть без них. На самом деле, помехи есть каждый мах. Но помехи эти имеют "блуждающую" фазу, и частенько она попадает в область, которая близка к VDI почвы. Мой прибор просто игнорирует такие помехи, да еще и пытается уменьшить их длительность. Я понял это не сразу, а как только понял - то отключил в анализаторе сигнала обработку почвы и увидел помехи практически в каждом махе...

В общем, я долго ковырялся со схемой, но наконец понял, что помехи идут от кабеля. Дело в том, что любой кабель обладает некоторой жесткостью и гибкостью:-) И если это не так, то это уже и не кабель, а шина(ы). Твердость и гибкость кабеля можно определить только практически - например, хорошенько помяв его пальцами и изгибая в разные стороны. Чувствительность при этом нужно установить на максимум, при котором нет срабатываний от помех. Если прибор молчит, кабель хороший.

Но здесь есть маленький нюанс. Я наскочил именно на него, и не сразу понял, как проверять кабели. Это разъем. Он тоже не должен вызывать реакцию прибора - ни при касании (для этого корпус разъема заземляют), ни при шевелении (для этого его закручивают накидной гайкой). И эти гады (и кабель, и разъем) дают такие помехи, что не понять, от чего пищит прибор... Как всегда, я потратил не один месяц, пока не разработал методику оценки кабелей и разъемов. Суть методики проста: сначала надо выбрать "молчащий" кабель, потом разъем.

Для проверки кабеля его провода запаиваем прямо на плату прибора. Отключаем дискриминатор ("Все металлы"). Устанавливаем ручку GEB (если она есть) в такое положение, когда прибор реагирует на феррит (подавление почвы минимально). Затем устанавливаем максимально возможную чувствительность - на один шаг меньше той, при которой есть редкие самопроизвольные срабатывания. Затем мнем и крутим кабель. Без фанатизма, но и не слабо. Если есть срабатывания, то он годится только для мусорки. Выкидываем, покупаем другой кабель и все повторяем... пока не найдем подходящий. Запоминаем, где и у кого купили. Хотя последнее и не обязательно - при следующей покупке кабель, если даже и выглядит (и стоит) так же, как в прошлый раз, - может быть другого производителя и вызывать помехи... Я на такое нарываюсь регулярно. У меня лежит бухта кабеля, купленного на следующий день после проверки. И он с помехами. Просто для проверки его отрезали от начатой бухты, я купил целую. Бирки одинаковые, кабель разный...

Теперь можно выбрать разъем. Они бывают старые советские и китайские:-) И те, и другие бывают хорошие (чаще старые советские) и плохие. Советские бывают плохими из-за разболтанности и окисления. Разболтанные я не покупаю, окисленные контакты лечу "Контактолом" и резинкой. Потом работают без проблем - контакты часто посеребряные, можно сказать - вечные.

С китайским сложнее. Они блестят, но при этом контактные поверхности могут быть с плохим контактом или даже окисляющимися и "искрящими" (несовместимость металлов). Бывает и так, что покрытие нанесено на неподготовленный штырь разъема, и через пару месяцев оно слезает "чулком". Сталкивался пару раз с таким, очень трудно понять, в чем дело.

Самый правильный выход - выкинуть проблемный разъем и поставить новый. В общем это все, осталось показать картинки с нормальными кабелями и разъемами. Или хотя бы описать их.

Кабель.

Лучше, если жилы приемника и передатчика имеют свои, не связанные друг с другом экраны. Для передатчика обязательно два провода и экран. По экрану не должен течь ток. Такой кабель есть... но купить можно ДиДжиКеем, оттуда. Ни в России, ни в Украине я такого не встречал. Только в фирменных приборах.

Если такого нет - покупаем двужильную аудио-"лапшу" и пускаем возвратный ток передатчика по экрану... Это не правильно, но другого выхода нет, разве что изготовить кабель самостоятельно. Иногда я так и делаю. Беру по полтора метра двужильного аудио кабеля в силиконовой изоляции, одножильный для приемника и веревку из пластика (сотни жил, не свитую) такого же диаметра, как для приемника, и термоусадку. В паз "лапши" укладываю кабель приемника, с другой стороны веревку и натягиваю термоусадку. Усаживаю ее феном. Затем еще слой термоусадки, может и два. Веревка загибается и "бандажится" с обеих концов - при натяжении она примет разрывное усилие на себя. Вид, конечно, похуже "фирменного", но работает и дает до 40-45 см глубинности:-) На обычном кабеле не получить...Если делать лень - подбирайте разные, пока не получится...

Разъем.

Я обычно использую микрофонные, они еще на паяльных станциях применяются:-) Китайские. Я беру те, у которых штыри "папы" имеют продольный разрез - при потере контакта, а такое случается исключительно в поле, за 100 км от дома, - их можно разжать ножом или отверткой и продолжить поиск. Маму в поле чистил спичками, смочив их в водке. Она должна быть всегда при себе у любого поисковика и рыбака:-)

Примечание.

Все рисунки и диаграммы показывают относительные зависимости параметров и могут отличаться по величине от полученных в конкретный момент и на конкретном датчике. Я также не придавал значения полярности сигнала приемника - для меня она не имеет никакого значения.

Применительно к датчикам это значит, что если у Вас получился датчик с сигналом на выходе приемной катушки 150 мВ, да еще сдвинутым по фазе на 137° , то на самом деле это хорошо. Его можно использовать с таким же успехом, как и фирменный от White's, например.

Я сделал, наверно, несколько десятков датчиков, и все они получались немного разные. И каждый раз требовалась подстройка МД, а иногда и кардинальное изменение программы. Иначе датчики не работали, как надо. Потом мне это, наконец, надоело. Я и раньше чувствовал, что самое кардинальное решение - это не подгонять параметры схемы под датчик (например, вводя "подтягивающие" или компенсирующие резисторы и конденсаторы), а каждый раз делать датчик с одинаковыми выходными параметрами. Легко сказать, да трудно сделать. Я ведь не фирма или завод, у меня что ни день, так что-то заканчивается. То провод, то пластик, то кабель. Значит, надо покупать новые материалы. Приходишь в магазин, а провода 0.56 нет. Есть только 0.41 и 0.76. Или кабель перестали возить. И так по несколько раз в год...

Кроме того, и технология изготовления совершенствуется (или я так думаю, но меняется точно). И вот настала пора подумать, как же быть дальше. Пораскинув мозгами, я решил, что надежнее и правильнее всего компенсировать недочеты в изготовлении датчика, подавая прямо на его обмотки компенсирующий сигнал. Этот метод самый лучший, он дает возможность получить на входе первого каскада усиления минимальный по амплитуде сигнал.

Сначала я подключил переменный резистор к компенсирующей катушке датчика Кольцо. Получилось. Я мог компенсировать сигнал по фазе в достаточных пределах во всем диапазоне температур. Но с амплитудой обстояло, как ни странно, сложнее. Пришлось вводить еще один резистор для регулирования компенсирующего сигнала. Все заработало.

В качестве резисторов использовались и полевые транзисторы, и цифровые резисторы. Но у этой схемы были два, а сначала я видел только один, недостаток.

Первый, и самый главный, заключался в том, что в таком МД можно было применить только датчики Кольцо, да еще определенным образом настроенные. И при переключении частоты часто не хватало диапазона регулирования.

Затем выяснилось, что схема не обеспечивает перекрытия подстройки во всем диапазоне температур, а это от -15° до $+60^{\circ}$. При таких температурах ищут, не сомневайтесь. $+60^{\circ}$ - до такой температуры разогревается датчик под прямыми солнечными лучами. Не часто, но такое возможно. -15° - вот так ищут в Беларуси, да и у нас в(на) Украине, под снегом. И ничего, находят.

Тогда я решил, что правильнее ввести компенсирующий сигнал, который имел бы одинаковую амплитуду с выходным сигналом приемника и был бы парафазен ему (сдвинут на 180° по фазе). Подавать его следует прямо на входной контакт катушки приемника, только тогда можно обеспечить максимальный динамический диапазон.

Оставался совершенно неясным вопрос, а как же будет выглядеть результирующий сигнал и какие помехи внесет компенсирующий. И начались эксперименты...

Начались они с моделирования, естественно. Так как я мог получить от МК только меандр, то я моделировал и собирал множество схем. Затем испытывал их на реальном приборе. Это был довольно утомительный процесс, но я выяснил, что важна не столько форма компенсирующего сигнала, сколько подавление исходного меандра, который "пролазит" на выход схемы компенсации. Я пробовал применять в качестве компенсирующего сигналы треугольной и синусоидальной форм. Для формирования синусоиды я применял как дополнительные интеграторы для треугольника, так и формировал ее с помощью переходов биполярных и полевых транзисторов и диодов. Венцом экспериментов явилось использование такой же схемы, как и в передатчике, но с регулируемым выходным напряжением. И выяснилось, что на чувствительность и определение VDI все это влияет весьма незначительно. Даже треугольник дает вполне нормальный сигнал, а применение дополнительной интегрирующей цепочки успокоило нервы и "причесало" результирующий сигнал. Где-то в середине экспериментов мне попался патент (причем нашел я его в своей базе), который описывал метод компенсации, частично похожий на примененный мной. Напомню, происходило это не сейчас, а несколько лет тому назад. Но только сейчас схема достигла приемлемого совершенства :-)

Вот как выглядит процесс баланса. Вы видите сигнал на выходе приемного усилителя, коэффициент усиления 100. Компенсирующий сигнал - треугольник. Но что то я удалился от датчиков. Итак, со схемой компенсации я определился. Она подходит для любых датчиков, даже для однокатушечных. Это не шутка, я экспериментировал с однокатушечным пинпойнтером. Размах на катушке передатчика не более 4 В, при этом чувствительность была на уровне 6-11 см :-)

К этому времени я достаточное число раз просмотрел патенты и до меня уже дошло, что рассматривая связку датчик - синхронный детектор, мы имеем типовые сигналы. То есть они одинаковые для всех МД и обеспечивают правильную дискриминацию предметов и определение VDI. Ясно, что это несколько натянутый вывод, ибо я увидел на самом деле два подхода, апологетами которых были фирмы Вайтс и Гарретт. У них сигналы несколько разные, зависят они от сдвига фаз управляющих синхронными детекторами сигналов, но суть неизменна. Там все дело в относительном сдвиге фазы drX и drY . У Вайтс они сдвинуты на 90° , у Гарретов (ранних!) сдвиг около 60° . Это позволило МД фирмы Гаррет сдвинуть реакцию на фольгу в область черных металлов. Я принял методику Вайтс.

За это время число изготовленных датчиков уж точно перевалило за сотню. А длина испорченного провода такова, что её вполне хватило бы для прямой телефонной связи с Киевом :-)