

[Индукционный обогрев дома](#)

[Трансформатор Тесла](#)

[Съем энергии](#)

[Радинтная энергия](#)

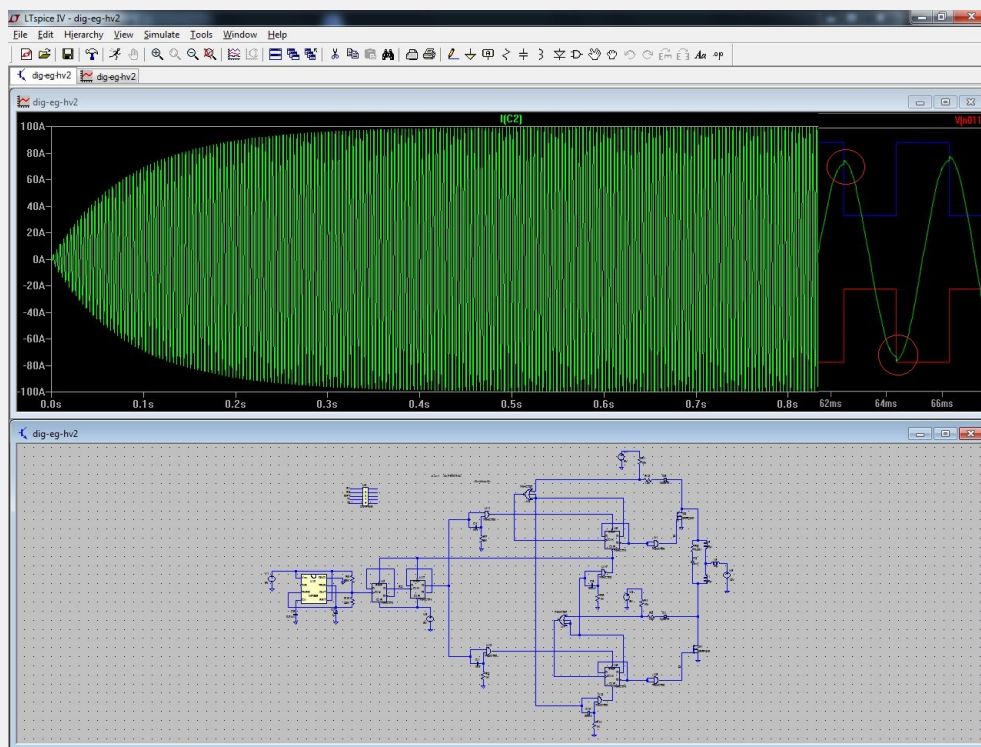
[Беспроводная передача](#)

[Заряд конденсаторов](#)

[Эффект Юткина Л.А.](#)

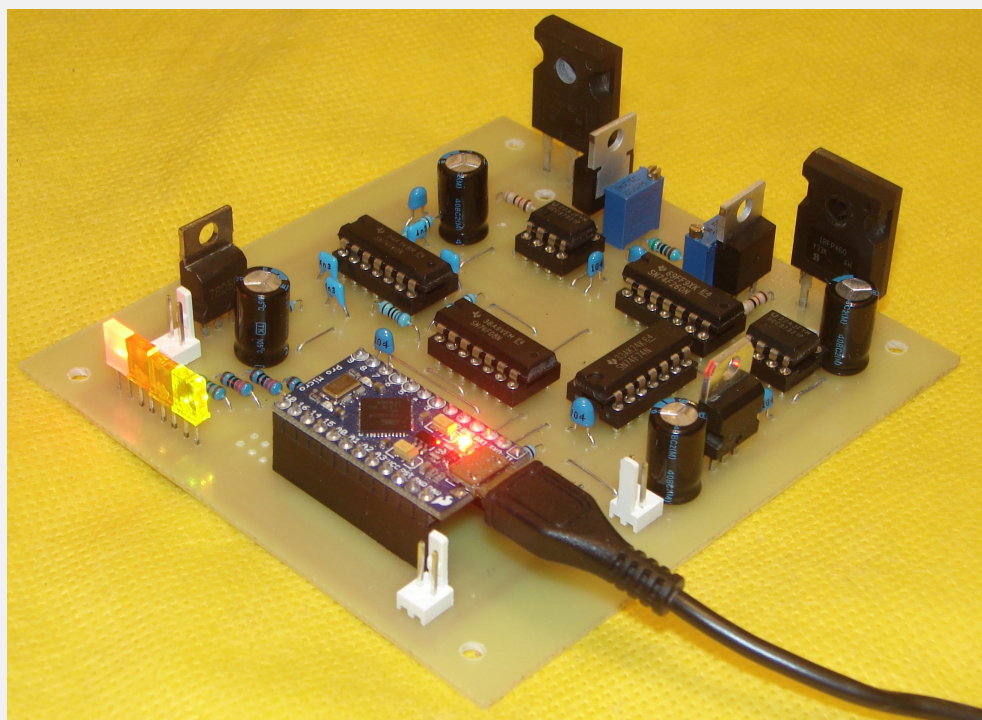
[Ссылки](#)

Индукционный нагрев. Техника съема энергии с трансформатора тока. Параллельный резонанс.

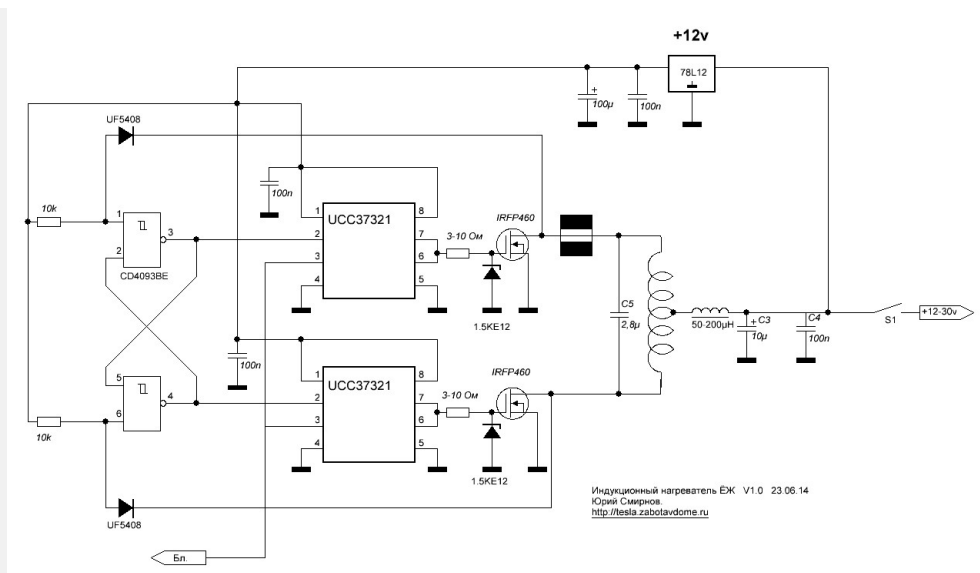


Left-click to plot V6 dissipation: V(N019)*I(V6) DC operating point: I(V6) = -63.400192μA Dissipation=-760.8023μW

[LTSpice - Параллельный резонанс](#)



[Практическая реализация LTSpice. Версия с МК.](#)

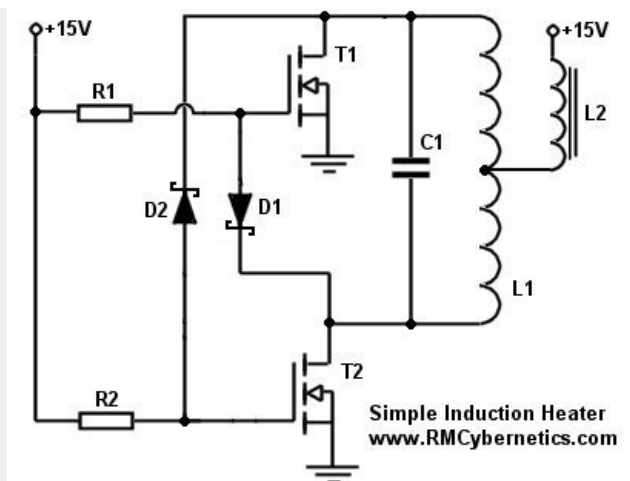


[Схема нагревателя ЁЖ в DipTrace. Печатная плата в файле eg.dip](#)

Целью является практическая реализации обогрева дома с использованием техники индукционной плавки металлов. Идея, не обладает новизной и состоит в том, чтобы индуктор разместить вокруг трубы отопления. Нагревая трубу, тем самым мы нагреваем воду которая циркулирует в системе отопления. Базовой предпосылкой, которая может значительно снизить затраты на электроэнергию является колебательный контур (индуктор->конденсаторы) который работает в резонансе. Возникает повышение напряжения примерно в десятки раз, которым и осуществляется нагрев металла.



На первом этапе за основу была взята схема индукционного нагрева использующая ZVS (zero voltage switching) метод переключения транзисторов. Схема взята с сайта http://www.rmcybernetics.com/projects/DIY_Devices/diy-induction-heater.htm



В собранной схеме, были использованы транзисторы STP40N10, диоды шоттки 50SQ100 5A, 100В; резисторы 240 Ом, измеренная ёмкость батареи конденсаторов СВВ81/224/2000V - 2,3 мкф. Магнитная проницаемость ферритового кольца - L2, по заявлению продавца 10000, но схема запускается с ферритовым кольцом. Источники питания - два аккумулятора заменены на трансформатор ОСМ1-1.6 с переменным напряжением 24 вольт и постоянным на конденсаторе порядка 27 Вольт. Схема заработала сразу, каких либо настроек не потребовалось. Более или менее интересный результат при данном размере индуктора начинается от 20 вольт.



Напряжение на каждом из транзисторов относительно корпуса по 800 Вольт, не важно где мерять. Частота работы схемы без металлической трубы в индукторе, 321 КГц, ток потребления 1,7 Ампера. При добавлении металлической трубы частота понижается до 138 КГц, ток потребления вырастает до 5А. Труба 0,5 дюйма, индуктором с внутренним диаметром 85 мм нагревается в районе средней точки до вишневого цвета. Лучше всего в таких схемах использовать плёночные конденсаторы фирм Evox Rifa, Faratronic, Pilcor. КПД поднимется, да и количество конденсаторов потребуется в разы меньше.

Ток потребления определяется заполнением индуктора металлом. Стоит использовать под бесшовную трубу с максимальной толщиной стенок. При токе потребления более 12 ампер, транзисторы STP40N10 долго не живут. Рекомендованное на сайте водяное охлаждение не используется. Греются радиатор и индуктор, конденсаторы холодные. Для охлаждения транзисторных радиаторов я использовал вентилятор от компьютера. При необходимости отвод тепла можно организовать на тот же стояк отопления.

Вторым, не менее, если не более интересным способом нагрева теплоносителя является трансформатор тока. Трансформатор тока представляет из себя ферритовое кольцо, установленное на проводе идущем от блока конденсаторов к индуктору. Подойдут ферритовые кольца, любой магнитопроницаемости. В том числе и кольцо из трансформаторного железа. Чем ниже магнитная проницаемость магнитопровода, тем меньший радиус кольца допустим, тем ниже частота тока на выходе, тем сильнее греется магнитопровод. В случае использования трансформаторного железа эффективность нагрева максималена. Ферритовые кольца с внутренним диаметром менее 60мм для длительной работы схемы не использовать. При малом, внутреннем, диаметре ферритового кольца, менее 50мм, резко растает ток потребления, необходимый для поддержания резонанса, транзисторы выходят из строя. В случае использования сердечника от ТВС необходим зазор, это не по феншую. В случае встречной намотки обмоток, как показано на фотографии, эдс отсутствует.



Ниже представлена схема подключения нагрузки. Лампу 220В 95W включать без диодного моста можно, но при этом следует уменьшить число витков трансформатора тока примерно до пяти, иначе лампа эффектно сгорит. На двоянную пару витков, используемых в намотке обращать внимание не стоит. Так же следует поступить с парой проводов черный и красный, на транзисторных радиаторах к ним подключались высоковольтные конденсаторы от СВЧ печей. Конденсаторы сильно грелись, пришлось их заменить, провода пусть пока будут.

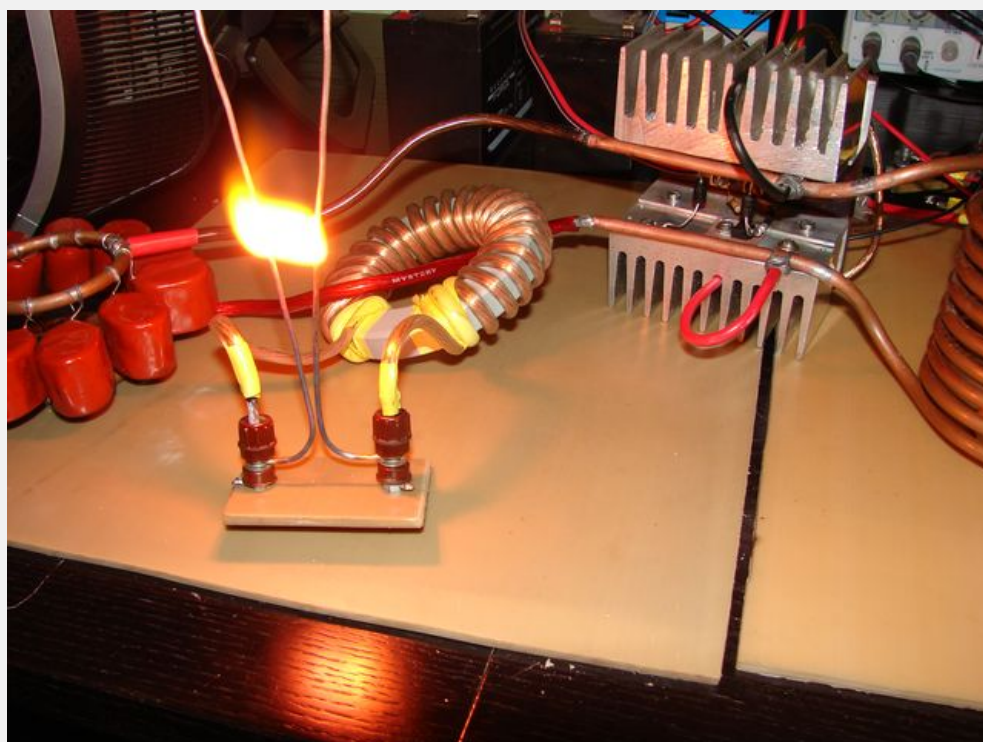
Ферритовые кольца размещенные в индукторе увеличивают частоту до 400 кГц, токовый трансформатор ее понижает до 100 кГц. Яркость свечения лампы регулируется частотой за счет увеличения либо уменьшения сердечника из ферритовых колец в индукторе.



На тестере видно, что при подключении нагрузки ток вырос на два ампера. (В первом случае ток необходимо умножить на 100) Это примерно равно мощности используемой лампы. Безвосточного съема энергии с токового трансформатора нет. Подключение активной нагрузки увеличивает ток потребляемый устройством. А вот использовать ферритовые кольца для нагрева теплоносителя в дополнение к индуктору - очень интересный вариант.

Дуговой разряд.

На каждые три-четыре витка токового трансформатора приходится 1000 вольт. Попытка замера напряжения на большем числе витков закончилась неудачей по причине выхода из строя тестера. Можно предположить, что напряжение на токовом трансформаторе около пяти-шести тысяч вольт, поэтому третьим источником тепла, в предлагаемой схеме является дуговой разряд. Как его использовать для нагрева теплоносителя, я пока не решил. Плавится все с чем дуговой разряд находится в тесном контакте.

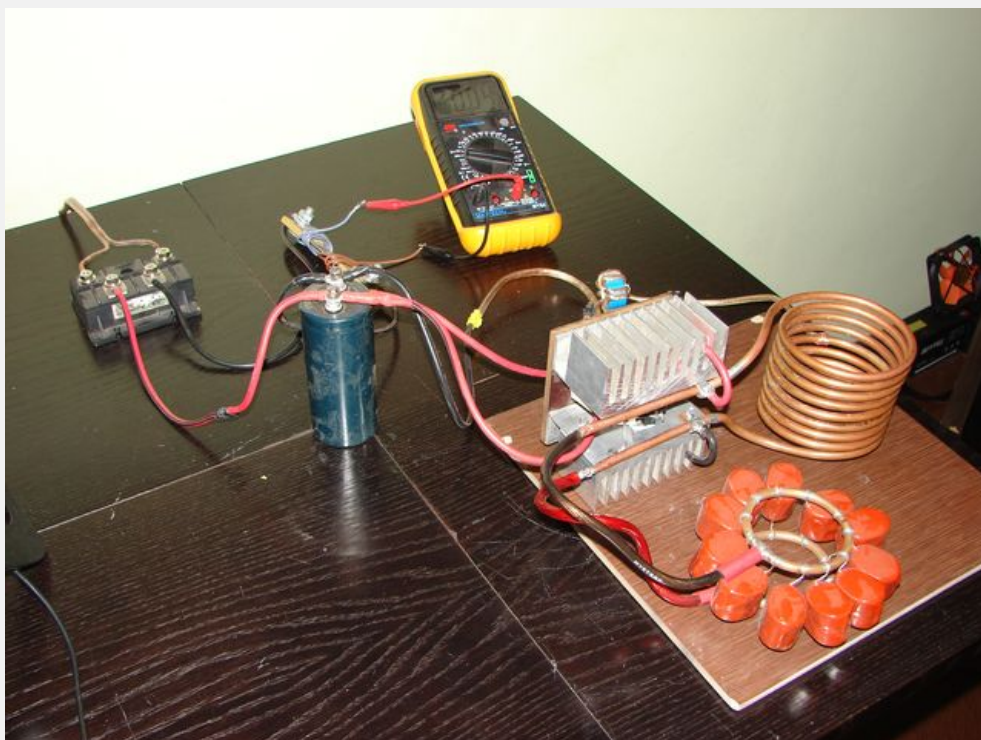


Промежуточный итог.

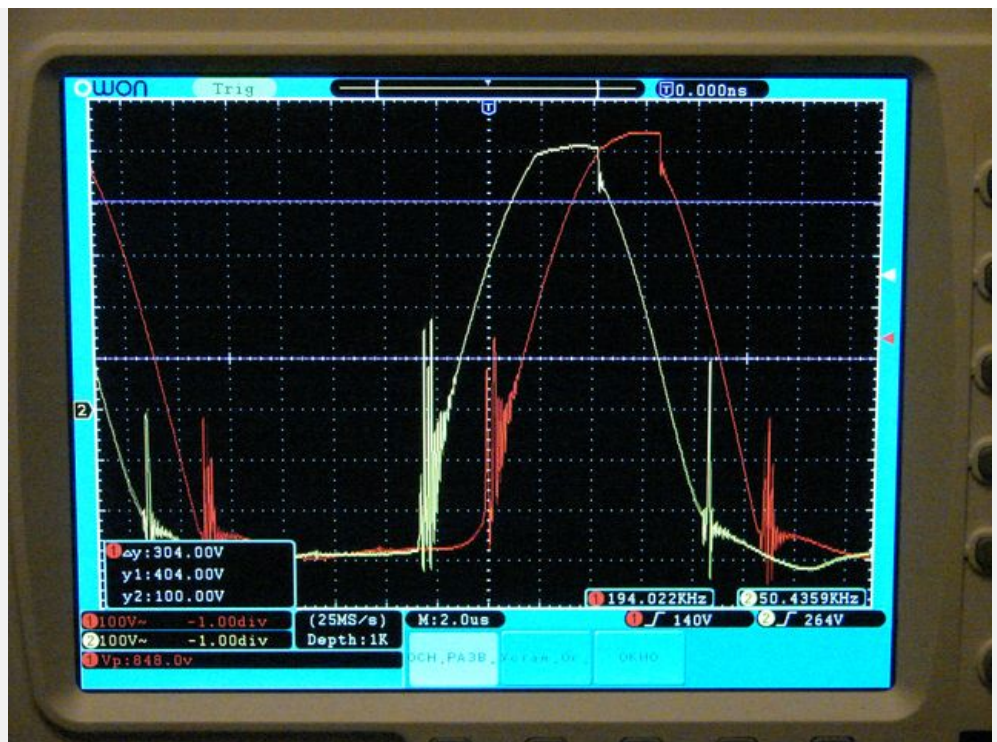
1. Осуществлять нагрев трубы отопления токами фуко.
2. Дополнительная тепловая мощность за счет охлаждения радиаторов, на которых установлены транзисторы.
3. Охлаждения феррита токового трансформатора теплоносителем (водой).
4. Использование дугового разряда - проблематично. Очень высокая температура. Но очень перспективно. Наличие дуги не увеличивает потребление тока устройством.

14.10.13.

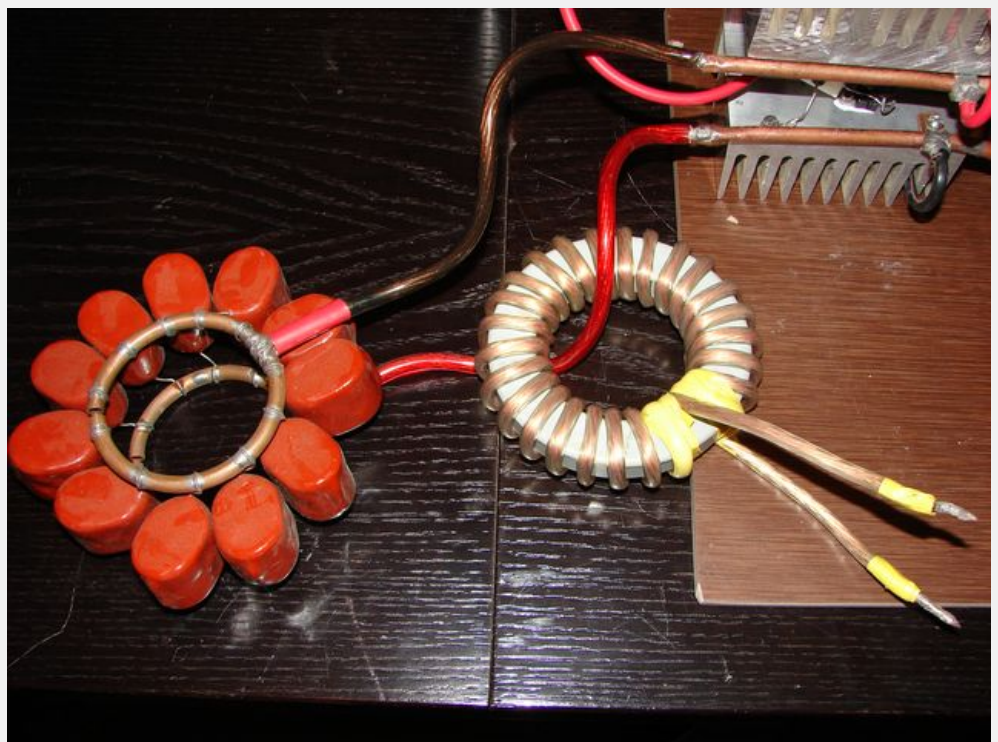
Непрерывная работа схемы с охлаждением от компьютерного кулера проверена в течении трех суток. Трансформатор ОСМ1-1.6, ток потребления 11А, 27,2В на конденсаторе после выпрямителя. Нагрев трубы 1 дюйм до темно вишневого цвета в районе средней точки индуктора.



Осциллограмма сток - исток. На желтой синусоиде находится токовый трансформатор. При полном заполнении ферритового кольца любой из выходов токового трансформатора начинает взаимодействовать с землей - появляется высокий потенциал, идет небольшой ток.



Две последовательно включенные лампы 95BT горят в полный накал. Ферритовое кольцо следует размещать в воде, после 10-15 минут начинает плавиться обмотка из-за нагрева ферритового кольца. Ток потребления при наличии токового трансформатора 6 ампер, при его отсутствии - 4 ампера.



Чтобы оценить реальную тепловую мощность данной схемы - необходимо собрать обогреватель состоящий из радиатора отопления и циркуляционного насоса. И определиться с частотой схемы на которой будет наиболее эффективен нагрев металла.

24.10.13. Съем энергии с трансформатора тока.

В предыдущем примере было показана возможность использования трансформатора тока в качестве повышающего трансформатора. Рост напряжения в данной схеме составляет около тысячи вольт на виток.

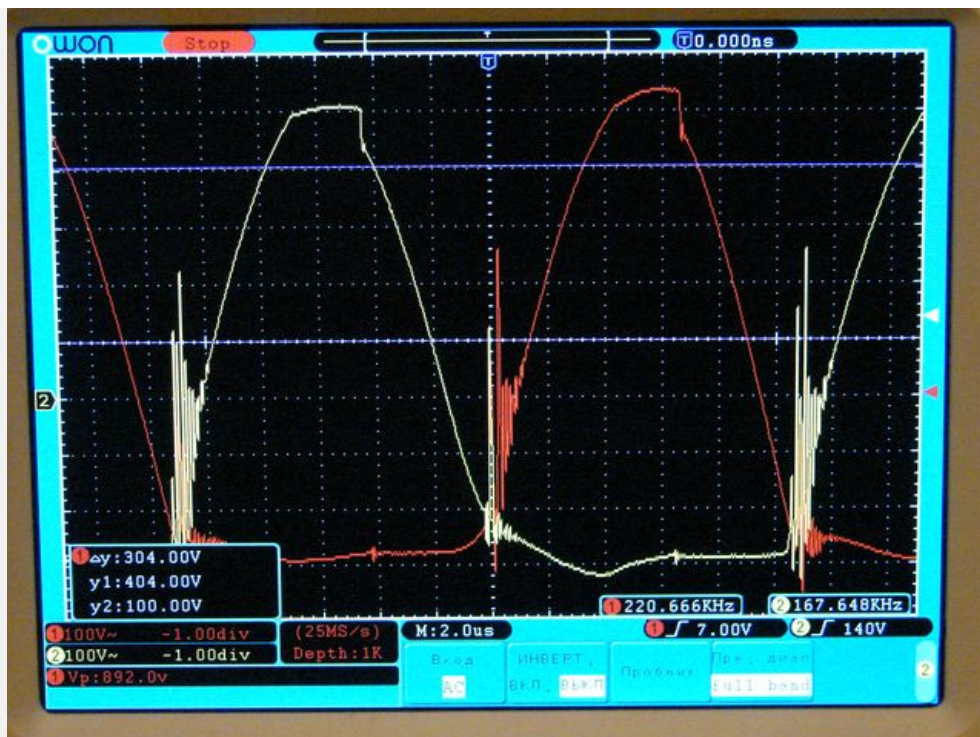
Если подключать активную нагрузку непосредственно к трансформатору тока, расположенном на проводе идущем от конденсатора, то потребление схемы растет на величину сопоставимую с мощностью электролампы. Схема подключения нагрузки была пересмотрена и добавлен еще одно ферритовое кольцо, еще один трансформатор тока.



В этом случае съем энергии на три лампы 12В 24Вт, не оказывает влияние на величину потребляемой энергии схемой. Ток потребления составляет четыре ампера как при отсутствии нагрузки, так и при подключении трех электроламп. Лампы светятся в полный накал. При подключении каждой следующей лампы, яркость свечения предыдущих меняется не значительно, ток потребления остается на уровне 4-х ампер.



Ниже приводится осциллограмма на транзисторах сток-исток. Во внутренней части трансформатора съема (черное ферритовое кольцо) образуется поле Пересечение внутренней области кольца проводником - обязательно. Любое иное расположение проводника результатов не даст.



27.10.13.

Второе кольцо, к которому подключены лампы содержат первичную и вторичную обмотку. Число витков примерно равно. Если мы говорим, что четыре ампера - это ток без нагрузки, ток холостого хода схемы. Подключение двух ламп увеличило ток потребления до восьми ампер. $27\text{В} \cdot 4 = 108\text{В}$. Две лампы по 75W это 150 ватт. Лампы горят с перегрузом и ярче, чем если их включить напрямую в сеть.



01.11.13. Как правильно считать?

Ниже приводится фотография схемы индукционного нагрева без подключенного трансформатора тока. Самым информационным прибором в данной серии является амперметр на заднем плане. Все остальное не существенно. На нем ток потребления 4 ампера.



Добавляем трансформатор тока. На амперметре ток потребления вырос до 6 ампер. Внутри кольца появилось аномальное поле, которое как показано в предыдущих описаниях дает высокое напряжение. Ферритовое кольцо с намотанным на нее трансформатором тока греется. Почему происходит нагрев феррита? Ответ очевиден. Схема работает на высоких частотах и домены ферромагнетика не успевают перемагничиваться с частотой на которой работает колебательный контур (конденсатор -> индуктор). Казалось бы все логично - добавили ферритовое кольцо, ток потребления вырос, на катушке сьема трансформатора тока появилось высокое напряжение, феррит греется. :)



Подключаем к выходам трансформатора тока довольно странную нагрузку. Металлическая труба с намотанным на нее медным проводом 0,5кв. Смотрим на амперметр и видим падение потребления тока на два ампера. Считаем $6 - 4 = 2$ То есть схема вернулась к своему начальному потреблению тока в 4 ампера. Где два ампера? И что изменилось? Если не вдаваться в тонкости, то энергия поля ферритового кольца перераспределилась. Ферритовое кольцо более не греется, а два ампера уверенно греют металлическую трубку. То что феррит перестал греться означает, что причина его нагрева не высокие частоты, а поле образованное в кольце нагревало ферромагнетик.



Хотелось бы еще раз пройтись по работе трансформатора тока с учетом последнего эксперимента. Подключили трансформатор тока и потребление схемы выросло на два ампера. Выросло оно потому что в схеме появилась цепочка - трансформатор тока, в котором присутствует поле неизвестной породы. **И эти два ампера идут не на ПОДДЕРЖАНИЕ, а на КОМПЕНСАЦИЮ** данного поля. И как только к трансформатору тока была подключена нагрузка энергия поля ушла в нагрев трубы, компенсировать стало более нечего, ток потребления вернулся к своему начальному значению. Ферритовое кольцо трансформатора тока более не греется.

Как иначе можно использовать аномалию данного поля. Можно например намотать безкаркасный трансформатор состоящий из двух обмоток и подключить к ней автомобильную лампу 5/21ватт. Ток потребления схемы не вырос, а два ампера заставили электролампу светиться. Если в бескаркасный трансформатор добавить ферритовый сердечник, светиться будет лампа 220Вольт. Ферритовое кольцо трансформатора тока практически не греется, ток потребления не изменился.

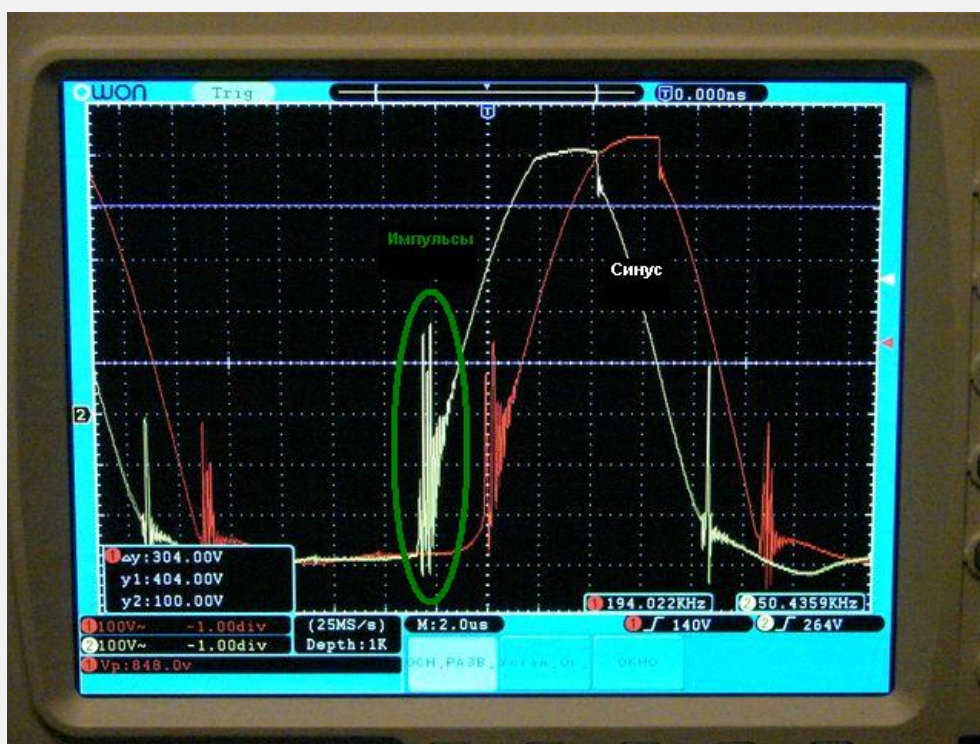


Два ампера, много это или мало? В качестве трансформатора тока были выбраны ферритовые кольца с внутренним диаметром не менее 65мм. Феррит с меньшим радиусом

резко увеличивал ток потребления, необходимый для КОМПЕНСАЦИИ поля созданного внутри ферритового кольца трансформатора тока, в результате транзисторы выходят из строя. Уменьшив внутренний диаметр ферритового кольца с правильно подобранной нагрузкой, можно снять большую мощность, не увеличивая ток потребления схемы. По предложению участника форума RealStrannk (Не квадрат) еще большей мощности можно достичь, наращивая количество трансформаторов тока на ферритовых кольцах с правильно подобранной нагрузкой.

7.11.13. "Энергия поля трансформатора тока.

Что является источником поля внутри трансформатора тока. Тесла указывал на необходимость формирования однонаправленных импульсов положительной полярности. Высокую скважность импульса дает искра. Аналогичные импульсы присутствуют в данной схеме и формируются при открытии и закрытии электронного ключа - транзистора. Возникающие при этом импульсы имеют пиковый потенциал в 300 вольт, поддерживают резонанс и совершенно справедливо дают помехи во всем радиочастотном диапазоне. Так же данные импульсы являются причиной нагрева проводов, идущих от конденсатора к индуктору.



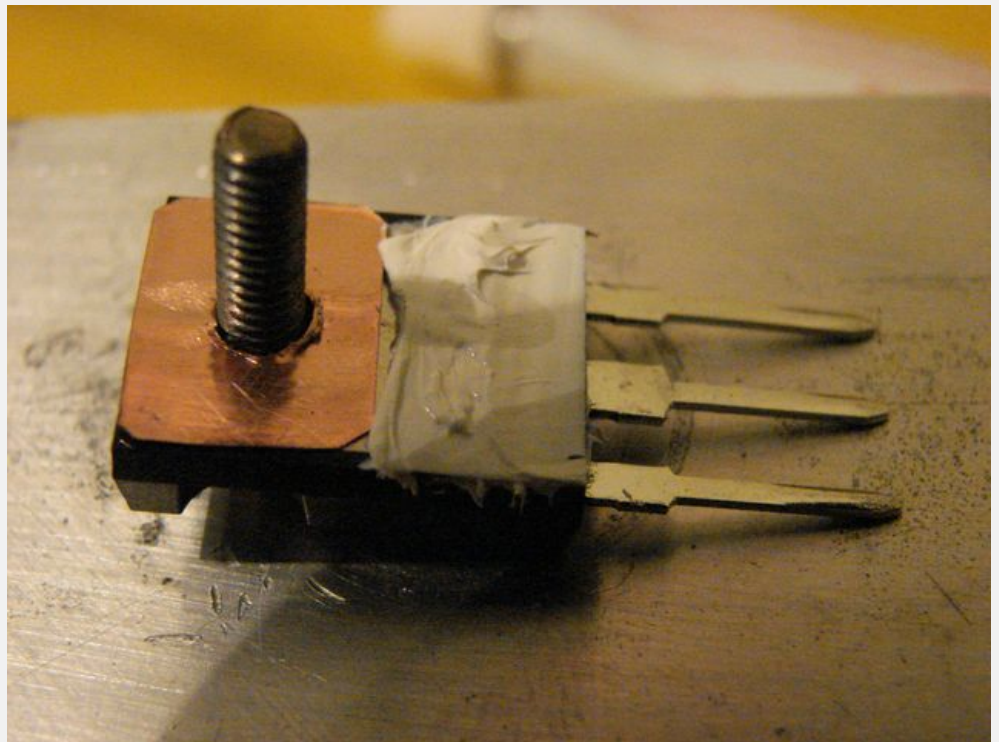
1. Результатом воздействия поля на феррит является появление на выходе трансформатора тока высокого напряжения, о чем свидетельствует стабильный дуговой разряд. Для получения дугового разряда необходимо инициировать пробой - приблизить электроды друг к другу. Во время пробоя между электродами возникает искровой разряд, импульсно замыкая электрическую цепь. Возникшая дуга является проводником и замыкает электрическую цепь между электродами. В стандартной схемотехнике, возникшая дуга, приравнивается к короткому замыканию, это в свою очередь увеличивает ток, ведет к нагреву проводов и последующему разрушению участков цепи. Поэтому с дуговым разрядом совершенно справедливо борются. В данной же схеме, высокий потенциал на выходе трансформатора тока есть по факту и не оказывает сколь либо значимого влияния на увеличение потребления тока всей схемой, поэтому осталось дело за малым - научиться использовать высокую температуру плазмы в мирных целях.

2. Отличительной особенностью энергии генерируемой трансформатором тока является практически полное отсутствие направленного движения носителей зарядов (тока). Концентрация или перераспределение полученной энергии обуславливается наличием участков цепи с высоким сопротивлением. Это может быть заземление либо, как это показано в примере, безкаркасный трансформатор. Говорить о межвитковом пробое безосновательно, поскольку все-таки, наличие слишком высокого сопротивления в цепи является не преодолемым препятствием для перераспределения энергии. В то же время следует отметить факт появления тока во вторичной обмотке безкаркасного

трансформатора.

10.11.13 Еще один источник тепла - Термопаста?

При заменах транзисторов STP40N10 отмечено значительные различия в токе потребления схемы без нагрузки - от двух до пяти ампер. После очередной замены вышедшей из строя пары транзисторов ток потребления составил фантастической величины в шесть ампер. Это порядка 150 ватт. Как это не парадоксально, но разница была в слое термопасты наносимой на радиатор перед размещением на нем транзисторов. Если не использовать термопасту, то ток потребления чуть меньше двух ампер, транзисторы практически холодные. Если перед креплением транзисторов на радиатор нанести слой термопасты, ситуация меняется с точностью до наоборот. Как термопаста, являющаяся изолятором и назначение которой обеспечить эффективный отвод тепла от транзистора к радиатору может влиять на ток потребления? Энергия импульса проявляет себя в том, что перераспределяется в область с более высоким сопротивлением. Стык между транзистором и радиатором находится в эпицентре формирования энергии импульса, которая концентрируется в области с максимальным сопротивлением, на прослойке из термопасты. И в данной схеме, слой термопасты является не проводником тепла от транзистора к радиатору, а его источником. Стоит ли отказаться от термопасты вообще? После начала использования термопасты КПП-19 схема стала работать стабильно, транзисторы не вылетают, но ток потребления вырос и радиаторы требуют дополнительного охлаждения. Термопаста выступает в роле демпфера – преобразует часть энергии импульса в тепло и рассеивает на радиатор. Для транзисторов IRFP250N в последующем был найден компромисс. Гальваническую связь с радиатором обеспечивает медная фольга, высокоомную термопаста. Ток холостого хода составил два ампера. Транзисторы работают стабильно.



Трансформатор тока на трансформаторном железе

Ранее указывалось, что в случае использования колец с меньшим радиусом, поле трансформатора тока будет сильнее, а значит ток компенсации будет выше и можно получить более высокие значения тепла или тока на выходе трансформатора тока. Ферритовое кольцо было заменено на сердечник от трансформатора 220-12В. После подключения, Ток потребления составил 15А. Следует отметить сильный нагрев сердечника. Схема может работать не более 30 секунд, после чего начинают плавиться изоляция провода трансформатора тока.



Подключаем нагрузку в виде соленоида намотанного на металлическую трубку. Ток потребления снизился до 9 ампер, металлическая трубка греется. Что вызывает нагрев трубы? Фактически это тот же самый индуктор и нагрев металла производится токами высокой частоты. Нагрев сердечника трансформатора тока значительно снизился.



Меняем нагрузку на безкаркасный трансформатор. Провод медный. Намотка велась виток к витку, каждый следующий виток вторичной обмотки расположен вплотную к витку первичной обмотки. Количество витков было predetermined исключительно наличием провода. Ток потребления схемы снизился до 6 Ампер. Сердечник трансформатора тока, греется незначительно, Охлаждение не требуется.



Наличие высокого напряжения интереса не представляет. Оно присутствует в любом участке цепи, включая окружающее пространство, с эпицентром в точке формирования - транзисторный ключ. Но в отличие от предыдущей схемы, где светила только одна лампа 12x21W, в данном варианте светятся уже три лампы накаливания включенных параллельно. Это указывает на увеличение тока в цепи. Энергию яркости свечения ламп я оцениваю в 50-55 ватт в случае питания их от сети. Есть ли дополнительный потенциал в данной схеме. Безусловно. Следует увеличить число витков безкаркасного трансформатора съема, чтобы снизить ток потребления до 4-х ампер. (Ток холостого хода данной схемы) И поскольку резко увеличился нагрев второго провода идущего от конденсатора к индуктору его так же следует "охладить", разместив на нем трансформатор тока и подключив его выходы к нагрузке.

Размещение феррита внутри безкаркасного трансформатора съема интереса не представляет, поскольку увеличивает не только яркость свечения ламп, но и ток потребления схемы при прочих равных условиях.

Общие впечатления.



Импульс.



Стоячая волна образованная трансформатором тока.

11.11.13. Сложение энергий.

На проводе идущем от конденсатора к индуктору размещено ферритовое кольцо трансформатора тока. В случае с ранее показанной схемой съема бескаркасным трансформатором тока одна лампа 12Vx21W горит практически в полный накал.

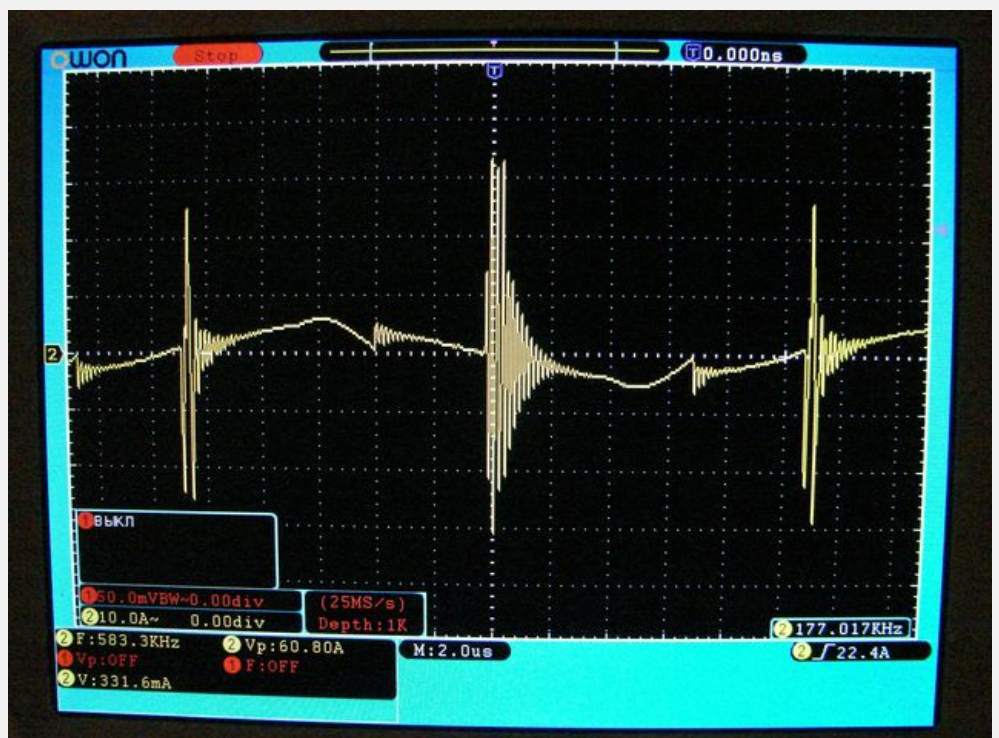


На проводе идущем от конденсатора к индуктору размещено два кольца трансформатора тока, выходы обмоток соединены параллельно. Начало обмотки первого кольца подключено к началу второго. Горят уже две лампы 12x21W так же включенных параллельно.

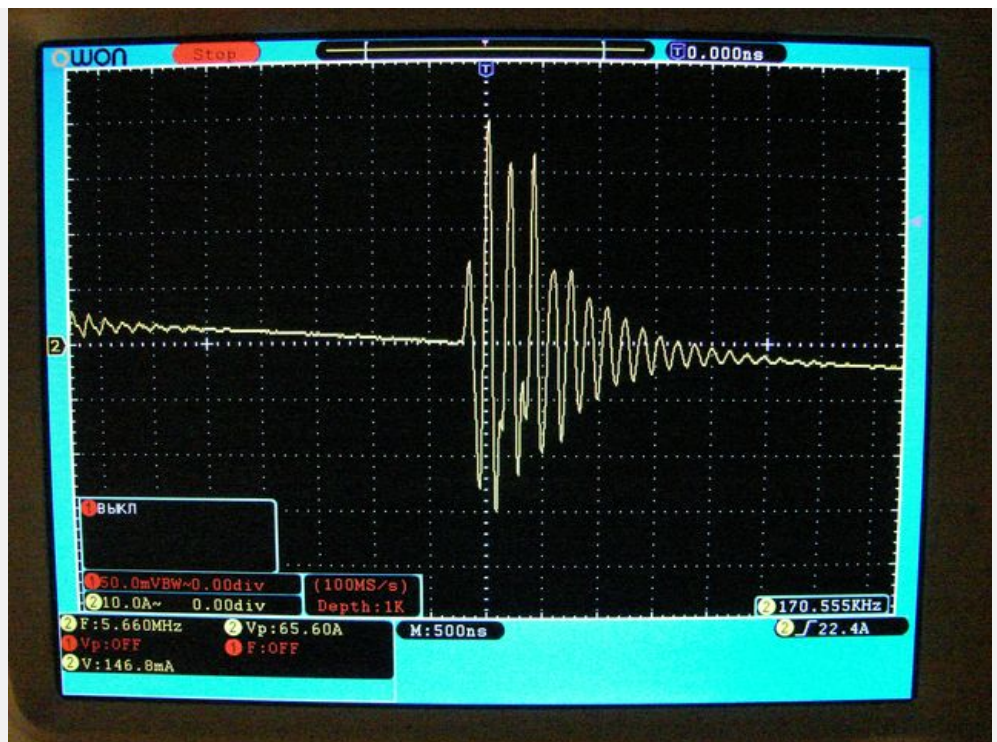


Растерянность вызывает напряжение которое показал вольтметр на лампе и без нее, на выходе соленоида съема - менее одного вольта. Ток короткого замыкания через вольтметр, ниже чувствительности прибора - 0,02мА. Контакты, при замыкании, еле заметно искрят. Понятно что врет, подумал я и проверил это дело на язык. Не врет. Честный 1 вольт. Но тогда как и почему горит лампа 12Vx21W?!!

Осциллограмма, щупы осциллографа подключены к выходам соленоида съема. Серия импульсов, при подключении двух трансформаторов тока. Горят две лампы 12Vx21W



Частота следования групп импульсов порядка 46 кГц. Этой частоты при напряжении менее вольта и практически полном отсутствии тока недостаточно для того, чтобы зажечь лампу в 20 Ватт. Более детальная осциллограмма одной из групп импульсов.



15.11.13 Влияние трансформатора тока на работу индуктора.

В течении двух минут индуктором производился нагрев трубы 1 дюйм (25мм). После этого нагретая труба опускалась в емкость, заполненную двумя литрами воды. Температура замерялась до момента опускания трубы и после установления температурного баланса в объеме воды.



Нагрев трубы без трансформатора тока:

- 22,4С - 25,7С; 2 минуты, ток 11-12А.
- 23,9С - 26,7С; 2 минуты, ток 11-12А.
- 26,7С - 29,8С; 2 минуты, ток 11-12А.

Нагрев трубы с трансформатором тока на ферритовом кольце и нагрузкой - воздушный трансформатор с электролампой 12Вх21W. Лампа светится в пол накала.

- 25,6С - 29,5С (2 минуты, ток 11-12А)
- 28,6С - 32,8С (2 минуты, ток 11-12А)

Нагрев трубы с трансформатором тока на трансформаторном железе, как показано на фотографии. Лампа светится в полный накал.

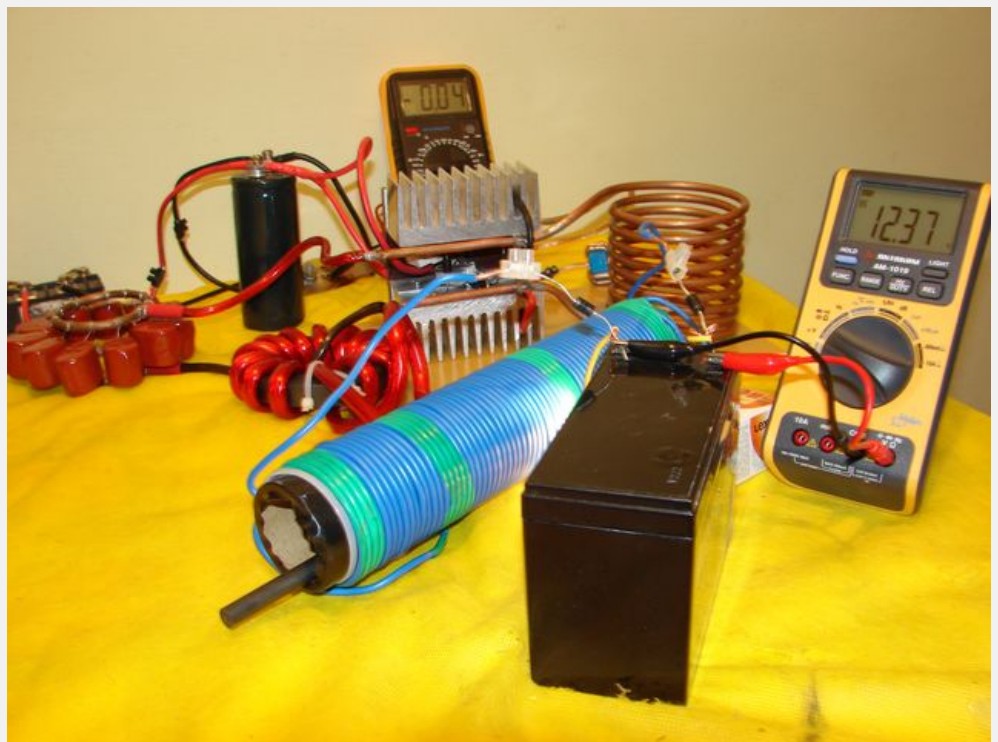
- 29,4С - 32,2С (2 минуты, ток 11-12А)

Для информации, кольцо из трансформаторного железа без нагрузки и металлической трубы в индукторе греется и затем нагревает воду с 29,1С - 30,2С за 30 секунд, ток потребления составляет 15 Ампер.

Заряд аккумулятора.

Экспериментально установлено, что на вторичной обмотки соленоида съема присутствует небольшое напряжение. После подключения диодов шоттки, энергия импульса приобретает полярность и стал возможен заряд электролитических конденсаторов. Так же была проверена возможность заряда данной энергией аккумулятора. Полностью рабочий аккумулятор был предварительно разряжен. После подключения аккумулятора, сразу начинается его заряд. При подключения нагрузки - лампы 12Vx21W, напряжение на аккумуляторе установилось в районе 11,4В. Лампа прикрыта чтобы не мешать съемке, горит в полный накал.

В соленоид съема был добавлен ферритовый стержень 600НН. Сразу начался заряд аккумулятора напряжение на аккумуляторе при включенной электролампе только растет и вниз более не опускалось. После отключения схемы от электропитания сразу начинается разряд аккумулятора. Динамика цикла заряда аккумулятора около 30 секунд.



Сечение провода трансформатора тока.

Ниже на фотографии представлены три ферритовых кольца с сечением провода 4кв, 8.3кв, 25 квадратов. Эффективность работы трансформатора тока оценивалась по яркости свечения лампы 12Vx21W, подключенной к соленоиду съема. Несмотря на наименьшее число витков витков, наиболее эффективным оказался силовой провод сечением 25 квадратов (13 витков, длина провода без учета выводов 1м40см)



Более простым, но наиболее эффективным является трансформатор тока, катушка съема которого состоит из медной фольги свернутой в трубку и расположенный максимально близко к внутренней стороне ферритового кольца.



16.11.13 Разряд аккумулятора.

Два трансформатора тока (провод сечением 25 квадратов) соединены параллельно. К выходам воздушного соленоида съема без ферритового сердечника подключены диоды шоттки (50SQ100 5A 100B), через которые осуществляется заряд аккумулятора. К аккумулятору параллельно подключены две автомобильных лампы 12Vx21W. На вольтметре показано напряжение до которого был заряжен аккумулятор. На амперметре ток потребления двух ламп. В течении часа работы данной схемы аккумулятор не разрядился. Напряжение колебалось от 11.54 до 11.59 вольт. Если зарядить аккумулятор, затем отключить схему индукционного нагрева от сети напряжение с 12В до 10В падает за 30-40 секунд. Такое же время необходимо для заряда аккумулятора. Целесообразно аккумулятор не отключать вообще.

- В процессе работы аккумулятора в схеме его нагрева не отмечалось. После разряда аккумулятора до 0,6В и полного его отключения, произошел нагрев корпуса, который наблюдался в течении получаса.
- При увеличении количества электроламп до трех, напряжение падает, разряд прекращается. Мощность снимаемая с аккумулятора остается на том же уровне.
- После нескольких циклов разряда и заряда, ёмкость аккумулятора упала. Если смотреть на аккумулятор с точки зрения заряд, разряд, емкость, то аккумулятор более не пригоден к использованию. Если смотреть на аккумулятор как на конденсатор высокой ёмкости, заряд которого осуществляется энергией импульса, а в нагрузку идет в реальном времени постоянное напряжение в 12В, то в данной схеме аккумулятор на своем месте и работает именно так как надо. Кроме того, аккумулятор имеет неоспоримое преимущество. Простота получения сетевого напряжения через инвертор 12->220.

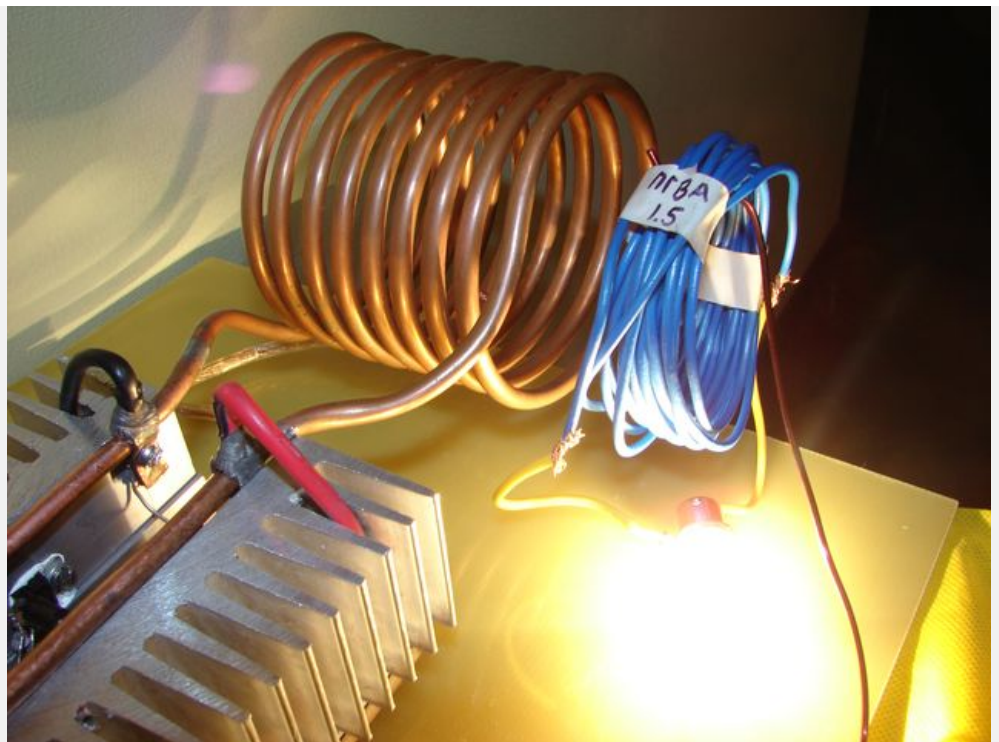


21.11.13 Ёмкость аккумулятора.

За два дня тренировок аккумулятора в циклах заряд-разряд, непрерывная работа химия изменилась. Аккумулятор прекрасно держит ток 5А, ёмкость выросла. Те же пять ампер для второго, аналогичного аккумулятора (SF1207), заряженного по инструкции, оказалось неподъемной задачей. Растаял на глазах. Аккумулятор следует тренировать высоким током с подключенной нагрузкой в районе 5-ти ампер. Иначе ёмкость аккумулятора останется низкой.

28.11.13 Передача энергии.

Вблизи индуктора размещен моток провода к концам которого подключена лампа 12Vx21W. При удалении от индуктора лампа гаснет. При увеличении числа витков яркость лампы увеличивается. Наиболее эффективное размещение катушки съема показано на фотографии.



01.12.13 Съем дополнительной мощности с индуктора.

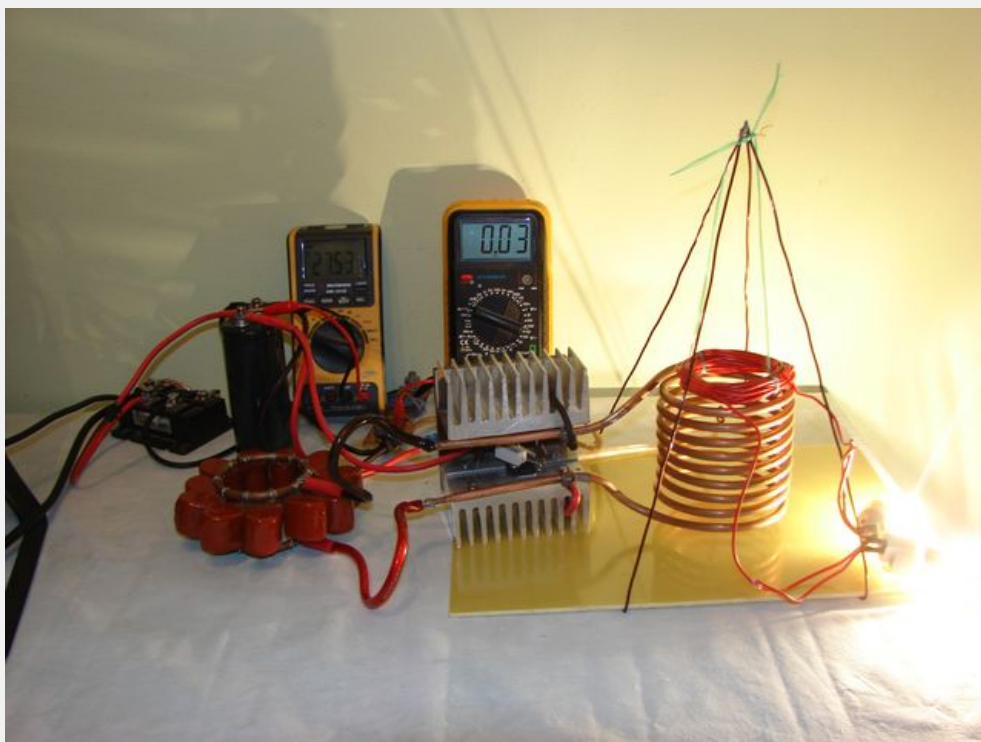
В данной схеме используются транзисторы irfp260, работают с сопротивлением на затворе в 470ом. При сопротивлении меньше или равном 270ом горят. В данной серии фотографий просьба обратить внимание на амперметр. Значение умножать на сто. Точность измерений до 10 процентов. Ток холостого хода 2 ампера.



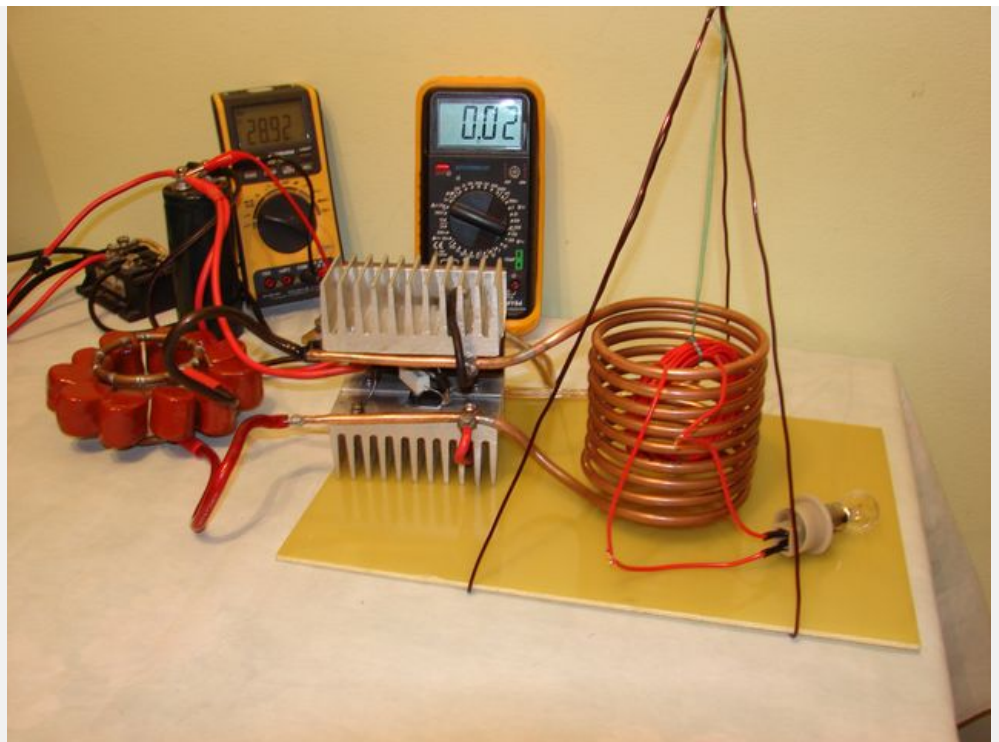
Для того чтобы снизить ток холостого хода достаточно разместить в индукторе ферритовые стержни. В схеме использованы низкочастотные сердечники марки 900НМ. Обратите внимание, значение на вольтметре выросло. Почему так происходит, хорошо описано в литературе и останавливаться на этом подробно не имеет смысла. Вполне достаточно и одного ферритового стержня.



При размещении в плоскости индуктора мотка провода 0,5кв, 5 метров. И подключении двух ламп накаливания 12V21W ток потребления увеличивается. При удалении мотка провода ток потребления падает, лампы гаснут. Ток потребления изменяется пропорционально снимаемой с данного трансформатора мощностью. В общем ничего интересного.



При размещении мотка провода вдоль оси индуктора энергии нет, лампы не горят вообще. Почему не горят, будет описано ниже.



Добавляем в самый неудачный вариант размещения мотка провода ферритовый стержень и получаем четыре лампы накаливания 12Vx21W. При подключении трех ламп - все три могут сгореть. Тонкий провод сильно греется, поэтому был заменен на провод с большим сечением 0,75кв * 5 метров. При более тщательном размещении ферритового стержня можно добиться снижения тока потребления до начального значения в два ампера.



Объяснение очень простое. Вектор магнитного поля расположен вдоль оси индуктора, поэтому при размещении витков вдоль оси энергия не образуется. При размещении ферритового сердечника под углом в 45 градусов к основному потоку в нем образуется собственное магнитное поле, которое направлено вдоль оси ферритового стержня и пересекает витки провода, под углом в 45 градусов. Поэтому в витках провода образуется энергия. Так же дополнительная энергия образуется и в витках самого индуктора, поэтому добавление ферритового стержня на фотографии выше снижает общий ток потребления схемы.

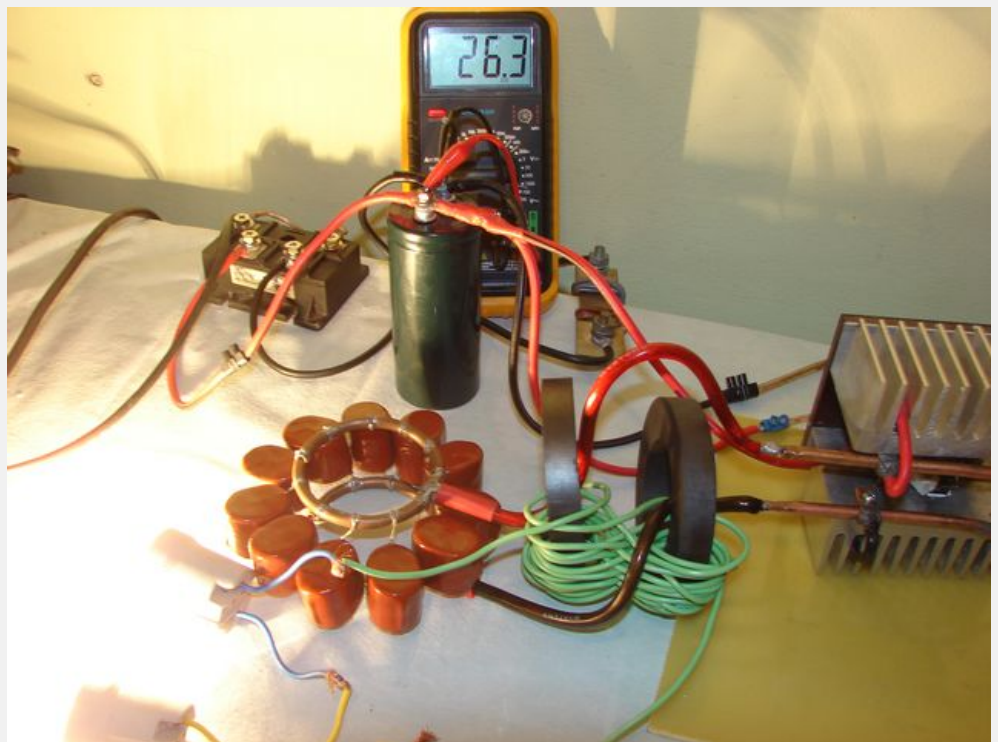
Коэффициент связи между потоком в индукторе и потоком в ферритовом сердечнике остается но он достаточно слаб, поэтому ток потребления растет не пропорционально снимаемой мощности. Коэффициент связи можно уменьшить например так, как показано на

фотографии ниже. Обратите внимание на то, что конец феррита заходящего в катушку расположен выше средней точки подключения. Её вообще лучше разместить как можно ниже в индукторе и не пересекать плоскость средней точки ферритовым стержнем.



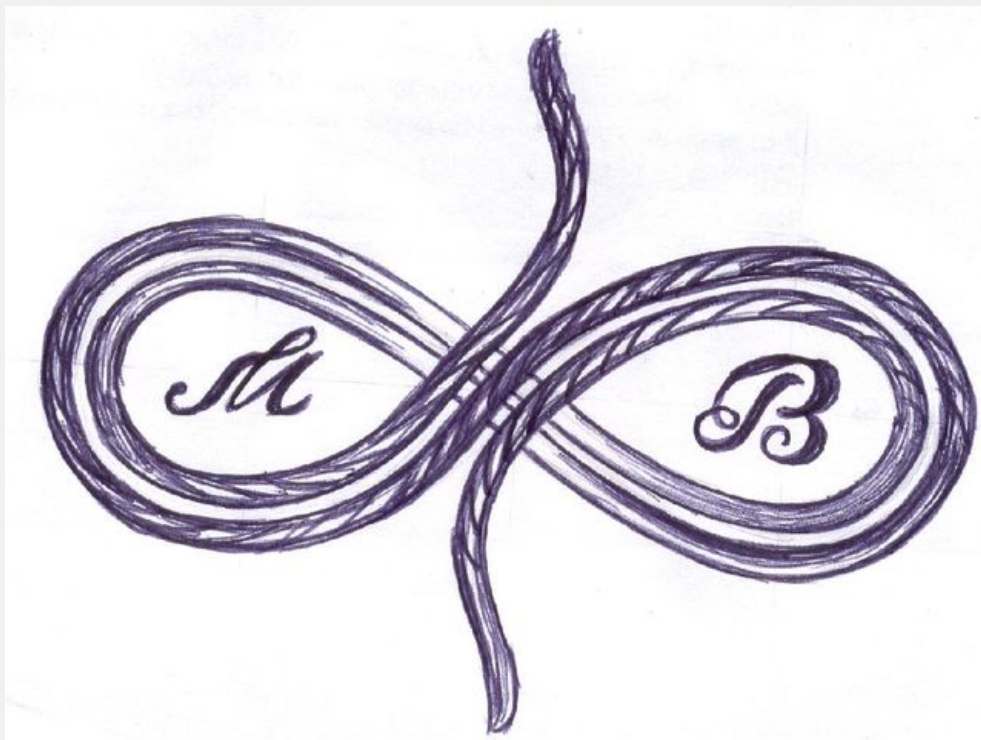
03.12.13 Трансформатор тока на каждой из обкладок конденсатора.

Пол витка трансформатора тока с каждой обкладки конденсатора должно проходить через свое ферритовое кольцо. При подключении ламп рост тока составил пять ампер, напряжение снизилось до 26,3V. Горят две лампы 220V*75W, включенных последовательно. Одна сгорает сразу. В искре присутствует токовая составляющая, плазма практически отсутствует. Стоит попытаться запустить второй, более мощный искровой, контур.



Тип намотки вензель Мервинга. Почему тип намотки должен быть именно такой? Объяснение достаточно простое. Если посмотреть на осциллограмму, то транзисторы открываются последовательно. В случае если проводники идущие от двух обкладок конденсатора будут проходить через два кольца трансформатора тока Е/Н поля

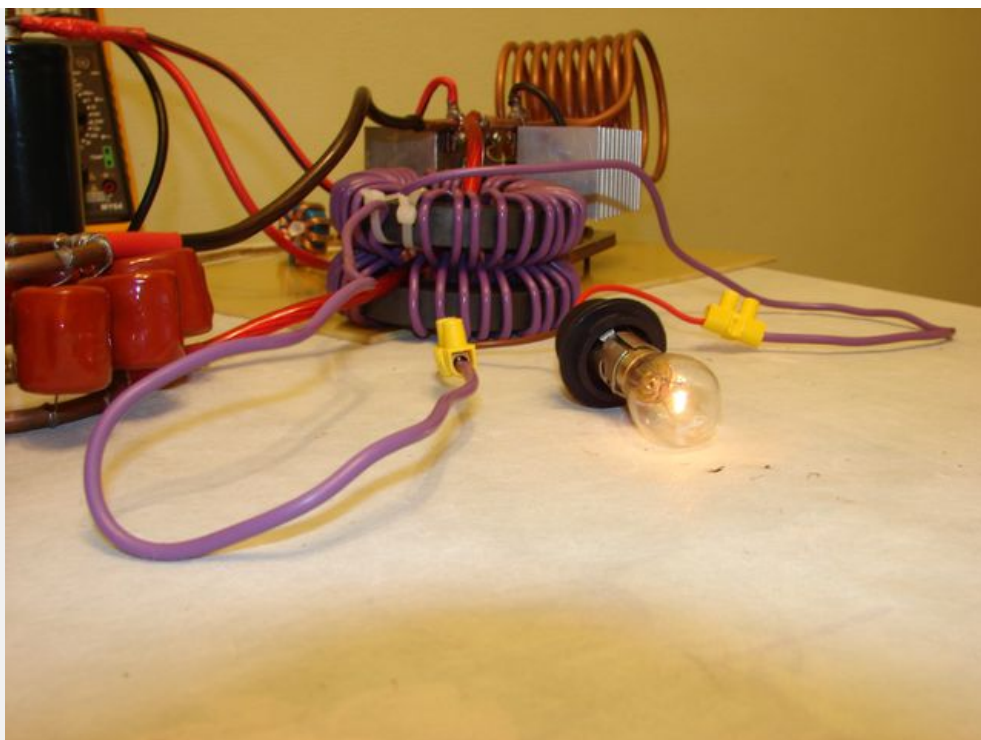
компенсируются. На выходе нет никакого потенциала. Это значит, чтобы увеличить суммарную энергетику, обмотки двух колец каждого трансформатора тока должны быть встречными. Вензель Меровинга - это и есть встречные обмотки. Более того Меровинг идеален еще и по следующей причине. Допустим на каждой из обкладок конденсатора разместить по ферритовому кольцу со встречной намоткой. Изоляция тонкого провода сгорит через две-три секунды. Делаем намотку толстым проводом - на выходе будет "относительно" низкий потенциал. Выходы можно объединить, но в итоге получается все тот же высокий потенциал с очень слабой токовой составляющей и мгновенно вспыхивающей плазмой. Обмотка - вензель Меровинга дает плавный рост потенциала и токовой составляющей от витка к витку. Можно мотать тонким проводом, тем самым получить максимум потенциала.



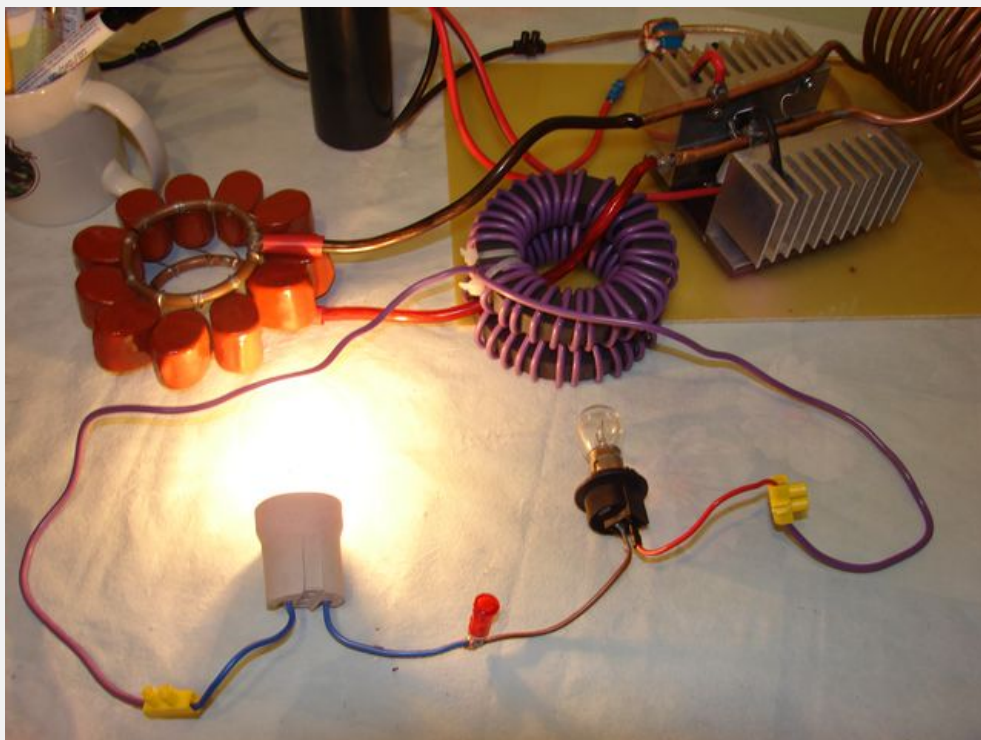
Соблюдайте осторожность!
Полностью заполненные кольца трансформатора тока дадут от 50KV. В отличии от трансформатора Н.Теслы, напряжение вензеля Меровинга не совместимо с жизнью, так как есть токовая составляющая!

06.12.13 Закон ома наоборот?

Намотка велась толстым проводом 4 квадрата. Тип намотки - вензель меровинга. С прогнозами на киловольты я похоже перебрал. Еле заметно светится лампа 12Vx21W.



Но может киловольты всё-таки есть, но несколько в иной форме? Для наглядности с лампой 12Vx21W последовательно включена 220Vx75W. Лампа 12Vx21W погасла (так и должно быть), но вот почему загорелась лампа с напряжением в 220? Пока только предположения - мощность выделяемая на нагрузке не падает, а растет с увеличением сопротивления. Закон Ома наоборот? Искра при замыкании проводников есть. Неоновая лампа не горит, какие-то сильные в.ч. излучения отсутствуют.



Если раньше грелось одно ферритовое кольцо. Сейчас греются оба. Если произошло перераспределение энергии - это хорошо. Пол витка трансформатора тока проходят только через одно ферритовое кольцо. Если пропустить через два кольца эффект нулевой. Можно задействовать вторую обкладку конденсатора. Лампа будет гореть в полный накал. Мотать лучше проводом потоньше, абсолютно не обязательно виток к витку, но важно по всему периметру кольца. (Феррит нагревается сильнее в области где отсутствует намотка)

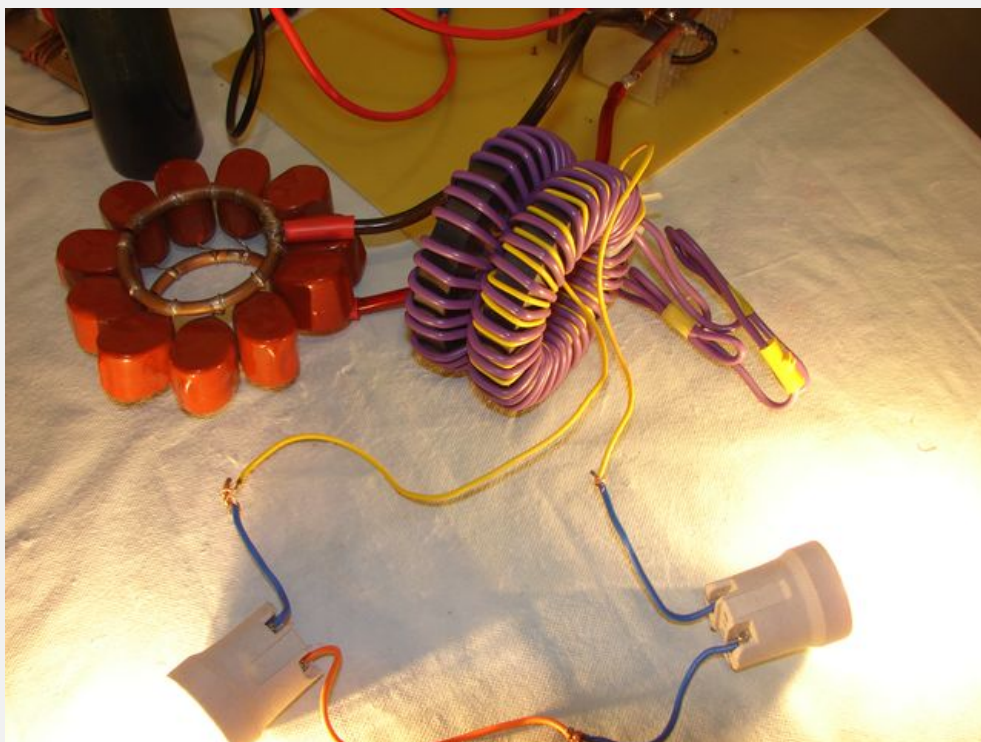
**Трансформатор тока. Намотка - вензель Мервинга.
Съём энергии.**

Если можно собрать самую неэффективную схему, то я её собрал. Не стоит ориентироваться на худшие варианты, которые показаны на фотографиях.

Схему расчета "Закон Ома наоборот" на данном этапе предложил участник форума с ником "abadiya".

$\text{Watts} = \text{Volts} \times \text{Amps}$
0.34 Amps при 75W / 220V
1.75 Amps при 21W / 12V

Получается, что есть некое поле определенной мощности. И этому полю достаточно проблематично отдать в нагрузку большой ток, зато меньший ток, но большее напряжение не составляет труда. Мощность поля "относительно" не измена. Придерживаясь данной модели хотел попробовать схему съёма. Для себя считаю, что часть энергии одного ферритового кольца (уже неважно что это магнитное, электрическое поле) - тепловую, так понятней, через вензель Мерovinga передается на второе ферритовое кольцо. И уже с него следует организовывать съём.



Обратите внимание, что вензель следует обязательно замкнуть. Для трансформатора тока замкнутый виток означает нулевую нагрузку и не увеличивает ток потребления всей схемы. Съём осуществляется со второго кольца, в рамках переданной мощности. Выходишь за его границы начинается рост тока потребления схемой подрастает до какого-то значения и больше не растёт. Коэффициент примерно следующий на двадцать ватт истраченной мощности без проблем можно поучить ватт пятьдесят в эквиваленте света электроламп. Точнее скажу, как обзаведусь токовыми клещами. При 10-20 процентной погрешности на шунте я не вижу динамики.

С точки зрения тепловой энергии все обстоит просто отлично. На ста ваттах через две-три минуты приходится все охлаждать. Радиаторы, ферритовые кольца (падает эффективность процентов на сорок), проводники. Введение второго кольца трансформатора тока при неизменном потреблении тока увеличился процентов на сорок. Тепло это энергия магнитного поля и её не становится меньше.

Полученная энергия очень хорошо выпрямляется диодами и заряжает HV конденсаторы. Искра есть и в моём самом неудачном варианте. Второй, силовой контур на искре реален. При искре, ток потребления схемой снижается.

И не стоит наверное заикливаться на кольцах. В качестве трансформатора тока, с безусловно меньшей эффективностью, прекрасно работают ферритовые стержни сложенные как попало квадратом или треугольником с пересечениями. Кольцо съёма, не уверен, но можно наверное пометь тоже на обычный стержень. Работает всё.

09.12.13 Повышающий трансформатор..

Для передачи энергии с трансформатора тока посредством электрического поля достаточно одного короткозамкнутого витка. Такой солидный, как на фотографии делать не обязательно. На втором ферритовом кольце происходит повышение напряжения. Далее через выпрямительный мост КЦ109А заряжаем конденсатор, на котором установлен разрядник.



Зазор в разряднике 1мм, искра стабильна, "поёт", выделяется озон. Но ожидал большего. Слабый ток. Как взять с трансформатора тока дополнительную мощность выраженную в магнитном поле - не знаю. Ферритовое кольцо трансформатора тока по прежнему сильно греется. Так же греется и кольцо повышающего трансформатора. Если вместо одного коротко замкнутого витка сделать несколько, на ферритовом кольце повышающего трансформатора несоразмерно вырастает потенциал, диоды КЦ109А выгорают. При сближении электродов разрядника - плюс быстро раскаляется.



14.12.13 Подключение трансформатора.

Классифицировать энергию в рамках существующих представлений и приборной базы невозможно, судить о ней можно лишь косвенно, работать сложно. Но, слово Поток энергии более точно отражает процессы и их суть в схемах Артефактов. (Далее по тексту просто Поток)

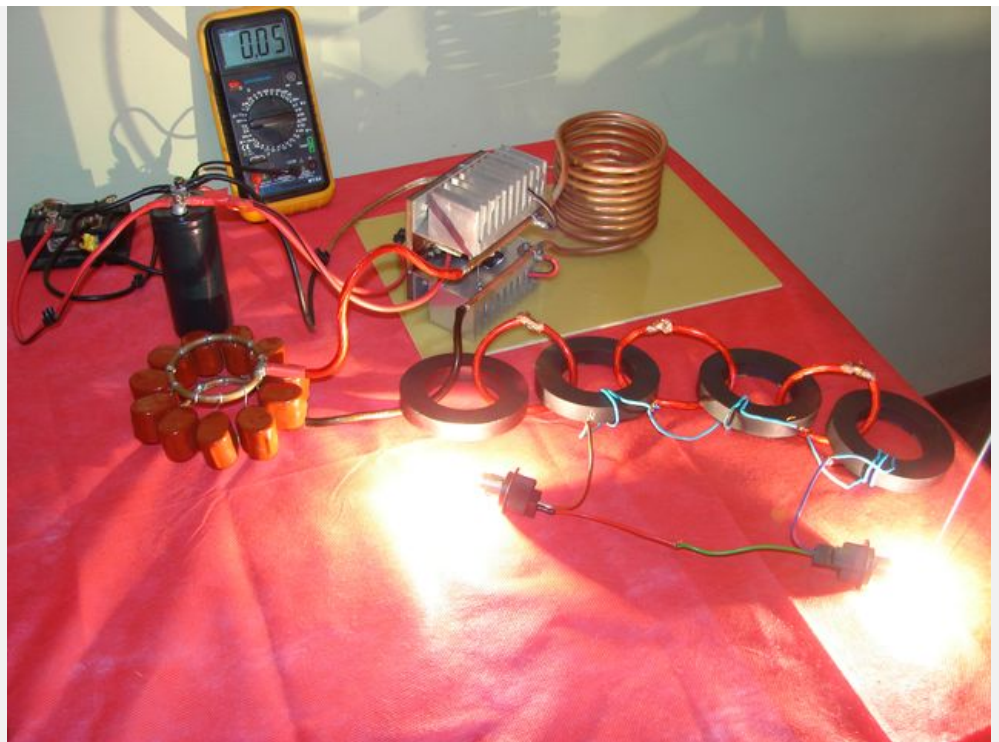
В рассматриваемой схеме использованы IGBT транзисторы IRG4PH40UDPBF, 1200В 41А 40кГц. Собираем устройство состоящее из четырех ферритовых колец. Ток потребления холостого хода Артефакта, достаточного для инициации и поддержания потока 2А. У реки, потока воды, должен быть исток и сток. В данной схеме это провода идущие от одной обкладки конденсатора к другой. На один из проводов и подключен трансформатор тока. Между кольцами устанавливается – связь, это короткозамкнутые витки. Только в случае наличия связи в виде короткозамкнутого витка в ферромагнетике образуется поток. Судить о котором можно по накалу электроламп, например.



Очень внимательно посмотрите на данную фотографию - абсолютно каждый элемент, представляет из себя материал способный создавать магнитное поле в пространстве либо в своей структуре и коротко-замкнутый виток (связь между ними). Подключаемая нагрузка – это так же короткозамкнутый виток, с чуть иными свойствами. А транзисторное включение лишь инициирует и поддерживает поток.

Амперметр в данной серии представлен лишь для количественной оценки. Его значения варьируются в большую либо меньшую сторону в зависимости от нагрева схемы и ферритовых колец. Один ампер это 28 ватт. Амперметр включен через шунт. Коэффициент пересчета один к ста. Если амперметр включить в работающую схему без шунта, в этом случае следует ориентироваться не на сюрреализм в показаниях прибора, а на тональность звук понижающего трансформатора, меняющуюся в зависимости от роста потребляемой из сети мощности.

Соединяем выходы представленных колец последовательно. Ток потребления схемы растет, растет и сила энергии потока. Но что собственно есть ток потребления в рамках концепции Потока? Цель потока – разрушить связи и в конечном счете энергетическую установку. Не мощность, сила (давление) потока усиливается, энергетической установке требуется больше энергии для его компенсации.



Параллельное включение – более спокойный режим, ток потребления снижается. Но и оставлять две лампы в цепи будет некоторым лукавством. Да они будут гореть, но в предыдущем примере одна электролампа в цепи попросту сгорает. Если включить ещё одну лампу в параллель, ток на амперметре опять подрастет.



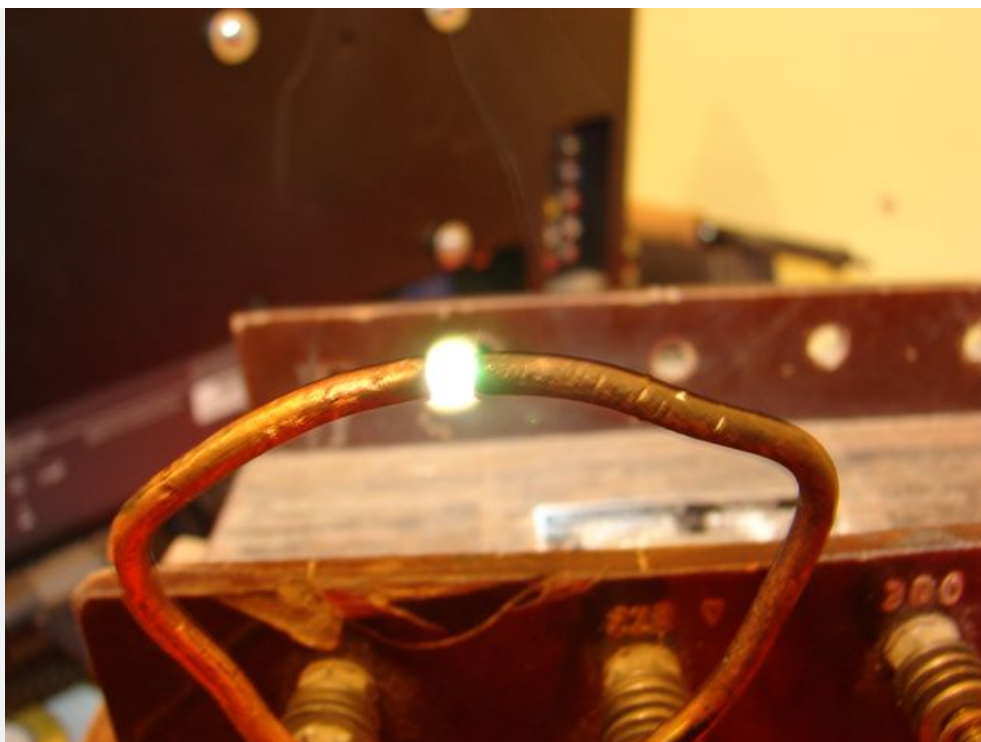
Но настолько ли сильна энергия потока, задался я вопросом и заменил ферритовое кольцо на нерабочий трансформатор купленный для этого случая пару месяцев назад. Не стоит рассматривать трансформатор сообразно сложившимся устоям и традициям как на устройство преобразующее низкий вольтаж в высокий и наоборот. Посмотрите на него как на замену одного из ферритовых колец, что на фотографии выше, гораздо более солидным квадратным собратом.



Ток потребления подрос до семи ампер. Энергия потока тратится на Разогрев десятикилограммового питекантропа. Разогрев как в переносном, так и в прямом смысле. В прямом, потому что через пять шесть часов непрерывной работы этого тяжеловеса потребуется охлаждать. Сделаем маршрут потока более простым и замыкаем витки желто-зеленого провода. Пространственные величины для Потока не имеют никакого значения и ток потребления падает.



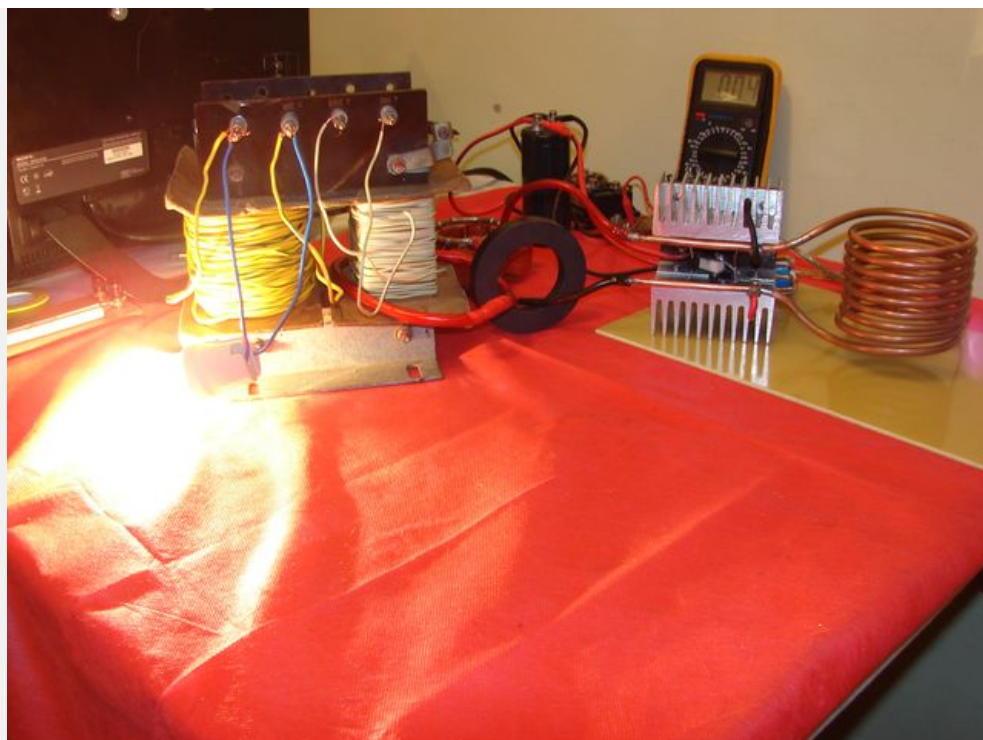
Как выглядит поток в открытом пространстве? В виде искры, которая нагревает оба проводника разрядника. Ранее было показано что после диодного выпрямителя греется только плюс. Искра достаточно интересна, растекается по контактам как маслянистая жидкость под давлением. От прикосновения очень сильный удар током, т.к. пишу летальный исход не гарантирован, будет сильный внутренний ожог тканей, которые будут заживать достаточно долго и болезненно.



На трансформаторе тока размещаем две обмотки. Слева заполнено три ряда, справа один. К обмотке с меньшим количеством витков подключаем лампу 220V60W ток потребления остался на том же уровне, с той лишь разницей, что лампа горит.



Но что будет если использовать обмотку с большим числом витков? Меняем и смотрим на ток потребления. Ток снизился до четырех ампер.



Попытаемся разобраться, что дает использование такого количества металлолома? Замыкаем витки. Поток восстанавливается, ток потребления падает до начального уровня в три ампера. Увеличиваем нагрузку (проверены вариации последовательно-параллельного включения ламп разной мощности) при малом количестве витков, ток потребления останется на прежнем уровне в семь ампер. Увеличиваем число витков, ток потребления схемой начинает снижаться. Увеличение витков связи между ферритовым кольцом и трансформатором ускоряет поток (т.е. увеличивает потенциал), но не оказывает никакого влияния на его мощность. Тупик?!

Скорее так - за что боролись, на то и напоролись. Добились чтобы вторичный контур не оказывал влияния на первичный контур и при этом был возможен съем энергии Потока. Но и снимаемая мощность оказалась зажатой пятью амперами. Если 1 ватт лампы накаливания это попугай. Длина удава сотня попугаев плюс одно попугайское крылышко. И какую бы мощность Вы не получили при создании устройств данного типа этого крылышка всегда не будет хватать - такова специфика Потока.

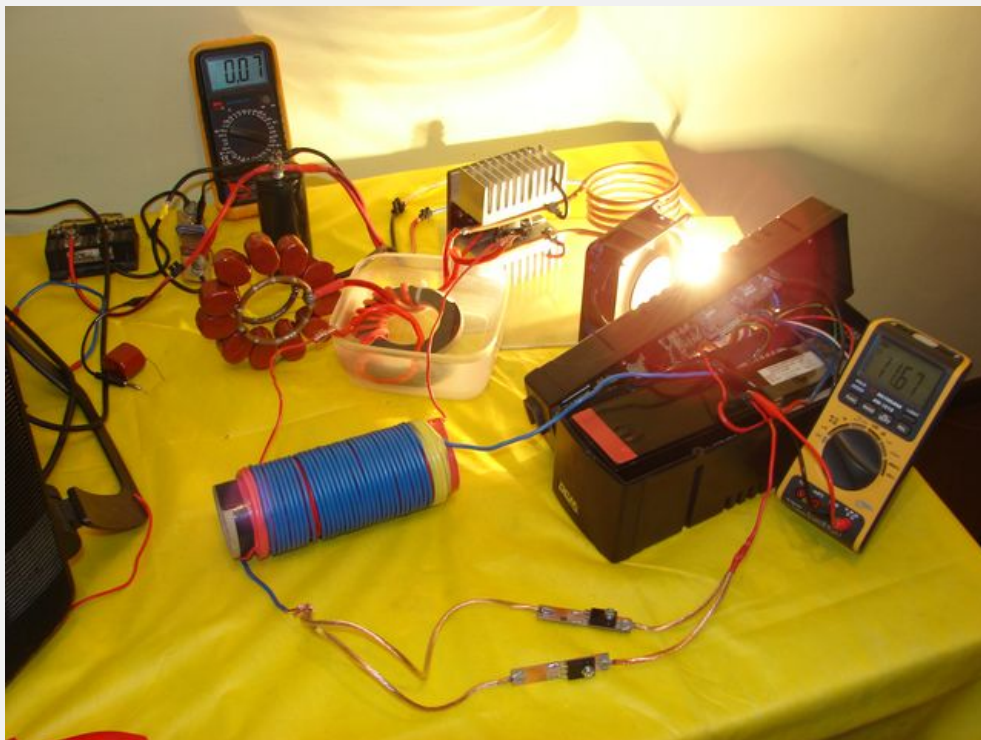
Рассмотренная Выше схемотехника работы с Потоком требует обязательного наличия постоянной нагрузки и балансировки. Разберемся и с этим, но позже, а пока более простое и эффективное решение только на трансформаторе предлагает Гур в платформе N-Gen. На сайте готовых схем можно не искать. Философия автора - Каждый должен сам дойти до понимания энергии Потока, для чего предлагает серию экспериментов и подробные описания. Проведя которые, Вы сможете понять, что из себя представляет данная энергия, на что она способна и как с ней работать.

Успехов всем в изучении платформы N-Gen! Думаю результат превзойдет все Ваши ожидания! Будут вопросы, задавайте их автору платформы, он обязательно на них ответит!
<http://www.freenergy.com.ua/topic/51-gur-i-wanderer-platforma-n-gen-eksperimenty/>

24.12.13 "Стандартные" 220V с трансформатора тока через компьютерный источник бесперебойного питания (ИБП).

К ибп подключены две лампы 220V 95W+60W. Как указывалось ранее - разряда аккумулятора ниже значения указанного на вольтметре не происходит. Скорость разряда равна скорости заряда аккумулятора. В качестве выпрямителей использованы шоттки 80CPQ150 (катод подключен к плюсовой клемме аккумулятора). Шоттки так же следует разместить на радиаторах и добавить ещё пару. Трансформатор тока опущен в водяную ванну, иначе через три-четыре минуты ферритовое кольцо нагревается. Эффективность заряда аккумулятора падает, ИБП выключается. Воздушный трансформатор требует доработок в плане эффективности. В данной версии увеличивает ток потребления на 3-4А - ориентироваться следует на яркость свечения подключенной к воздушному трансформатору эл. лампы 220V. Аккумулятор во время работы не греется. Слегка

нагревается после полного отключения.



В данной схеме использованы IRFP260NPBF, количество витков индуктора уменьшено до четырех. Каждый виток индуктора даёт рост потенциала примерно на сотню вольт. IRFP260 не очень это любят и непредсказуемо горят. В случае необходимости увеличения числа витков индуктора следует переходить на IGBT. На восьми витках (сток-исток 800V) проверены IRG4PH40UDPBF. Сопротивление на затворе увеличено до 470 ом. Больше число витков индуктора дает более высокий потенциал но низкий ток потребления холостого хода схемы - до 2А, соответственно меньший нагрев радиаторов и проводников. Уменьшение витков индуктора до четырех, снизило частоту с 80-100кГц до 60кГц, но вырос ток холостого хода до 4А, соответственно греется всё. Но IRFP260NPBF поспортивней IGBT, хотя и потребует дополнительной системы охлаждения или отвода тепла.

29.12.13 Индукционный обогреватель.

Температурный максимум радиатора отопления в данной реализации - 49С. Температурный диапазон перенесен в низкотемпературную зону. Скорость нагрева 3 градуса за 5 минут. Рабочий цикл установки. Нагрев с 35С, до 47С - 30 минут. За 30 минут радиатор отопления остыл с 42С до 36,9С



Ток потребления при первых запусках 10А, при последующих 15А. Причина роста тока потребления мне неизвестна. Напряжение на конденсаторе (47000мкФ*60V) подключенного к диодному мосту 24,7V. Сильно греется индуктор и провода идущие к конденсаторам. Поэтому на радиаторы был установлен вентилятор охлаждения. В последствии будет реализовано водяное охлаждение индуктора и конденсаторов.

Тепловая мощность используемого среднетемпературного радиатора отопления (70/55) (Для более точной информации по радиаторам следует прочитать статью по ссылке: http://ostroykevse.ru/Otoplenie/Otoplenie_31.html) $190\text{Ватт} * 6 = 1,14\text{Квт}$. Потребляемая мощность $24,7\text{V} * 15 = 370\text{W}$, Коэффициент преобразования электрической мощности в тепловую 3,08.

Анализ работы установки..

Примерный расчет. Округляем потребляемую мощность до 400W и считаем, что цикл нагрева равен циклу охлаждения радиатора. Рабочий цикл установки нагрев с 35 градусов до 49 и затем охлаждение (отключение индукционного нагрева от сети) равны 30 минутам. В сутки радиатор должен работать не менее 12 часов. При соблюдении строительных норм на теплоизоляцию помещений предлагается упрощенная формула расчета. Для обогрева 10 квадратных метров жилой площади необходим 1кВт тепловой мощности. Для обогрева 100 квадратов потребуется десять установок индукционного нагрева которые будут потреблять $4\text{кВт} * 12 = 48\text{киловатт часов}$.

Так же верно и то, что причина прекращения роста температуры радиатора отопления - начало активной теплоотдачи. На лицо явный недостаток электрической мощности необходимой для обеспечения дальнейшего роста температуры.

Строительный алебастр (гипс) разводится и заливается в форму с установленной в него трубой. После остывания мы получаем гипсовую форму которая дает необходимый размер внутренней части индуктора. Поскольку нагрев происходит в объеме металла, гипсовую форму греть нет необходимости, перед заливкой гипсом трубу отопления следует обернуть асбестом либо стекловолокном.

При установке индуктора на металлическую трубу отопления отмечен рост потребления тока на 30-40 процентов. Причина - возникает замкнутый контур по металлическим трубам отопления.

Если установка размещена вблизи телевизора наблюдаются помехи на некоторых TV каналах. В моём случае система отопления будет размещена в полуподвальном помещении, влияние Э/М излучения в жилой зоне отмечено не было.

04.01.14 Спиральный индуктор.

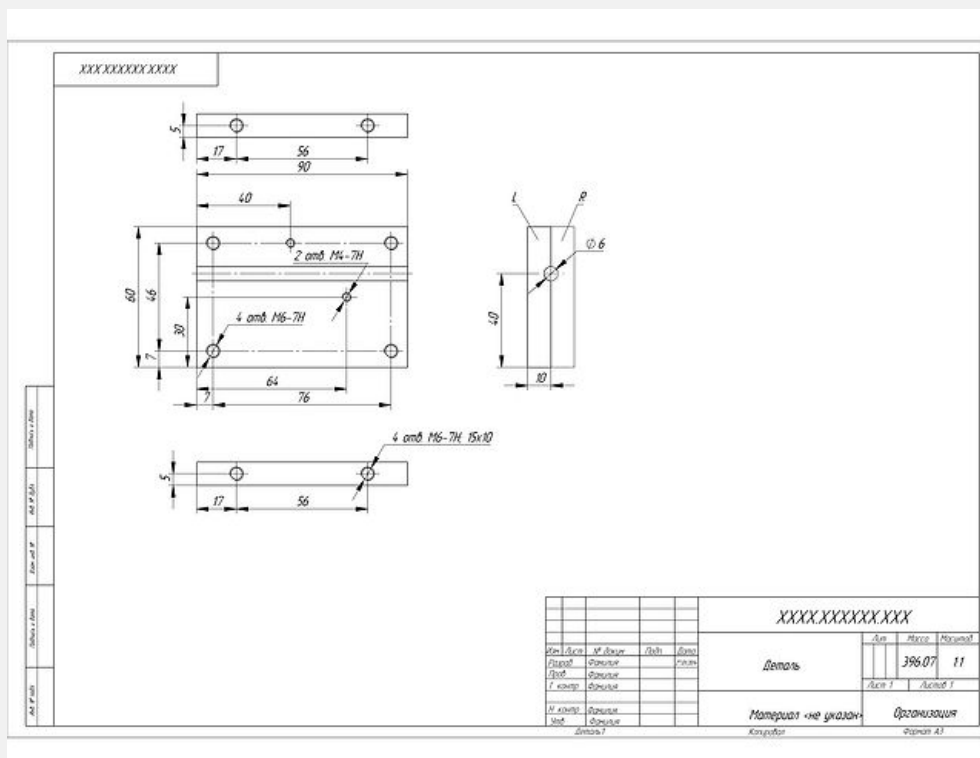
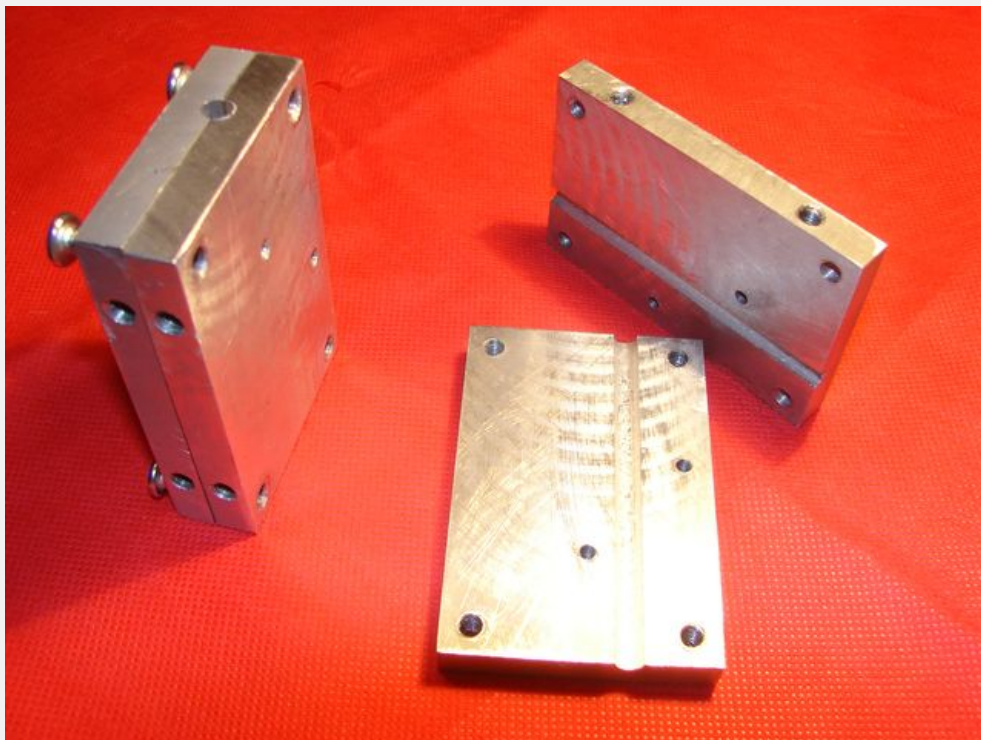
Если использовать индуктор в виде соленоида и нагревать трубу отопления проходящую внутри индуктора обязательна гальваническая развязка - необходимо делать сегмент трубы из пластика и внутри размещать нагреваемый металл. Проверен индуктор, намотанный по спирали. Нагрев происходит вдоль всей площади индуктора.



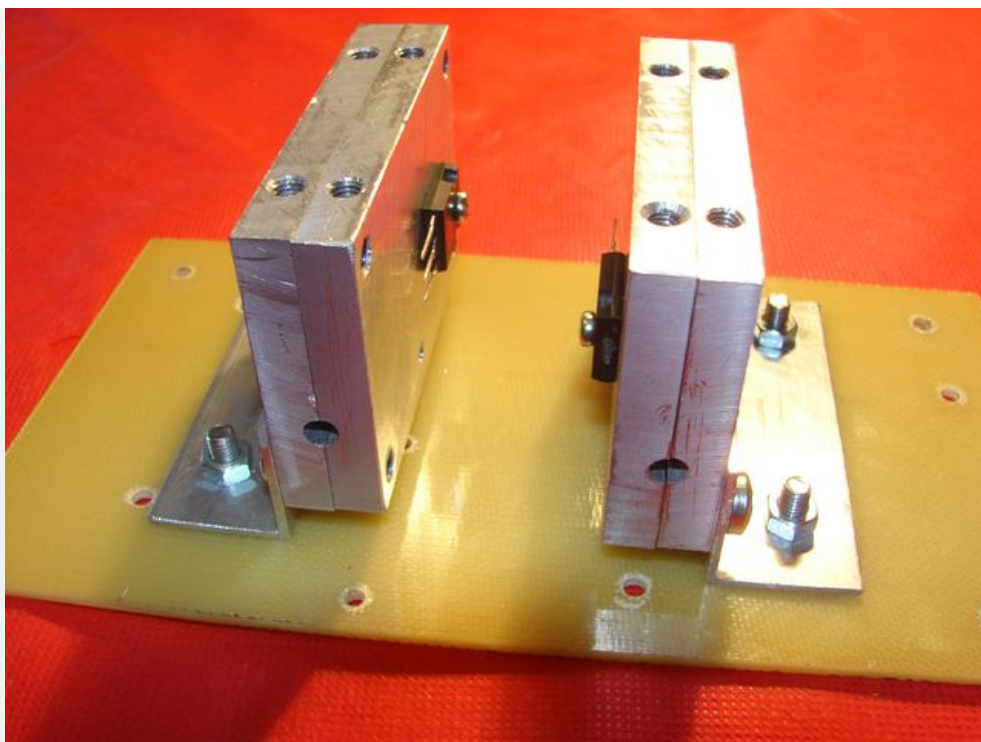
Индуктор большего размера - дает меньший ток холостого хода, меньше греется сам. Регулировка мощности нагрева магнитным полем осуществляется приближением или удалением индуктора от нагреваемой поверхности. Соответственно при приближении ток потребления растёт, нагрев происходит быстрее. С обратной стороны индуктора возможно размещение ферритовых сердечников от которых будет отражаться магнитное поле и это даст дополнительный нагрев.



16.02.14 Радиаторы.



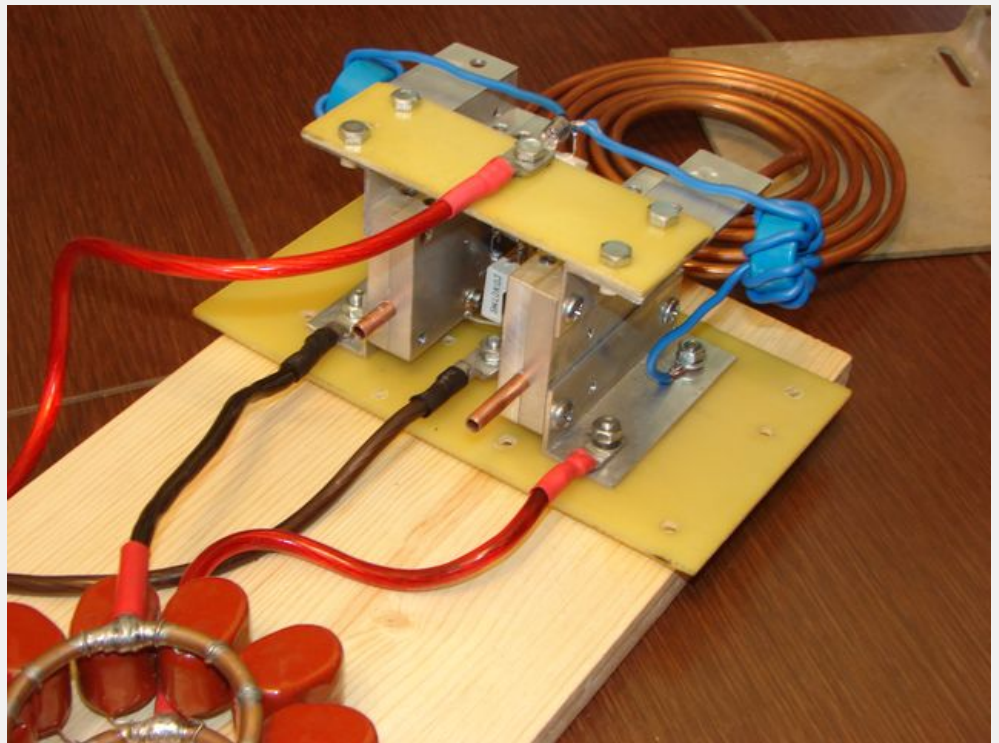
Отверстия с торцов – ненужное излишество. Сквозная резьба М6 по углам радиаторов доставляет массу не удобств, а вот М4, расположенную в нижней части радиатора следует перенести зеркально в верхнюю часть.



21.02.14 Mazzilli ZVS flyback driver.

Использована хорошо известная в узких кругах схема Mazzilli ZVS flyback driver. Транзисторы заменены на IRG7PH42UDPBF, IGBT 1200В 85А TO247AC, Диоды - VS-10ETS12 PBF, в затворе транзисторов ограничивающий диод (стабилитрон/стабистор) 1.5KE12. (Для данного транзистора IRG7PH42UDPBF 1.5ke6.8) Индуктивность ферритового кольца подключенного к средней точки индуктора - 270mH.

Стресс тесты со средней точкой не проводились. 27V*10A схема работает стабильно. Максимальный нагрев во внутренней части медной спирали. Схема требует охлаждения, при перегреве транзисторов ток потребления падает. Частота работы схеме при нагреве 49-50кГц. Проверена работа схемы с двумя дросселями: [500W Royer induction heater](#) Это позволит отказаться от средней точки и сделает индуктор более компактным. Транзисторы IGBT IRG7PH42UDPBF в схеме с двумя дросселями сгорают сразу.



Целесообразность использования IGBT транзисторов в схемах FlyBack можно рассмотреть на примере транзистора IRG4PH50UD. При включении данного транзистора (питание DC22V) в схеме с двумя дросселями и подведении заготовки к индуктору, ток вырастает до пяти ампер. Дальнейшее приближение заготовки ведет к увеличению тока потребления и на шести амперах приводит к выходу транзисторов из строя. Если обратиться к описанию режимов работы данного транзистора. То видно, что при увеличении частоты уменьшается ток, который транзистор способен выдерживать без вреда для собственного здоровья. Частота работы схемы порядка 50 кГц, ток 5A.

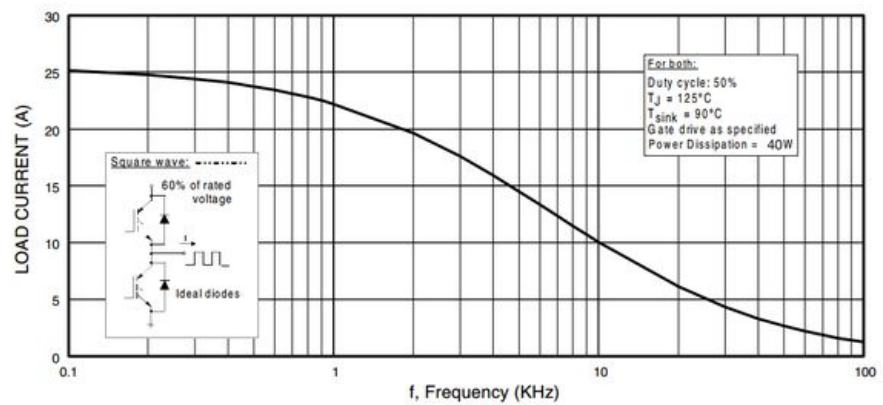


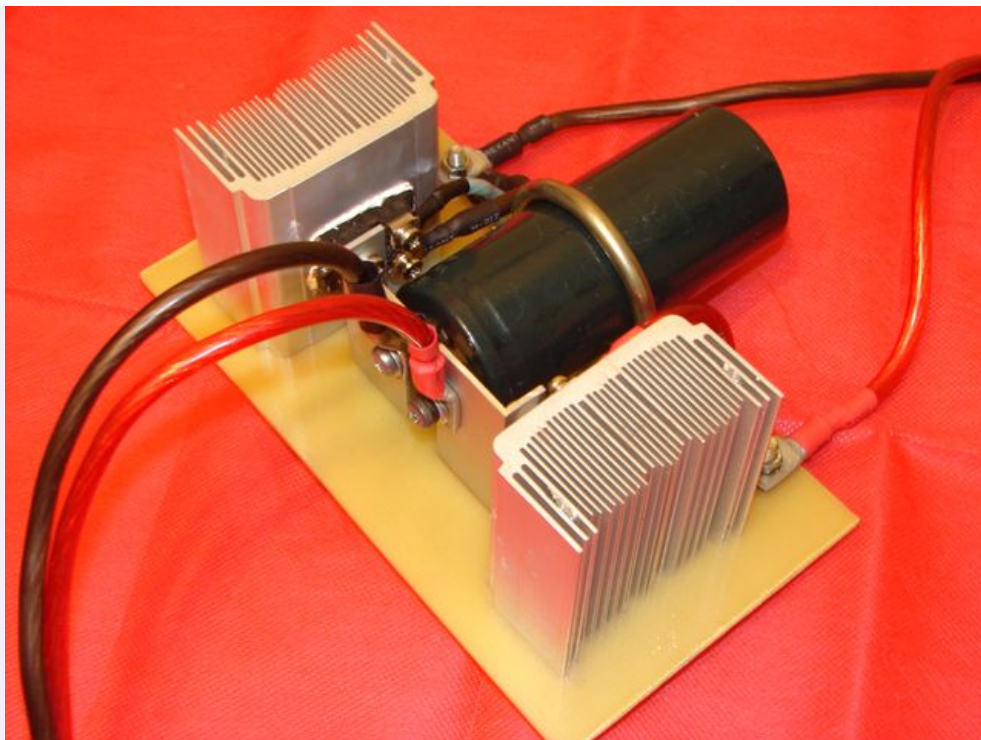
Fig. 1 - Typical Load Current vs. Frequency
(Load Current = I_{RMS} of fundamental)

Для циркуляции воды в индукторе и охлаждении радиаторов использован насос омывателя лобового стекла автомобиля и прилагаемая фурнитура. Насос шумный, подлежит замене. Слева амперметр, справа термометр. Датчик термометра прикреплен черной изолянткой к краю теплообменника. Ток потребления 11А, напряжение на конденсаторе 22V. Режим работы схемы штатный нагрев радиаторов - 30-40 градусов.



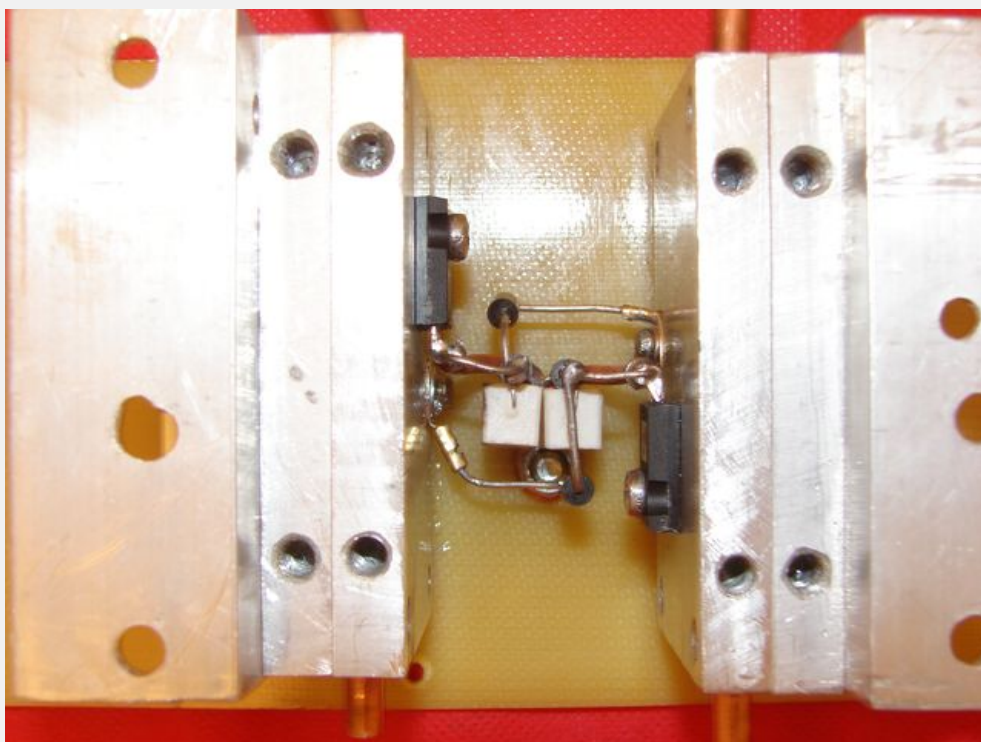
07.03.14 Выпрямитель.

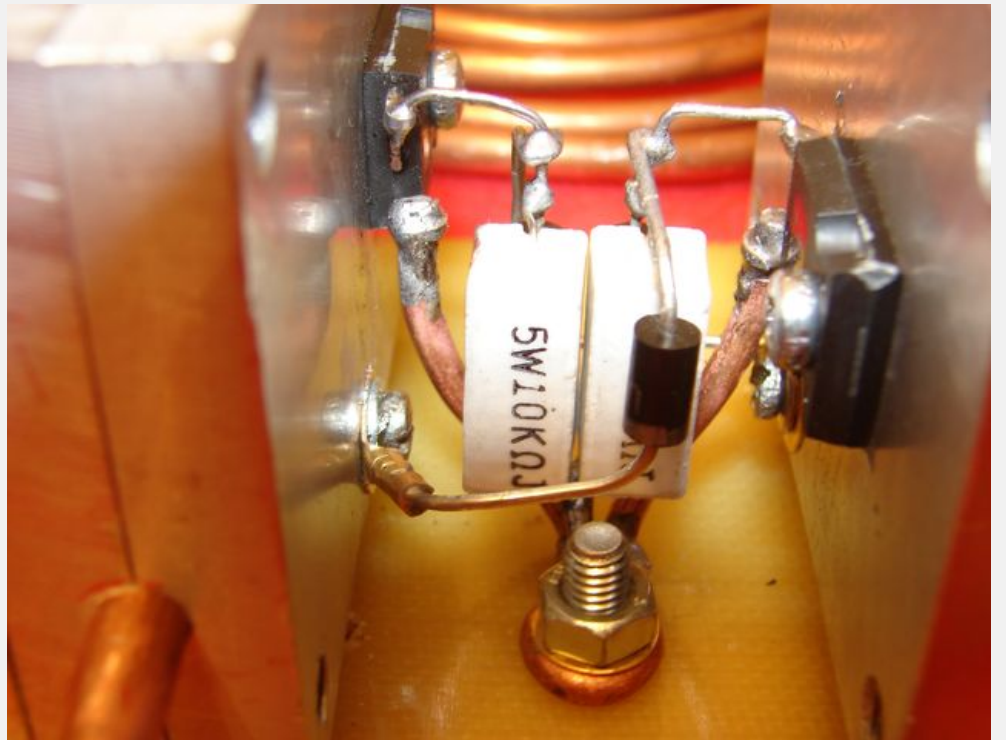
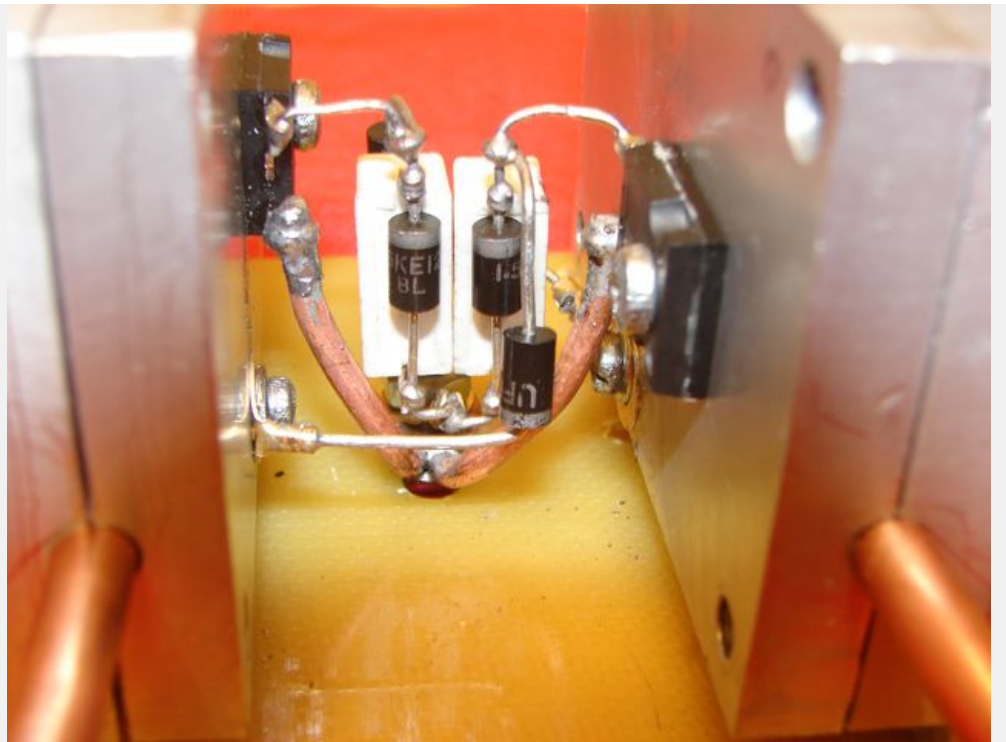
Выпрямитель - две сборки из диодов шоттки STPS80H100TV. (2x40A 100V) Без радиаторов при токе 15-20А сильный нагрев.



11.03.14 Монтаж.

Вся схема Mazzilli ZVS flyback без особых сложностей размещается между пластинами радиатора. Отверстия для крепления диодов [UF5408](#) оптимально сделать в верхней части радиатора. Транзисторы - IRFP460. Все отверстия в транзисторах рассверливаются под винт M4, Отверстия под метчик M4 в алюминии просверлены сверлом 3.3мм.

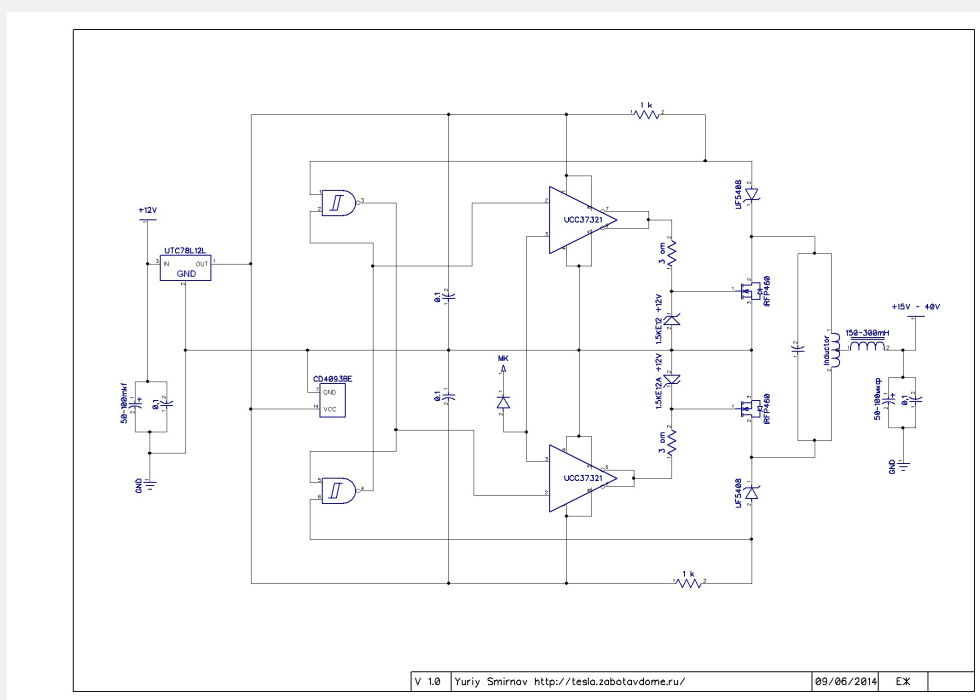




Комментарий к схеме.

С триггера Шмитта идут прямоугольные импульсы у которых длительность единицы не равна длительности нуля за счет гистерезиса при включении и выключении. Например, в единицу он встанет при подаче на вход к примеру 1 вольт, но в ноль он при 0,9 вольта не вернется, ему нужно подать на вход, допустим 0,1 вольта, т.е. пороги нуля и единицы разные, и гистерезис составит в этом примере 0,9 вольта. В этом пределе вход оказывается нечувствительным, помеха в пол вольта на триггер не подействует. Поэтому при подаче на вход к примеру синусоиды, он не будет кувыркаться в районе нуля. Из-за этого длительности нуля и единицы разные.

Анализ осциллограмм показывает, что меандр, идущий с триггера шмитта при использовании драйверов UCC37322 следует перевернуть. При использовании драйверов UCC37322 триггере есть два свободных элемента, их можно использовать в качестве инверторов. При запуске, в первый момент иногда видна высокая частота, но запуск всегда с первого раза. Схема работает изумительно. При 15 вольтах ток холостого хода 1,5 ампера. Транзисторы холодные.



[Схема нагревателя ЕЖ в DipTrace. Монтаж последней версии печатной платы в файле eg.dip](#)

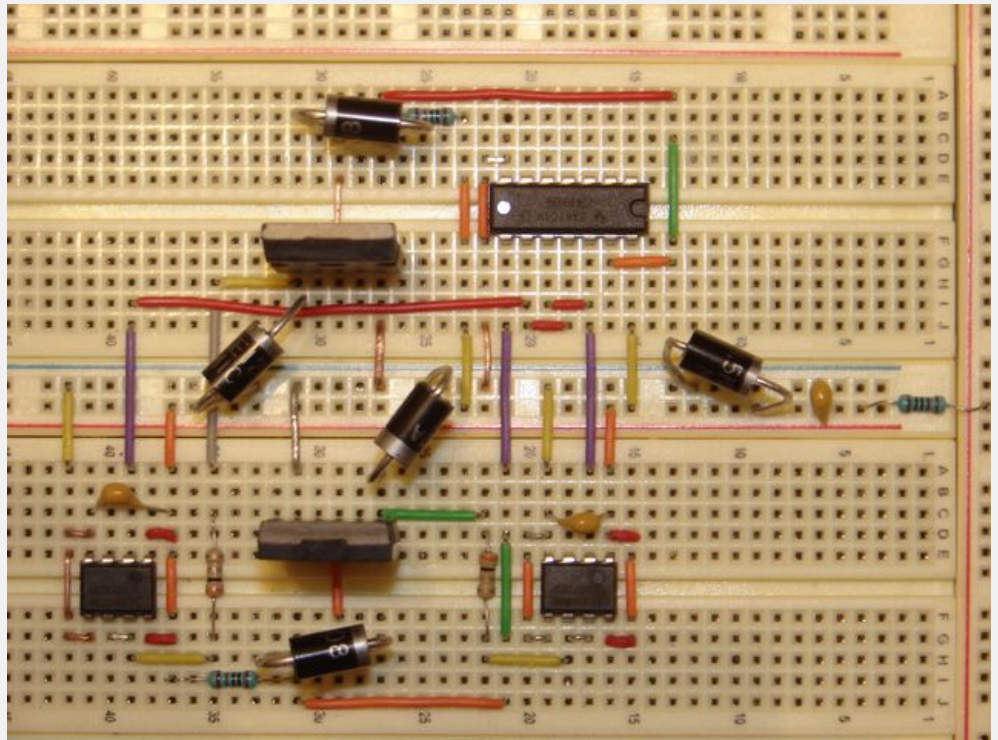
При использовании драйверов UCC37322 триггере есть два свободных элемента, их можно использовать в качестве инверторов.

Данные замечания следует учесть при работе с аналогичной схемотехникой индукционных нагревателей предлагаемой компанией [fluxion](http://www.fluxion.com/Induction/Roy/Roy.htm) Описание проекта по адресу: <http://www.fluxion.com/Induction/Roy/Roy.htm>

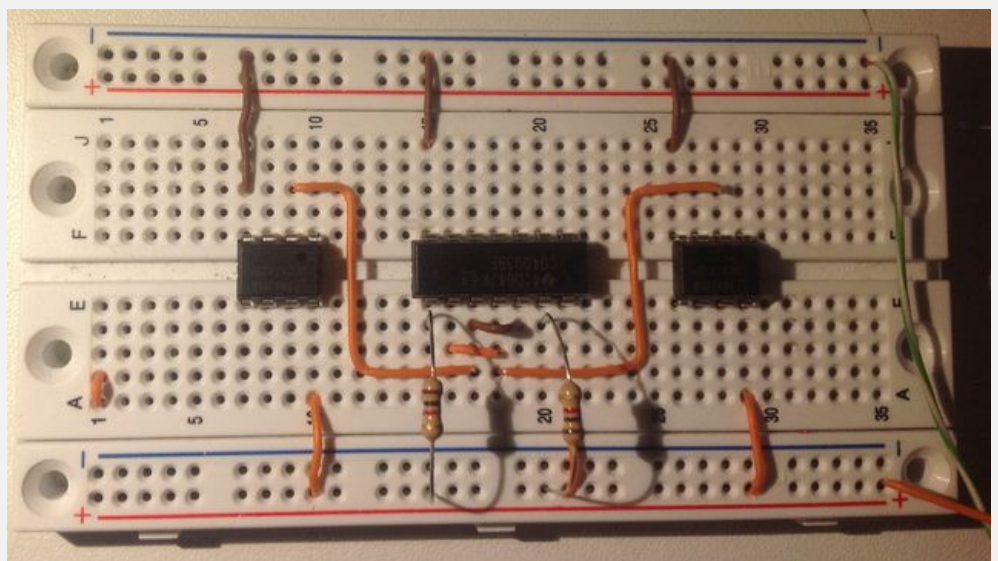
21.03.14 Работа над макетом оригинального варианта схемы.

- Диоды UF5408 впаивать в последнюю очередь, триггер в передпоследнюю
- Без установленного триггера CD4093 между стоком и плюсом силового источника питания включить две лампы 12V
- Если на управляющий вход каждого драйвера, 2-я нога, подать положительное управляющее напряжение транзистор открывается, лампа горит. При замыкании на ноль, транзистор закрывается лампа гаснет.
- Установить триггер. При последовательной подаче нуля на каждый из управляющих входов триггера, лампа одного плеча гаснет, второго загорается. Две лампы одновременно не горят.

- Впаять диод, конденсаторы индуктор. Схема готова к работе. Рабочая, версия печатной платы в DipTrace и различные варианты монтажа приведены ниже.

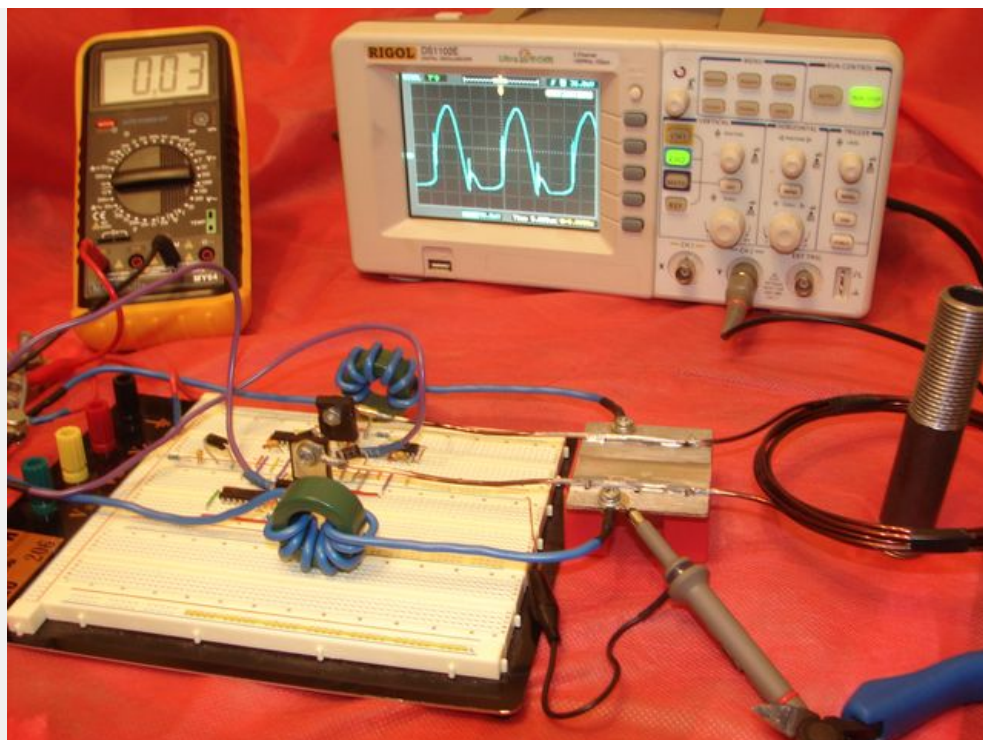


При размещении триггера и драйверов, следует ориентироваться на макет предложенный автором схемы.

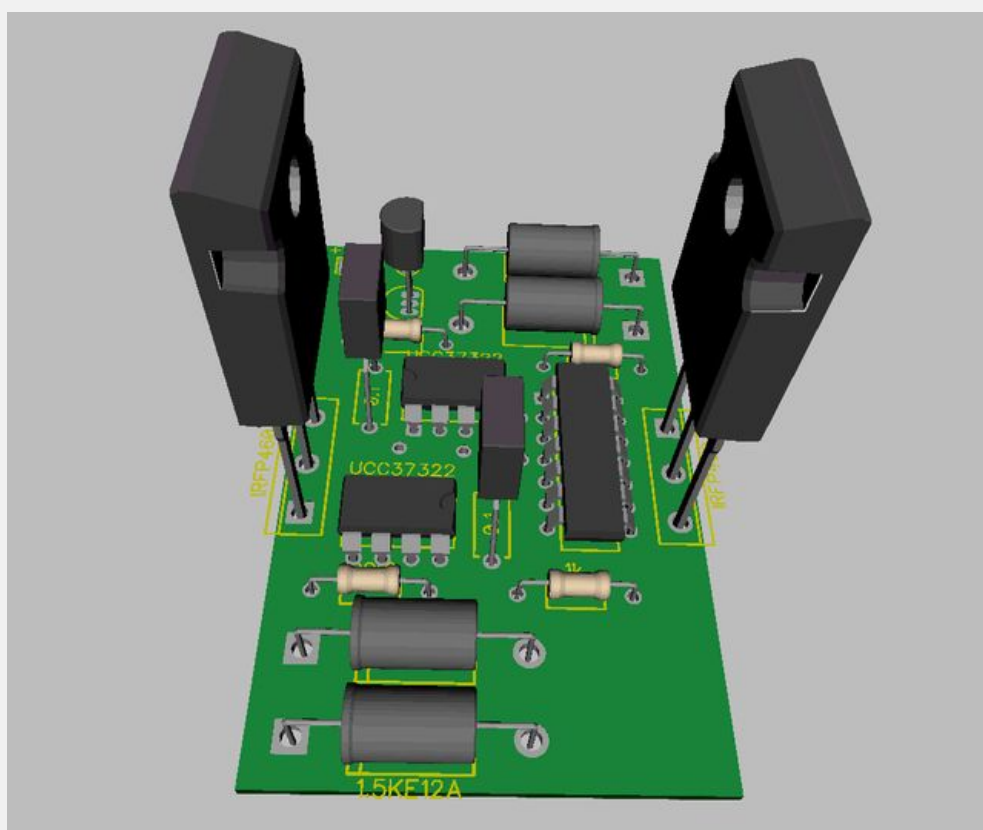


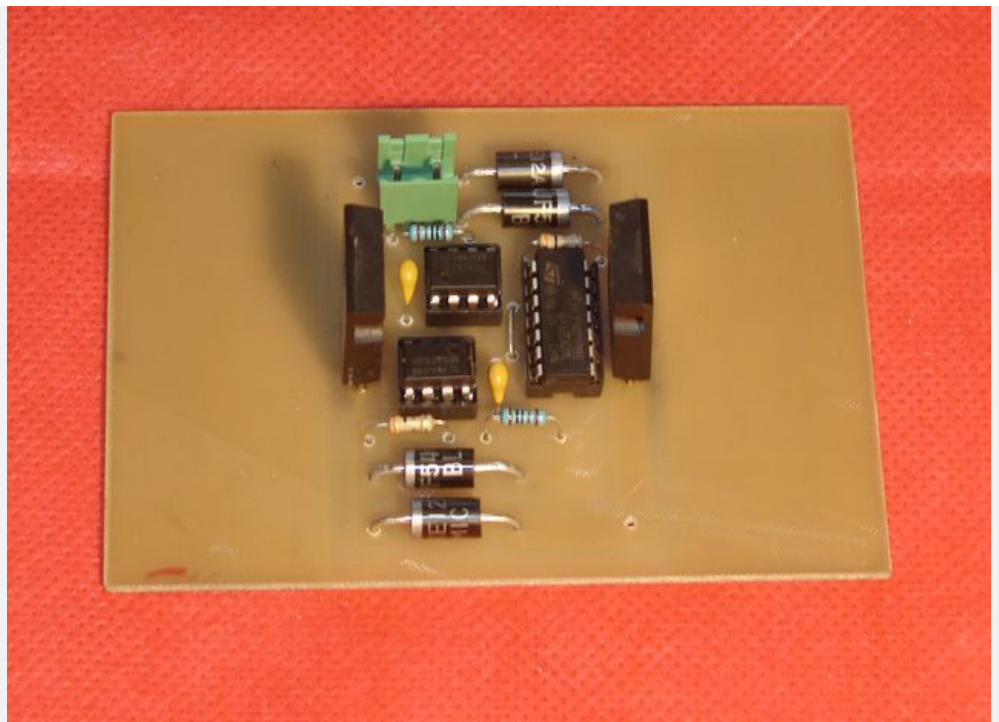
22.03.14 Проверка схемы.

На схему управления следует подавать независимое от силовой части (индуктор-конденсаторы) питание в 12V. Ток потребления схемы управления ниже чувствительности мультиметра (третий знак). В этом случае схема работает стабильно, запуск генерации происходит без проблем. Работа индуктора проверена на 12VDC*10A. Конденсаторы 2мКф, индуктивность каждого из колец дросселя порядка 500мН.



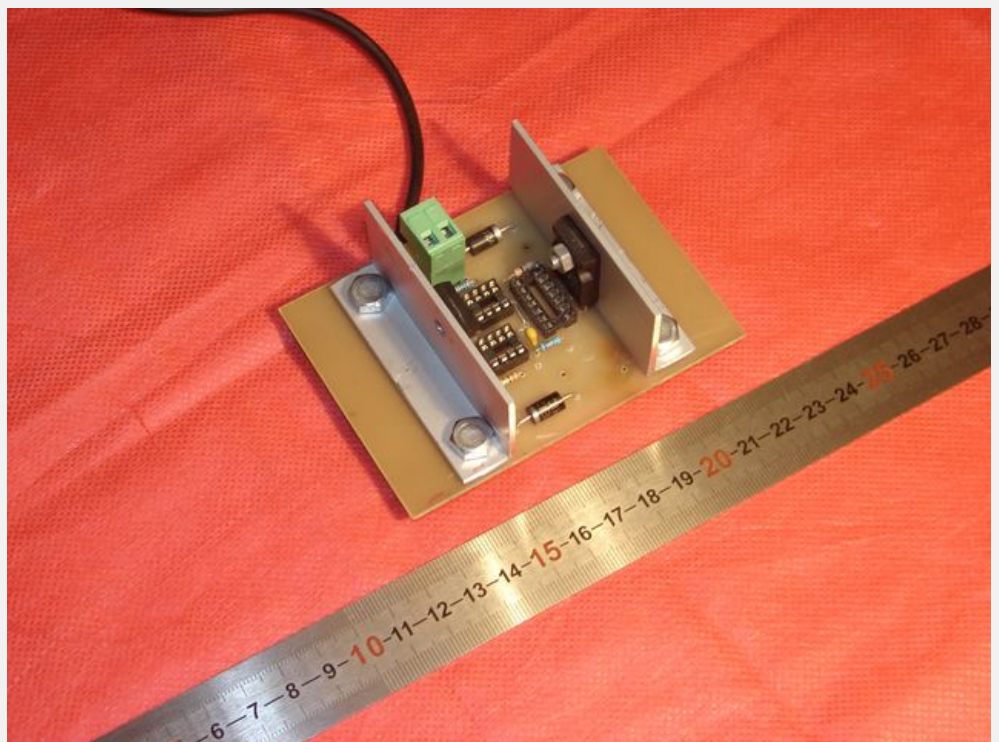
31.03.14 Для первого раза сойдет.

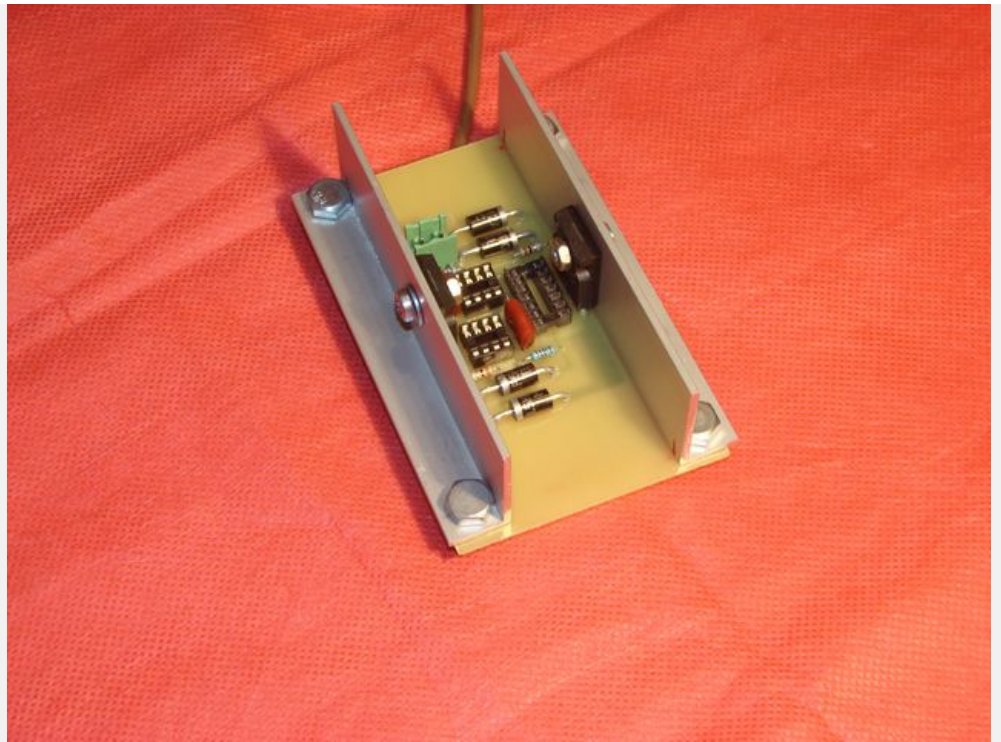


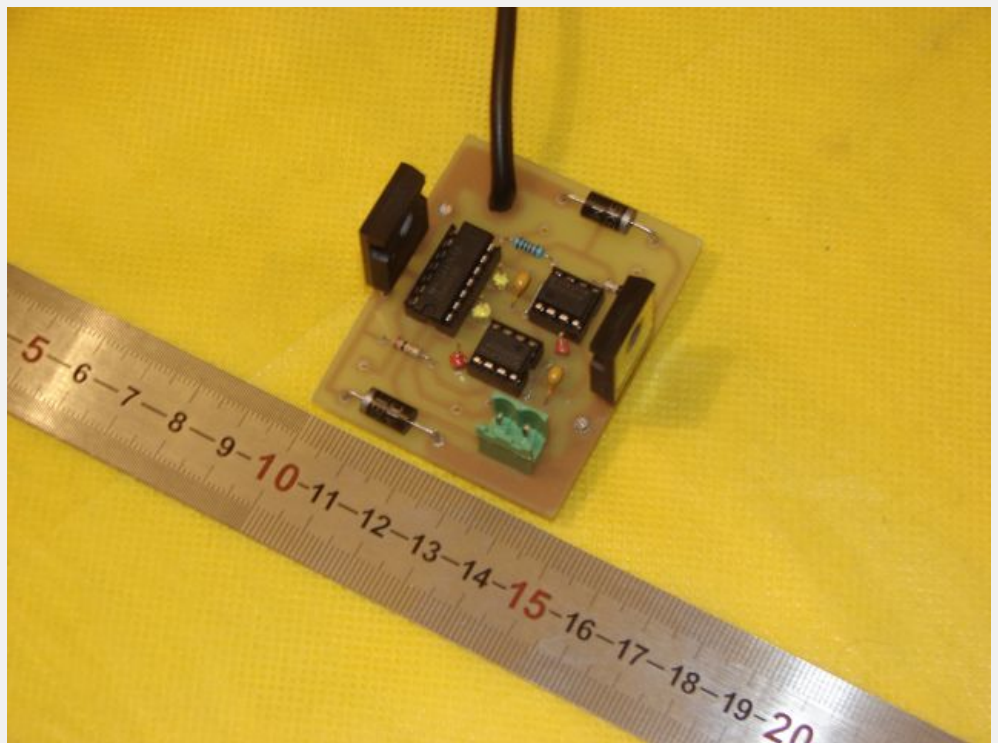
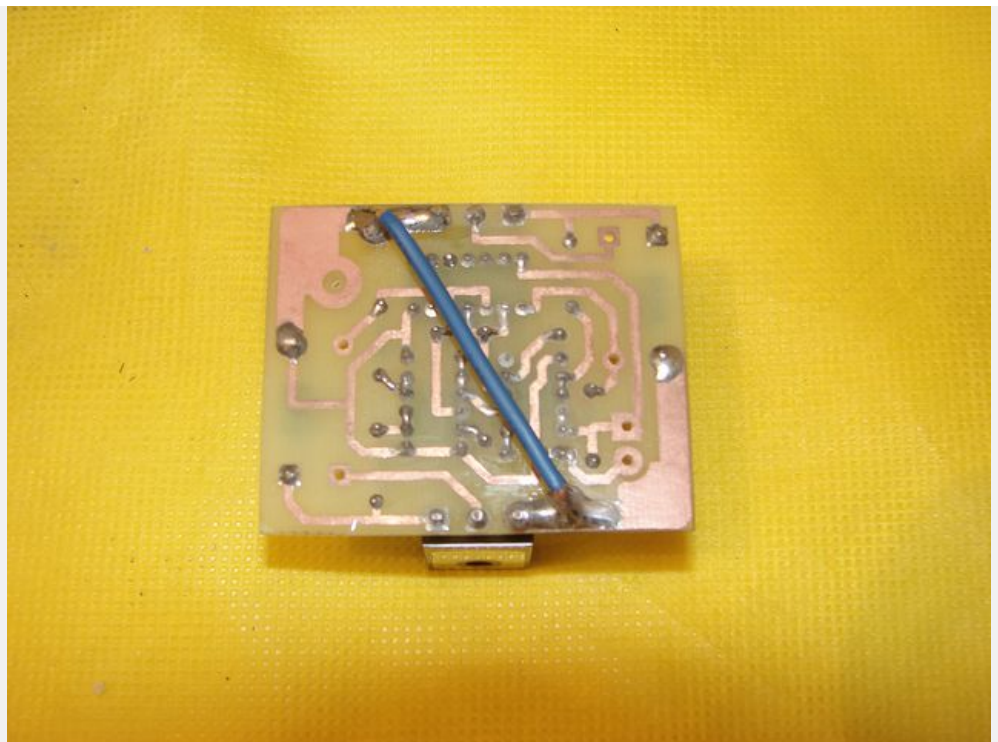


13.04.14 Варианты монтажа.

Схема достаточно компактна. Допускает как горизонтальное так и вертикальное крепление между радиаторами. В дальнейшем драйвер будет заменён на UCC37321 без каких либо внешних изменений.



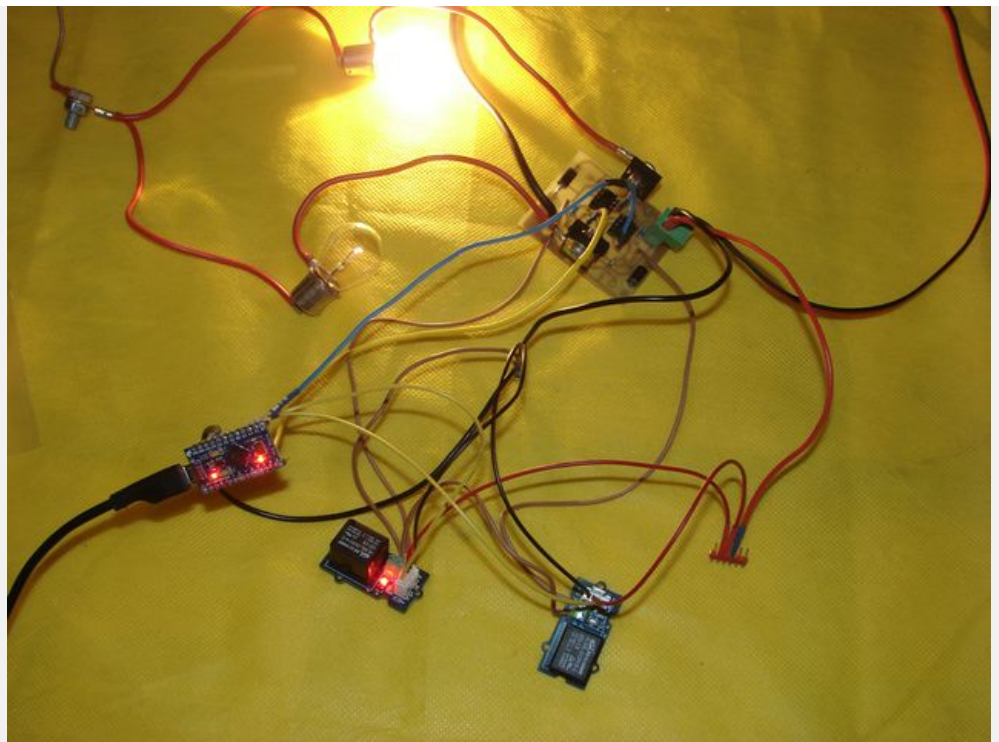




23.05.14 Микроконтроллер Arduino Pro Micro.

Введение в схему в качестве управляющего элемента микроконтроллера обусловлено следующими причинами. При экспериментах, подборах индукторов, емкостей происходит срыв генерации. Транзистор открыт и при отсутствии источника питания с ограничением по току - это короткое замыкание и выход транзисторов из строя. В индукционном нагревателе микроконтроллер послужит целям поддержания установленной температуры, включению по времени и прочим сервисным функциям. Выбор открытой платформы [Arduino Pro Micro ATmega32U4](#) обусловлен его низкой ценой, простотой программирования, наличием большого количества документации.

Управлять силовой частью схемы позволяет наличие в драйвере возможности его отключения подачей нуля на третью, управляющую ногу. На этапе реализации алгоритма работы программы реальные частоты усложняют отладку, поэтому был собран стенд.

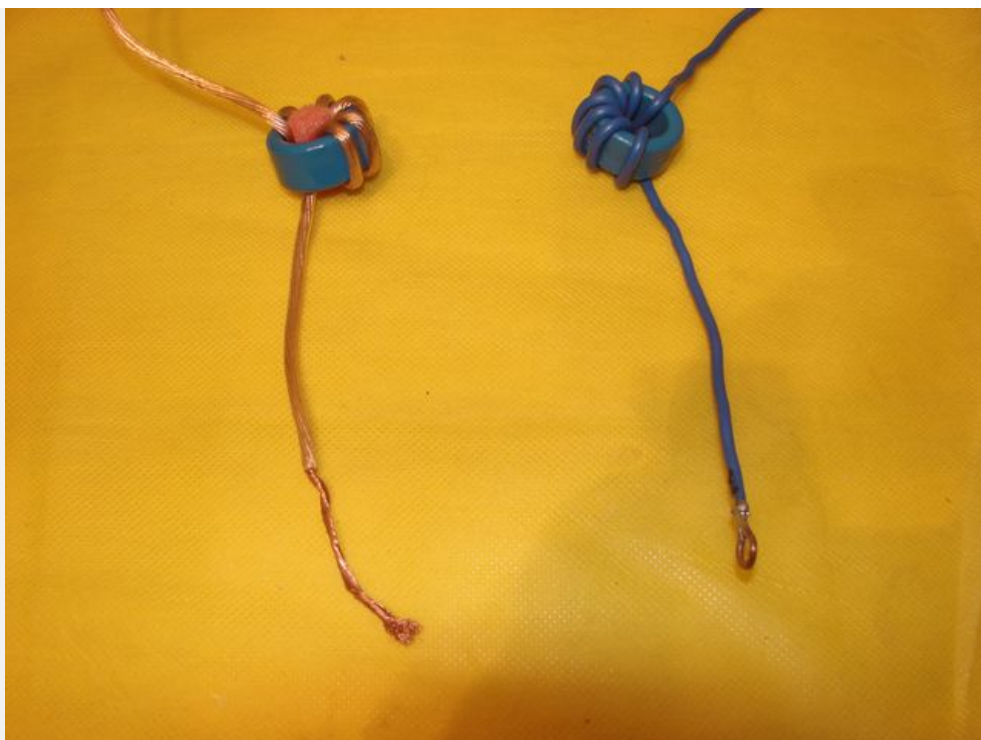


Примечания по подключению контроллера.

- Ток потребления контроллером 40mA, при температуре эксплуатации в 25 градусов будет работать 100 лет, при 85 градусах 25 лет.
- Если количество контроллеров ограничено, следует работать с контроллером через интерфейс USB исключительно с ноутбука с питанием его от батареи. Причина - отсутствие гальванической развязки. Между нулем USB и нулём силового импульсного источника питания присутствует потенциал. Следствие - частичное либо полное выгорание контроллера.
- Подключать контроллер к схеме управления следует через диод. Схема начинает работать стабильней, четче. Для третьей ноги драйвера - стрелочка диода в направлении контроллера. Для второй ноги драйвера стрелочка к схеме.

27.05.14 Назначение дросселя.

Использование двух дросселей без средней точки в реализуемой схеме не целесообразно и в дальнейшем использоваться не будет. Качество выходного сигнала и стабильность работы схемы в случае одного дросселя и средней точки на индукторе значительно выше.



"Вот потек ток через дроссель, через 200 мкн. Для переменного тока это определенное сопротивление. Сердечник насытился и индуктивность стала 2 мкн, для той же переменки сопротивление стало равно нулю. И чего хорошего будет, если через транзистор попер ток короткого замыкания? Хорошо транзисторы мощные, терпят, а когда потекут токи на реальной мощности? Транзисторам конец придет. И еще от величины индуктивности зависит пинк, который получает контур при закрытии транзистора. Нет индуктивности, нет пинка, в общем, все плохо."

Настоятельная рекомендация к дросселю в данной схеме - нельзя мотать сильно токовые вещи на замкнутом магнитопроводе, магнитопровод уходит в насыщение и перестает быть индуктивностью. Магнитопровод должен быть разомкнут! Варианты - мотать дроссель сверху кольца, использовать ферритовый стержень, использовать частично разобранный трансформатор компьютерного блока питания.

Большая емкость конденсатора на входе силового питания "убирает" всю резкость подачи питания - схема не запускается. Если схема не запустилась сразу, нажмите кнопку блокировки - подача нуля на третью ногу драйверов.

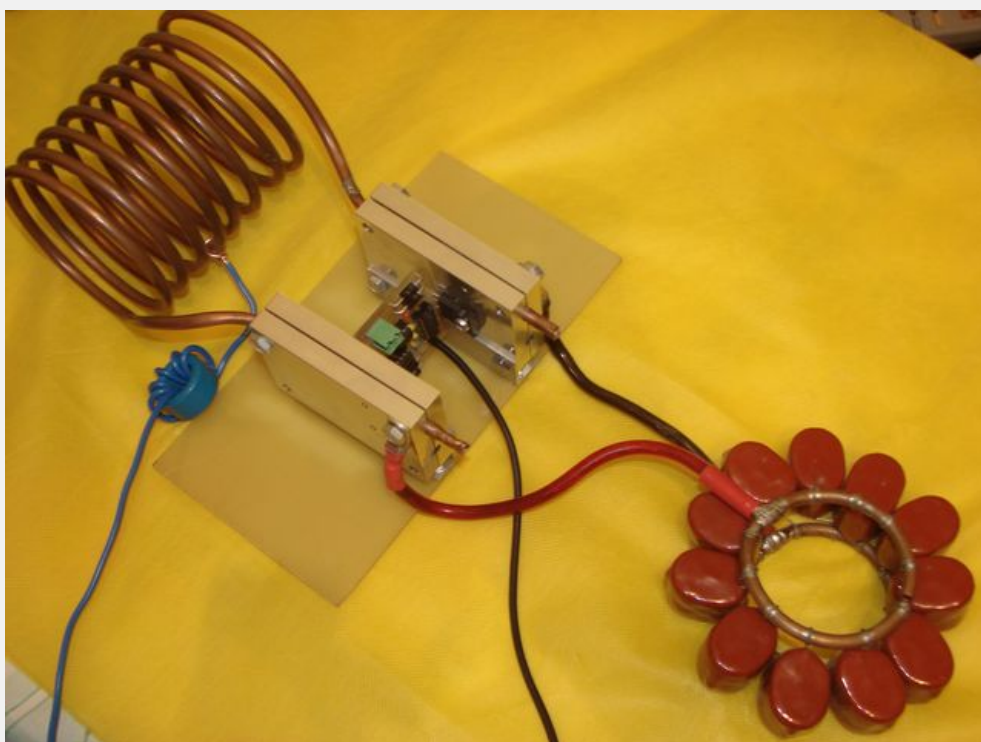
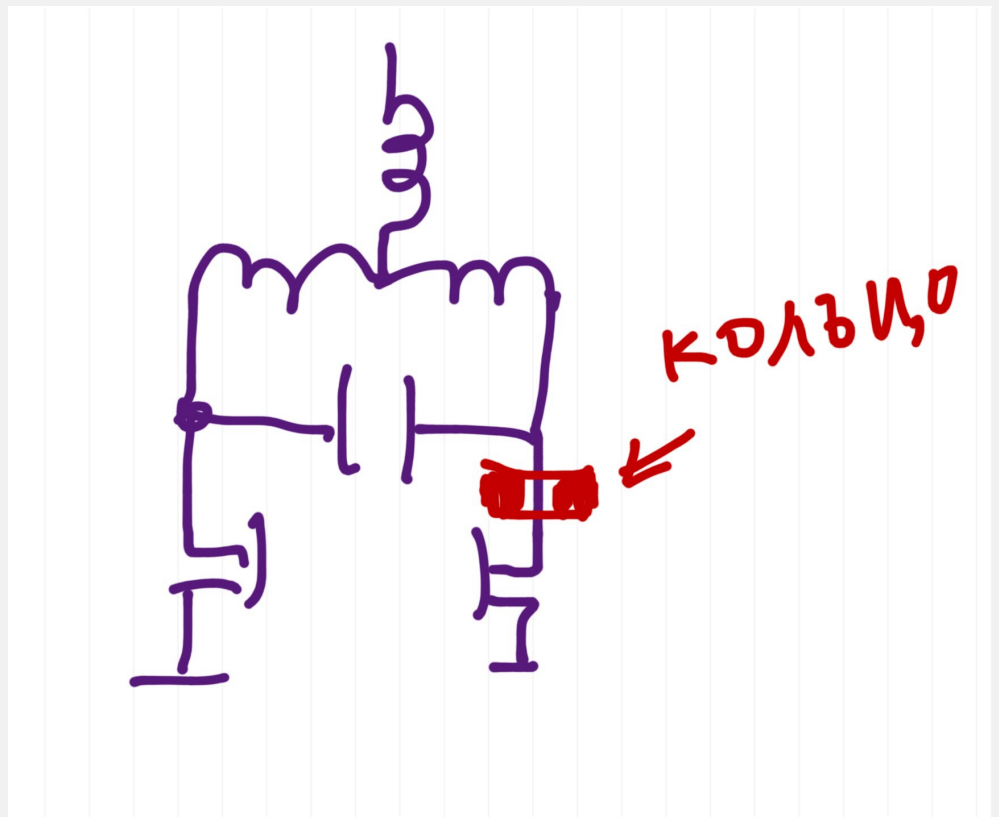
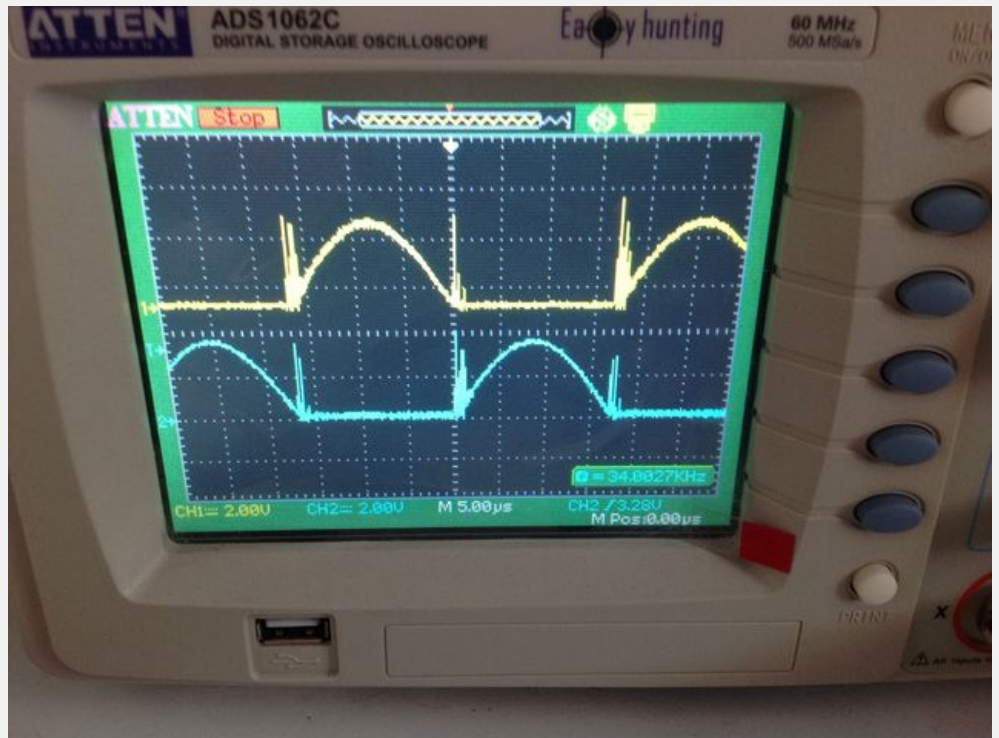
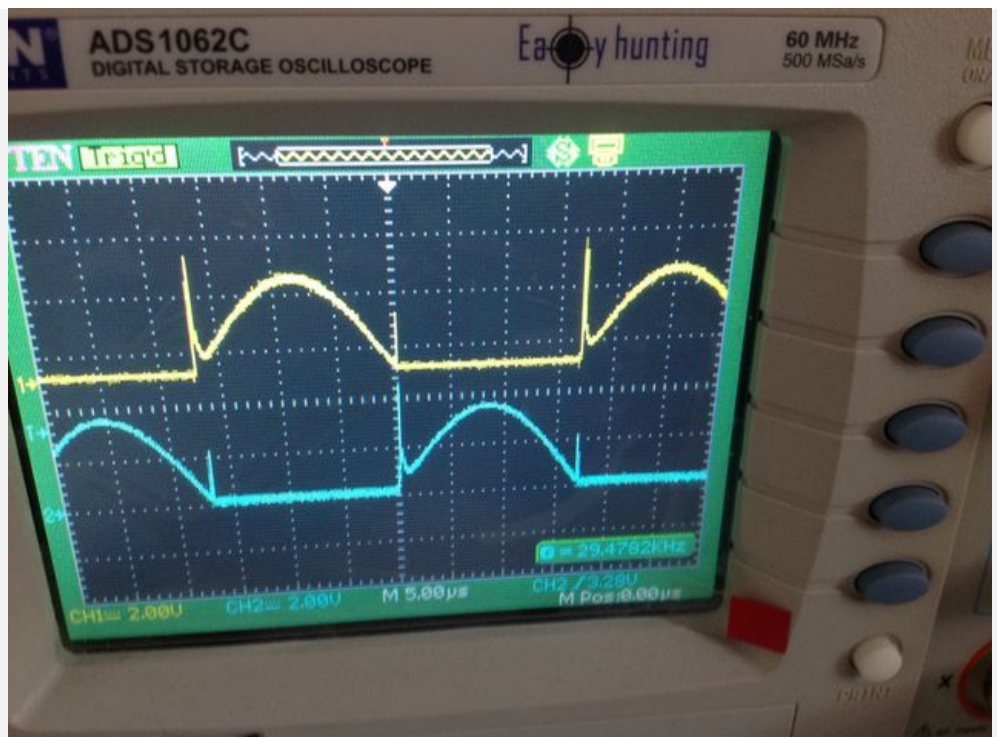


Схема запускается сразу, срывов генерации пока не отмечено. Ток холостого хода при 12V менее одного ампера. Нагрев заготовки начинается при токе $12V \times 2A$. Работа схемы на токах 10-15A пока не проверялась.

Это осциллограммы на обоих стоках одновременно, видно, как один транзистор открыт, а второй закрыт и на стоке отрабатывается половина синусоиды, когда первый транзистор закрывается, он дает всплеск обратного хода, пинок контуру, который мы видим.





Когда транзистор закрылся, у него есть паразитная емкость сток-исток несколько тысяч пик и есть наш индуктор, получается как раз удар между ними и начинаются затухающие колебания на частоте индуктора и паразитной емкости. Введя кольцо в провод стока мы сильно увеличиваем индуктивность этого провода, тем самым сдвигая частоту этой паразитки вниз, и нет множества нулей.

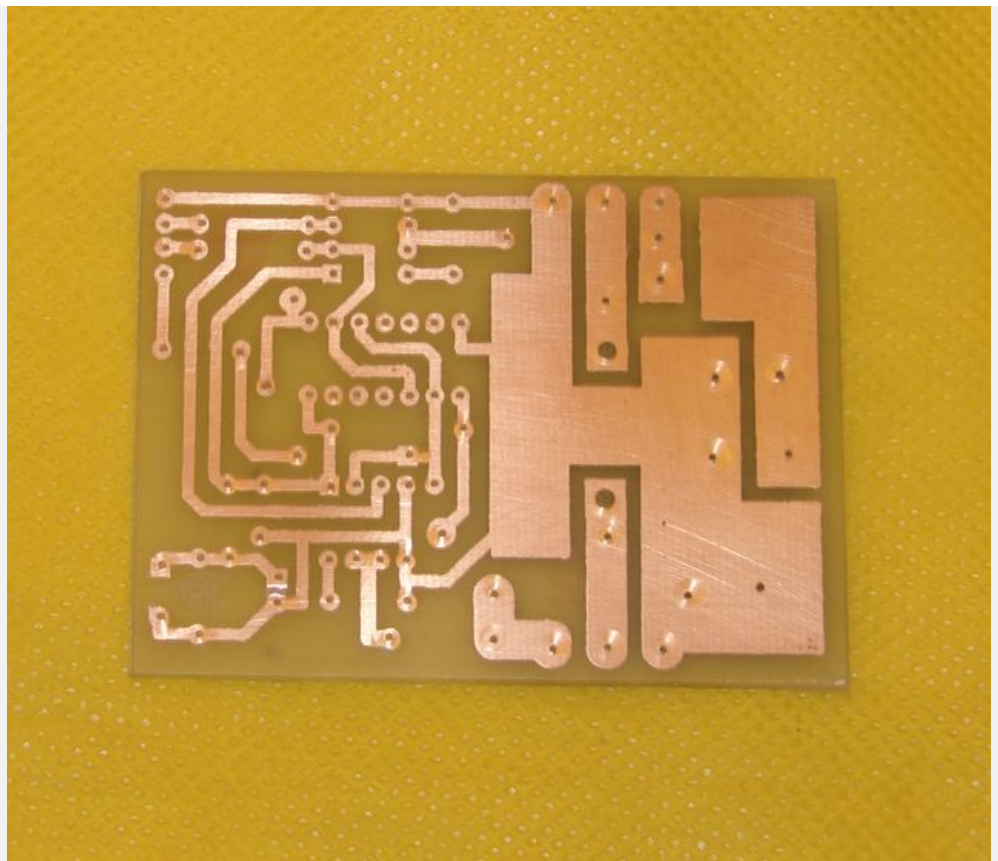
При открытии транзистора паразитная ёмкость шунтируется открытым переходом сток-исток. Десятые доли ома.

30.05.14 Микроконтроллер.

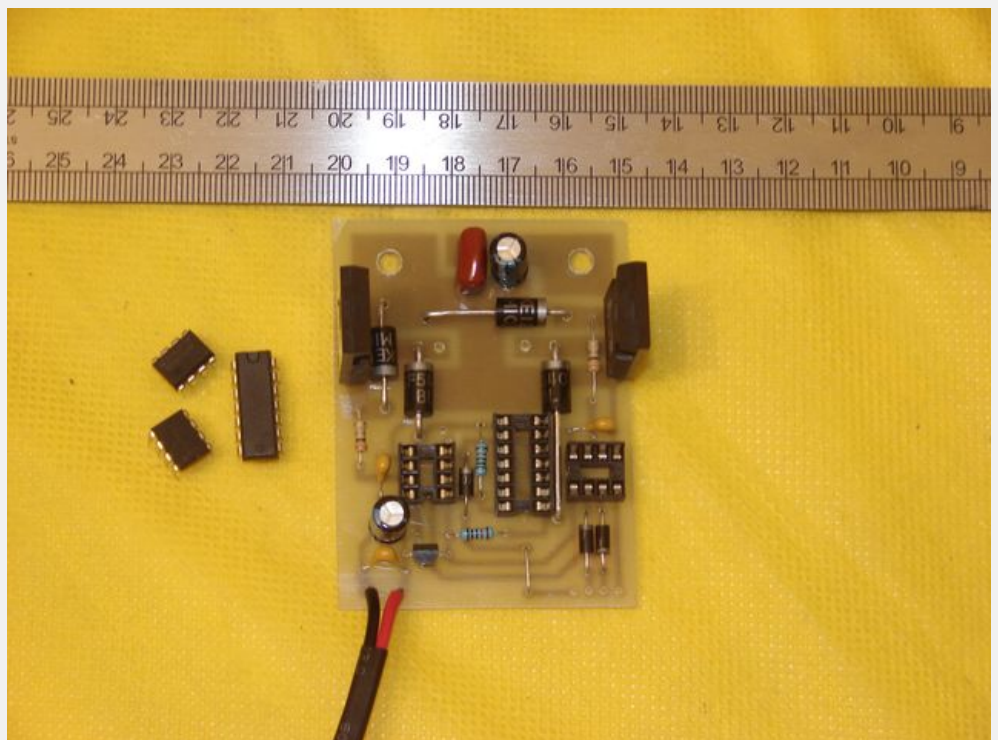
Программа включения и выключения светодиода на плате Pro Micro
<http://tesla.zabotavdome.ru/blink.ino>

09.06.14 Окончательный вариант нагревателя Ёж.

Предлагаемый вариант разводки рассматривается как окончательный. Отличия от начальных версий - качественная земля, убрана перемычка по стоку транзисторов, добавлен стабилизатор напряжения [UTC78L12L](#) 12V питания драйверов, наличие на плате силового питания, выведены контакты для подключения контроллера через диоды.

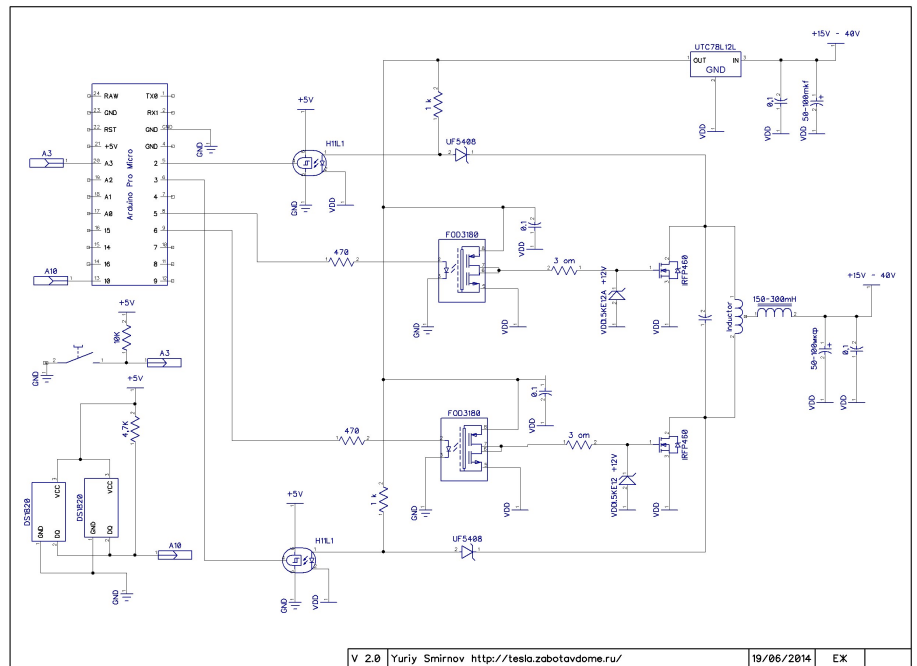


[Печатная плата в DipTrace. Файла eg.dip](#)



19.06.14 Микропроцессорный вариант нагревателя ЁЖ-МК.

Начата разработка нагревателя на базе Arduino Pro Micro. Причины. Програмное устранение "дребезга" при определении "нуля" триггером. Функции определения "нуля" переданы контроллеру через механизм прерываний. Включение и выключение транзисторов будет производиться средствами контроллера. Дополнительные функции. Включение и выключение нагревателя, регулировка мощности, поддержка установленной температуры. Удаленное управление по общей шине с центрального МК. Полная гальваническая развязка за счет использованием оптронов.



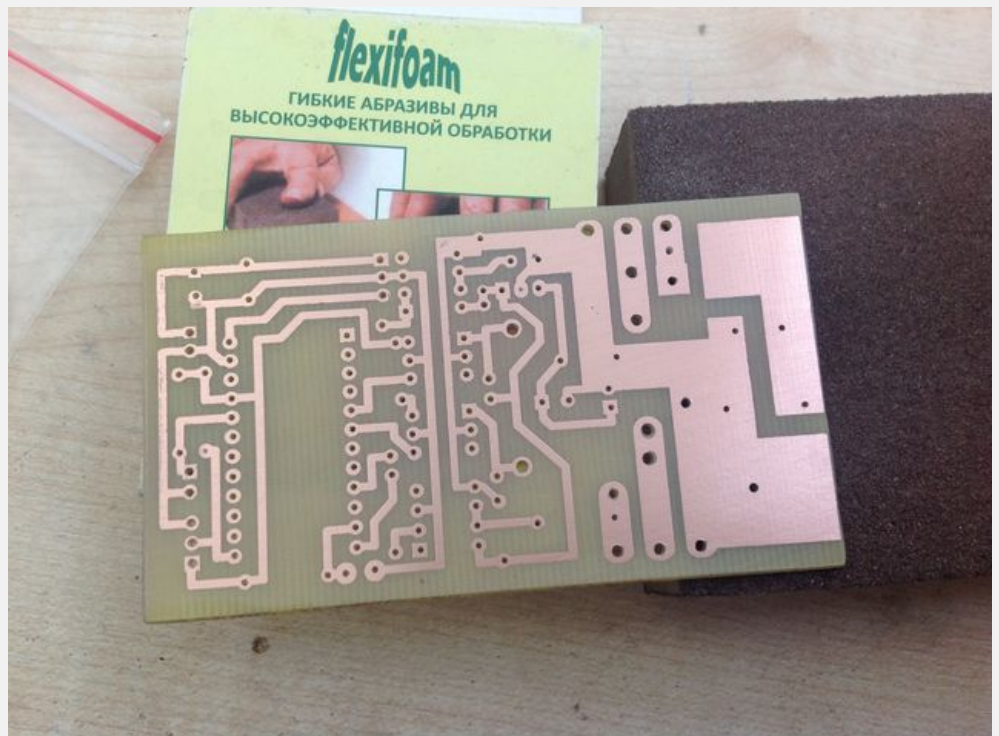
[Схема нагревателя ЁЖ-МК в DipTrace. Печатная плата в файле eg-mk.dip](#)

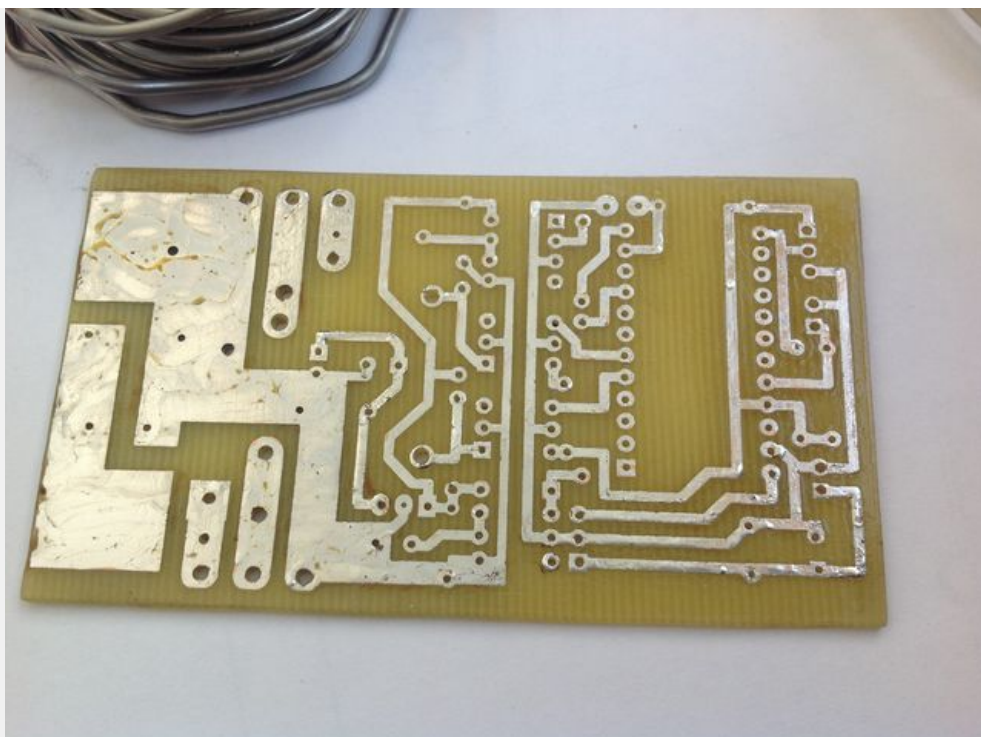
[Принципиальная схема платы Arduino Pro Micro.](#)

[Datasheet на процессор ATmega32U4](#)

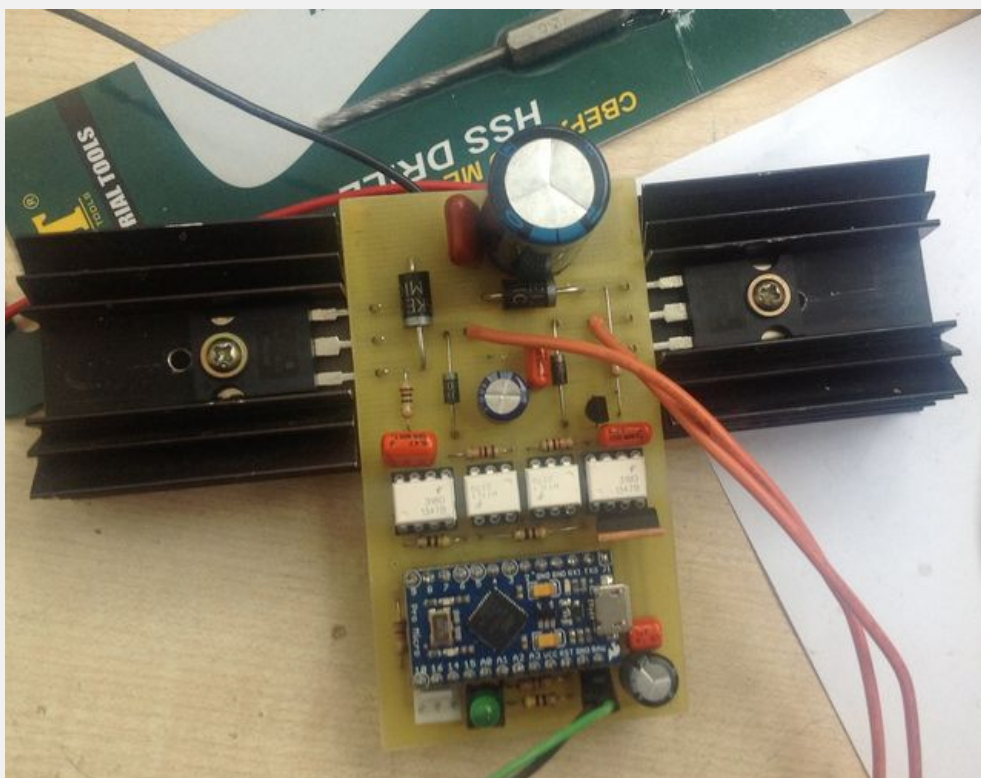
21.06.14 Печатная плата ЁЖ-МК.

Разведена печатная плата для проверки работы схема ЁЖ-МК. Добавлены стабилизатор напряжения микроконтроллера, светодиод. Питание драйверов от микроконтроллера.

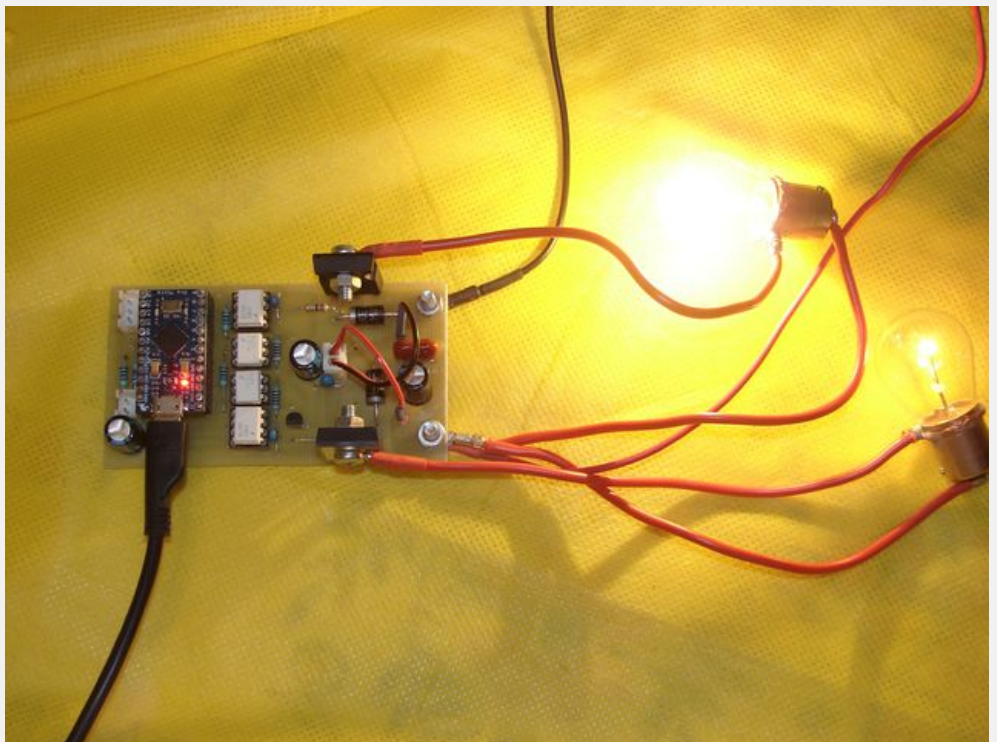
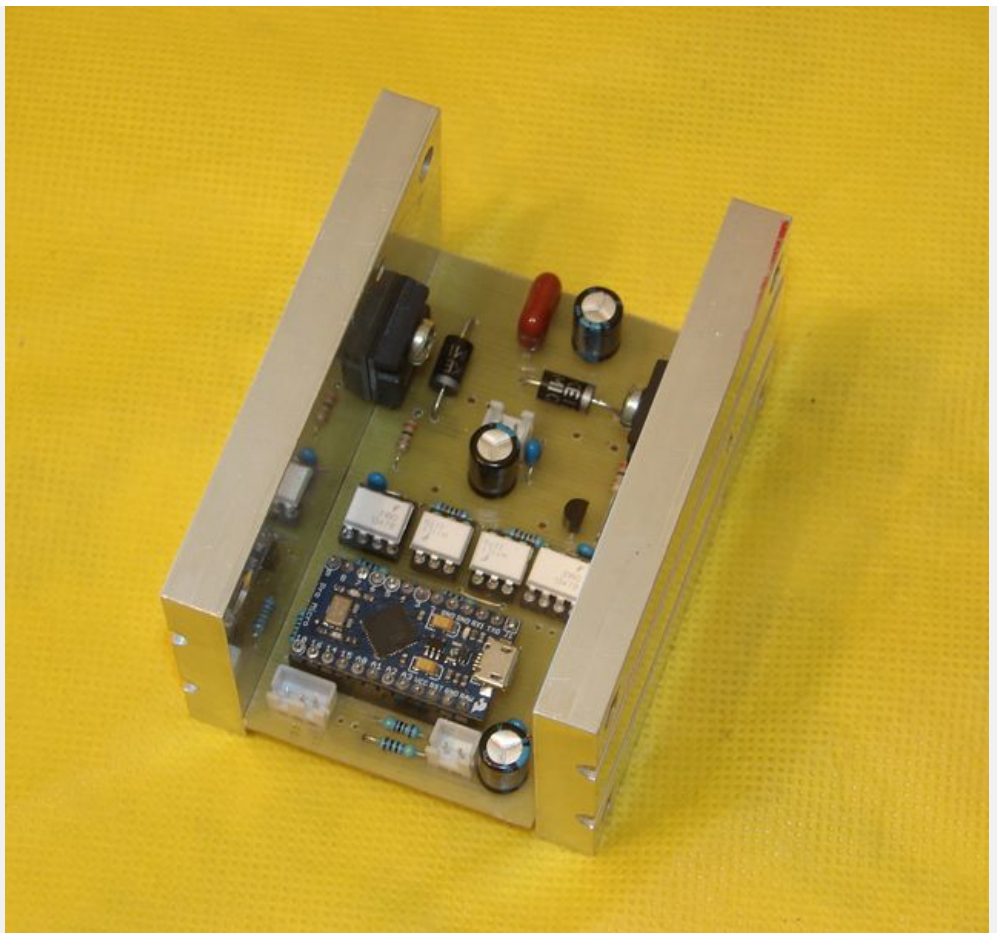




24.06.14 Две платы в сборе.



В данной версии используется диод [1n4007](#) UF5408 черезчур быстродействующие. Из-за сильного усиления драйвером на затворе возникает высокочастотная борода возбуждения, Как следствие греется кренка. Диод надо подобрать по минимальным помехам в затворе. Диоды 1n4007 оказались предпочтительней UF5408. Если будет греться стабилизатор платы управления необходимо заменить резисторы в базе транзисторов с трёх, указанных в схеме, на десять ом.



[Детальный просмотр.](#)

25.06.14 Как ЭТО работает.

При включении схемы (логику не берем) из-за разности параметров транзисторов, один начнет раньше открываться, ну, естественно и ток в контуре будет иметь какое то направление, другой закрывается. Схема напоминает мультивибратор, надеюсь знаете как он работает? Достигается точка максимума, один открыт, другой закрыт. Но в КК (колебательный контур) ток остановиться не может и перейдя максимум он будет уменьшаться, а потом потечет в другую сторону, и так взад-вперед, транзисторы помогают,

дают толчки.

При резком закрытии транзистора на стоке возникает ОЭДС. Это импульс положительной полярности его амплитуда во много раз выше напряжения источника питания. Этим импульсом и заряжается конденсатор контура, который так же подключен к этому стоку. В контуре происходят колебания, а со стоков транзисторов импульсы ОЭДС подзаряжают конденсатор контура - каждый через половину периода.

Если убрать дроссель, то средняя точка катушки будет постоянно висеть на +12, или на том напряжении которое подадим. Величина ОЭДС зависит от величины индуктивности, а индуктивность для каждого плеча будет равна индуктивности дросселя плюс индуктивность половины контура. Давным-давно кто то проверял и писал, что без дросселя схема работает крайне скверно.

Колебательный контур (КК) состоит из индуктора и конденсатора. Энергия переливается из одного в другое. Через дроссель приходят только дополнительные порции. От дросселя зависит только величина этих порций. Дроссель находится вне контура, поэтому не влияет на частоту.

Чем выше индуктивность при одинаковом токе, тем сильнее ОЭДС. Чем выше ток, через одинаковые индуктивности, тем сильнее ОЭДС.

30.06.14 Программа проверки собранной платы.

Проверку следует производить без впаянного диода UF5408 либо его аналога. При включении контроллера поочередно включаются лампы, подключенные к стокам транзисторов. Можно констатировать что FOD3180 работают нормально.
<http://tesla.zabotavdome.ru/info/blink.ino>

Вторым этапом проверяем работу прерываний. С этой целью подаём ноль питания оптронов FOD3180 на вход H11L1. Следует обратить внимание, что у оптрона H11L1 открытый коллектор, поэтому обязательно подтягивающий резистор. В данной реализации используется подтягивающий резистор микроконтроллера, который устанавливается программно.

Пока на входе оптрона H11L1 нет нуля, светодиод в оптроне горит, оптрон открыт, на его выходе ноль. Как на входе появится ноль, светодиод оптрона перестает гореть и оптрон закрывается. На выходе оптрона появляется единица.

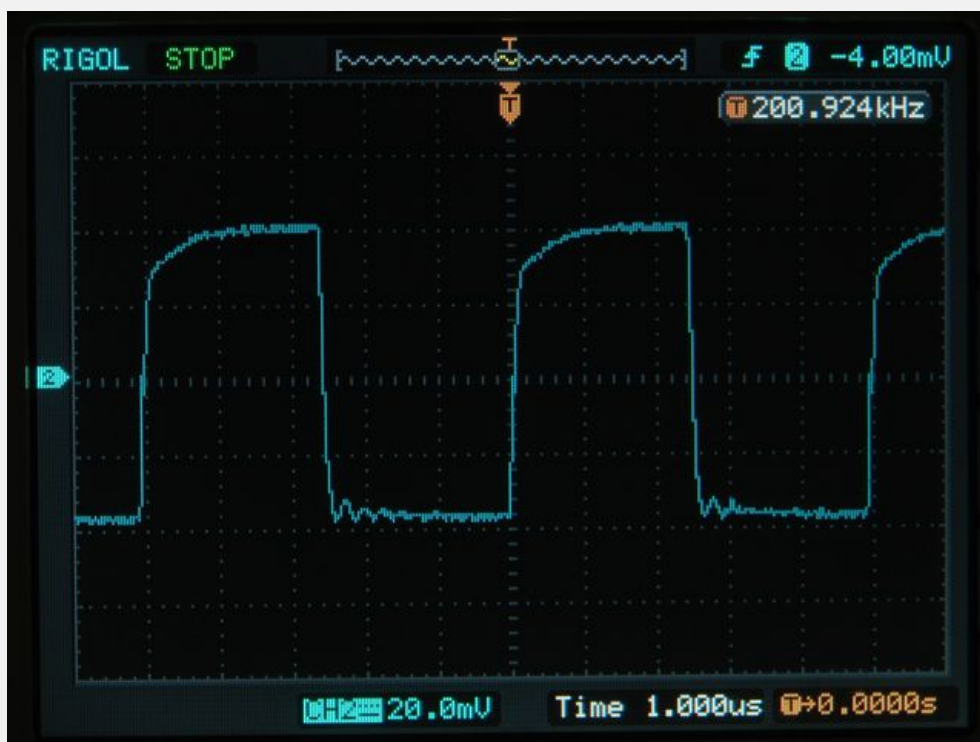
При подаче нуля на вход оптрона H11L1 левого плеча мигает только одна лампа, подключенная к противоположному плечу. И наоборот. Прерывания генерируются по спаду фронта.

Печальная с точки зрения понимания, но близкая к рабочему варианту программная реализация триггера: <http://tesla.zabotavdome.ru/info/trigger.ino> При включение микроконтроллера обе лампы не горят. Поочередно подавая/снимая ноль на входы оптрона H11L1 (1-я нога) загорается и горит постоянно лампа противоположного плеча.

Закрывается транзистор левого плеча. Паразитной ёмкость транзистора сток-исток, служит причиной возникновения "дребезга" - высокочастотные колебания с переходом через ноль. Происходят повторные вызовы обработчика прерываний. Эта проблема снимается тем, что в обработчике прерывания полностью отключается возможность обработки прерываний левым плечом и разрешается обработка прерываний по спаду фронта правым плечом. При включении транзистора паразитная ёмкость сток-исток шунтируется низким сопротивлением транзистора. В теории дребезга контактов с переходом через ноль на открывающемся транзисторе быть не должно. Следует помнить, что контроллер фиксирует факт прерывания не зависимо включен или нет внутренний алгоритм отработки прерывания. Последствия. Как только обработчик прерывания правого плеча, получает управление по спаду фронта колебательного контура и разрешит контроллеру ждать прерывание по спаду фронта левым плечом - тут же будет вызвана программа обработки прерываний для левого драйвера. Данная проблема решается сбросом флага наличия необработанного прерывания в регистре EIFR.

08.07.14 Скорость.

Описанный алгоритм был реализован на СИ без использования библиотечных функций записи в порт. Но максимум скорости последовательного переключения транзисторов не оправдал ожиданий и составил 100кГц. Функции обработчиков прерываний переписаны на ассемблере. Скорость переключения составила вполне приемлемую величину - 200кГц. Реально "пропускная способность" выше. zvspeed.ino

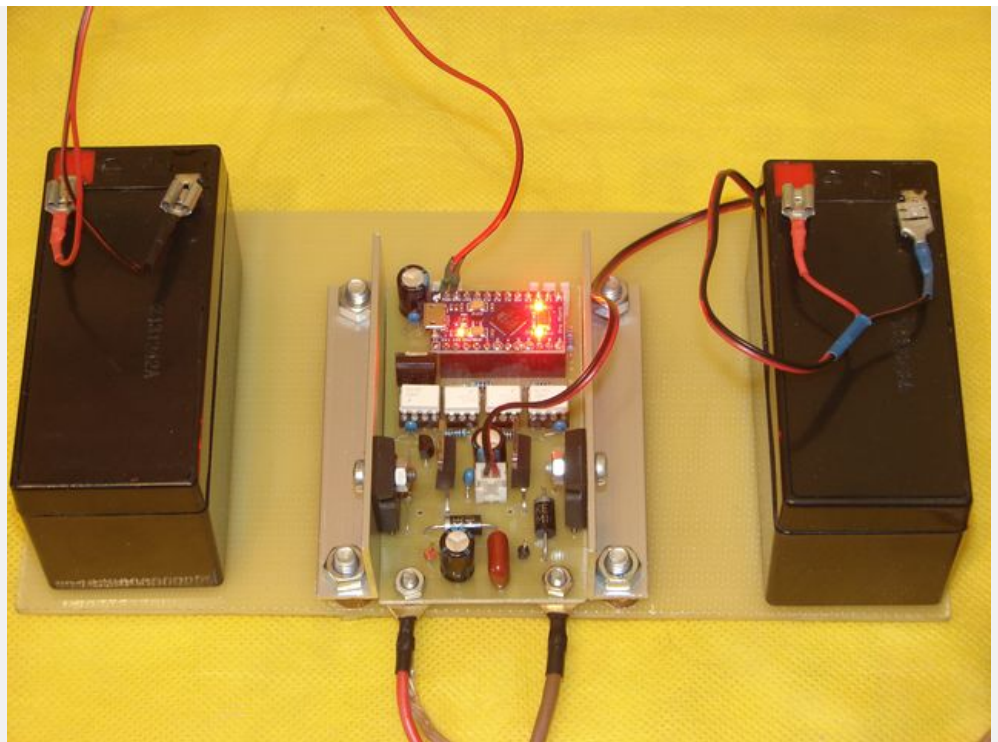


На осциллограмме затвора закругление переднего фронта и есть заряд емкости затвора. Можно попробовать увеличить блокировочные конденсаторы на драйверах. На борьбу с этими завалами и уходят амперы с драйверов. На частотах в 30кГц фронт в порядке.

Можно двигаться дальше. Решить вопрос на какой, более подходящий диод, заменить UF5408. В силу сказанного выше можно попытаться отказаться от дросселя средней точки на ферртовом кольце в пользу дросселя на стержне. Помимо силового, схеме требуется два источника питания с гальванической развязкой. Оди из них может быть USB компьютера.

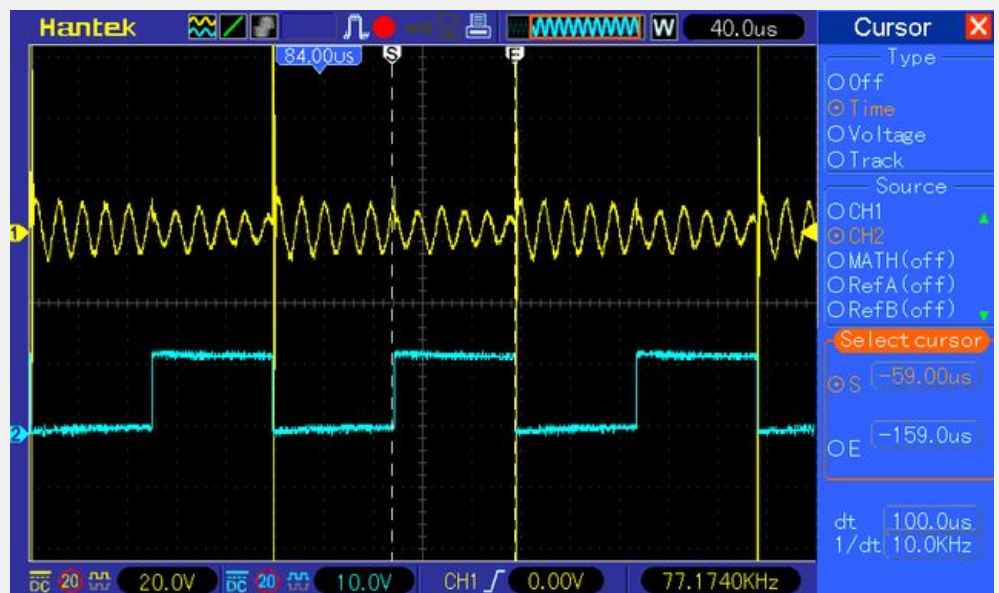
11.07.14 Эффект Миллера.

Плато Миллера можно представить так. Сток-исток - это труба, затвор-кран. Открыли кран, прежде чем попасть в систему, поток должен заполнить небольшое пространство крана. Как только свободный объём будет заполнен, ток пойдет дальше. Пространство крана - конденсатор. Плато Миллера - процесс заряда конденсатора. Более грамотно об эффекте Миллера можно прочесть в статье: [Управление изолированным затвором.](#)

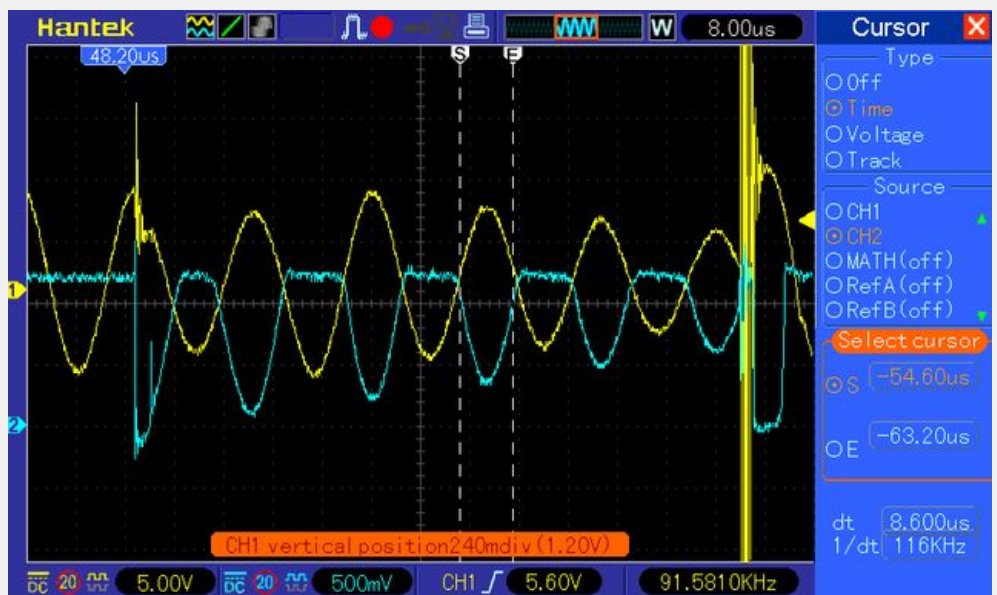


03.09.14 Определение резонансной частоты колебательного контура.

В схеме - два транзистора. Один постоянно выключен, второй работает как генератор импульсов частоты 5кГц. Желтый луч - сигналы с колебательного контура снятого с витка связи. Виток связи - до десяти витков проволоки, расположенного вдоль оси индуктора. Синий луч - затвор транзистора. В схеме используется наиболее удачный из проверенных диод FR308. Дает четкий сигнал, высокочастотный дребезг минимален.



Происходящее на аноде диода рабочего транзистора пока не рассматривается. На осциллограмме анода неактивного транзистора видно, что при закрытии транзистора, диод начинает отрабатывать переходы через ноль напряжения в колебательном контуре и наоборот, при открытии транзистора колебания сходят на нет.

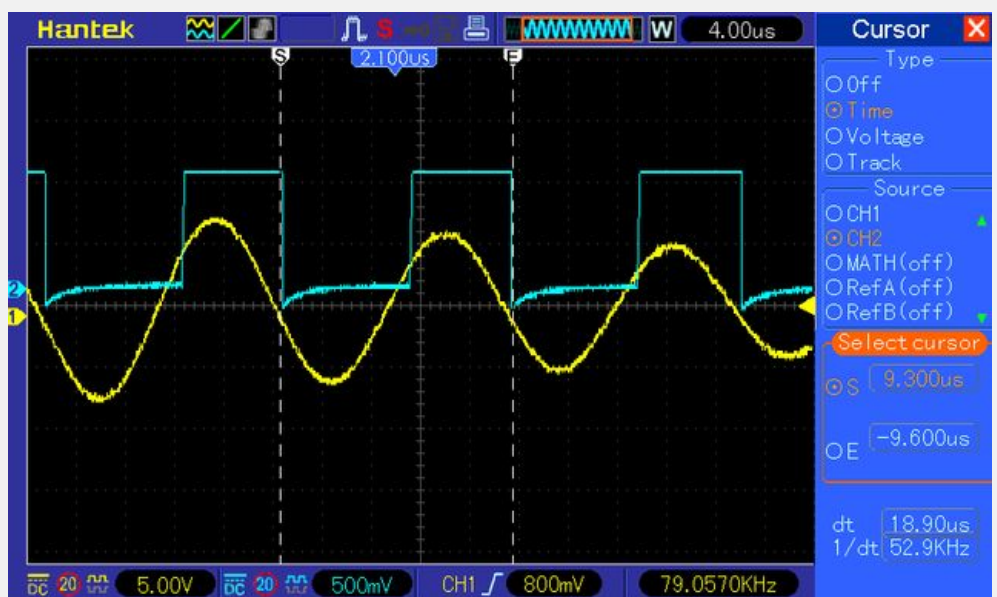


Достаточно точную картину переходов через ноль синусоиды колебательного контура даёт и выход с оптрона Н11Л1 обработка которого осуществляется МК по прерываниям вызванным изменением сигнала.

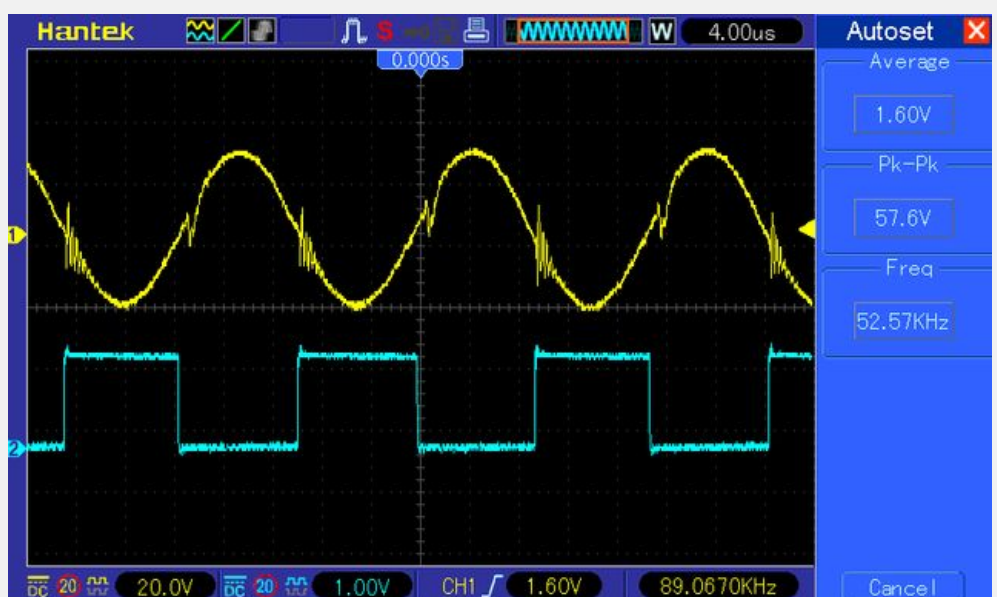
При включении силового питания, подключенного к средней точке индуктора через дроссель - на катode диодов - плюс. Диод для прохождения тока с плюса питания схемы на землю "закрывает". Ток идет через светодиод оптрона. Светодиод оптрона горит. На выходе оптрона (вход МК) по спецификации Н11Л1 - логический ноль.

При открытии транзистора через него начинает течь ток. Величина тока растёт, напряжение падает и в итоге становится равным нулю. Диод "открывается". Ток питания схемы начинает идти через диод. Светодиод оптрона выключается. На выходе оптрона - логическая единица. При программировании прерываний в МК следует учитывать эту инверсию.

"Ноль" при использовании диодов в качестве детектора нуля величина условная и определяется величиной обратного тока, который для большинства диодов составляет 0,5-1V

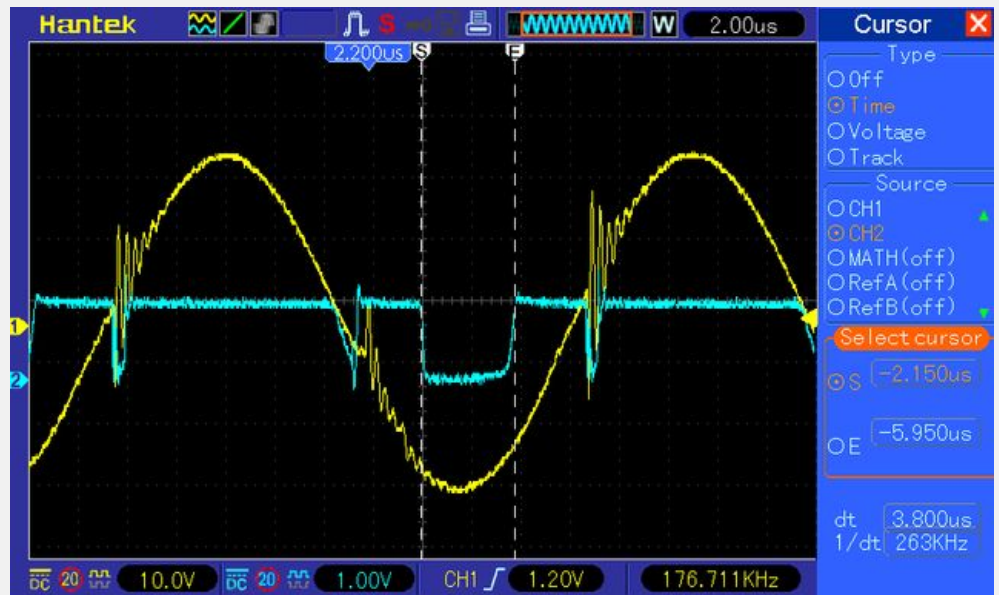


Определяем частоту следования импульсов средствами осциллографа и настраиваем генератор на частоту 52,9KHz. Получаем вполне приемлемый синус и четырех-пяти кратный рост напряжения. Более точно настроить частоту не позволяет разрешение таймера МК.

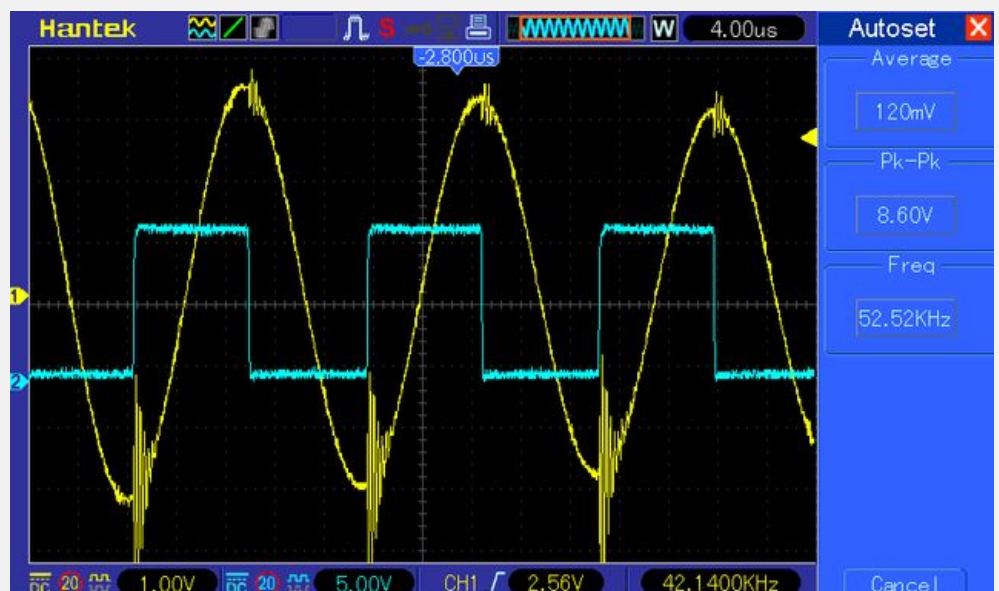


Колебательный контур "знает" свою резонансную частоту и определить её не составило особого труда. Это либо виток связи, в котором идут синусоидальные колебания на резонансной частоте, либо описанный выше способ.

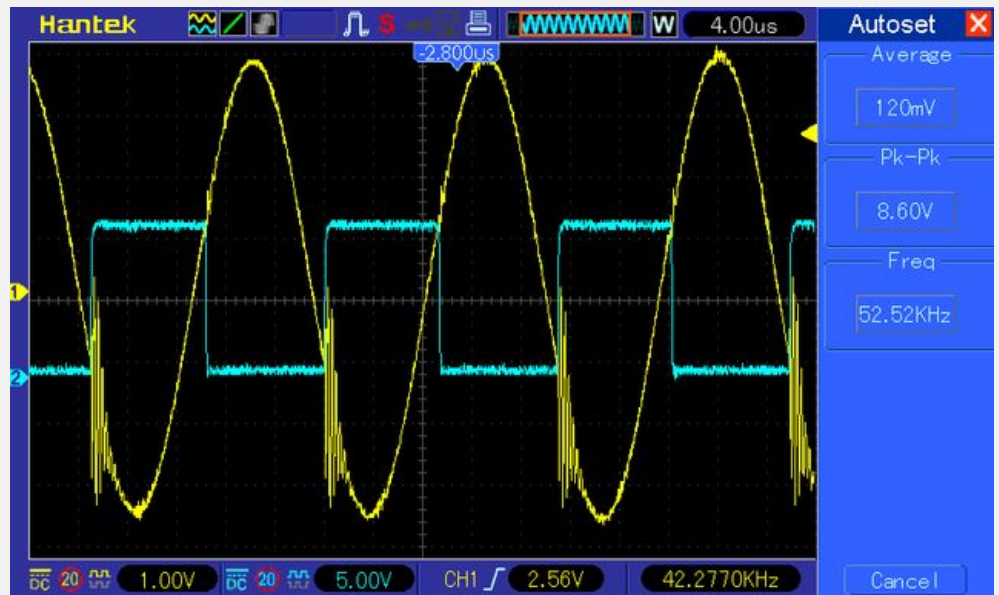
Стоит обратить внимание ещё на один переход через ноль на аноде диода неактивного транзистора "внутри" резонансной частоты. Этот информационный сигнал абсолютно важен и потребуется в будущем.



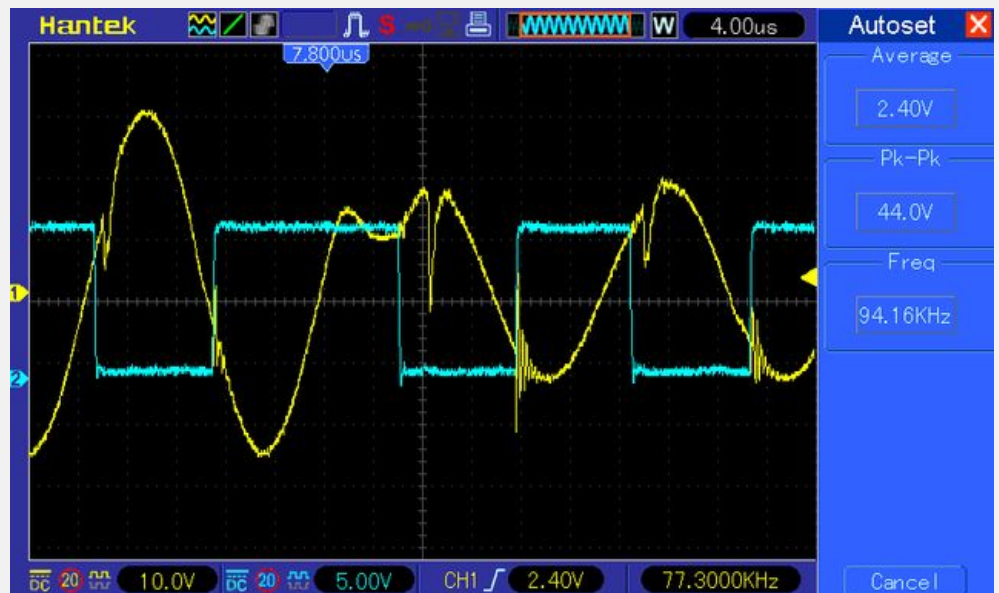
Подводить силовое питание к средней точке - особой необходимости нет, колебательный контур работает и без него. Напряжение на витке связи в резонансе без подключенного силового питания - 2V.



Судя по осциллограмме приведенной ниже, складывается устойчивое впечатление, что открывать транзистор следует в одном полупериоде, а закрывать в другом - максимально близко к "нулю".

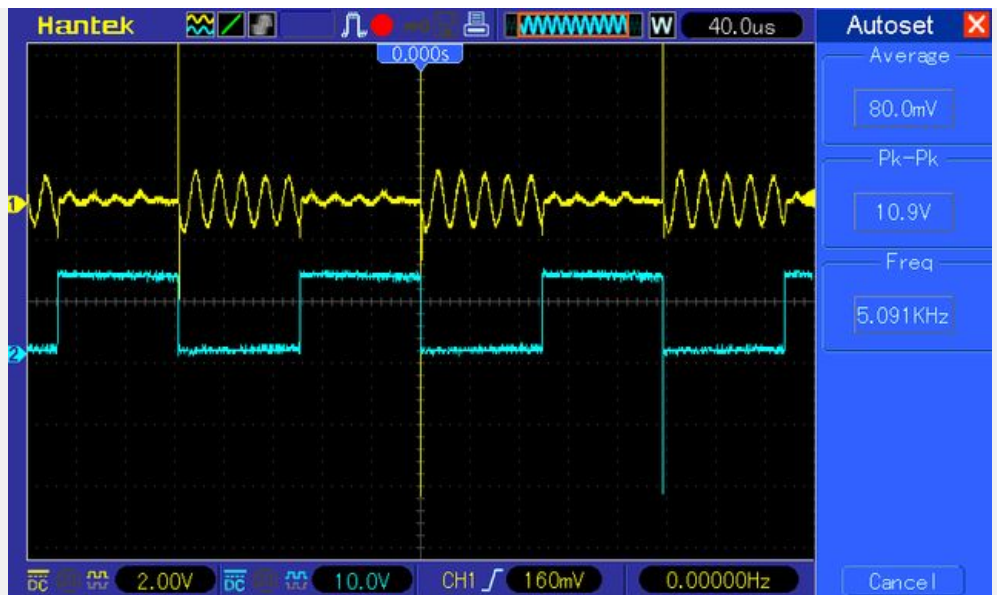


При несвоевременном закрытии транзистора резонанс умирает.

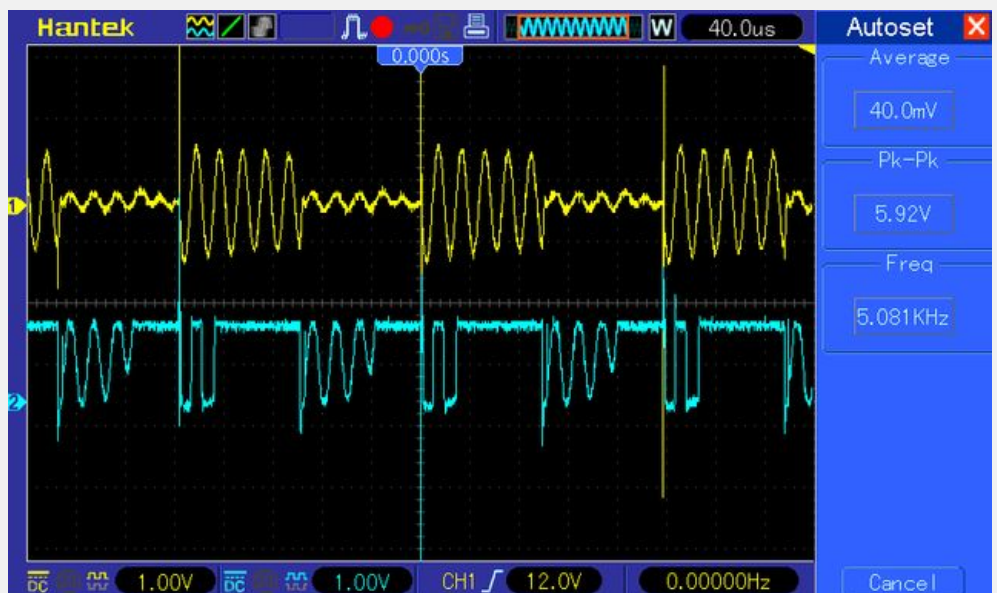


09.09.14 Пошаговый разбор работы КК в схеме с МК.

Стоит еще раз вернуться к начальной осциллограмме. Синий луч - сигнал с затвора транзистора. Желтый луч - синусоида с витка связи. Транзистор открывается, амплитуда синусиды на витке связи уменьшается до минимального значения. Рост синусоиды при закрытии транзистора вызван ОЭДС.

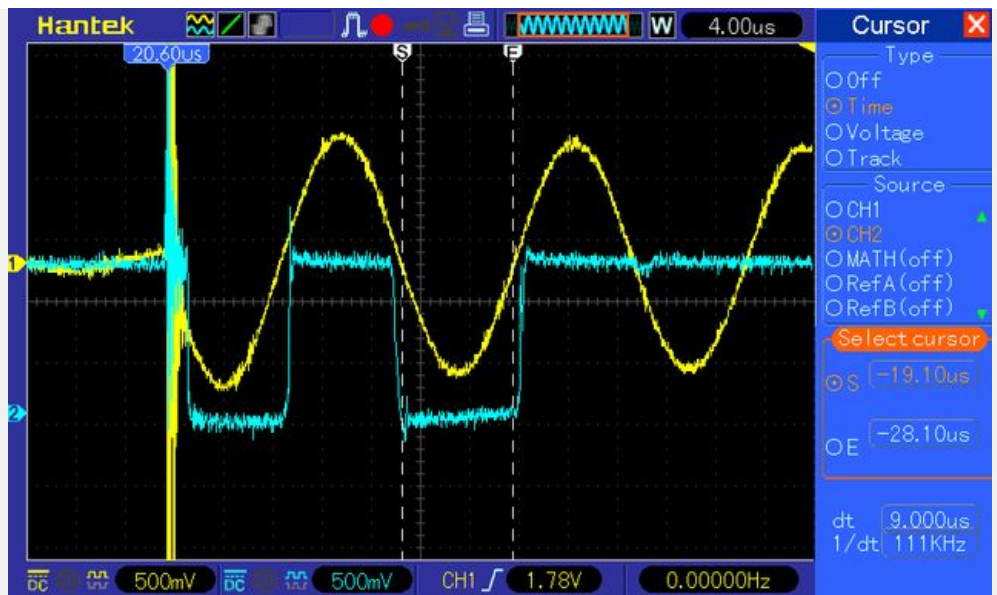


Синий луч - анод диода неактивного транзистора. Желтый луч - синусоида с витка связи. При закрытии транзистора амплитуда с витка связи вырастает. При открытии транзистора амплитуда уменьшается до минимума. На открытом транзисторе амплитуда сигналов с витка и количество переходов через ноль определяется индуктивностью дросселя подключенного к средней точке. Обратная сторона - значительное увеличение индуктивности увеличивает ток холостого хода схемы.

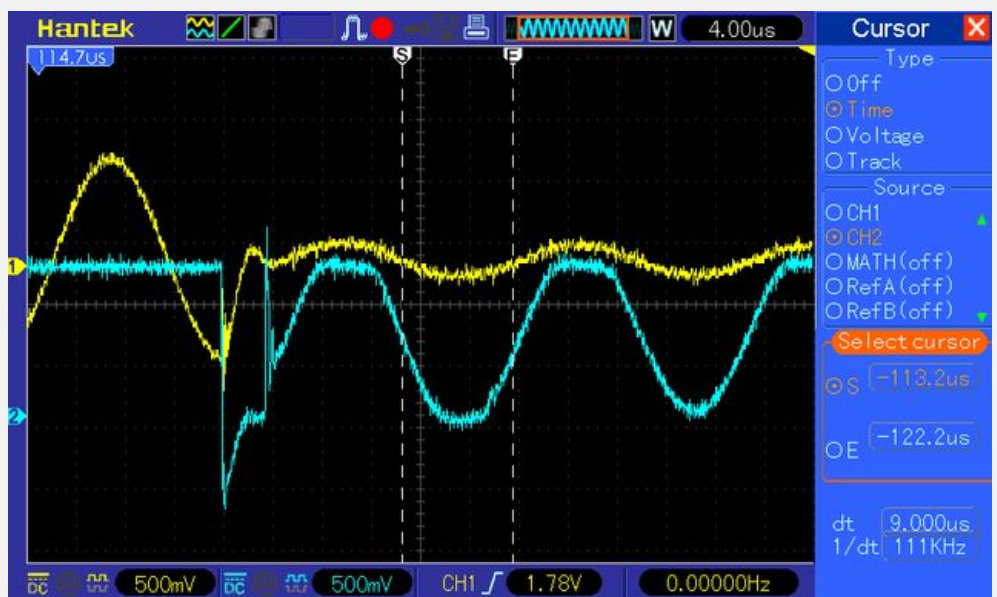


Транзистор закрывается, возникает ОЭДС, которая увеличивает амплитуду синусоиды на витке связи. Транзистор открывается, амплитуда синусоиды на витке связи уменьшается, но не исчезает полностью(?). Смотрим что происходит на диоде транзистора (левый), который постоянно выключен. Рабочий (правый) транзистор закрывается - на осциллограмме - ДВА перехода через ноль. Транзистор открывается на диоде - ЧЕТЫРЕ(?) перехода через ноль. прерываний.

Ниже более детально показан момент закрытия транзистора - на диоде меандр.



Ниже детально показан момент открытия транзистора - на диоде синусоида.

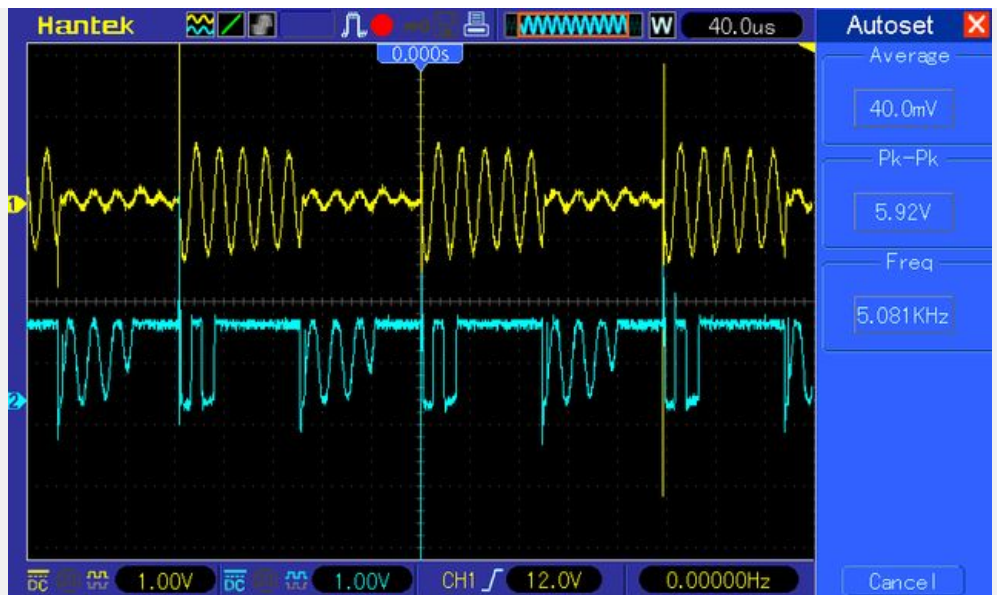


Осциллограммы показывает, что максимальный рост колебаний, вызывает именно ОЭДС возникшее при закрытии транзистора. Амплитуда колебаний сводится к минимуму при открытии транзистора более чем на период. Первый меандр закрытия транзистора стоит пропустить, однако интерес в нем представляет возможность оценки времени закрытия диода.

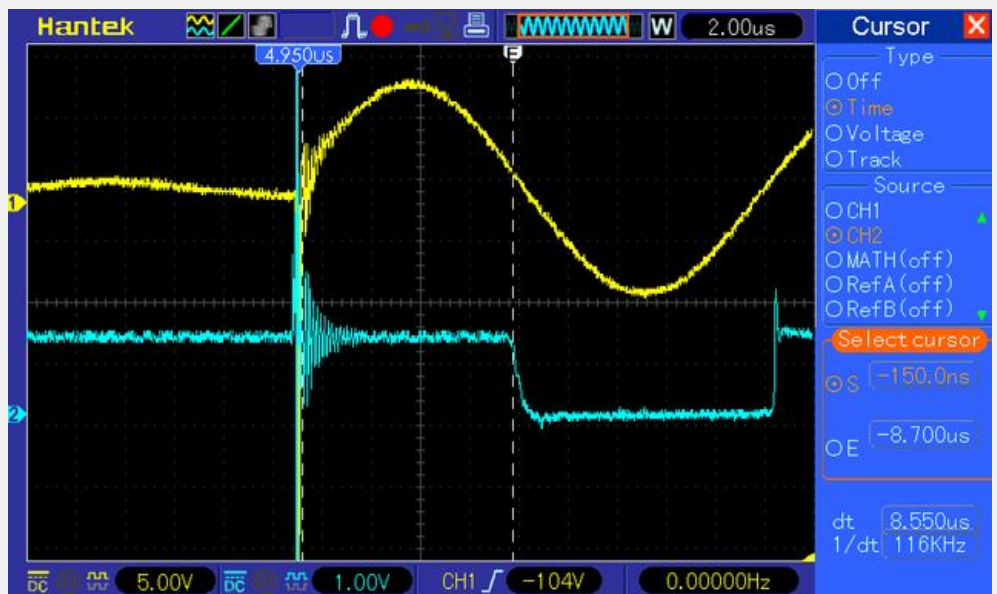
12.09.14 Алгоритм .

Алгоритм строится исключительно на анализе переходов через нуль диода активного транзистора.

1. Обязательным начальным условием запуска схемы является - оба транзистора включены.
2. Выключаем один транзистор и ждем первый "нуль" на аноде диода транзистора который выключаем. Время с момента выключения транзистора и получения спада фронта на диоде выключаемого транзистора в точности соответствует половине периода резонансной частоты колебательного контура.



Желтый луч виток связи. Носит информативный характер. Следует понимать, что переход через ноль вызывает не моменты включения и выключения транзистора, а колебания на частоте резонанса которые присутствуют в колебательном контуре при подаче питания на схему управления. Значительно ослабевают при подаче силового питания и вновь появляются при закрытии транзистора.

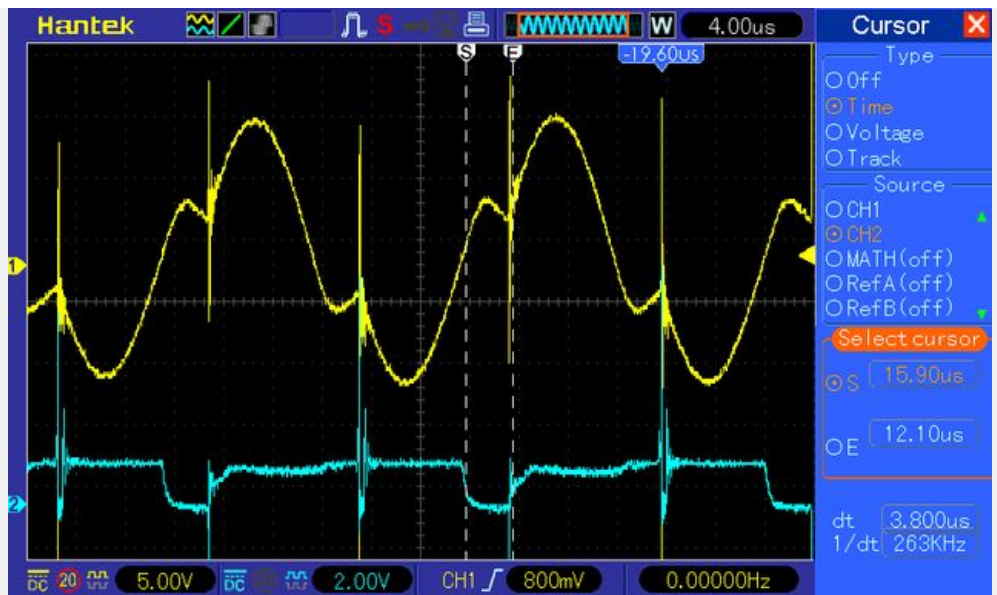


Транзистор выключен, возникает ОЭДС, которая даёт первый переход через ноль на частоте КК. При получении этого нуля, включаем только что выключенный транзистор. Если в схеме активен только один транзистор на этом работу схемы можно считать законченной. Информация с диода неактивного транзистора описана выше, сдвинута по фазе, ориентироваться на неё, для определения момента включения транзистора в этой схеме не стоит.

Если в схеме два транзистора, то включая один транзистор, мы выключаем противоположный и с диода выключенного транзистора ждем первый ноль. Время с момента выключения транзистора и получения нуля в точности соответствует половине периода резонансной частоты. Это и есть рабочий цикл.

Важно запомнить. Схему следует запускать при включенных транзисторах и выключении одного из них. ОЭДС выключенного транзистора даёт первый переход через ноль. По спаду фронта на аноде диода выключенного транзистора, следует включить его, предварительно выключив противоположный транзистор. Далее всё то же самое но уже для "предварительно" выключенного транзистора.

Печальная реализация данного алгоритма представлена ниже. Следует отметить что в случае срыва генерации, по таймеру будет произведен перезапуск.
<http://tesla.zabotavdome.ru/zvs.ino>



Почему реализация печальна? Вертикальными линиями отмечено время получения нуля и реакция - выключение либо включение транзистора. Время реакции составляет порядка трёх микросекунд. Как показывает результат - данная задержка абсолютно неприемлема. Допущена ошибка при выборе элементной базы. В схему включены оптроны, дополнительную задержку даёт контроллер, который следует заменить на более быстродействующий. (В резонансе на диоде будет меандр, за счет слияния "нулей" с разных транзисторов.)

Чтобы обеспечить максимально точное определение нуля необходимо отказаться от оптронов. Гальваническую развязку может дать использование витка связи и компаратор в качестве детектора нуля. Необходимо отказаться от процессора в качестве основного элемента управления включением и выключением транзисторной пары.

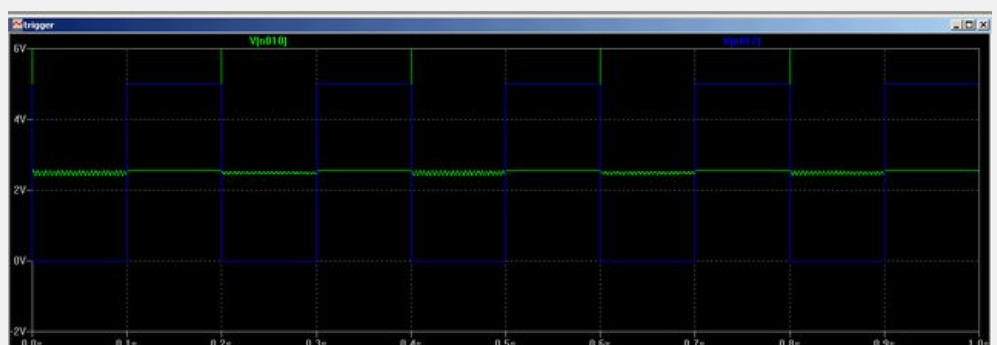
19.09.14

Причиной срыва работы генератора, служат ложные срабатывания детектора нуля в роле которого выступает диод. При закрытии транзистора возникает высокочастотный "дребезг". Устранить его можно добавив RC фильтр, но это даст временную задержку момента переключения транзистора. То же самое относится и к попыткам ввести в схему любые фильтры с обратной связью, триггер шмитта, компараторы. Все они вносят значительные (от 300ns) задержки.

11.10.14 LTspice.

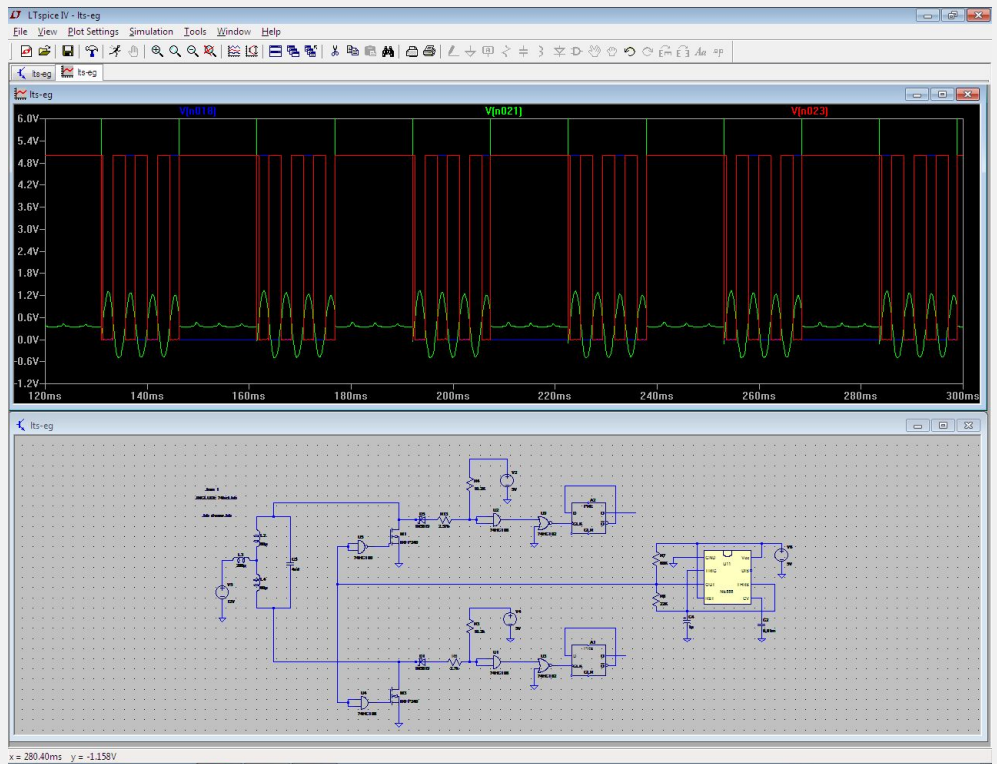
Пассивные RC-цепи. LTSpice - 74HCT библиотеки.

1. То, что в колебательном контуре колебания на частоте резонанса присутствуют при подаче питания на схему управления можно видеть при моделировании схемы в LTspice. При открытии транзистора колебания ослабевают. При его закрытии на диоде колебания на частоте резонанса.



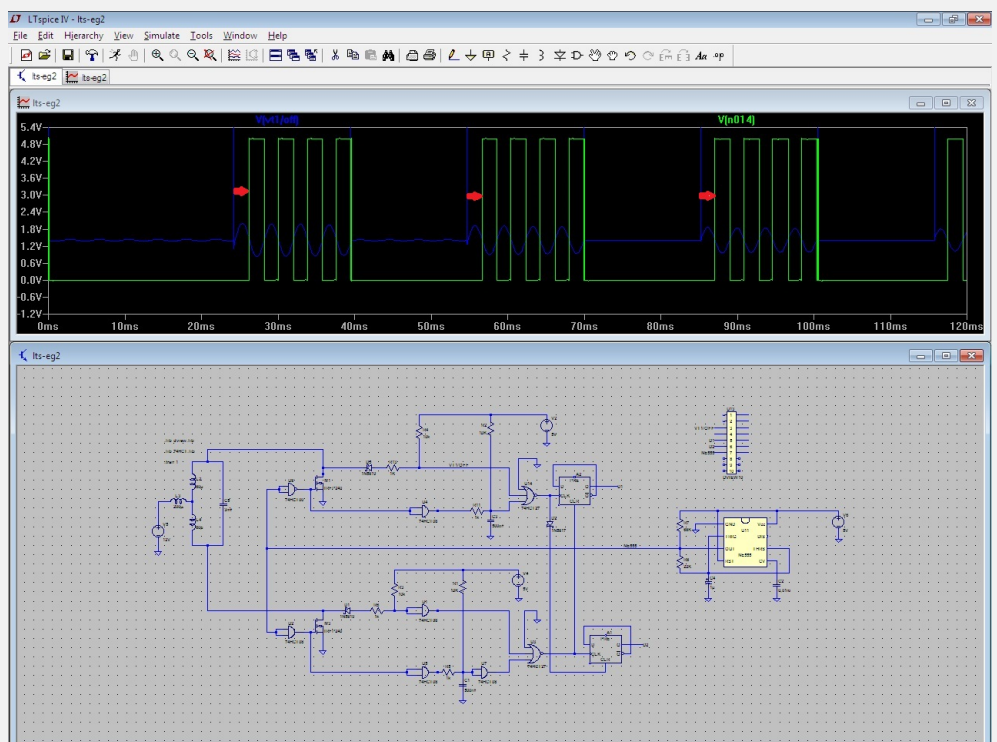
2. Подобрал напряжение смещения на диоде до уровня срабатывания логических микросхем

делителем напряжения R4/R13 и R3/R6, переходы через нуль можно выделить. Как правило, напряжение срабатывания логических микросхем равно половине напряжения питания. В используемой в эмуляторе НСТ серии VM = 1.3V; VI = GND to 3V. Для более точного определения "нуля" стоит попытаться установить раннее срабатывание логических элементов, учитывающее фиксированное время задержки прохождения сигнала до момента открытия транзистора. Файлы LTSpice демонстрации по ссылке - [lts-eg.asc](#)



3. Как было описано выше, фильтр на логических микросхемах должен уметь пропустить помехи закрытия транзистора и отработать его включение по первому переходу через нуль, который формируется сигналом с колебательного контура на частоте резонанса. Полная схема фильтра пока в работе, занятие, как выяснилось, явно не для любителя.

23.10.14 LTspice.



[lts-eg2.asc](#) (74НСТ библиотеки)

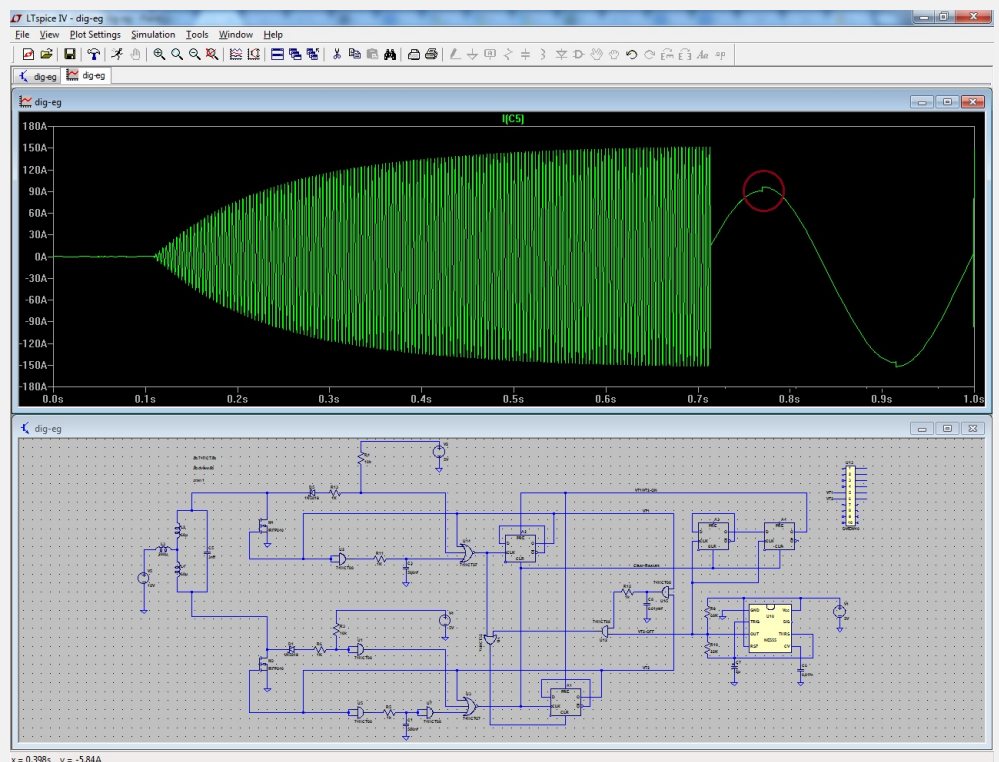
Схема должна отработать первый переход через "нуль" синусоиды на аноде диода D6 (отмечен стрелкой) после выключения транзистора. Любые сигналы перехода через нуль, кроме первого, должны быть проигнорированы. (Для этого необходимо соединить выход триггера D1 с подключенным на землю входом 74HCT27).

Логический элемент 74HCT27 "или" с инверсией дает на выходе логическую единицу (нарастание сигнала) только в случае наличия на всех входах нулей. Первый, по времени и это обязательно, нуль на входе логической микросхемы даст линия задержки R11/C8, которая складывается из времени выключения транзистора и драйвера, времени срабатывания логических элементов U14/A2, и длительности вч-помех закрытия транзистора. Прогнозируемая, фиксированная, расчетная величина.

Как только синусоида перейдет через нуль на выходе 74HCT27 появится второй "нуль", на выходе будет сформирован фронт нарастания сигнала. D-триггер (D1) перейдет из состояния нуля в единицу. Одновременно с включением триггера, фронт сигнала выключит триггер D2 противоположного плеча. Дополнительные логические элементы И. введены в схему для удобства работы с сигналом в среде LTSpice.

24.10.14 LTspice полная схема.

На осциллограмме показан синусоидальный рост тока на конденсаторе параллельного колебательного контура в резонансе. Мощность в колебательном контуре 30V*300A. Потребляемая мощность 12V*2.5A. Критерии подбора параметров колебательного контура - работоспособность и незначительное время обсчета схемы. При увеличении напряжения питания схемы в два раза, мощность ($I^2 \cdot U$) в колебательном контуре увеличивается в четыре. На осциллограмме дополнительно выделена ступенька спирали роста тока, которая соответствует моменту закрытия транзистора.



[dig-eg.asc](#) (74HCT библиотеки)

Смысла приводить прочие осциллограммы нет, желающие могут проделать это сами. Стоит описать логику работы схемы. Данная схема повторяет алгоритм реализованный на микроконтроллере. Описания логических элементов *.asy разместить в директории с установленным LTSpice "C:\Program Files\LTC\LTSpice\lib\sym\74HCT" Библиотеки 74hct.lib и dview.lib в lib\sub. Файлы dview*.asy скопировать в директорию lib\sym\Digital

1. Схема работает. Фронт сигнала на выходе U3 74HCT27 включает триггер A1, выключает противоположный транзистор (A2) и сбрасывает триггеры состояния схемы A3/A4 в нуль. Фронт сигнала от таймера наоборот переводит триггер состояния A3/A4 в единицу. Итог. схема работает - на выходе триггера состояния A4 всегда нуль, если произошел срыв генерации единица. Дополнительная перезапись значения триггера A3 в триггер A4

увеличивает период и снижает вероятность ошибки определения состояния работы схемы. Таймер необходимо настроить на частоту в два-три раза ниже частоты колебательного контура.

2. Произошел срыв генерации. Единица (нарастание сигнала) на выходе триггера состояния A4 включает D-триггеры A1 и A2, и подключенные к ним транзисторы. Оба транзистора включены - это даст логическую единицу на выходе U15 и одном из входов U12. Колебания в КК, которые обрабатывают диоды исключены. Следующее срабатывание таймера сформирует логическую единицу на выходе U12, а значит выключит триггер A1, установит логический (разрешающий срабатывание) нуль на U3 и выключит транзистор M3. Один транзистор был закрыт, второй только открылся схема в начальном состоянии, ждёт сигнала перехода через нуль на диоде D1.

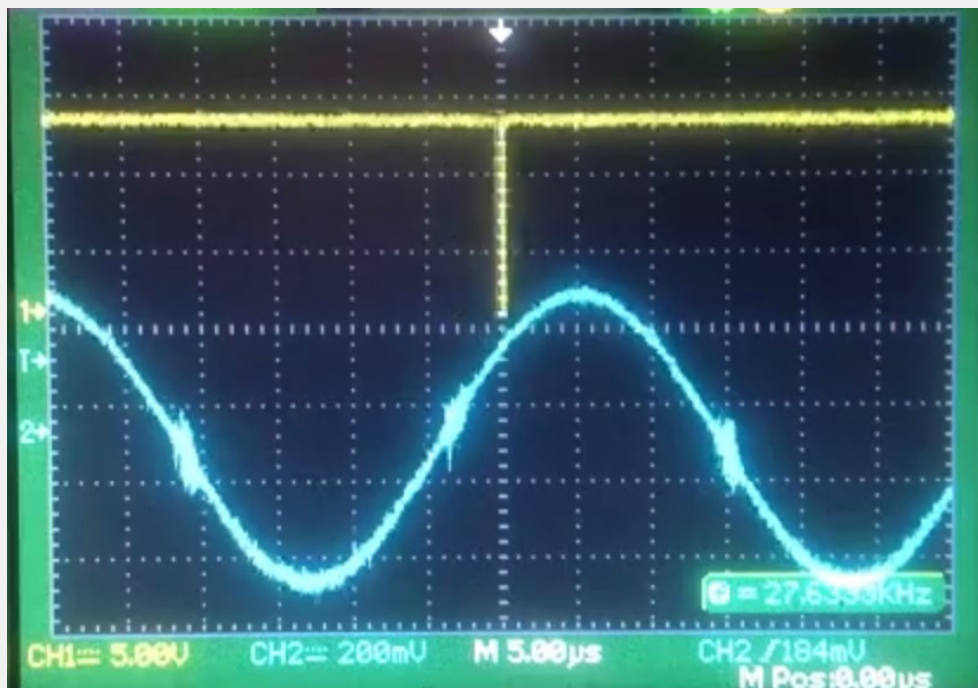
Время включения триггера A1 и время выключения триггера A2 различаются. В результате на выходе U15 ошибочно формируется короткий импульс - логическая единица. Линия задержки R12/C8 убирает его. Задержка должна быть минимальна и ни в коем случае превышать четверти периода работы таймера.

Таким образом работа схемы контролируется таймером и будет перезапущена в случае нештатных ситуаций. Появляется время полностью выключить схему.

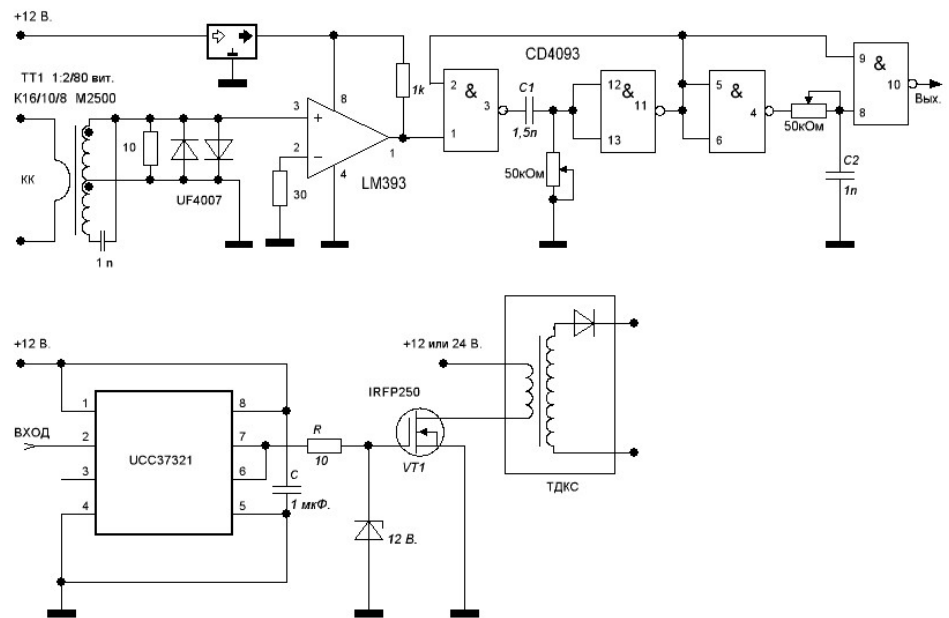
То что выбранный алгоритм верен подтверждает вывод схемы в резонанс математическим аппаратом эмулятора. Велико желание при определении нуля уложиться в 100ns. В качестве логических микросхем предполагается использовать серию SN74F с достаточно малым временем переключения 6-10ns, диод шоттки - C4D02120A. Не решен вопрос с порядком переключения транзисторов. Выключить один транзистор, затем включить второй или наоборот. В схеме с МК разницы отмечено не было. Изобилие логических 74НСТ00 вызвано желанием направить ток в нужном направлении, количестве и качестве, а так же удобством контроля сигналов в LTSpice. Возможно это можно сделать более простыми средствами.

27.10.14 Строб. Разработчик Юрий Смирнов.

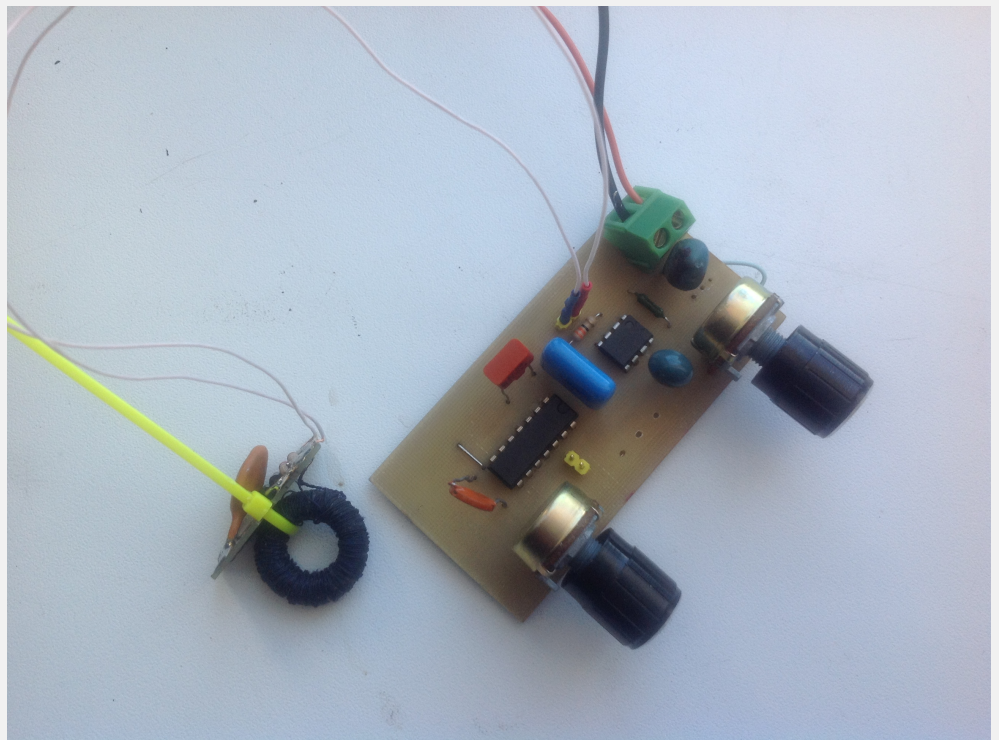
Строб это сигнал управления позволяющий выделять определённые временные интервалы из стробируемого сигнала.

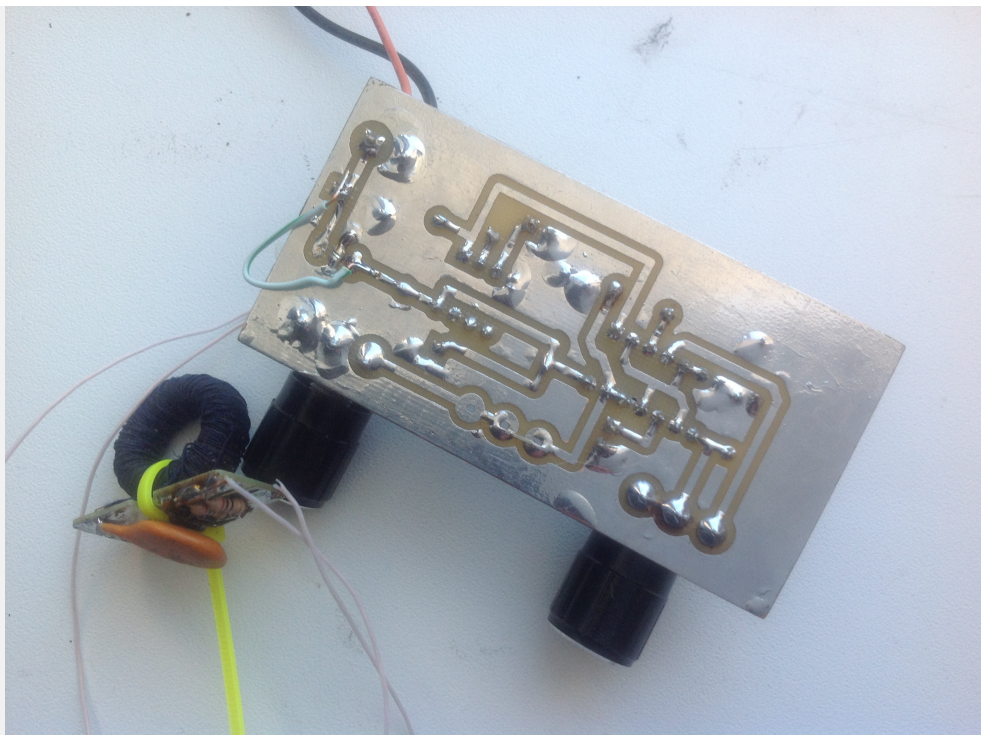


[Просмотреть видео](#)



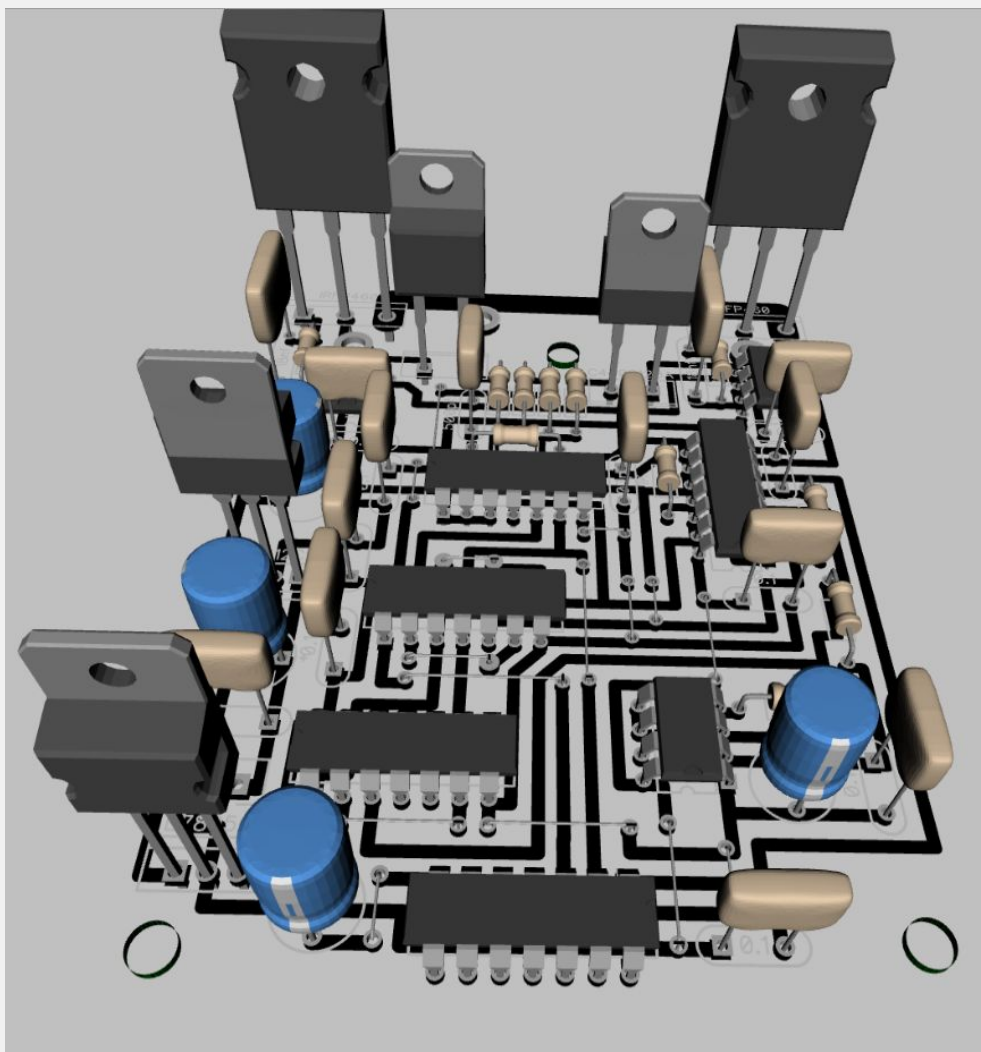
[Печатная плата в формате diptrace - strob.dip](#)



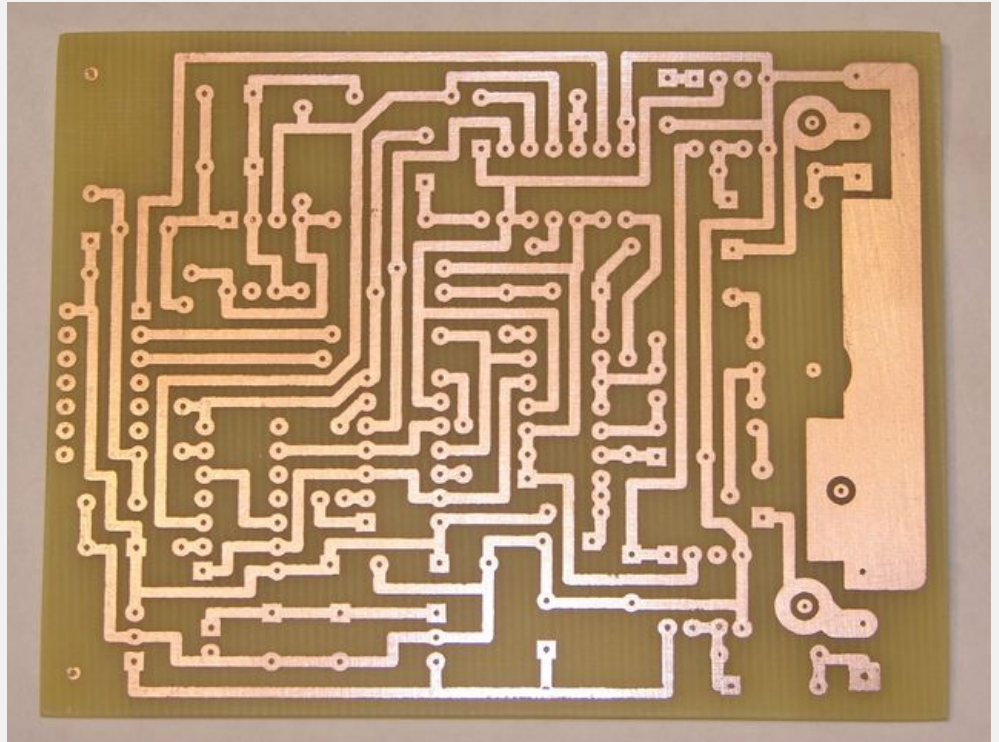


08.11.14 Нагреватель ЕЖ. Проект.

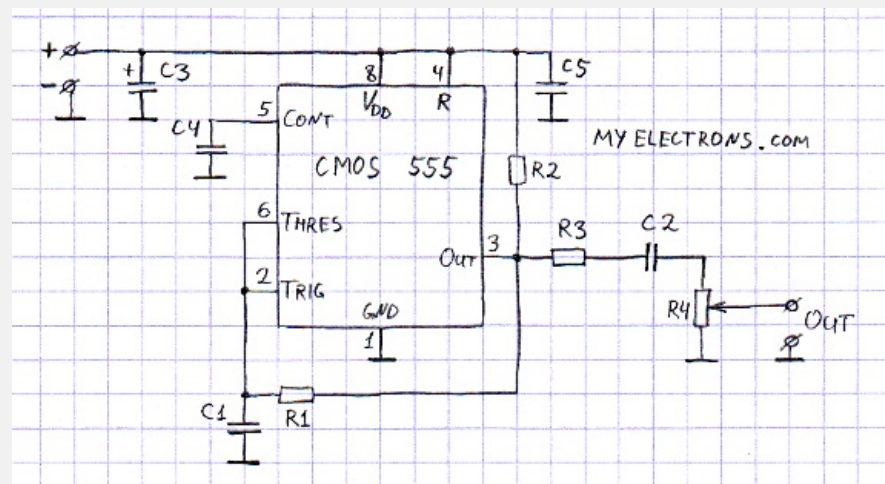
Начата реализация схемы нагревателя с логикой отработанной в LTSpice. На номиналы ориентироваться не стоит. Вместо логического элемента или (1-2-3) можно использовать монтажное "ИЛИ".



10.11.14 Ждем детали с Востока.

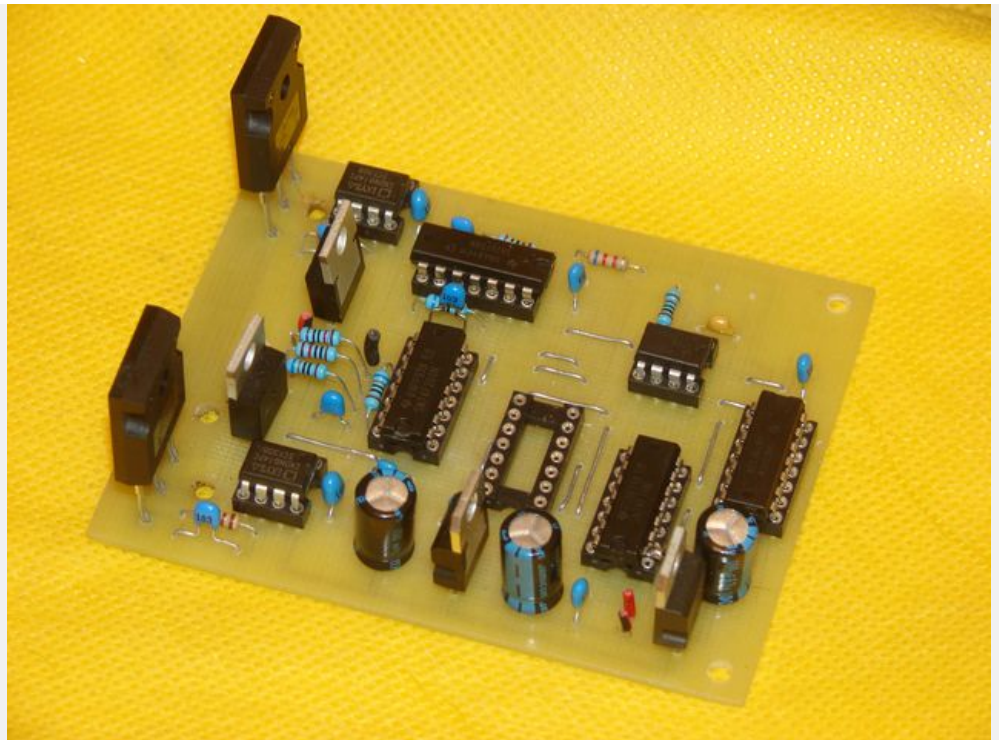


16.11.14 Таймер.



[Простой генератор тестового сигнала. Сергей Патрушин.](#)

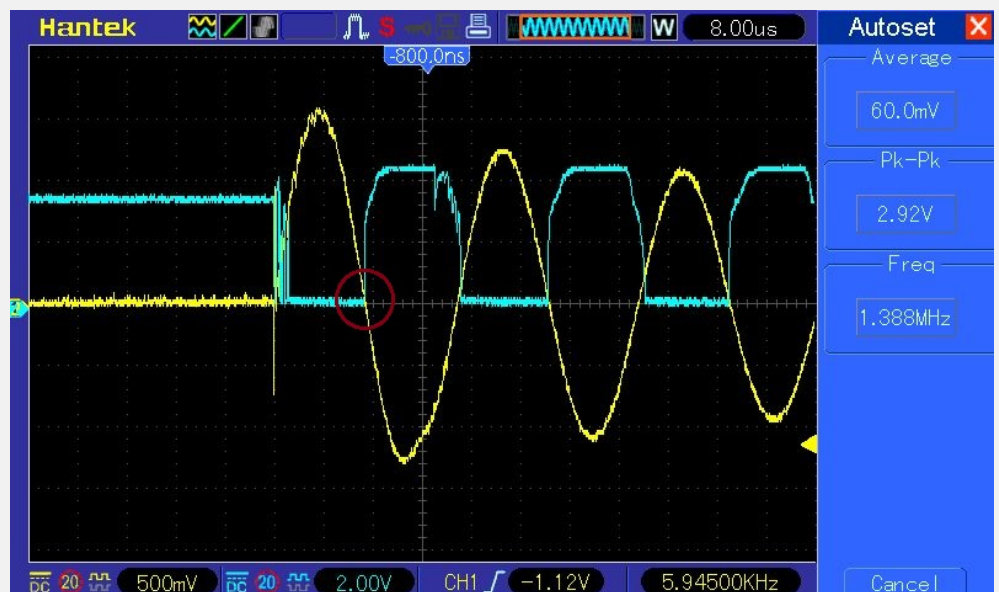
04.12.14 Промежуточный итог или его отсутствие.



Сброс и установка SET/RESET в триггере осуществляется спадом фронта при переходе от плюса к нулю. Как это сделано в стандартном D-Триггере эмулятора LTSpice - загадка. Стоило пару капель подумать прежде чем делать на основе библиотечного D-Триггера LTSpice реальную плату. Соответственно весь логический блок запуска схемы и анализа сигнала оказался не работоспособен.

Детектор нуля на диоде, логическом элементе и делителе напряжения 10K/680ом абсолютно жизнеспособен. Изменяя значения резистора 680ом делителя в пределах 2Ком можно установить точный переход синусоиды через нуль при определении нуля напряжения - максимума тока. Кругом обведен нуль, при определении которого должен быть включен транзистор и выключен противоположный. ВЧ помехи закрытия транзистора пропустит RC фильтр на входе выключающего или. Все прочие нули не интересны - следствие низкой частота отладочного генератора выключающего транзистор.

Таймер непостижимой конструкции, предложенный выше, оказался на удивление стабилен. На осциллограмме частота синусоиды индуктора в районе 31кГц. Желтый луч - виток связи, синий - выход SN74F260N. Для дальнейшей работы интересен только первый переход через нуль при закрытии транзистора. Фаза синусоиды на витке связи носит информационный характер, не привязана к работе схемы и изменяется сменой мест щупов осциллографа.

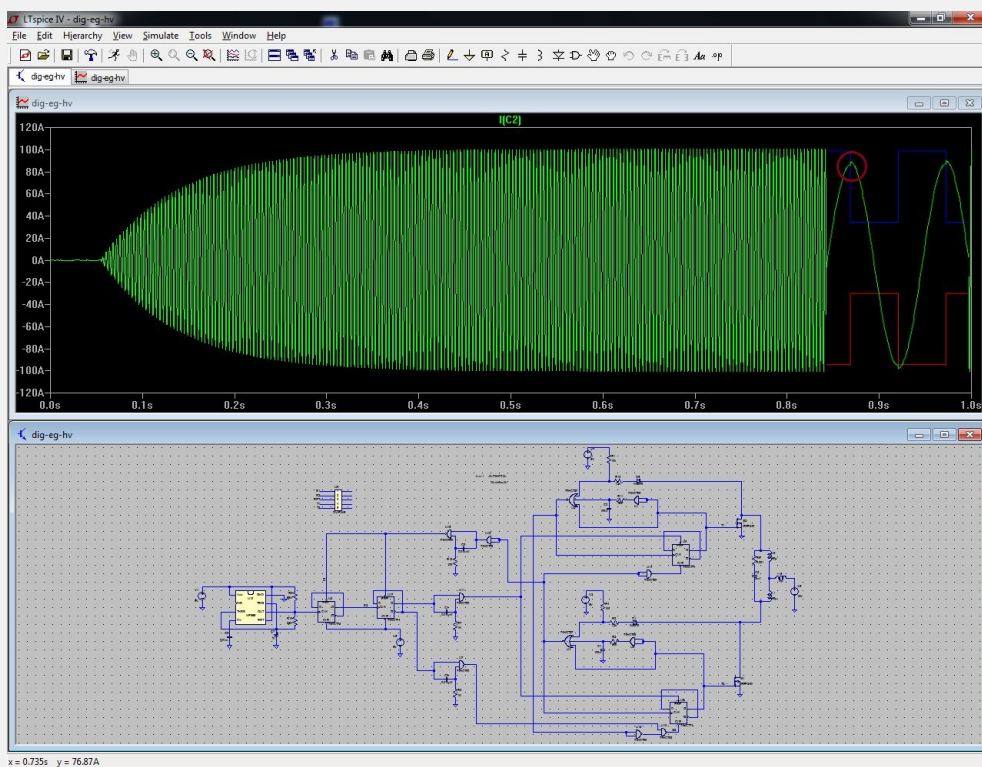


В LTSpice стандартный Д-триггер заменён на корректно работающий из библиотеки НСТ. При включении на входе установки SET транзисторных триггеров формируется короткий импульс. По спаду фронта на Q выходе будет установлена логическая единица. Затем происходит сброс нижнего по схеме триггера. В итоге - транзистор M2 включен, M1 - выключен. При выключении транзистора M2 на входе 74НСТ27 формируются два логических нуля. Первый сразу, затем, через время $C1/R2$, достаточное чтобы пропустить ВЧ помехи закрытия транзистора - второй. Линия задержки $C1/R2$ должна обеспечить задержку до четверти полупериода. На стоке выключенного транзистора диодом выделяется полупериод синусоиды на частоте резонанса.

При получении третьего, недостающего нуля с диода - пересечение синусоиды с "нулем". На осциллограмме выше - выделено в круг. На всех входах 74НСТ27 будет установлен нуль, а значит на выходе логическая единица. Фронт сигнала переключает триггер в состояние логической единицы, включит транзистор и сформирует на входе - 74НСТ27 логическую единицу. На выходе 74НСТ27 будет сформирован нуль. Этот же импульс переводит противоположный триггер в состояние выключено - цикл повторяется, но уже для противоположного транзистора.

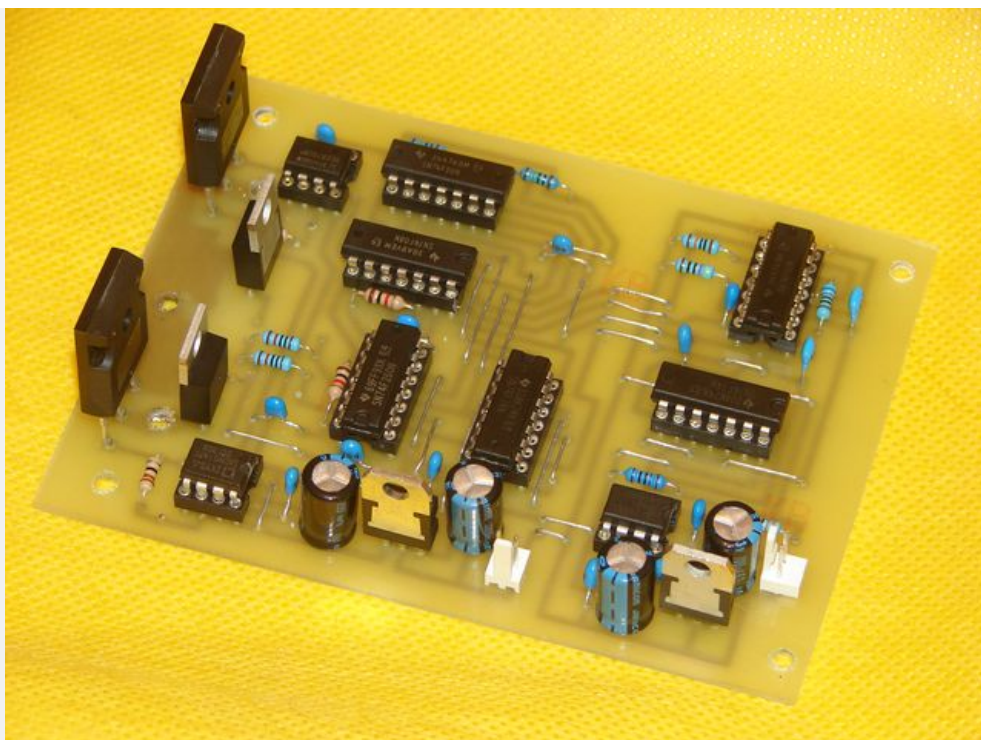
Прерывает начавшийся вывод Колебательного контура в резонанс меандр с таймера. Триггеры, подключенные к таймеру, на частоте КК переводятся в состояние "включен", тем самым убирая влияние переключений таймера. Книга [Схемотехника на МОП микросхемах](#)

Как только происходит срыв генерации, триггеры, подключенные к таймеру, не будут сбрасываться в единицу. Импульсы таймера начнут доходить до адресата. Схема будет перезапущена. Ничего лучшего пока придумать не могу. Наверняка можно сделать гораздо проще.



[dig-eg-hv.asc](#)

12.12.14 Вторая попытка - ни о чём..



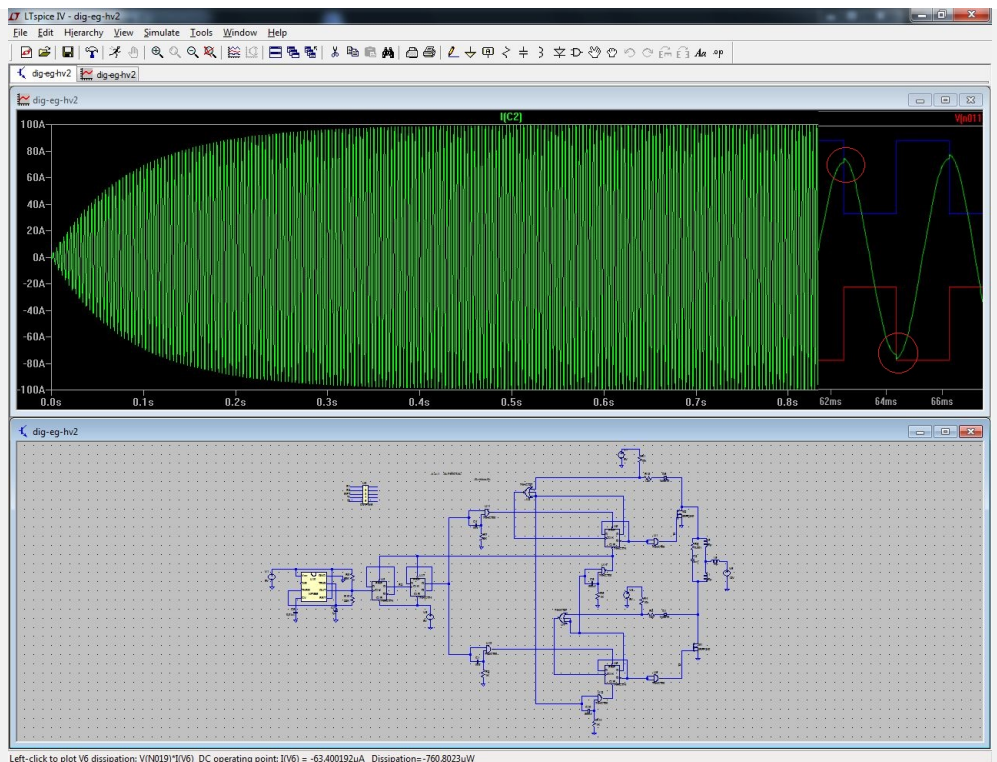
[Схема и печатная плата ЁЖ в DipTrace в файлах eg-digital](#)

На выходе исключающего "И" 74HC27, при определении нуля появляется логическая единица, фронт сигнала перебрасывает триггер в состояние вкл. Положительный уровень триггера, по обратной связи формирует на выходе 74HC27 нуль. Итог - сформирован импульс положительной полярности. Но, длительности данного импульса, в силу высокого быстродействия микросхем, оказалось недостаточно чтобы произвести выключение драйвера противоположного плеча. В результате схема заработала на "половину" Данный недостаток устранен в схеме приведенной ниже. Для предлагаемого драйвера UCC37321 необходимо использовать инверсный выход триггера.

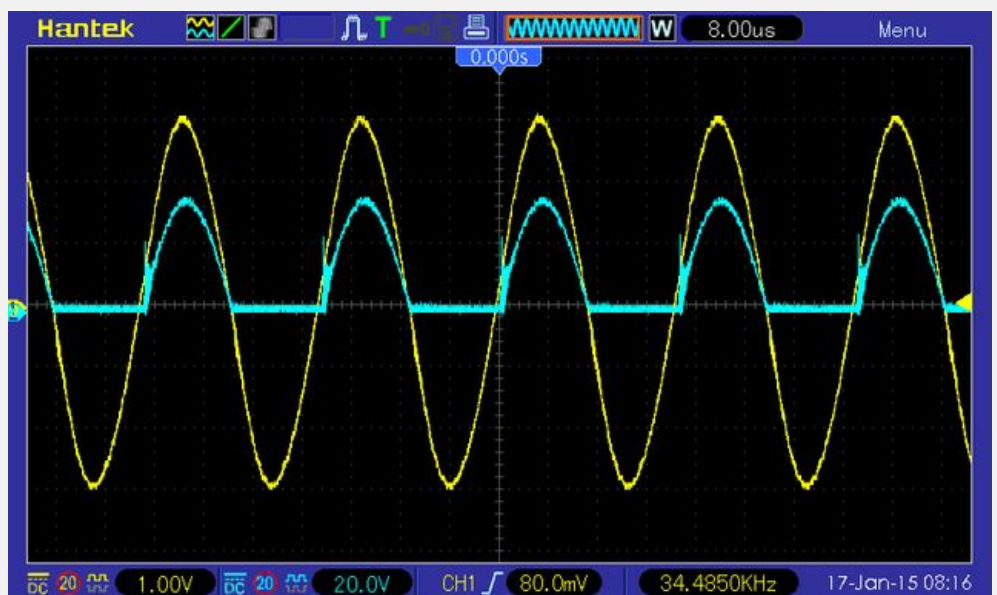
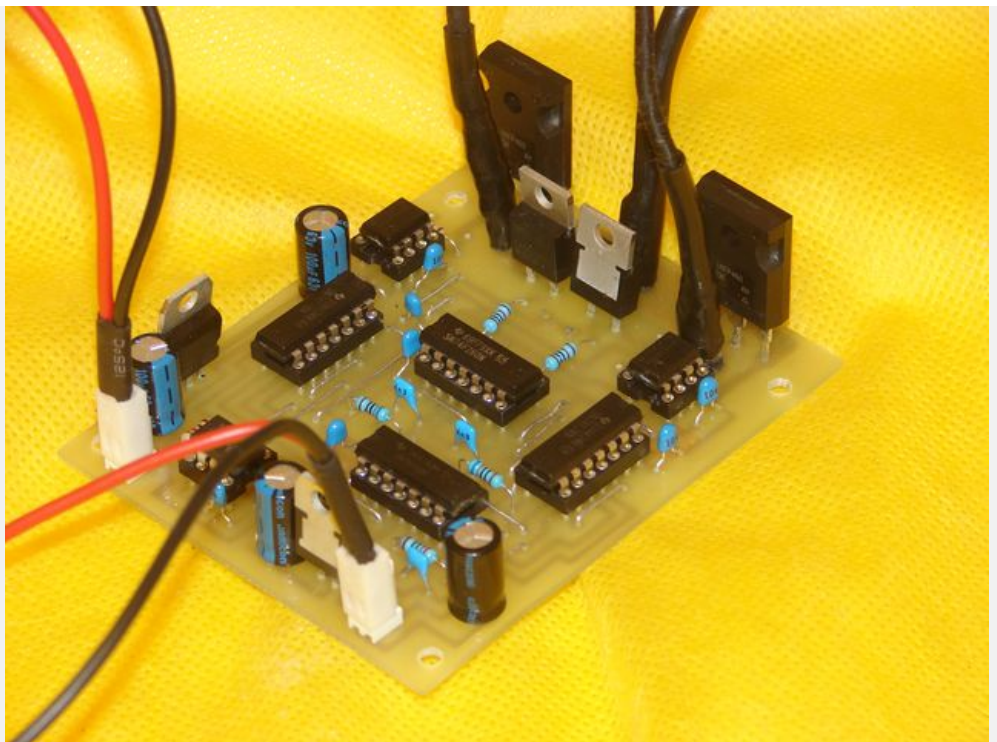
10.01.15 Третья попытка.

Упрощена процедура пропуска помех, возникающих при закрытии транзистора. В схеме приведенной ниже, это выполняет импульс выключения триггера. По спаду фронта триггер переходит в состояние нуль, но обрабатывать сигналы на входе CLK он начинает после того, как на входе CLR будет восстановлена положительная полярность. Регулируя длительность импульса сброса C5/R6 и C10/R14 необходимо сформировать время неактивности триггера по входу (визуально - не менее четверти периода) и пропустить помехи. LTSpice достаточно точно считает длительность данного импульса. Аналогичный принцип использован при первом запуске и последующих перезапусках в случае срыва генерции.

Схема начинает выходить в резонанс сразу, надеюсь эта версия будет полностью работоспособна не только в эмуляторе.

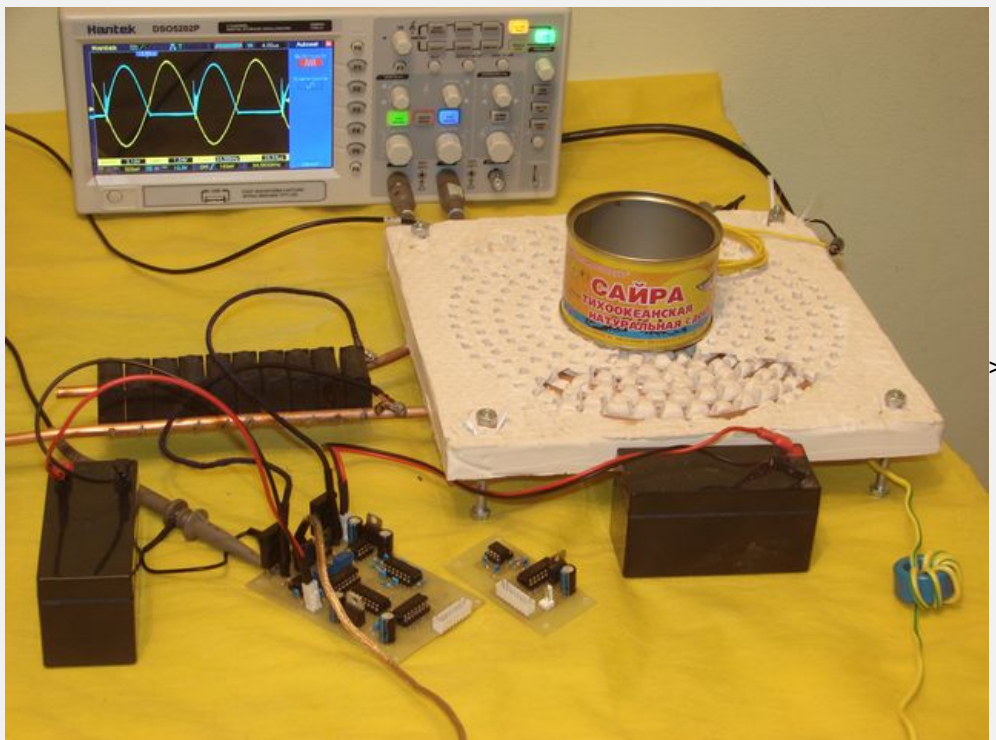
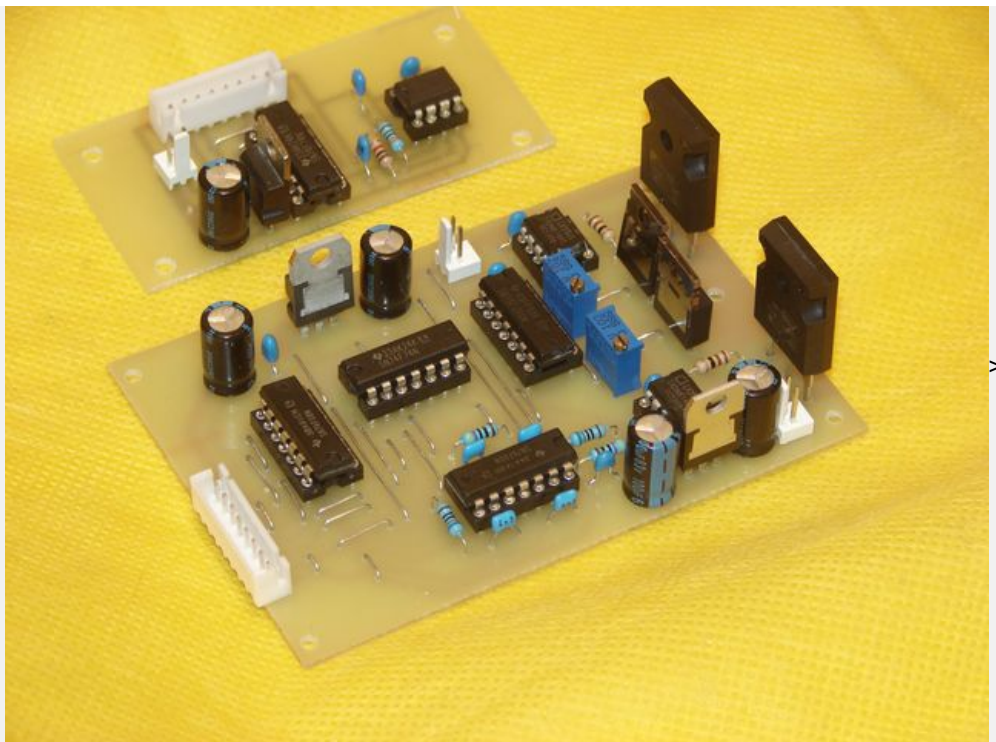


17.01.15 Общее впечатление.



Как и предполагалось автозапуск не заработал. Схема запускается если "поискрить" плюсом силового провода без делителя напряжения. Схема с драйвером ucs37321 работает стабильно, сбои в генерации случаются не чаще раза в час, но похоже срабатывает алгоритм перезапуска, генерация восстанавливается сразу. На осциллограмме выше показана работа схемы под "нагрузкой" при нагреве. Желтый луч - виток связи. Синий - сток исток. Транзисторы без радиаторов, при нагреве транзисторы теплые, если убрать нагрузку остывают до комнатной температуры. Потребление без нагрузки $12V \cdot 440mA$. Общее впечатление - абсолютно другой уровень по сравнению с простыми flyback аналогами.

Ниже приведена копия экрана ltspice. Синий луч - сток/исток транзистора. Зеленый ток со сдвигом по фазе. Внешние данные те же, напряжения совпадают. Вертикальная линия надо полагать ОЭДС, которая и формирует ступень спирали роста тока. Напряжение равно нулю, ток максимален. Рассеиваемая на транзисторе мощность в идеале так же должна быть нулевой.



[Файлы схемы и печатной платы в eg-logical-mk](#)

В данной конфигурации ток потребления $12V \times 2A$, после часа работы транзисторы теплые. Всё остальное, кроме консервной банки, остаётся холодным. Большая мощность требует установки радиаторов на транзисторы. Вся спираль закрывалась листом металла, кратковременно проверялся ток до 10A. Частота при изменении нагрузки "не плавает", меняется в сотых.

Автозапуск абсолютно интересен, но как его организовать с минимумом затрат?

Из нюансов стоит обратить внимание на длительность импульса обратной связи, закрывающего SN74F260N после получения первого "нуля". Выход SN74F260N->Триггер-SN74F74N->Вход SN74F260N. Сейчас его длительность порядка 7ns, после добавления в цепочку ещё одного элемента выраженного в дополнительных 7ns, схема перестает работать. В этот промежуток времени триггер успевает принять ВЧ помеху транзистора, это приводит к ложному срабатыванию триггера и нарушению всей логики работы. Возможно логичным будет ставить "медленный" SN74F260N и "быстрый" SN74F74N.

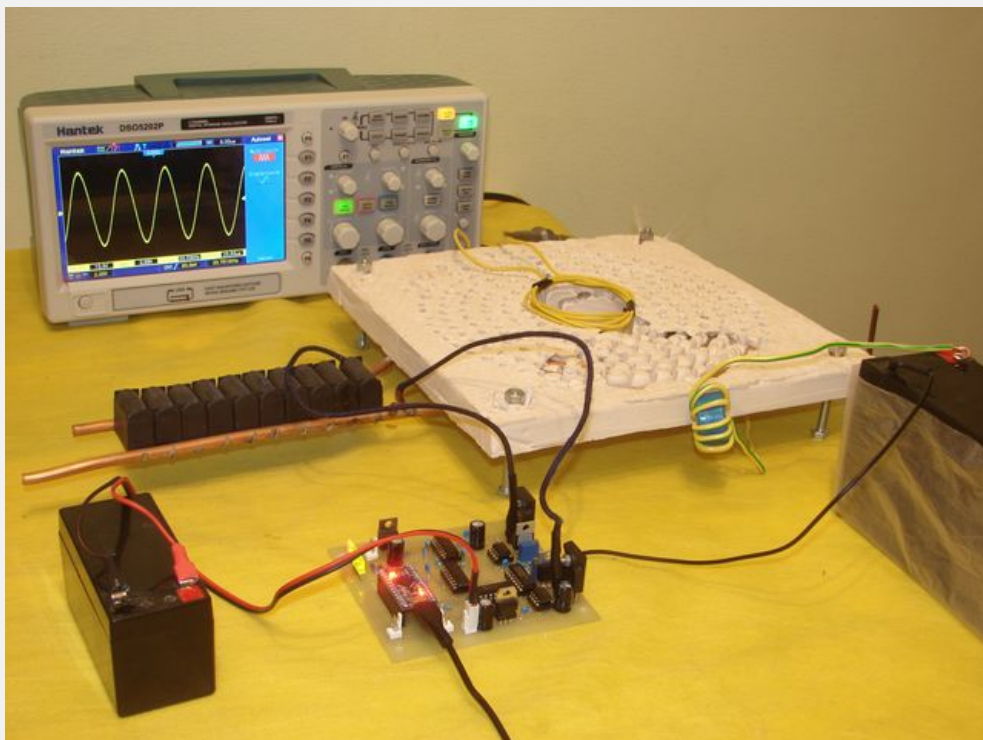
Часть входов SN74F260N объединены в пары по двум причинам - потому что они лишние, но

и наносекундные импульсы за счет различия времени срабатывания входов теряются в недрах микросхемы. Возможно имеет смысл увеличить длину проводников для усиления эффекта.

Так же стоит обратить внимание на длительность импульса по входу сброса триггера в нуль. Это время должно быть больше времени ВЧ помех транзистора IRFP460. Сейчас время четверть полупериода. При значительном уходе от частоты 30кГц, следует изменить номинал резистора.

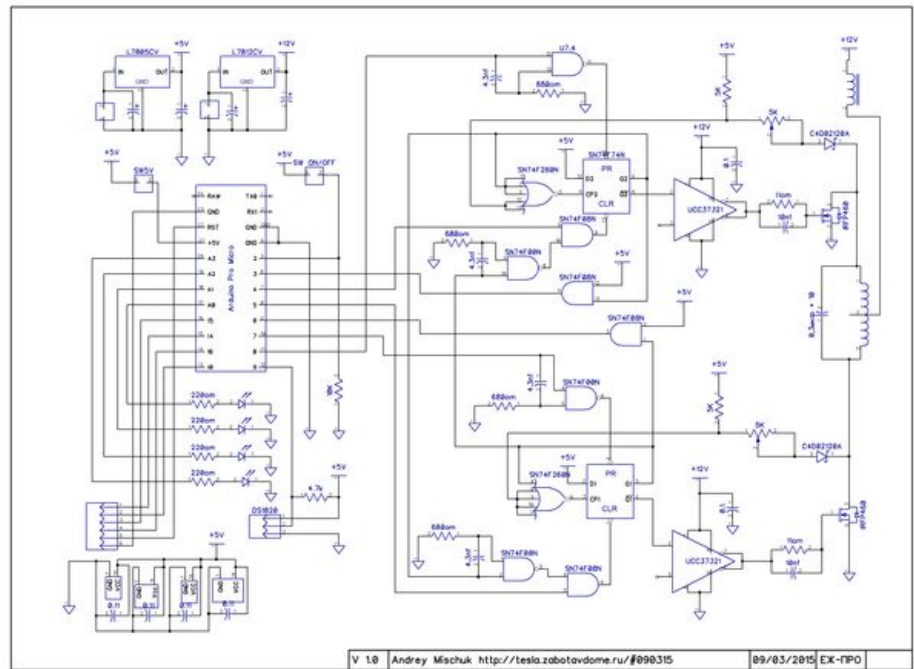
В остальном все сигналы и логика работы на месте, соответствуют Itspice, разве что частота на порядок выше.

09.03.15 Схема заработала сразу. [Файлы - eg-pro.zip](#)



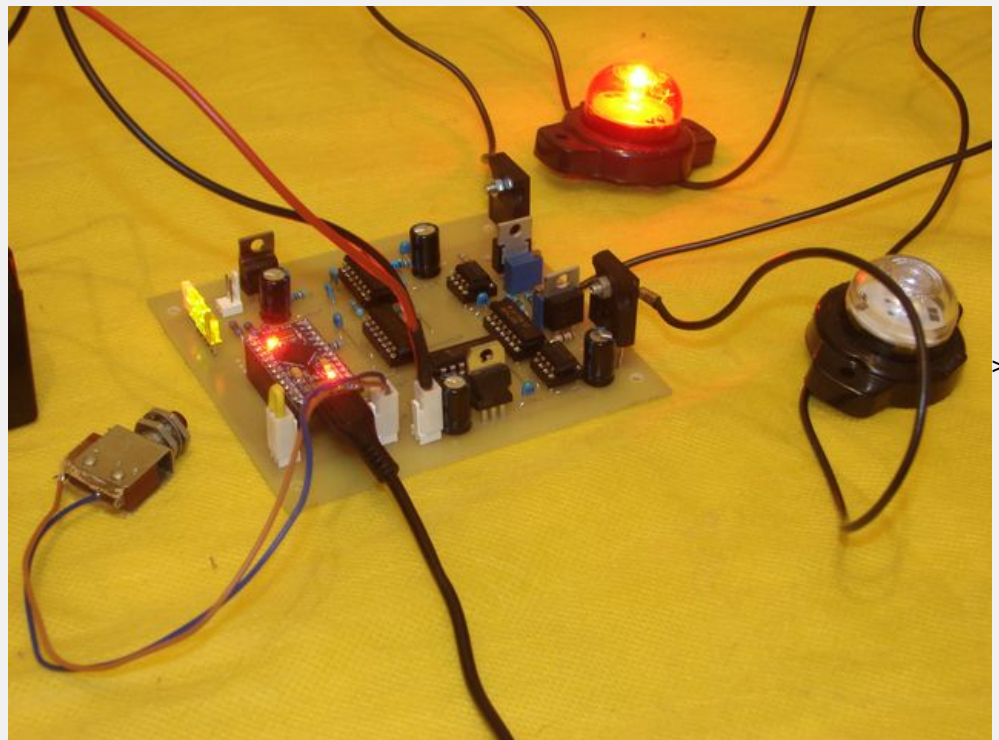
[Детальный просмотр.](#)

Питание логических микросхем от USB, питание драйверов от аккумулятора. Чтобы избежать рисков потерять контроллер, на этапе отладки для гальванической развязки силового питания и USB компьютера использован аккумулятор.



[Детальный просмотр.](#)

Схема и печатная плата diptrace, программа контроля правильности сборки chk.ino и рабочий eg.ino по ссылке: [eg-pro.zip](#) Программа контроля поочередно включает светодиодные лампы 12V.



Отличие данной схемы от ранней реализации в том, что МК полностью исключен из алгоритма поддержания резонанса. На нём сервисные функции контроля и перезапуска. Контроль осуществляется тем, что выход триггера заведена на вход МК, обрабатывающий внешние прерывания. При переключении триггера возникает прерывание. Обработчик прерывания увеличивает значение счётчика cInterrupt на единицу.

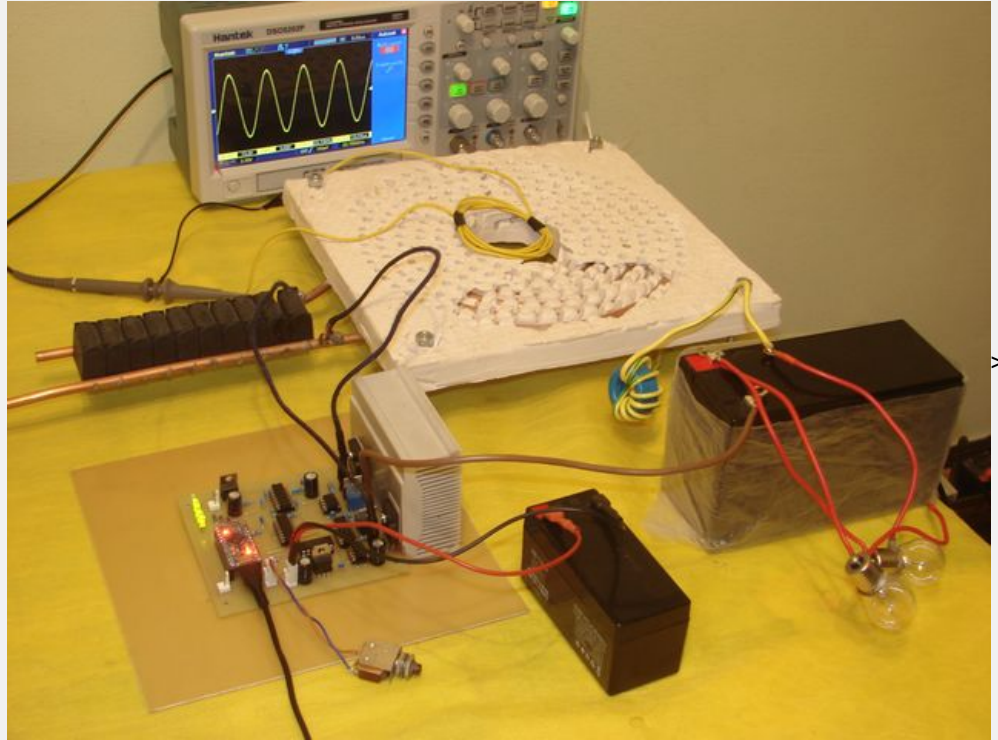
Дополнительно генерируются прерывания по таймеру с частотой 3-5кГц. В обработчике прерывания по таймеру происходит проверка изменения счетчика cInterrupt и его сброс в нуль. Если изменений не было - генерация сорвана и следует повторно перезапустить процесс. Срывов генерации при малых нагрузках пока отмечено не было.

На плате выведены контакты для подключения выключателя, интерфейс SPI, четыре светодиода, контакты для подключения температурных датчиков DS1820.

Предусмотрен делитель напряжения детектора нуля на аноде диода C4d02120d. Как его настроить - вопрос совершенно нетривиальный. Переменный резистор выведен в нуль. Конденсатор, подключаемый к затвору параллельно резистору не используется.

14.03.15 Изменения в программе.

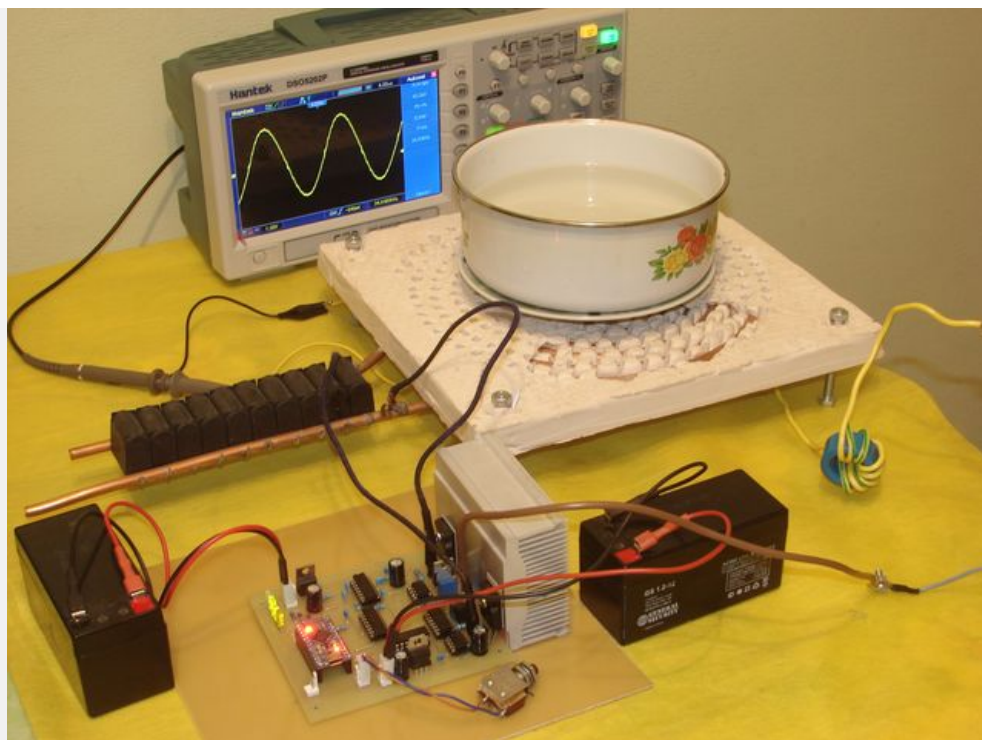
Исправлен алгоритм контроля и перезапуска. Если возникает срыв генерации, загорается на 1-2 секунды красный светодиод А0. Таймер контроля работает на частоте порядка 5кГц. В случае обнаружения срыва генерации сразу отключаются оба транзистора. В следующее прерывание по таймеру производится попытка запуска. У транзисторов есть одна десятая миллисекунды прийти в себя. Мало наверное.



Детальный просмотр.

После загрузки программного обеспечения в МК, схему необходимо включить микровыключателем. Категорически не стоит "искрить" силовым проводом. Вначале необходимо выключить схему микровыключателем. Провод к микровыключателю должен быть коротким, собирают помехи. На этапе отладки, последовательно индуктору стоит включать электролампу 12V*2W. В случае сбоев, транзисторы будут целее. При отсутствии нагрузки лампа не горит. При начале нагрева, ток увеличивается, лампа начинает гореть.

Серия SN74F логических микросхем - страшно боится электростатики. Проверено не на одном экземпляре. Вместо экзотики диода шоттки, в качестве детектора нуля был проверен 10ETS12 работает. Наверное будет работать и прочее.



Нагрев - 12V*2.74A

16.03.15 Изменения в программе.

Таймер работает на частоте 5кГц, частота контура 30кГц. Можно предположить что в промежуток времени между вызовами процедуры обработки прерывания, как минимум два раза будет вызван обработчик прерывания по изменению состояния Д-Триггера. Всё было бы так, будь процессор побыстрее. Но Arduino Pro Micro не успевает, начинает путаться в показаниях.

Изменен алгоритм контроля. При переключении Д-триггера обработчик прерывания изменяет статус, перезапускает таймер и прекращает обработку внешних прерываний. Далее, в обработчике прерывания по таймеру проверяется изменение статуса, при необходимости происходит перезапуск и восстанавливается обработка внешних прерываний. Рост частоты при поднесении заготовки до 50кГц отрабатывается.

Очередная проблема. При включениях и выключениях микровыключатель дребезжит и отправляет МК неопределенное состояние. Скорее всё происходит так. При нажатии микровыключателя, выключаю оба транзистора. По жизни - один транзистор выключен, второй включен. Можно предположить, выключение того что включен, приводит к генерации импульса видимого осциллографе, который и вгоняет МК в состояния прострации из которого вывести его можно только перезагрузкой.

17.03.15 Изменения в программе.

Микровыключатель убран. Программа переписана под обычный выключатель, что более разумно. ВЧ помеха в эфире, иногда возникающая при включениях и выключениях силовых транзисторов "подвешивает" процессор. Проблема решается размещением блока управления, вплоть до радиатора в экран.

Если у кого есть ссылки, схемы, расчеты, графики, примеры, замечания пишите на почту zabotavdome@gmail.com

Всем успехов,
С уважением, Андрей Мищук