

Инструкция по сборке и наладке прибора для безучетного потребления электроэнергии.

Содержание

- 1. Предыстория. Краткий обзор версий***
- 2. Подробное описание схемы и принцип действия***
- 3. Детали и конструкция***
- 4. Инструкция по сборке и наладке***

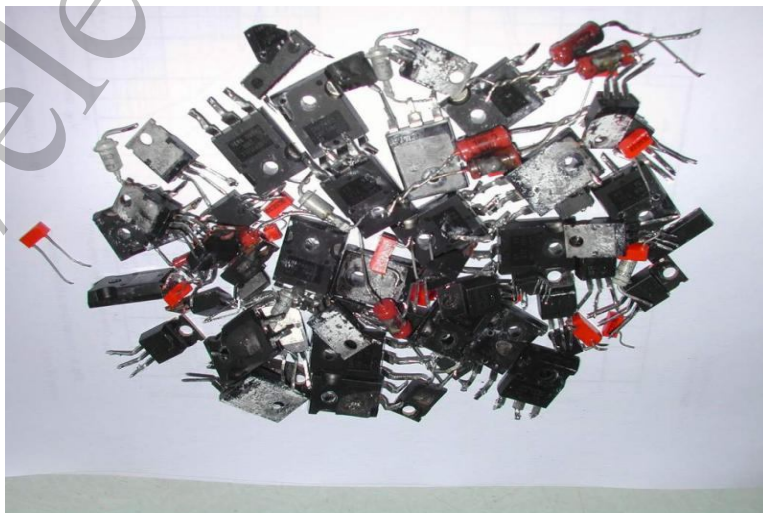
1. Предыстория. Краткий обзор версий.

Идея создания подобного устройства возникла еще в 1998 году, после знаменитого «Дефолта», когда простому обывателю согреться в холодное время года стало роскошью. То есть теплосети работали, но толку от них было мало, а цена на электроэнергию стремительно росла, опережая зарплату. Вот тогда и появился спрос на всякие там «отмотки». Тогда самым ходовым был трансформаторный способ отмотать счетчик, но он требовал вмешательства в схему учета (надо было поменять фазу и ноль ее входе счетчика или взять фазный провод до учета). Раньше было проще — тупо вскрыл, поменял концы, и мотай себе назад. Придет инспектор — лицо кирпичом: типа не я, не знаю и т. д. Да и не каждый инспектор туда лазил. Времена менялись, энергонадзор стал придирчивее, теперь за сорванную пломбу — штраф. А если в доме найдет безучетную розетку, благо уйму приборов изобретено для поиска таковых, - мало не покажется.

В начале 2000-х в интернете появилась первая схема для электронной отмотки счетчика. Тогда за схему просили от 50 до 150 долларов США. Подумали всей лабораторией, скинулись да купили. Я даже счет на Вэбманах открыл. В комплекте оказалось аж три схемы — одна для отмотки, две — способ «обогрев». Долго изучали схемы, высказывали свои мысли, и...

Принцип работы основывался на том, что в первую и четвертую четверть периода сетевого напряжения заряжался накопительный конденсатор током повышенной частоты, а во вторую и четвертую — тупо разряжался назад, в сеть. Автор утверждал, что высокочастотная нагрузка, дескать, не заметна счетчику. В качестве накопительного там использовался полярный электролитический конденсатор. В общем, при первом включении этот самый конденсатор вспучило, если бы не реакция одного человека, кто-то мог остаться без глаз. Опять скинулись, купили батарею неполярных. Включили. Заработало. То есть не совсем. Осциллограммы совпадали с исходными, правда ток оно потребляло, и не маленький, при общей емкости 200 мкФ, амперметр показывал почти 10 ампер. Транзисторы (КТ848А) кипели. Ну ладно. Первым, кто забрал прибор на домашние испытания, был наш зав. кафедрой. На следующий день он торжественно объявил — **НИ ХРЕНА** оно не отматывает! Правда, и счетчик не особо нагружает, а провода греет. После того, как каждый из нас перетаскал это чудо домой, в очередной раз скинулись, купили еще и счетчик. Испытали другие схемы — результат тот же. Играли с частотой, скважностью, фазой заряд-разряд, короче со всеми параметрами, которые можно подкорректировать. Результата не было, точнее был — пополнялись горы спаленных радиоэлементов. Дело забросили.

Вспомнили с появлением других схем в интернете и появлением в нашем коллективе новых молодых бойцов. Скачивали все подряд, но в архивах было либо то же самое, либо «усовершенствованное, улучшенное», а принцип оставался тот же — горы, правда уже более современных элементов, росли.



Попадались даже платные архивы и добровольцы, которые отправляли СМС, а потом кусали себя за локти.

Теперь ближе к делу. В схемах с накопительным конденсатором, сам конденсатор является нагрузкой, потому что он заряжается на возрастающей четверти периода. Да и для того, чтоб повернуть диск счетчика назад, его надо зарядить как минимум до напряжения выше сетевого. А если применить дроссель для той же цели? Мысль интересная, и возникла у одного из наших новых электрофакеров. Правда, технически реализовать разряд дросселя в счетчик оказалось сложнее, чем конденсатора. Индуктивность после прекращения тока, может отдать при определенных условиях, энергии даже больше накопленной, но в обратной полярности.

Первая работоспособная схема появилась на свет в ноябре 2009 г. В схеме дроссель работал на частоте 100 Гц. То есть, как и в конденсаторном варианте первая четверть периода — накопление энергии, затем вторая четверть через ключи разряда в сеть. Правда, сэкономила она 70-75 процентов мощности нагрузки. Третья и четвертая — по аналогии, только на другой полуволне. Все бы ничего, да габариты устройства для киловаттной нагрузки были очень уж громоздкими. Дроссель мотали на железе от киловаттного трансформатора от сварочного аппарата. Конструкция в народе не пользовалась спросом, поэтому разработки велись в сторону уменьшения габаритов и себестоимости.

Вторым этапом стало перемещение рабочей частоты в сторону единиц килогерц, с модуляцией удвоенной сетевой частотой. Кстати, осциллограммы на сайте, соответствуют именно этой схеме. Дроссель мотали уже на пермалловых сердечниках. Принцип остался тот же, за исключением того, что энергия передавалась в дроссель-обратно несколько сотен раз за период. Схема завоевала популярность среди изготовителей. Но пермаллой - довольно эксклюзивный раритетный материал, и его запасы в наших недрах оказались через чур ископаемыми. Да и повышенная чувствительность к соотношению мощность-индуктивность дросселя делала ее узконаправленной. Хотя.... Встраивал ее народ в электрокотлы, электроплиты.... Это март 2010 года.

Дальше стал вопрос: либо снизить габариты, либо удешевить производство. В сентябре 2010 родилась еще одна идея. А зачем вообще синхронизировать это все с сетью? Разработки пошли в двух направлениях: увеличение частоты или использование доступных материалов? Схемы обоих устройств одинаковые, различия только в рабочей частоте, точных данных и номиналами некоторых элементов. Именно эти два варианта и легли в основу данного документа. А в ноябре 2010 года, один из наших покупателей предложил еще и защиту от перегрузок по току и превышения выходного напряжения.

2. Подробное описание схемы и принцип действия.

Для простоты объяснения, будем использовать простую терминологию. Открываем схему. Она состоит из трех функциональных узлов: схемы формирования, схемы коммутации и схемы защиты.

- 2.1. Схема формирования состоит из формирователя импульсов соответствующей полярности сетевого напряжения на элементах И-НЕ DD1.1 и DD1.2. Положительная полуволна проходит через диод VD16, резистор R13, поступает на вход 5 DD1.2. Диод VD18 ограничивает амплитуду импульса до напряжения питания. Резистор R15 нужен для того, чтоб во время активности другой полуволны на входе элемента был логический 0. То же самое происходит с отрицательной полуволной. Элементы отрицательной полуволны DD1.1, R12, VD17, R14. Диаграммы напряжений — соответственно 2 и 3. На вторые входы элементов подается тактовая частота, которая и раскачивает ключи.
- 2.2. Рассмотрим работу генератора. Он собран на элементах И-НЕ DD2.1 и DD2.2. Положительная обратная связь осуществляется через цепь R18C8. Рабочая точка задается резистором R21. Цепь VD19R19VD20R20R21 нужна для коррекции скважности импульсов. В идеале нужна скважность 2, а реально регулируя скважность можно изменять выходное напряжение в некоторых пределах (при отсутствии защиты, но об этом позже). В принципе, эту цепь можно безболезненно выкинуть, так как в схеме защиты есть функция укорачивания импульса. Диаграммы 4, 6.
- 2.3. Как уже говорилось, тактовая частота поступает на вторые входы формирователей. То есть если на одном входе активна соответствующая полуволна (логическая 1), сигнал проходит на выход, но инвертируется. Если 0, то на выходе импульсов нет, лог. 1. Для управления промежуточными ключами сигнал нужно проинвертировать, этим занимаются элементы DD1.3 и DD1.4. Диаграммы 7 и 8.
- 2.4. Промежуточные ключи нужны для гальванической развязки от силовых и для формирования противофазных импульсов. Импульсы с выходов DD1.3 и DD1.4 через резисторы R16 и R17, поступают на эмиттерные повторители VT5, VT7. Они нужны из-за того что выходы элементов КМОП слабые, а емкости затворов полевых транзисторов значительные, то есть чтоб не затягивать фронты импульсов. С повторителей — собственно на затворы ключей VT6 и VT8. Ключевые транзисторы нагружены на разделительные трансформаторы T2 и T3. Как видно из схемы, трансформаторы включены хитро, то есть питание подведено к средней точке обмотки, один из крайних выводов подключен к стоку, а второй — через диод на общий провод. Не будем тонко разбираться в физике процесса, но с диодом на выходе гасятся паразитные колебания и форма импульсов близка к идеальной. Диаграммы 9 и 10.
- 2.5. Теперь — самое главное. Ключи и накопительный дроссель. Разберем пока положительную полуволну. Итак имеем нарастание положительной полуволны в сети. То есть на верхнем проводе +. Работают ключи VT2 и VT3. На затвор VT2 приходит положительный (относительно эмиттера) фронт управляющего импульса. Транзистор открывается. Ток течет по цепи верхний контакт XP1-K1 (предположим все в норме и контакты замкнуты) — вывод 3 L1 — вывод 2 L1 - VD2- VT2 — нижний контакт XP1. Транзистор некоторое время открыт. В это время в дросселе накапливается энергия. На затворе фронт импульса меняется на отрицательный. Транзистор VT2 закрывается, зато на затвор VT3 поступает положительный фронт импульса, транзистор VT3 открывается. начинается возврат энергии из дросселя назад в сеть. Происходит это следующим образом. Накопленная в дросселе энергия при снятии питания меняет полярность. То есть

на выводе 3 уже отрицательный потенциал (относительно 2-го). Но у обмотки есть продолжение — выводы 4 и 5. Предположим, что индуктивность обмоток 2-3 и 3-4 одинакова, значит и потенциал будет одинаковым, но в противофазе. А на выводе 5 (участок 3-5) будет еще «отрицательнее», чем на 4 выводе. То есть при снятом напряжении на обмотке 2-3 будет на 2 выводе плюс, на 3 — минус, на обмотке 3-5 будет на 3 выводе плюс, на 5 — минус, да еще и выше потенциалом. Вот этот выброс энергии мы и вернем в сеть. Ток из дросселя потечет по цепи (от плюса к минусу): вывод 3 — верхний контакт ХР1 — счетчик - нижний контакт ХР1 — транзистор VT3 — диод VD3 — вывод 5. Здесь еще есть один нюанс — конденсатор С1. Он включен между нулевым проводом и средним выводом дросселя. Его назначение — удерживать как можно дольше импульс разряда дросселя, по аналогии с классической схемой зажигания в автомобиле. Попробуйте отключить конденсатор от катушки зажигания, что будет? Искра станет короткой, зато на контактах прерывателя — яркая и сочная. Здесь то же самое. Цепь R6C2 — защитно-искрогасительная, чтоб не вывести из строя транзистор VT3 да и диод VD3. Амплитуда импульса без нагрузки на выводе 5 достигает в пике до 1500 -2000 вольт. Импульс, правда, короткий, но его хватит, чтоб вывести из строя полупроводниковые элементы. А это цепочка гасит паразитные колебания. На затвор VT2 снова приходит положительный фронт управляющего импульса. Транзистор открывается. Все описанное выше повторяется. Диаграммы 14 и 16. Повторяется до тех пор, пока полярность в сети не изменится на противоположную. На отрицательной полуволне все происходит точно так же, только работают ключи VT1 и VT4, и полярности приложенных и снятых напряжений обратные. Диаграммы 12 и 18.

2.6. С возвратом счетчику разобрались. Он получает назад такие же импульсы, которые мы у него взяли, но повышенной амплитуды и покороче длительностью. Назад они его не провернут, так как результирующая составляющая тока колеблется около нуля. В этом основное отличие от конденсаторного «рекуператора». Там заряд происходит серией импульсов, а возврат одним, да еще и амплитудой меньшей сетевой, а здесь — получил-вернул, и амплитудой повыше, и раз сто за полупериод.

2.7. Теперь же надо еще и нагрузке что-то скормить. Разбираемся дальше. Съем напряжения для питания потребителя происходит с того же дросселя. Обратите внимание на то, что выпрямительный мост включен не симметрично относительно среднего (3) вывода. То есть потенциал моста смещен в сторону ключей заряда. Это сделано для того, чтоб нагрузка не мешала накоплению энергии. По принципу качелей: справа сидит худой, слева — толстый. Чтоб уравновесить качели, толстому приходится сесть ближе к центру. У худого амплитуда качания, скажем, 1 метр, а у толстого — 0,7. Толстый отталкиваясь на 0,7 метра вызывает движение худого на 1 м. Здесь так же. Толкнув на 0,7 амплитуды, получаем единицу. Это на прямом ходу, то есть при накоплении энергии. Здесь еще и резонансные явления присутствуют - вспомните С1. В момент накопления конденсатор включен параллельно выводам 2-3, такой примитивный колебательный контур (а его Z стремится к бесконечности при резонансе). Напрямую к выводам 1 и 4 нагрузку включать нельзя, поскольку она собой зашунтирует все колебания. Чтобы шунтирование не оказывало влияние на работу дросселя L1, последовательно с нагрузкой включен дроссель L2. Для чего? Ток в цепи с индуктивностью нарастает не мгновенно, а с отставанием. Если правильно выбрать индуктивность — то шунтирования вообще не будет, так как Z дросселя L2 растет с ростом индуктивности и частоты. То есть, пока нарастает ток в L2, дроссель L1 успеет отдать энергию назад, в сеть. Для постоянного тока X — до одного места, а R можно победить, намотав его более

толстым проводом. Для справки: Z — полное сопротивление, R — активное, X — реактивное.

2.8. Назначение остальных элементов схемы. Вторичная обмотка дросселя нужна для питания схемы задержки полного включения. В момент включения питания, схема питается через резистор $R1$, который ограничивает максимальный ток через ключи. В случае, если в схеме все в порядке, возникли колебания, на обмотке наводится напряжение, которое выпрямляется диодами $VD9, VD10$. Напряжение подается на реле $K1$, реле срабатывает, контакты шунтируют резистор. Схема выходит на рабочий режим. Если в схеме есть какие-то проблемы: $K3$, неисправный ключ, неправильная фазировка затворов..., реле не сработает (на обмотке ничего не наведется), и соответственно ток на ключи будет идти через $R1$, что вызовет его перегорание, зато уцелеют ключевые транзисторы. Эта защита осталась от первой версии, не стоит ею пренебрегать. Отсюда же питаются кулеры, охлаждающие ключи и выходной выпрямитель. Стабилитроны $VD5...VD8$ ограничивают максимальную амплитуду импульсов на затворах ($U_{max} = 15V$). Диоды $VD1...VD4$ предотвращают попадание обратного напряжения на ключи.

2.9. NEW!!! Защита!!! (Спасибо Антону С.). Раньше единственной защитой была вышеописанная. Она защищала ключи только в момент включения, а если сбой происходил во время работы, за время отпущения реле, успевали «фыркнуть» силовые элементы. Да и от перенапряжений (при завышенной индуктивности дросселя) она не спасала. Разберем подробнее защиту, предложенную Антоном.

С той же обмотки (выводы 6-8), выпрямленные мостом $VD21$, импульсы поступают на компараторы $DA2$ и $DA3$. $DA2$ срыгает колебания тактового генератора, как только напряжение на выходе превысит установленное. Это происходит таким образом. На прямом входе компаратора (вывод 2) с делителя напряжения $R29R30$ присутствует некое опорное напряжение (назовем его $U1$, для большей линейности оно равно половине напряжения питания компаратора). На инверсный вход подается напряжение с обмотки 6-8, но выпрямленное, импульсное, пропорциональное выходному. Делитель $R27R28$ задает максимальное амплитудное значения сравнения. Как только амплитудное значение превысит $U1$, выход $DA1$ перейдет из высокоимпедансного состояния (выход компаратора с открытым коллектором) в нулевое. Логический 0, поступая на вывод 2 элемента $DD1.3$, прекратит подачу сигнала генератора промежуточным ключам. Ключи закроются, перетоки энергии прекратятся. Напряжение на выходе устройства не превысит заданное. Порог срабатывания определяет резистор $R28$.

Токовая защита работает следующим образом. При пуске происходит описанное в п. 2.8. Если же во время работы нагрузку «коротнет», или еще чего вызовет увеличение тока, произойдет отсечение генератора компаратором $DA3$. Работает он не на превышение, а на занижение выходного напряжения. То есть опорное значение у него на инверсном входе. Как только, по каким-то причинам, произойдет перегрузка, и амплитуда импульсов на прямом входе упадет ниже уровня опорного напряжения, выход компаратора так же заблокирует прохождение импульсов на ключи. Подаваемое на прямой вход напряжение интегрируется $R32C10$, для того, чтоб компаратор не реагировал на паразитные колебания (всплески и выбросы напряжения). Резистор $R31$ является нагрузкой для обоих компараторов, у которых выходы с открытым коллектором (логическое И). Порог срабатывания по току задается соотношением $R32/R33$.

3. Детали и конструкция.

Как уже отмечалось выше, актуальными остались две модификации. Их схемы идентичны, различаются рабочей частотой (1,5 или 15 кГц, хотя можете уходить от них как в плюс, так и минус), точными данными и номиналами некоторых элементов.

Для начала давайте взвесим плюсы и минусы обоих вариантов.

	1,5 кГц	15 кГц
1	Дроссель намотан на трансформаторном железе. Повышенный расход меди.	Дроссель мотается на Ш-образном ферритовом сердечнике. Расход меди минимальный.
2	Масса и габариты прибора значительные (для 2 кВт — до 5 кг).	Масса для 2 кВт не превышает 2 кг.
3	Расчет дросселя упрощенный, автоматизированный (есть программа), расчетные данные почти всегда подходят.	После расчета, необходима корректировка на паразитные емкости и индуктивности монтажа, методом проб и ошибок, научного тыка (зачастую дорогостоящим).
4	Можно применять обычные выпрямительные диоды и транзисторы с низкой граничной частотой.	Необходимо применять высокочастотные диоды или диоды Шоттки, и транзисторы с $f_{гр} > 40$ кГц.
5	Сильные помехи, наводимые в сеть.	Помехи практически отсутствуют.
6	Расстояние счетчик — прибор до 150м.	Не более 3 — 4 метров, а если разводка имеет большую емкость, то есть от счетчика до прибора, скажем 1 метр, а параллельно по всей квартире (даче, гараже) раскидана «паутина», может и вообще не быть толку.
7	Средняя повторяемость, может справиться новичок.	Если нет опыта в сборке и настройке импульсных схем (преобразователей, сварочных инверторов...), лучше воздержаться. Хотя надо же когда-то набираться опыта...
8	9 кВт — легко.	Попотеть с настройкой придется.

Кстати в ролике снят прибор, работающий на частоте 20 кГц. Идеальный вариант для дома, для семьи, когда включить в него, изредка, масляный или ТЭНовый нагреватель (в сильные морозы), утюг, чайник.... До 2-4-х кВт. Можно и больше, но хлопотно это. Полуторакилогерцовый прибор больше подходит для котлов, электроплит, гаражей и дач. Просто, включив дома такую «жужжалку», можно вызвать гнев соседей, а они могут вызвать инспектора РЭС.... А можно на все забить, и пользоваться, как ни в чем не бывало. Не я, не у меня, да идите Вы...

Подумали? Определились? Тогда комплектуемся. Типы и номиналы элементов сведены в таблицы. В примечаниях указаны критерии выбора элементов для разных вариантов и мощностей.

Общие.

Поз. на схеме	Тип, номинал	Замена	Разброс параметров	Примечание
Резисторы				
R1	ПЭВ-10 27 Ом		20-68 Ом	
R2, R3, R4, R5	МЛТ-0,5 130 Ом	0,5 — 1 Вт	100-150 Ом	
R8, R9, R10, R11	МЛТ-0,5 12 Ом	0,5 — 1 Вт	10-15 Ом	
R12, R13	МЛТ-0,125 1 кОм		1-1,5 кОм	
R14, R15	МЛТ-0,125 20 кОм		10-47 кОм	
R16, R17	МЛТ-0,125 470 Ом		360-560 Ом	
R23	МЛТ-0,125 20 кОм			
R24	МЛТ-0,125 270 кОм			
R25, R26	МЛТ-0,125 200 Ом		180-220 Ом	
R27	МЛТ-0,125 2,2кОм			
R28	СП-1-0,5 3,3 кОм			
R29, R30	МЛТ-0,125 20 кОм		10-30 кОм	
R31	МЛТ-0,125 1 кОм		1-1,5 кОм	
R32	МЛТ-0,125 33 кОм			Подбирается при регулировке
R33	МЛТ-0,125 10 кОм			
Конденсаторы				
C4, C5	2000 мкФ 50 В			
C6	100 мкФ 25 В			
C7	К73-1 1 мкФ 63 В		Керамический, можно больше	
C9	47 мкФ 25 В		Лучше тантал	
C10	0,22 мкФ			
Диоды, Стабилитроны				
VD5, VD6, VD7, VD8	КС213, КС215	Импортные 13-15 В		
VD13, VD14	КД212А (Б)	КД213		
VD15...VD20	КД522, КД521	Любые импульсные		
VD9, VD10	КД213А (Б)			
VD12	КЦ405, КЦ402	> 1 А		

VD21	КЦ407			
Транзисторы				
VT5, VT7	КТ503	п-р-п	h21э >50	
VT6, VT8	IRF120	п-канал	>5 А 50В	Любые с указанными параметрами
Трансформатор				
T1	Любой >15 Вт		U = 14-16в I = 1А	
Микросхемы				
DA1	7815, КР142ЕН8В	7812, ЕН8Б		
DA2, DA3	LM311	521СА3 554СА3		Любые компараторы с открытым коллектором с учетом цоколевки
DD1, DD2	К651ЛА7, CD4001			КМОП 2И-НЕ

Для различных модификаций.

Поз. на схеме	Тип, номинал 1,5 кГц	Тип, номинал 15 кГц	Примечание
R18	МЛТ-0,125 30 кОм	МЛТ-0,125 20 кОм	Определяют тактовую частоту. Могут отличаться от приведенных в зависимости от примененных микросхем, напряжения питания и пр.
R19, R20	МЛТ-0,125 47 кОм	МЛТ-0,125 47 кОм	
R21	МЛТ-0,125 510 кОм	МЛТ-0,125 430 кОм	
R22	СП3-38 220 кОм	СП3-38 150 кОм	
R6, R7	МЛТ-2 27 кОм	МЛТ-2 15 кОм	
C1	0,68 мкФ 630 В	0,082 мкФ 630 В	К-73-17
C2, C3	0,015 мкФ 1000 В	4700 пФ 1500 В	керамика
C8	22 нФ	3,3 нФ	керамика
Диоды*			
VD1, VD2	КД273М, HFA15TB60	КД273М, HFA15TB60	U>=600В, I>2*I _н
VD3, VD4	HFA30PB120	HFA30PB120	U>=1200В, I > I _н
VD5	4 шт HFA30PB120	4 шт HFA30PB120	U>=600 В, I > I _н
Транзисторы**			
VT1, VT2	IRG4PC50K		U>=600В, I>2*I _н
VT3, VT4	IRG4PC50K		U>=1200В, I > 2*I _н

* Для варианта 1,5 кГц можно выбирать диоды с рабочей частотой 2000-5000 Гц.

Подобрать можно здесь <http://www.promelec.ru/catalog/3/1382/1399/0/>, Для варианта 15 кГц — время рассасывания не более 60 нС.

**Понятно, что для нагрузки 1,5 кВт применять IRG4PC50K — кощунство. По этому, исходя из экономических соображений, подберите себе здесь

<http://www.promelec.ru/catalog/4/217/0/0/> или из приложенного файла. $I_n, A = P_n, Вт / 220 В$.

Сейчас, самое веселое: Намоточные изделия.

Начнем с разделительных трансформаторов Т2 и Т3.

Для частоты 1,5 кГц мы использовали Ш-образные сердечники от радиоточек (благо в институте их валяется гигауча). Железо — то, что надо, до 10 кГц аж бегом, Р габ то же в норме, да еще и каркас готовый. Итак — сердечник Ш10х10. Первичная обмотка 2 по 24 витка провода ПЭВ — 0,41. Мотается в два провода, затем начало одного соединяем с концом другого, получаем среднюю точку. Вторичную обмотку то же мотаем в два провода в сторону от начала первичной. Она содержит 2 по 27 витков провода ПЭЛШО — 0,35. Между первичной и вторичной обмотками обязательно два слоя лакоткани. Затем это все пропитать парафином, или лаком, во избежания пробоя. Сердечник собираем «встык». То есть в сторону. Между Ш пластинами и перемычками прокладываем слой (или несколько) картона, толщиной 1,5 мм. Запаковываем в оправу — трансформатор готов.

Для частоты 15 кГц используем сердечники Б26 из феррита М2000НМ1. Как и в первом случае, намотка в два провода. Первичная обмотка 2 по 30 витков ПЭВ — 0,41, вторичная — 2 по 34 ПЭЛШО — 0,35. Так же изолируем, пропитываем. Зазор — 1 мм. Насквозь прикручивать к плате железным или латунным винтом его не следует, упадет добротность. Для этого есть пластмассовые крепления.

Теперь — самый ответственный момент — дроссель L1.

Для частоты 1,5 кГц. Ну тут все зависит от мощности нагрузки. Сначала надо определиться с железом. На наш взгляд, лучшие всего подходят ленточные сердечники от трансформаторов ТС. Для справки: железо от ТС-180 на частоте 1500 Гц имеет габаритную мощность почти 9,5 кВт (!!!!). Мы в основном его и использовали. Итак. Извлекаем из архива программу RadioAmCalc 1.17. Запускаем.

Калькулятор Радиолюбителя

Файл Расчет Сервис Помощь

О программе Трансформатор 1

☒ Простой расчет
☐ Продвинутый расчет

☐ EI сердечник
☐ EI ленточный сердечник
☐ UI сердечник
☒ UI ленточный сердечник
☐ Кольцевой сердечник

Исходные параметры

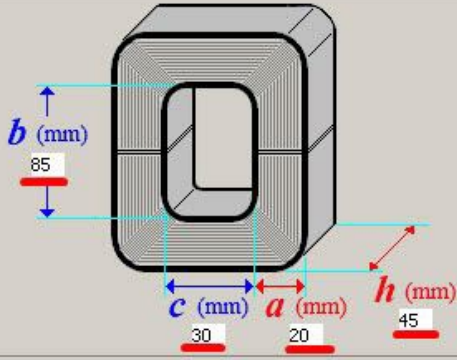
$V_p = 220$ Вольт
 $f = 1500$ Герц
 $\eta = 0,95$
 $B = 1,2$ Тесла
 $j = 4,2$ А/мм²
 $K_c = 0,93$
 $K_w = 0,28$

Толщина ленты (мм)

0,35

Вычислить

Заккрыть



$S_c = a \cdot h = 8 \text{ cm}^2$
 $S_w = b \cdot c = 8 \text{ cm}^2$
 $P_{max} = k \cdot S_c \cdot S_w$
 $P_{max} = 0,00 \text{ VA}$
 $P_{tr} = 0,00 \leq P_{max}$

Обмотка	Напряжение, В	Ток, А	Число витков	Сечение, мм ²	Диаметр, мм
Первичная	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Вторичная 1	220	40	0,00	0,00	0,00
Вторичная 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Вторичная 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Вторичная 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Вторичная 5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Введите напряжения и токи вторичных обмоток. Введите размеры сердечника трансформатора.

Выбираем тип магнитопровода. Если у Вас не ленточный, а другого типа, не отчаивайтесь, программа и его просчитает, просто выберите подходящий из списка слева, если сердечник слабоват, она Вам сообщит. Хотим обратить внимание, что применение П-образных штампованных сердечников повлечет за собой трудности с введением немагнитного зазора, так как они состоят, в основном, из Г-образных пластин. Далее, вбиваем в отмеченные поля: слева 220 В 1500 Гц, ниже толщину ленты, справа, сверху измеренные габариты, внизу → Вторичная 1 220 В и ток Вашей нагрузки ($I=P/U$). Нажимаем «Вычислить».

Да, совсем забыл. Вторичная 2 → вбиваем 14 В 1 А. С нее будут питаться кулеры и реле, а так же сниматься импульсы для работы схемы защиты.

Калькулятор Радиолобителя

Файл Расчет Сервис Помощь

О программе Трансформатор 1

☒ Простой расчет
☐ Продвинутый расчет

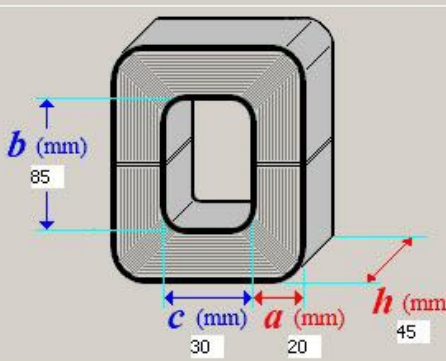
☐ EI сердечник
☐ EI ленточный сердечник
☐ UI сердечник
☒ UI ленточный сердечник
☐ Кольцевой сердечник

Исходные параметры
 $V_p = 220$ Вольт
 $f = 1500$ Герц
 $\eta = 0,95$
 $B = 1,2$ Тесла
 $j = 4,2$ А/мм²
 $K_c = 0,93$
 $K_w = 0,28$
 Толщина ленты (мм)
 0,35

Вычислить

Закреть

Расчет выполнен.



$S_c = a \cdot h = 9,00 \text{ cm}^2$
 $S_w = b \cdot c = 25,5 \text{ cm}^2$
 $P_{max} = k \cdot S_c \cdot S_w$
 $P_{max} = 9443 \text{ VA}$
 $P_{tr} = 8814 \leq P_{max}$

Обмотка	Напряжение, В	Ток, А	Число витков	Сечение, мм ²	Диаметр, мм
Первичная	220	42,2	31,2	10,0	3,57
Вторичная 1	220	40,0	31,2	9,52	3,48
Вторичная 2	14,0	1,00	1,99	0,24	0,55
Вторичная 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Вторичная 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Вторичная 5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Все, ура! Данные получены. Теперь их надо привязать к нашему устройству. Нас интересует число витков на первичной обмотке. В данном случае - 31,2. Умножаем на 1,15 (чтоб скомпенсировать зазор). Получаем 35,88 то есть 36 витков. Это у нас 2-3 выводы дросселя. 3-4 тоже 36 витков. Умножаем еще раз 36 на 0,2, получаем 7,2 — это выводы 1-2 и 4-5. В Вашем случае могут быть другие результаты, но все остается в силе. То есть мы получили из программы число витков на первичной обмотке — назовем его x . За N примем витки между выводами 2-3 и 3-4. Тогда $N = x \cdot 1,15$. Добавочные обмотки $N_{доб}$ равны $n \cdot 0,2$. Это выводы 1-2 и 4-5. Сечение провода оставляем как есть. Весь дроссель получается таким образом: 7 + 36 + 36 + 7 витков. Это по нашим данным. По Вашим будет $N_{доб} + N + N + N_{доб}$. Вторичную обмотку (выводы 6-7-8) так же умножаем на 1,15 и мотаем в два провода.

Теперь о технологии намотки. Для ленточного магнитопровода изготавливаем каркас таким, чтоб он перекрывал внутри все окно (сторона «а» 30 мм в нашем случае). Провод. Если хватит сил и энергии, мотайте моножильным проводом (ПВ-1) ну а если 10 квадрат..... ? Проще намотать «лицендратом» скрученным из большего количества жил меньшего диаметра. Главное, чтоб суммарное сечение было не меньше расчетного. Провод подойдет типа ПЭВ, диаметром 0,8 — 1 мм. Мотаем. Тут изгаляться некуда, мотаем последовательно. От первого вывода к пятому. Не забываем отводы. Каждый слой пропитываем цапон-лаком. Каждый последующий слой мотаем, после полного высыхания предыдущего. Между слоями - три слоя лакоткани. Поверх — еще три слоя лакоткани. Затем вторичная обмотка, в два провода, затем изоляция.

Стягиваем магнитопровод. Зазор выбираем 4 — 7 мм. 7 мм для 9 кВт, меньше — для меньшей мощности - примерно раскиньте. Набираем из текстолита. Все, дроссель готов. Его желательно весь пропитать лаком, иначе он своим писком будет пищать и давить на мозги.

Переходим к варианту 15 кГц. Здесь все намного сложнее. Раньше мы предлагали расчет вручную по формулам, ныне — используем программу, которая посчитает все за Вас. Хотя, ошибки, все же, вылезают... Самые близкие вычисления производит именно эта версия, все последующие имеют большие погрешности. Но это так, точка отсчета. Поехали.

Распаковываем архив, устанавливаем программу, запускаем. В приведенном примере рассчитывается дроссель на 3 кВт. В качестве сердечника взят Ш-образный Ш20х28. Поскольку его габаритной мощности не хватает, складываем два вместе. Открываем первую вкладку, вбиваем:

Программа расчета трансформатора ИБП по книге Эраносьяна (с) BMS corporation 1999-2004 v1.03

Файл Очистка

Параметры сердечника | Прочие параметры | Первичная обмотка | Вторичные обмотки | О программе

Броневой сердечник | П-образный | Общий

Тороидальный сердечник | **Ш-образный сердечник**

Линейные размеры

Высота сердечника, мм: 75

Толщина пакета, мм: 56

Ширина язычка, мм: 20

Высота окна, мм: 45

Ширина окна, мм: 25

Характеристики

Марка феррита: M6000HM1

Зазор, мм: 0.00

Выходные параметры трансформатора

Площадь сердечника, см², S_{ст}: 11.20000

Площадь окна, см², S_{ок}: 11.25000

Эл. маг. мощ. сердечника, Вт: 2199.96000

Эл. маг. мощ. сердечника, S_{ст}S_{ок}: 126.00000

Требуемая эл. мощность, см⁴: 86.71249

Количество витков на вольт: 0.11310

Напряжение одного витка, В: 8.84211

Козф. зап. окна обмотками: 0.15264

Ср. длина магнит. линии, см: 21.00000

Масса сердечника, гр: 1,350.40558

Расчеты верны

Переходим на вторую. Там всего два параметра, вбиваем их. Плотность тока искусственно занижаем до 2А/мм², иначе программа грязно выругается. Если не хватает мощности совсем немного, замените частоту на более высокую (до 20 кГц).

Программа расчета трансформатора ИБП по книге Зраносяна (с) BMS corporation 1999-2004 v1.03

Файл Очистка

Параметры сердечника Прочие параметры Первичная обмотка Вторичные обмотки О программе

Параметры, не требующие корректировки

КПД трансформатора: 0.970

Диап. измен. магн. индукции, Тс: 0.200

Плотность тока, А на кв.мм: **Auto** 2.000 ☒

Коэффициент стали: 1.000

Коэффициент меди: 0.150

$t_{\text{н max}}$, мкс: 25.33333

Параметры расчета

Частота преобразования, кГц 15.000

Расчеты верны

Третья вкладка - «первичная обмотка».

Здесь внимание! В поле «напряжение» нужно вбить 155 вольт (то есть половину максимального амплитудного). Количество проводов — пока 1, там будет видно.

Программа расчета трансформатора ИБП по книге Зранояна (с) BMS corporation 1999-2004 v1.03

Файл Очистка

Параметры сердечника Прочие параметры Первичная обмотка Вторичные обмотки О программе

Исходные параметры

Напряжение, В: 155.0

Количество проводов в обмотке: 1

Расчетные параметры

Ток, А: 9.768

Количество витков: 17.5

Диаметр провода, мм: 2.50

Длина провода, м: 3.46

Активное сопротивление обмотки, ом: 0.01202267

Полное сопротивление обмотки, ом: 0.01627928

Потери мощности в меди обмотки, Вт: 1.553

Потери и паразитные параметры

Потери в меди, с уч. нагрева, Вт: 2.52440

Потери в сердечнике, Вт: 13.63400

Сумм. потери мощ. в транс. , Вт: 17.21865

КПД трансформатора, %: 98.87549

Индуктивность обмотки, генри: 0.01278337

I_{хх} активная составляющая, А: 0.088

I_{хх} реактивная составляющая, А: 0.477

Расчеты верны

?

Дальше — вкладка «вторичные обмотки». Подвкладка 2.

Напряжение вбиваем — 150 В, ток — половину потребляемого нагрузкой (для 3 кВт — 10 Ампер). Количество проводов — 4.

Стон! Габаритную мощность трансформатора программа покажет в полтора раза ниже задуманной! А мощность нагрузки в два раза ниже. Игнорируем это, идем дальше.

Программа расчета трансформатора ИБП по книге Эраносяна (с) BMS corporation 1999-2004 v1.03

Файл Очистка

Параметры сердечника Прочие параметры Первичная обмотка Вторичные обмотки О программе

2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Исходные данные					Общие параметры по вторичным обмоткам				
Напряжение, В		150.0			Общая мощность нагрузки, Вт:		1,514.000		
Ток, А		10.00			Эл. маг. мощ. сердечника, Вт:		2,199.960		
Количество проводов:		4							
Расчетные данные									
Количество витков:		16.964			Активное сопротивление обмотки, ом:		0.01398722		
Диаметр провода, мм:		1.263			Полное сопротивление обмотки, ом:		0.00958161		
Примерная длина, м:		4.126			Потери мощности в меди обмотки, Вт:		0.95816083		
Мощность, Вт:		1,500.000			Индуктивность обмотки, генри:		0.01197194		
Расчеты верны									

Подкладка 3. Это наша питающая обмотка (выводы 6-7-8). Вбиваем 14 В, 1 А, один провод.

Справа внизу есть знак вопроса. Жмем. Если в окне сообщений появится «Расчеты верны», можно вздохнуть и попить кофе (пива, кваса).

С расчетами придется еще повоевать. Здесь количество витков придется умножить на 1,5. То есть в программе на первичной обмотке получили 17 витков. Это «х». А для обмотки 2-3 («N») $N = 1,5 * x$. Добавочные витки — как и в случае с 1,5 кГц, $0,2 * N$. Выводы 6-7 — из подкладки 2 умножаем на 1,5.

Теперь о проводе. Если мотать тем, что получилось при расчете, придется подгонять сердечник напильником, и от него останется только центральный стержень. По этому берем провод (не знаю как его фамилия), медный, $2,5 \text{ мм}^2$, в бумажной изоляции. Такой применялся в старых сварочных аппаратах. При длине 3 — 4 метра, плотность тока в 7-8 А/мм² - не велика трагедия.

Намотка, как и в первом случае — последовательная. Отводы — согнутые буквой U вводы сквозь обмотку наружу. Пока ни чем не пропитываем. Поверх мотаем обмотку 6-7-8. В данном случае — это то что вышло при расчете плюс еще столько же. Мотаем в два провода.

Потом, после удачной отработки, после отладки, — трансформатор, вместе с сердечником, окунаем в лак и долго сушим.

Программа расчета трансформатора ИБП по книге Эраносяна (с) BMS corporation 1999-2004 v1.03

Файл Очистка

Параметры сердечника | Прочие параметры | Первичная обмотка | Вторичные обмотки | О программе

2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Исходные данные					Общие параметры по вторичным обмоткам				
Напряжение, В		14.0			Общая мощность нагрузки, Вт:		1,514.000		
Ток, А		1.00			Эл. маг. мощ. сердечника, Вт:		2,199.960		
Количество проводов:		1							
Расчетные данные									
Количество витков:		1.583			Активное сопротивление обмотки:		0.01305474		
Диаметр провода, мм:		0.799			Полное сопротивление обмотки, ом:		0.01305474		
Примерная длина, м:		0.385			Потери мощности в меди обмотки, Вт:		0.01305474		
Мощность, Вт:		14.000			Индуктивность обмотки, генри:		0.00010429		
<u>Расчеты верны</u>									

Следующий этап — дроссель L2.

Как уже говорилось, L2 нужен, чтоб свести к минимуму шунтирующий эффект на колебания в L1. По хорошему, казалось бы, чем больше его индуктивность, тем лучше. Ан нет. При слишком большой индуктивности будет происходить выброс энергии навстречу подаваемой, что сведет на нет все наши предыдущие телодвижения. Да и заикливаться на нем не охота. По этому, предлагаем самый простой выход. Его индуктивность должна быть примерно равна половине индуктивности между выводами 1-3 (или четверти полной индуктивности) L1 (+/- 20%). Мотать его на незамкнутом железном (1,5 кГц) или ферритовом (15 кГц) сердечнике. Тут можно взять перемычки от Ш-образного жнлеза трансформатора, либо на Ш-образных пластинах, но мотать не на стержне, а в пазах. Как вариант, для 15 кГц можно использовать сердечник от ТВС-а лампового цветного телевизора (ТВС-90 ЛЦ2), сложив обе половинки рядом, буквой П (тогда он должен содержать 35 витков свитого провода 8х ПЭВ - 0.63). В общем, на любом хламе. Если есть прибор, меряющий индуктивность (лучше типа Е7-8, а можно использовать встроенный LC — метр в китайский тестер), все просто. По сечению сердечник должен быть примерно одного сечения с дросселем L1, +/- . Мотаем на нем провод, потолще. Меряем индуктивность. Если она выше — сматываем, ниже — доматываем. Попали: - сматываем технологическую намотку, считаем витки. Теперь берем провод, такого сечения, чтоб плотность тока была 4-7 А/мм² и мотаем «начисто». Еще раз меряем индуктивность. Если попали в +/- 20%, приступаем к сборке и настройке всего устройства.

Особенности конструкции.

Печатная плата для этого устройства не трассировалась. Во-первых, мы не занимаемся изготовлением, мы только моделируем, снимаем параметры, отрабатываем, усовершенствуем. Сами экспериментируем на макетных платах. Во-вторых, невозможно для такого разнообразия элементов изготовить универсальную плату. Вспомните разделительные трансформаторы, диоды.....

Наши пожелания. При сборке 15 кГц устройства, обратите внимание на длину проводов в цепях затворов и коллекторов ключей. Резисторы R2-R5 и стабилитроны VD5 - VD8 паяйте прямо к ножкам транзисторов. Сведите к минимуму длину от ключей до дросселя, до помехоподавляющих цепей, до выпрямителя. Задающие цепи и компараторы, наоборот, отнесите подальше от выходных, они подвержены наводкам и могут загенерировать не там, где надо.

Отвод тепла. Для отвода тепла применяйте кулеры и теплоотводы от процессоров Intel или AMD. На одном теплоотводе расположите ключи прямого, а на втором - обратного хода, например VD1, VD2, VT1, VT2 — на первом, а VD3, VD4, VT3, VT4 на втором. Используйте фирменные теплопроводящие прокладки, а не слюду — ее может пробить, при небольшом механическом повреждении. Диоды выпрямителя то же смонтируйте на отдельном теплоотводе.

4. Инструкция по сборке и наладке.

Как говорилось выше, плата не разрабатывалась. Если хотите, пожалуйста, ни кто не мешает. Учтите только, что на одной плате можете расположить все элементы, которые на схеме изображены ниже разделительных трансформаторов. Сами же трансформаторы смонтируйте на отдельном куске текстолита. На нем же диоды VD13, VD14, и клеммы для присоединения к низко- и высоковольтным цепям. На силовую часть печатать использовать нецелесообразно. Проводники, идущие к ключам, должны быть выполнены проводом, сечением не менее $2,5 \text{ мм}^2$ (силовые цепи), и $0,5 \text{ мм}^2$ (управление). Компонуйте конструкцию так, чтобы все соединения были минимальной длины.

Итак, схема собрана, приступаем к наладке. Нужен двухлучевой осциллограф, нужны еще два выносных щупа-делителя 1:10 к нему. Все измерения производим с делителями (меньше влияет емкость кабеля и входная емкость осциллографа). Пока не подаем 220 на ключи, ни фазу, ни ноль. Начинаем проверку с задающего генератора. Настраиваем его на выбранную Вами частоту. Движок R22 пока в среднем положении. Период колебаний (осциллограмма 4). должен быть 0,67 мс для 1500 Гц, или 67 мкс для 15 кГц. Если что-то не так, подгоняем емкость C8 и резисторы R18, R21. Напоминаем, что при увеличении номиналов этих элементов, частота снижается. Вышли на нужную частоту, тогда перемещением движка R22 добиваемся, чтоб длительность импульсов составляла около 60% периода, то есть верхняя планка была длиннее нижней на 10%. Примерно.

Временно подаем на вывод 2 DA3 напряжение питания. На выводах 7 компараторов должна быть логическая 1, а осциллограмма 6 должна быть похожа на 4. Проверяем осциллограммы 7 и 8. Они должны соответствовать диаграммам на принципиальной схеме. Лучшие всего контролировать двухлучевым осциллографом. Тогда будет виден сдвиг пачек импульсов на 10 мс, то есть, как диаграммы на схеме. Если чего не так, проверяем осциллограммы 2 и 3. Проверяем импульсы на стоках VT6 и VT8 (диаграммы 9 и 10). Они должны быть идеально красивыми. Могут быть небольшие искажения (наклоненные верхние площадки). Если площадки сильно искажены, проверьте конденсатор C7, и место его подключения. Он должен находиться в непосредственной близости к трансформаторам. Если присутствуют паразитные колебания (всплески), проверьте диоды VD13 и VD14. Если при этом греются VT6 и VT8 (или один из них), проверьте фазировку первичной обмотки трансформатора T2 или T3 — начало — конец — начало — конец. А то может они в противофазе....

Далее, проверяем соответственность времени и фазы управляющих импульсов. Вход 1 осциллографа цепляем на КТ 3 (далее по тексту КТ — контрольная точка). Вход 2 на затвор VT4 (КТ 17) (вторым этапом будет КТ 2 — КТ 15). «Крокодилы» - соответственно на общий провод низковольтной части схемы, и на эмиттер VT4 (потом VT3). **Еще раз напоминаем — сеть от силовых ключей отключена!** Синхронизировать осциллограф лучше всего, внешней синхронизацией, взять ее можно с катода VD15 (или VD16). Развертку ставим 50 мс/дел. Пачки импульсов должны быть четко под полуволновыми сетевого напряжения, как на диаграммах на схеме. Если не так — поменяйте подводы к трансформаторам, то есть VT6 - T1 и VT8 — T2 замените на VT6 - T2 и VT8 — T1, либо от трансформаторов — к транзисторам ключей, либо точки подключения диодов VD15, VD16. Теперь — самое противное. Общий провод у осциллографа один на два канала, а нам надо проверить противофазность импульсов на затворах ключей. Придется откинуть диоды VD1, VD13 и резистор R6. Цепляем «крокодилы» к эмиттерам, сперва VT1 и VT4, а щупы — на их затворы, затем то же самое с транзисторами VT2 и VT3. Растягиваем развертку до тех пор, пока не будет четко видна противофазность сигналов. Если это не так — меняем концы одной из вторичных обмоток. Следует **обязательно** проверить соответствие фаз импульсов: сток VT6 — затвор VT4, и сток VT8 — затвор VT3. В случае несоответствия — меняем фазировку соответствующей обмотки трансформатора. В общем случае, должны сохраняться **все** фазировки импульсов управления с диаграммами на принципиальной схеме.

Запомните! Несоответствие фаз управляющих импульсов приведет к увеличению кучи сгоревших элементов!

Идем дальше.

Внимание! Дальнейшие телодвижения будут происходить под напряжением сети! На корпусе осциллографа так же появится потенциал сети. По этому, будьте добры соблюдайте все меры предосторожности!

Собираем все на место. Диоды VD1, VD13 и резистор R6, а так же снимаем питание со второго вывода DA3 и подпаиваем на место ~220. Откидываем пока обмотку реле (или его контакты). Вместо резистора R1 включаем лампу накаливания 220 В 300 Вт. Вместо нагрузки — лампу 100 Вт. Движок резистора R28 — в верхнее по схеме положение. Перекрестившись — включаем. Если все правильно — лампа на входе должна мигнуть и погаснуть, а нагрузочная — загореться. Может загореться и не на всю яркость, потом подправим. Если лампа на входе горит — возвращаемся к фазировке импульсов. Может быть еще криво намотанный дроссель L1. А еще может быть неверная фазировка самой сети, тогда меняем местами выводы одной из обмоток трансформатора T1. Итак, лампа на входе не горит. Замечательно. Впаиваем реле на место. Вместо R1 пока еще лампа. Включаем. Реле должно щелкнуть, кулеры - завращаться. Цепляем вольтметр постоянного тока, параллельно 100 — ваттной лампе на выход устройства. Если все верно, показания будут 130 — 170 вольт. Если немного выше - подрихтуйте резистором R22 (самое оптимальное значение 150 В). А если заметно выше (более 220) — придется разбираться с дросселем (смаывать витки, иначе не остановит счетчик). Затем смещаем движок R28 вниз по схеме. Напряжение должно увеличиваться. Доводим до 220. Если оно не меняется, проверьте форму импульсов в КТ 5. Должны быть короткие, почти незаметные, отрицательные. Может случиться такое, что компаратор тока будет шунтировать их. Отключите его пока (отбросьте вывод 7 DA3). Добились 220?

Идем дальше. Цепляем вместо лампочки реальную нагрузку. Если при включении реле сработает и тут же отпустит — может быть: либо низкая индуктивность L2, либо сработала защита по току. Защита по току может сработать, если обмотка 6-7-8 дросселя недомотана. Замерьте напряжение на кулерах — должно быть 12 — 14 вольт (при нагруженном приборе на лампочку). Если меньше — добавьте виток-другой. Если напряжение в норме — проверьте напряжения на компараторе DA3. Должно быть: вывод 3 — половина питания, вывод 2 чуть больше. Если на выводе 2 напряжение ниже, подберите в сторону уменьшения R32. Если не помогло — смотрите дроссель L2. Очень частая ошибка при повторении устройства — именно в неправильном изготовлении дросселей. Зазор не тот, кортят витки, неправильно рассчитан и т. д.

Если добились 220 на нагрузке — переходим к регулировке токовой защиты. Параллельно нагрузке подключаем еще ватт, так это, 300 — 500. Контролируем выходное напряжение. Если оно упало на процентов 10, или меньше, Ваш прибор справится. Грузим дальше, пока не упадет больше, чем на 10%. Упало, а прибор не отбило? Подбираем R32 (увеличиваем). На его место можно поставить подстроечный, но из-за низкой надежности мы не рекомендуем этого делать. Вдруг, кто-нибудь крутанет нечаянно, или по незнанию? Потом менять транзисторы, по-новой регулировать... В общем, при перегрузке, когда выходное напряжение упадет более, чем на 10 %, должны сорваться колебания задающего генератора, прибор перейти в режим «кляцанья». Звуки напоминают срабатывание защиты телевизоров УПИМЦТ. При снятии перегрузки — все должно восстановиться. Еще одним экстремальным испытанием будет закорачивание выходных клемм. Прибор должен спокойно перенести КЗ.

Теперь переходим к настройке собственно «обманика». Цепляем токовые клещи на один из проводов ~220 В. Именно клещи, а не амперметр прямого включения, или с шунтом, так как даже китайский тестер измерит ток на 15 (а тем более на 1,5) килогерцах, он будет просто суммировать приходящий и отходящий (обманный). Если клещи покажут для 15 кГц 100 — 300 мА (а для 1,5 кГц: 500 - 800 мА), при потребляемом токе нагрузкой 5 — 10

А, не парьтесь. Лучшее — враг хорошего. Если здорово отличается — подбираем конденсатор С1 (особенно, если Вы настраиваете на 15 кГц). Сначала, на него (С1) зацепим осциллограф. Должны быть видны импульсы частотой тактового генератора, амплитудой в пике до 600 вольт, без примесей паразитных колебаний. Если колебания присутствуют — придется увеличивать емкость (емкость указана очень относительно, может реально отличаться в 2-5 раз, все зависит от параметров дросселя L1). Если же амплитуда ниже 500 В, и паразитных колебаний не видать, уменьшаем емкость.

Последний штрих — смотрим форму колебаний на обратных ключах (КТ 16, КТ18). Так же не должно быть паразитных колебаний. Если есть — увеличиваем емкости С2 и С3. А вот амплитуда на них может достигать 900 — 1000 В. Если увеличивать сверх нормы емкости С2 и С3, начнут греться ключи, причем — все четыре. Если все заработало, проверьте температуру транзисторов и диодов, она должна быть в пределах разумного. Часто бывает, что резисторы R6 и R7 с первого включения сразу же «выгорают». Придется набирать их из нескольких. Для варианта 1,5 кГц можно применять резисторы ПЭВ, или другие проволочные. Для 15 кГц — проволочные крайне нежелательно.

На этом все. Удачи !!!