



Руководство по
самостоятельному изготовлению
(намотке) выходного
(согласующего) трансформатора
~30...75 Вт для гитарного
лампового усилителя.

Сулейманов Р.Р. (Rasha)
Специально для Forum.Guitarplayer / Equipment Craft
2026 г.



ВВЕДЕНИЕ

- В данном руководстве мы рассмотрим один из способов изготовления (намотки) выходного (согласующего нагрузки) трансформатора для лампового гитарного усилителя с выходной мощностью от 30 до 75 Вт в зависимости от типа используемых ламп в выходном двухтактном каскаде.
- Расчётная выходная мощность трансформатора может составлять от 30 до 75 ватт в зависимости от толщины набора железа, нижней рабочей частоты, ламп выходного каскада и их режима.
- Трансформатор может быть изготовлен на сердечнике (магнитопроводе) EI96 с толщиной набора от 32 до 50 мм стандарта МЭК (IEC 205).
- Вариативность в выборе мощности, нижней частоты среза, качества и марки железа позволяет нам расчётно подобрать необходимый пакет (набор) железа под типовую схему намотки.
- Типовая схема имеет заданное количество витков первичной обмотки и вторичной, где количество первой можно скорректировать для необходимого приведённого сопротивления анодной нагрузки R_{aa} .
- Приведённое сопротивление R_{aa} можно задать в диапазоне от 3200 до 4500 Ом. Это диапазон самых распространённых приведённых сопротивлений для пары ламп выходного каскада таких как EL34, 6CA7, KT66, KT77, KT88, 6L6, 6550 и др.
- Для намотки будет использоваться типовая, наиболее популярная раскладка трансформатора для лампового гитарного усилителя, считающаяся чуть ли не эталоном в данном направлении., т.к. называемый Marshall Style он же конструктивно DRAKE.

МЕТОДИКА РАСЧЁТА ВЫХОДНОГО ДВУХТАКТНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Методик расчёта выходного трансформатора описано достаточно много, но так или иначе все они сводятся к расчёту габаритной мощности магнитопровода, числа витков первичной и вторичной обмотки.

Большинство производителей гитарных выходных трансформаторов пользуются типовыми решениями выведенными годами и опытами со звуком, оптимизацией затрат и необходимыми требованиями, порой минимальными, к электрической надёжности. Значения полученные расчётным путём или взятые типовые упираются в реальные параметры применяемого железа, его геометрию и электромагнитные свойства этого самого железа. В виду этих особенностей по факту мы будем иметь ограниченное количество возможных решений.

Исходя из вышеописанного, предлагаю методику применяемую некоторыми радиолюбителями-мотальщиками на основе практической намотки, благо, многие типовые трансформаторы уже были намотаны до нас и можно воспользоваться этими данными для адаптации под свои возможности.

РАСЧЁТ МАГНИТОПРОВОДА (СЕРДЕЧНИКА)

$$Sc \times S_{окн} = (P_{out} / \eta \times K) / (0,022 \times F \times K_c \times K_m \times B_m \times i) \text{ или}$$

$$P_{тр} = (\eta \times Sc \times S_{окн} \times 4,44 \times F \times B_m \times i \times K_m \times K_c) / ((1 + \eta) \times 100)$$

ЧИСЛО ВИТКОВ НА ВОЛЬТ

$$W_0 = (2,25 \times 10^3) / (Sc \times B_m \times F)$$

ПЕРЕМЕННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ НА ПЕРВИЧНОЙ ОБМОТКЕ

$$U_1 = \sqrt{(P_{out} \times R_{aa})}$$

ЧИСЛО ВИТКОВ ПЕРВИЧНОЙ ОБМОТКИ

$$W_1 = W_0 \times U_1 \text{ или}$$

$$W_1 = (U_1 \times 10^4) / (4,44 \times F \times B_m \times Sc \times K_c)$$

ЧИСЛО ВИТКОВ ВТОРИЧНОЙ ОБМОТКИ

$$W_2 = W_1 / \sqrt{(R_{aa} \times \eta / R_n)}$$

ТОК

$$\sqrt{(P_{out} / R_{aa})} \text{ для первичной обмотки и } \sqrt{(P_{out} / R_n)} \text{ для вторичной}$$

МЕТОДИКА РАСЧЁТА ВЫХОДНОГО ДВУХТАКТНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

S_c – площадь сердечника в см^2

$S_{окн}$ – площадь окна в см^2

P_{out} – выходная мощность усилителя (каскада) в Вт

η – КПД (0,92...0,97)

K – коэффициент запаса мощности для сердечника (1,05...1,1)

F – нижняя рабочая частота в Гц (для гитарных усилителей не ниже 50)

K_c – коэффициент заполнения сердечника сталью (рекомендую брать из листа данных на железо, может быть в диапазоне 0,92...0,96)

K_m – коэффициент заполнения окна медью (для EI сердечников может быть в диапазоне 0,22...0,42. Рекомендую брать для расчёта 0,3, а по окончанию расчёта внести корректировки по фактическому)

B_m – Индукция в Тесла (зависит от типа марки стали. Для стали 29М6 можно брать от 1 до 1,3 Тл)

i – плотность тока в обмотках А/мм^2 (рекомендовано 3 А/мм^2)

U_1 – переменное напряжение на первичной обмотке в вольтах

W_1 – число витков первичной обмотки

W_2 – число витков вторичной обмотки

R_{aa} – приведённое сопротивление ламп выходного каскада в Ω мах

(типовые 3200...3800 Ω м для двух 6L6/6CA7/КТ77; 3800...4500 Ω м для двух 6L6/КТ88/КТ66)

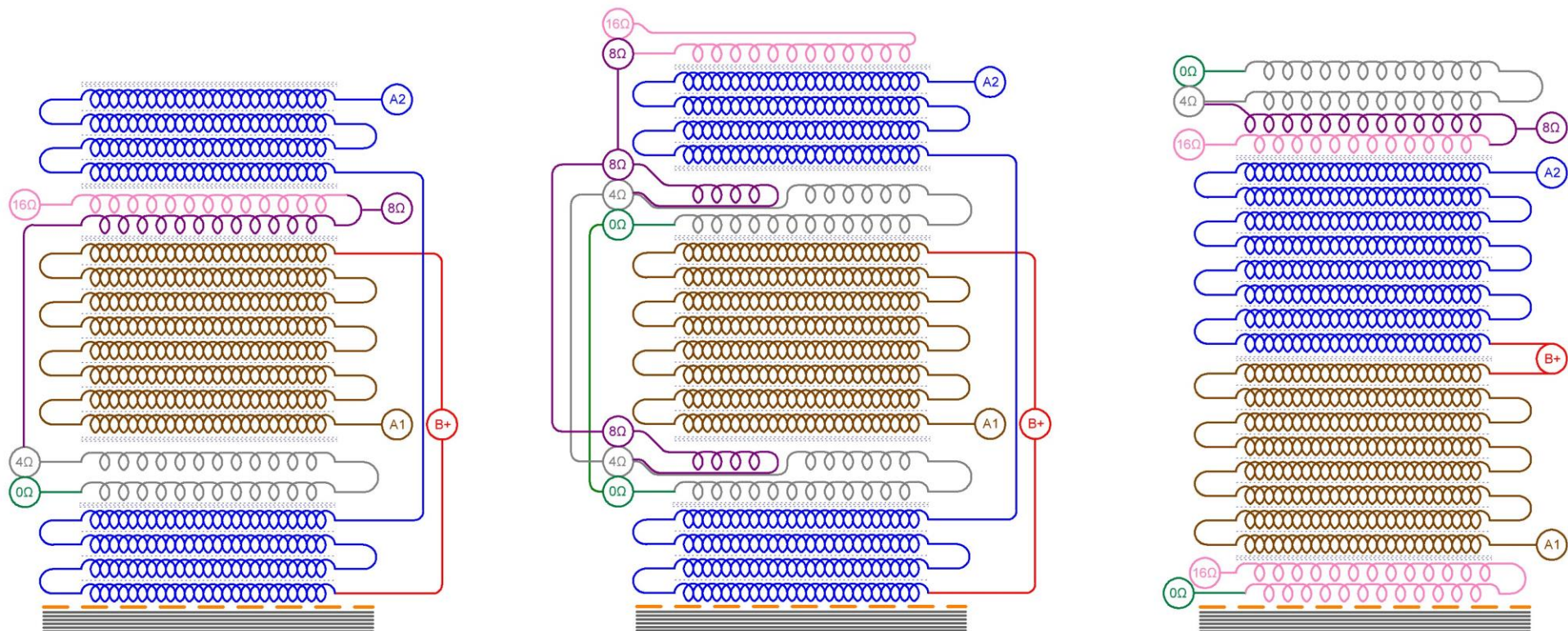
R_n – сопротивление нагрузки (динамика)(типовые 4/8/16 Ω м)

МЕТОДИКА РАСЧЁТА ВЫХОДНОГО ДВУХТАКТНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Варианты типовой раскладки выходного двухтактного трансформатора гитарного усилителя

1/4П-В-1/2П-В-1/4П - 12; 16; 20; 24 слоя

В-1/2П-1/2П-В – 8; 12; 14; 16; 20; 24 слоя



ПРИМЕР ПРАКТИЧЕСКОГО РАСЧЁТА

Имеем пару ламп 6L6, где приведённое сопротивление R_{aa} составляет 4400 Ом и выходная мощность 60 Вт. Но, в угоду тому, что потребуется трансформатор с запасом по мощности чтобы применить более мощные лампы KT88, мощность будет порядка 75 Вт.

МАГНИТОПРОВОД EI96 x 38 мм (сталь Z11 (35Z155))
Раскладка 1/4П-В-1/2П-В-1/4П - 16 слоёв первичной обмотки

Считаем габаритную мощность:

$$S_c \times S_{окн} = (P_{out} / n \times K) / (0,022 \times F \times K_c \times K_m \times B_m \times i)$$
$$3,2 \times 3,8 \times 1,6 \times 4,8 = (75 / 0,97 \times 1,1) / (0,022 \times 50 \times 0,96 \times 0,35 \times 1,1 \times 3)$$

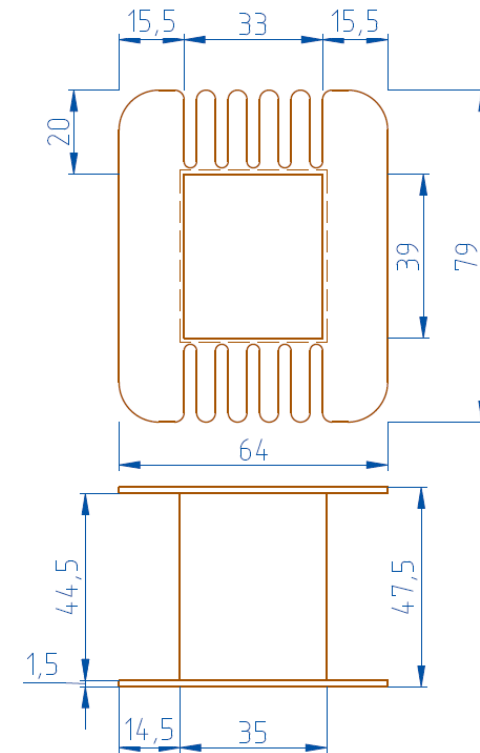
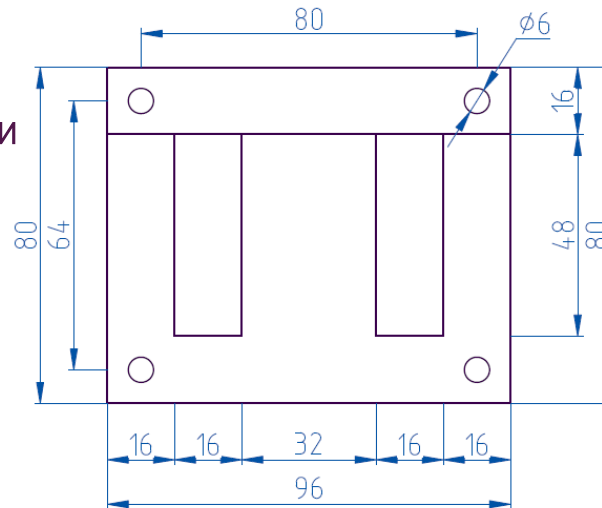
$$93,4 > 69,73$$

Полученное значение произведения площади сердечника на площадь окна
93,4 больше чем необходимое расчётное в 69,73
Следовательно выбранный магнитопровод удовлетворяет нашим задачам.

Иным методом габаритная мощность трансформатора получается:

$$P_{тр} = (\eta \times S_c \times S_{окн} \times 4,44 \times F \times B_m \times i \times K_m \times K_c) / ((1 + \eta) \times 100)$$

$$P_{тр} = (0,97 \times (3,2 \times 3,8) \times (1,6 \times 4,8) \times 4,44 \times 50 \times 1,1 \times 3 \times 0,35 \times 0,96) / ((1 + 0,97) \times 100) =$$
$$113,2 \text{ Вт}$$



ПРИМЕР ПРАКТИЧЕСКОГО РАСЧЁТА

Считаем переменное напряжение на первичной обмотке

$$U_1 = \sqrt{P_{\text{out}} \times R_{\text{aa}}}$$
$$U_1 = \sqrt{75 \times 4400} = 574,5 \text{ В}$$

Считаем число витков на вольт

$$W_0 = (2,25 \times 10^3) / (Sc \times B_m \times F)$$
$$W_0 = (2,25 \times 1000) / ((3,2 \times 3,8) \times 1,1 \times 50) = 3,3642 \text{ витка на вольт}$$

Считаем число витков первичной обмотки

$$W_1 = W_0 \times U_1$$
$$W_1 = 3,3642 \times 574,5 = 1932 \text{ витка}$$

Или

$$W_1 = (U_1 \times 10^4) / (4,44 \times F \times B_m \times Sc \times K_c)$$
$$W_1 = (575 \times 10000) / (4,44 \times 50 \times 1,1 \times (3,2 \times 3,8) \times 0,96) = 2017 \text{ витков}$$

Считаем токи в обмотках

Первичная обмотка

$$\sqrt{75/4400} = 130 \text{ мА}$$

и с учётом запаса прочности в 1,5 (на пиках) будет в пределах 196 мА

Вторичная обмотка

$$4 \text{ Ом} \quad \sqrt{75/4} = 4,33 \text{ А}$$

$$8 \text{ Ом} \quad \sqrt{75/8} = 3,06 \text{ А}$$

$$16 \text{ Ом} \quad \sqrt{75/16} = 2,17 \text{ А}$$

При плотности тока не менее 3 А/мм² диаметры провода ПЭТВ-2 будут:
Для первичной обмотки провод диаметром 0,3 мм (0,34 по лаку).
Для вторичной 1,32 (1,416 по лаку); 1,18 (1,259 по лаку); 0,95 (1,016 по лаку) мм.

Сразу можно оговориться, что такое разнообразие диаметров проводов не делают намотку трансформатора оптимальной, а из практики намотки можно сделать вывод, что диаметры вторичной обмотки следует занижить увеличив плотность тока в обмотке до допустимых 3,5 А/мм².

А теперь приступим к практическим расчётам, когда мы упираемся в параметры железа и катушки. Катушка для железа EI96 имеет ширину окна под намотку 44,5 мм на 14 мм допустимой высоты намотки.

Считаем вместимость одного слоя:

$$44,5/0,34/K_{\text{пуч.}} = 44,5/0,34/1,025 = 127 \text{ витков}$$

$K_{\text{пуч.}}$ — коэффициент пучения/разряжения обмотки равен не менее 1,025 и может доходить до 1,05 (2,5...5%)

Чем толще провод, тем выше коэффициент пучения/разряжения обмотки. При практической намотке мы понимаем, что мотать от щётки до щётки фактически в плотную затруднительно и поэтому снижаем число на пару витков и тем самым в слое оптимально можно уложить 125 витков проводом 0,3 мм (0,34 мм по лаку).

Принимаем количество витков первичной обмотки $W_1 = 16 \times 125 = 2000$ витков

ПРИМЕР ПРАКТИЧЕСКОГО РАСЧЁТА

Считаем кол-во витков вторичной обмотки:

Для нагрузки 4 Ом	$2000 / \sqrt{(4400 \times 0,97)/4} = 61$ виток
Для нагрузки 8 Ом	$2000 / \sqrt{(4400 \times 0,97)/8} = 86$ витков
Для нагрузки 16 Ом	$2000 / \sqrt{(4400 \times 0,97)/16} = 122$ витка

Считаем вместимость одного слоя для 4 Ом нагрузки:
 $44,5/1,416/1,045 = 30$ витков в слое.

При учёте того, что вся обмотка 4 Ом должна иметь 61 виток, у нас не получается двух полных слоёв. Потребуется уменьшение диаметра провода.

Считаем вместимость одного слоя для 8 Ом нагрузки:
 $44,5/1,259/1,038 = 34$ витка в слое.

8 Ом обмотка является продолжением 4 Ом и по факту должна содержать в себе $88-61 = 25$ витков.

При учёте того, что вся обмотка 8 Ом должна иметь 25 витков, у нас не получается полного заполнения слоя. Потребуется корректировка диаметра провода или схемы намотки вторичной обмотки в целом.

Считаем вместимость одного слоя для 16 Ом нагрузки:
 $44,5/1,016/1,035 = 42$ витка в слое.

16 Ом обмотка является продолжением 8 Ом и по факту должна содержать в себе $122-86 = 36$ витков.

При учёте того, что вся обмотка 16 Ом должна иметь 36 витков, у нас не получается полного заполнения слоя. Потребуется корректировка диаметра провода или схемы намотки вторичной обмотки в целом.

Как выяснилось из расчёта заполнения катушки вторичной обмотки выше, у нас не получается полностью заполненных слоёв, а это чревато тем, что высота намотки может выйти за пределы катушки, будет большое количество ступенек при намотке между слоями и намотать последующие слои в расчётных значениях будет весьма затруднительно, особенно когда дело касается первичной обмотки укладываемой поверх вторичной даже с учётом межсекционной изоляции.

Вносим корректировки:

Первым что следует сделать, это уложить обмотку для нагрузки 4 Ом полными слоями без брешей. Попробуем уложить 62 витка в два полных слоя – по 31 (30) витку в слое.

Для этого считаем от обратного
 $44,5/31/1,045=1,37$ мм ПО ЛАКУ!

Подбираем ближайший диаметр провода и это будет 1,332 по лаку или 1,25 мм по меди. Это весьма ходовой диаметр провода. При токе в 4,33 А (Нагрузка 4 Ом) плотность тока в проводе диаметром 1,25 мм будет составлять 3,5 А/мм² что нам вполне подходит. Тем самым мы имеем два полных слоя по 31 (30) витку (суммарно 61 виток) проводом 1,25 мм (1,332 по лаку).

ПРИМЕР ПРАКТИЧЕСКОГО РАСЧЁТА

Вносим корректировки:

Вторым что следует сделать, это уложить обмотку для нагрузки 8 Ом полным слоем без брешей.

Попробуем уложить 25 витков в слой.

Из скорректированного расчёта для обмотки 4 Ом видим, что провод 1,25 мм (1,332 по лаку) обеспечил нам заполнение слоя. Было бы оптимально продолжить намотку этим же диаметром, а при учёте что слой у нас всего один, то возникшее разрежение между секциями устранить не сложно залив вставку из картона подходящей толщины.

Принимаем диаметр провода для нагрузки в 8 Ом также 1,332 по лаку или 1,25 мм по меди.

При токе в 3,06 А (Нагрузка 8 Ом) плотность тока в проводе диаметром 1,25 мм будет составлять 2,5 А/мм² что очень хорошо, учитывая что данное сопротивление самое ходовое в гитарных кабинетах.

Третьим следует уложить обмотку для нагрузки 16 Ом полным слоем без брешей.

Попробуем уложить 36 витков в слой.

Здесь уже не получается продолжить намотку проводом 1,25 т.к. его вмещается всего 31 виток.

Для этого считаем от обратного
 $44,5/36/1,035=1,19$ мм ПО ЛАКУ!

Подбираем ближайший диаметр провода и это будет 1,145 по лаку или 1,06 мм по меди. Это не ходовой диаметр провода и при токе в 2,17 А (Нагрузка 16 Ом) плотность тока в проводе будет составлять 2,35 А/мм² что вполне подходит, но это уже избыточный диаметр, т.к. обмотка нерационально увеличит высоту намотки.

Подберём диаметр более рационально. Для тока в 2,17 А (нагрузка 16 Ом) и оптимальной плотности тока 3,0 А/мм² нам подходит диаметр 0,95 мм (1,016 мм по лаку). Тем самым у нас получается почти полный слой проводом 0,95 мм (1,016 мм по лаку) в 36 витков.

ПРИМЕР ПРАКТИЧЕСКОГО РАСЧЁТА

ТЕПЕРЬ ПЕРЕСЧИТАЕМ ТОЛЩИНУ ВСЕЙ НАМОТКИ С УЧЁТОМ МЕЖСЛОЙНОЙ, МЕЖСЕКЦИОННОЙ ИЗОЛЯЦИИ И КОЭФФИЦИЕНТА РАСШИРЕНИЯ ОБМОТОК:

16 слоёв провод **0,34** мм (по лаку) первичной обмотки для $R_{aa} 4400 \text{ Ом}$

2 слоя провода **1,332** мм (по лаку) для 4 Ом

1 слой проводом **1,332** мм (по лаку) для 8 Ом

1 слой провода **1,016** мм (по лаку) для 16 Ом

Межслойная изоляция **0,06** мм (только для первичной обмотки)

Межсекционная **0,3** мм (по факту изолирует секции вторичных обмоток от первичной. Для каждой секции вторичной обмотки два таких слоя)

$$(16 \times (0,34 + 0,06) + 2 \times 1,332 + 1,332 + 1,016 + 0,3 \times 6) \times 1,05 = 13,87 \text{ мм}$$

Для железа EI96 и катушки с окном под намотку $44,5 \times 14 \text{ мм}$ данное значение подходит и высота намотки не выйдет за пределы.

Следовательно намотать трансформатор с такими расчётными параметрами возможно!

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ТРАНСФОРМАТОРА

ВЫХОДНОЙ ТРАНСФОРМАТОР 2x6L6 (КТ88) @45...75 Вт
/EI96 x 38 / Raa 4400 Ом / Rn 4-8-16 Ом / Fn 50Hz

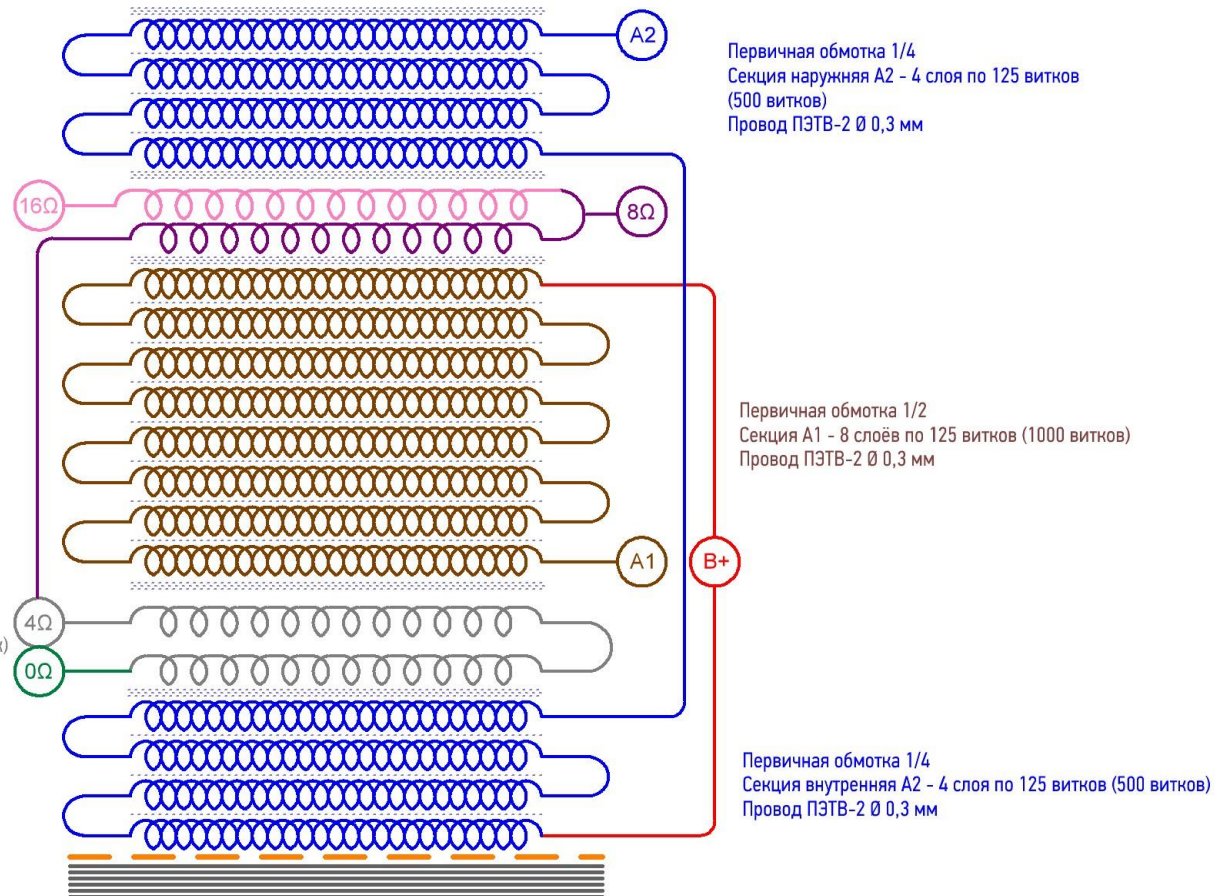
При подключении выводов A1/B+/A2 Raa = 4400
W1=2000 витков; W2:4/8/16 Ом=61/86/122 витков

КПД трансформатора принят 0,97

Вторичная обмотка
Секция на 16 Ом - 1 слой 36 витков
Провод ПЭТВ-2 Ø 0,95 мм

Вторичная обмотка
Секция на 8 Ом - 1 слой 25 витков
Провод ПЭТВ-2 Ø 1,25 мм

Вторичная обмотка
Секция на 4 Ом - 2 слоя 31 + 30 витков (61 виток)
Провод ПЭТВ-2 Ø 1,25 мм



РАСЧЁТНЫЕ ДАННЫЕ

Исходные данные:

Форма тока: Синус

Частота: 50.0 Гц

Магн.индукция (Bm): 1,1 Тл

A (сечение): 32.0 мм

B (сечение): 38.0 мм

C (окно): 16.0 мм

D (окно): 48.0 мм

Плотность тока: 3.0 А/мм²

K-т.заполн.окна: 0.355

K-т.заполн.маг.пров.: 0.96

КПД трансф-ра: 97.0 %

Магнитопровод:

Сечение магнитопров.: 1216.0 мм²

Площадь окна: 768.0 мм²

Габаритная мощность: 113,2 ВА

Напряжение витка: 0.2876 В/вит.

Суммарная нагрузка (вторичная) Pout: 75.0 ВА

Суммарное заполнение окна Km: 0.35

W1:

Приведённое сопротивление Raa: 4400 Ом

Напряжение на первичной обмотке: 575 В

Ток: 131 мА

Мощность: 75,0 ВА

Витки (N): 2000 вит.

Плотность тока: 3.0 А/мм²

Расч.сечение: 0,045 мм²

Расч.диаметр: 0,239 мм

Выбр.диаметр: 0.3 мм

Заполнение окна: 0,184

W2.1:

Сопротивление нагрузки Rn: 4 Ом

Напряжение: 17,32 В

Ток: 4,33 А

Мощность: 75,00 ВА

Витки (N): 61 вит.

Плотность тока: 3.53 А/мм²

Расч.сечение: 1,227 мм²

Расч.диаметр: 1,25 мм

Выбр.диаметр: 1,25 мм

Заполнение окна: 0,093

W2.2 последовательно с W2.1:

Сопротивление нагрузки Rn: 8 Ом

Напряжение: 24,5 В (для всей обмотки)

Ток: 3,06 А (для всей обмотки)

Мощность: 75,00 ВА (для всей обмотки)

Витки (N): +25 вит. (88 вит. суммарно)

Плотность тока: 3.0 А/мм²

Расч.сечение: 1,02 мм²

Расч.диаметр: 1,14 мм

Выбр.диаметр: 1,25 мм

Заполнение окна: 0,04

W2.3 последовательно с W2.2:

Сопротивление нагрузки Rn: 16 Ом

Напряжение: 34,64 В (для всей обмотки)

Ток: 2,17 А (для всей обмотки)

Мощность: 75,00 ВА (для всей обмотки)

Витки (N): +36 вит. (124 вит. суммарно)

Плотность тока: 3.0 А/мм²

Расч.сечение: 0,7 мм²

Расч.диаметр: 0,944 мм

Выбр.диаметр: 0,95 мм

Заполнение окна: 0,033

ДАННЫЕ НА ПРОВОД ОБМОТОЧНЫЙ И ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Провод ПЭТВ-2 - это медный, обмоточный, эмалированный провод, который применяется для изготовления обмоток трансформаторов, генераторов, катушек индуктивности и прочее.

Провод обладает отличными механическими свойствами, эти свойства позволяют использовать провод для механизированной намотки.

Устойчивы к растворителям 60% уайт-спирита, 30% ксилола, 10% бутанола и к кипящей воде!

Расшифровка:

П - провод

Э - эмалированный

Т - термостойкий

В - высокопрочная эмаль

2 - второй тип лака

Характеристики:

Диапазон температур - до +130°C

Срок службы - 20 000 часов

Рабочее напряжение - пробивное напряжение не менее 4900 В

Жила - медная проволока $\varnothing 0,10 - 3,0$ мм

Изоляция - эмалевая на основе полиэфиров



Применяемые Диаметры жилы без лака - с учетом лака (толеранс 2-3%):

$\varnothing 0,30 - \varnothing 0,34$

$\varnothing 0,95 - \varnothing 1,016$

$\varnothing 1,25 - \varnothing 1,332$

В качестве изоляционных материалов применены:

- Бумага термостойкая (для запекания) толщиной 0,06 мм
- Тefлоновая лента на клейкой основе толщиной 0,16 мм
- Двусторонний строительный скотч толщиной 0,12 мм
- Двусторонний канцелярский скотч толщиной 0,05 мм
- Цапонлак для пропитки обмоток
- Эпоксидная двухкомпонентная смола для заделки выводов и пропитки обмоток



ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАМОТКИ

При намотке небольших любительских трансформаторов и катушек применяется станок намоточный ручной с счётчиком витком и механизмом сброса.

Имеет передаточные числа 1 к 1 и 1 к 8.

Трансформаторы изготавливаемые вручную с высокой плотностью обмоток виток-к-витку мотаются на передаче 1 к 1 для контроля процесса.

Также, для плотной укладки применяются шпулька с плотной посадкой в катушку (33x39 мм), деревянные плашки (44,5x100 мм), струбцина, устройство подвеса для провода в катушках.



ЭТАП 1 – ПОДГОТОВКА

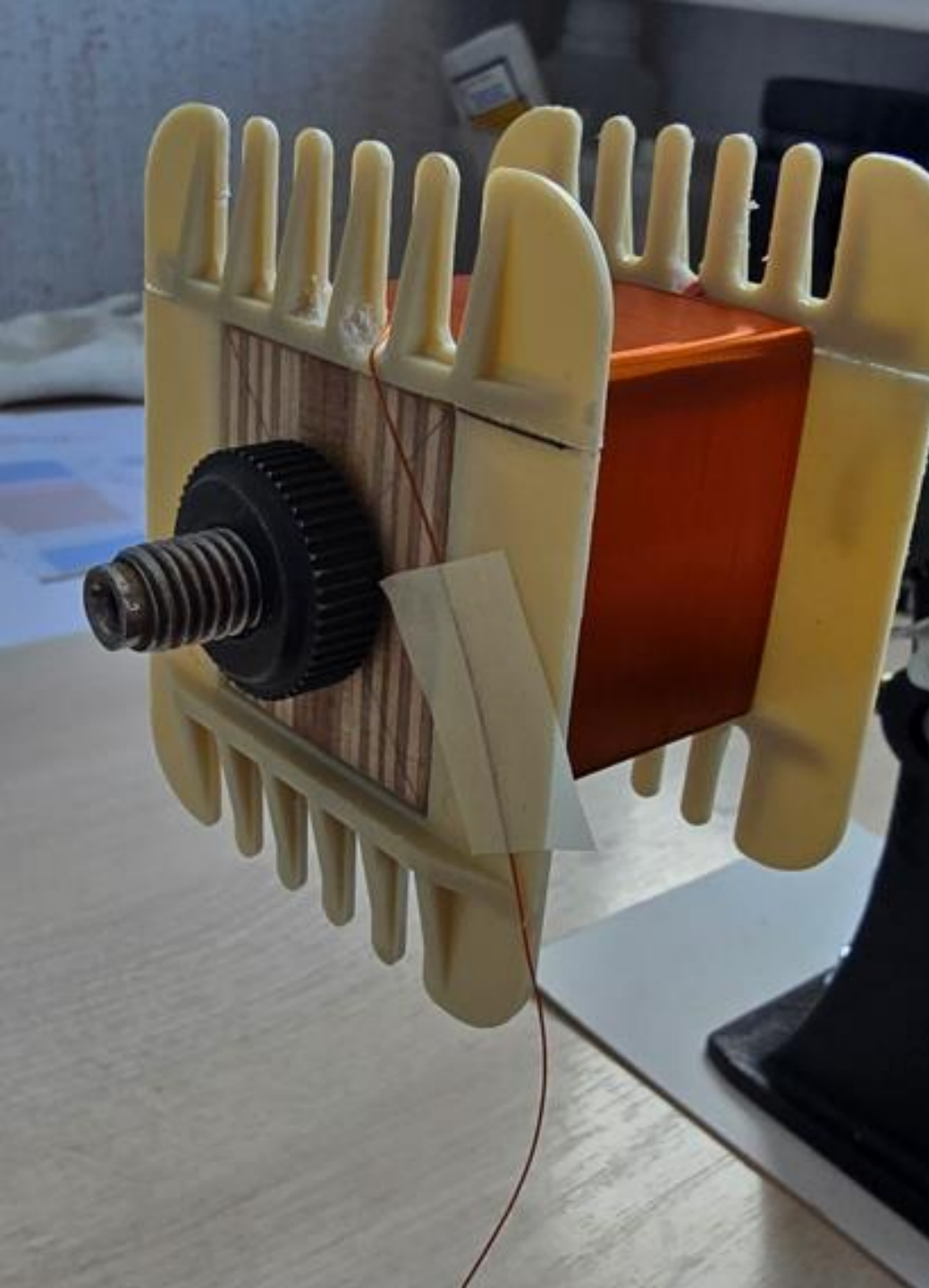
- Установите станок на стол, зафиксируйте исключая подвижность основания.
- Посадите шпильку на катушки с обеспечением плотной посадки. Зачастую, между шпилькой и катушкой имеется люфт, который можно заполнить отрезками картона, бумаги или же порой обернув всю шпильку скотчем, лучше малярным.
- Посадите катушку со шпилькой на вал станка.
- Зафиксируйте гайками с двух сторон до тех пор, пока зажата в руке катушка не перестанет проворачиваться под воздействием на рукоятку намоточного механизма станка.
- Установите катушку с проводом для первичной обмотки в устройство подвеса под намоточным станком обеспечив ей свободное и устойчивое вращение без закусываний.
- Закрепите обрезки малярного скотча не далеко от станка. Он понадобится для временной фиксации провода во время пауз при намотке.





ЭТАП 2 – ПЕРВИЧНАЯ ОБМОТКА ¼ секция В+/А2

- На свободный конец провода $\varnothing 0,3$ мм проденьте термоусадку $\varnothing 1,5$ мм длиной 30-40 мм оставив выпуск провода не менее 100 мм. Это вывод В+
- Нагрейте термоусадку для плотной посадки на провод.
- Выведите конец провода с термоусадкой таким образом, чтоб он образуя перегиб через паз в щёчке катушки был обвит вокруг вала станка с небольшим натяжением. Это задаст стартовую позицию натяжения провода для дальнейшей его плотной укладки.



ЭТАП 2 – ПЕРВИЧНАЯ ОБМОТКА $\frac{1}{4}$ секция В+/А2

- Придерживая конец провода левой рукой в тканевой перчатке (в зависимости от ориентации станка), а правой держась за рукоять намотки станка создайте натяжение лишь до степени выпрямления провода, а не растяжения или обрыва. Тут понадобится именно опыт.
- Начинаем мотать виток за витком подтягивая провод так, чтоб ложился слегка касаясь предыдущих витков. Тем самым, провод будет плавно сползать вдоль самого себя образуя плотные витки.

ЭТАП 2 – ПЕРВИЧНАЯ ОБМОТКА ¼ секция В+/А2

- Закончив первый слой у нас должно получиться 125 витков провода $\varnothing 0,3$ мм (0,34 мм по лаку) для катушки с шириной намотки в 44,5 мм.
- Выводим провод через паз катушки в щёчке и фиксируем сбоку скотчем, чтоб он не болтался и не ослаблял нам намотку.
- Вставляем деревянные плашки 44,5x100 мм.
- Обжимаем струбциной с небольшим усилием.
- После обжатия снимаем.
- Пропитываем цапонлаком обмазывая кропотливо кисточкой.
- Просушиваем обычным бытовым феном в течение 2-3 минут.

ВНИМАНИЕ!

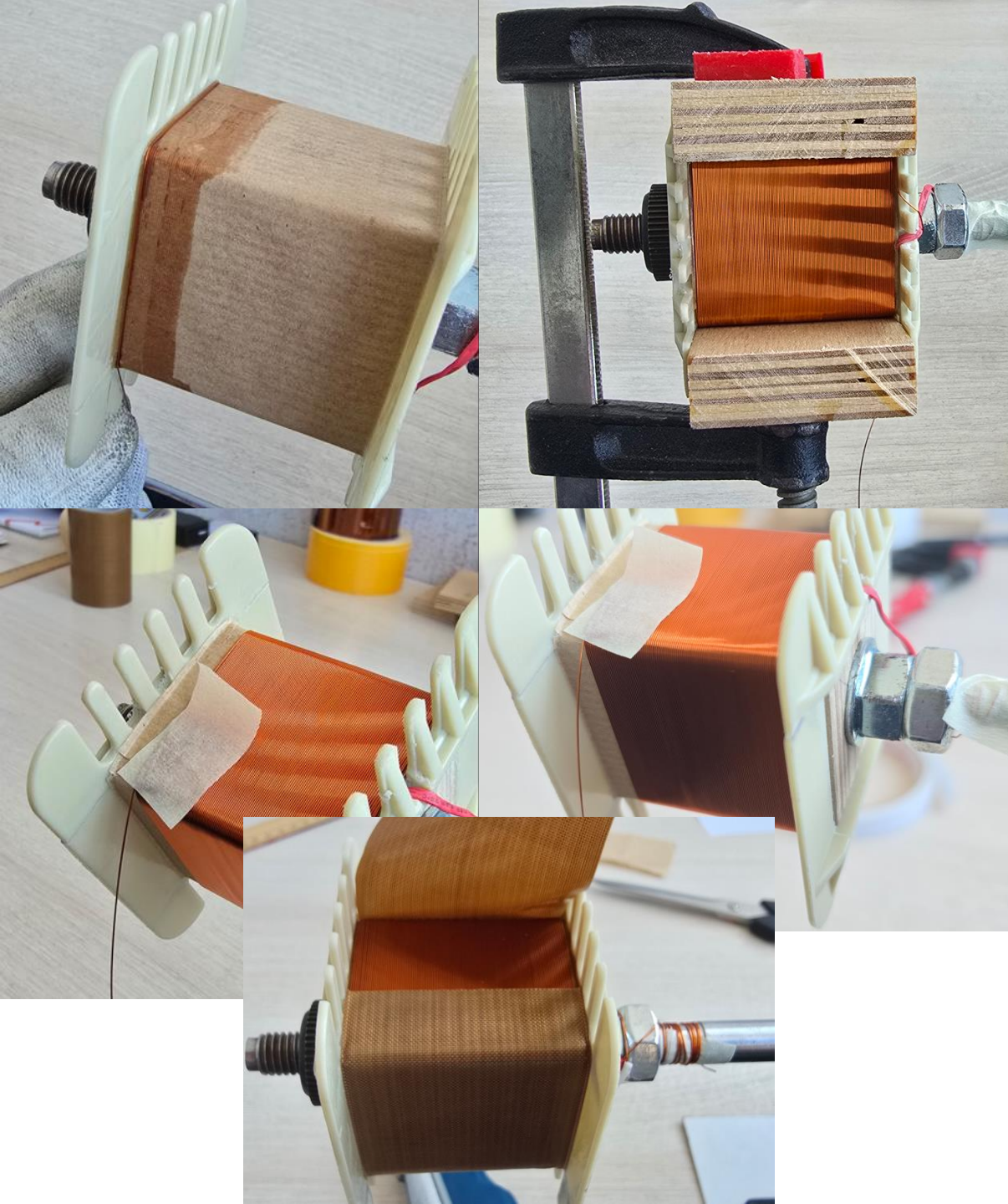
Работаем с цапонлаком в проветриваемом помещении.





ЭТАП 2 – ПЕРВИЧНАЯ ОБМОТКА $\frac{1}{4}$ секция В+/А2

- Готовим межслойную изоляцию из бумаги нарезав её полосками на 1 мм больше ширины намотки катушки, т.е. в нашем случае 46 мм.
- С обратной стороны подклеиваем канцелярский двусторонний скотч чтоб во время обёртывания межслойная изоляция не смещалась с обмотки.
- Обёртываем. Оставляем нахлест 10-20 мм.
- Обрезаем лишние.
- Подклеиваем нахлест канцелярским двусторонним скотчем.
- Протягиваем провод для организации следующего слоя и накрываем его нахлестом межслойной изоляции.



ЭТАП 2 – ПЕРВИЧНАЯ ОБМОТКА $\frac{1}{4}$ секция В+/А2

- Мотаем 4 слоя по 125 витков промазывая каждый слой цапонлаком и оборачивая бумагой (500 витков суммарно).
- Намотав тем самым половину секцию В+/А2 или же $\frac{1}{4}$ первичной обмотки организуем вывод не менее 100 мм который у нас будет переходным.
- Затягиваем в термоусадку 1,5 мм длиной 30 мм.
- Закрываем слоем межсекционной изоляции – тефлоновой ленты.



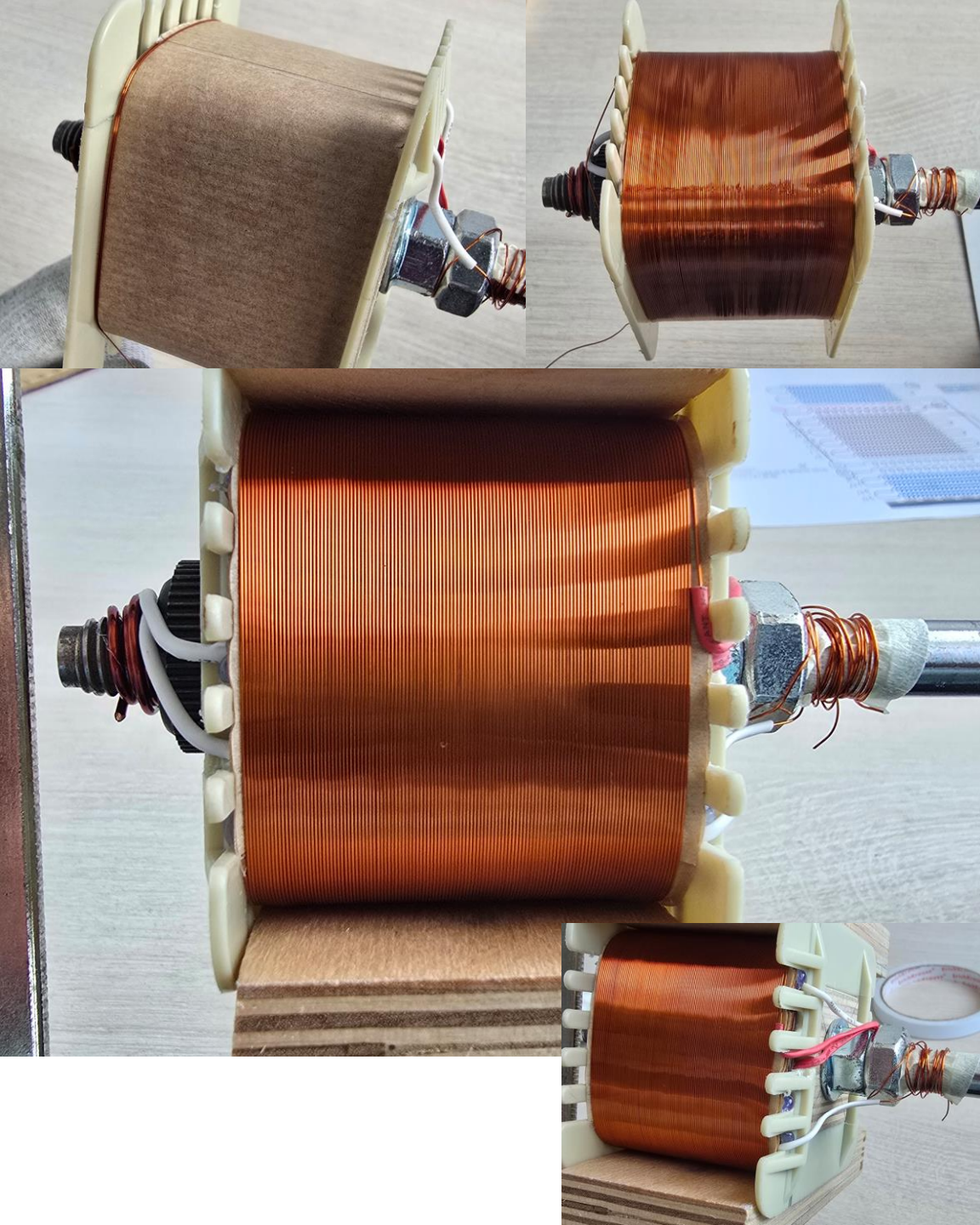
ЭТАП 3 – ВТОРИЧНАЯ ОБМОТКА секция 4 Ом

- Перед укладкой провода вторичной обмотки дополняем межсекционную изоляцию слоем двустороннего скотча. Это позволит удерживать толстый провод виток за витком без ослаблений.
- Продеваем свободный конец провода диаметром 1,25 мм (1,338 по лаку) через паз.
- Затягиваем в термоусадку 2,5 мм свободный конец и оборачиваем вокруг вала станка.
- Даём хорошее натяжение и укладываем 31 виток к витку.



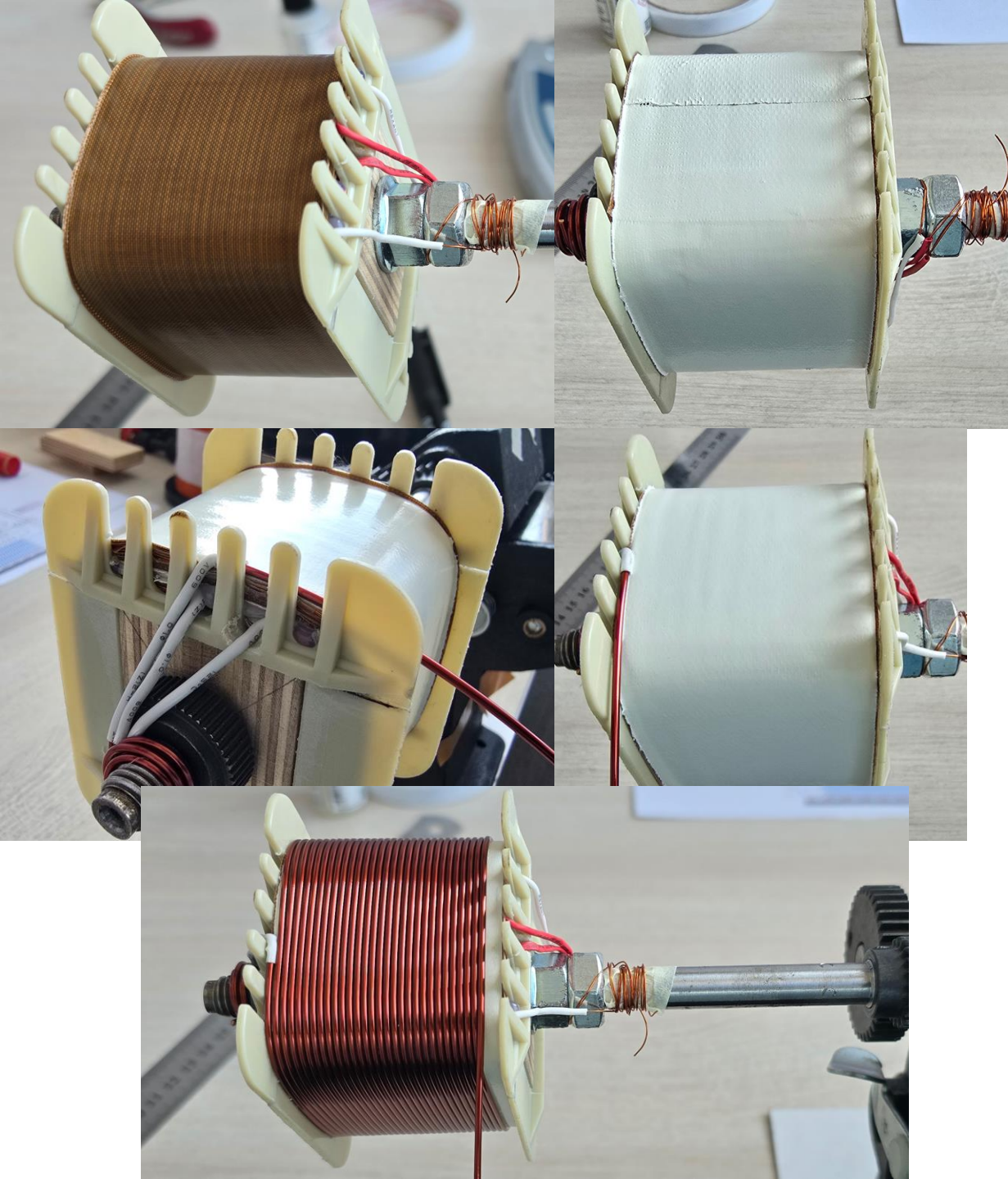
ЭТАП 3 – ВТОРИЧНАЯ ОБМОТКА секция 4 Ом

- Намотав первый слой вторичной обмотки обжимаем плашками.
- Оборачиваем слоем двустороннего скотча для фиксации обмотки.
- Выводим продолжение провода через небольшой нахлест и мотаем ещё 30 витков.
- Закончив слой вновь обжимаем плашками.
- Организуем вывод и затягиваем его в термоусадку.
- Оборачиваем слоем тефлоновой ленты.



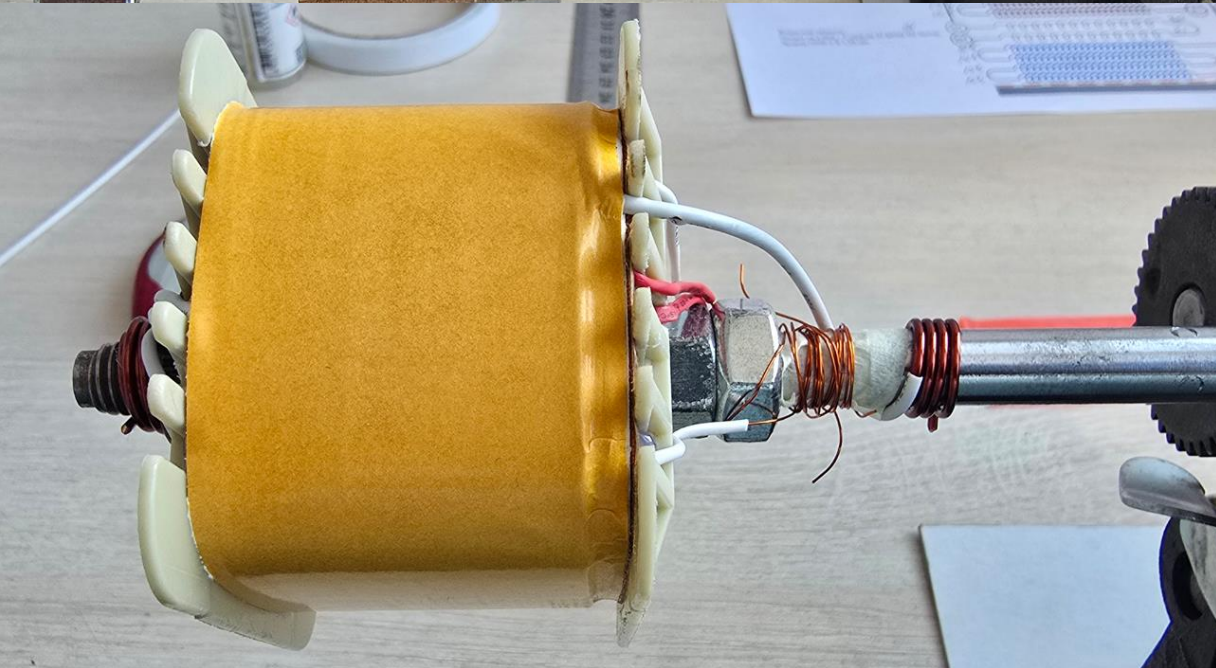
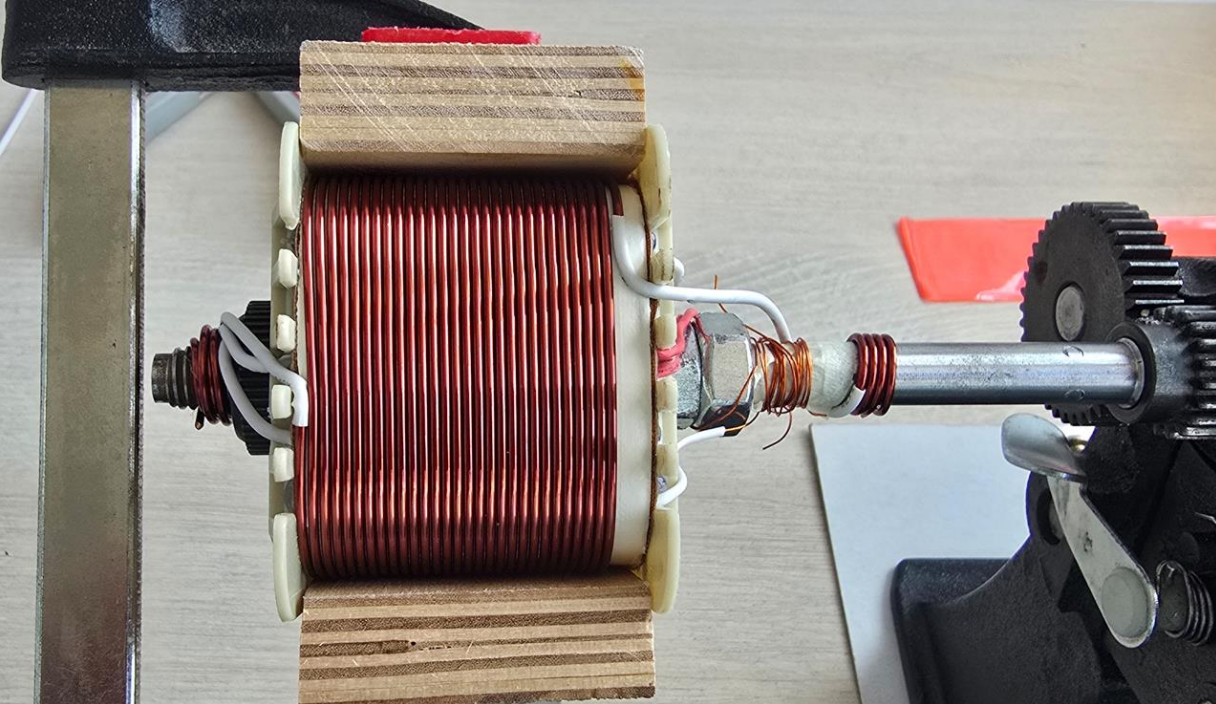
ЭТАП 4 – ПЕРВИЧНАЯ ОБМОТКА ½ секция A1/V+

- Намотав секцию вторичной обмотки на 4 Ома оборачиваем слоем бумаги. Это необходимо для сглаживания рельефной поверхности предыдущей намотанной секции.
- Свободный конец провода диаметром 0,3 мм (0,34 по лаку) затягиваем в термоусадку 1,5 мм, длиной 30 мм и организуем вывод A1.
- Мотаем 8 слоёв по 125 витков (1000 витков суммарно). Каждый слой обжимаем плашками, пропитываем цапонлаком и оборачиваем бумагой.
- Организуем вывод V+. Затягиваем в термоусадку и фиксируем конец провода на валу.



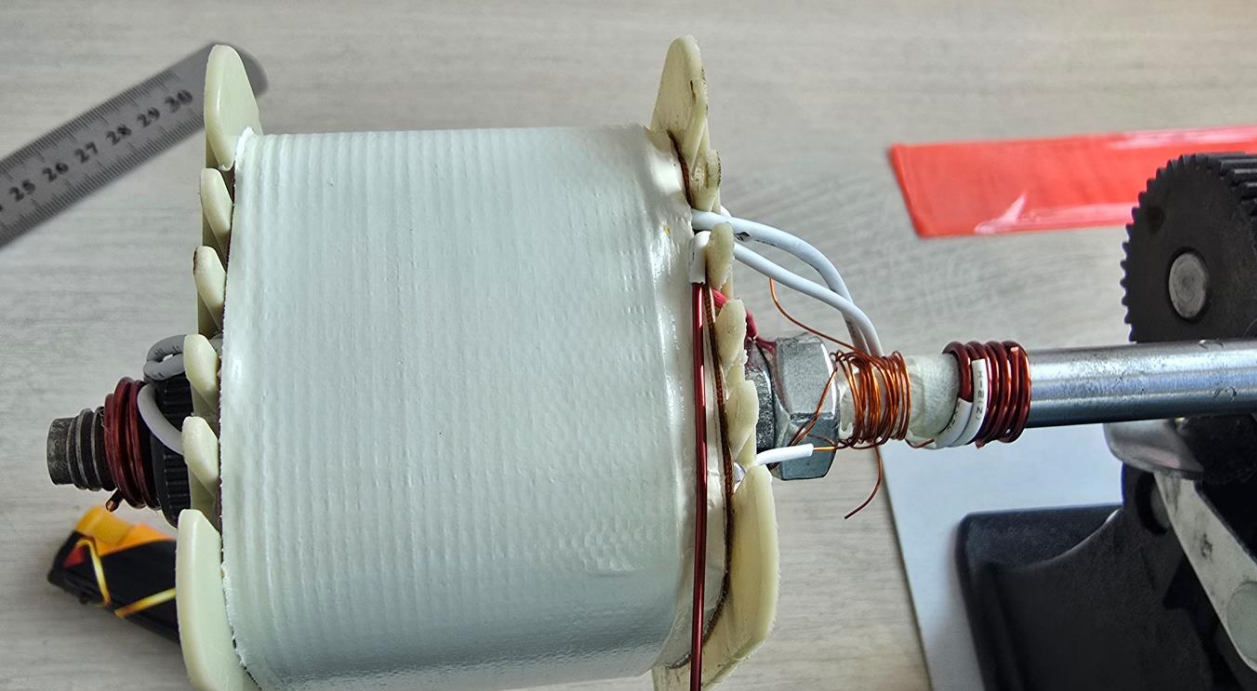
ЭТАП 5 – ВТОРИЧНАЯ ОБМОТКА секция 8 Ом

- Секция 8 Ом является продолжением вторичной обмотки – секции 4 Ом, т.е. соединена последовательно.
- Намотка секции происходит также проводом диаметром 1,25 мм (1,338 по лаку).
- Перед намоткой секции укладывается межслойная изоляция - тефлоновая лента + двусторонний скотч для фиксации обмотки.
- Точно также как и с обмоткой на 4 Ома организовываем вывод. Т.к. начало обмотки на 8 Ом является продолжением предыдущей, то его конец выводится в тот же паз где окончание обмотки на 4 Ома.
- Мотаем 25 витков проводом диаметром 1,25 мм (1,338 по лаку).

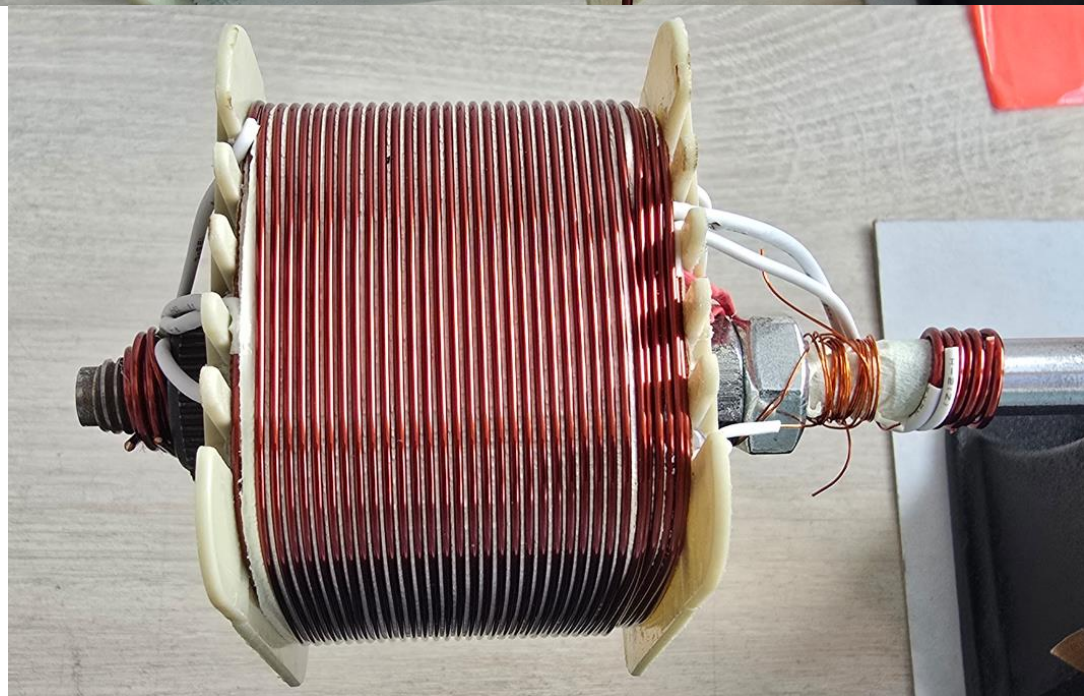


ЭТАП 5 – ВТОРИЧНАЯ ОБМОТКА секция 8 Ом

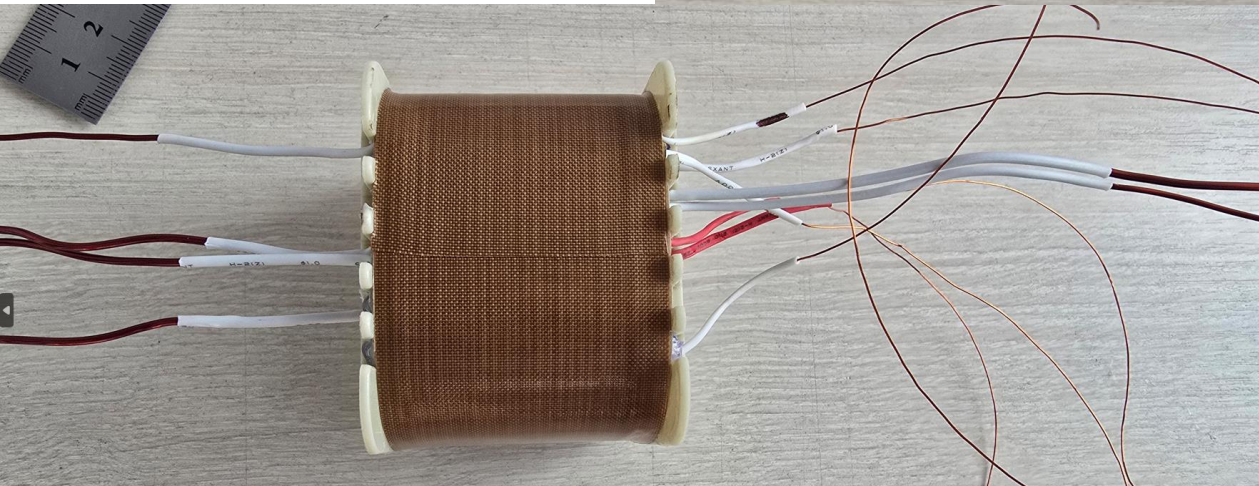
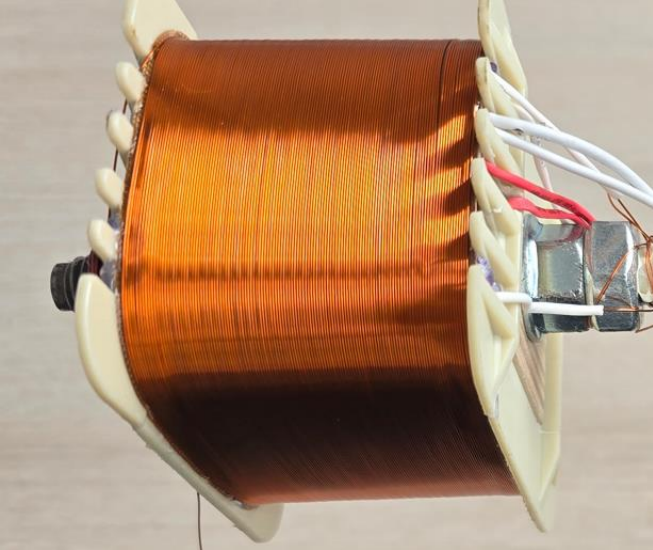
- Намотав все 25 витков фиксируем намотку плашками и обжимаем.
- Организовываем вывод затянув его в термоусадку и обернув вокруг вала.
- Закрываем межслойной изоляцией (двусторонний скотч)



ЭТАП 6 – ВТОРИЧНАЯ ОБМОТКА секция 16 Ом

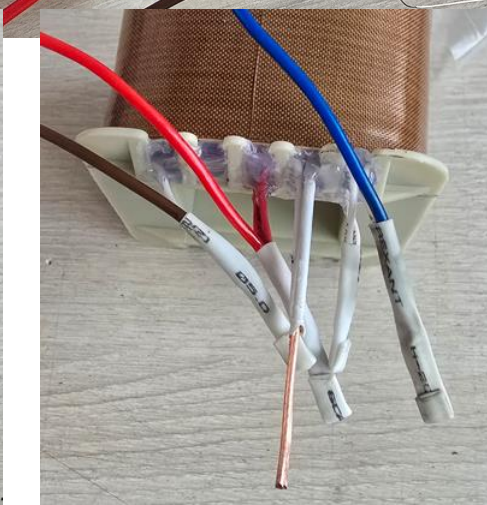
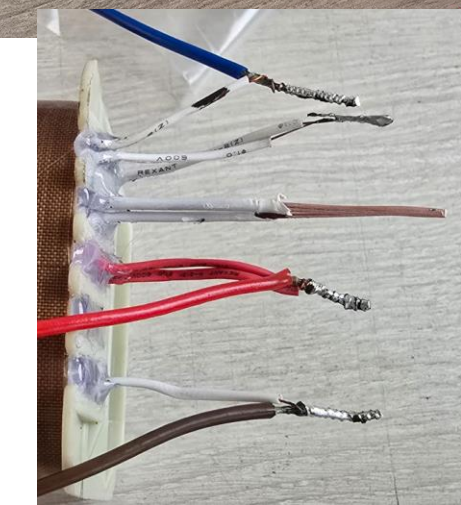
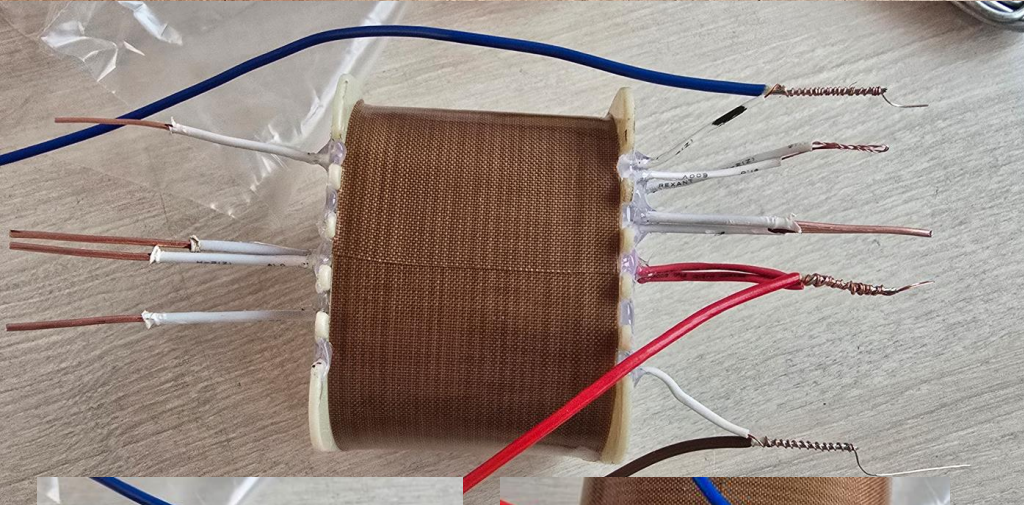
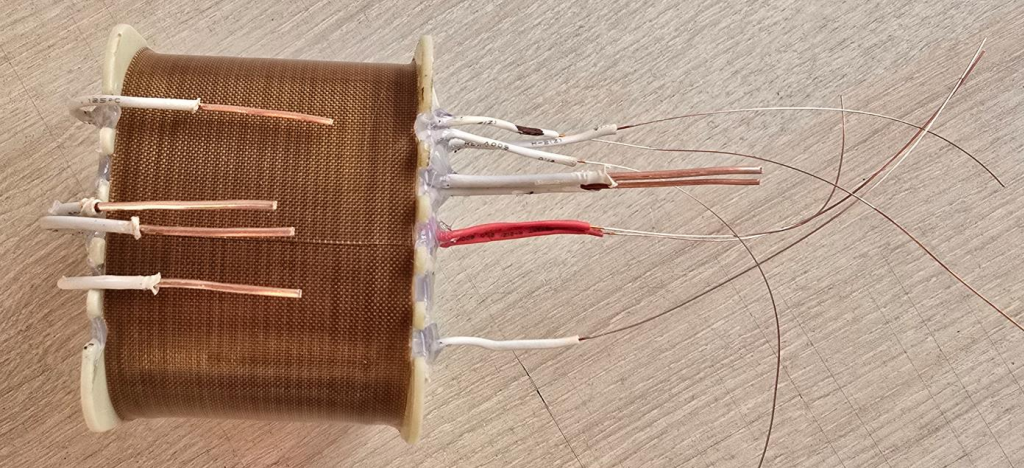


- Сразу поверх секции на 8 Ом мотаем продолжением секцию на 16 Ом последовательно.
- Укладываем конец провода диаметром 0,95 мм (1,016 по лаку) в тот же паз где конец обмотки на 8 Ом.
- Затягиваем в термоусадку, наматываем вокруг вала.
- Наматываем 36 витков.
- Организовываем выводы в свободный паз катушки.



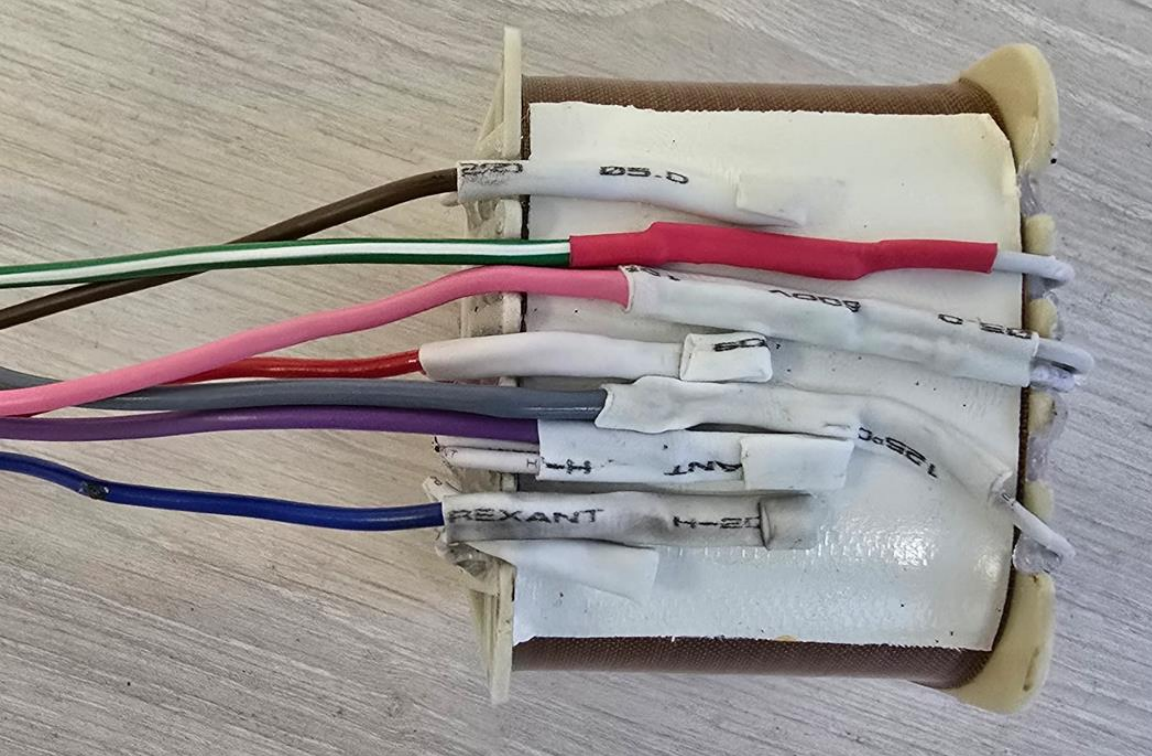
ЭТАП 7 – ПЕРВИЧНАЯ ОБМОТКА $\frac{1}{4}$ секция В+/А2

- Перед намоткой продолжения первичной обмотки – секции В+/А2 укладываем межсекционную изоляцию из тефлоновой ленты и слоя бумаги.
- Организовываем вывод в тот же паз где закончили $\frac{1}{4}$ первичной обмотки чтоб соединить данную обмотку последовательно.
- Мотаем оставшиеся 500 витков проводом диаметром 0,3 мм (0,34 по лаку). Каждый слой пропитывая цапонлаком, обжимая плашками и оборачивая бумагой.
- Завершаем обмотку межсекционной изоляцией из тефлоновой ленты.

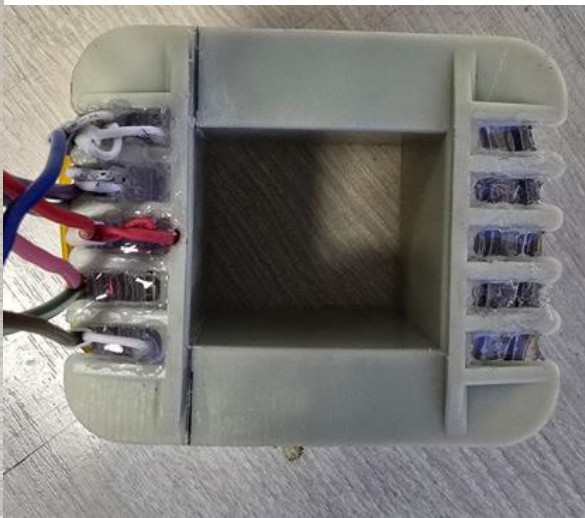
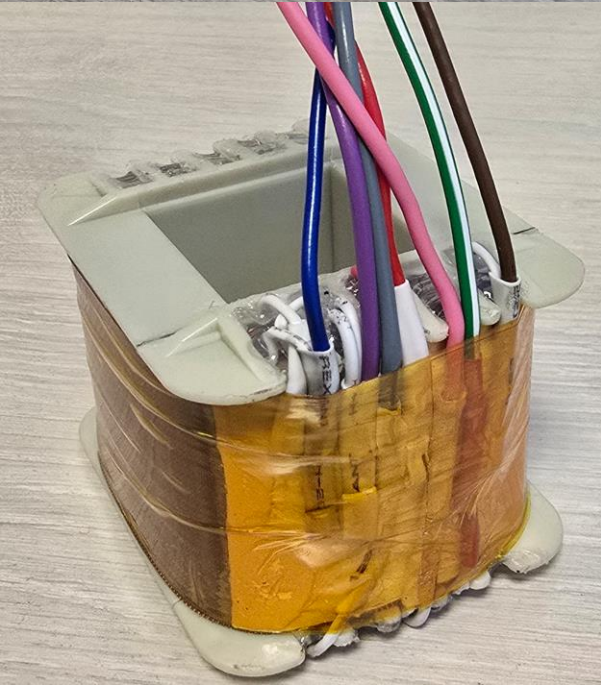


ЭТАП 8 – ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫВОДОВ ТРАНСФОРМАТОРА ГИБКИМ ПРОВОДОМ

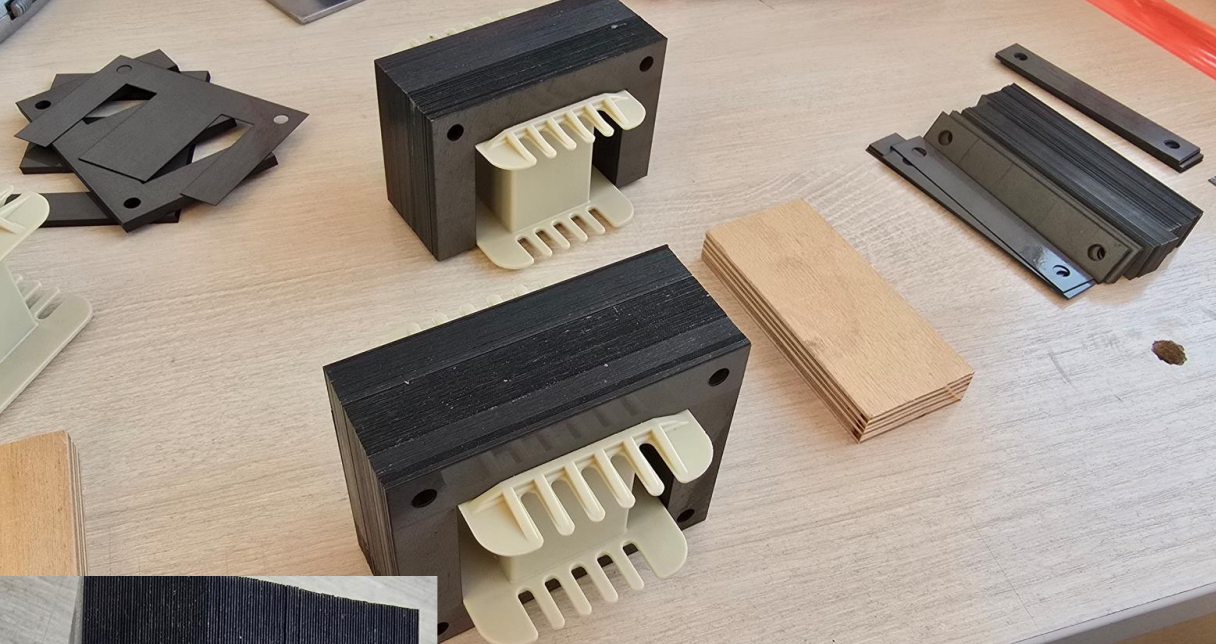
- Перед тем как монтировать выводы трансформатора гибким проводом в цветной изоляции пазы трансформатора заполняем компаундом или эпоксидной смолой или термоклеем – это обеспечит плотную заделку выводов и застрахует от перегибов и переломов обмоточный провод.
- Ранее организованные выводы проводом в эмалевой изоляции зачищаем наждачной бумагой.
- В соответствии с обозначенными выводами заготавливаем провод в цветной изоляции. Зачищенный конец гибкого вывода обёртываю очищенным от эмали обмоточным проводом как можно плотнее создавая большую площадь контакта.
- Лудим, паяем, затягиваем в термоусадку.



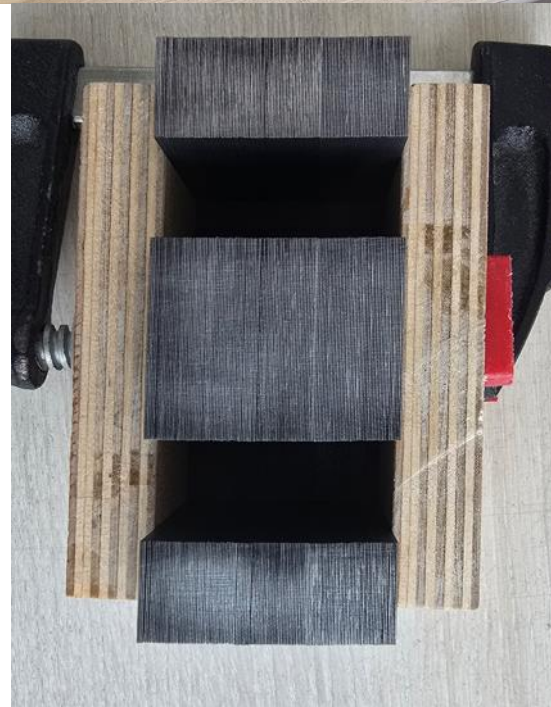
ЭТАП 8 – ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫВОДОВ ТРАНСФОРМАТОРА ГИБКИМ ПРОВОДОМ



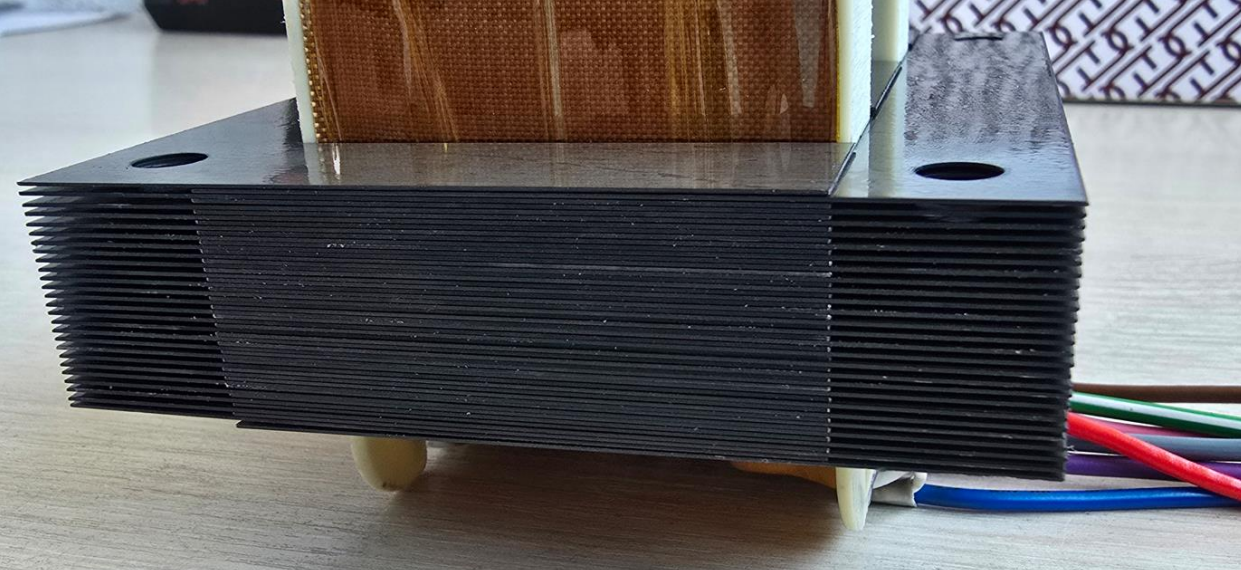
- Для фиксации выводов на катушке укладываем прокладку из тефлоновой ленты в месте прилегания всех проводов.
- Клеим двусторонний строительный скотч для минимизации подвижности, к тому же это усложнит выдёргивание концов проводов из трансформатора т.к. лишает их скольжения.
- Укладываем по очереди и определённом порядке для удобства выводов.
- Обёртываем в два слоя термоскотча.



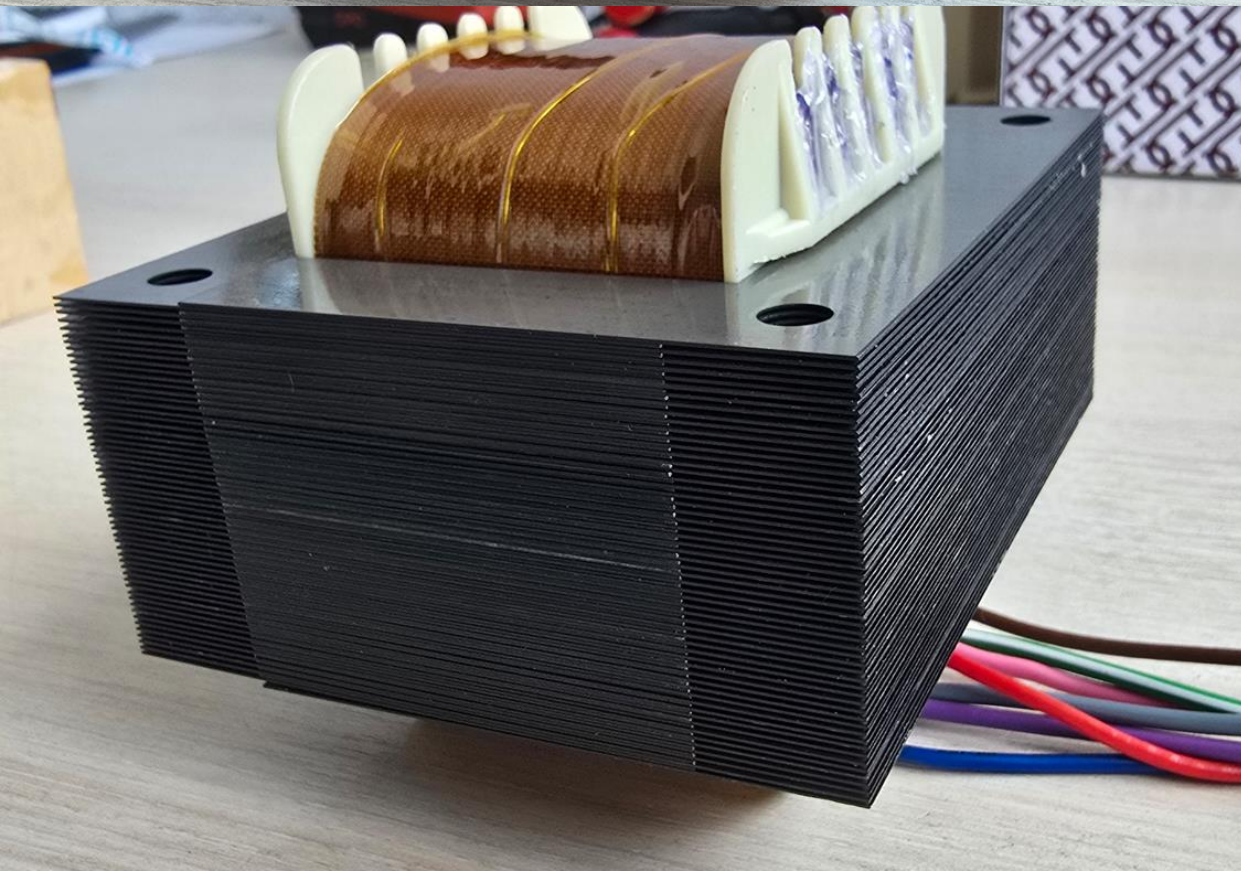
ЭТАП 9 – ПОДГОТОВКА К СБОРКЕ ТРАНСФОРМАТОРА



- Перед началом сборки магнитопровода его следует зачистить от следов лака, краски и ржавчины и окисла.
- I-образные пластины и E-образные в местах стыковки шлифуем наждачкой зернистостью 120 убираем дополнительно заусенцы после рубки железа на производстве. Это снизит шум трансформатора при работе убрав немагнитный зазор.

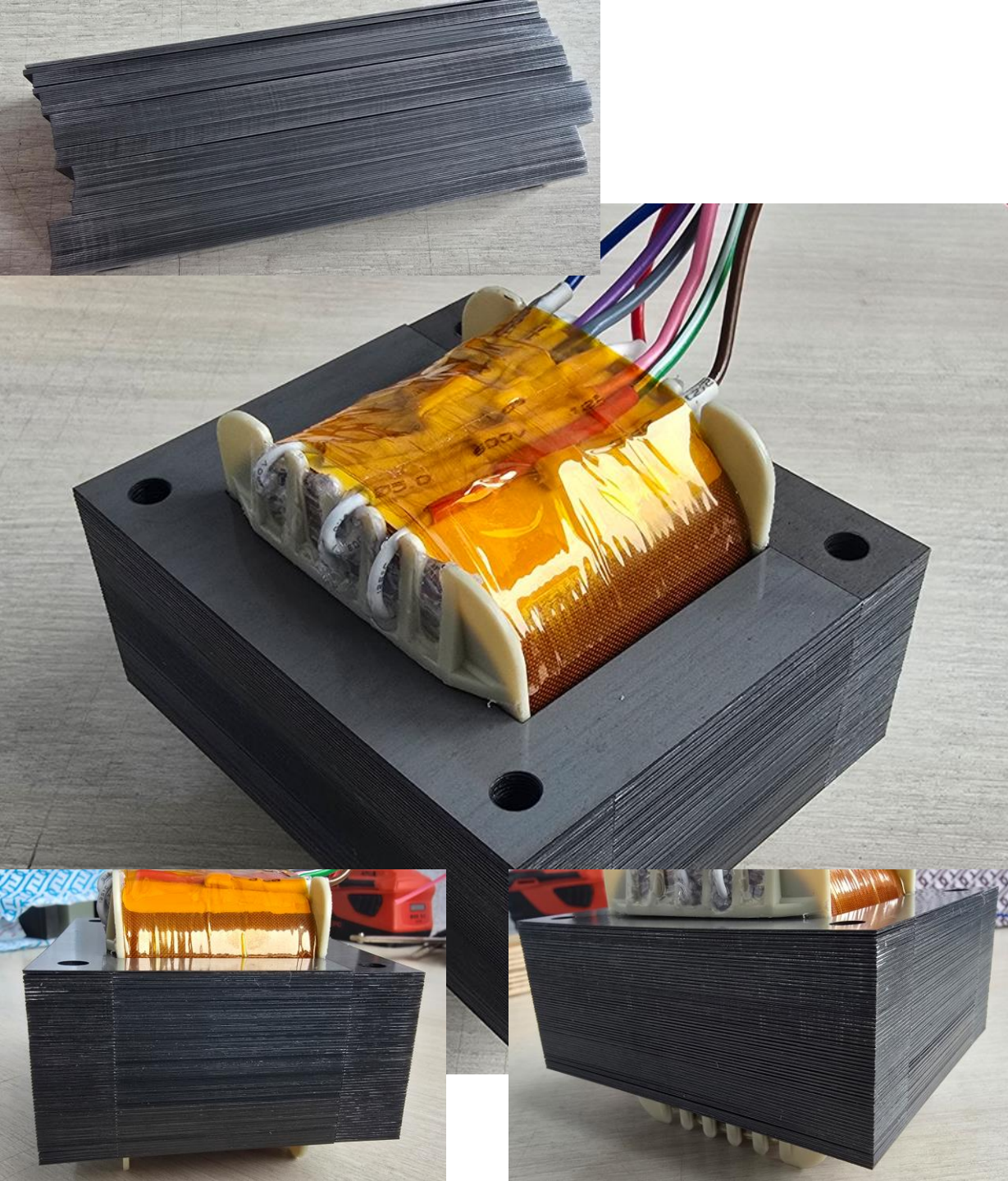


ЭТАП 10 – СБОРКА ТРАНСФОРМАТОРА



- Укладываем катушку на стол поудобнее и начинаем шихтовать сперва Е-образные пластины одну за одной навстречу друг другу пока не уложим весь пакет.

ЭТАП 10 – СБОРКА ТРАНСФОРМАТОРА

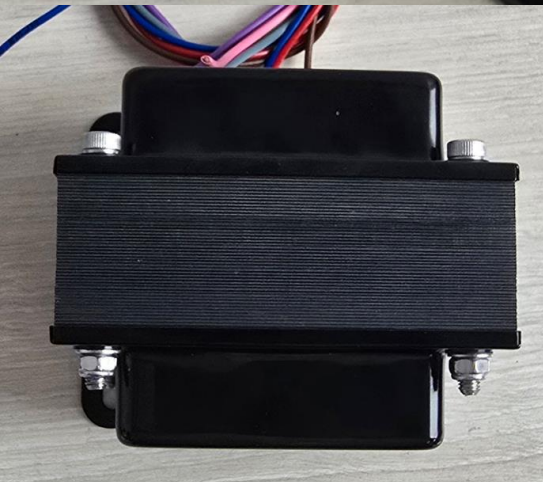


- Укладываем I-образные пластины заводя их сбоку.

ЭТАП 10 – СБОРКА ТРАНСФОРМАТОРА



- Накидываем крышки предварительно воткнув изолирующие втулки.
- Вводим в отверстия винты М5 длиной 50 мм, накидываем шайбы и самоконтрящиеся гайки и по кругу затягиваем их тем самым обжимая пакет трансформаторного железа.



ЭТАП 11 – ПРОСТЕЙШИЕ ЭЛЕКТРОИСПЫТАНИЯ



- Собрал предварительно трансформатор зачищаем его гибкие выводы, лудим.
- Накидываем клемники на каждый вывод (я использую WAGO), т.к. это защитит нас от непреднамеренного удара током.
- Замеряем сопротивления обмоток чтоб убедиться в правильности организации выводов и целостности обмоток, а также проверить баланс анодных полуобмоток (плеч) на активное сопротивление.
- Замеряем общее сопротивление первичной обмотки.
- Замеряем сопротивление полуобмотки A1/B+
- Замеряем сопротивление полуобмотки A2/B+
- Замеряем сопротивление выводов вторичной обмотки
- Замеряем индуктивность первичной обмотки
- Подключаем напряжение сети через предохранитель в 3А на первичную обмотку. Замеряем напряжения на вторичке чтоб убедиться в правильности организации выводов.

Сводим все результаты в таблицу

	A1 - A2	A1 - B+	A2 - B+	0 - 4 Ом	0 - 8 Ом	0 - 16 Ом
Индуктивность 0,6 В / 100 Гц	53 Гн					
Сопротивление DCR	92,5 Ом	46,2 Ом	46,3 Ом	0,43 Ом	0,5 Ом	0,7 Ом



ЭТАП 12 – ПОКРАСКА МАГНИТОПРОВОДА



- Готовим трансформатор под покраску. Оборачиваем малярным скотчем по контуру крышек.
- Окрашиваем алкидной эмалью. Предпочитаю термостойкую, т.к. она матовая.
- Сушим.

ТРАНСФОРМАТОР ПОЛНОСТЬЮ ГОТОВ!