

**2.12.2018.**

Законченная конструкция автомобильного усилителя. Содержит все необходимое для эксплуатации: преобразователь напряжения достаточной мощности, сервисные и защитные цепи, два идентичных усилителя работающих в противофазе, два входных буферных усилителя. Основные узлы размещаются на основной плате, в которую интегрируется submodule модуляторов.

Блок питания реализован по схеме push-pull на контроллере TL494 и драйвере IR4427 с двумя парами ключей типа IRF3205, или аналогичных. Мертвое время составляет около 370нс, частота 55кГц. Трансформатор намотан на кольце 29,5x19x20 N87 (B64290-L756-X87). Габаритная мощность около 500Вт при 5А/мм<sup>2</sup>. Конструкция ПП позволяет использовать трансформатор с первичной обмоткой максимум из «косы» 5-ти проводов диаметром 0,9мм.

Заложен следующий порядок включения: При наличии сигнала Remote выше порога, заданного D3+0,7В, и при условии, что напряжение батареи выше порога открывания D2, ключевая схема на Q2Q3 подает питание на LDO стабилизатор U3. Выходное напряжение U3 10,6В подается на схему управления. Происходит плавный пуск преобразователя. Кроме того, напряжение стабилизатора через R31 зажигает светодиод оптопары, через транзистор которой вторичное напряжение цепи «V+» подается на ключ управления включением усилителя. Вторичные напряжения постепенно увеличиваются до значения, когда на делителе R87R86 уровень не достигнет примерно 6,8В. Следящий ключ Q11 увеличит напряжение на 2 выводе U10 «CSD» до уровня включения транзисторов ВК и усилитель перейдет в рабочий режим.

Ток через ключи ПН определяется через падение напряжения на переходах транзисторов ПН и подается через RC фильтр на инвертирующий вход компаратора U4.1. В качестве опорного напряжения используется Uref U1 TL494, уменьшенное до 1,4-1,6В. При превышении напряжения датчика тока выше порога срабатывает компаратор, устанавливая на выходе низкий уровень, что, в свою очередь, запускает таймер U5 NE555, на 3 выходе которого устанавливается высокий уровень, формируется признак перегрузки ПН в цепи «ERR», который управляет режимом работы U1 через вход 4 «Dtc» и схемой STBY и сигнализируется зеленым свечением двухцветного светодиода D7.

Защита по перегреву собрана на термореле TF1, установленном в районе ключей ПН и трансформатора. При превышении температуры выше порога замыкаются контакты и, аналогично токовой защите ПН, устанавливается признак перегрузки- высокий уровень цепи «ERR».

Кроме того, предусмотрен режим аварийного отключения по сигналу «DC» усилителей. Так как ПН не имеет гальванической связи между входом и выходом, для развязки с вторичной стороной используется оптопара VO1. Сигнал с ее выхода подается на не инвертирующий вход ОУ1 U1, который совместно с D1 образует защелку и блокирует работу ПН. Этот режим индицируется красным светодиодом обводки D7.

Управление режимом STBY реализовано с помощью ключа Q4, шунтирующего светодиод оптопары VO2. В включенном состоянии этот светодиод запитан через резистор R31 от стабилизатора U3. В момент перегрузки ключ Q4 отключает оптопару.

Инверторы усилителей собраны по типовой схеме для драйвера IRS20957S. Для удобства настройки тока защиты транзисторов верхнего плеча добавлен резистор R68. R70 компенсирует влияние R67 на бутстрапное напряжение.

По входу каждого канала установлена схема на двойном ОУ. Первая половина в качестве диф. усилителя принимает сигнал источника звука, вторая инвертирует напряжение с выхода первого ОУ для получения симметричного относительно земли сигнала, с которым работает модулятор.

В качестве модуляторов применяется схема структурно аналогичная Нурех псоре с петлевым усилением около 53дБ и дополнительной форвард коррекцией PSRR по напряжению питания. С выхода модулятора ШИМ последовательность подается на вход драйвера ПТ.

Регулировочные узлы:

R2,C1 – частота работы ПН;  
R3 – снижение мертвого времени ПН;  
C3 - время мягкого старта ПН;  
D3 - порог включения усилителя по сигналу REM;  
R17R19 - опорное напряжение для компаратора токовой защиты ПН;  
R26C15 – время отключения по токовой перегрузке ПН;  
R52R53 - усиление буферного каскада;  
C58 - время отключения канала УМ по токовой перегрузке;  
R58R59 - опорное напряжение компаратора защиты по току нижнего ключа УМ;  
R60R62 - мертвое время драйвера ВК УМ;  
R63R64R68 - порог защиты по току верхнего ключа ВК УМ;  
R69, R72 - ток управления затворами ПТ;  
R86R87 - нижний порог напряжения, при котором усилитель включается;  
R88C78, R89C79 - чувствительность датчика постоянного напряжения на выходе.

### Самостоятельная сборка:

Начать нужно с источника питания. Монтируются все детали преобразователя, схема включения REM\_CONT, светодиоды индикации, оптопары VO1, VO2. Не устанавливается трансформатор, а так же вторичные цепи ПН.

Проверяется работа схемы REM\_CONT. Порог включения задается стабилитроном D2. При наличии напряжения питания выше напряжения пробоя D2 на 0,3В и напряжения управления REMOTE выше напряжения пробоя D2 на 0,8В, на коллекторе Q3 должно появиться напряжение около 12В, на выходе LDO U3 – напряжение около 10,3В. Должен засветиться светодиод D8.

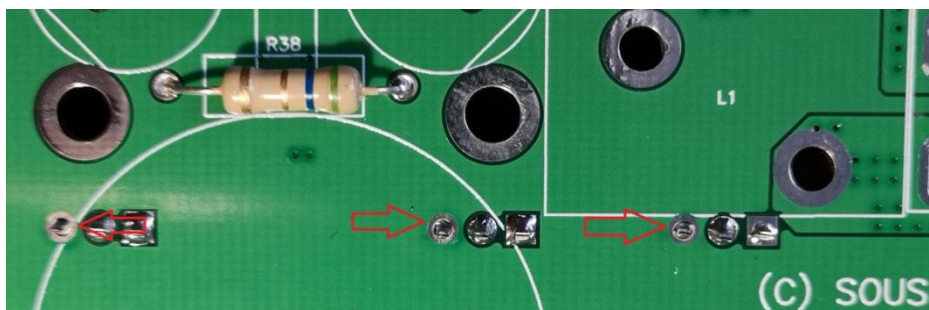
Резистор R15 - 1 Ом устанавливается, если не планируется использовать стабилизированное питание системы управления, тогда U3, D6 удаляются. Принципиальной разницы в работе со стабилизатором и без нет.

Во включенном состоянии должны появиться импульсы управления ПТ, на соответствующих выходах U2. Нужно проверить опорное напряжение на 3 ножке U4. На этом этапе возможны проблемы с ложным срабатыванием защелки защиты от постоянного напряжения, которое потребует уменьшить сопротивления R5, R7. Далее проверяется работа защелки. Кратковременно замыкаются выводы транзистора оптопары VO1 1-2, на выводе 3 U1 TL494 должен установиться уровень около 4В, состояние защиты индицируется свечением красного светодиода сборки D7. Аналогично, замыканием термореле TF1, проверяется работа тепловой защиты.

Ток потребления без трансформатора составляет 55-65мА.

Трансформатор на кольце внешним диаметром 28-31мм, первичная обмотка 4+4витка, вторичная по необходимому напряжению. Предполагается два варианта коэффициента трансформации трансформатора (КТР). Низковольтная версия – КТР 3,25, предполагает применение конденсаторов в силовых вторичных цепях на 50В и транзисторов выходного каскада (ВК) полумостов IRF540Z. Вторая версия – высоковольтная, КТР 4-4,25, конденсаторы на вторичной стороне на 63В, транзисторы ВК IRFB5615 (или IRFB4019).

До установки трансформатора желательно пропаять выводы ПТ, с нижней стороны этого сделать не удастся.



Устанавливается трансформатор. Проверяется форма напряжения на выходных обмотках. Ток потребления с трансформатором по шине 12В не должен превышать 200мА, номинально 150мА. Устанавливаются диоды выпрямителя в ТО-220, ~~между средними выводами которых для~~  
~~снижения эвтана нарезным способом припаивается пленочный конденсатор на рабочее~~  
~~напряжение выше 250В 100нФ (100D6), например WIMA MKC2, либо любой МРХ.~~ Далее  
монтируются элементы слаботочных источников вторичного питания D15-D17, U6-U8 с обвязкой,  
проверяется пуск преобразователя и наличие напряжений +/-12В, и 12В Vdr+ относительно V-

Затем устанавливаются дроссели и конденсаторы вторичных силовых шин. Подойдут номиналы от 6,8-мГн до 22мГн размере 12x12мм (CDRH127 или аналог). Уменьшать индуктивность нельзя, это будет приводить к выходу из строя ПТ блока питания. Проверяется запуск с полностью разряженными емкостями на вторичной стороне. Если «холодный» запуск не всегда происходит с первого цикла – нужно незначительно увеличить опорное напряжение защиты по току на делителе R17R19.

Если ПН не запускается и с 3-4 раза нужно проконтролировать напряжения на шинах V+,V-, с каждой попыткой пуска оно должно расти на 5-10В, если этого не происходит- значит присутствует ошибка сборки: КЗ по вторичным цепям, неправильная установка электролитических конденсаторов...

Далее нужно смонтировать детали входных буферных усилителей (страница AMP) и по возможности проверить их работоспособность, форму сигналов по выходу.

Устанавливаются все детали драйверов полумостов кроме R65, R70 (страница H-BR).

Устанавливается правильно собранный модулятор. Сборке модулятора нужно уделить особое внимание, так как после установки демонтировать его проблематично. В качестве электролитических конденсаторов в модуляторе нужно использовать либо низкопрофильные, либо обычные, в положении лежа. Полностью проверить работу отдельно от схемы сложно. Как вариант, после установки его в основную плату нужно контролировать сигнал PWM на входе IRS20957, подавая на вход буферного усилителя сигнал любого типа (можно просто прикоснуться к элементам буферного усилителя соответствующего канала пальцем). На PWM входе должна появляться произвольная последовательность импульсов, без сигнала по входу логическое состояние PWM должно оставаться стабильным.

Далее устанавливаются резисторы подающие питание драйвера IRS20957S. Устройство должно заработать. *Установка R70 – на усмотрение.*

Как показывает практика, емкость конденсаторов в защите от постоянного напряжения на выходе должна составлять не менее 47мкФ, с учетом того, что в размере 1206 такие конденсаторы встречаются только TKE X5 или Y5, лучше даже использовать емкость в 100мкФ, либо шунтировать конденсаторы меньшей емкости резистором несколько кОм.

Общий ток потребления не должен превышать 0,8А. Температура индукторов в закрытом корпусе составляет около 65-70С.

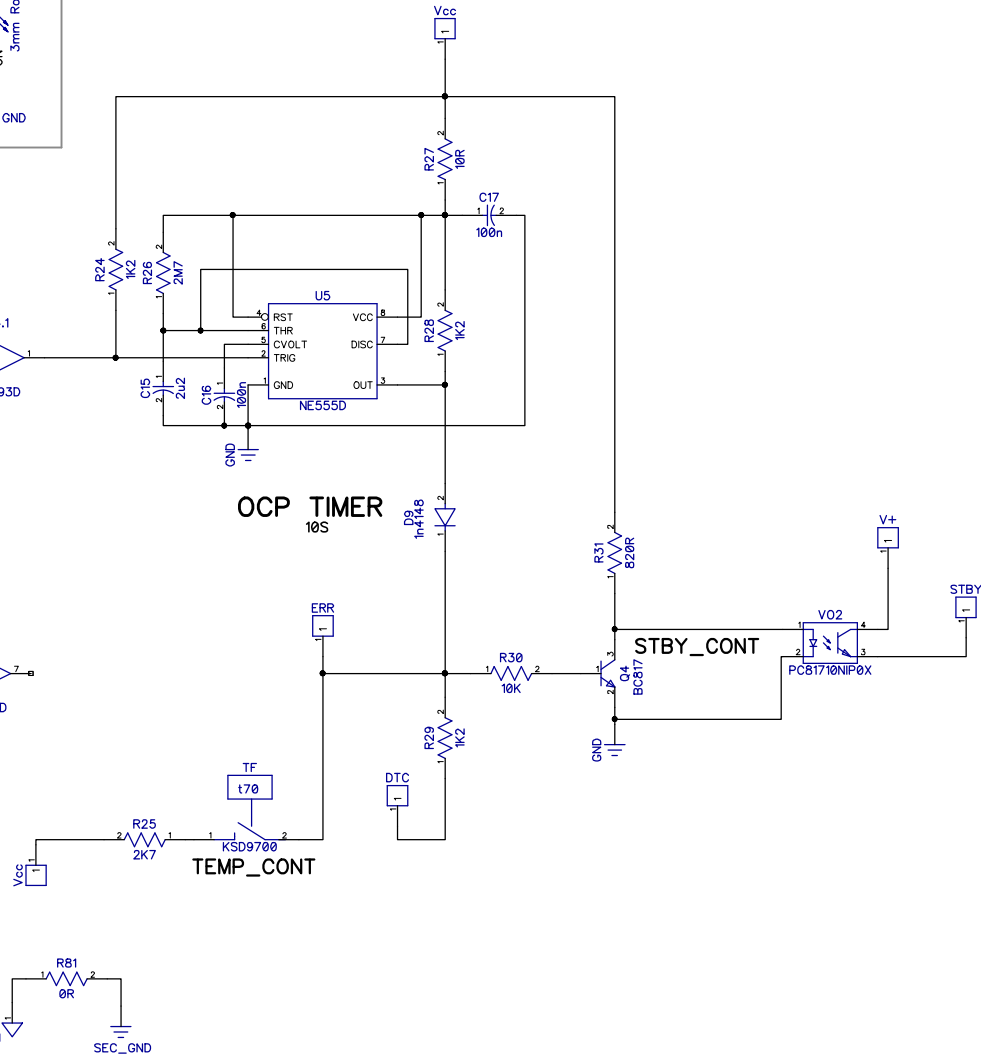
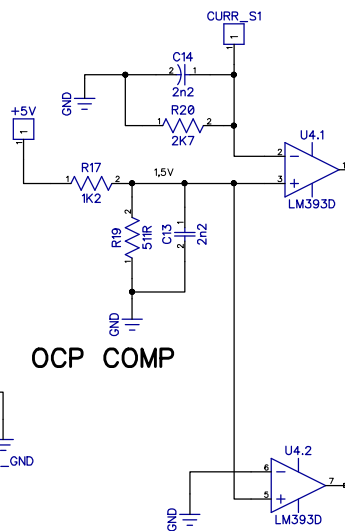
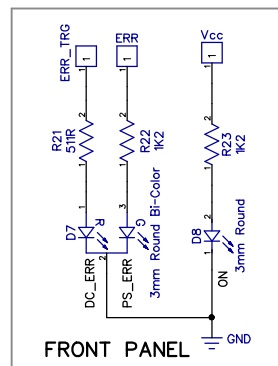
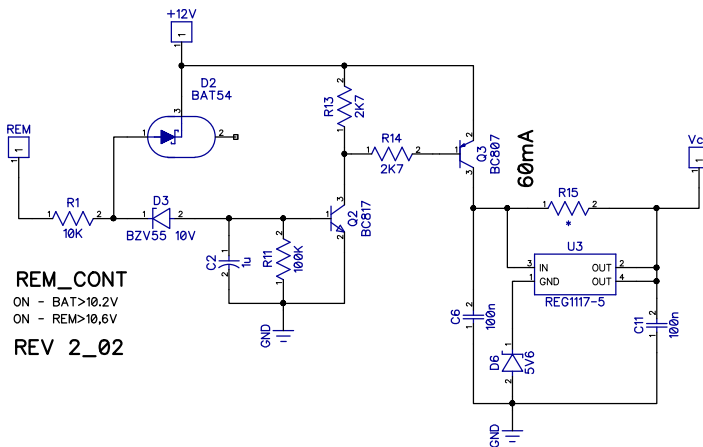
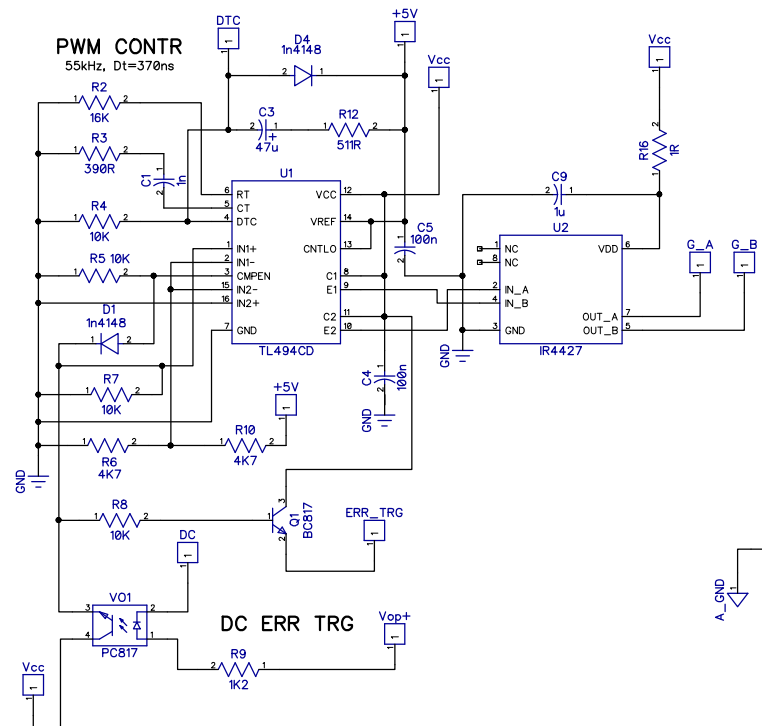
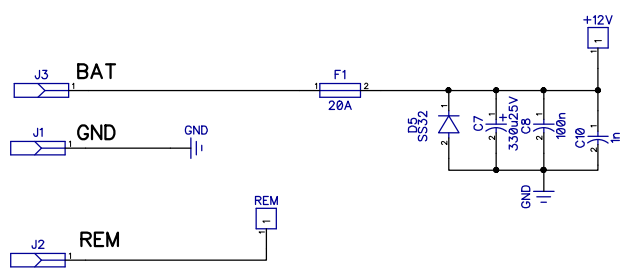
Элементы реализации с повышенным напряжением указаны на схеме. Для пониженного напряжения можно использовать электролитические конденсаторы C27, C28, C32, C33, C36, C37 на 50В, например Hitano EXR 1500uF. Аналогично C41-C43, C64, C65 на 50В. В качестве выходных транзисторов подойдут IRF540Z с затворными резисторами 4,3 Ом. Дополнительно нужно изменить номиналы некоторых элементов: R68-24 Ом, R59-1470 Ом, R87-8200 Ом.

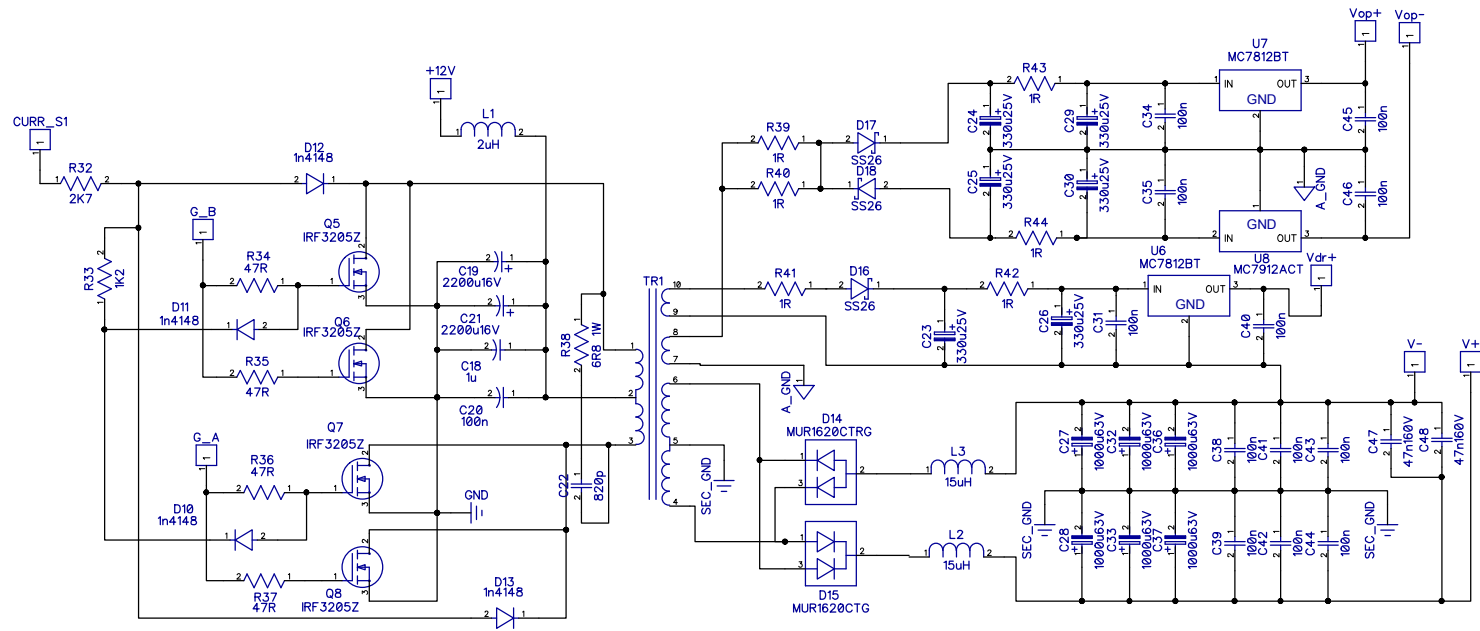
Трансформатор высоковольтной версии: первичная обмотка 4+4 витка 5-ю проводами  $\phi$  0,9, вторичная 16+16 витков 1 проводом  $\phi$  0,9, слаботочные обмотки - по 5 витков проводом  $\phi$  0,4. Для низковольтной версии разница, естественно, во вторичной силовой обмотке – нужно 13+13 витков тем же проводом. Дроссель ПН мотается на сердечнике из распыленного железа T96 – 3 витка 4-мя проводами  $\phi$  0,9. Дроссели УМ мотаются на каркасах RM10 (RM10 E-047,1/12). Выводы каркаса откусываются, 8 витков обмотки мотаются с выводом на противоположную «верхнюю» сторону от места выводов каркаса. Лучше всего использовать готовый сердечник с зазором CF96 al160, либо N87 al160. Удобнее всего мотать литцендратом, обычно использую литцендрат 140х $\phi$ 0,1мм, но без тигля аккуратно залудить такой провод сложно, потому для самостоятельного изготовления лучше использовать литц. 100х $\phi$ 0,1мм, либо скрутку 6-8 проводников в эмалевой изоляции диаметром около 0,4мм.

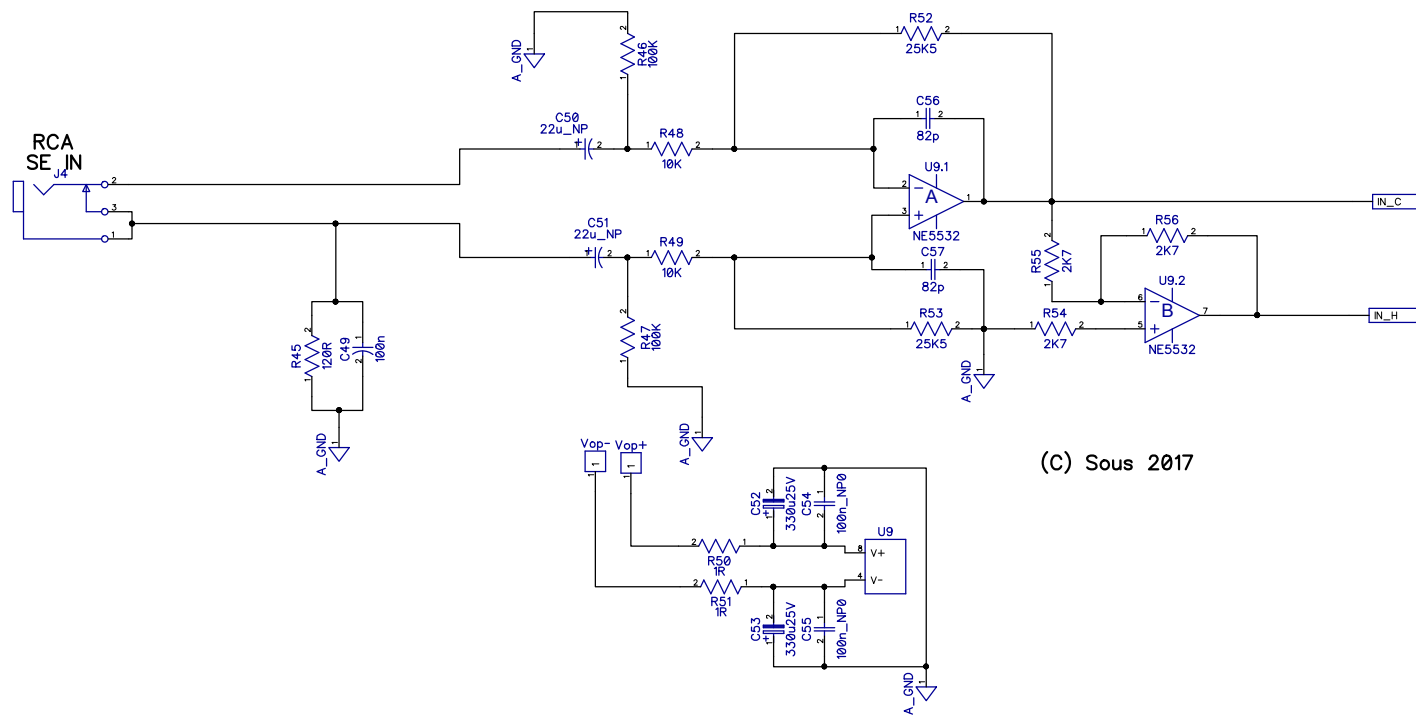
Если планируется использовать корпус Uni-M высота электролитических конденсаторов не должна превышать 32мм.

### **Далее приведена схема основной платы MAIN 2\_02 и внешний вид ПП**

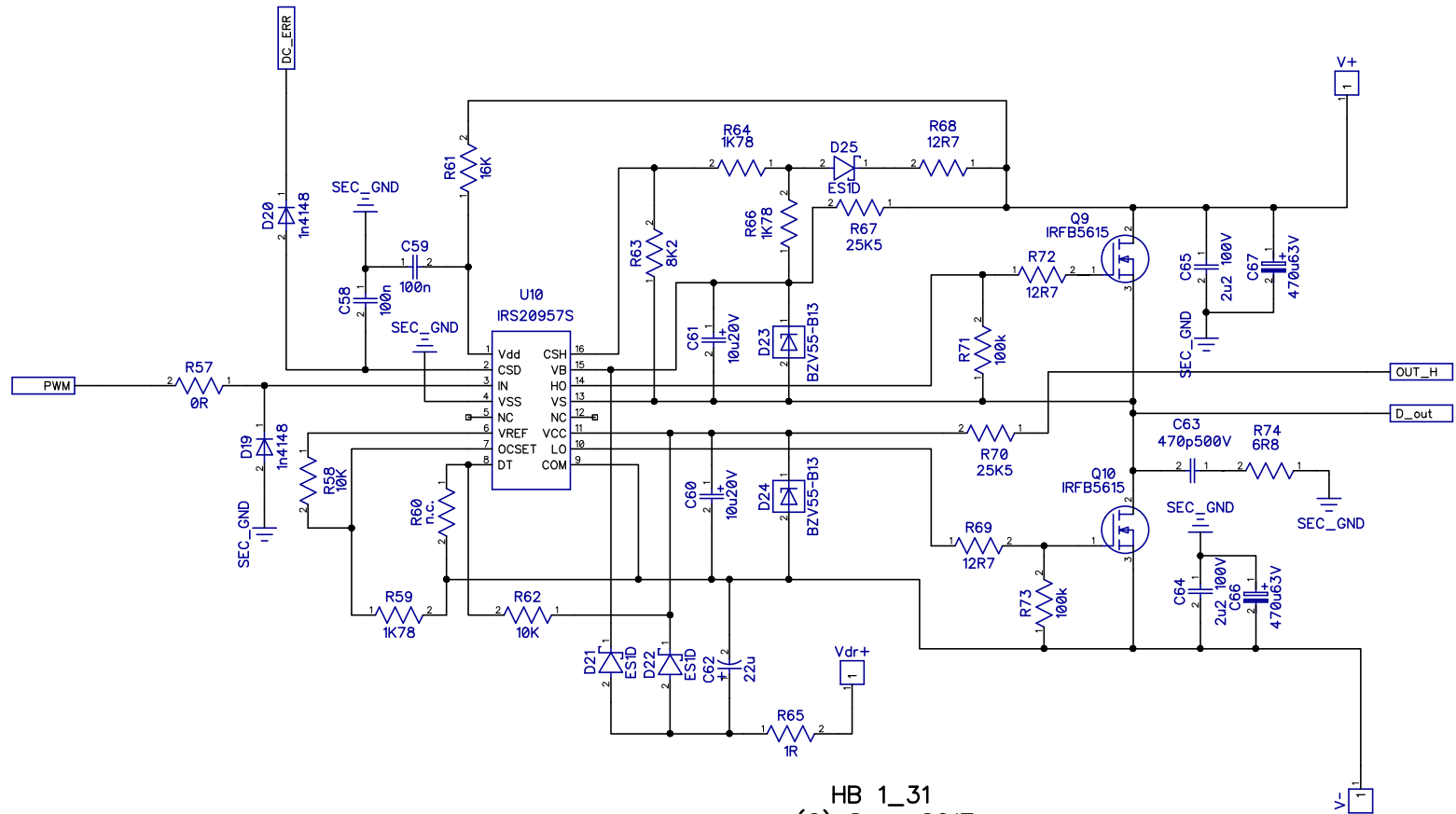
*\*Устройство разработано в САПР Диптрейс с использованием иерархии. Поэтому элементы повторяющихся блоков – полумостов УМ и входных усилителей - на ПП имеют двойное обозначение. Номер блока показан через нижнее подчеркивание, например R57\_2 означает, что резистор установлен в правом канале, а R57\_1 - в левом.*



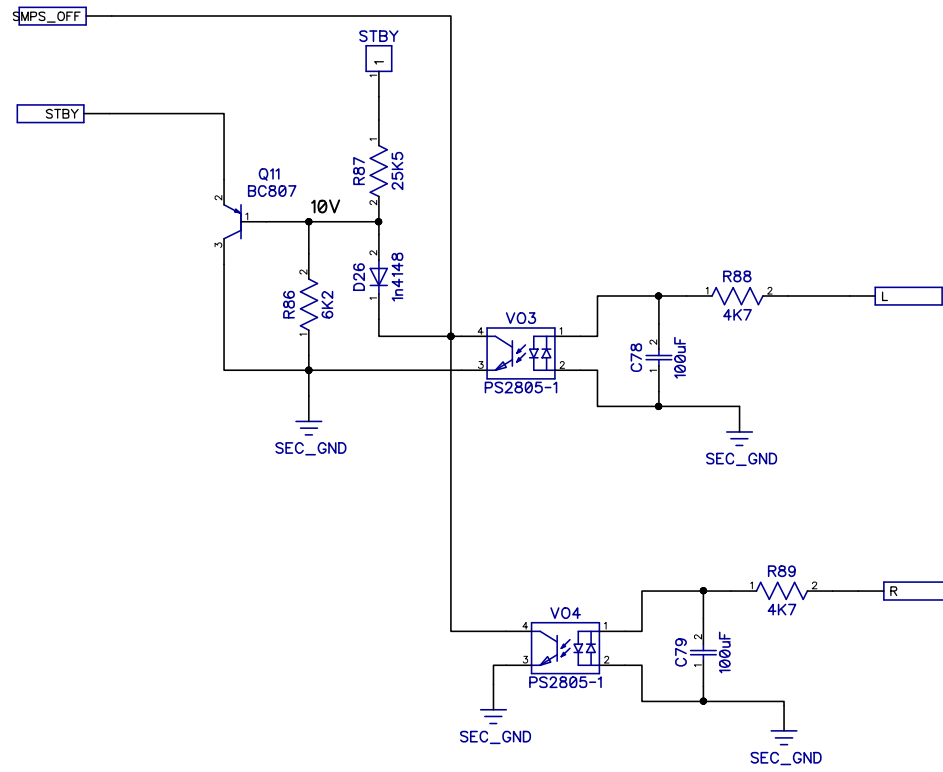


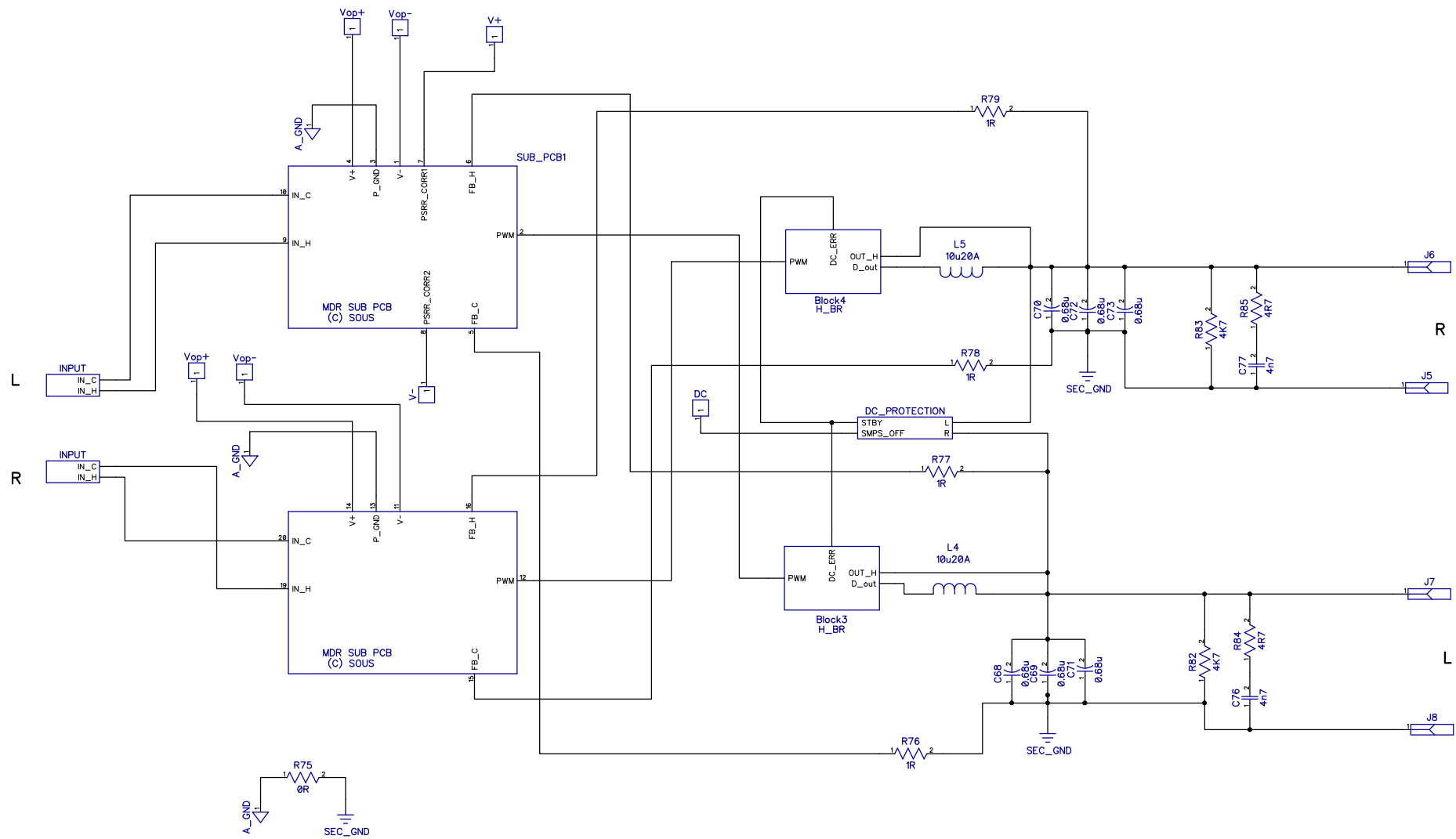


(C) Sous 2017



HB 1\_31  
(C) Sous 2017





## BOM CA 2\_02 2018/12/20

| #  | RefDes                                                                | Value              | Name             | Type                     | PROP    | Quantity |
|----|-----------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------|--------------------------|---------|----------|
| 1  | C1, C10                                                               | 1n                 | CAP_0805         | X7                       | 50V     | 2        |
| 2  | C2, C9, C18                                                           | 1u                 | CAP_0805         | X7                       | 25V     | 3        |
| 3  | C3                                                                    | 47u                | CAP p2,5_6       | Electrolytic             | 25V     | 1        |
| 4  | C4, C5, C6, C8, C11, C20, C31, C34, C35, C40, C45, C46, C49, C58, C59 | 100n               | CAP_0805         | X7                       | 50V     | 18       |
| 5  | C7, C23, C24, C25, C26, C29, C30                                      | 330u25V            | CAP p3,5_8       | Electrolytic low ESR     | 25V     | 7        |
| 6  | C12, C16, C17                                                         | 100n               | CAP_0603         | X7                       | 25V     | 3        |
| 7  | C13                                                                   | 2n2                | CAP_0805         | X7                       | 50V     | 1        |
| 8  | C14                                                                   | 2n2                | CAP_0603         | X7                       | 50V     | 1        |
| 9  | C15                                                                   | 2u2                | CAP_0805         | X7                       | 16V     | 1        |
| 10 | C19, C21                                                              | 2200u16V           | CAP p5_13        | Electrolytic low ESR     | 16V     | 2        |
| 11 | C22                                                                   | 820p               | CAP_1206         | NP0(X7)                  | 50V     | 1        |
| 12 | C27, C28, C32, C33, C36, C37                                          | 1000u63V           | CAP p7,5_16      | Electrolytic low ESR     | 63V     | 6        |
| 13 | C38, C39, C41, C42, C43, C44                                          | 100n               | CAP_1206         | X7                       | 100V    | 6        |
| 14 | C47, C48                                                              | 47n160V            | CAP-5.08/7.6x3.2 | MKS2                     | 160V DC | 2        |
| 15 | C50, C51                                                              | 22u_NP             | CAP p2,5_6       | Electrolytic NO POLARITY | 25V     | 4        |
| 16 | C52, C53                                                              | 330u25V            | CAP 3.5_8        | NP0(X7)                  | 50V     | 4        |
| 17 | C54, C55                                                              | 100n_NP0           | CAP_1206         | NP0                      | 50V     | 4        |
| 18 | C56, C57                                                              | 82p                | CAP_0805         | TANTAL                   | 20V     | 4        |
| 19 | C60, C61                                                              | 10u20V             | TANTAL SMB       | Electrolytic low ESR     | 25V     | 4        |
| 20 | C62                                                                   | 22u                | CAP p2,5_5       | Electrolytic low ESR     | 25V     | 2        |
| 21 | C63                                                                   | 470p500V           | CAP_1206         | NP0(X7)                  | 500V    | 2        |
| 22 | C64, C65                                                              | 2u2 100V           | CAP_1210         | X7                       | 100V    | 4        |
| 23 | C66, C67                                                              | 470u63V            | CAP p5_13        | Electrolytic low ESR     | 63V     | 4        |
| 24 | C68, C69, C70, C71, C72, C73                                          | 0.68u              | CAP200           | WIMA MKS2                | 63V     | 6        |
| 25 | C76, C77                                                              | 4n7                | CAP_0805         | X7                       | 50V     | 2        |
| 26 | C78, C79                                                              | 100uF              | CAP_1206         | X5                       | 6,3V    | 2        |
| 27 | D1, D4, D9, D10, D11, D12, D13, D19, D20, D26                         | 1n4148             | SOD80            |                          | 100V    | 12       |
| 28 | D2                                                                    | BAT54              | SOT-23           |                          |         | 1        |
| 29 | D3                                                                    | BZV55 10V          | SOD80            |                          |         | 1        |
| 30 | D5                                                                    | SS32               | SMC              |                          | 20V     | 1        |
| 31 | D6                                                                    | 5V6                | SOD123           |                          |         | 1        |
| 32 | D7                                                                    | 3mm Round Bi-Color | LED(BI)-3R       |                          |         | 1        |
| 33 | D8                                                                    | 3mm Round          | LED-3R_Green     |                          |         | 1        |
| 34 | D14                                                                   | MUR1620CTRG        | TO-220 FLAT      |                          | 200V    | 1        |
| 35 | D15                                                                   | MUR1620CTG         | TO-220 FLAT      |                          | 200V    | 1        |
| 36 | D16, D17, D18                                                         | SS26               | SMB              |                          | 60V     | 3        |
| 37 | D21, D22, D25                                                         | ES1D               | SMA              |                          | 200V    | 6        |
| 38 | D23, D24                                                              | BZV55-B13          | SOD80            |                          |         | 4        |
| 39 | F1                                                                    | 20A                | MICRO            |                          |         | 1        |
| 40 | J1, J2, J3, J5, J6, J7, J8                                            |                    | CON_FEMALE       |                          |         | 7        |
| 41 | J4                                                                    |                    | PJ1RAN1X1U01AUX  |                          |         | 2        |
| 42 | L1                                                                    | 2uH                | T96              |                          |         | 1        |
| 43 | L2, L3                                                                | 15uH               | CDRH127          | >5A                      |         | 2        |
| 44 | L4, L5                                                                | 10u20A             | RM10AI160_8turns | 10uH 20A 5mOhm           |         | 2        |
| 45 | Q1, Q2, Q4                                                            | BC817              | SOT23            |                          |         | 3        |

|    |                                             |              |             |    |     |
|----|---------------------------------------------|--------------|-------------|----|-----|
| 46 | Q3, Q11                                     | BC807        | SOT23       |    | 2   |
| 47 | Q5, Q6, Q7, Q8                              | IRF3205Z     | TO-220_FLAT |    | 4   |
| 48 | Q9, Q10                                     | IRFB5615     | TO-220_FLAT |    | 4   |
| 49 | R1, R4, R5, R7, R8, R30, R48, R49, R58, R62 | 10K          | RES_0805    | 1% | 14  |
| 50 | R2, R61                                     | 16K          | RES_0805    |    | 3   |
| 51 | R3                                          | 390R         | RES_0805    |    | 1   |
| 52 | R6, R10                                     | 4K7          | RES_0805    |    | 2   |
| 53 | R9, R17, R22, R23, R24, R28, R29, R33       | 1K2          | RES_0805    |    | 8   |
| 54 | R11, R46, R47                               | 100K         | RES_0805    | 1% | 5   |
| 55 | R12, R19, R21                               | 511R         | RES_0805    |    | 3   |
| 56 | R13, R14, R20, R25, R32, R54, R55, R56      | 2K7          | RES_0805    | 1% | 11  |
| 57 | R15                                         | *            | RES_0805    |    | 1   |
| 58 | R16, R50, R51, R65, R76, R77, R78, R79      | 1R           | RES_0805    |    | 11  |
| 59 | R18, R27                                    | 10R          | RES_0805    |    | 2   |
| 60 | R26                                         | 2M7          | RES_0805    |    | 1   |
| 61 | R31                                         | 820R         | RES_0805    |    | 1   |
| 62 | R34, R35, R36, R37                          | 47R          | RES_0805    |    | 4   |
| 63 | R38                                         | 6R8 1W       | 1W          |    | 1   |
| 64 | R39, R40, R41, R42, R43, R44                | 1R           | RES_1206    |    | 6   |
| 65 | R45                                         | 120R         | RES_0805    |    | 2   |
| 66 | R52, R53, R67, R70, R87                     | 25K5         | RES_0805    | 1% | 9   |
| 67 | R57, R75, R80, R81                          | 0R           | RES_0805    |    | 5   |
| 68 | R59, R64, R66                               | 1K78         | RES_0805    |    | 6   |
| 69 | R60                                         | n.c.         | RES_0805    |    | 2   |
| 70 | R63                                         | 8K2          | RES_0805    |    | 2   |
| 71 | R68, R69, R72                               | 12R7         | RES_0805    |    | 6   |
| 72 | R71, R73                                    | 100k         | RES_0805    |    | 4   |
| 73 | R74                                         | 6R8          | RES_1210    |    | 2   |
| 74 | R82, R83, R88, R89                          | 4K7          | RES_1206    |    | 4   |
| 75 | R84, R85                                    | 4R7          | RES_0805    |    | 2   |
| 76 | R86                                         | 6K2          | RES_0805    |    | 1   |
| 77 | SUB_PCB1                                    |              | MDR         |    | 1   |
| 78 | TF                                          | KSD9700      | KSD9700-70  |    | 1   |
| 79 | TR1                                         |              | TOR_TRANS   |    | 1   |
| 80 | U1                                          | TL494CD      | SO-16       |    | 1   |
| 81 | U2                                          | IR4427       | SO-8        |    | 1   |
| 82 | U3                                          | REG1117-5    | SOT223      |    | 1   |
| 83 | U4                                          | LM393D       | SO-8        |    | 1   |
| 84 | U5                                          | NE555D       | SO-8        |    | 1   |
| 85 | U6, U7                                      | MC7812BT     | TO-220      |    | 2   |
| 86 | U8                                          | MC7912ACT    | TO-220      |    | 1   |
| 87 | U9                                          | NE5532       | SO-8        |    | 2   |
| 88 | U10                                         | IRS20957S    | SO-16       |    | 2   |
| 89 | VO1                                         | PC817        | DIP-4       |    | 1   |
| 90 | VO2                                         | PC81710NIP0X | DIP-4       |    | 1   |
| 92 | VO3, VO4                                    | PS2805-1     | SSOP-4      |    | 2   |
|    |                                             |              |             |    | 295 |

