

Симметричный усилитель - усовершенствованная схема, опубликованная в июньском номере Silicon Chip за 1994 года. Изменения схемы произведены 2010 году.

Характеристики усилителя:

Preliminary Specifications

- 220 Ватт синусоидальная мощность на нагрузку 8 Ом
- 380 Ватт синусоидальная мощность на нагрузку 4 Ом
- Режим работы выходного каскада - АВ
- Коэффициент демпфирования более 200 для нагрузки 8 Ом
- Отношение сигнал/шум 126 дБ, взвешенное. 122 дБ невзвешенное.
- Входное сопротивление 15 кОм.
- Полные гармонические искажения+шум - 0.005%
- Рекомендуемое напряжение питания +-70 Вольт
- Возможное зменение напряжения питания от+-30 до +-70.
- Размер печатной платы 143x75 мм.
- Рекомендуемая площадь радиатора - свыше 1200 см.кв.

### Внимание!

Схема содержит опасное для жизни напряжение. Питание можно поднимать до +-70 Вольт, что в сумме даст 140 Вольт напряжение в схеме. Это в три раза превышает безопасный порог для человека. Будьте внимательны с блоком питания, платой усилителя и сетевым напряжением!

### Каскад усиления напряжения

Этот каскад обеспечивает усиление по напряжению для предвыходного каскада, раскачивающего выходной каскад до полной мощности.

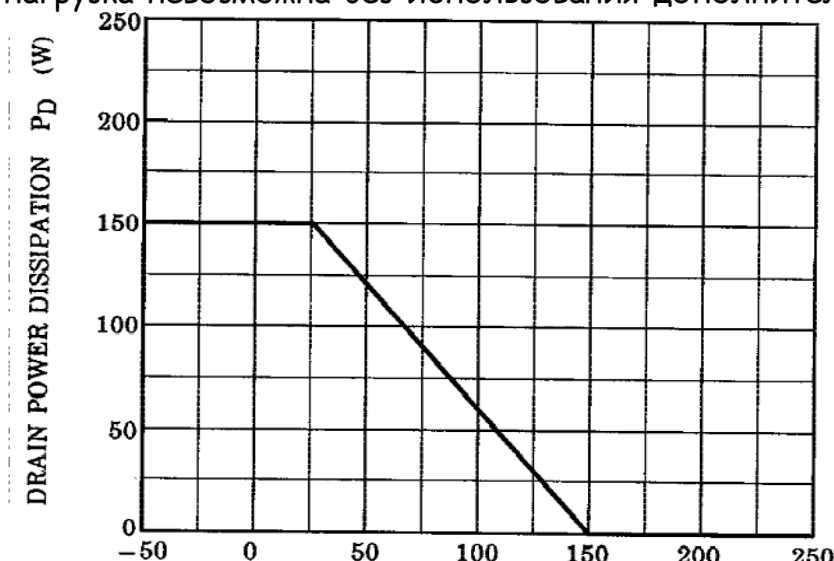
Элементы T6, T7, T8, T9, T17, R15, R14, R12, R13, C3, C7, C8 образуют второй дифф-каскад усиления напряжения. R15 обеспечивает ток покоя дифф каскада 8 мА.

### Каскад стабилизации тока покоя.

Состоит из T10, R34, R37, R38, C12. Служит для стабилизации тока покоя выходного каскада от температуры и изменения питающего напряжения.

### Каскад усиления тока.

Усиливает ток необходимый для работы на 8 и 4 омную нагрузку. 2-омная нагрузка невозможна без использования дополнительных мощных транзисторов.



В этом случае транзисторы выйдут за пределы температурного режима. При средней температуре кристалла около 70ти градусов мощность на одну пару транзисторов составляет примерно 100 Ватт. При питании +-70 В, с четырьмя парами транзисторов, мощность отдаваемая на 4 Ом — 400 Ватт, для 2х омной нагрузки при таком питании потребуется 8 пар транзисторов, либо уменьшение напряжения питания.

### Блок питания для 400 ваттного усилителя.

Блок питания для этого усилителя мощности состоит из двух компонентов.

1-й: Тороидальный трансформатор с габаритной мощностью 300-625 Ватт (это с хорошим запасом). Первичная обмотка, которого рассчитана на вашу сеть.

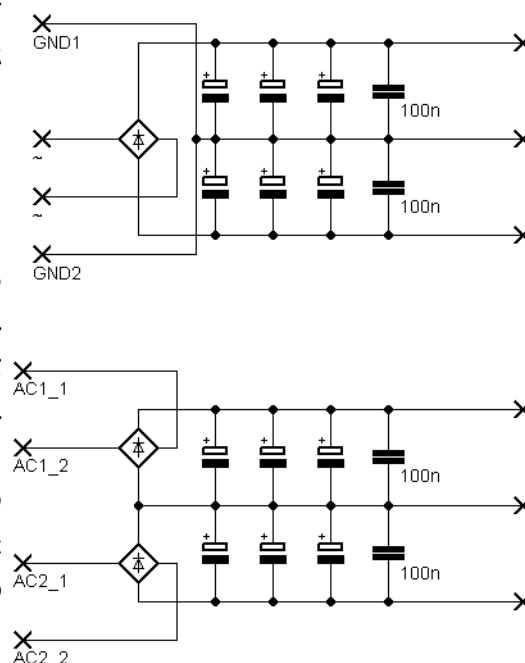
2х40 Вольт переменного напряжения вторичной обмотки для полной мощности с тремя парами выходных транзисторов.

Один диодный мост на 400 Вольт 35 Ампер.

Два резистора по 4,7 кОм 5 Ватт (ставятся параллельно емкостям блока питания усилителя, для ускоренной разрядки при выключении и обслуживании усилителя).

Конденсаторы 2х10000 мкФ на 63-73 Вольт, в идеале это должны быть конденсаторы по 40000 мкФ на каждое плечо выпрямителя. Для лучших

характеристик блока питания применяйте несколько конденсаторов меньшей ёмкости, вместо одного большой. Либо можно применять конденсаторы с винтовыми контактами, они изначально



расчитаны на высокие токи пульсаций.

### Как подобрать МОСФЕТ транзисторы.

Когда используется этот тип МОСФЕТ-транзисторов в симметричном усилителе

настоятельно рекомендую тщательную подборку выходных транзисторов. Для исключения протекания постоянного тока через нагрузку.

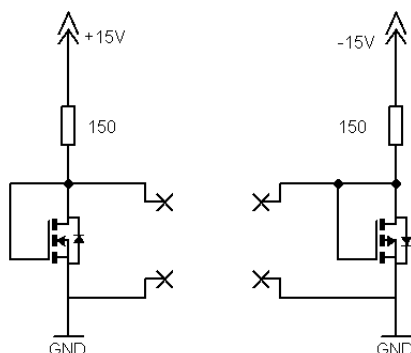
Резисторы 0,22 Ома образуют только локальную обратную связь и не защищают от тока.

Самый удобный метод, который нашел Энтони Эрик Холтон для подбора транзисторов, это 150 Омный 1 Ваттный резистор и 15 Вольтный источник напряжения.

На схемах ниже вы видите как измеряются N-канальные и P-канальные транзисторы.

На подключенном в схему транзисторе измеряется постоянное напряжение. Оно должно находится в пределах 3,8-4,2 Вольт. Просто подберите транзисторы в группы с различием в +-10 мВольт. т.е, в одном плече должны стоять полевые транзисторы с небольшим измеренным отклонением.

Пожалуйста, не перепутайте схему подключения P-канальног и N-канального транзистора.

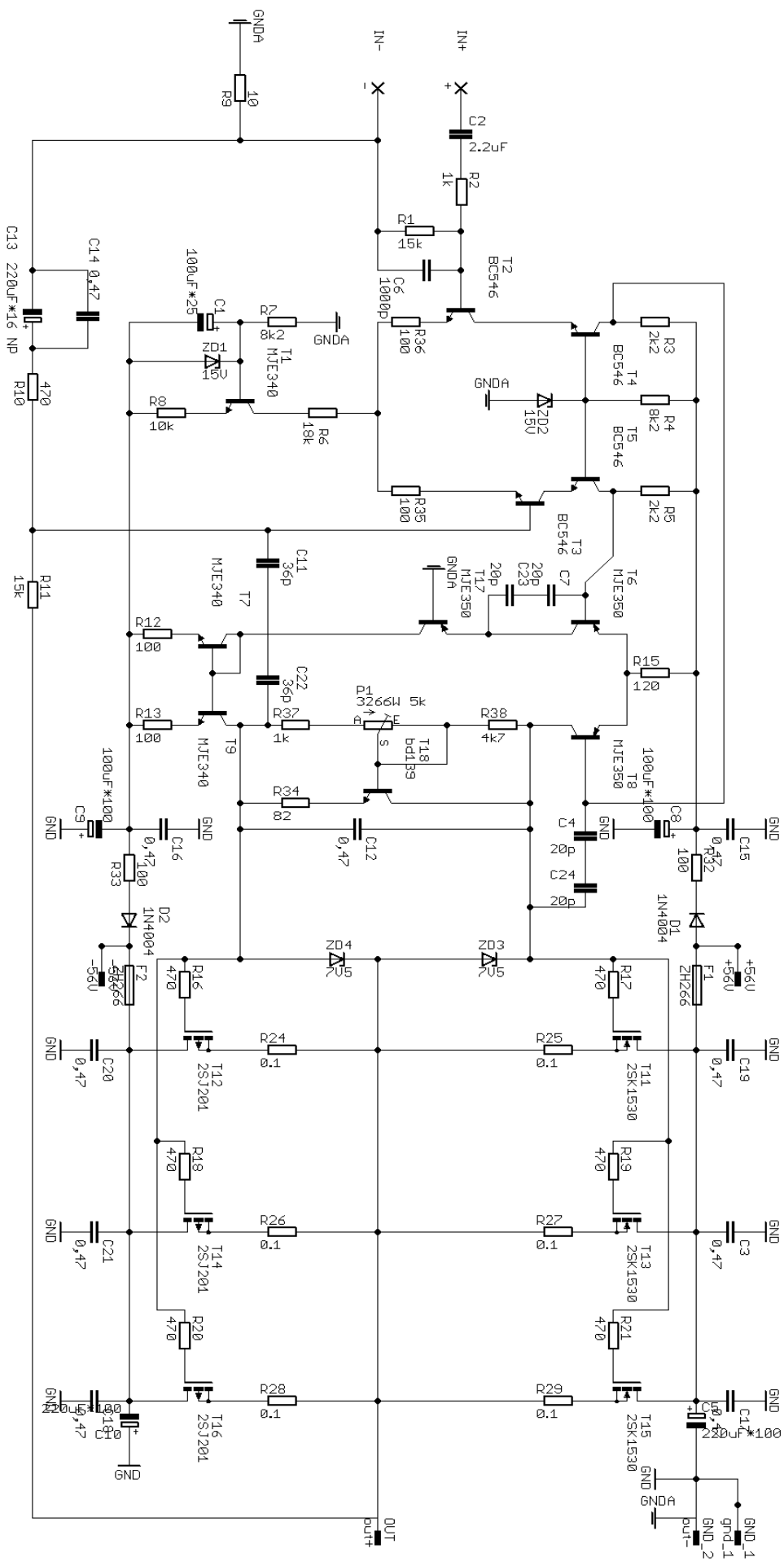


### Сборка печатной платы.

Сборка начинается с установки  $\frac{1}{4}$  ваттных резисторов, затем устанавливаются мощные резисторы, диоды, конденсаторы и малосигнальные транзисторы.

Следует быть внимательным при установке полярных элементов (диоды, стабилитроны и конденсаторы). Неправильное подключение может привести к неработоспособности устройства или выходу одного, или более элементов из строя, при включении схемы.

Выходные транзисторы и транзистор Q10(BD139) - устанавливаются в последнюю очередь.



### Предпусковой тест.

Допустим, что вы установили все элементы, кроме выходных транзисторов.

Чтобы во время тестирования усилитель работал должным образом — нужно включить цепь обратной связи.

Для этого следует установить 10-ти Омный резистор, параллельно ZD3, со стороны проводников печатной платы. Для чего это нужно? Для того чтобы подключить резистор R11 обратной связи к буферному каскаду. Без выходных каскадов получаем очень низкоомный усилитель напряжения и можем произвести тесты не опасаясь вывести из строя выходные каскады. Теперь, когда подключен резистор обратной связи, пришла пора подключать питание и включать.

Пяти-ватные резисторы по 4.7 кОм при этом уже должны быть установленными параллельно ёмкостям блока питания.

Убедившись в отсутствии дыма от схемы, смело ставьте прибор на измерение напряжения.

Измерьте следующие позиции по схеме, если напряжения находятся в пределах 10-ти процентов - то можно быть уверенным, что усилитель в порядке.

Если измерения закончены, то гасите питание, демонтируйте 10-ти Омный резистор.

R3~1,6 В

R5~1,6 В

R15~1,0 В

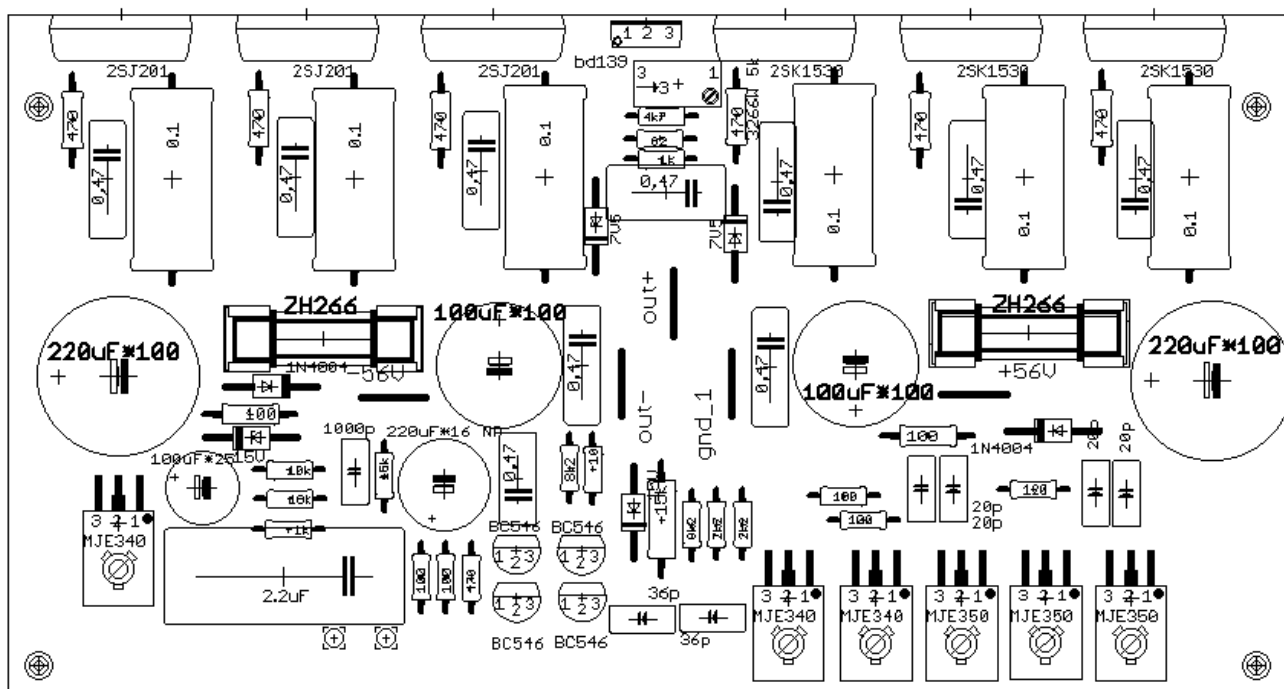
R12~500 мВ +-50 мВ

R13~500 мВ +-50 мВ

R8~14,6 В

ZD1~15 В

Напряжение на R11 должно быть близким к 0 В, в пределах 100 мВ.



### Завершение сборки модуля.

Теперь мы можем приступить к установке выходных транзисторов на плату. Этот шаг надо делать только после

#### Как подобрать МОСФЕТ транзисторы.

Пред установкой мощных выходных транзисторов в плату впаиваются 0,22 Ом резисторы.

Формуем (если требуется) выводы N-канальных транзисторов, устанавливаем их в плату, обрезаем выступающие выводы. Так - же следует сделать и с P-канальными транзисторами.

Транзисторы можно устанавливать тремя разными способами:

1. Стоя, без формовки выводов, сверху.
2. Параллельно плате, сверху.
3. Параллельно плате, снизу.

Для крепления понадобятся винты М3х10-16 9 шт., гроверные шайбы - д3, шайбы д3

и гайки М3 9 шт.(7 комплектов для крепления мощных транзисторов и Q10, два для платы).

Устанавливать выходные транзисторы на радиатор следует через изолирующие прокладки с использованием теплопроводящей пасты. Как показала практика, слюда в сочетании с теплопроводной пастой дает несколько лучший эффект, нежели НОМАКОН. Но НОМАКОН удобнее при предварительных испытаниях, когда часто приходится снимать и заново устанавливать транзисторы на теплоотвод (радиатор).

Завершив монтаж всех элементов, внимательно просмотрите модуль, все ли

компоненты впаяны, правильно ли они установлены.

Только когда Вы убедитесь, что всё сделано правильно и все детали стоят на своих

местах можно подключать питание. Транзистор Q10 на гибких проводниках, устанавливается на радиатор рядом с выходными транзисторами.

Теперь мы имеем готовый, проверенный модуль, тестированный на ошибки усилитель напряжения и буферный каскад, и вы уверены, что они работают нормально.

Пришло время заворачивать винты и гайки в радиатор. Не забыв, при этом, про теплопроводящий изолятор.

### Тестирование модуля.

Мы достигли завершающей стадии - тестирования полного усилителя мощности. Нам надо совершить ещё пять шагов:

1. Проверить, нет ли утечки с выводов транзисторов на радиатор.
2. Проверить, что полярность блока питания соответствует полярности на усилителе.
3. Движок резистора P1 нужно переместить до минимального напряжения КЭ транзистора Q10 BD139. Номинал резистора R38 для варианта с транзисторами IRFP9240, IRFP240 на выходе должен быть 8,2 кОм.
4. Подключив проводами, блок питания, проверьте наличие предохранителей 5А в их гнездах.
5. Подключить вольтметр постоянного напряжения к выходу усилителя.

Теперь осталось только включить блок питания. Сделайте это :)

Посмотрите на вольтметр. Вы увидите напряжение на выходе от 1-го до 50-ти мВ, если это не так, то выключите питание усилителя и повторите проверку, начиная с режимов дифкаскадов заново. Отклонения в напряжениях. Говорят о наличии ошибок.

Вооружитесь тонкой плоской отвёрткой. С помощью крокодилов закрепите щупы прибора на выводах одного из мощных резисторов 0,1-0,15 Ом. Осторожно вращая движок резистора P1 добейтесь появления напряжения на резисторе 0,1-0,15 ом, установите на резисторе 0,22 Ом напряжение исходя из необходимого Вам тока покоя по простой формуле  $I=U/0,1$  . Ток покоя может находиться в пределах от 0 до рекомендуемых 100 мА на каждую пару транзисторов.

Теперь проверьте напряжение на всех остальных резисторах, выберите один на котором напряжение наибольшее. Настройте резистором P1 ток на резисторе с наибольшим падением напряжения.

Теперь подключите сигналгенератор на вход и осциллограф на выход. Убедитесь в том, что форма сигнала свободна от шума и искажений.

Если у вас нет этих приборов, подключите нагрузку и получайте хорошее качество звука. Звук должен быть чистым и динамичным.

Конфигурация закончена.

## Partlist exported from mosfet\_amp23\_2.sch

| Part        | Value               | Description                          |
|-------------|---------------------|--------------------------------------|
| +56V        | +56V                | FASTON на плату                      |
| -56V        | -56V                | FASTON на плату                      |
| C1          | 100uF*25            |                                      |
| C2          | 2.2uF               | K73-17                               |
| C3          | 0,1 мкФ             | K73-17                               |
| C4          | 20p                 | NPO                                  |
| C5          | 330uF*100           |                                      |
| C6          | 1000p               | NPO                                  |
| C7          | 20p                 | NPO                                  |
| C8          | 100uF*100           |                                      |
| C9          | 100uF*100           |                                      |
| C10         | 330uF*100           |                                      |
| C11         | 36p                 | NPO                                  |
| C12         | 0,47 мкФ            | K73-17                               |
| C13         | 220uF*16 NP         | POLARIZED CAPACITOR, European symbol |
| C14         | 0,47 мкФ            | K73-17                               |
| C15         | 0,47 мкФ            | K73-17                               |
| C16         | 0,47 мкФ            | K73-17                               |
| C17         | 0,47 мкФ            | K73-17                               |
| C18         | 0,47 мкФ            | K73-17                               |
| C19         | 0,47 мкФ            | K73-17                               |
| C20         | 0,47 мкФ            | K73-17                               |
| C21         | 0,47 мкФ            | K73-17                               |
| C22         | 36p                 | NPO                                  |
| C23         | 20p                 | NPO                                  |
| C24         | 20p                 | NPO                                  |
| D1          | 1N4004              | DIODE                                |
| D2          | 1N4004              | DIODE                                |
| F1          | ZH266               |                                      |
| F2          | ZH266               |                                      |
| GND_1       | gnd_1               | FASTON                               |
| GND_2       | out-                | FASTON                               |
| OUT         | out+                | FASTON                               |
| P1          | 3266W 5k            |                                      |
| R1          | 15k                 | 1w                                   |
| R2          | 1k                  | 0,125w                               |
| R3          | 2k2                 | 0,125w                               |
| R4          | 8k2                 | 0,125w                               |
| R5          | 2k2                 | 0,125w                               |
| R6          | 18k                 | 0,125w                               |
| R7          | 8k2                 | 0,125w                               |
| R8          | 10k                 | 0,125w                               |
| R9          |                     | 100 0,125w                           |
| R10         |                     | 470 0,125w                           |
| R11         | 15k                 | 0,125w                               |
| R12         |                     | 100 0,125w                           |
| R13         |                     | 100 0,125w                           |
| R15         |                     | 120 0,125w                           |
| R16         |                     | 470 0,125w                           |
| R17         |                     | 470 0,125w                           |
| R18         |                     | 470 0,125w                           |
| R19         |                     | 470 0,125w                           |
| R20         |                     | 470 0,125w                           |
| R21         |                     | 470 0,125w                           |
| R24         | 0.1-0.15 Ом         | 2w                                   |
| R25         | 0.1-0.15 Ом         | 2w                                   |
| R26         | 0.1-0.15 Ом         | 2w                                   |
| R27         | 0.1-0.15 Ом         | 2w                                   |
| R28         | 0.1-0.15 Ом         | 2w                                   |
| R29         | 0.1-0.15 Ом         | 2w                                   |
| R32         |                     | 100 0,25w                            |
| R33         |                     | 100 0,25w                            |
| R34         |                     | 82 0,125w                            |
| R35         |                     | 100 0,125w                           |
| R36         |                     | 100 0,125w                           |
| R37         | 1k                  | 0,125w                               |
| R38         | 10k или 4k7         | 0,125w                               |
| T1          | MJE340              | NPN TRANSISTOR                       |
| T2          | BC546 или 2N5551    | NPN TRANSISTOR                       |
| T3          | BC546 или 2N5551    | NPN TRANSISTOR                       |
| T4          | BC546 или 2N5551    | NPN TRANSISTOR                       |
| T5          | BC546 или 2N5551    | NPN TRANSISTOR                       |
| T6          | MJE350              | PNP TRANSISTOR                       |
| T7          | MJE340              | NPN TRANSISTOR                       |
| T17         | MJE350              | PNP TRANSISTOR                       |
| T8          | MJE350              | PNP TRANSISTOR                       |
| T9          | MJE340              | NPN TRANSISTOR                       |
| T11, 13, 15 | 2SK1530 или IRFP240 | N - MOSFET                           |
| T12, 14, 16 | 2SJ201 или IRFP9240 | P - MOSFET                           |
| T18         | bd139               | NPN Transistor                       |
| ZD1         | 15V                 | BZX55c15v                            |
| ZD2         | 15V                 | BZX55c15v                            |
| ZD3         | 7V5                 | BZX55c7v5                            |
| ZD4         | 7V5                 | BZX55c7v6                            |



С лучшими пожеланиями:

Antony Eric Holton.

Переведено в 2004 г. дополнено 2011 г. Епимаховым Николаем Викторовичем.  
[nikolayms@yandex.ru](mailto:nikolayms@yandex.ru) .