

# Однополярное питание аудиоусилителя на мощных ОУ в мостовом включении

## Часть 2

Алексей Кузьминов (compmicrosys@mail.ru)

Во второй части статьи, рассказывающей об альтернативном варианте питания аудиоусилителя на мощных операционных усилителях (ОУ), включённых в мостовом режиме работы, представлены разводка плат устройств, их настройка, тестирование и результаты работы.

### Разводка плат устройств

Разводка плат устройств сделана автором с помощью программы SprintLayout 6.0. Технология изготовления плат и фотошаблонов для них своими силами подробно описана автором в статьях [7, 8]. Платы формирователя (см. рис. 5) и стабилизаторов (см. рис. 6–7) имеют двустороннюю разводку, а плата индикации (см. рис. 8) – одностороннюю. Исходный файл разводки всех плат в формате \*.lay6 можно скачать в дополнительных материалах к статье на сайте журнала.

### Внешний вид устройств

На рисунке 9 слева можно заметить плату формирователя (уже в составе усилителя); она достаточно прочно держится на пяти выводах микросхе-

мы LA6500 в корпусе TO220-5, которая через теплопроводящую керамическую прокладку крепится к радиатору винтом М3 (с использованием теплопроводной пасты КПТ8). Справа на рисунке 9 видно два цементных резистора SQP 5 Вт R4 и R5 (см. рис. 1) [9], которые крепятся к ещё одному радиатору с помощью плоской стальной скобы двумя винтами М3 также с использованием теплопроводной пасты КПТ8. Оба радиатора крепятся к днищу корпуса усилителя винтами М3 с помощью двух стоек с внутренней резьбой М3.

На рисунке 10а в левой верхней части платы стабилизатора на базе микросхемы MC34072MTTBG можно заметить вывод транзистора VT1 (см. рис. 2) [9] в корпусе TO247. Это вывод истока, к которому припаивается провод входно-

го напряжения. Между средним выводом транзистора (стоком) и левой частью П-образной скобы (перевёрнутой «П») из медного провода диаметром 1,2 мм, впаянной в плату, припаян токоизмерительный шунт (резистор R6, см. рис. 2) [9], а к правой части этой скобы припаивается провод выходного напряжения. На рисунке 10б можно заметить три электролитических конденсатора C9, C6\* и C2 (см. рис. 2) [9], а за ними – корпус TO247 силового транзистора. Плата не имеет крепёжных отверстий, поскольку достаточно прочно держится на трёх выводах транзистора, который крепится к радиатору источника питания (ИП) через керамическую теплопроводящую прокладку с использованием теплопроводной пасты КПТ8.

Фотография платы на основе микросхемы MC33072P по разводке на рисунке 6 не приводится, т.к. она имеет похожий вид. Разводка плат и их фотографии приведены в иллюстративных целях; изготовить платы по приведённым на рисунках 5–8 вариантам разводки и тем более фотографиям невозможно. Для их изготовления, как было отмечено выше, необходимо использовать исходный файл разводки в формате \*.lay6.

### Настройка, тестирование устройств и результаты их работы

Вначале о настройке и тестировании формирователя.

Для настройки потребуется стабилизированный ИП с возможностью регулировки выходного напряжения и тока и любой цифровой тестер с точностью измерения напряжения не меньше двух знаков после запятой. В качестве ИП автор использовал Б5-47. Для настройки формирователя необходимо подключить его к ИП, выставить на нём напряжение 28 В и измерить его тестером. Затем подключить тестер между землёй формирователя и положительным потенциалом (+28 В) и, вращая подстроечный резистор R2 (см. рис. 1) [9], выставить половинное напря-

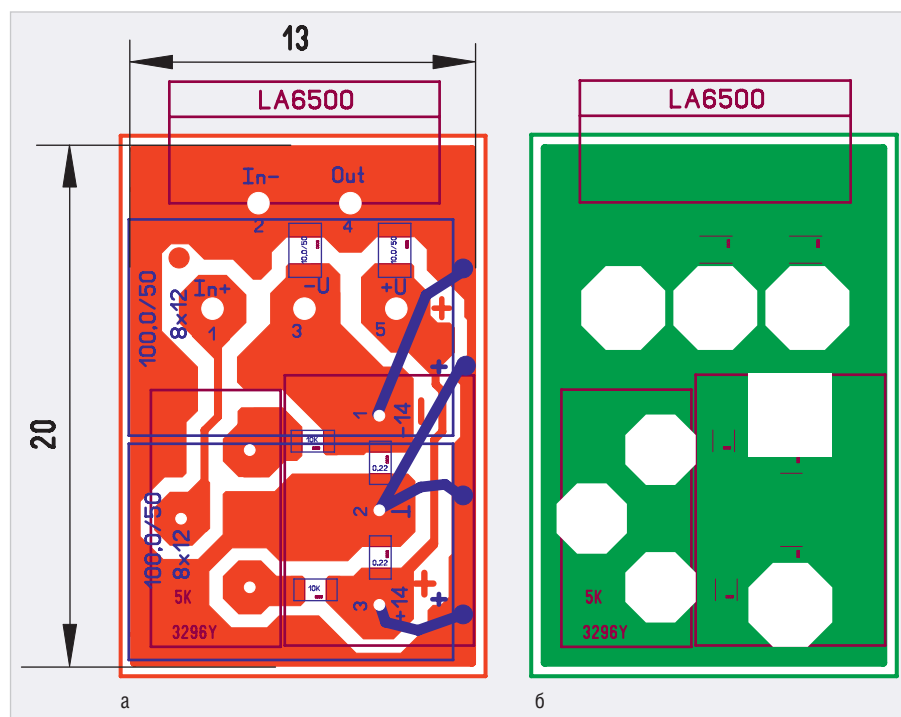


Рис. 5. Разводка платы формирователя по схеме на рисунке 1 [9]: а) вид со стороны дорожек; б) вид с обратной стороны (вид сквозь плату)

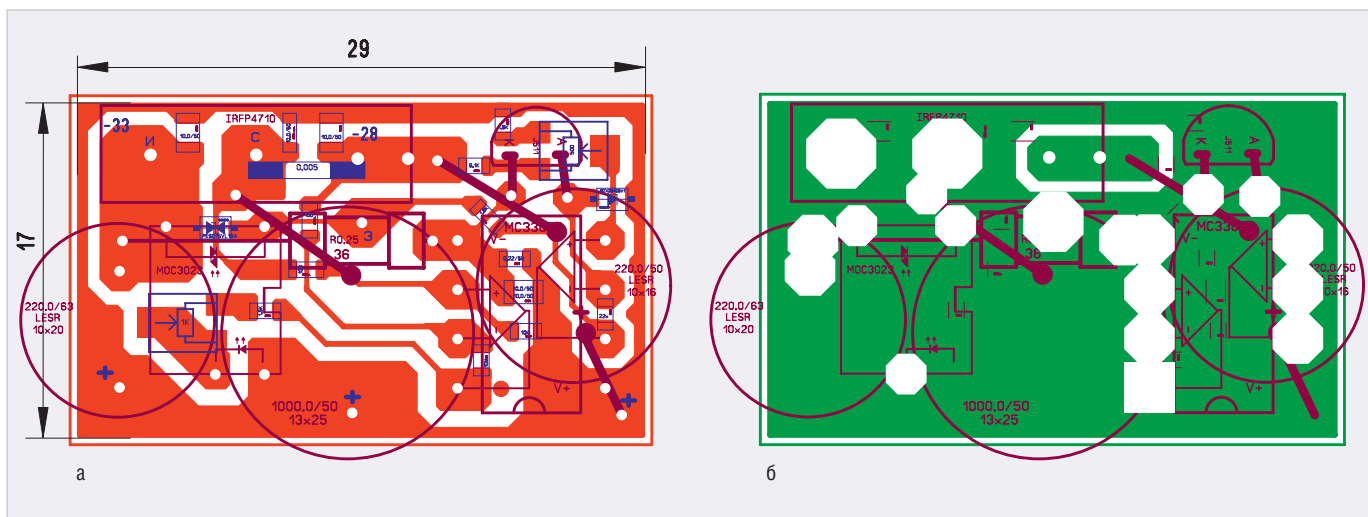


Рис. 6. Разводка платы стабилизатора на микросхеме MC33072P (см. схему на рис. 2 [9]): а) вид со стороны дорожек; б) вид с обратной стороны (вид сквозь плату)

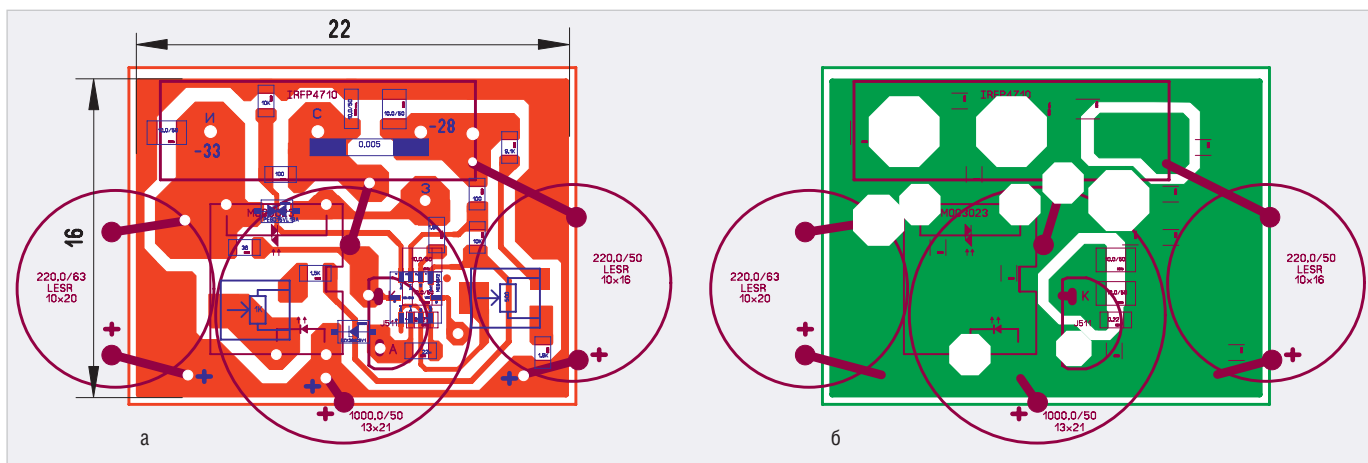


Рис. 7. Разводка платы стабилизатора на микросхеме MC34072AMTБВГ (см. схему на рис. 2 [9]): а) вид со стороны дорожек; б) вид с обратной стороны (вид сквозь плату)

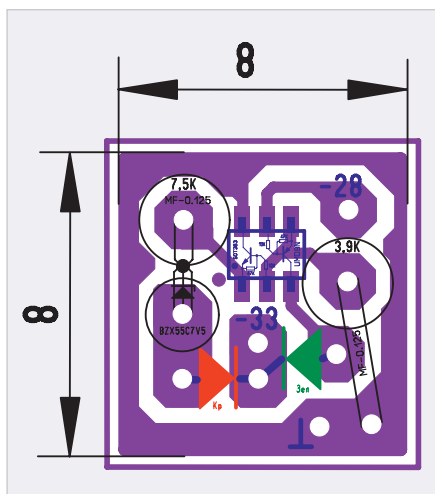


Рис. 8. Разводка платы индикации по схеме рисунка 4а [9]

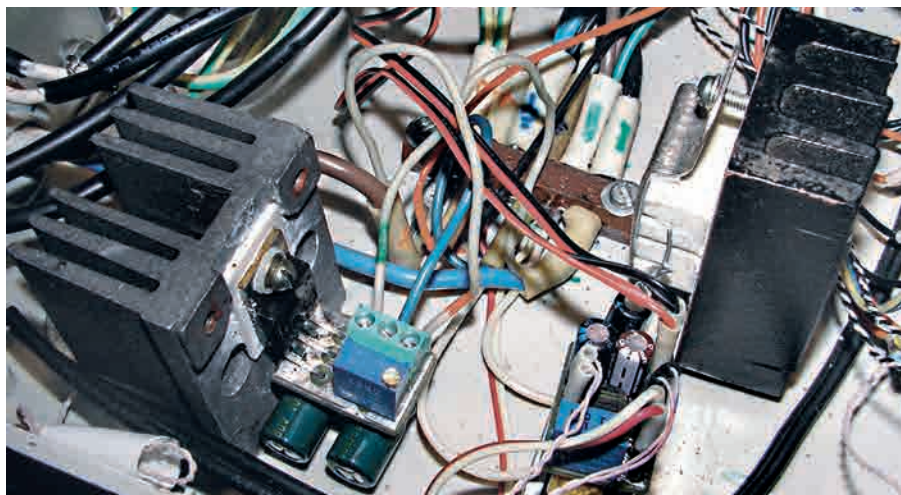


Рис. 9. Устройство формирователя (см. разводку на рис. 5) на радиаторе (слева) и подтягивающие цементные резисторы R4, R5 (см. рис. 1) на радиаторе (справа)

жение питания +14 В. Затем измерить напряжение между землёй и отрицательным потенциалом (-28 В). Это напряжение должно быть -14 В. Если выходное напряжение ИП, измеренное тестером, несколько отличается от 28 В, напри-

мер оно составляет 28,20 В, то напряжённость между землёй и положительным и отрицательным потенциалами должны составлять соответственно +14,10 В и -14,10 В. При некоторой их разбалансировке – настроить их равенство.

После этого необходимо поочерёдно подключить нагрузочный резистор номиналом 28 Ом между землёй и положительным (+28 В) и отрицательным (-28 В) потенциалами ИП. Такой резистор соответствует току 0,5 А (14 В/28 Ом). Автор

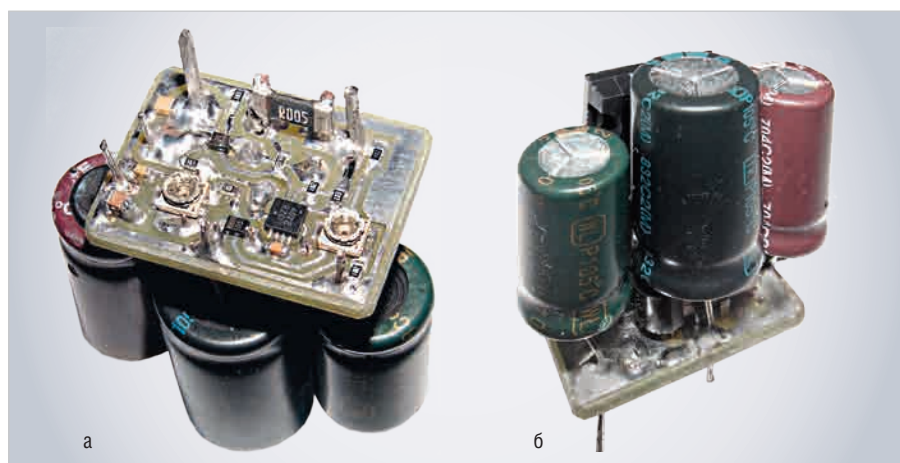


Рис. 10. Плата стабилизатора –28 В на базе МС34072МТТВГ (см. разводку на рис. 7):

а) вид со стороны дорожек; б) вид со стороны навесных компонентов

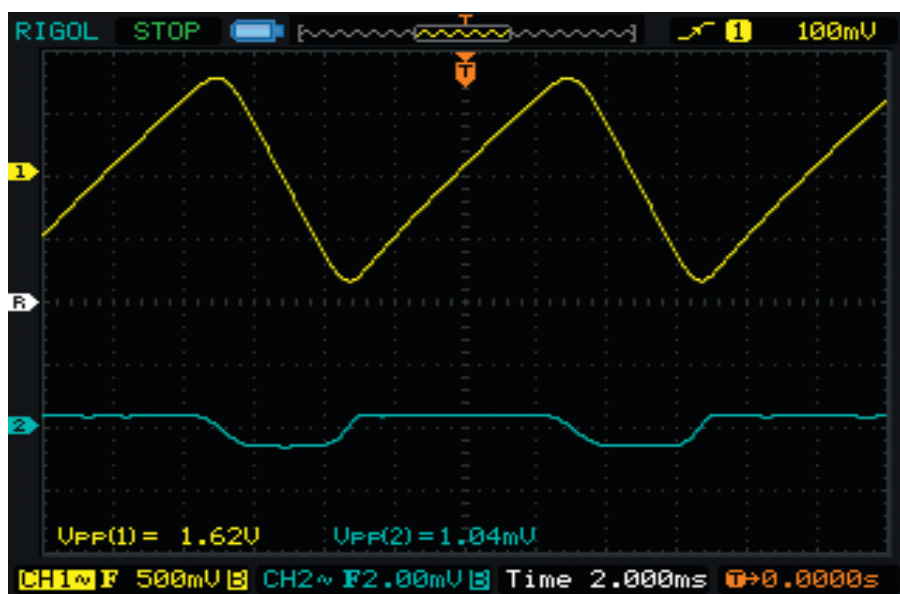


Рис. 11. Осциллограмма пульсаций входного (жёлтого цвета) и выходного (бирюзового цвета) напряжений при токе 9 А

использовал два цементных резистора по 56 Ом мощностью 5 Вт, включённых параллельно. При подключении резистора к тому или иному потенциалу, напряжения между землёй и каждым из потенциалов не изменялись, т.е. 2-й знак после запятой в измеренном тестером напряжении оставался прежним. На этом настройка и проверка работоспособности формирователя заканчивается.

### Настройка и тестирование стабилизатора

Необходимо проверить работоспособность стабилизатора и выставить его выходное напряжение –28 В. Для этого автор использовал цифровой тестер и тот же ИП Б5-47.

Ко входу стабилизатора подключить ИП, а к выходу – цифровой тестер. В ИП выставить выходное напряжение –30 В и выходной ток в диапазо-

не 40–50 мА. Далее включить питание ИП и, вращая подстроечный резистор R4 (см. рис. 2), выставить выходное напряжение стабилизатора –28 В, измеряя его цифровым тестером. Далее выставить выходной ток ИП около 1,5 А и подключить к выходу стабилизатора нагрузку – резистор 28 Ом (о нём было упомянуто выше). Измерив выходное напряжение стабилизатора тестером, необходимо убедиться в том, что оно не изменяется, т.е. 2-й знак после запятой в показаниях тестера при подключённой нагрузке остаётся прежним.

После этого можно приступить уже к тестированию стабилизатора с реальной нагрузкой. Для этого автор использовал несколько мощных резисторов: 10 Ом (два последовательно соединённых резистора по 5 Ом, 70 Вт), 10 Ом (такие же два резистора), 8 Ом (два последовательно соединённых

резистора по 4 Ом, 50 Вт), 20 Ом (два последовательно соединённых резистора по 10 Ом, 10 Вт). Далее вход стабилизатора подключить к выходному напряжению выпрямительной схемы. Это напряжение условно обозначено как «–33» (см. рис. 3), а к выходу стабилизатора параллельно подключить вышеупомянутые мощные резисторы в следующей последовательности: 10 Ом (что будет соответствовать нагрузке в 10 Ом и току 2,8 А), 10 Ом (5 Ом, 5,6 А), 8 Ом (3,08 Ом, 9,1 А), 20 Ом (2,67 Ом, 10,5 А). Далее подключить ко входному напряжению стабилизатора стрелочный тестер, к выходному напряжению – цифровой тестер, а в качестве измерителя тока можно использовать либо ещё один стрелочный тестер, либо измерительную головку, предназначенную для измерения тока со шкалой 0–10 А (автор использовал головку М42303 со шкалой 10 А), подключив её между выходным напряжением стабилизатора и нагрузочными резисторами.

Далее, включив питание, можно приступать к тестированию. Результат, полученный автором, следующий.

Входное напряжение стабилизатора без нагрузки, измеренное стрелочным тестером, составило –40 В, при токе 9,1 А оно опустилось до –33 В, при токе 10,5 А оно стало –31 В. Выходное напряжение стабилизатора, измеренное цифровым тестером, оставалось равным 28 В с точностью до двух знаков после запятой, т.е. последняя цифра в числе измеренного напряжения не изменялась как при отсутствии нагрузки, так и при максимальном токе 10,5 А. Здесь необходимо добавить: для того чтобы при таком токе не срабатывала защита, её необходимо несколько загрузить, т.е. резистор R11 (см. рис. 2) [9] установить на максимум. Движок этого резистора установить в левое по схеме на рисунке 2 положение.

Далее необходимо настроить порог срабатывания защиты. Для этого установить движок R11 в среднее положение, включить питание и подключить к выходу стабилизатора нагрузку 3 Ом, т.е. установить ток 9,1 А. При этом защита должна гарантированно не срабатывать. После этого подключить нагрузку 2,67 Ом, т.е. установить ток 10,5 А. При этом защита должна срабатывать. Регулируя положение движка R11, добиться такого его положения, когда при токе 9,1 А защита не срабатывает, а при токе 10,5 А –

срабатывает. На этом тестирование и настройка стабилизатора заканчиваются.

Автор снял осциллограммы пульсаций входного и выходного напряжений стабилизатора при токе 9 А с помощью двухканального цифрового осциллографа с закрытыми входами (см. рис. 11).

Верхняя осциллограмма (жёлтого цвета) соответствует пульсациям входного напряжения. Чувствительность по вертикали для этого канала (канал 1) составляет 0,5 В/деление (надпись 500mV), размах пульсаций от пика до пика составляет 1,62 В (надпись  $V_{pp}(1) = 1.62V$ ).

Нижняя осциллограмма (цвета морской волны или бирюзовая) соответствует пульсациям выходного напряжения. Чувствительность по вертикали для этого канала (канал 2) составляет 2 мВ/деление (надпись 2.00mV), а размах пульсаций от пика до пика составляет 1,04 мВ (надпись  $V_{pp}(2) = 1.04mV$ ). Развёртка осциллографа составляет 2 мс/деление (надпись Time 2.000ms).

Как видно из приведённых осциллограмм, размах пульсаций выходного напряжения при токе 9 А составляет около 1 мВ. Это в 2 раза меньше, чем размах пульсаций в аналоговой схеме [3] (около 2 мВ) и в 4 раза больше, чем размах пульсаций в схеме [4] (около 1/4 мВ).

Если подсчитать, во сколько раз размах пульсаций выходного напряжения меньше размаха пульсаций входного, получится:  $1620 \text{ мВ} / 1 \text{ мВ} = 1620$  раз, или около 64 дБ. Такое подавление размаха пульсаций автора вполне устроило.

После подключения ИП к аудиоусилителю и установки на нём регулятора громкости на максимум автор прослушал шум в акустической системе как при отсутствии звукового сигнала, так и в паузах между фонограммами. В результате: при приложении уха вплотную к ВЧ-динамику в нём прослушивалось слабое шипение, у СЧ-динамика – слабое шипение, а вот у НЧ-динамика была вообще полная тишина. Автор очень тщательно прислушивался, надеясь услышать знакомый 50-герцевый фон, однако ни в одном из динамиков так ничего и не услышал.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение однополярного стабилизированного ИП совместно с искусственно созданным земляным потенциалом по приведённым в статье схемам для питания аудиоусилителя на базе

мощных ОУ, работающих в мостовом режиме включения, имеет несомненные преимущества перед двухполярным ИП: в 2 раза снижается количество выпрямительных диодов и дорогих электролитических конденсаторов. Кроме того, требуется только один стабилизатор вместо двух (в двухполярном ИП), а стоимость формователя для создания земляного потенциала в разы меньше стоимости стабилизатора. Но все эти преимущества, хотя они и так достаточно существенны, просто меркнут по сравнению с полным исчезновением 50-герцевого фона в акустических системах, работающих с усилителем, при отсутствии аудиосигнала или в паузах между фонограммами. Эта на первый взгляд не совсем заметная особенность, на самом деле, существенно повышает комфортное восприятие высококачественного музыкального сигнала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьминов А.Ю. Применение инструментального усилителя для мостового включения двух мощных ОУ. Современная электроника. 2017. № 4–7.
2. Кузьминов А.Ю. Усовершенствованный УМЗЧ на базе ИУ и мощных ОУ. Современная электроника. 2019. № 5.
3. Кузьминов А.Ю. Двухканальный сетевой источник питания с низким уровнем пульсаций и токовой защитой. Радио. 2018. № 4.
4. Кузьминов А.Ю. Усовершенствованный двухполярный стабилизатор на ОУ и мощных полевых транзисторах с токовой защитой и ультранизким уровнем пульсаций. Радиолоцман. 2019. № 3.
5. Кузьминов А.Ю. Управление включением вентилятора для поддержания оптимальной температуры радиатора охлаждения. Радиолоцман. 2019. № 6, 7.
6. Кузьминов А.Ю. Двуполярный стабилизатор на ОУ и мощных полевых транзисторах с токовой защитой. Ч. 2. Радиолоцман. 2018. № 5.
7. Кузьминов А.Ю. Технология изготовления печатных плат с высоким разрешением в любительских условиях. Радио. 2017. № 10.
8. Кузьминов А.Ю. Как использовать фольгу обратной стороны односторонней печатной платы в качестве общего провода. Радио. 2019. № 2.
9. Кузьминов А.Ю. Однополярное питание аудиоусилителя на мощных ОУ в мостовом включении. Ч. 1. Современная электроника. 2020. № 1.



## Компактные высоковольтные преобразователи напряжения



### ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЕ И СТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ

#### Технические параметры

- Входное напряжение 5, 12, 24 В
- Выходные напряжения от 2 до 10 кВ
- Мощность от 2 мВт до 15 Вт
- Диапазон температур от -55 до +70°C
- Длительный ресурс

#### Применение

- Медицинская диагностика
- Научное оборудование
- Авиационно-космическая техника

PROSOFT®



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636 • INFO@PROSOFT.RU • WWW.PROSOFT.RU