

# Проектирование 3,3-вольтового линейного DC/DC-преобразователя

Статья поможет сориентироваться в большой номенклатуре линейных стабилизаторов компании Micrel и сделать правильный выбор.

**Боб Вольберт (Bob Wolbert)**  
Перевод: Романов Олег

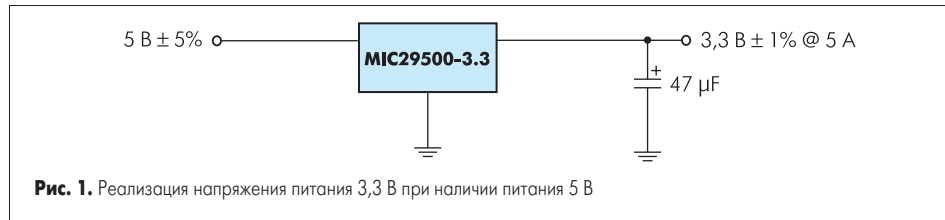
oleg.rom@eltech.spb.ru

Переход на использование логических ИС и ИС памяти с питанием 3,3 В создал спрос на компоненты преобразования напряжения. В то же время, во многих изделиях остаются ИС с питанием 5 В, поэтому приходится использовать два напряжения питания — 3,3 и 5 В. Существует два пути решения проблемы. Первый состоит в том, чтобы заменить AC/DC-преобразователь с выходом 5 В на преобразователь с двумя выходами: 5 и 3,3 В. У такого решения есть два существенных недостатка: во-первых, преобразователь с двумя выходами стоит дороже, чем с одним, во-вторых, требуется внесение изменений в существующую схему преобразователя. Другой путь — использовать существующий блок питания с выходом 5 В, а напряжение 3,3 В получать непосредственно на печатной плате устройства с помощью линейного стабилизатора (преобразователя) с малым падением напряжения (LDO). Этот способ требует незначительной доработки устройства и несущественно увеличивает стоимость устройства. Линейные стабилизаторы не используют импульсное преобразование входного напряжения питания и поэтому обладают низким уровнем шумов, что устраняет проблему электромагнитной совместимости элементов устройства. Линейные стабилизаторы практически не вносят дополнительной задержки в обеспечении электропитанием при включении. При использовании линейных стабилизаторов в маломощных устройствах не возникает проблем с отводом тепла от ИС, однако при увеличении токов до 3 А и более требуются дополнительные меры для обеспечения рабочего температурного режима стабилизатора. Эта статья помогает сориентироваться в широкой номенклатуре линейных стабилизаторов компании Micrel (от простых трехвыводных стабилизаторов до стабилизаторов с пятью выводами с расширенным функциональным набором), приводит необходимые формулы и примеры вычислений значений параметров стабилизаторов, предлагает широкий выбор радиаторов при решении задачи преобразования напряжения питания с 5 в 3,3 В при токе 5 А. Дополнительно рассматривается такой прием, как последовательное подключение резистора для уменьшения рассеиваемой мощности на стабилизаторе.

**Зачем использовать линейные стабилизаторы с дополнительными выводами?**

Для чего служат дополнительные выводы в пятивыводных линейных стабилизаторах? Для выполнения своего функционального назначения линейному стабилизатору нужно три вывода: входное (питающее) напряжение, выходное напряжение и «земля». Схемы с пятью выводами позволяют разработчику осуществлять контроль величины выходного стабилизированного напряжения и включать или выключать стабилизатор для уменьшения потребления электропитания. Напряжение питания контролируется по состоянию флага сбоя. Когда выходное напряжение находится в пределах нескольких процентов от установленной величины, уровень флага высокий и указывает на то, что уровень входного напряжения питания достаточен для работы стабилизатора. (Выход флага сбоя имеет открытый коллектор, поэтому требуется использовать подтягивающий резистор на шину питания.) Если уровень выходного напряжения падает из-за низкого входного напряжения или при превышении тока в нагрузке величины, на которую рассчитан стабилизатор, флаг устанавливается в низкое состояние и указывает на сбой по питанию. Контроллер может проверить состояние флага и принять решение относительно готовности электропитания. При включении питания кратковременно флаг имеет уровень, близкий к напряжению питания, но как только входное напряжение достигнет 2 В, флаг установится в низкий уровень. Он останется в состоянии с низким логическим уровнем, пока на выходе регулятора не установится требуемое значение напряжения. У семейства MIC29150 флаг установится в высокий уровень, когда выходное напряжение достигнет 97% установленной для стабилизатора величины. При 3,3 В флаг укажет «электропитание в норме», когда  $U_{\text{вых}} = 3,2 \text{ В}$ .

Второй из дополнительных выводов обеспечивает перевод ИС в «спящий» режим для эффективного использования электроэнергии. Этот вывод (ENABLE) у семейства MIC29150 5 В и 3,3 В является TTL/КМОП-совместимым. Когда на этот вывод подан логический сигнал величиной не менее 2,4 В,



ИС активизирована. Когда на вывод ENABLE подается логический сигнал с низким уровнем, вся внутренняя электрическая схема ИС отключается. (Ток потребления не превышает нескольких микроампер.)

Линейные стабилизаторы с тремя функциональными выводами используются, если нет необходимости отключать стабилизированное выходное напряжение для обеспечения энергосберегающего режима и не используется информация флага сбоя, то есть нет необходимости контроля качества выходного напряжения, получаемого от линейного стабилизатора. Для работы линейных стабилизаторов с тремя функциональными выводами требуется только один фильтрующий конденсатор на выводе выходного напряжения, поэтому от разработчика требуется минимум усилий (см. рис. 1).

Линейные стабилизаторы с пятью выводами функционально аналогичны трехвыводным, но имеют дополнительные служебные функции: контроль значения выходного стабилизированного напряжения и переключение ИС в энергосберегающий режим.

### Тепловой расчет

Линейные стабилизаторы с малым падением напряжения компании Micrel просты в применении. Во многих случаях не требуется дополнительных решений по обеспечению отвода тепла от ИС, выделяемому при работе стабилизатором. Это возможно благодаря характеристикам линейных стабилизаторов Micrel, имеющим типовое падение напряжения на ИС менее 300 мВ. При малых токах мощность рассеивания мала и поэтому для обеспечения рабочего температурного режима не требуется применения радиаторов. Однако при значительных токах (1 А и более) очень важно правильно выбрать радиатор для отвода тепла, образовавшегося при рассеивании мощности на кристалле линейного стабилизатора. Расчет мощности рассеивания производится по следующей формуле:

$$P_D = (U_{IN} - U_{OUT})I_{OUT} + U_{IN}I_{GND} \quad (1)$$

где  $P_D$  — мощность рассеивания стабилизатора,  $U_{IN}$  — входное напряжение, подаваемое на стабилизатор,  $U_{OUT}$  — выходное напряжение стабилизатора,  $I_{OUT}$  — выходной ток стабилизатора,  $I_{GND}$  — собственный ток потребления стабилизатора.

При расчете параметров схемы следует выбирать наихудшие условия эксплуатации. На основании формулы 1 наихудшими условиями будут:

- Наибольшее значение  $U_{IN}$ . Для нашего случая  $5 В + 5\% = 5,25 В$ .
- Наименьшее значение  $U_{OUT}$ .  $3,3 В - 2\% = 3,234 В$ .
- $I_{OUT}$  выбирается максимально возможным.
- $I_{GND}$  указан в техническом описании (data sheet) и представлен графиком зависимости  $I_{GND}$  от  $I_{OUT}$ . Например, для MIC29500 при выходном токе 5 А  $I_{GND} = 80 мА$ .

Так, для MIC29500 при выходном токе 5 А получаем:

$$P_D = (5,25 - 3,234) \times 5 + 5,25 \times 0,08 = 10,5 Вт$$

Получив все необходимые данные, вычисляем термосопротивление ( $\theta_{SA}$ ) требуемого радиатора, используя следующую формулу:

$$\theta_{SA} = \frac{T_J - T_A}{P_D} - (\theta_{JC} + \theta_{CS}) \quad (2)$$

где:  $\theta_{SA}$  — термосопротивление радиатора,  $P_D$  — мощность рассеивания стабилизатора,  $T_J$  — максимально допустимая температура корпуса ИС,  $T_A$  — максимально возможная в данных условиях эксплуатации температура окружающей среды,  $\theta_{JC}$  — собственное (без радиатора) термосопротивление корпуса,  $\theta_{CS}$  — термосопротивление выводов ИС, установленной на печатную плату.

Рассмотрим линейный стабилизатор в популярном корпусе TO-220. Максимально допустимая температура разогрева корпуса TO-220 +125 °С, термосопротивление корпуса ( $\theta_{JC}$ ) 2 °С/Вт, термосопротивление выводов<sup>2</sup> ( $\theta_{CS}$ ) 1 °С/Вт. Для нашего примера возьмем значение температуры окружающей среды +50 °С.

$$\theta_{SA} = \frac{125 - 50}{10,5} - (2 + 1) = 4,1 °С/Вт$$

Выполнив аналогичные вычисления для значений выходных токов 1,25 А; 1,5 А; 2 А; 2,5 А; 3 А и 4 А получим результаты, приведенные в таблице 1.

Таблица 2 показывает, как зависит теплоотдача радиатора от температуры окружающей среды. Уменьшение термосопротивления радиатора требует значительного увеличения его размеров. Таблица 2 наглядно показывает, насколько важно правильно выбрать температуру окружающей среды, чтобы минимизировать по размерам систему охлаждения.

**Таблица 1.** Необходимое термосопротивление радиатора в зависимости от мощности рассеивания при преобразовании напряжения питания 5 В в 3,3 В

Стабилизатор	$I_{OUT}$ , А	$P_D$ , Вт	$\theta_{SA}$ , °С/Вт
MIC29150	1,25	2,6	25
MIC29150	1,5	3,2	21
MIC29300	2,0	4,2	15
MIC29300	2,5	5,2	11
MIC29300	3,0	6,3	8,8
MIC29500	4,0	8,4	5,9
MIC29500	5,0	10,5	4,1

**Таблица 2.** Зависимость термосопротивления радиатора от температуры окружающей среды

$I_{OUT}$ , А	Температура окружающей среды		
	40 °С	50 °С	60 °С
1,5 А	24 °С/Вт	21 °С/Вт	17 °С/Вт
5 А	5,1 °С/Вт	4,1 °С/Вт	3,2 °С/Вт

### Выбор радиатора

Эта информация позволит нам определить требования к радиатору для линейного стабилизатора. Наихудшие условия эксплуатации — неподвижный воздух (естественная конвекция). Радиатор должен устанавливаться так, чтобы оставалось по крайней мере 6 мм между радиатором и другими компонентами или корпусом устройства. Термические свойства радиатора улучшаются, если естественное вертикальное движение теплого воздуха направляется вдоль длинной стороны ребер радиатора и охватывает максимальную площадь поверхности.

Если мы имеем движущийся воздушный поток, есть возможность уменьшить размеры радиатора или выбрать радиатор из более дешевого материала с меньшей теплоотдачей. Как и в случае с естественной конвекцией, требуется пространство для прохождения воздушного потока. Ребра радиатора должны располагаться так, чтобы воздушный поток проходил вдоль них. Ориентация по вертикали при принудительном обдуве не важна, так как обычно принудительная конвекция преобладает над естественной.

Рассмотрим, как влияет скорость воздушного потока на выбор радиатора для двух значений выходного тока: 1,5 А и 5 А. Из таблицы 3 видно, как скорость воздушного потока влияет на размеры и массу радиаторов.

Радиаторы для стабилизаторов 5 А при отсутствии принудительного обдува имеют большие размеры и стоимость. Есть более совершенный путь решения проблемы с теплоотводом. Надо использовать линейные стабилизаторы со сверхмалым падением напряжения, такие как Super Beta PNP™ компании Micrel с последовательно включенным на выводе входного напряжения резистором, что позволяет часть мощности рассеивать не на ИС, а на резисторе. Распределяя разность входного и выходного напряжений ( $U_{OUT} - U_{IN}$ ) между дешевым резистором и стабилизатором, мы таким образом распределяем между ними мощность, ранее рассеиваемую только на стабилизаторе, тем самым уменьшая нагрев ИС, а следовательно, и размер радиатора. Зная неблагоприятные усло-

#### Примечания:

1. Семейство линейных стабилизаторов MIC29150, MIC29300 и MIC29500 имеют типовой допуск  $\pm 1\%$  на отклонение выходного стабилизированного напряжения. При неблагоприятных условиях эксплуатации (на границе рабочего температурного диапазона или при значительных колебаниях входного напряжения) значение выходного напряжения может отклоняться от требуемого до  $\pm 2\%$ .
2. Монтажный контакт у корпуса TO-220 не изолирован от вывода «земли» (GND). Поэтому значение  $q_{CS}$  входит в значение термосопротивления радиатора ( $q_{SA}$ ).

Таблица 3. Радиаторы для стабилизаторов 1,5 А и 5 А

Скорость воздушного потока, м/с	I <sub>OUT</sub>	
	1,5 А	5 А
2	Thermalloy <sup>1</sup> 6049PB	Thermalloy <sup>1</sup> 6232 Thermalloy 6034 Thermalloy 6391B
1,5		AAVID <sup>2</sup> 504222B AAVID 563202B AAVID 593202B AAVID 534302B Thermalloy 7021B Thermalloy 6032 Thermalloy 6234B
1	AAVID <sup>2</sup> 577002 Thermalloy 6043PB Thermalloy 60	AAVID 508122 AAVID 552022 AAVID 533302 Thermalloy 7025B Thermalloy 7024B Thermalloy 7022B Thermalloy 6101B
0 (неподвижный)	AAVID 576000 AAVID 574802 592502 579302 Thermalloy 6238B Thermalloy 6038 Thermalloy 7038	AAVID 533602B (vertical) AAVID 519922B (horizontal) AAVID 532802B (vertical) Thermalloy 6299B (vertical) Thermalloy 7023 (horizontal)

Примечания:

1. Thermalloy Inc.
2. AAVID Engineering Inc.

Таблица 4. Радиаторы для стабилизатора 5 А при T<sub>A</sub> = 50 °C, R = 0,15 Ом, θ<sub>SA</sub> = 8,3 °C/Вт

Скорость воздушного потока, м/с	Радиатор
2	AAVID 530700 AAVID 574802 Thermalloy 6110 Thermalloy 7137, 7140 Thermalloy 7128
1,5	AAVID 57302 AAVID 530600 AAVID 577202 AAVID 576802 Thermalloy 6025 Thermalloy 6109 Thermalloy 6022
1	AAVID 575102 AAVID 574902 AAVID 523002 AAVID 504102 Thermalloy 6225 Thermalloy 6070 Thermalloy 6030 Thermalloy 6230 Thermalloy 6021, 6221 Thermalloy 7136, 7138
0 (неподвижный)	AAVID 563202 AAVID 593202 AAVID 534302 Thermalloy 6232 Thermalloy 6032 Thermalloy 6034 Thermalloy 6234

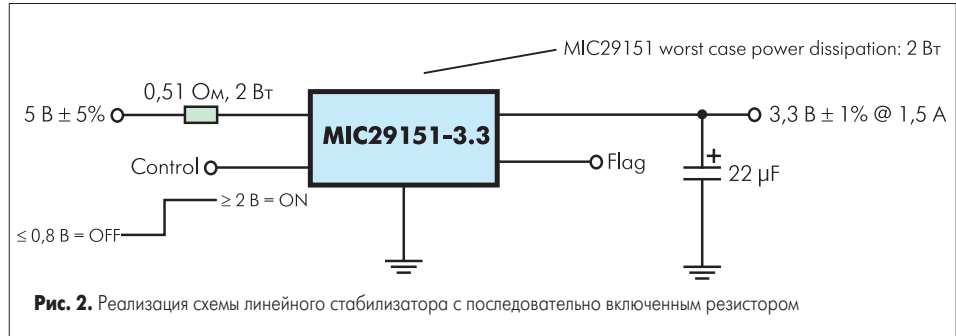


Рис. 2. Реализация схемы линейного стабилизатора с последовательно включенным резистором

вия эксплуатации по напряжению и максимальные требования к стабилизатору по выходному току, выбираем резистор, на котором будет падать часть избыточного входного напряжения, не оказывая отрицательного влияния на выходные характеристики стабилизатора. Максимальное значение резистора рассчитывается по следующей формуле:

$$R_{MAX} = \frac{U_{IN MIN} - (U_{OUT MAX} + U_{DO MAX})}{I_{OUT MAX} + I_{GND}} \quad (3)$$

где: R<sub>MAX</sub> — максимальное сопротивление дополнительного резистора, U<sub>IN MIN</sub> — минимальное входное напряжение, при котором стабилизатор обеспечивает выходное напряжение с установленной точностью, для нашего случая 5 В – 5% = 4,75 В, U<sub>OUT MAX</sub> — максимальное выходное напряжение, которое указано в техническом описании, 3,3 В + 2% = 3,366 В, U<sub>DO MAX</sub> — максимально возможное падение напряжения у рассматриваемых стабилизаторов 600 мВ, I<sub>OUT MAX</sub> — максимальный выходной ток, I<sub>GND</sub> — собственный ток потребления стабилизатора при I<sub>OUT MAX</sub> (см. data sheet).

Для стабилизатора 5 А получаем:

$$R_{MAX} = \frac{(4,75 - 3,366 + 0,6)}{5 + 0,08} = 0,154 \text{ Ом}$$

Мощность, рассеиваемая на этом резисторе, рассчитывается по формуле:

$$P_{D RES} = (I_{OUT MAX} + I_{GND})^2 \times R \quad (4)$$

Для рассматриваемого случая мощность, рассеиваемая на резисторе, будет равна 4 Вт. Таким образом, теперь на стабилизаторе рассеивается не 10,5 Вт, как было рассчитано ранее, а только 6,5 Вт. Мощность, рассеиваемая на стабилизаторе в схеме с последовательным резистором, рассчитывается по следующей формуле:

$$P_{D Regulator} = P_{D R=0} - P_{D RES} \quad (5)$$

где: P<sub>D Regulator</sub> — мощность рассеивания стабилизатора, P<sub>D R=0</sub> — мощность рассеивания

стабилизатора без использования резистора, P<sub>D RES</sub> — мощность рассеивания последовательно включенного резистора.

Наиболее часто используют резисторы с допуском 5%, поэтому, выбирая резистор из стандартного ряда, необходимо учитывать, что он не должен превышать максимальное значение резистора (3). То есть R<sub>MAX</sub> ≥ R + 5%. Так же необходимо учесть, что в этом случае на резисторе будет рассеиваться меньшая мощность, так как при наилучших условиях (R – 5%), исходя из формулы 4, получаем меньшее значение P<sub>D RES</sub>. Поэтому на стабилизаторе будет рассеиваться большая мощность, чем в идеальном случае. Благодаря последовательно включенному резистору получаем большее термосопротивление радиатора (θ<sub>SA</sub>) (2) и можем уменьшить его размеры. Подставив в формулу (2) полученное значение P<sub>D Regulator</sub> получаем θ<sub>SA</sub> = 8,3 °C, что более чем в два раза лучше, чем в схеме без последовательно включенного резистора. Таблица 4 предоставляет радиаторы для рассмотренного случая при разных значениях скорости воздушного потока.

Для стабилизатора, обеспечивающего устройство выходным током не более 1,5 А (MIC29150), получаем R = 0,512 Ом. При использовании стандартного значения резистора 0,51 Ом на нем рассеивается 1,1 Вт, тем самым линейному стабилизатору остается рассеять мощность 2,1 Вт, а для таких значений мощности рассеяния радиатор не требуется (см. рис. 2).

Существует еще один способ решения проблемы отвода тепла от ИС для схем с небольшим током потребления. Стабилизаторы MIC29150 и MIC29300 в корпусах TO-220 и TO-263 устанавливаются непосредственно на печатную плату, и функцию радиатора исполняют медные проводники платы. Для более подробной информации обращайтесь к рекомендации по применению № 17 компании Micrel «P.C. Board Heat Sinking».

Более подробную информацию можно найти на сайте компании Micrel [www.micrel.com](http://www.micrel.com).