

Мощный импульсный стабилизатор напряжения понижающего типа с общим плюсом

В некоторых областях техники, например, в телефонии, принято использовать системы электропитания с общим плюсом, в то время как большинство микросхем ориентировано на работу в системах с общим минусом. В связи с этим создание импульсных стабилизаторов напряжения с общим плюсом на основе широко распространенных микросхем, ориентированных на работу с общим минусом, является достаточно интересной и нетривиальной задачей. Еще больший интерес и одновременно большую сложность представляет задача создания импульсных стабилизаторов напряжения, рассчитанных на большие мощности. В настоящей статье вниманию читателей предлагается описание схемотехники импульсного стабилизатора напряжения на мощность более 1,2 кВт.

При разработке схемы импульсного стабилизатора с общим плюсом, автор сделал обзор всех микросхем, предназначенных для работы в блоках питания. Критериями для выбора микросхемы были следующие характеристики: регулировка режимов стабилизации по напряжению, способность работать в схемах с общим плюсом, а также стоимость и доступность. В результате обзора была выбрана достаточно распространенная микросхема TL494 [1, 2] (отечественный аналог – КМ1114ЕУ4), так как она наилучшим образом отвечает предъявляемым требованиям. Однако обзор отечественной литературы показал, что, как правило, при описании этой микросхемы авторы опускают многие интересные для разработчика детали. Поэтому прежде чем рассматривать принципиальную схему собственно стабилизатора, полезно ознакомиться с подробным описанием самой микросхемы.

Функциональная схема микросхемы TL494 представлена на рис. 1, а назначение ее выводов приведено в табл. 1.

Рассмотрим состав и назначение функциональных элементов микросхемы.

1. Временязадающий генератор (Oscillator) вырабатывает импульсы для тактирования узлов микросхемы. Их частота программируется величинами подключаемых к генератору времязадающих резистора R_t (выв. 6) и конденсатора C_t (выв. 5). При однофазном включении выходного каскада частота рассчитывается по формуле

$$f = 1/R_t \cdot C_t,$$

при двухфазном включении, соответственно,

$$f = 1/2 \cdot R_t \cdot C_t.$$

Генератор рассчитан на работу в диапазоне частот 1...300 кГц. При этом рекомендуется выбирать номиналы резистора в диапазоне 1...500 кОм, конденсатора – 470 пФ...10 мкФ.

2. Компаратор плавного (задержанного) запуска (Dead-Time Comparator) обеспечивает задержку при переключении выходных транзисторов, пока напряжение на входе 4 больше максимального напряжения на времязадающем конденсаторе C_t . Внутреннее смещение на неинвертирующем входе компаратора составляет порядка 110–120 мВ и обеспечивает минимальное время задержки включения примерно на 3% при заземленном входе 4. При изменении напряжения на этом входе в диапазоне 0...3,3 В, время задержки включения изменяется соответственно от 3 до 100%. Вход компаратора плавного запуска 4 имеет достаточно малый входной ток (менее 10 мкА). Неиспользуемый вход может подключаться на выход 14 источника опорного напряжения. Недопустимо неиспользуемый вход 4 оставлять “свободно висющим”, так как это приводит к непредсказуемым результатам.

3. Входной компаратор широтно-импульсного модулятора (PWM Comparator) сравнивает пилообразное напряжение на времязадающем конденсаторе C_t с выходным сигналом усилителей ошибки 6 и 7 (выв. 3). При этом для формирования выходного управляющего сигнала напряжение на выходе усилителей ошибки должно быть на 0,7 В выше, чем текущее напряжение на времязадающем конденсаторе C_t (за счет внутреннего смещения 0,7 В). При изменении выходного напряжения усилителей ошибки от 0,5 до 3,5 В ширина выходных импульсов изменяется от 97% до 0.

4. Компаратор (UV Lockout 1) обеспечивает блокировку выходного каскада при напряжении на входе 12 ниже, чем 4,9 В.

5. Компаратор (UV Lockout 2) обеспечивает блокировку выходного каска-

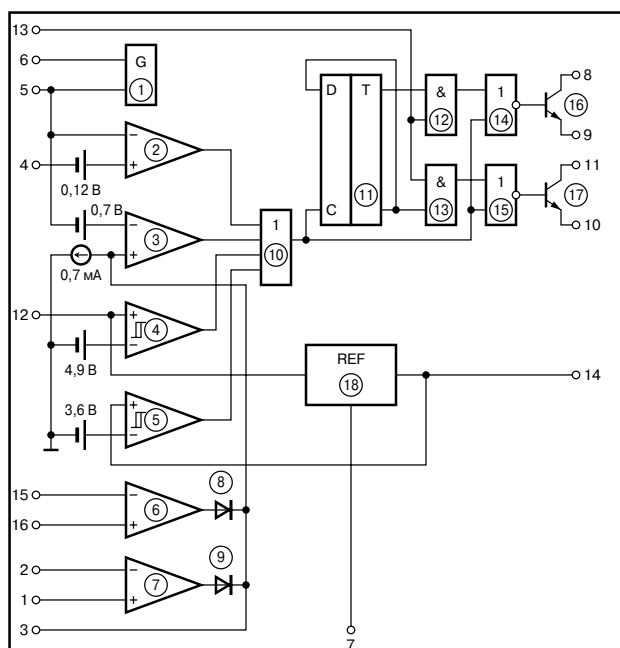


Рис. 1. Функциональная схема микросхемы TL494 (КМ1114ЕУ4)

Таблица 1. Функциональное назначение выводов микросхемы TL494 (КМ1114ЕУ4)

№	Наименование	Функциональное назначение
1	Error Amplifier 1 Plus	Неинвертирующий вход первого усилителя ошибки
2	Error Amplifier 1 Minus	Инвертирующий вход первого усилителя ошибки
3	Feedback PWM, Comparator Input	Обратная связь усилителей ошибки и вход компаратора
4	Dead Time Control	Вход управления плавного запуска
5	C_t	Вход подключения времязадающего конденсатора
6	R_t	Вход подключения времязадающего резистора
7	Ground	Общий вывод питания
8	Q1 transistor collector	Коллектор первого транзистора
9	Q1 transistor emitter	Эмиттер первого транзистора
10	Q2 transistor emitter	Коллектор второго транзистора
11	Q2 transistor collector	Эмиттер второго транзистора
12	Vcc	Вывод подключения питания
13	Output Control	Вход управления выходными транзисторами
14	Ref. Output	Выход источника опорного напряжения
15	Error Amplifier 2 Plus	Неинвертирующий вход второго усилителя ошибки
16	Error Amplifier 2 Minus	Инвертирующий вход второго усилителя ошибки

да при напряжении на входе источника опорного напряжения (выв. 14) ниже, чем 3,6 В.

6. Усилитель ошибки 2 (Error Amplifier 2) предназначен для организации обратной связи. Обычно он используется для организации цепей защиты. Входы усилителей ошибки рассчитаны на диапазон входных напряжений от -0,3 до 2 В, хотя допускается подача и более высоких напряжений. Следует помнить, что при минимальном напряжении на выходе усилителей ошибки достигается максимальная (97%) длительность выходных импульсов. Входы неиспользуемого усилителя ошибки рекомендуется подключать к выходу 14 источника опорного напряжения.

7. Усилитель ошибки 1 (Error Amplifier 1) предназначен для организации обратной связи. Обычно он используется для организации обратной связи по напряжению.

8. Разделительный диод усилителя ошибки 2 (Error Amplifier Diode).

9. Разделительный диод усилителя ошибки 1 (Error Amplifier Diode).

10. Элемент 4ИЛИ.

11. D-триггер – делитель на два для создания двухфазного выходного сигнала.

12, 13. Элементы 2И, необходимые для блокировки выходных транзисторов с помощью внешней схемы через выв. 13.

14, 15. Элементы 2ИЛИ-НЕ, необходимые для реализации парафазного режима.

16, 17. Выходные транзисторы. Оба транзистора имеют открытые коллекторные и эмиттерные выводы, что предоставляет разработчику максимальные возможности по конфигурированию выходов. Каждый из транзисторов способен развивать ток до 200 мА. Падение напряжения на открытом транзисторе составляет менее 1,3 В в схеме с общим эмиттером и менее 2,5 В в схеме эмиттерного повторителя. Выходные транзисторы защищены от превышения мощности рассеивания и имеют каскады ограничения тока, что позволяет использовать их в режиме источника тока.

18. Формирователь опорного напряжения +5 В (5V Reference Regulator). Обеспечивает стабильное напряжение питания в диапазоне входных напряжений 7...40 В. Формирователь поддерживает стабильность напряжения в диапазоне температур 0...70°C. Температурный уход составляет не более 100 мВ.

Таким образом, описанный функциональный состав микросхемы позволяет оптимально использовать ее в импульсных стабилизаторах.

Принципиальная схема импульсного стабилизатора напряжения

Известно, что в схемотехнике импульсных стабилизаторов напряжения существуют три основные группы стабилизаторов:

- импульсные стабилизаторы напряжения понижающего типа (Buck, Step-Down);
- импульсные стабилизаторы напряжения повышающего типа (Boost, Step-Up);
- инвертирующие импульсные стабилизаторы напряжения (Buck-Boost, Step-Up-Down).

В данной статье вниманию читателей предлагается схема понижающего стабилизатора напряжения (Buck). Она имеет ряд особенностей:

- в схеме используется общий плюсовой провод (в отличие от известных стабилизаторов с общим минусом);
- схема рассчитана на достаточно высокую мощность: выходное напряжение составляет 50 В при нормальном рабочем токе до 25 А.
- имеется защита от превышения выходного напряжения и не имеет защиты по выходному току.

Принципиальная схема импульсного стабилизатора напряжения приведена на рис. 2. Он имеет следующие функциональные узлы:

рой усилитель ошибки микросхемы не используется, поэтому его входы (15, 16) соединены с выходом опорного напряжения (14). Резисторы R9, R10 задают коэффициент усиления первого усилителя ошибки.

3. Мощный ключевой полевой транзистор с изолированным затвором VT3 (IRFP-250, с параметрами $U_{si}=250$ В, $I_s=33$ А).

4. Импульсный диод VD2 (AD3520P, $U=250$ В, $I=30$ А, $t_p<20$ нс) выпускаемый АО "Informinstrument", г. Кишинев. Можно использовать также диоды 2Д2229, но при этом К.П.Д. стабилизатора будет несколько ниже.

5. Дроссель L1, намотанный на Ш-образном ферритовом сердечнике МН2000 Ш28x20. В средней части сердечника сделан зазор 0,3 мм. Дроссель намотан свитой косой из 50 проводов ПЭЛ-2-0,35 и содержит 30 витков. Его индуктивность — около 25 мкГн.

6. Выходные конденсаторы С6, номиналом С7 33000 мкФ/63 В.

Для питания микросхемы управления имеется линейный стабилизатор на 15 В — R11, VT2 (КТ819АМ), VD1 Д815Ж,

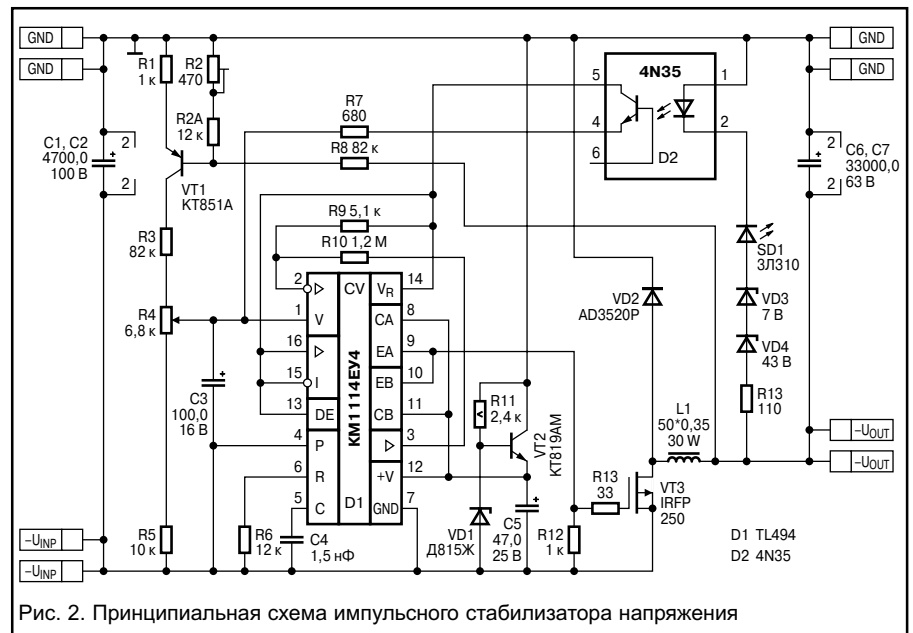


Рис. 2. Принципиальная схема импульсного стабилизатора напряжения

1. Входной емкостной фильтр (C1, C2 номиналом 4700 мкФ/100 В), служащий для фильтрации входного напряжения.

2. Контроллер управления на микросхеме D1 KM1114EУ4 или (TL494) с элементами обвязки. Микросхема контроллера импульсного стабилизатора D1 работает на частоте около 66 кГц. Частота задается элементами R6, C4. Выходной каскад собран по однофазной схеме, коллекторы выходных транзисторов соединены со входом питания микросхемы (выв. 8, 11, 12). Эмиттеры также соединены (выв. 9, 10) и нагружены на резистор R12, сигнал с которого через резистор R13 подается на затвор полевого транзистора VT3. Вто-

3. Выходное напряжение линейного стабилизатора выбрано исходя из рабочего диапазона напряжений питания микросхемы D1 (7...40 В), а также из того факта, что напряжение на затворе полевого транзистора (около 15 В) соответствует току стока примерно 27 А.

В связи с тем, что описываемый стабилизатор имеет общий плюс, а микросхема D1 предназначена для работы в схемах с общим минусом, возникла необходимость в создании схемы инверсии обратной связи. Она создана на элементах R8, R2, R1, VT1, R3, R4, R5, C3. Выходное напряжение импульсного стабилизатора подается на резистор R8, составляющий с резисторами R2, R2A делитель напряжения. Напря-

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

жение с этого делителя подается на базу транзистора VT1 (КТ851А), инвертируется и с коллектора поступает на делитель R3—R5, с которого подается на неинвертирующий вход первого усилителя ошибки (вход 01). Резистором R2 устанавливается режим работы транзистора. Резистором R4 устанавливается выходное напряжение импульсного стабилизатора.

Таким образом, увеличение выходного (отрицательного) напряжения приведет к увеличению напряжения база-эмиттер транзистора, увеличится ток коллектора, следовательно, увеличится напряжение на делителе R3—R5, и, соответственно, напряжение на входе первого усилителя ошибки, что приведет к сужению выходных импульсов напряжения и снижению выходного напряжения.

Микросхема оптрона D2 (4N35), светодиод SD1 (ЗЛЗ10), два стабилитрона VD3 и VD4 на общее напряжение стабилизации 50 В и резистор R13 образуют цепь защиты от превышения выходного напряжения. Цепь работает следующим образом. При номинальном напряжении на выходе стабилизатора (50 В) стабилитроны не включены, оптрон также выключен и не влияет на работу всей схемы. При превышении

выходного напряжения уровня примерно 53 В происходит пробой стабилитронов и включаются светодиод SD1, индицирующий о превышении выходного напряжения, и оптрон D2. При этом открытый транзистор оптрона подключает ко входу усилителя ошибки источник опорного напряжения +5 В через резистор R7, что приводит к резкому снижению выходного напряжения. Эта цепь используется только в момент включения импульсного стабилизатора, когда конденсатор C3 разряжен и медленно заряжается через инвертор обратной связи VT1. Сам же конденсатор C3 необходим для подавления самовозбуждения этого каскада на частоте примерно 3 кГц.

Транзистор VT2 установлен на пластинчатом радиаторе с размерами 60х60 мм². Транзистор VT3 и диод VD2 (с местной изоляцией) установлены на общем радиаторе с размерами 180х120 мм² и высотой ребер 18 мм. Над ребрами на стоечках установлен вентилятор от компьютерного блока питания, который питается от линейного стабилизатора. Все силовые связи выполнены в два провода МГШВ-1,5. Входы и выходы стабилизатора выведены на общий разъем типа РП10-15, по два

контакта на каждый сигнал (каждый из контактов рассчитан на ток до 15 А).

Описанная схема обеспечивает стабилизацию выходного напряжения 50 В при токе до 25 А и пульсациях на выходе не более 150 мВ (нормальный рабочий ток 20А). При этом допустимо изменение входного напряжения от –56 до –90 В и уровня его пульсаций до 12 В. КПД стабилизатора не хуже 72%. Температура радиатора транзистора VT3 (при обдуве) не превышает 60°С. Следует отметить, что при указанных номиналах элементов минимальное выходное напряжение может быть установлено от –27 В, и выходное напряжение, как правило, примерно на 4 В меньше входного. Очевидно, что, изменив номиналы делителей и линейного стабилизатора напряжения, можно изменить и диапазон входных напряжений. Это позволяет легко модифицировать описанную схему под конкретные задачи.

Олег Николайчук,
onic@ch.moldpac.md

Литература:

1. *slva001a.pdf*. <http://www.motorola.com>
2. *tl494rev1f1.pdf*. <http://www.ti.com>