

**СЕКЦИЯ «МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ, ФИЗИЧЕСКИХ И РАДИОСИСТЕМ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, ПРОИЗВОДСТВЕ, НАУЧНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ И В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ»**

**SIMULATION OF ELECTRONIC ELECTROTECHNICAL, PHYSICAL AND
RADIO SYSTEMS IN DESIGNING, PRODUCTION, SCIENTIFIC
RESEARCHES AND IN THE EDUCATIONAL PROCESS**

DOI: 10.30987/conferencearticle_5e028212d05fb6.93161302

УДК 621.314

М.А. Амелина, А.С. Амелин
(г. Смоленск, Филиал НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)
M.A. Amelina, A.S. Amelin
(Smolensk, Smolensk Branch of the National Research University
«Moscow Power Engineering Institute»)

**РАЗНОВИДНОСТИ ЦЕПЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ СЕТЕВОГО
ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ**

VARIANTS OF FEEDBACK AND CONTROL LOOPS OF AC-DC CONVERTERS

Рассмотрены основные варианты оптронных усилителей сигнала рассогласования, базирующиеся на ИМС параллельного стабилизатора TL431. Продемонстрированы способы их подключения к ИМС ШИМ-контроллера, подтвержденные результатами схемотехнического моделирования.

The main variants of optoelectronic error signal amplifiers based on the TL431 parallel stabilizer IC are considered. The methods of their connection to the PWM controller IC are demonstrated, confirmed by the results of circuit simulation.

Ключевые слова: отрицательная обратная связь, оптоэлектронная гальваническая развязка, усилитель сигнала рассогласования, ШИМ-контроллер.

Keywords: negative feedback, optoelectronic galvanic isolation, error signal amplifier, PWM-controller.

Одним из наиболее сложных блоков сетевого импульсного источника питания (СИИП) является схема гальванической развязки выхода (используемого напряжения питания) и входа, где имеется сравнительно высокое сетевое преобразуемое напряжение с управляемым силовым транзисторным ключом [1].

Импульсный преобразователь постоянного напряжения СИИП, имеющий в своем составе силовой многообмоточный магнитный элемент (трансформатор или дроссель-трансформатор в обратноточном преобразователе), для силовой части обеспечивает такую развязку автоматически.

Однако для схемы управления требуются дополнительные цепи, поскольку управление силовым ключом СИИП с помощью ШИМ-контроллера и драйвера происходит на входной высоковольтной стороне. При этом сигнал обратной связи в виде отклонения выходного напряжения от заданного (уставки), который фактически должен управлять относительной длительностью замкнутого состояния силового ключа, приходит с выходной низковольтной стороны. В этом случае обязательно необходима гальваническая развязка в составе тракта обратной связи.

В современных СИИП для этой цели часто используется усилитель с оптоэлектронной развязкой на основе оптрона (выходной каскад), управляемого параллельным стабилизатором (на микросхеме TL431 или ей подобной). Методика построения и расчета инвертирующего варианта такого усилителя (рис. 1, а) была приведена в [2].

Для реализации отдельных вариантов СИИП часто бывает необходим неинвертирующий усилитель с гальванической развязкой, когда управляющий сигнал снимается с эмиттера диодно-транзисторного оптрона (рис. 1, б). Как несложно догадаться, методика расчета его статического режима останется такой же [2], за исключением того, что в первом случае рассчитывается нагрузочный коллекторный резистор R_{pullup} усилителя с общим эмиттером, а во втором — нагрузочный резистор эмиттерного повторителя $R_{pulldown}$.

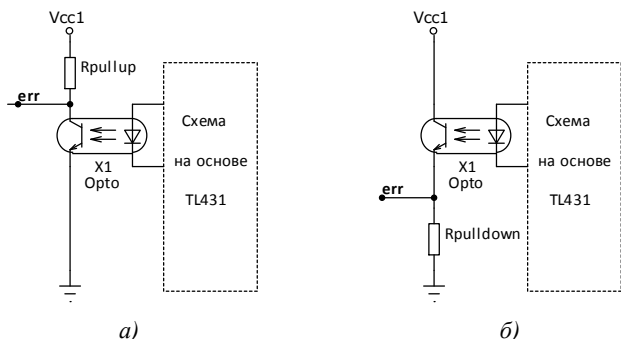


Рис. 1. Выходные каскады оптронного усилителя: а – инвертирующая схема с общим эмиттером; б – неинвертирующая схема с общим коллектором

Однако оптоэлектронный усилитель (при наличии цепей коррекции) формирует лишь скорректированный аналоговый сигнал рассогласования выходного напряжения на первичной высоковольтной стороне, а для силового ключа требуется дискретный ШИМ сигнал, способный к тому же управлять затвором (емкостная нагрузка) MOSFET-транзистора. Для этой цели по-прежнему на первичной стороне удобно использовать микросхемы промышленно выпускаемых ШИМ-контроллеров (например, UCC38C43 и др.), питаемых от дополнительной обмотки силового трансформатора.

Возникает вопрос как правильно подключить микросхему ШИМ-контроллера к оптоэлектронному усилителю для организации полноценного тракта отрицательной обратной (ООС) связи СИИП?

ШИМ-контроллер стандартно строится таким образом (рис. 2), что интегральная микросхема имеет внешние выводы выхода внутреннего усилителя ошибки (COMP) и его инвертирующего входа (FB) [3]. Так ШИМ-контроллер проектируется для того, чтобы можно было подключить к этим выводам корректирующие цепи, необходимые в каждом конкретном импульсном стабилизаторе. При использовании оптоэлектронного усилителя корректирующие цепи ставятся в цепи обратной связи TL431, поэтому заложенный производителем набор функций, выполняемых внутренним усилителем ошибки, в рассматриваемом случае СИИП уменьшается. Т.е. корректирующие звенья на основе ШИМ-контроллера не используются.

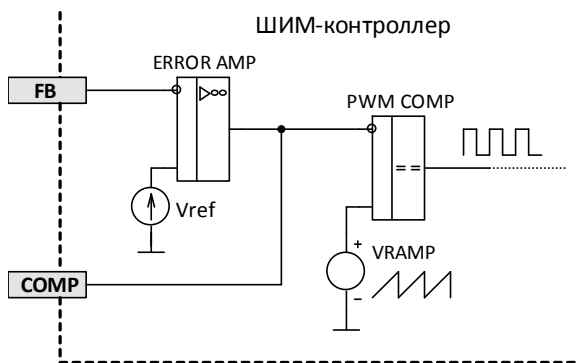


Рис. 2. Фрагмент функциональной схемы ИМС типового ШИМ-контроллера: блок усилителя рассогласования, управляющего ШИМ-компаратором

Внешние выводы FB и COMP можно использовать для подключения сигнала рассогласования с оптоэлектронного усилителя к ШИМ-компаратору ИМС контроллера. Оптоэлектронные усилители сигнала ошибки (рис. 1) проектируются и рассчитываются таким образом, чтобы его уровни насыщения выходного сигнала равнялись бы соответствующим уровням усилителя ошибки ШИМ-контроллера [2]. Когда на выходе усилителя ошибки контроллера присутствует напряжение насыщения верхнего уровня, усилитель имеет низкую нагрузочную способность (высокое выходное сопротивление). Это дает возможность подключить к нему непосредственно выход инвертирующего оптоэлектронного усилителя, организовав тем самым в СИИП гальванически развязанную ООС (рис. 3). Для обеспечения нахождения встроенного усилителя контроллера в режиме верхнего насыщения его инвертирующий вход (вывод FB) должен быть подключен к общему проводу первичной стороны (рис. 3).

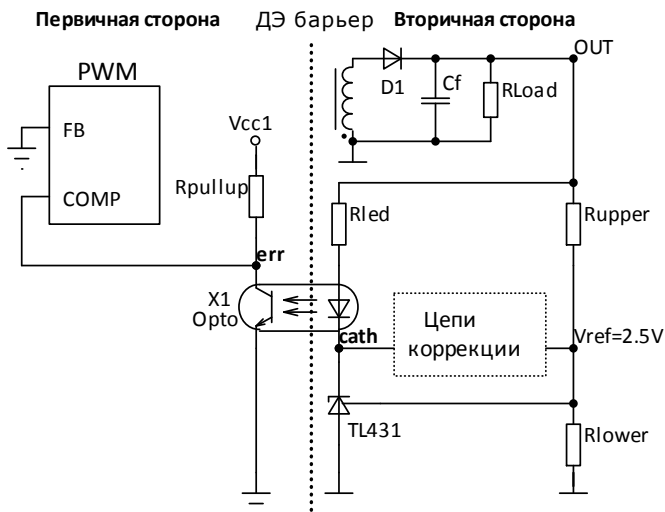


Рис.3. Подключение инвертирующего оптронного усилителя к ШИМ-контроллеру

Если в конкретном СИИП необходимо использовать неинвертирующий усилитель (рис. 1, б), то для организации ООС по выходному напряжению необходимо проинвертировать его выходной сигнал. В этом случае в качестве инвертирующего усилителя может быть использован тот же усилитель ошибки ИМС ШИМ-контроллера, дополненный внешними резистивными цепями. Внешние резисторы R1 и R2 (рис. 4) одинаковых номинальных значений сопротивлений превращают внутренний усилитель ошибки в инвертирующий повторитель.

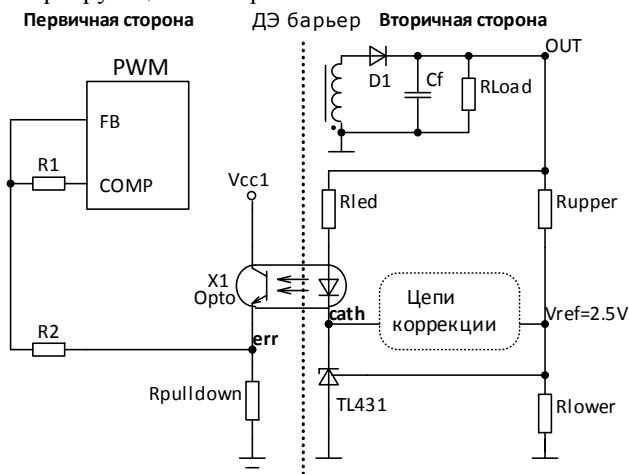


Рис. 4. Подключение неинвертирующего оптронного усилителя к ШИМ-контроллеру

Рассмотренные выше способы подключения инвертирующего и неинвертирующего оптронных усилителей к ШИМ-контроллеру проверялись с помощью моделирования в среде программы схемотехнического анализа. В качестве последней использовалась программа Micro-Cap 10-ой версии, имеющая в составе библиотек моделей электронных компонентов модели ШИМ-контроллеров (обобщенных GENERIC и конкретных, выпускаемых промышленностью), модели диодно-транзисторных оптронов и параллельного стабилизатора TL431.

Компьютерное моделирование в среде программы Micro-Cap 10 рассмотренных выше схем показало получение необходимого закона и диапазона регулирования относительной длительности импульсов управления силовыми ключами. При увеличении сигнала на входе оптронного усилителя (увеличении выходного напряжения) относительная длительность импульсов управления ключом уменьшалась, при уменьшении — длительность увеличивалась. Диапазон изменения коэффициента заполнения получался полным, т.е. от нуля до единицы.

Коэффициент передачи разомкнутого тракта ООС на малом сигнале в окрестности стационарного режима составил величину порядка 2500–6500. Данного значения параметра разомкнутой системы вполне достаточно для поддержания заданного выходного напряжения с высокой точностью в замкнутой системе стабилизации.

Синтез корректирующих цепей тракта ООС для режима управления СИИП Voltage Mode [1] продемонстрирован в [4], он подходит для обоих вариантов оптронного усилителя.

Список литературы

1. Браун, М. Источники питания. Расчет и конструирование: Пер. с англ. – К.: «МК-Пресс», 2007. – 288 с.
2. Амелина, М.А. Особенности расчета параметров цепи обратной связи с оптоэлектронной гальванической развязкой / М.А. Амелина, С.А. Амелин // Энергетика, информатика, инновации – 2018 (микроэлектроника и оплотехника): сб. трудов VIII-ой межд. науч.-техн. конф.: в 3 т. Т 2. – Смоленск «Универсум», 2018. – С. 13–19.
3. Мелешин, В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – Москва: Техносфера, 2005. – 632 с.
4. Амелина, М.А. Использование схемотехнического моделирования для проверки методики синтеза корректирующих цепей импульсных стабилизаторов напряжения / М.А. Амелина, А.С. Амелин // САПР и моделирование в современной электронике [Текст] + [Электронный ресурс]: сб. науч. тр. II Международной научно-практической конференции / под ред. Л.А. Потапова, А.Ю. Дракина. – Брянск: БГТУ, 2018. – Ч.1. – С. 8–12.

Материал поступил в редколлегию 08.10.19.