

При низком уровне шума, в данном случае при шуме минус 20 дБ, восстановление сигнала происходит достаточно точно. При больших уровнях шума, минус 6 дБ и 0 дБ, сложно судить о качестве процедуры демодуляции, так как сигнал сильно искажается. Но все же стоит отметить, что есть методы кодирования, например, NRZ-M и манчестерский, при которых восстановление сигнала происходит эффективнее, чем в других случаях.

Таким образом, удалось произвести полный цикл передачи сигнала, преобразованного по определенному принципу линейного кодирования. Данная работа выходит за рамки стандартной лабораторной работы, предложенной разработчиками оборудования, а значит может быть использована как основа для проведения усложненных лабораторных работ по таким дисциплинам, как «Цифровая обработка сигналов», «Радиопередающие и радиоприёмные устройства».

#### Список литературы

1. Дункан, Б. Етона DATEx. Руководство к лабораторному практикуму. Эксперименты по основам современных аналоговых и цифровых методов телекоммуникаций. Том 1. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2008. – 399 с.

2. Дункан, Б. Етона DATEx. Руководство к лабораторному практикуму для NI ELVIS I и II. Дальнейшие эксперименты по современным аналоговым и цифровым телекоммуникациям. Том 2. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013. – 201 с.

*Материал поступил в редколлегию 09.10.19.*

DOI: 10.30987/conferencearticle\_5e028214cf7c92.84603449  
УДК 621.37

С.Г. Чумаров, В.К. Чернов

(г. Чебоксары, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова)

S.G. Chumarov, V.K. Chernov (Cheboksary, Chuvash State University)

### ИССЛЕДОВАНИЕ МОСТОВОГО УСИЛИТЕЛЯ ТОКА С ПИ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

#### RESEARCH OF BRIDGE CURRENT AMPLIFIER WITH PI CONTROLLER

*Проведено исследование мостового усилителя тока с пропорционально интегральным регулированием, выстроена принципиальная схема в программе-симуляторе и осуществлено ее моделирование. На основе полученных результатов сделаны выводы о возможностях работы модели устройства.*

*A bridge current amplifier with proportional integral control was studied, a circuit diagram was built in the simulation program, and its modeling was carried out. On the basis of the results suggests the possibility of the device model.*

*Ключевые слова: мостовой усилитель, ПИ-регулятор, драйвер,*

моделирование, переходная характеристика.

*Keywords:* bridge amplifier, PI controller, gate driver, modeling, step response.

Мостовые схемы используются во многих усилителях мощности, нагрузка которых подключается к выводам усилителя с противофазными сигналами. Применение таких схем обусловлено большой выходной мощностью на нагрузке и повышенным КПД [1]. К недостаткам такой схемы можно отнести вероятность появления синфазной помехи на выходе, обусловленной прохождением сигнала по последовательно включенным усилителям. Уменьшение уровня отклонения выходного сигнала от входного возможно при включении в цепи обратной связи ПИ-регулятора, который вычисляет величину ошибки между заданной уставкой и измеренным значением на выходе усилителя.

Для исследования работы мостового усилителя тока используется его компьютерная модель (рис.1) на основе SPICE-моделей элементов [1]. Модель позволяет оценить параметры схемы, рассчитать номиналы элементов до её практической реализации путем многократного моделирования [1-3].

На инвертирующий вход компаратора подается высокочастотный сигнал треугольной формы, на неинвертирующий вход – выходной сигнал с ПИ-регулятора. На выходе компаратора формируется сигнал с широтно-импульсной модуляцией, поступающий на вход драйвера DA2, а с выхода компаратора DA1 через инвертор сигнал поступает на другой драйвер DA4.

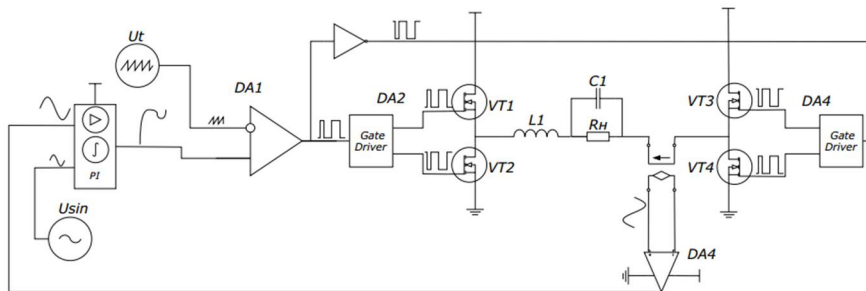


Рис. 1. Функциональная схема усилителя

Применение драйвера улучшает время переключения между парой транзисторов VT1, VT2 и VT3, VT4. Тогда как один транзистор находится в открытом состоянии, то есть проводит ток, другой транзистор закрыт. После поступления положительного управляющего сигнала на вход закрытого транзистора он открывается и начинает проводить ток, а другой в это время закрывается [4]. Использование такого нелинейного сигнала с ШИМ характеризует импульсный режим работы, который позволяет уменьшить

потери мощности.

Для выделения полезной низкочастотной составляющей сигнала необходимо фильтрующее устройство, состоящее из простейшей LC-цепи, частота среза которого соответствует необходимой частоте. На рис. 3 изображены входной и выходной сигналы.

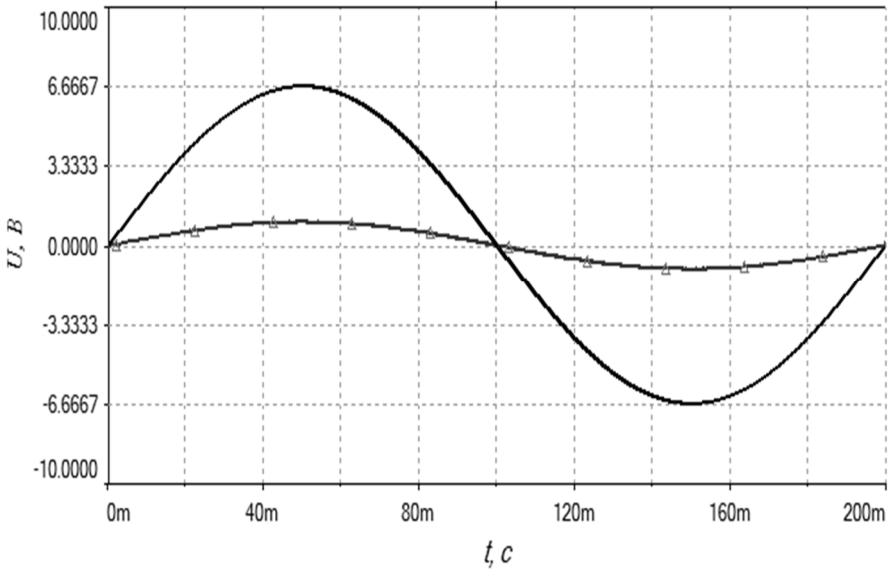


Рис. 3. Выходной и входной сигналы

Для организации обратной связи последовательно НЧ-фильтру включен источник тока, управляемый напряжением, выходной сигнал которого поступает на операционный усилитель в дифференциальном включении [1]. Далее усиленный сигнал поступает в пропорционально-интегральный регулятор, сравнивающий два сигнала на его входе.

Переходная характеристика ПИ-регулятора при ручной настройке для различных коэффициентов показана на рис. 4. Перерегулирование колебательного процесса с самой максимальной амплитудой составляет 190%. Для затухающего процесса со второй по величине амплитудой пикового значения уровень перерегулирования достигает 15%, при этом время переходного процесса составляет около 16 мс. При таких условиях реализации система может вести себя устойчиво. Стабильность работы оборудования особо важна в автоматизированных системах управления и в терминалах релейной защиты и автоматики из-за возможных резких скачков тока на входе.

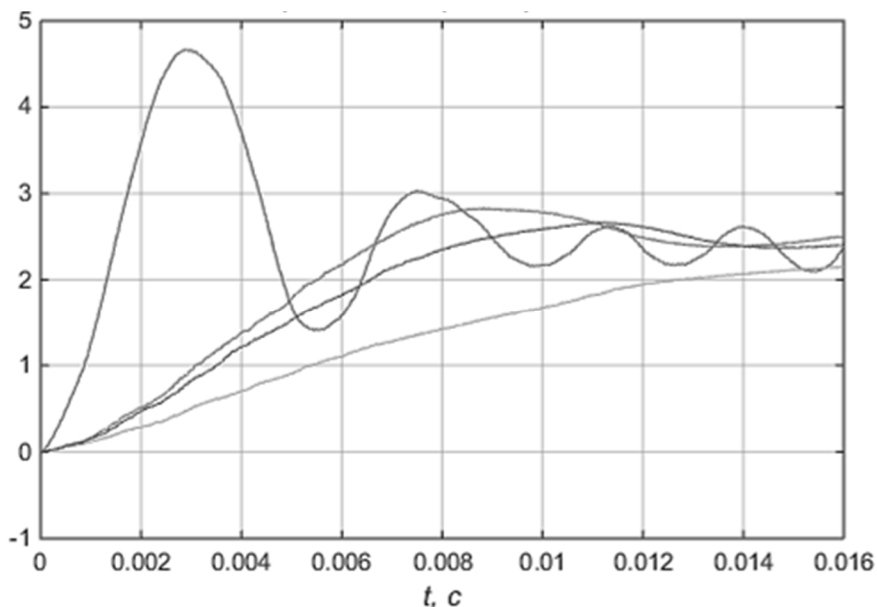


Рис. 4. Переходная характеристика

Таким образом, использование импульсного режима работы мостового усилителя тока для различных типов нагрузки позволяет увеличить КПД устройства. Применение в цепи обратной связи пропорционально-интегрального регулятора уменьшает величину переходного процесса и величину перерегулирования, что повышает устойчивость системы к скачкам тока на входе при любом характере нагрузки.

#### Список литературы

1. Чумаров, С.Г. Моделирование импульсных усилителей тока в среде Altium Designer // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: материалы 13-й всерос. науч.-техн. конф. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та. – 2019. – С. 439-441.
2. Захаров, В.Г. Алгоритм машинного расчета линейных электрических цепей в символьном виде / В.Г. Захаров, А.Г. Чертановский, А.В. Мальшев // Вестник Чувашского университета. – 2004. – № 2. – С. 150-155.
3. Чертановский, А.Г. Методика моделирования переходных процессов в однотактных каскадах на биполярных транзисторах // Нелинейный мир. – 2010. – Т. 8. – № 1. – С. 36-41.
4. D.Grahame Holmes. Pulse width modulation for power converters: principles and practice/ D.Grahame Holmes, Thomas A. Lipo// IEEE Press, 2003. – ISBN 0-471-20814-0.

Материал поступил в редколлегию 30.09.19.