

РАЗДЕЛ II. КОМПОНЕНТЫ И МЕТОДЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

УДК 621.316.721

ВЫСОКОТОЧНЫЙ МЕТОД ШИМ-РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЫХОДНОГО ТОКА ИМПУЛЬСНОГО СТАБИЛИЗАТОРА ПОСРЕДСТВОМ ЦИФРОВОГО ПРЕДСКАЗАТЕЛЯ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ АДАПТАЦИИ К ДИНАМИКЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАГРУЗКИ

А.А. Соловьев, В.И. Иордан, А.И. Постоев

В статье рассматривается высокоточный метод управления импульсным стабилизатором тока, основанный на адаптации параметра скважности широтно-импульсной модуляции (ШИМ) сигнала управления инвертором к динамике изменения режимов нагрузки. Адаптация скважности ШИМ-сигнала управления инвертором к динамике изменения нагрузки достигается за счет цифрового предсказания значения выходного тока стабилизатора по его измеренным значениям.

Ключевые слова: источник тока, широтно-импульсная модуляция, адаптация, предсказание

Введение

Разработка и совершенствование уже зарекомендовавших себя стабилизированных источников питания и в настоящее время является актуальной задачей в области создания уникальной информационно - измерительной аппаратуры, применяемой не только для научных исследований, но и в производстве высокотехнологичной электронной техники. Например, для калибровки и поверки пирометров, измеряющих температуру нагретых тел, используют различные температурные эталоны – модели абсолютно черного тела. Для питания эталонного источника теплового излучения, такого как, например, эталонная температурная лампа с вольфрамовой лентой (модель ТРУ 1100-2350), необходимо использовать стабилизированный регулируемый источник постоянного тока, который позволяет обеспечить достаточно высокую точность калибровки измерительных приборов. Обеспечение высокой стабильности постоянного выходного тока источника тока является традиционно сложной для технического решения задачей.

Для решения указанной задачи авторами предложен высокоточный метод (способ) управления импульсным стабилизатором тока, основанный на адаптации параметра скважности широтно-импульсной модуляции (ШИМ) сигнала управления инвертором к динамике изменения режимов нагрузки. Метод заключается в том, что текущее значение то-

ка измеряется непосредственно в цепи нагрузки импульсного стабилизатора, затем оно оцифровывается и сохраняется в памяти микроконтроллера с последующим вычислением программным способом параметра скважности ШИМ-сигнала по заданному значению и последовательности сохраненных в памяти значений тока. Только после этого формируется ШИМ-сигнал управления инвертором, а затем выпрямляется и сглаживается выходной ток инвертора.

Описание предлагаемого метода

В [1] известен более простой прототип такого способа управления инвертором в импульсном стабилизаторе тока. Недостатком прототипа является то, что выделяемая при помощи пикового детектора в выходной цепи инвертора амплитуда переменного тока, отсуждаемая с текущим значением стабилизируемого постоянного тока цепи нагрузки и сравниваемая с заданным значением тока, используется для стабилизации выходного тока. На самом деле, имеется существенное различие между значением стабилизированного постоянного тока в цепи нагрузки и значением выделяемой детектором амплитуды переменного тока в выходной цепи инвертора, обусловленное тепловыми потерями в цепях трансформатора, выпрямителя и сглаживающего фильтра. Поэтому в прецизионных стабилизаторах постоянного тока такой способ не может обеспечить заданную высокую точность стабилизации выходного тока.

РАЗДЕЛ II. КОМПОНЕНТЫ И МЕТОДЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Недостатком является также и то, что в условиях изменения режима нагрузки прототип не позволяет динамически корректировать параметр скважности управляющего аналогового ШИМ-сигнала, что ограничивает возможности по улучшению и достижению высокой точности управления стабилизатором постоянного тока.

В предлагаемом здесь методе в определенные тактовые моменты времени измеряется ток, протекающий через нагрузку, затем после его оцифровывания с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) сохраняется в памяти микроконтроллера (МК). При этом перед записью текущего значения тока в памяти МК всегда хранятся m соответствующих предыдущим тактовым моментам времени значений тока, из которых первое значение, предшествующее остальным значениям, удаляется со сдвигом всей последовательности на одну позицию, а текущее значение сохраняется в конце последовательности. Параметр m определяется в соответствии с требуемым качеством стабилизации выходного тока.

Для вычисления «прогнозного» значения параметра скважности ШИМ-сигнала управления инвертором с помощью соответствующей программы МК используются заданное пользователем значение тока, а также последовательность из m значений выходного тока стабилизатора, хранимых в оперативной памяти МК и включающих в себя текущее измеренное значение. Определенное таким способом значение скважности ШИМ-сигнала позволяет с достаточно высокой вероятностью прогнозировать дальнейшее изменение величины выходного тока и тем самым компенсировать это изменение соответствующим изменением скважности ШИМ-сигнала управления инвертором.

От разрядности АЦП напрямую зависит точность стабилизации, и она оценивается известным выражением $q=1-\varepsilon$, где q – оцениваемая точность стабилизации, $\varepsilon=1/2^n$ – погрешность стабилизации; n – разрядность аналого-цифрового преобразования.

Для предотвращения «модуляции» выходного тока в цепи нагрузки, связанной с ошибками в квантовании скважности управляющего ШИМ-сигнала, и обеспечения устойчивой стабилизации, разрядность ШИМ-контроллера выбирается исходя из условия превышения его разрядности над разрядностью АЦП, что не может быть обеспечено стандартными модулями ШИМ-контроллеров, входящих в состав МК. Поэтому в данном случае более эффективной реализацией

цифрового ШИМ-контроллера может быть применение программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС), в программной конфигурации которой выделяются функциональные блоки: счетчик импульсов, генератор прямоугольного напряжения и регистр скважности. Работа ШИМ-контроллера заключается в том, что счетчик считает импульсы от генератора прямоугольного напряжения, при совпадении значения счетчика со значением в регистре скважности схема формирования выходного сигнала формирует фронт управляющего сигнала. Сброс и генерация спада управляющего сигнала происходит при выполнении счетчика.

Принцип работы устройства

На рисунке 1 представлена структурная схема устройства, реализующего данный метод регулирования (управления) выходного тока.

Входной фильтр 1 сглаживает пульсации от нестабилизированного источника напряжения, например, от низкочастотного трансформатора с выпрямителем, подключенного к сети переменного тока напряжением 220 В частотой 50 Гц. Инвертор 2 пропорционально скважности управляющего сигнала формирует на выходе импульсный ток, который (без какой-либо трансформации) поступает непосредственно на выпрямитель 3. Выпрямитель 3 преобразует импульсный ток с выхода инвертора в постоянный, который затем сглаживается с помощью выходного фильтра 4 и подается в нагрузку 5, в цепи которой последовательно включен прецизионный низкоомный шунт 6. Напряжение с шунта 6, которое, согласно закону Ома, пропорционально току, поступает на АЦП 8 через предусилитель 7, который преобразует напряжение, снимаемое с шунта 6, до необходимого уровня в соответствии с динамическим диапазоном входного напряжения на АЦП 8. Дискретное значение выходного напряжения АЦП 8 передается в МК 9, где пересчитывается в цифровые значения тока. МК 9 определяет численную оценку значения скважности программным способом, использующим алгоритмы «предсказания», и передает ее в цифровой ШИМ-контроллер 10, который формирует сигнал прямоугольной формы для управления инвертором 1. Изготовленный импульсный стабилизатор тока был применен для питания «температурной эталонной» лампы накаливания ТРУ 1100-2350 в качестве модели «абсолютно черного тела», и тем самым прошел тестирование в отношении заявленной в паспорте лампы точности стабилизации тока питания лампы. Верхний предел питания

ВЫСОКОТОЧНЫЙ МЕТОД ШИМ-РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЫХОДНОГО ТОКА ИМПУЛЬСНОГО СТАБИЛИЗАТОРА ПОСРЕДСТВОМ ЦИФРОВОГО ПРЕДСКАЗАТЕЛЯ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ АДАПТАЦИИ К ДИНАМИКЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАГРУЗКИ

лампы накаливания, для которого гарантируется градуировка ее температурной характеристики, ограничивается током порядка 25 А.

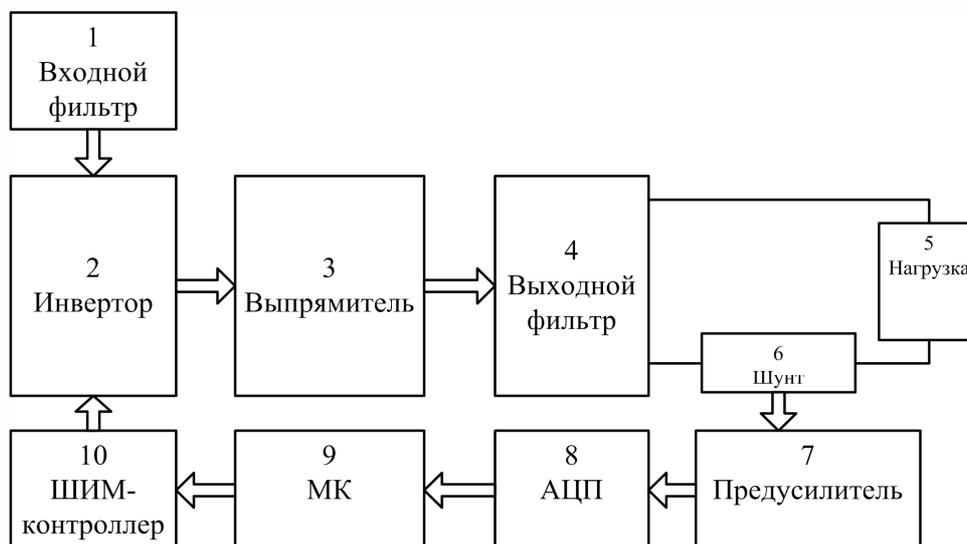


Рисунок 1 - Схема управления импульсным стабилизатором тока на основе адаптивного ШИМ-управления инвертором

Тестирование предлагаемого метода

Для гарантирования минимальной погрешности на температуру эталона, указанной в паспорте лампы, требуется точность стабилизации не менее 99,95% (нестабильность не более 0,05%). В схеме стабилизатора (рисунок 1) был применен микроконтроллер AT91SAM7S321-AU с разрядностью 32 бита, АЦП AD7899ARZ-3 с разрядностью 14 бит и ШИМ-контроллер на основе ПЛИС EPM3128ATC100-10N с разрядностью 16 бит. Инвертор и выпрямитель реализован по стандартной понижающей схеме на основе двух полевых транзисторов, катушки индуктивности и конденсатора.

Для тестирования метода (способа) были выбраны значения в начале, в середине и в конце диапазона выходного тока: 1,0199 А, 15,889 А, 24,949 А. Ниже в табл. 1 приведены результаты тестовых испытаний, в которых контролировалось заданное значение постоянного тока в нагрузке стабилизатора, соответствующее 24,949 А.

Изменения выходного тока стабилизатора в установившихся режимах для указанных значений тока оказались, соответственно, равны $1,0199 \pm 0,0002$ А; $15,889 \pm 0,002$ А и $24,949 \pm 0,004$ А. Промежуток времени между соседними отсчетами измеренного выходного тока соответствовал 0,1 с. Время выхода на номинальный режим работы занимает 0,7 с.

Таблица 1 - Изменение выходного тока импульсного стабилизатора

№	Ток, А	№	Ток, А
1	24,951	26	24,952
2	24,951	27	24,945
3	24,952	28	24,953
4	24,947	29	24,952
5	24,945	30	24,949
6	24,950	31	24,946
7	24,946	32	24,953
8	24,946	33	24,949
9	24,947	34	24,950
10	24,947	35	24,951
11	24,950	36	24,951
12	24,948	37	24,952
13	24,948	38	24,950
14	24,952	39	24,952
15	24,948	40	24,948
16	24,953	41	24,952
17	24,950	42	24,953
18	24,949	43	24,952
19	24,948	44	24,948
20	24,953	45	24,953
21	24,953	46	24,946
22	24,950	47	24,949
23	24,950	48	24,953
24	24,953	49	24,949
25	24,951	50	24,951

РАЗДЕЛ II. КОМПОНЕНТЫ И МЕТОДЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Изготовленный импульсный стабилизатор тока, подтвердивший в испытаниях предъявляемые к нему требования по точности стабилизации выходного тока, совместно с «температурной эталонной» лампой накаливания ТРУ 1100-2350 в качестве модели «абсолютно черного тела», были использованы авторами в качестве основных блоков автоматизированного комплекса [2], обеспечивающего калибровку чувствительности ячеек ПЗС-фотоприемника. Откалиброванный ПЗС-фотоприемник, в свою очередь, применялся для регистрации интегрального теплового спектра частиц металлического порошка, «затопленного» в плазменную струю для напыления упрочняющих покрытий на изделия [2]. Метод «обращения» интегрального теплового спектра частиц [2], который позволяет определять распределение частиц по температурам в различных поперечных сечениях технологической струи, в том числе в непосредственной близости от напыляемой поверхности, можно использовать для контроля и управления режимными параметрами процесса напыления покрытий.

Вывод

Таким образом, предлагаемый метод, основанный на адаптации параметра скваж-

ности ШИМ-сигнала управления инвертором к динамике изменения режимов нагрузки за счет цифрового предсказания значения выходного тока стабилизатора по его измеренным значениям, позволяет обеспечить высокую точность стабилизации выходного тока стабилизатора не менее 99,98% в широком диапазоне значений от 1 до 25 А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент 2366067 Российская Федерация, МПК Н 02 М 3/335. Способ управления импульсным стабилизатором тока [Текст] / В.Е. Балахонцев, А.И. Заико, В.Н. Зелепукин; приоритет от 14.04.08; опубл. 27.08.09. Бюл.И. № 24.
2. В.И. Иордан. Редукция температурного распределения частиц гетерогенных потоков методом «обращения» их интегрального теплового спектра / В.И. Иордан, А.А. Соловьев. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки.-2010.-№ 2(98).-С. 85-95.

Ассистент А.А. Соловьев – asus_work@mail.ru; к.ф.-м.н., доц. В.И. Иордан – jordan@phys.asu.ru; аспирант А.И. Постоев – alexstud@bk.ru - Алтайский Государственный университет, кафедра вычислительной техники и электроники, (385-2) 38-07-51.

УДК 53.082.56:534.647

ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ЧАСТОТЫ ГАРМОНИЧЕСКОЙ ВИБРАЦИИ, ОСНОВАННЫЙ НА ПРИМЕНЕНИИ УТЕЧКИ СПЕКТРА ДИСКРЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ

Е.А. Зрюмов, С.П. Пронин, П.А. Зрюмов

В статье описан оптический метод контроля частоты гармонической вибрации. Применение эффекта утечки спектра при использовании дискретного преобразования Фурье позволяет значительно повысить чувствительность контроля.

Ключевые слова: оптический метод контроля, многоэлементный фотоприемник, дискретное преобразование Фурье, утечка спектра, обработка изображений.

В настоящее время актуальной проблемой является разработка высокочувствительных методов контроля частоты гармонической вибрации двигателей, турбин, строительных конструкций для предотвращения разрушений и аварий технических систем. Перспективным подходом является применение оптических методов с использованием многоэлементных фотоприемников, которые позволяют бесконтактно производить контроль параметров вибрации. Анализ параметров гармонической вибрации сводится к

поиску положения экстремумов в изображении тест-объекта. Для решения этих задач могут быть использованы методы спектральной обработки сигналов, обеспечивающие высокую помехозащищенность и точность измерений. Однако применение дискретного преобразования Фурье дает утечку спектра, которая искажает сигнал, но утечка спектра может быть информативным параметром при контроле частоты гармонической вибрации.