

# ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ АППАРАТУРЫ

*А. М. СЕМЕНЕЙ, Д. В. СНЕЖКО*

Работа посвящена разработке высоковольтного программно-управляемого преобразователя, предназначенного для питания фотоэлектронного умножителя, используемого для исследования в оптическом канале биологических проб. Проведен анализ методов получения высокого напряжения, обосновано использование высоковольтного трансформаторного преобразователя со стабилизацией выходного напряжения методом широтно-импульсной модуляции. Описаны особенности разработки и технические решения, примененные при построении высоковольтного преобразователя.

The research is devoted to the development of a high voltage software-controlled converter for power supply of a photomultiplier tube used for investigation in an optical channel of biosamples. The analysis of high voltage generation methods was conducted, the use of a high voltage transforming converter with output voltage stabilization by pulse width modulation method is grounded. Peculiarities of the development and technical solutions that are used for creating the high voltage converter are described.

## ВВЕДЕНИЕ

Источник питания является неотъемлемой частью любого электронного аппарата, во многом определяя его габариты и экономические характеристики [1]. К источникам электропитания медицинской техники предъявляются дополнительные требования по гальванической развязке, надежности, создаваемым акустическим шумам и т.п. [2].

Исследование биологических объектов в оптическом канале является одним из наиболее информативных способов получения информации о протекающих в нем процессах. Данные исследования являются прерогативой биофотоники [1] — науки, объединяющей в себе передовые достижения в таких областях, как люминесцентные исследования, разработка сенсоров, нанотехнологии, применительно к исследованию биологических объектов [2]. Разнообразна область задач решаемых биофотоникой: . Необходимость их проведения в медицинской практике подчеркивает актуальность подобных исследований.

Для этого в разрабатываемой технике применяются широкий спектр фотоэлектронных преобразователей: фотодиоды, приборы с зарядовой связью, фотоэлектронные умножители (ФЭУ) [3-4].

Уменьшение количеств (объемов) исследуемых образцов приводит к необходимости использования высокочувствительных преобразователей, способных к работе со сверхслабыми интенсивностями аналитического оптического сигнала. По этой причине развитие медицинской аналитической техники непосредственно связано с решением задачи эффективной регистрации оптического излучения. И здесь следует выделить среди оптических преобразователей ФЭУ, которые имеют ряд преимуществ в таких технических параметрах, как чувствительность, спектральный диапазон. Это делает их незаменимым инструментарием в передовых исследованиях биологических объектов в медицинских целях.

До недавнего времени к недостаткам ФЭУ можно было отнести большие габаритные размеры данных устройств. Однако в последние годы появились достаточно миниатюрные образцы. Поэтому фактором, сдерживающим внедрение ФЭУ, является необходимость использования стабильных высоковольтных источников питания.

Целью работы является разработка преобразователя высокого напряжения для питания ФЭУ, используемого в медицинской технике для измерения слабых световых потоков биологических объектов.

## 1. ТЕХНИЧЕСКИЙ ПОДХОД

Широкое распространение получили несколько методов стабилизации потенциалов диодной системы ФЭУ. Так, при использовании пассивных делителей высокого напряжения для стабилизации последних диодов часто используются дополнительные высокоточные источники напряжения. Однако данный метод преимущественно применяется в лабораторных условиях, при высокой токовой нагрузке ФЭУ. Другим методом является использование активных делителей, где для питания последних диодных промежутков используются диоды Зеннера [5] или транзисторы с высоким коэффициентом усиления по току [6]. Достаточно широкое распространение получили схемы питания на основе умножителя напряжения Кокрофт-Валтона, достоинствами которой является малая потребляемая мощность при высоких и средних диодных токах, низковольтное питание, возможность индивидуальной регулировки усиления.

В работе предложено использование трансформаторной схемы высоковольтного преобразователя. Данная схема построения преобразователей характеризуется высоким КПД, стабильностью, возможностью широкой регулировки выходного напряжения. Дополнительными факторами выбора трансформаторной схемы построения преобра-

зователя напряжения является: появление серийных образцов малогабаритных высоковольтных трансформаторов на ферритовых низкопрофильных сердечниках, предназначенных для поверхностного монтажа; появление ультрабыстрых выпрямляющих диодов с высоким рабочим напряжением и малым обратным током; доступность высоковольтных высокочастотных малогабаритных керамических конденсаторов. В сочетании с преобразованием напряжения по методу широтно-импульсной модуляции (ШИМ), реализованной на ШИМ-контроллере UC3825A фирмы Texas Instrument в предложенной схеме преобразователя напряжения, удалось получить высоковольтный источник питания с высоким КПД, малыми габаритами, большим рабочим диапазоном выходного напряжения, высокой стабильностью. Использование низковольтного питания схемы делает ее удобным для интеграции в аналитическую технику, используемую не только в лабораторных, но и полевых условиях проведения анализа (например, мобильных диагностических медицинских системах, системах мониторинга окружающей среды).

## 2. СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПЯЖЕНИЯ

Для достижения поставленной цели проведена разработка высоковольтного источника питания, структурная схема которого представлена на рис. 1. Он обеспечивает формирование напряжение анодного питания ФЭУ, величина которого программно устанавливается в диапазоне от 0 до 2000 В при выходной мощности 2 Вт.

Особенностью устройства является использование ШИМ-контроллера, в составе которого предусмотрена схема слежения за током в первичной обмотке трансформатора. Данный узел позволяет корректировать сигнал управления силовыми ключами для снижения коммутационных пульсаций в

выходных цепях. Применение ШИМ-контроллера серии Unitrode позволяет получить наличие функций, отличающих его от стандартных контроллеров: малый ток запуска, высокая точность частоты тактового генератора, подавления выбросов (пульсаций) в первичной цепи, большой выходной ток, широкая полоса пропускания усилителя ошибки. При этом в контроллере реализуется следующий набор защит: защита от пониженного напряжения питания; наличие низкого активного уровня выходного сигнала управления силовыми ключами при срабатывании защиты от малого напряжения питания; фиксированная логика обработки сбоя; полный цикл плавного пуска; пауза после сбоя, предваряющая перезапуск схемы.

Управление выходным напряжением осуществляется сменой опорного сигнала, задаваемого АЦП при его программировании, на усилителе сигнала ошибки. Использование 12-битного АЦП с последовательным интерфейсом позволяет реализовать перестройку выходного напряжения с шагом в 1 В.

Стабилизация выходного напряжения осуществляется через цепь обратной связи, сигнал которой поступает с резистивного делителя на усилитель сигнала ошибки. Последний выделяет дифференциальный сигнал рассогласования и формирует сигнал управления для широтно-импульсного модулятора с тем, чтобы свести к минимуму величину сигнала рассогласования. В разработанном преобразователе усилитель ошибки включен по схеме дифференциального усилителя с разорванной петлей отрицательной обратной связи по постоянному току. Этим обеспечивается максимальное усиление сигнала ошибки рассогласования, необходимое для достижения необходимого уровня стабилизации высокого напряжения.

Силовыми ключами выступают полевые транзисторы с низким сопротивлением канала, что приводит к снижению тепловыделения и, следо-

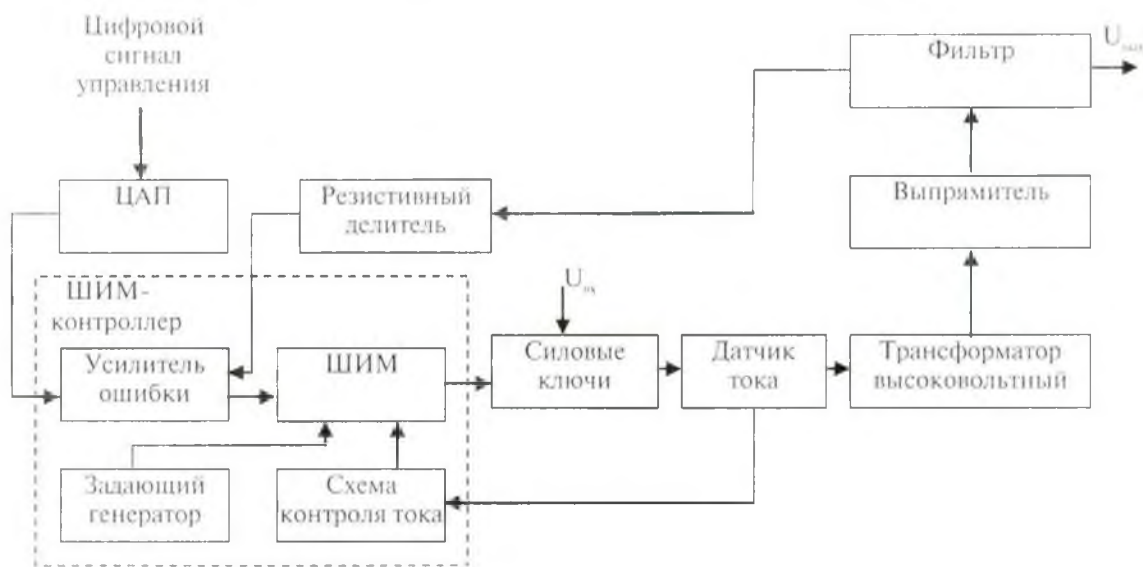


Рис. 1. Структурная схема источника питания

зательно, к повышению КПД, которое для предложенной схемы составляет 71%.

Выбор двухтактной схемы работы преобразователя аргументируется ее преимуществами по сравнению с однотактными (широко используемых для получения высокого напряжения для электронно-лучевых трубок). К ним относятся более низкий уровень импульсных и электромагнитных помех.

Важно отметить наличие «мертвого времени» в сигнале управления, что даже при максимальном значении напряжения управления, импульсы имеют защитный интервал для предотвращения возникновения сквозных токов в силовых ключах.

В качестве повышающего трансформатора используется малогабаритный импульсный высоковольтный трансформатор для поверхностного монтажа VLC-18 фирмы Токо, использующийся для питания флуоресцентных ламп с холодным катодом.

Одной из проблем импульсных преобразователей является наличие пульсаций выходного напряжения после выпрямителя. Решением данной проблемы является построение многозвенного выходного фильтра. Его моделирование осуществлялось в среде сквозного проектирования Electronics Workbench 6.0, результаты которого представлены на рис. 2, в виде осциллограммы выходного сигнала, регистрируемой на «виртуальном» осциллографе. В предложенной схеме многозвенный фильтр реализован на RC цепочках с проходным конденсатором на выходе, что сводит к минимуму присущие всем импульсным блокам питания пульсации. Использование фильтров с индуктивными преобразователями малоэффективно для низкоточных цепей, поскольку требуется реализация больших значений индуктивности, как следствие к значительным габаритам данных элементов. В предложенной схеме используется трехзвенный фильтр  $НЧ\ 20нФ - 500\ Ом - 20нФ - 500\ Ом - 750\ нФ - 470пФ$ .

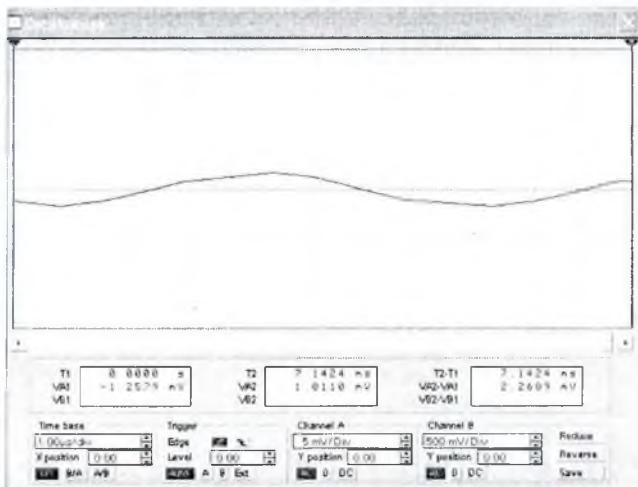


Рис. 2. Результаты моделирования осциллограммы выходного сигнала 2000 В: (2000 В): закрытый вход, чувствительность – 5 мВ/дел., развертка – 1 мкс/дел.

Разработанное устройство имеет схему плавного пуска, защиту от перегрузки и короткого замыкания. При этом реакция устройства на перегрузку и короткое замыкание различна. При нагрузке 110–140% от максимальной допустимой величины происходит ограничение ширины импульсов, а при достижении нагрузки в 150% – происходит переключение выходных ключей микросхемы в состояние низкого уровня, т.е. закрытие силовых ключей схемы. Затем, после выдержки паузы, происходит попытка плавного пуска.

Устройство показывает высокую стабильность выходных параметров и устойчивость в работе. Продолжает нормально функционировать при перепадах входного напряжения  $\pm 25\%$ .

### 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основными моментами при разработке устройства явилось обеспечение электромагнитной совместимости высоковольтного преобразователя. Для чего разработанное устройство размещалось в экранированном корпусе, а выходной сигнал проходил через многозвенный фильтр, чем обеспечивался низкий уровень высокочастотных пульсаций (рис. 3).

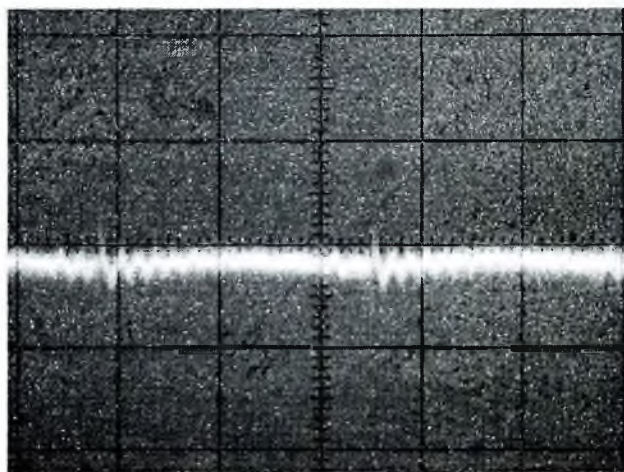


Рис. 3. Осциллограмма выходного сигнала (2000 В): закрытый вход, чувствительность – 5 мВ/дел., развертка – 5 мкс/дел.

Исследования выходного сигнала подтвердили расчетные данные, полученные в ходе математического моделирования высоковольтного преобразователя. Уровень пульсаций выходного сигнала не превышал 0,005%, а стабильность уровня 0,001%. Это удовлетворяет требованиям для использования данного преобразователя как источника питания ФЭУ в токовом режиме регистрации оптического сигнала.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом работы является разработка малогабаритного преобразователя напряжения для питания ФЭУ. Высокая стабильность выходного напряжения устройства предложенной конструк-

ции делает возможным его использование в схемах включения ФЭУ в токовом режиме, в которой ФЭУ имеет широкий динамический диапазон входного оптического сигнала. Тем самым расширяется спектр возможных исследуемых в оптическом канале биологических проб, характеризующихся как интенсивным оптическим аналитическим сигналом, так и со слабым световым потоком.

Сочетание современных технологий в изготовлении фотоэлектронных умножителей и электротехнических решений в построении преобразователей позволяет получить достаточно миниатюрную систему регистрации оптического сигнала, удобную для использования в современных биофотонных анализаторах, применяемых в лабораторном анализе и диагностике при решении различных медицинских задач.

#### Литература.

- [1] Prasad P.N. Nanophotonics. — New Jersey: Wiley Interscience, 2003. — P. 415.
- [2] Prasad P.N. Biophotonics. — New Jersey: Wiley Interscience, 2004. — P. 593.
- [3] Курбатов Л.Н. Оптоэлектроника видимого и инфракрасного диапазонов спектра. — М.: МФТИ, 1999. — 320 с.

- [4] Stephen B., Carl J., Robert D.B. et al. Facilitate In Vivo Monitoring //Biophotonics. — Nov., 2005.— P. 50-52.
5. Yi-Fen Y., Bowman J.D., Bolton R.D. et al. // Nucl. Instrum. and Methods Phys. Res., Sect. A, 2000, vol. 447, p. 476.
6. Makarets A. New DP-Type Socket Assembly / Catalog: Hamamatsu Euro News. — Japans, 2006. — Vol.1. — P. 16-17.

Поступила в редколлегию 6.03.2007



**Семеней Александр Михайлович**, студент кафедры технологии автоматизация производства Харьковского национального университета радиоэлектроники. Область научных интересов: разработка силовой и высоковольтной аппаратуры.



**Снежко Дмитрий Викторович**, кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры биомедицинских электронных приборов и систем Харьковского национального университета радиоэлектроники. Область интересов: разработка аппаратуры для люминесцентных исследований, системное программирование, математическое моделирование.