

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

Основы оптоинформатики

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКЛИКА  
ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И  
СБОРКА ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ И КОРПУСА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ  
ПРОТОТИПА ОПТИЧЕСКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Методические указания к курсовой работе  
для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика»

2012

## **Слядников, Евгений Евгеньевич**

Экспериментальное исследование отклика фоточувствительных материалов, проектирование и сборка источника питания и корпуса для построения прототипа оптической нейронной сети: методические указания к курсовой работе для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» / Е.Е. Слядников; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2012. - 19 с.

Цель данной работы: научить исследовать отклик фоточувствительных материалов, а также проектировать и собирать источник питания и корпус для построения прототипа оптической нейронной сети.

Предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению «Фотоника и оптоинформатика» по курсу «Основы оптоинформатики».

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ

Зав.кафедрой ЭП

\_\_\_\_\_ С.М. Шандаров

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

Основы оптоинформатики

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКЛИКА  
ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И  
СБОРКА ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ И КОРПУСА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ  
ПРОТОТИПА ОПТИЧЕСКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Методические указания к курсовой работе  
для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика»

Разработчик

д-р физ.-мат. наук, проф. каф.ЭП

\_\_\_\_\_ Е.Е. Слядников

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г

## Содержание

Введение.....	4
1 Обзор литературы.....	7
1.1 Теоретическое описание нейронной сети .....	8
1.2 Фоточувствительные материалы.....	9
1.2.1 Фотохромные стекла.....	10
1.2.2 Кристаллы силленитов.....	10
1.3 Перспективы применения .....	11
2 Постановка задачи.....	11
3 Экспериментальная часть.....	12
3.1 Методика и результаты экспериментов.....	12
4 Практическая часть.....	13
4.1 Проектирование и изготовление ВИП.....	13
Заключение.....	15
Список литературы.....	16

## **Введение**

В настоящее время традиционные системы компрессии данных на основе классического преобразования Фурье близки к исчерпанию заложенных в этих методах возможностей [1]. Использование этих методов для систем передачи и хранения медиа данных в условиях постоянного увеличения объемов передаваемых данных возможно либо усложнением систем (экстенсивный путь развития), либо путем разработки новой теоретической базы для их представления и преобразования, основанных как на особенностях структуры медиа данных, так и на специфике человеческого восприятия (интенсивный, инновационный путь).

Актуальность разработки и исследования модели представления, способа и средства компрессии и декомпрессии медиа данных обусловлена необходимостью в совершенствовании существующей технологии передачи цифровой информации. Для решения возникшей проблемы в проекте РФФИ [2] было сформулировано представление, способ и основные принципы функционирования средства компрессии и декомпрессии медиа данных, предназначенные для построения систем и устройств передачи и хранения данных нового поколения. Подобный новый взгляд на модели, способы, средства представления и обработки информации важен для совершенствования технологий передачи и хранения информации для министерств Информационных технологий и Связи, Промышленности и Торговли, Образования и Науки РФ. Особо важно, что такие методы должны базироваться на основе российской интеллектуальной собственности [3].

В течение нескольких лет в ОПИ ТНЦ СО РАН ведутся фундаментальные исследования проблем обработки данных в нанотрубочке цитоскелета нейрона [4–11] и распределенных информационно-телекоммуникационных систем с пакетной передачей данных [12-16]. Результаты этих работ позволили, в частности, сформулировать модель медиа данных, способ и средство компрессии и декомпрессии изображений [3]. Наиболее вероятным кандидатом динамической системы с ассоциативной памятью для интеллектуального кодера и декодера изображений является дипольная система нанотрубочки цитоскелета нейрона [4-11].

По мнению экспертов ЗАО “Элекард Девайсез” и ТУСУР разработанные в результате выполнения проекта модель представления медиа данных, способ и средство компрессии и декомпрессии изображений не имеют мировых аналогов. Предлагаемый способ значительно эффективнее сжимает данные, чем стандартный метод JPEG.

Поскольку дипольная система нанотрубочки цитоскелета нейрона взаимодействует с информационной компонентой света в оптическом диапазоне разумно моделировать ее с помощью оптической нейронной сети. На основе полученных фундаментальных знаний были сформулированы [17]:

- идея о разработке и сборке прототипа оптической нейронной сети для решения задач векторно-матричного умножения, кодирования и декодирования медиа данных, распознавания образов,
- основные принципы и способ функционирования прототипа оптической нейронной сети,
- принципиальная модель и схема прототипа оптической нейронной сети.
- состав основных компонент прототипа оптической нейронной сети (лазер, светодиоды, фоторезисторы, волноводы для распараллеливания лазерного луча, оптические кристаллы, жидкокристаллические пленки и т.д.).

Искусственные нейронные сети обеспечивают высокое распараллеливание вычислительного процесса. Реализация искусственных нейронных сетей на оптоэлектронных устройствах представляет интерес ввиду их высокого быстродействия.

В рамках поставленной задачи ведётся разработка прототипа оптической нейронной сети на дискретных электронных компонентах, способного выполнять оптическое умножение вектора из 8-ми чисел с плавающей точкой на матрицу размерностью 8x8. В качестве функциональной среды данного прибора используется фотохромное стекло. Данный прототип позволит проводить исследования оптических материалов для поиска наиболее подходящего на роль функциональной среды в проектируемом интегральном устройстве.

Целью данной работы является экспериментальное исследование отклика фоточувствительных материалов, а также проектирование и сборка источника питания и корпуса для построения прототипа оптической нейронной сети.

## 1. Обзор литературы.

Рассмотрим физические основы работы, теоретическое описание, основные особенности и характеристики оптической нейронной сети [18,19].

### 1.1 Теоретическое описание нейронной сети

Данное устройство реализует однослойную искусственную нейронную сеть. Такая нейронная сеть состоит из набора входов, матрицы весовых коэффициентов и слоя нейронов Кохонена.

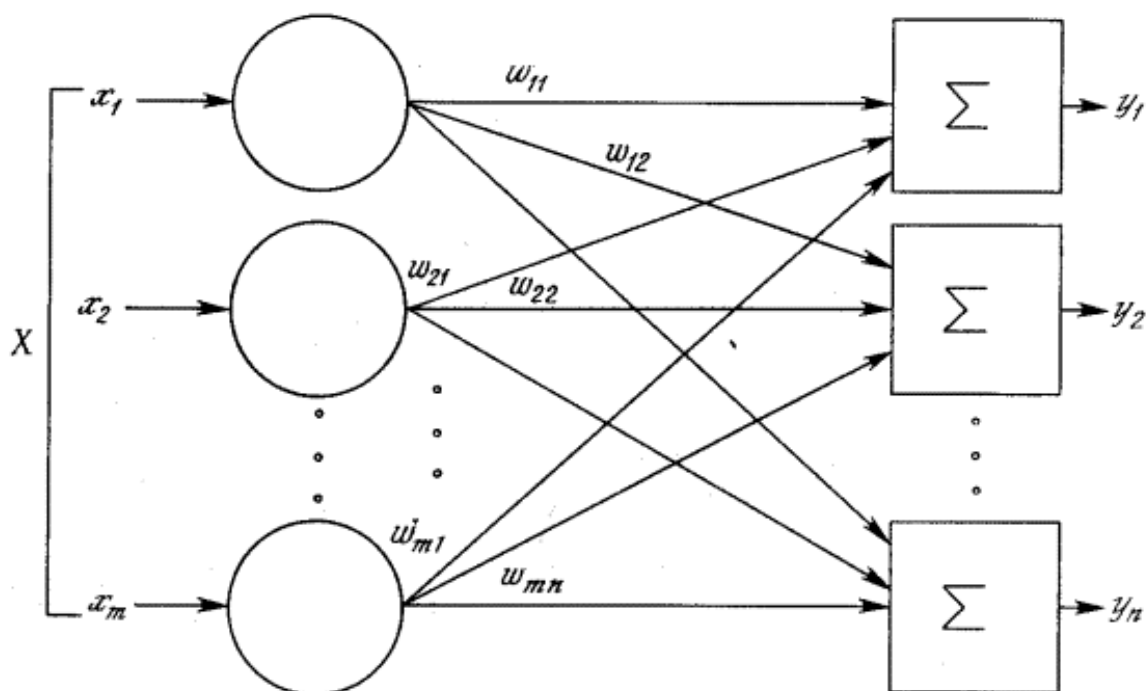


Рисунок 1.1 - Однослойная искусственная нейронная сеть.

Каждый  $i$ -й компонент входного сигнала, являющегося нормализованным вектором (матрица-строка), умножается на соответствующий весовой коэффициент где  $j$  – номер нейрона. Получившиеся числа суммируются в каждом нейроне и результат появляется на выходе  $j$ -го нейрона. Набор выходов также представляет собой вектора (матрицу-столбец). Таким образом, данное преобразование является умножением вектора на матрицу:

$$y_j = \sum_i x_i w_{ij} \quad (1.1)$$

Или в матричном виде, обозначив матрицу весовых коэффициентов  $\hat{\mathbf{W}}$ , входной вектор  $\vec{\mathbf{X}}$  и выходной вектор  $\vec{\mathbf{Y}}$ .

$$\vec{\mathbf{Y}} = \vec{\mathbf{X}} \cdot \hat{\mathbf{W}} \quad (1.2)$$

Подобная система может с успехом применяться для распознавания образов. Каждый  $j$ -й нейрон выполняет функцию скалярного произведения, умножая входной вектор  $\vec{\mathbf{X}}$  на свой вектор весовых коэффициентов  $\vec{\mathbf{W}}_j$ . Результат NET лежит в интервале от -1 до 1 (мы считаем векторы  $\vec{\mathbf{X}}$  и  $\vec{\mathbf{W}}_j$  нормализованным) и он тем ближе к единице, чем ближе направление вектора  $\vec{\mathbf{X}}$  к направлению вектора  $\vec{\mathbf{W}}_j$ . Таким образом, если на одном из нейронов выход NET больше, чем на других в этом же слое, то это означает наибольшую близость распознаваемого образа к вектору  $\vec{\mathbf{W}}_j$ . Дальнейшая коррекция вектора  $\vec{\mathbf{W}}_j$  приведет к более надежному распознаванию данного образа в следующий раз. Коррекция весов нейронной сети называется обучением.

### Слой Кохоненна

В своей простейшей форме слой Кохонена функционирует в духе «победитель забирает все», т. е. для данного входного вектора один и только один нейрон Кохонена выдает на выходе логическую единицу, все остальные выдают ноль. Нейроны Кохонена можно воспринимать как набор электрических лампочек, так что для любого входного вектора загорается одна из них.

Ассоциированное с каждым нейроном Кохонена множество весов соединяет его с каждым входом. Например, нейрон Кохонена  $K_1$  имеет веса  $w_{11}, w_{21}, \dots, w_{m1}$ , составляющие весовой вектор  $\mathbf{W}_1$ . Они соединяются через входной слой с входными сигналами  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , составляющими входной вектор  $\mathbf{X}$ . Подобно нейронам большинства сетей выход NET каждого нейрона Кохонена является просто суммой взвешенных входов. Это может быть выражено следующим образом:

$$NET_j = w_{1j}x_1 + w_{2j}x_2 + \dots + w_{mj}x_m \quad (1.3)$$

где  $NET_j$  – это выход NET нейрона Кохонена  $j$ ,

$$NET_j = \sum_i x_i w_{ij} \quad (1.4)$$

или в векторной записи

$$\mathbf{N} = \mathbf{XW}, \quad (1.5)$$



где  $\mathbf{N}$  – вектор выходов NET слоя Кохонена.

Нейрон Кохонена с максимальным значением NET является «победителем». Его выход равен единице, у остальных он равен нулю.

## 1.2 Фоточувствительные материалы

В качестве функциональной среды для создания интегральной оптической нейросети нужно использовать оптические материалы, характеризующиеся высоким быстродействием.

### 1.2.1 Фотохромное стекло

Фотохромное стекло, неорганическое стекло, способное обратимо изменять светопропускание в видимой области спектра при воздействии ультрафиолетового или коротковолнового видимого излучения [20]. Светочувствительность Фотохромное стекло обусловлена фотохимическими процессами, которые могут быть связаны как с переходом электронов между элементами переменной валентности (например,  $\text{Eu}^{\text{II}}$  и  $\text{Ce}^{\text{III}}$ ) Так и с фотолизом галогенидов тяжёлых металлов (галогениды равномерно распределены в объёме стекла в виде микрокристаллических образований). Благодаря высоким фотохромным характеристикам (оптическая плотность, достигаемая при затемнении, скорости потемнения и релаксации) и технологическим свойствам наиболее распространены стекла с галогенидами серебра. Известны также Фотохромное стекло с галогенидами меди и хлоридом таллия. Составы стекол разнообразны (силикатные, боратные, боросиликатные, германатные и фосфатные системы). Технологические режимы синтеза Фотохромное стекло те же, что и при получении технических стекол.

Композитные материалы с полупроводниковыми наночастицами представляют большой практический интерес при создании быстродействующих полностью оптических переключателей для систем телекоммуникаций, оптической обработки информации и модуляции оптических сигналов. Нелинейно-оптический отклик в таких материалах может быть вызван насыщением экситонного поглощения, насыщением межзонного поглощения (эффект Бурштейна-Мосса), фотогенерацией центров окраски, изменением показателя преломления и другими эффектами. Эффекты, связанные с просветлением композитных сред с полупроводниковыми наночастицами и квантовыми точками на основе халькогенидов металлов исследованы достаточно подробно. В оптических композитах с наночастицами галогенидов металлов под действием излучения может наблюдаться как эффект просветления в узком спектральном интервале, вызванный

насыщением экситонного поглощения, так и широкополосные эффекты оптического ограничения, вызванные фотогенерацией центров окраски или обратимым фотолизом. Последний эффект является «медленным» и используется в фотохромных стеклах с наночастицами галогенидов серебра и меди. Оптическое ограничение в результате фотогенерации центров окраски наблюдалось в суспензиях наночастиц галогенидов серебра при воздействии пикосекундных импульсов излучения в видимой области спектра. Для практического применения представляют интерес твердые композитные среды, обладающие высоким оптическим качеством, малыми потерями и технологичностью. Этим критериям отвечают фотохромные стекла с наночастицами хлорида меди.

### 1.2.2 Кристаллы

Фоторефракция – это явление изменения коэффициента преломления под воздействием света. Этот эффект позволяет получить в среде заданное пространственное распределение значений коэффициента преломления и находит применение в голографии, устройствах оптической памяти и согласования фаз, в пространственных модуляторах света.

Наиболее популярными фоторефрактивными материалами являются Fe:LiNbO<sub>3</sub> и кристаллы со структурой силленита Bi<sub>12</sub>MO<sub>20</sub> (M=Si, Ge, Ti). Эти материалы имеют удачную комбинацию фоторефрактивных, электрооптических и ряда других свойств, делающих эти материалы привлекательными для оптоэлектроники.

Кристаллы класса силленитов, силикат висмута Bi<sub>12</sub>SiO<sub>20</sub> (BSO), германат висмута Bi<sub>12</sub>GeO<sub>20</sub> (BGO) и титанат висмута Bi<sub>12</sub>TiO<sub>20</sub> (BTO) отличаются разнообразием значительных по величине физических эффектов – пьезоэлектрическим, электро- и магнитооптическим, оптической активностью (гирацией), фотопроводимостью и фоторефракцией. Сочетание этих эффектов позволяет использовать данные кристаллы в различных устройствах: интерферометрических измерительных, лазерных системах, системах голографической памяти, пространственно-временных модуляторах света и др. [21-23]

Большой интерес представляет вопрос о практических применениях фоторефрактивных сред, в этом аспекте изучаются функциональные свойства фоторефрактивных сред, а также передаточные характеристики, чувствительность, динамический диапазон, быстродействие и др.

### 1.3 Перспективы применения

В интегральном исполнении устройство может быть использовано для сжатия аудиовизуальной информации в режиме реального времени, что является перспективной технической задачей в области информационных технологий. Оно может применяться, например, внутри видеокамер, осуществляя адаптивное сжатие видеопотока с потерями непосредственно перед его передачей по каналу связи. Это позволит использовать канал связи с меньшей пропускной способностью.

Поскольку нейронная сеть способна распознавать образы, это может быть использовано в спектроскопии. Подобное устройство будет способно отличать вещества друг от друга, анализируя их спектры, с возможностью обучения.

### 2. Постановка задачи.

1. Выбор фоточувствительного оптического материала для построения прототипа оптической нейронной сети.
2. Произвести обоснование выбранного решения;
3. Проведение экспериментальных исследований выбранных фоточувствительных материалов;
4. Изучение влияния предварительной термообработки на нелинейно-оптические характеристики фотохромных стекол.
5. Проектирование и изготовление вторичного источника питания.

### 3. Экспериментальная часть.

#### 3.1 Методика и результаты экспериментов.

Схема экспериментальной установки для изучения динамики оптического поглощения представлена на рис. 3.1 В экспериментах исследовались кристаллы  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  толщиной  $d = 6$  мм, вырезанные вдоль кристаллографического направления  $[001]$ ,  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  толщиной 2 мм срез  $[110]$  и фотохромные стекла.

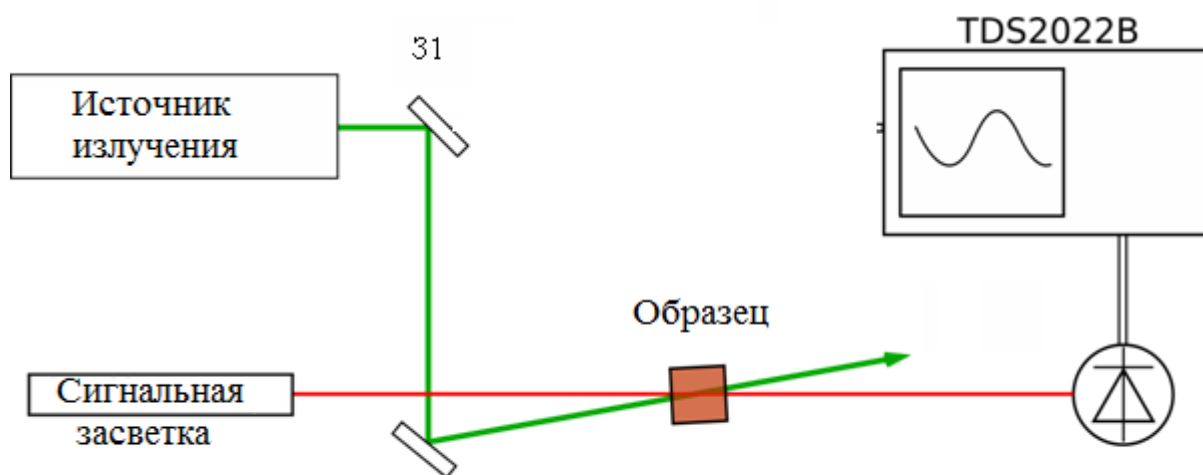


Рис. 3.1. Схема экспериментальной установки

Облучение кристаллов осуществлялось непрерывными лазерами с длиной волны 660 нм и 532 нм, генерируемых He-Ne и лазером на алюмоиттриевом гранате с неодимом ( $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ ) с преобразованием основной частоты генерации в излучение второй гармоники соответственно. Прошедший через кристалл пучок фиксировался фотодиодом. Данные с фотодиода поступали на вход электронного осциллографа Tektronix. TDS2022B с полосой пропускания 200 МГц. Все эксперименты проводились при комнатной температуре.

Засветка фотохромного стекла велась красными, зелеными, синими и УФ светодиодами.

В результате было выявлено, что в нашем случае удобнее всего будет использовать фотохромное стекло с засветкой УФ светодиодом, т.к. нужна довольно большая площадь материала для засветки и быстро наводимые изменения. Фотохромное стекло реагирует на

облучение ультрафиолетом, уменьшая коэффициент пропускания. В темновых условиях оно релаксирует, восстанавливая коэффициент пропускания до исходного значения.

Использование кристаллов нерентабельно на данном этапе в связи с их небольшими размерами и невозможностью позиционирования лазерного пучка в разные точки материала.

Известно, что возможно повысить реакцию фотохромного стекла на УФ излучение путем термообработки. Поэтому было решено провести эксперимент по изучению влияния предварительной термообработки на нелинейно-оптические характеристики фотохромных стекол.

Для того, чтобы при обработке информации не происходило искажение матрицы весовых коэффициентов, должны выполняться два условия: интенсивность излучения светодиодов должна быть заведомо меньше, чем при записи матрицы весовых коэффициентов; время обработки информации должно достаточно мало, чтобы матрица не изменилась из-за процессов релаксации.

В связи с тем, что для наведения изменений в кристаллах нужны большие мощности, либо длительное время засветки, а релаксация проходит быстро, использование кристаллов силленитов в качестве функциональной среды для прототипа оптической нейронной сети оказалось не целесообразно, поэтому здесь не приводятся зависимости пропускания кристаллов. Для фотохромного стекла все оказалось проще и на рис. 3.2 можно видеть скорость засветки УФ светодиодом до термообработки.

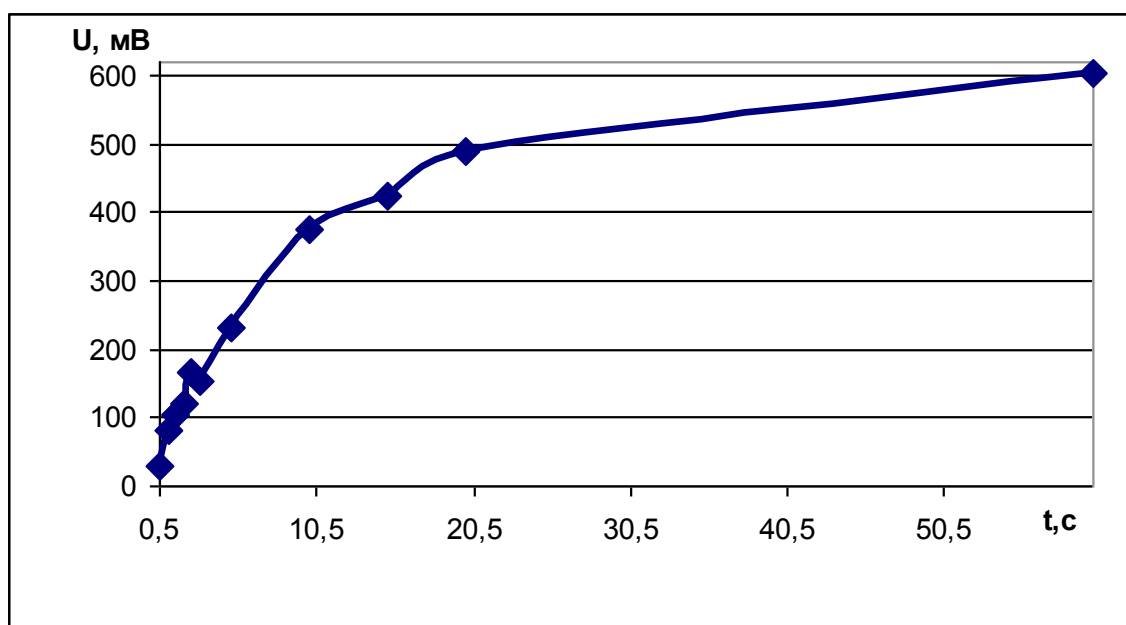


Рис. 3.2 – Изменение напряжения на фотоприемнике от времени засветки

## 4. Практическая часть

### 4.1 Проектирование и изготовление вторичного источника питания

Для питания готового устройства требуется рассчитать и изготовить ВИП по следующим исходным данным:

1. Напряжение питающей сети 220 В.±10%
2. Частота питающей сети 50 Гц.
3. Напряжение на нагрузке 5 В.
4. Максимальный ток нагрузки 4 А.

Предлагаемая схема ВИП изображена на рис. 4.1

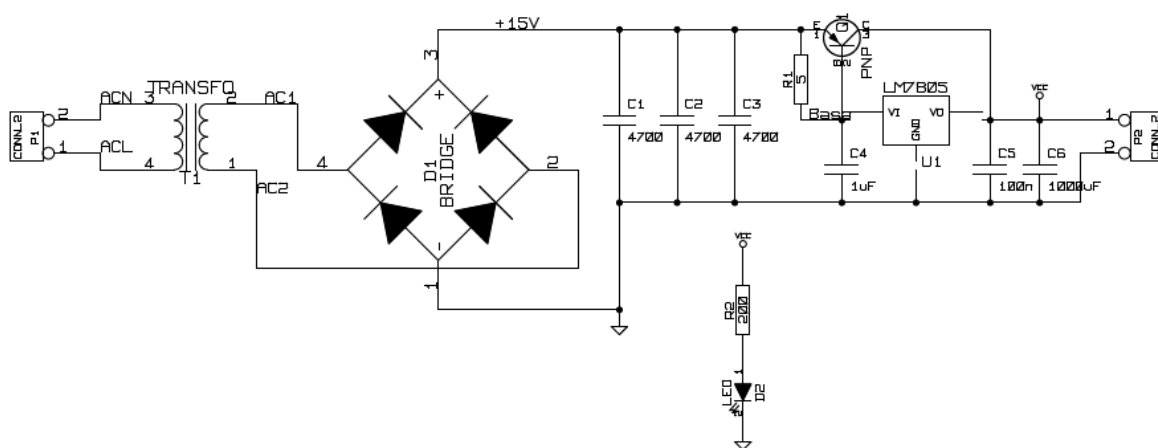


Рис. 4.1 – Схема электрическая принципиальная ВИП.

Для реализации ВИП понадобятся следующие элементы:

Трансформатор ТПК-25-005;

Диодный мост RS207;

Стабилизатор LM7805;

Конденсаторы 1 мкФ, 100 нФ, 3 х 4700 мкФ, 1000 мкФ;

Транзистор 2SA1265

### *Заключение*

В данной курсовой работе был проведен литературный обзор, проведен анализ фоточувствительных сред. По результатам экспериментов был подобран фоточувствительный материал в качестве функциональной среды для прототипа оптической нейронной сети. Фотохромное стекло обладает высокой чувствительностью к УФ излучению, что позволяет быстро увеличивать его поглощение.

Также был разработан и изготовлен вторичный источник питания.

## *Список литературы*

1. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных / Москва: Диалог-МИФИ, 2003. – 381 с.
2. Слядников Е.Е. Модель представления, способ и средство компрессии и декомпрессии медиа данных // Проект РФФИ №10-07-00215-а, 9 сентября 2009 г.
3. Слядников Е.Е. Модель медиа данных, способ и средство компрессии и декомпрессии изображений // Доклад на всероссийской конференции «Инновации РАН-2009» г. Томск, Академгородок, Конгресс-центр «Рубин» 27-29 октября 2009г.
4. Слядников Е.Е. Микроскопическая модель информационной биомакромолекулы // Письма в ЖТФ. – 2006. – Т. 32. – № 8. С. 52–59.
5. Slyadnikov E.E. Microscopic Model of Informative Biomacromolecules // Technical Physics Letters. – 2006. – Vol. 32. – No. 4. – P. 349–352.
6. Слядников Е.Е., Измайлов И.В., Пойзнер Б.Н., Соснин Э.А. Микроскопическая модель конформационных степеней свободы микротрубочки цитоскелета и ее структурный аналог в оптике // Журнал «Вычислительные технологии». – 2006. – Т. 11. – № 6. С. 92–105.
7. Слядников Е.Е. Физическая модель и ассоциативная память дипольной системы микротрубочки цитоскелета // Журнал технической физики. – 2007. – Т.77. – В.7. – С.77–86.
8. Slyadnikov E.E. Physical model and associative memory dipole systems of a microtubule cytoskeleton // Journal Technical Physics. – 2007. – V.77. – N.7. – С.77–86.
9. Слядников Е.Е. О взаимосвязи физических и информационных характеристик в окрестности точки сегнетоэлектрического перехода в дипольной системе микротрубочки цитоскелета // Журнал технической физики. – 2009. – Т.79. – В.7. – С.1–12.
10. Slyadnikov E.E. Interrelation between Physical and Information Characteristics near the Point of Ferroelectric Transition in the Dipole System of a Cytoskeleton Microtubule // Technical Physics – 2009. – Vol. 54. – No. 7. – P. 1–12.
11. Slyadnikov E., Geiko P. “Quantum Model and Memory of Informative Biomacromolecules” // Journal Optical Memory & Neural Networks. – 2009. – V.18. – №2. – P.93–100.
12. Сонькин М.А., Слядников Е.Е. Архитектура и общая технология функционирования территориально распределенных аппаратно-программных комплексов с пакетной передачей данных // Журнал «Известия ТПУ», т. 309, № 5, 2006, С.131-139.



13. Сонькин М.А., Слядников Е.Е. Информационная технология интеграции компонентов многоуровневых систем с пакетной передачей данных // Журнал «Известия ТПУ», т. 309, № 6, 2006, С.93-101.
14. Сонькин М.А., Слядников Е.Е. Об одном подходе к оптимизации функционирования многоканальной системы связи для труднодоступных объектов // Журнал Вычислительные технологии.- 2007.- Т.12, Специальный выпуск 1.- С. 17-22.
15. Слядников Е.Е. Оптимизация функционирования распределенных систем передачи данных для труднодоступных объектов с помощью метода нейронной сети Хопфилда // Журнал «Доклады ТУСУР», № 2, 2008, С. 81-88.
16. Слядников Е.Е. Моделирование распределенных информационно-телекоммуникационных систем с пакетной передачей данных // Журнал «Известия ТПУ», т. 313, № 5, 2008, С. 65-72.
17. Слядников Е.Е. Основы оптоинформатики // ТУСУР, сентябрь-декабрь 2009 г.
- 18.Ф. Уоссермен. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика. Пер. Ю.А. Зуев, В.А. Точенов, 1992
- 19.Kohonen T. 1984. Self-organization and associative memory. Series in Information Sciences, vol. 8. Berlin: Springer Verlag.
20. Никоноров Н.В., Сидоров А.И., Цехомский В.А., Виноградова О.П. Низкопороговый нелинейно-оптический отклик фотохромных стекол с нанокристаллами хлорида меди. «Оптический журнал», Том 75, № 12, декабрь, 2008, С.61.
- 21.Акрестина А.С., Гриднева Е.С., Сивун Д.О., Кистенёва М.Г., Шандаров С.М., Каргин Ю.Ф. Влияние температурного отжига на спектральные зависимости оптического поглощения в кристалле силиката висмута // Труды шестой международной конференции молодых учёных и специалистов «Оптика-2009». 2009, С. 285-288
- 22.Сивун Д.О., Акрестина А.С. Фотоиндуцированное изменение поглощения света в кристаллах  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ , наведённое излучением с длиной волны 1053 и 870 нм // Материалы всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Научная сессия ТУСУР-2009». 2009, Часть I, С. 297-300
- 23.М. Kisteneva, A. Akrestina, S. Shandarov, A. Vishnev, R. Kiselyov, A. Surtsev, V. Kljajm, Yu. Kargin, A. Tolsik. Light-induced changes in the spectrum of optical absorption in  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Cd}$  crystal // International Conference on Lasers, Applications and Technologies 2007, Proc of SPIE Vol 6733, 673325-1 - 673325-6

24.М.Г. Кистенёва, С.М. Шандаров, А.С. Акрестина, А.С. Вишнев, А.Е. Мандель, Р.В. Киселёв, Ю.Ф. Каргин. Спектральные зависимости коэффициента поглощения в кристаллах титаната висмута, легированных кальцием и алюминием // Доклады международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления. Опыт инновационного развития» Томск, 2007, С. 314-316