

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сб. «Механизмы деятельности центрального нейрона». Под ред. Д. А. Бирюкова. М., «Наука», 1966. 263 с.
2. Свечников С. В. Элементы оптоэлектроники. М., «Сов. радио», 1971. 270 с.

УДК 578.087 + 612.849

Ю. И. НЕФЕДОВ, канд. техн. наук,  
А. В. ШАТОХИН, инж.,  
В. Г. ЧЕРВОВ, канд. биол. наук

### ЭЛЕКТРОННЫЙ СВЕТОВОЙ СТИМУЛЯТОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Всестороннее изучение процессов обработки визуальной информации в зрительной системе — важная задача биологии и бионики. Эффективным методом исследования нейронных функциональных образований зрительной системы — рецептивных полей — является микроэлектродное отведение реакций нервных клеток на различные световые сигналы. Изучаются реакции на движущиеся и мигающие световые сигналы различной конфигурации, на небольшие мигающие стимулы, сканирующие обширную область фоторецепторов сетчатки. Отсутствие многофункциональных световых стимуляторов, позволяющих быстро изменять режимы стимуляции, снижает эффективность нейрофизиологических экспериментов.

В лаборатории бионики Харьковского института радиоэлектроники разработан и изготовлен универсальный электронный световой стимулятор УЭСС-1. Он предназначен для формирования и проектирования на сетчатку разнообразных световых сигналов и может использоваться при нейрофизиологических и психофизиологических исследованиях зрительной системы. Световые сигналы формируются на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) и с помощью оптической приставки проектируются на сетчатку.

Технические параметры УЭСС-1 следующие.

1. Форма световых стимулов и их размеры на экране ЭЛТ:
  - а) светлый круг, диаметр которого регулируется в пределах 0,5—5 мм;
  - б) прямая светлая линия (или полоса толщиной до 5 мм); угол наклона и длина плавно регулируются соответственно от 0 до 180° и от 1 до 20 мм;
  - в) окружность диаметром 1—20 мм;
  - г) эллипс с любыми значениями эксцентриситетов и ориентации.
2. Люминофор ЭЛТ имеет широкую спектральную характеристику; максимуму излучения соответствует длина световой волны 0,5 мкм.
3. Яркость стимулов на экране ЭЛТ регулируется в пределах 26—200 нт.

4. Диапазон частот включения — выключения (мигания) стимулов 0,5—50 *кГц*. Высокие частоты используются для облегчения процесса совмещения раstra с определенной областью фоторецепторов перед включением медленных разверток.

5. В стимуляторе предусмотрено четыре вида прямолинейных периодических движений световых стимулов. Равномерное, равноускоренное и равнозамедленное движения соответствуют однострочному сканированию стимулов в любом из направлений. Четвертый вид движения — построчное сканирование стимулов. Число строк в растре — 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 — выбирается с помощью переключателя.

6. Диапазон частот строчной развертки 0,08—1000 *Гц*.

7. Диапазон частот кадровой развертки 0,00125—500 *Гц*.

8. Для всех видов движения обеспечивается непрерывная модуляция яркости луча ЭЛТ и дискретное включение — выключение яркости. Количество мигающих стимулов на каждой строке плавно регулируется от 1 до 50.

9. Диапазон скоростей движения световых стимулов 15—30 *угл. град/сек*.

10. Диапазон ускорений при равнозамедленном движении стимулов 2,5—24 *угл. град/сек<sup>2</sup>*.

11. Диапазон ускорений при равноускоренном движении стимулов 2,5—1 *угл. град/сек<sup>2</sup>*.

12. Максимальная длина строки и кадра на экране ЭЛТ 80 *мм*. Допускается независимая регулировка длин строки и кадра. Последние могут изменяться дискретно (через каждые 15 *мм*) и плавно.

13. Предусмотрен режим включения — выключения неподвижных световых стимулов. Все световые стимулы (движущиеся и неподвижные) могут смещаться в любую область экрана ЭЛТ.

14. В оптической приставке для уменьшения изображения, проектируемого на сетчатку, применяется объектив «Юпитер-9». Линейные размеры экрана уменьшаются в 10 раз. При необходимости изменения размеров выходного изображения в оптической приставке могут использоваться стандартные фотообъективы с иными фокусными расстояниями.

15. Возможна синхронизация внешних регистрирующих приборов (осциллографы, электроэнцефалографы и др.) со стимулятором. Амплитуда синхронизирующих импульсов, формируемых в стимуляторе, регулируется в пределах 0—15 *в*.

16. Питание прибора осуществляется от сети переменного тока напряжением 220±10 *в*. Потребляемая мощность — 200 *вт*.

17. Время непрерывной работы стимулятора — 23 часа в сутки.

18. Габариты стимулятора 380 × 370 × 500 *мм*. Длина оптической приставки 500 *мм*.

Упрощенная функциональная блок-схема стимулятора

УЭСС-1 приведена на рис. 1. В нее включены электронно-лучевая трубка ЭЛТ, формирователь импульсов модуляции яркости ФИМ, парафазные усилители отклоняющих напряжений  $ПФ_x$ ,  $ПФ_y$ , блок формирования стимулов БФС, высокочастотный генератор синусоидальных напряжений ВГ, генератор пилообразных напряжений ГПН, формирователь импульсов гашения обратного хода луча ФГ, двоичный шестиразрядный счетчик СЧ, преобразователь двоичного кода в ступенчатое напряжение

ПКН, задатчик числа строк ЗЧС, функциональный преобразователь ФП, объектив О, зеркало З.

Световые стимулы различной конфигурации формируются на экране ЭЛТ. Для этого на отклоняющие пластины ЭЛТ с БФС подаются высокочастотные сигналы, отклоняющие электронный луч по определенному закону. Эти сигналы формируются из высокочастотных синусоидальных напряжений, поступающих на вход БФС с ВГ.

Принцип формирования локальных высокочастотных разверток различной конфигурации

рассмотрен в работе [1]. На экране ЭЛТ отдельные сканирования неразличимы, так как время периода высокочастотной развертки (1 мксек) значительно меньше времени послесвечения люминофора ( $T_{п} = 0,01$  сек). Поэтому яркость стимулов не изменяется во времени. Импульсы модуляции яркости луча трубки формируются в ФИМ, где также регулируется длительность импульсов модуляции. Частота последних задается синхрогенератором СГ, который обеспечивает синхронный запуск ФИМ и ГПН.

В ГПН формируются пилообразные напряжения строчной развертки. Они поступают на парафазный усилитель  $ПФ_y$  и далее на горизонтальные отклоняющие пластины ЭЛТ. Чтобы регулировать направление строчной развертки в режиме однострочного сканирования, пилообразные напряжения подаются также на  $ПФ_x$  и затем на вертикальные отклоняющие пластины ЭЛТ. Отклоняющие напряжения, соответствующие равнозамедленному и равноускоренному движениям стимулов, формируются в ФП из пилообразных напряжений ГПН. В ФП формируются импульсы гашения обратного хода луча и подаются на второй электрод модуляции яркости луча ЭЛТ.

При многострочном (растровом) сканировании стимулов, кроме горизонтального (строчного) отклонения осуществляется вертикальное отклонение луча ЭЛТ. Для этого с помощью бло-

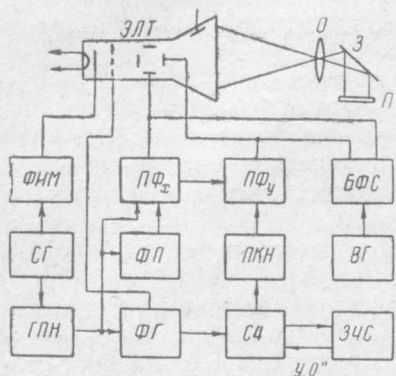


Рис. 1.

ков СЧ, ПКА, ЗЧС формируются ступенчатые напряжения. Прямоугольный импульс гашения обратного хода строчной развертки поступает с ФГ на счетный вход шестиразрядного счетчика импульсов, выполненного на стандартных полупроводниковых триггерах.

Число строк выбирается посредством переключателя ЗЧС, который коммутирует выход одного из шести триггеров с входом СЧ «установка в ноль». Так осуществляется сброс счетчика после определенного числа строк. Двоичный код числа строк в ПКА преобразуется в ступенчатое напряжение, которое поступает на ПФ<sub>И</sub> и далее — на вертикальные отклоняющие пластины.

Изображение экрана ЭЛТ проектируется через объектив О на зеркало З. Уменьшенное отраженное изображение поступает на объект исследования.

Световой стимулятор может использоваться для нейрофизиологических исследований рецептивных полей клеток сетчатки глаза, подкорковых образований и зрительной коры мозга различных животных. Стимулятор может также применяться при изучении функциональной архитектуры нейронных слоистых структур на различных уровнях организации зрительной системы.

На рис. 2 показаны некоторые световые сигналы, которые могут использоваться для стимуляции фоторецепторов сетчатки. Все снимки получены с экрана ЭЛТ стимулятора при длительной экспозиции. На рис. 2, а изображен растр, образованный последовательно включающимися и выключающимися 544 маленькими пятнами света. Максимальное время формирования растра 13 минут. Аналогичный растр, образованный 140 большими по величине последовательно мигающими линиями, представлен на рис. 2, б. Такие световые сигналы используются, например, при изучении функции

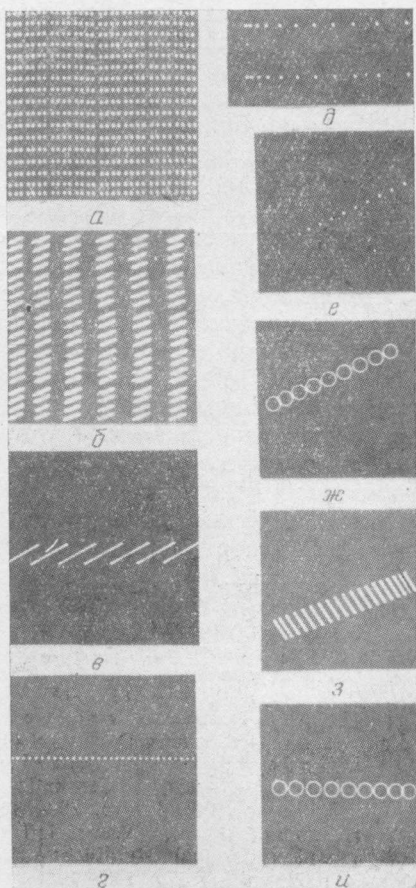


Рис 2.

и структуры рецептивных полей нервных клеток сетчатки и зрительной коры кошки [2, 3]. В процессе исследований простых, сложных и сверхсложных рецептивных полей клеток зрительной коры животных и человека применяются световые стимулы в виде движущихся или неподвижных включающихся и выключающихся прямых линий или полос той или иной ориентации [4—6]. Некоторые из этих стимулов показаны на рис. 2, в, з. Для выявления и изучения рецептивных полей клеток — детекторов кривизны — можно использовать стимулы в виде движущихся и неподвижных мигающих окружностей или эллипсов [5]. Траектории последовательно включающихся и выключающихся движущихся окружностей представлены на рис. 2, ж, и.

При изучении рецептивных полей нейронов, реагирующих на движение, в качестве стимулов часто применяются движущиеся в определенных направлениях с различными скоростями и ускорениями маленькие пятна света [7, 8]. Используются также мигающие пятна света или стимулы другой формы [8]. На рис. 2, е показана траектория движущегося в определенном направлении маленького пятна света, а на рис. 2, г и д — соответственно траектории движения мигающего пятна, движущегося слева направо с постоянной скоростью и равноускоренно.

Стимулятор УЭСС-1 прошел испытания в лаборатории зрительной рецепции АН АрмССР. Он использовался при электро-ретинографических исследованиях изолированных сетчаток земноводных и птиц. Испытания показали, что стимулятор имеет широкие функциональные возможности, обеспечивает быстрое изменение режимов стимуляции, что значительно облегчает проведение экспериментов и повышает эффективность биологических исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Нефедов Ю. И., Червов В. Г., Бугай Ю. П. Моделирование процессов первичной обработки информации в зрительном анализаторе с помощью телевизионной системы. — В сб.: Проблемы бионики. Вып. 3. Харьков, 1970, с. 142—148.
2. Spinelli D. N. Visual receptive fields in the cat's retina: complications. — «Science», 1966, vol. 152, N 3730, p. 1768—1769.
3. Spinelli D. N., Barret T. W. Visual receptive field organisation of single units in the cat's visual cortex. — «Experimental neurology», 1969, vol. 24, N 1, p. 76—98.
4. Hubel D. H., Wiesel T. N. Receptive fields binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. — «J. Physiol.», 1962, vol. 160, p. 106—154.
5. Hubel D. H., Wiesel T. N. Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. — «J. Physiol.», 1968, vol. 195, p. 215—243.
6. Campbell F. W., Kulikowski J. I. Orientational selectivity of the human visual system. — «J. Physiol.», 1966, vol. 187, p. 437—445.
7. Grüsser O. I., Finkelstein D., Grüsser-Cornehls U. The effect of stimulus velocity on the response of movement sensitive neurons of the frog's retina. — «Pflügers Arch. ges. Physiol.», 1968, vol. 300, fase. 2, p. 49—66.
8. Barlow H. B., Hill R. M., Lewick W. R. Retinal ganglion cells responding selectively to direction and speed of image motion in the rabbit. — «J. Physiol.», 1964, vol. 173, p. 377—407.