

И.Б. ИСУПОВ, Р.В. ДИКОВ
(Волгоград)

«АМУР» – АВТОМАТ, МОДЕЛИРУЮЩИЙ УСЛОВНЫЕ РЕФЛЕКСЫ

Описывается цифровое устройство, позволяющее демонстрировать методики выработки и торможения условных рефлексов у лабораторного животного и феномен ориентировочного условного рефлекса.

Ключевые слова: фотореле, акустическое реле, одновибратор, счетчик импульсов, мультиплексор, безусловный рефлекс, условный рефлекс.

Инновационная методика преподавания физики и информатики в высших и средних учебных заведениях немислима без обязательного применения специальных знаний педагога-новатора в смежных отраслях учебного процесса и в значительной мере – в отраслях, на первый взгляд не имеющих прямого дидактического отношения к точным наукам.

Много десятилетий назад прикладные отрасли физики – электро- и радиотехника и (несколько позднее) микроэлектроника – прочно завоевали свое место в быту и на производстве, в лечебных учреждениях и на стадионах, на энергообъектах и в лабораториях судебно-медицинской экспертизы. Массовое высшее и среднее образование не исключение. Приборный парк физического кабинета вуза и общеобразовательной школы в настоящее время содержит десятки наименований сложных технических устройств, среди которых наибольший удельный вес занимают наглядные пособия, метрологические модули, аппараты демонстрационного назначения, реализованные как микроэлектронные, преимущественно цифровые системы. Данные устройства позволяют повысить наглядность преподавания физики и информатики, в ряде случаев повышают точность результатов физического эксперимента (даже на «школьном» уровне) и, что наиболее ценно, позволяют расширить перечень лабораторных работ в образовательных учреждениях.

При изучении биологии в средней общеобразовательной школе учащиеся знакомятся с основами учения И.П. Павлова о безусловных и условных рефлексах животных. Наглядность преподавания данной темы значительно возрастает в случае демонстрации методик выработки и торможения условных рефлексов у лабораторных животных. Объектами эксперимента, как правило, являются собака, кролик или белая крыса. Однако методика выработки прочных условных рефлексов у животного довольно сложна и требует значительного искусства экспериментатора. Содержание лабораторных животных в виварии также сопряжено с дополнительными трудностями. Для решения задачи наглядной демонстрации методики выработки условного рефлекса на помощь преподавателю биологии приходит микроэлектроника.

В литературе описаны цифровые устройства, позволяющие имитировать формирование условных рефлексов у животного. Одно из таких устройств – робот-тренажер для демонстрации методики формирования пищевого условного рефлекса – было разработано в Омском государственном педагогическом институте коллективом студентов физического факультета под руководством Л.А. Мальцевой, Э.М. Фромберга, В.С. Ямпольского еще в середине 1980-х г. [1]. Данное устройство содержит ряд схемотехнических неточностей, оно не позволяет демонстрировать наряду с формированием условного рефлекса его торможение, вызываемое сильным безусловным (посторонним) раздражителем. Элементная база робота-тренажера – интегральные микросхемы транзисторно-транзисторной логики серии К155 – морально устарели и отличаются высоким энергопотреблением [2].

В связи с изложенным мы поставили цель расширения функциональных возможностей автомата, моделирующего условные рефлексы, конструкции Л.А. Мальцевой и др. и модернизации элементной базы данного устройства. Согласно поставленной цели модернизированный автомат, моделирующий условные рефлексы (АМУР) должен всегда реагировать на безусловный пищевой раздражитель – имитировать «писк» кролика; первоначально не должен реагировать «писк»

ком» на индифферентный, будущий условный раздражитель, но должен воспринимать его; после некоторого числа комбинаций индифферентного и безусловного раздражителей (причем первый предшествует второму) должен вырабатывать нестойкий условный рефлекс, угасающий со временем без подкрепления условного раздражителя безусловным. При этом индифферентных раздражителей желательнее иметь как минимум два (на выбор: свет или звук). После повторной выработки условный рефлекс должен восстанавливаться, причем число комбинаций безусловного и условного раздражителя должно быть меньше, чем при первичной выработке условного рефлекса; после определенного числа сочетаний безусловного и условного раздражителей условный рефлекс должен вырабатываться прочно – «навсегда» (до выключения питания автомата или до нажатия кнопки «сброс»). Сильный посторонний раздражитель, например громкий звук, должен вызывать ориентировочный рефлекс, который является на некоторое время тормозным фактором по отношению к выработанному условному рефлексу.

Элементной базой автомата должны быть интегральные микросхемы транзисторно-транзисторной логики с барьерами Шотки (ТТЛШ), отличающиеся низким энергопотреблением.

Описание прибора

Функциональная схема автомата включает:

- блок устройств рецепции раздражителей (БУРР);
- блок логики управления (БЛУ);
- блок индикации (БИ);
- блок питания (БП).

В комплект устройства входят имитатор безусловного раздражителя «пища» – пластмассовая морковь с вмонтированным в нее постоянным магнитом; источник условного раздражителя «свет» – малогабаритный светодиодный фонарь; источник условного раздражителя «звук» – звонок.

Блок устройств рецепции раздражителей содержит фотореле, акустическое реле, которые обеспечивают восприятие условных раздражителей, и герметизированный магнитоуправляемый контакт (геркон), обеспечивающий восприятие безусловного раздражителя «пища».

Блок логики управления включает логические элементы 2И-НЕ (интегральная микросхема К555ЛА3), обеспечивающие работу блока индикации при восприятии безусловного и условных раздражителей; одновибраторы (две микросхемы К555АГ3), осуществляющие необходимую задержку восприятия раздражителей «свет» и «звук» и моделирующие процесс запоминания информации об условном раздражителе; стробируемое устройство совпадения (D-триггер микросхемы КМ555ТМ2), осуществляющее выработку счетного импульса при сочетании условного и безусловного раздражителей в случае приоритета по времени условного раздражителя; пятиразрядный двоичный счетчик импульсов (D-триггер микросхемы КМ555ТМ2, включенный как триггер со счетным входом – делитель на «2», микросхема К555ИЕ5); сдвоенный четырехканальный мультиплексор (К555КП2), осуществляющий имитацию выработки условного рефлекса после определенного числа комбинаций безусловного и условного раздражителей, подсчитанных пятиразрядным счетчиком. БЛУ содержит органы управления автоматом: переключатель «свет» – «звук» галетного типа и кнопку «сброс».

Блок индикации включает светоизлучающие диоды, имитирующие блеск глаз и покраснение ушей муляжа кролика; контрольные светодиоды «сеть» (красное свечение) и «условный раздражитель» (зеленое свечение), вмонтированные в корпус-подставку под муляжом животного; управляемый БЛУ генератор прерывистого сигнала, имитирующий «писк» кролика; пьезоэлектрический излучатель звука.

Блок питания представляет собой выпрямитель, реализованный по мостовой схеме Грецца, сглаживающий фильтр и параметрический стабилизатор напряжения ($5,0 \pm 0,1$ В при токе нагрузки до 0,35 А) в интегральном исполнении (микросхема КР142ЕН5А).

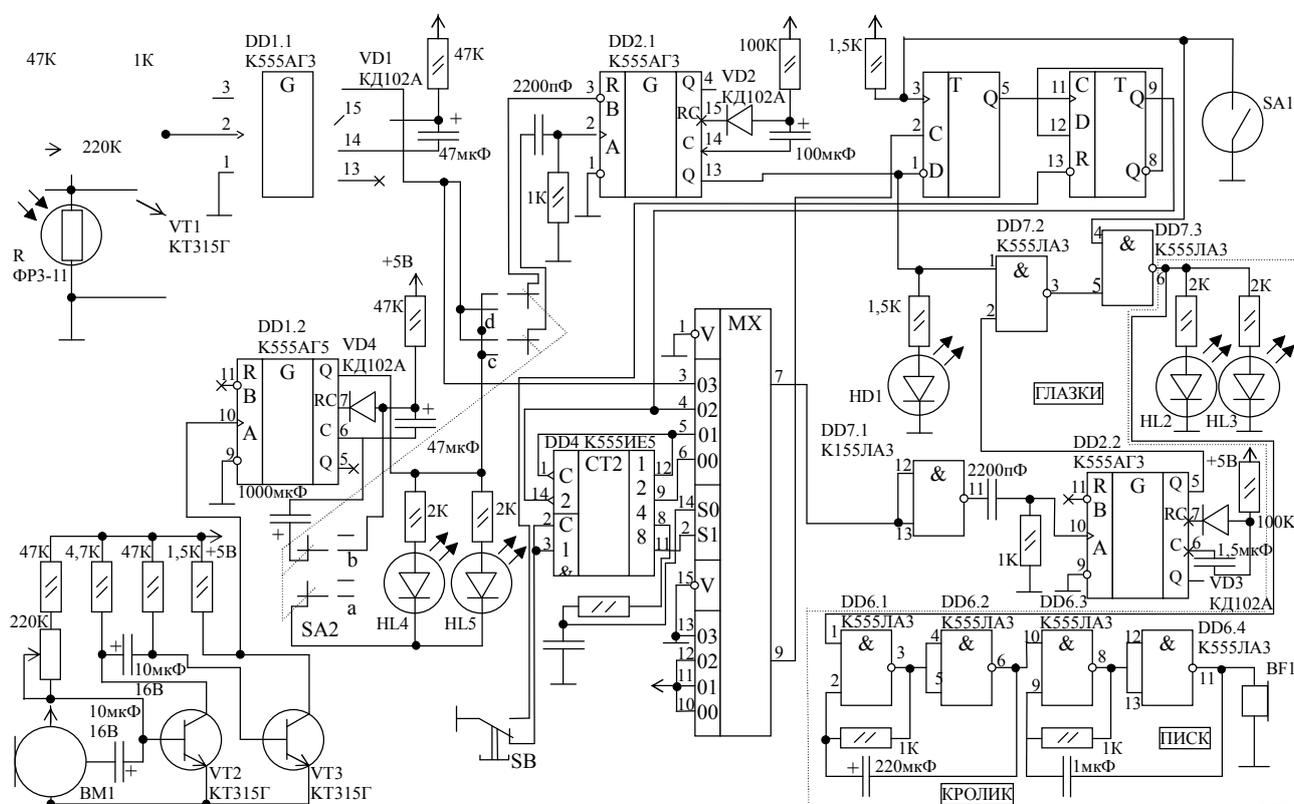


Рис. 1. Принципиальная схема автомата условных рефлексов

Принцип действия автомата

Действия автомата при подаче раздражителей поясняет принципиальная схема (см. рис. 1). По нажатию кнопки «сброс» происходит обнуление пятиразрядного счетчика, на выходах которого устанавливается код «00000». На обоих входах логического элемента 2И-НЕ (DD7.3) присутствует лог. 1., на его выходе, соответственно – лог. 0. Светодиоды, имитирующие блеск глаз кролика, погашены, управляемый мультивибратор – имитатор «писка» животного – заблокирован.

Приближение к носу муляжа кролика «пищи» – постоянного магнита, смонтированного в «морковь», – приводит к замыканию контактов геркона – на верхний по схеме вход DD7.3 подается уровень лог. 0. На выходе элемента формируется лог. 1. Светодиоды загораются, мультивибратор оказывается разблокированным – имитируется «писк» животного. Таким образом, реализуется рефлекторный ответ автомата на безусловный пищевой раздражитель.

Нижний по схеме вход элемента DD 7.3 подключен к выходу логического элемента DD7.2. Входы DD 7.2 подключены к прямым выходам одновибраторов DD 2.1 и DD 2.2. Вход «В» одновибратора DD 2.2. через дифференцирующую цепь и инвертор DD 7.1 подключен к выходу мультиплексора, а вход «В» одновибратора DD 2.1 через переключатель «свет» – «звук» и одновибраторы задержки времени реакции – соответственно, к выходам фотореле или акустического реле.

Таким образом, на одном из входов элемента DD7.2 присутствует лог. 0, поскольку на выходе одновибратора DD 2.2, подключенном к данному входу элемента DD 7.2, лог. 0 формируется аппаратно благодаря низкому сопротивлению (<1,0 кОм) резистора дифференцирующей цепи. Соответственно, на выходе DD 7.2 присутствует логическая единица, вне зависимости от подачи светового или акустического раздражителя. Следовательно, автомат не реагирует на свет или звук, подаваемые изолированно от раздражителя «пища». Иначе говоря, свет и звук первоначально являются не значимыми для животного, – индифферентными раздражителями. Рефлекс пока еще не «сформирован».

**Логические состояния пятиразрядного счетчика импульсов
и адрес входов управления (S0, S1) мультиплексора автомата «АМУР»**

№ импульса комбинации раздражителей	Выходы пятиразрядного счетчика (нумерация выводов микросхем DD3, DD4)					Адрес входов мультиплексора
	Q ₀₀ (9 DD3)	Q ₀ (12 DD4)	Q ₁ (9 DD4)	Q ₂ (8 DD4)- S0 MX	Q ₃ (11 DD4)- S1 MX	
1	0	0	0	0	0	
2	1	0	0	0	0	
3	0	1	0	0	0	
4	1	1	0	0	0	«00»
5	0	0	1	0	0	
6	1	0	1	0	0	
7	0	1	1	0	0	
8	1	1	1 ↓	0	0	
9	0	0	0	1	0	
10	1	0	0	1	0	
11	0	1	0	1	0	
12	1	1 ↓	0	1	0	«01»
13	0	0	1	1	0	
14	1	0	1	1	0	
15	0	1	1	1	0	
16	1	1 ↓	1	1	0	
17	0	0	0	0	1	
18	1 ↓	0	0	0	1	
19	0	1	0	0	1	
20	1 ↓	1	0	0	1	«02»
21	0	0	1	0	1	
22	1 ↓	0	1	0	1	
23	0	1	1	0	1	
24	1 ↓	1	1	0	1	
25 ↓	0	0	0	1	1	
26 ↓	1	0	0	1	1	«03»
27 ↓	0	1	0	1	1	
28 ↓	1	1	0	1	1	
29 ↓	0	0	1	1	1	

Примечание. Знаком «↓» показаны изменения логического состояния на выходе мультиплексора – моменты «запоминания» автоматом условного раздражителя.

«Выработка» условного рефлекса осуществляется следующим образом. При включении света (если переключателем выбран раздражитель «свет» и нет постороннего раздражителя – громкого звука), на выходе DD 2.1 формируется импульс (лог. 1) длительностью около 3 с, определяемой номиналами RC-времязадающей цепи. Лог. 1 по входу R разблокирует D-триггер устройства совпадения (DD 3.1). Если в течение этого интервала времени к носу муляжа животного будет поднесена «морковь» – «пища», это приведет к многократному соударению эластичных контактов геркона – «дребезгу» контактов. По фронту первого же импульса «дребезга» геркона триггер DD 3.1 переключится в единичное состояние – на его прямом выходе появится логическая единица, которая вызовет переключение в единичное состояние счетного триггера DD3.2 – первого разряда пятиразрядного счетчика импульсов. Автомат начнет счет числа комбинаций индифферентных и безусловных раздражителей. При восьмой по счету комбинации раздражителей на выходе счетчика DD 3.2 – DD 4 будет сформирован код «00010». Переход от числа «11100» к «00010» на нулевом входе мультиплексора DD 5 обеспечивает формирование логического нуля (перепада напряжения от лог. 1 к лог. 0) на его выходе. Этот импульс, будучи инвертирован элементом DD 7.1 и пройдя дифференцирующую цепь, обеспечит запуск одновибратора DD 2.2. На выходе последнего появится лог. 1, продолжительностью около 30 секунд, определяемой времязадающей RC-цепью данного одновибратора. *В течение указанного времени вырабатывается первичный, нестойкий условный рефлекс – автомат реагирует на свет без подкрепления его «пищей».* Затем одновибратор возвращается в исходное состояние и автомат «забывает» условный рефлекс.

Четвертый и пятый разряды счетчиков DD 3 – DD 4 подключены к адресным входам мультиплексора (S0 и S1), поэтому после восьми комбинаций света и пищи с выходом мультиплексора будет коммутирован уже не нулевой, а первый информационный вход (канал) мультиплексора (см. табл. на с. 66). Следовательно, повторная выработка условного рефлекса будет осуществляться быстрее – после четырех комбинаций индифферентного и безусловного раздражителей. Автомат станет реагировать на свет в течение 30 сек. после 12-го импульса с устройства совпадения (переход от «11010» к «00110») и после 16-го импульса (переход от «11110» к «00001»), конечно, «забывая» рефлекс через 30 сек. в обоих случаях.

После 16-го импульса автомат «забывает» условный рефлекс, а коммутация каналов мультиплексора снова изменяется – на выход начинают поступать импульсы с его второго информационного входа. Возобновление условного рефлекса становится возможным после двух сочетаний света и «пищи»: автомат реагирует на 18-й, 20-й, 22-й и 24-й импульсы (соответственно, коды «10001» – «01001», «11001» – «00101», «10101» – «01101», «11101» – «00011»), разумеется, «забывая» через 30 сек. после каждого перечисленного импульса приобретенный навык.

Наконец, после 24-й комбинации условного и безусловного раздражителей автомат «запоминает» условный рефлекс «навсегда» – до выключения или до нажатия кнопки «сброс», поскольку к выходу мультиплексора будет подключен третий его вход, воспринимающий все сигналы фотореле. Одновременно с этим второй выход мультиплексора блокирует лог. 0 по входу D триггер устройства совпадения – счет импульсов прекращается. Функционирование данного узла автомата поясняет таблица.

Торможение выработанного условного рефлекса реализуется подачей сигнала низкого уровня на вход R одновибратора DD2.1 с источника постороннего раздражения. Например, при выработке условного пищевого рефлекса на свет тормозным является звуковой раздражитель. В этом случае одновибратор DD1.2 формирует импульс продолжительностью около 20 сек., который прерывает по входу R на данный отрезок времени работу одновибратора DD2.1. При этом включаются светодиоды красного свечения, вмонтированные в уши муляжа кролика, что имитирует ориентировочный рефлекс, «тревогу» лабораторного животного. Действие мешающего раздражителя «свет» при выработке условного рефлекса на раздражитель «звук» осуществляется аналогично.

Таким образом, автомат позволяет демонстрировать феномен врожденного ориентировочного рефлекса и феномен безусловного торможения условного рефлекса – принцип реципрокного взаимодействия различных по биологической значимости раздражителей.

Внешний вид прибора приведен на рис. 2.

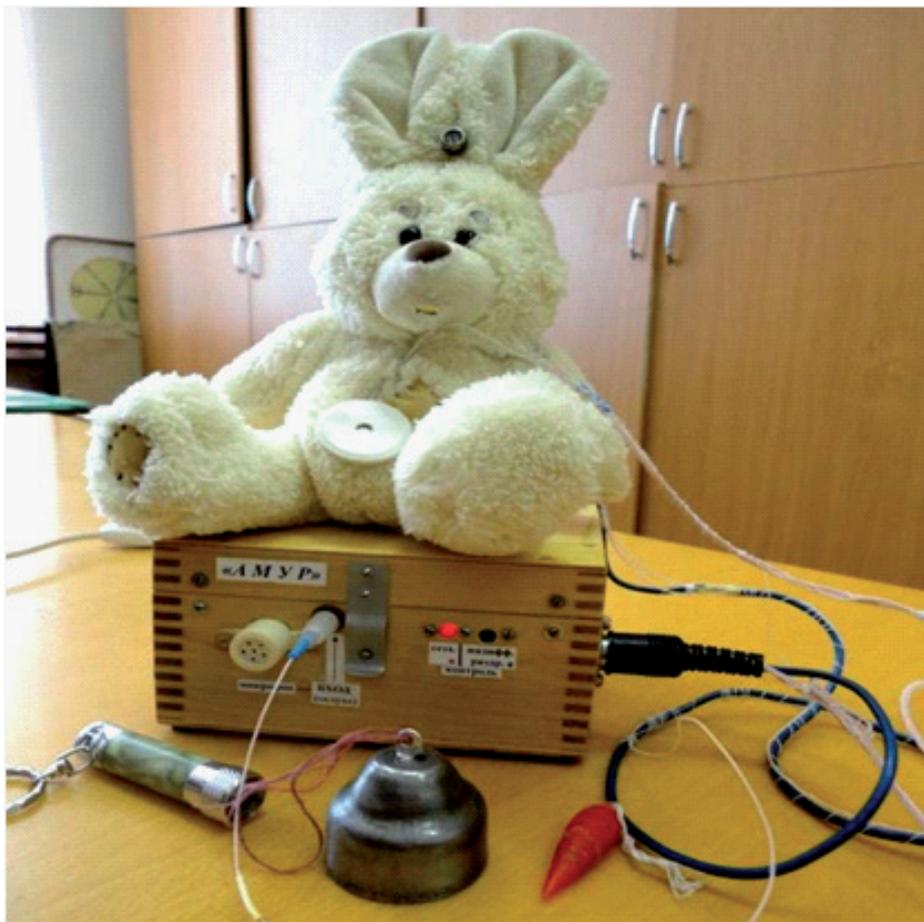


Рис 2. Внешний вид прибора «АМУР». На переднем плане: «морковь» – пищевой безусловный раздражитель, колокольчик и фонарь – условные раздражители («звук», «свет»).

В заключение следует подчеркнуть, что прибор «АМУР» весьма востребован не только в кабинете биологии, но и в физическом кабинете средней общеобразовательной школы, в школьном радиоклубе или радиокружке, поскольку позволяет наглядно демонстрировать работу мультивибратора, одновибратора, фотореле, акустического реле и реле, управляемого магнитным полем.

Литература

1. Мальцева Л.А., Фромберг Э.М., Ямпольский В.С. Основы цифровой техники. М. : Радио и связь, 1987.
2. Цифровые интегральные микросхемы : справочник / М.И. Богданович, И.Н. Грель, В.А. Прохоренко [и др.]. Минск : Беларусь, 1991.



“AMCR” – Automaton modeling conditioned reflex

There is described the digital device that allows demonstrating the methodology of production and inhibition of conditioned reflexes of a laboratory animal and the phenomenon of a conditioned reflex.

Key words: photoswitch, acoustic switch, univibrator, impulse counter, multiplexer, unconditioned reflex, conditioned reflex.