

ФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОНТИНУАЛЬНЫХ СИСТЕМ*

Моделирование возбудимых биологических структур при помощи нейронных сетей удобно в том случае, когда отдельные элементы сети одинаковы, просты в изготовлении и малы по габаритам. В пределе мы приходим к сетям, однородным по своей структуре, к так называемым континуальным средам (КС) [1]. Успешное моделирование сердечной мышцы [2, 3] свидетельствует о том, что КС могут быть моделями различных возбудимых биологических структур.

Привлекает внимание и то обстоятельство, что физическая модель простейшей КС является реализацией непрерывного нейристора и может быть использована для построения логических схем [4].

Кроме того, КС могут быть полезными и для решения ряда задач измерительной техники, особенно при создании микроминиатюрных измерительных устройств. Например, в целях исключения затухания измерительных сигналов соединение различных узлов и блоков может быть выполнено с помощью КС.

Задача данного сообщения состоит в обсуждении возможности создания и принципа работы некоторых моделей КС.

Предполагается, что простейшая модель обладает следующими свойствами [5]:

1) импульсы в КС, однажды возникнув, распространяются с постоянной во всех направлениях скоростью;

2) амплитуда распространяющегося импульса постоянна и больше порога невозбужденных областей;

3) каждая область может находиться в состоянии покоя, активности, рефрактерности.

Эти свойства не являются единственными**, однако удобнее начинать моделирование, не задаваясь сразу большим количеством свойств.

Модель среды с оптической передачей возбуждения

Модель содержит три слоя (рис. 1, а). Первые два слоя — фотосопротивление ФС и электролюминофор ЭЛ — составляют элемент памяти, оптрон*** [6]. Третий слой представляет собой позистор П — термосопротивление с положительным температур-

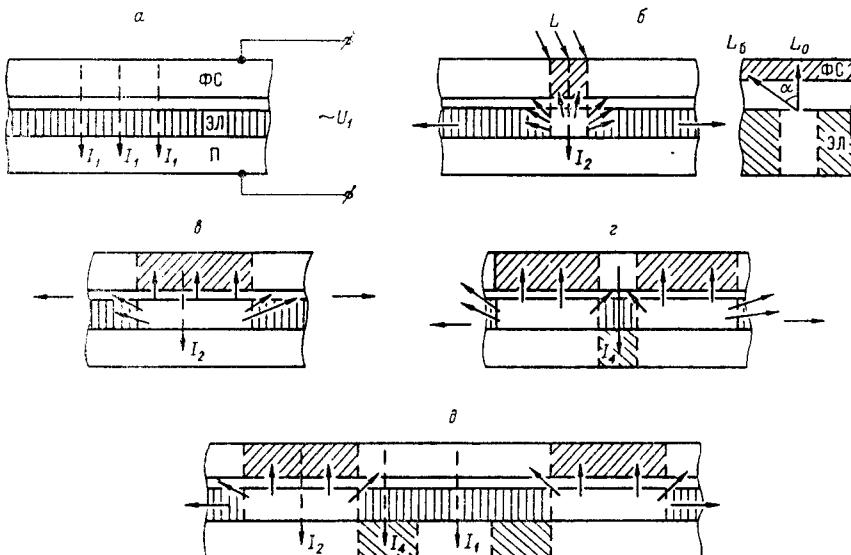


Рис. 1.

* Материал доложен на VII Всесоюзной конференции по автоматическому контролю и методам электрических измерений в сентябре 1965 г. в Новосибирске.

** КС, описание которой приведено в [1], обладает свойством спонтанной активности.

*** Слои ФС и ЭЛ разделяются тонкой прозрачной проводящей пленкой.

ным коэффициентом. Все три слоя имеют электрические контакты между собой по

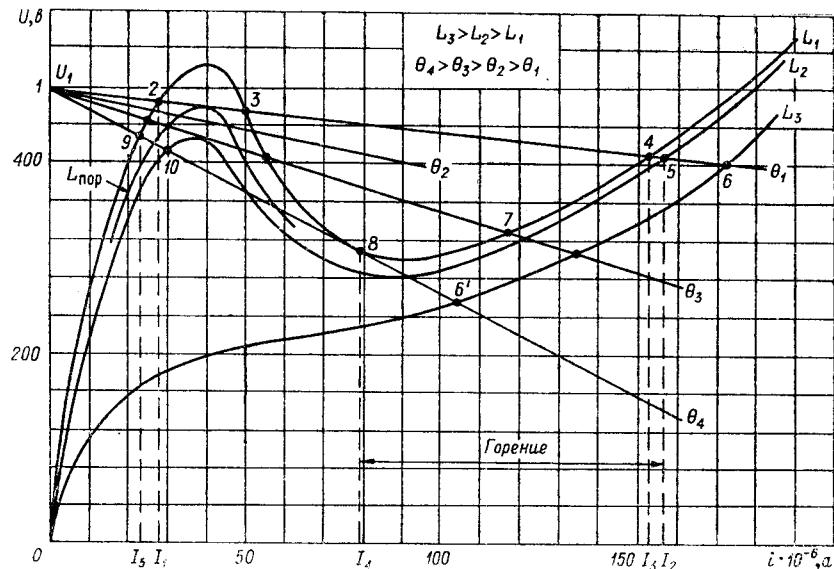


Рис. 2.

(см. рис. 2) в зоне освещения (см. рис. 1, б) перемещает рабочую точку в положение 5 (ток I_2) и оптрон загорается. После прекращения внешнего светового возбуждения рабочая точка перемещается в положение 4 и оптрон продолжает гореть. Световой поток L_6 от электролюминесцентного слоя воздействует также на близлежащие боковые участки (см. рис. 1, б) фотосопротивления с интенсивностью, равной $L_6 = L_0 \cos\alpha$. Части прилегающей площади оптрана, где $L_6 > L_{\text{пор}}$ ($L_{\text{пор}}$ — пороговая освещенность), тоже перейдет в светящееся состояние.

Таким образом, мы имеем эффект распространяющегося во все стороны возбуждения после кратковременного освещения малого участка плоскости среды (см. рис 1, з).

Однако благодаря термическому действию тока I_3 позистор нагревается, выделяя тепло Θ , характеристика его последовательно принимает положения 1—4, 1—7, 1—8, затем рабочая точка скачком переходит в устойчивое положение 9 и оптрон гаснет (см. рис. 1, е). Ток резко уменьшается, позистор начинает остыять, его сопротивление падает и рабочая точка возвращается в положение 2 (см. рис. 1, д). Время остыния определяет время рефрактерности. Однако сильная засветка может зажечь оптрон даже во время рефрактерности.

Модель среды с тепловой передачей возбуждения

Вольт-амперная характеристика термосопротивления (рис. 3) аналогична характеристике оптрана. Соединение двух плоских слоев — термосопротивления и позистора — приводит к тепловой модели КС. Нагрузочная характеристика холодного позистора пересекается с характеристикой термосопротивления в трех точках 2, 3, 4.

При ненагретом термосопротивлении устанавливается ток I_1 , что соответствует рабочей точке 2. Локализованный нагрев термосопротивления деформирует его вольт-амперную характеристику (см. рис. 3) и при $\Theta_T \ll \Theta_P$ (Θ_T и Θ_P — количество тепла,

необходимое для разогрева термосопротивления и позистора до одинаковой температуры T) в месте нагрева устанавливается ток I_2 . Указанное неравенство является необходимым для распространения процесса разогрева термосопротивления на соседние участки от места внешнего локализованного нагрева.

Вследствие нагрева и изменения характеристики позистора (см. рис. 3) рабочей становится точка 8, что приводит к уменьшению тока. Термосопротивление и позистор

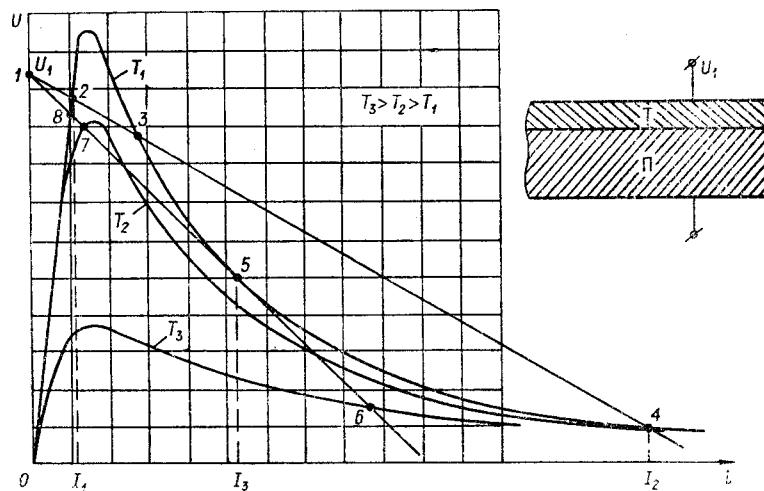


Рис. 3.

начинают остывать и в первоначальной точке локализованного нагрева снова устанавливается ток I_1 . Время остывания позистора является временем рефрактерности. Как и в оптической модели, сильный внешний нагрев может возбудить модель даже во время рефрактерности. Порог теплового возбуждения определяется температурой, при которой «вершина» характеристики опускается ниже линии нагрузки 1—4.

Гипотетические схемы моделей КС

Световую модель КС можно построить, используя эффект временного уменьшения положительной обратной световой связи в оптроне. Для этого в качестве прозрачного проводящего слоя между ФС и ЭЛ (см. рис. 1) следует применить стекло, обратимо изменяющее свою прозрачность при освещении [7]. Из-за потемнения стекла вскоре после загорания оптрана произойдет прекращение свечения. Время восстановления первоначальной прозрачности определит время рефрактерности.

ЛИТЕРАТУРА

- И. М. Гельфанд, М. Л. Цетлин. О континуальных моделях управляющих систем.—Докл. АН СССР, 1960, т. 131, № 6.
- И. П. Лукашевич. Исследование на электронно-вычислительной машине непрерывных моделей управляющих систем.—Биофизика, 1963, т. VIII, вып. 6.
- И. П. Лукашевич. Ритмика однородной ткани и моделирование поведения сердечной мышцы.—Биофизика, 1964, т. IX, вып. 6.
- Крейн. Нейристор — новый прибор.—ТИРИ, 1962, т. 50, № 10.
- Н. Винер, А. Розенблют. Проведение импульсов в сердечной мышце.—Кибернетический сборник, З. М., Изд-во иностр. лит., 1961.
- Е. Лебнер. Оптико-электронные устройства и цепи.—В сб. «Вопросы электролюминесценции». М.—Л., Госэнергоиздат, 1958.
- Стекло изменяет цвет под воздействием света.—Электроника, 1964, № 5.

Поступило в редакцию
18 сентября 1965 г.