

А. Г. Тарапон

При моделировании физических процессов с помощью электроинтегратора типа ЭГДА возникает потребность в приборе, позволяющем непосредственно видеть распределение линий равного потенциала на модели. Трудность создания такого прибора состояла в том, что при коммутации потенциала с модели (выполненной из электропроводной бумаги или сетки сопротивлений) нельзя было получить непрерывный сигнал $U(t)$, соответствующий потенциальной функции модели $\Phi(x, y)$.

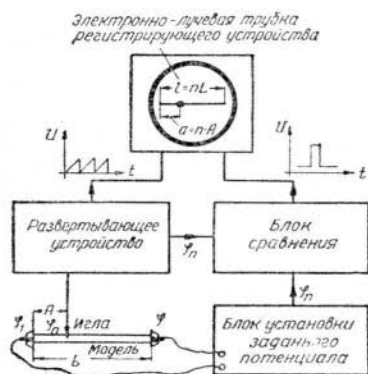


Рис. 1.

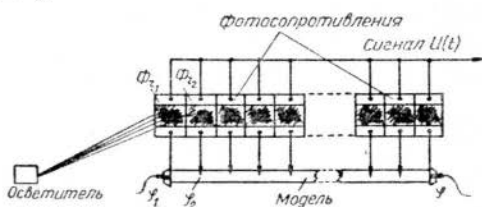


Рис. 2.

В лаборатории электромоделирования Института математики АН УССР в 1959—1960 годах были проведены исследования возможности применения фотосопротивлений в качестве коммутирующих элементов, построена модель коммутатора на фотосопротивлениях, который, аппроксимируя функцию $\Phi(x, y)$ модели, на выходе дает непрерывный сигнал $U(t)$, а на базе коммутатора построен макет прибора для решения двумерных задач с визуальным наблюдением решения и регистрации его на фотопленку или электрочувствительную бумагу. Ниже излагаются некоторые результаты этой работы.

При электромоделировании наиболее типичными являются две следующие основные задачи:

- 1) отыскание эквипотенциальных линий модели;
- 2) нахождение потенциалов в заданных точках.

Чтобы найти решение первой задачи, на экране электронно-лучевой трубки необходимо получить геометрическое подобие модели с выделенной на нем ярким свечением любой заданной эквипотенциальной линией. Для одномерной задачи это может быть представлена следующей схемой (рис. 1).

Движение луча электронно-лучевой трубки синхронизировано с движением иглы съема потенциала с модели. Блок установки заданного потенциала настраиваем при помощи лимба с делениями на потенциал Φ_n . При прохождении иглы через точку C с потенциалом Φ_n блок сравнения даст импульс, открывающий электронно-лучевую трубку, и по яркой метке на экране мы увидим, в каком месте модели находится интересующий нас потенциал Φ_n . Второй тип задачи по этой схеме решается также просто. Лимбом установки заданного потенциала совмещаем светящуюся метку на экране трубки с точкой, в которой нам необходимо определить значение потенциала, и по градуировке лимба читаем его значение.

Для осуществления такой простейшей схемы необходимы два условия:

- 1) непрерывность модели (она не может быть выполнена из цепочки, а двумерная — из сетки сопротивлений);

2) коммутатор съема потенциала должен давать на выходе сигнал $U(t)$, соответствующий в каждой точке потенциальной функции модели $\varphi(x)$.

Как известно, автоматический съем потенциала при помощи иглы встречает большие технические затруднения, а другие коммутаторы при дискретном подключении их к непрерывным моделям не могут обеспечить второго условия. Поиски коммутатора, пригодного для осуществления упомянутой выше схемы, привели к разработке коммутатора на фотоспротивлениях.

Работает коммутатор на фотоспротивлениях следующим образом (рис. 2). Фотоспротивления расположены рядом друг с другом и засвечиваются пробегающим световым лучом, ширина которого равна ширине одного фотоспротивления. Каждое из них подключено к модели. Пусть в данный момент времени световое пятно проектируется на фотоспротивление Φ_{r_1} , которое подключено к модели в точке 1 с потенциалом φ_1 , тогда с выхода коммутатора мы получим потенциал U_1 , соответствующий потенциалу φ_1 . При перемещении пятна с фотоспротивления Φ_{r_1} на фотоспротивление Φ_{r_2} первое начнет увеличивать свою величину, второе — уменьшать. Но Φ_{r_2} подключено к точке 2 модели с потенциалом φ_2 , следовательно, и потенциал на выходе коммутатора будет изменяться от U_1 к U_2 , проходя все промежуточные значения.

Таким образом, при дискретном снятии потенциала с модели на выходе коммутатора получаем непрерывный сигнал $U(t)$, аппроксимирующий функцию $\varphi(x)$.

Кроме того, такой коммутатор обладает еще следующими техническими преимуществами:

- 1) отсутствие механических контактов;
- 2) неограниченный срок службы [3];
- 3) простота синхронизации с лучом электронно-лучевой трубки регистрирующего устройства.

Для проверки правильности разработанного принципа нами был построен макет прибора для визуального наблюдения решений уравнения Лапласа. Он состоит из следующих узлов:

- 1) модель из электропроводной бумаги;
- 2) коммутатор выполненный на фотоспротивлениях;
- 3) блок сравнения сигнала модели с заданным сигналом;
- 4) регистрирующее устройство с выходом на электронно-лучевую трубку;
- 5) блок питания.

К модели, выполненной из электропроводной бумаги, при помощи специальных зажимов подключен коммутатор. Точки подключения на модели образуют четыре горизонтальных ряда по четыре точки в каждом ряду с равными расстояниями между ними. Коммутатор служит для подачи в блок сравнения значения потенциалов модели, а также подачи импульсов синхронизации запуска генераторов развертки электронно-лучевой трубки регистрирующего устройства. Для введения координат в регистрирующее устройство последовательность коммутирования принята по горизонтальным рядам слева направо. В макете прибора коммутатор выполнен на 16 фотоспротивлениях ФСК-0, приклеенных на изоляционный барабан. Засветка сопротивлений производится миниатюрной лампочкой, которая вращается вокруг барабана синхронным мотором СД-60. Частота (строчной) горизонтальной развертки 0,5 гц.

Выход коммутатора подключен к сетке лампы первого каскада блока сравнения, собранного по схеме катодного повторителя. С нагрузки катодного повторителя сигнал подается на электронный мост постоянного тока, который при совпадении поступившего сигнала с заданным дает импульс.

Блоки сравнения и синхронизации собраны на двух лампах типа 6Н2-П. Регистрирующее устройство предназначено для визуального наблюдения картины поля моделируемой области с выделением любых наперед заданных эквипотенциальных линий. Оно представляет собой электронно-лучевой индикатор с генераторами разверток по горизонтали и вертикали, работающими синхронно с коммутатором. На модулирующий электрод трубки подаются импульсы с выхода блока сравнения, засвечивающие экран в соответствующих точках. Таким образом, на экране выходного устройства можно наблюдать любую наперед заданную эквипотенциальную.

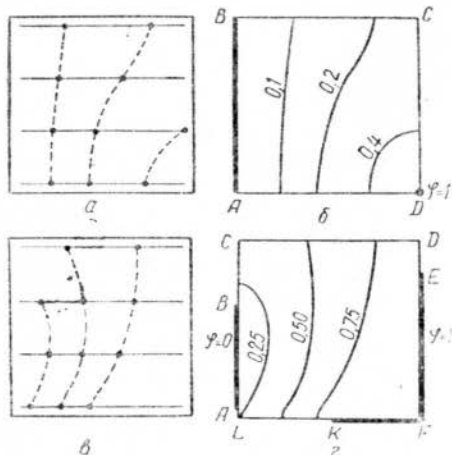


Рис. 3.

при следующих граничных условиях: 1) $\varphi = 0$ на участке AB стороны квадрата $LCDF$ (рис. 3, c), $\varphi = 1$ на участке KFE , $\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0$ на остальных участках границы; 2) $\varphi = 0$ на стороне AB квадрата $ABCD$ (рис. 3, d), $\varphi = 1$ в вершине D этого квадрата, $\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0$ на остальных участках границы.

На рис. 3, a , b приведены фотографии линий $\varphi = \text{const}$, непосредственно снятые с экрана регистрирующего устройства, а на рис. 3, c , d — те же эквипотенциальные линии, построенные обычным путем на интеграторе ЭГДА-8/56 [5].

Сравнение результатов показывает, что даже в случае очень малого числа коммутирующих элементов (16 штук) изображение, полученное на экране регистрирующего устройства, дает вполне удовлетворительную качественную картину распределения эквипотенциалей.

Очевидно, что увеличение количества коммутирующих элементов приведет к повышению точности результатов.

Новый вариант прибора, над которым мы в настоящее время работаем, позволит получать количественные результаты с точностью, достаточной для решения многих технических задач. Этот прибор можно будет использовать как для непрерывных электропроводных сред, так и для дискретных.

В заключение статьи пользуясь случаем выразить благодарность П. Ф. Фильчакову за постановку темы и за научное руководство при ее разработке.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. М. Белаш и Г. М. Зоров, Об одной возможности совместного использования специализированных вычислительных машин непрерывного и дискретного действия, Межвузовская научная конференция по применению физического и математического моделирования, Доклад М—15, М., 1959.

2. Л. И. Гутенмахер, Электрические модели, Изд-во АН СССР, 1949.

3. Б. Г. Коломиец, Фотосопротивления и их основные параметры, Мангиз., М., 1958.

4. П. Ф. Фильчаков, В. И. Панчишин, Интеграторы ЭГДА-6/51 и ЭГДА-6/53, Инструкция по эксплуатации и методике моделирования, Изд-во КГУ, 1955.

5. П. Ф. Фильчаков, В. И. Панчишин, Интегратор ЭГДА-8/56 и основные области его применения, Межвузовская научная конференция по применению физического и математического моделирования, Доклад М-01, М., 1959.

Поступила 18. X 1960 г.

Киев