

УДК 621.318.51

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ МЕМБРАН ПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ РЕЛЕ

А.Г.Кириллов, М.П.Тычинская

1. П о с т а н о в к а з а д а ч и. При обследовании макетных образцов пленочных электростатических реле [1] были выявлены значительные расхождения между расчетными параметрами приборов [1,2] и их измеренными значениями [1,3]; в частности, напряжения срабатывания макетных образцов оказались в 2-10 раз выше расчетных. Это может быть результатом воздействия ряда факторов, таких как отклонения геометрии ПЭР в результате несовершенства технологии изготовления (деформация мембран, наличие посторонних частиц в рабочем зазоре реле и микроненородностей на поверхности мембраны, управляющего электрода и изолятора), расхождение в механических характеристиках и величине натяжения расчетной и реальной мембраны.

Изучение движения различных точек мембраны ПЭР позволяет уяснить некоторые причины расхождения реальных и расчетных характеристик реле и, следовательно, определить пути совершенствования конструкции и технологии изготовления приборов.

2. М е т о д и к а и з м е р е н и й. Прибор, на котором выполнялись измерения, представляет собой локатор, работающий на эффекте Доплера в видимом диапазоне спектра электромагнитных волн. Генератором в приборе служит лазер непрерывного излучения с длиной волны $\lambda = 0,63$ мкм, луч которого расщепляется на опорный и рабочий и фокусируется на измеряемом объекте. При перемещении объекта отраженная от него часть луча имеет частоту, отличающуюся от частоты опорного луча на величину Δf , которая пропорциональна скорости перемещения объекта.

Отраженный от объекта и опорный лучи направляются в фотоумножитель, на выходе которого выделяются облучения. Развертка сигнала с выхода фотоумножителя на экране осциллографа позволяет восстановить график движения облучаемой точки объекта. При амплитуде перемещения объекта, равной или меньшей четверти длины волны опорного луча, на экране осциллографа непосредственно получается кривая перемещения $x = f(\ell)$. При перемещениях объекта, больших четверти длины волны излучения лазера, на экране осциллографа наблюдаются колебания. В этом случае величина перемещения в единицу времени может быть охарактеризована числом колебаний, приходящихся на единицу длины развертки. Таким образом, при известной скорости развертки осциллографа можно построить график движения объекта. Смена фазы колебаний свидетельствует об изменении направления движения, отсутствие колебаний — о его остановке. Дополнительной характеристикой при обследовании плоских объектов может служить изменение амплитуды выходных колебаний, свидетельствующее о повороте плоскости объекта относительно направления луча, что приводит к ослаблению отраженного сигнала, попадающего в оптическую систему.

Более подробно принцип работы прибора описан в [4]. Возможность ограничить размеры исследуемой точки сечением сфокусированного лазерного луча (20 мкм в плоскости объекта), отсутствие на объекте датчика, изменяющего механические характеристики системы, малая мощность луча, исключающая значительный разогрев объекта — все это делает указанный прибор весьма перспективным для исследования движения тонкопленочных элементов конструкций.

Измерения на образцах ПЭР проводились при нормальном атмосферном давлении в следующем режиме коммутируемой цепи: $U_k = 6$ в на разомкнутых контактах и $I_k = 1$ ма в замкнутом состоянии.

3. Результаты измерений. Для наблюдений за перемещением мембраны были выбраны наиболее характерные точки ее поверхности: над контактом и над управляющими электродами в средней их части. На рис. 1 показано схематическое изображение реле и расположение точек, на которых выполнялись измерения. Такое размещение контрольных точек позволяет составить достаточно полное представление о перемещениях мембраны под действием управляющего электрического сигнала.

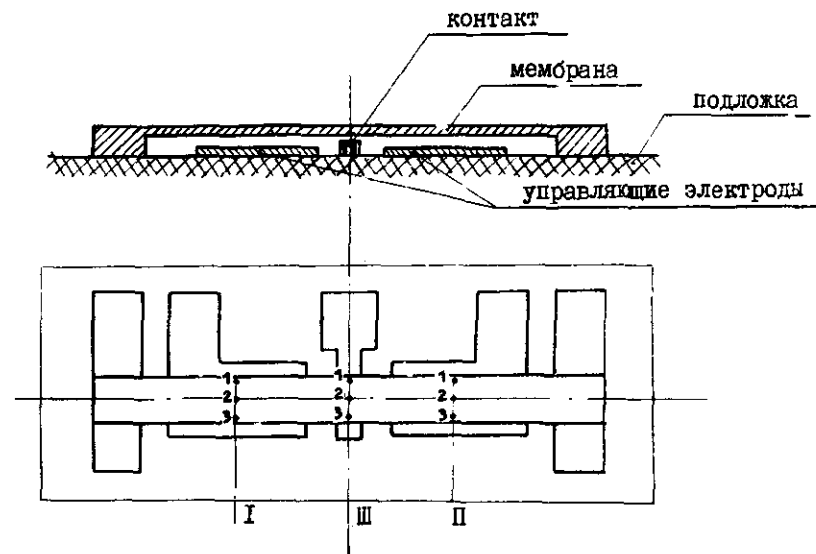
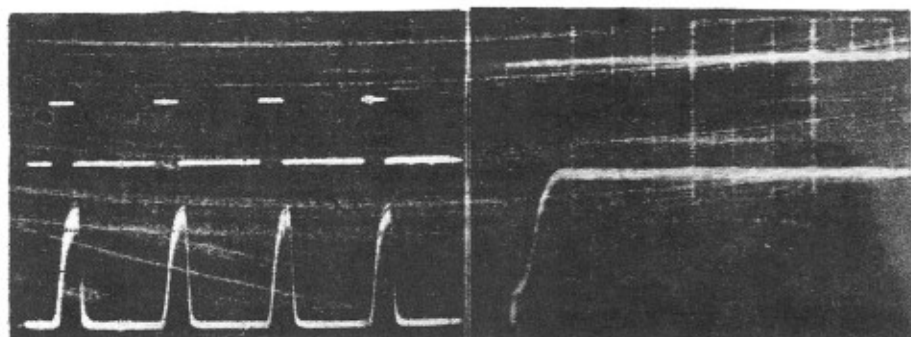


Рис. 1

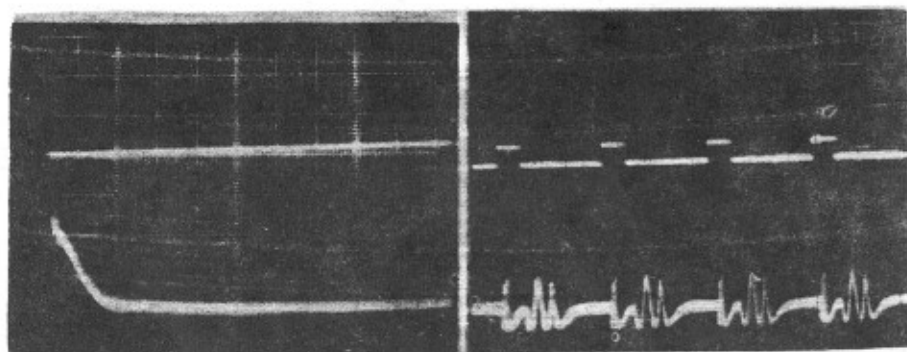
Для возбуждения мембраны применялись прямоугольные импульсы от генератора стандартных сигналов.

Типичные осциллограммы перемещения мембран при различных величинах управляющего сигнала приведены на рис. 2. На рис. 2, а, б, в можно видеть непосредственно график $x = f(t)$ перемещения мембраны, так как приложенное напряжение обеспечивает ход мембраны только в пределах четверти длины волны луча лазера. При увеличении управляющего напряжения вид осциллограмм (рис. 2, г, д, е, ж, з) существенно усложняется, и для получения графика движения мембраны требуется ее расшифровка. Пример расшифровки таких сложных осциллограмм показан на рис. 3. Движение мембраны после снятия управляющего напряжения иллюстрируют осциллограммы рис. 2, в, е, з. На осциллограмме рис. 2, д отчетливо видна задержка движения мембраны относительно управляющего напряжения. По осциллограмме рис. 2, е можно судить о добротности мембраны.



а) Точка I-2;
 $U_y = 5,6$ в; $S_x = 4$ мсек/см.
 Ход мембраны $\alpha \approx \lambda/4 \approx 1580\text{\AA}$.

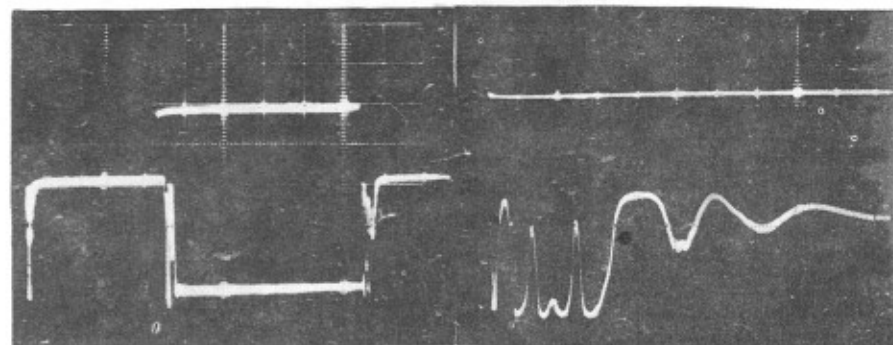
б) Точка II-2
 $U_y = 15$ в; $S_x = 50$ мсек/см.
 Ход мембраны $\alpha \approx \lambda/4 \approx 1580\text{\AA}$.



в) Точка II-2
 $U_y = 0$ (было $U_y = 15$ в);
 $S_x = 50$ мсек/см.

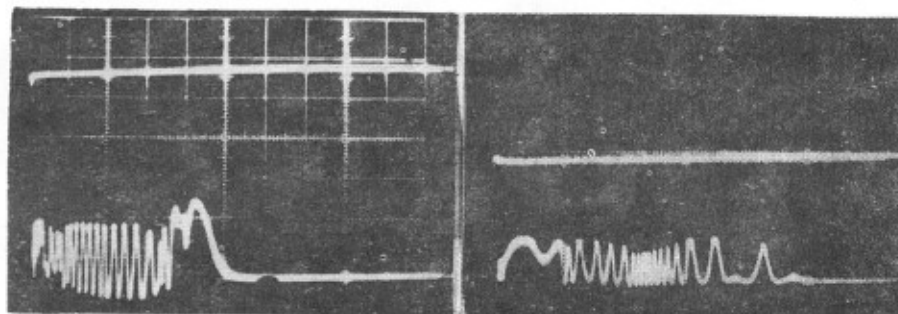
г) Точка I-2
 $U_y = 18$ в; $S_x = 4$ мсек/см.
 Ход мембраны $\alpha \approx 2,5 \lambda \approx 0,79$ мкм

Рис. 2. (лист I). Осциллограммы перемещения мембран ПЭР при воздействии различных управляющих сигналов (верхний луч - управляющее напряжение, нижний - обработанный сигнал с выхода фотоумножителя).



д) Точка III-2
 $U_y = 36$ в; $S_x = 0,5$ мсек/см.

е) Точка III-2
 $U_y = 0$ (было $U_y = 36$ в);
 $S_x = \frac{20 \text{ мсек}}{\text{см}}$.



ж) Точка III-2
 $U_y = 68$ в; $S_x = 20$ мсек/см.

з) Точка III-2
 $U_y = 0$ (было $U_y = 77$ в);
 $S_x = \frac{0,5 \text{ мсек}}{\text{см}}$.

Рис. 2 (лист 2). Осциллограммы перемещения мембран ПЭР при воздействии различных управляющих сигналов (верхний луч - управляющее напряжение, нижний - обработанный сигнал с выхода фотоумножителя).

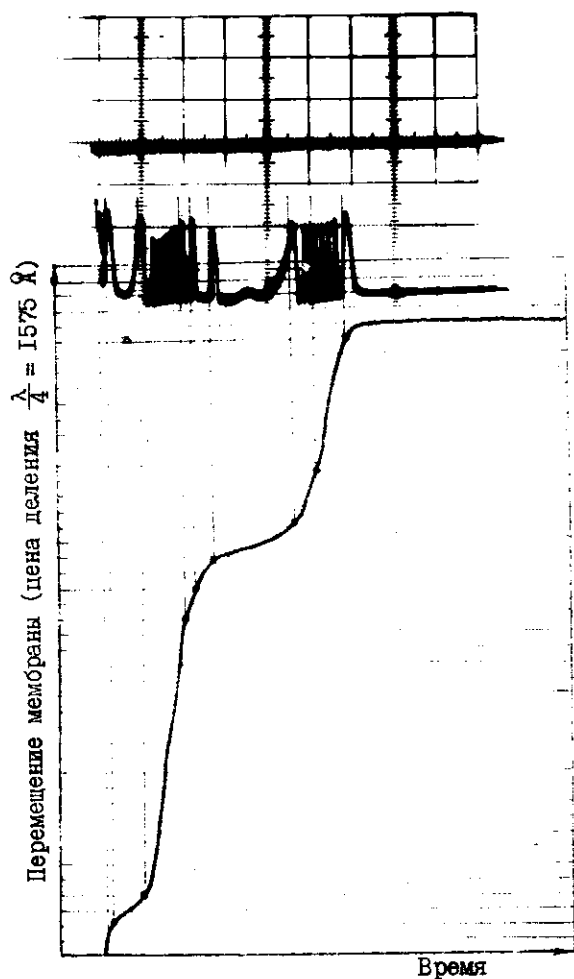


Рис. 3. Пример расшифровки осциллограммы перемещения мембраны реле

Изучение движения мембран образцов ПЭР в различных поперечных сечениях и в различных точках одного сечения показало, что уже при малых управляющих напряжениях перемещение мембраны существенно отличается от плоскопараллельного. Величины переме-

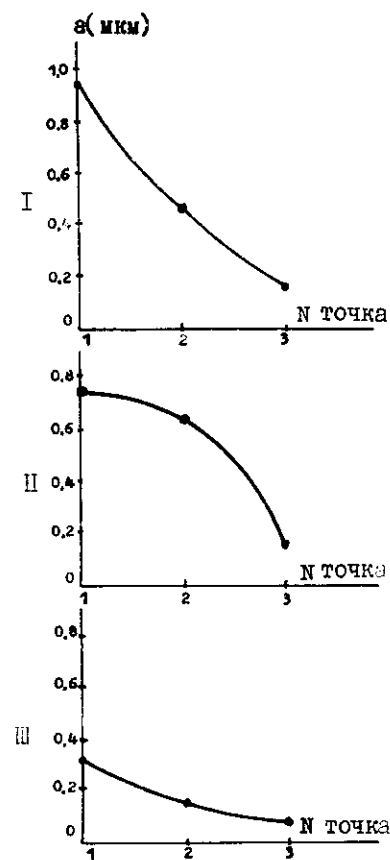


Рис. 4

го зазора. Измерения показали, что у всех обследованных образцов реле мембрана перемещается несимметрично. В отдельных случаях на мембране при перемещении ее над управляющим электродом имеются точки, конечный прогиб которых под действием управляющего импульса на порядок меньше теоретически [1,2] ожидаемого или вообще отсутствует. Пример распределения прогиба мембраны ПЭР по её длине при срабатывании показан на рис. 5. Таким образом, допущение о симметричном прогибе мембраны под действием

действия различных точек мембраны при $U_{упр} = 8$ в (срабатывания нет) одного из образцов приведены на рис. 4. Нумерация точек соответствует указанной на рис. 1. Легко видеть, что мембрана поворачивается вокруг продольной оси (причем на различных углах в разных сечениях) и одновременно происходит изменение формы поперечного сечения мембраны, о чем свидетельствует нелинейность кривых на рисунке. Эти наблюдения совпадают с теоретическими представлениями, развитыми в работе [5]. Амплитуда перемещения отдельных точек мембраны превышает предполагаемую величину рабочего зазора (по толщине опор мембраны) и изменяется вдоль мембраны и от образца к образцу весьма существенно.

Была исследована величина максимальной амплитуды перемещения мембраны в различных точках вдоль рабоче-

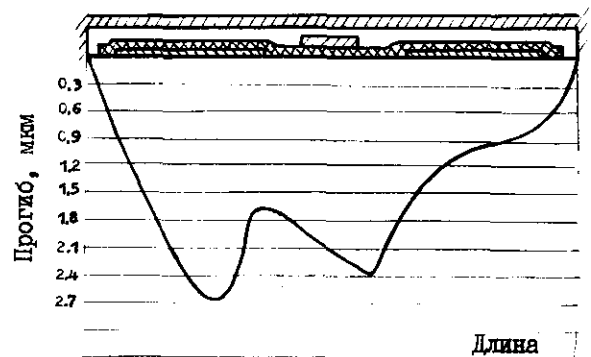


Рис. 5

управляющего напряжения, принятое в работах [1,2], не находит экспериментального подтверждения.

Отмечен ряд характерных особенностей движения мембран, общих для всех образцов. В процессе движения мембраны над контактом реле (наб-

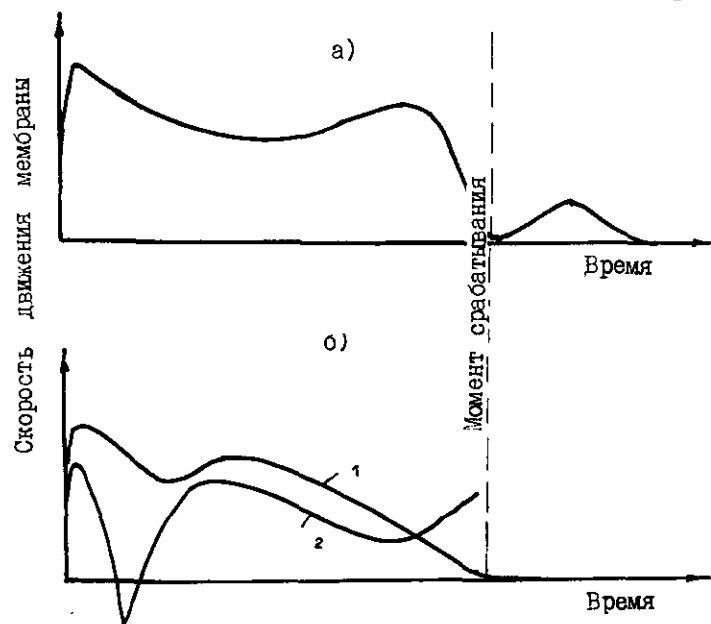


Рис. 6

людение в точке Ш-2, рис.1) условно можно выделить два этапа, разделенных моментом электрического замыкания контактов и существенно отличающиеся по скорости. Качественная зависимость скорости движения мембраны под действием напряжения срабатывания показана на рис.6,а. Для сравнения на рис.6,б приведена аналогичная зависимость для точек мембраны над управляющим электродом (кривые 1 и 2, соответственно, слева и справа от контакта в одном приборе).

Первый этап заканчивается электрическим срабатыванием. Перемещение мембраны во втором этапе составляет 0,3 – 0,6 мкм, и, вероятно, является следствием оплавления микровыступов на контактах. Во всех измерениях отмечено, что изменение напряжения на управляющих электродах от величины напряжения срабатывания и выше не приводит к изменению характера движения, но время прохождения каждого этапа существенно сокращается.

При размыкании контактов наблюдается "дребезг" мембраны с амплитудой порядка 0,15 мкм в течение 5 – 15 мксек. На рис. 7 приведена качественная зависимость скорости мембраны от времени после размыкания контактов.



Рис. 7

Обследование образцов ПЭР с различными конструкциями мембран (с мембраной шириной 0,15 мм, 1 мм и переменного сечения) показало, что характер движения мембран всех конструкций практически одинаков. Можно лишь отметить более чет-

кую фиксацию положений при срабатывании и отпуске и большее количество точек с ограниченным перемещением у широких мембран в сравнении с узкими.

На основании проведенных измерений могут быть сделаны некоторые практические выводы:

1. Перемещение мембраны реальных образцов пленочных электростатических реле гораздо сложнее, чем в идеализированной модели, принятой для расчетов в [1,2]. Для получения удовлетворительного совпадения экспериментальных и расчетных результатов необходима разработка более совершенной модели.

2. При значении управляющего напряжения, равном напряжению срабатывания, мембрана имеет полную амплитуду перемещения, практически не увеличивающуюся при дальнейшем увеличении напряжения. При этом в области контакта всегда имеет место замедление движения мембраны.

3. Используемые при изготовлении образцов технологические приемы изготовления реле не обеспечивают получения повторяющихся результатов по геометрии и параметрам.

Л и т е р а т у р а

1. ДЯТЛОВ В.Л., СОЛДАТЕНКОВ И.С. Некоторые результаты исследований пленочных электростатических реле. -В кн.: Вычислительные системы. Труды I Всесоюзной конференции по вычислительным системам. Вып. 5. Физико-технологические исследования. Новосибирск, 1968, с. 159-176.

2. ПОЛИНА Т.В., ПОТАПОВ Б.С. Статические характеристики пленочных электростатических реле с выступающим контактом. -В кн.: Вычислительные системы. Вып.46. Новосибирск, 1971, с. 8-13.

3. ИГНАТЕНКО П.С., СОЛДАТЕНКОВ И.С. Экспериментальное исследование импульсных характеристик реле. -В кн.: Вычислительные системы. Материалы ко II Всесоюзной конференции, секция IV. Новосибирск, 1969, с. 60-63.

4. ВАНЕЦИАН Р.А., ТЫЧИНСКАЯ М.П., ЗАХАРОВ В.П., НИКОЛАЕВА О.А., ТИЩЕНКО В.А. Лазерная установка для измерения амплитуд и резонансных частот колебаний элементов механических конструкций. -"Квантовая электроника", 1971, с.

5. ДЯТЛОВ В.Л., РОГАЛЕВ А.И. Электромеханические пленочные элементы. -В кн.: Вычислительные системы. Вып.49. Новосибирск, 1972, с. 132-146.

Поступила в ред.-изд.отд.
28 декабря 1973 года