

УДК 621.318.56

РЕЛАКСАЦИЯ СИЛ В ПЛЕНОЧНЫХ ЕМКОСТНЫХ СТРУКТУРАХ

В.В. Коняшкин

Пленочная емкостная структура представляет собой многослойный конденсатор с неподвижной обкладкой и одной или несколькими подвижными обкладками. Характеристики таких структур и области применения описаны в работах [1,2]. В качестве подвижного электрода в таких структурах обычно используется металлизация пленки полиэтилентерефталата. Таким образом, между обкладками конденсатора находится двухслойный изолятор — газ и твердый диэлектрик. Электрофизические процессы, происходящие в таком двухслойном изоляторе, и определяют круг исследований подобных элементов. В некоторых случаях для питания устройств пленочной электромеханики удобно использовать постоянное напряжение, под которым элемент находится достаточно долгое время. Изучение поведения структур в таких условиях является целью настоящей работы.

Установка для измерения электростатических сил в пленочных емкостных структурах с накатом обкладок описана в работе [1]. Неподвижный электрод, пленка алюминия толщиной 5000 Å, нанесен на оптически полированное стекло, закрепленное в держателе, который имеет возможность поворачиваться в диапазоне 0° – 90° относительно вертикального положения. Подвижным электродом является металлизация (пленка алюминия толщиной 700 Å) полимерной пленки, которая закреплена одним своим концом диэлектрической стороной на неподвижном электроде. Поворачивая держатель со стеклом, можно получить разнообразные углы α между плоскостью неподвижного электрода и плоскостью подвижного. Определение сил проводилось методом измерения расстояния, на которое перемещается конец предварительно откалиброванной плоской пружины, где закреплен второй конец полимерной ленты. Соответствующее каждому значению напряжения значе-

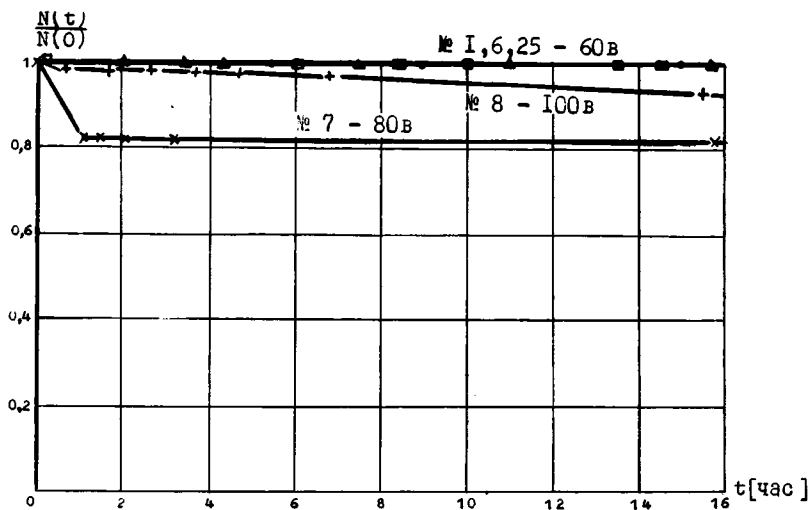
ние расстояния перемещения определялось по шкале отсчета микрометра при замыкании контактов, один из которых расположен на пружине, другой на подвижном стержне микрометра. Одновременно с изменением силы в каждой точке проводилось измерение величины емкости структуры. Емкость определялась методом переменного тест-сигнала малой величины. Схема измерений приведена в работе [3], там же описана методика определения емкости. По этой емкости рассчитывалась удельная емкость C_0 распластанного участка ленты на единицу ее площади, которая в дальнейшем используется в расчетах.

В ходе работы было исследовано двадцать шесть образцов пленочных лент из полиэтилентерефталата, вырезанных из одного рулона, длина $4 \cdot 10^{-1}$ м, ширина лент $1,3 \cdot 10^{-2}$ м. Специальной обработке, мойке и т.д. ленты не подвергались. Толщина ленты составляла $3,5 \cdot 10^{-6}$ м. Пленка алюминия (ширина 10^{-2} м) толщиной $7 \cdot 10^{-8}$ м наносилась методом термического испарения в вакууме, технологические режимы нанесения алюминия для всех образцов выдерживались одинаковыми. Установка для измерения сил находилась в заземленном металлическом объеме. Измерения проводились при нормальном атмосферном давлении, влажность воздуха во время опытов контролировалась и не превышала 20%. Угол α равнялся 25° . При испытаниях на воздухе неподвижный электрод промывался спиртом ГОСТ 18300-72. Плюс постоянного напряжения подавался на металлизацию полимерной пленки. Подъем напряжения до необходимой величины производился в течение одной-двух минут, время выдержки в основном составляло шестнадцать часов, в некоторых случаях, специально оговоренных ниже, достигало шестидесяти семи часов.

На рис. 1, а; 2, а; 3, а приведены экспериментальные зависимости силы притяжения подвижного электрода при различных значениях напряжения от времени выдержки, $N(t)$ — значение величины силы электростатического притяжения в текущий момент времени, $N(C)$ — максимальное значение силы притяжения при заданном напряжении, τ — время выдержки. В литературе [1] приводится уравнение для вычисления электростатической силы

$$N = \frac{1}{1 - \cos \alpha} \int_0^{U_D} U_D C_0 (U_D) dU_D, \quad (1)$$

где N — сила на единицу ширины ленты, действующая вдоль направления перемещения, C_0 — удельная емкость, $U_D = U + U_0$, U — напряжение источника питания, U_0 — эквивалентное напряжение внутренне-



а)

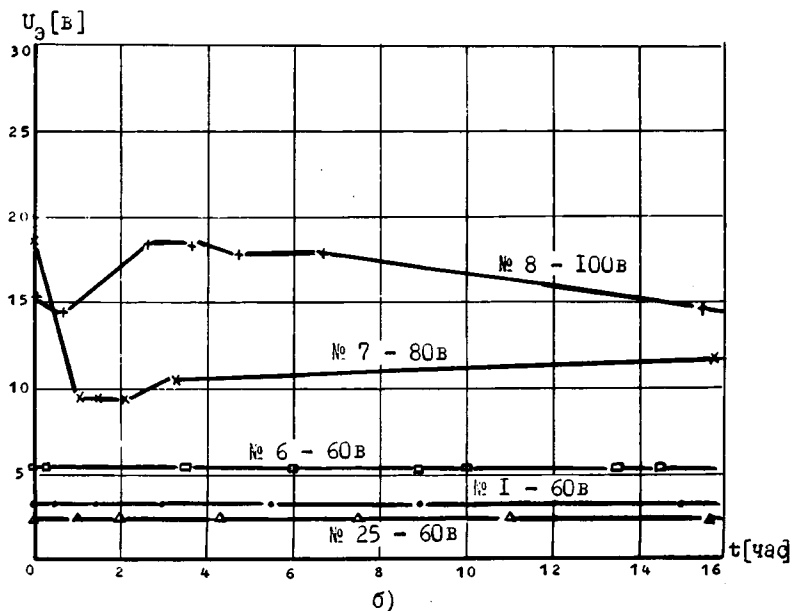


Рис. I. Зависимость силы притяжения (а) и эквивалентного напряжения внутреннего заряда (б) от времени выдержки при разных величинах напряжения U .

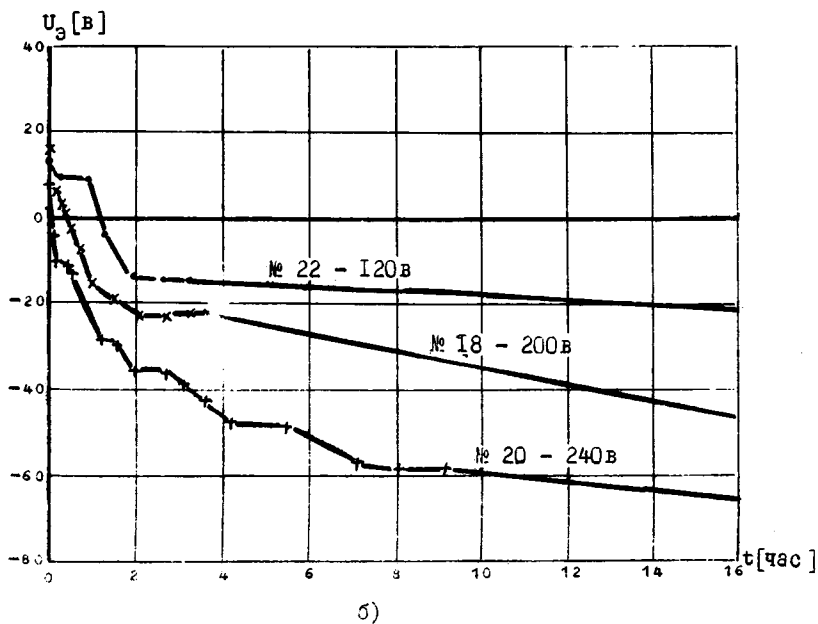
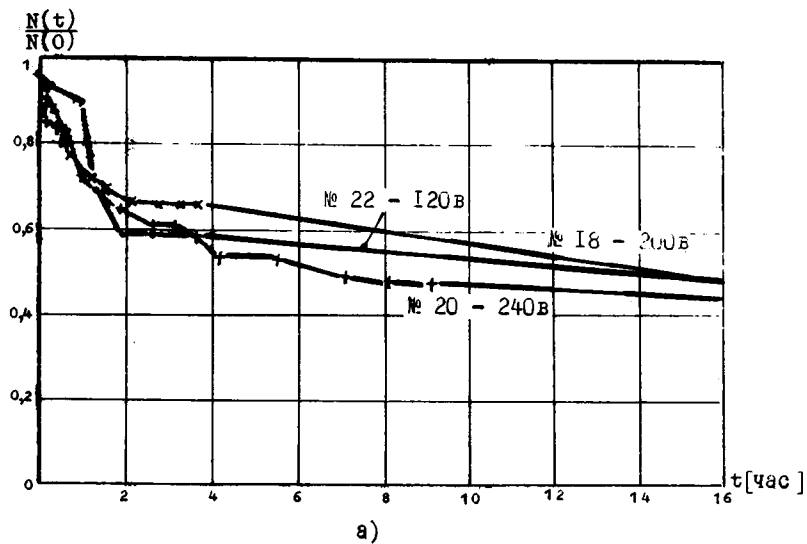


Рис.2. Зависимость силы притяжения (а) и эквивалентного напряжения внутреннего заряда (б) от времени выдержки при разных величинах напряжения U .

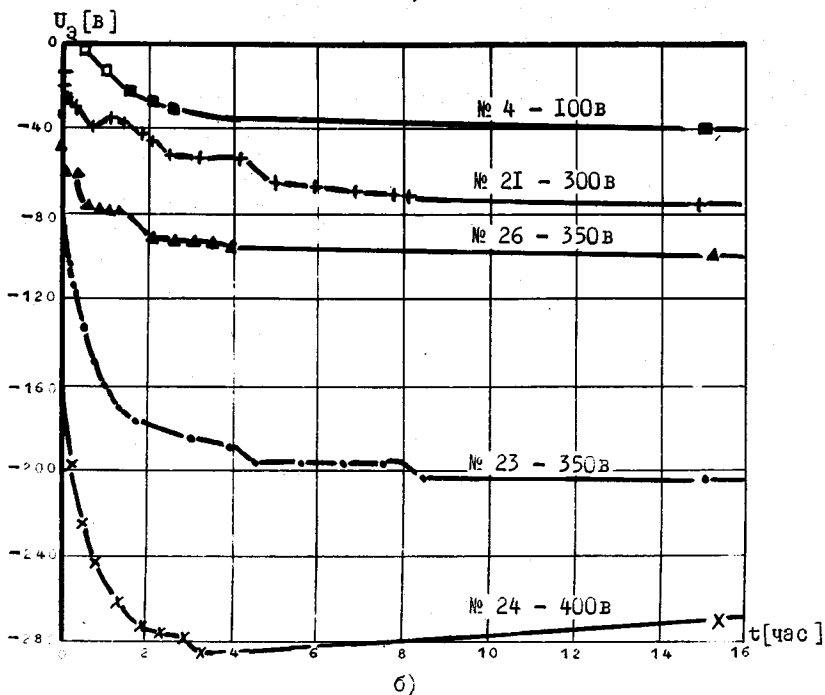
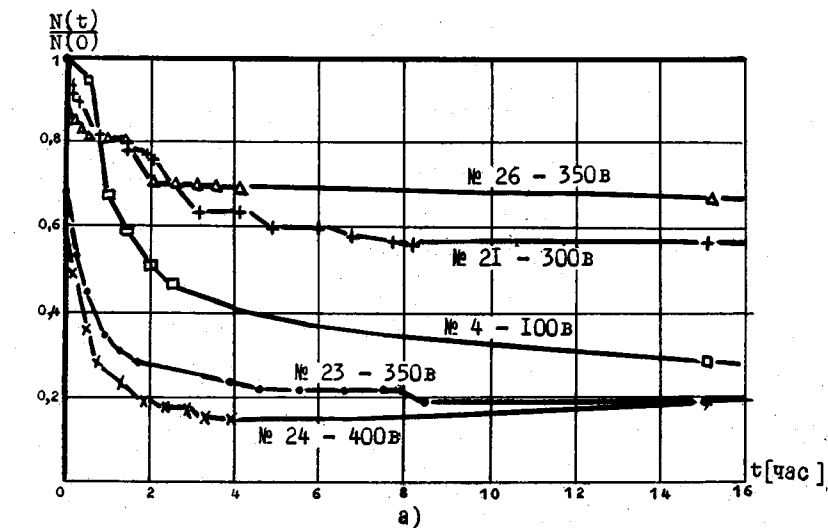


Рис. 3. Зависимость силы притяжения (а) и эквивалентного напряжения внутреннего заряда (б) от времени выдержки при разных величинах напряжения U .

го заряда, α - угол между плоскостью неподвижного и плоскостью подвижного электродов. Поскольку C_0 - монотонная, медленно меняющаяся функция U , то (1) можно приближенно представить как

$$N \approx \frac{1}{1 - \cos \alpha} k C_0(U) \frac{(U + U_3)^2}{2}, \quad (2)$$

где $k = 0,8$ - [1]. В дальнейшем из результатов обработки экспериментальных данных принято $k = 0,9$.

Величина напряжения источника U менялась от 60 в до 400 в, N и C_0 измерялись в процессе эксперимента. Величина U_3 рассчитывалась из формулы (2) и изменение ее в течение времени выдержки приведено на рис. 1,б; 2,б; 3,б.

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что наблюдается падение величины силы притяжения, особенно заметное для больших значений напряжений (до 80% от максимальной величины при напряжении 400 в). Подобное явление можно объяснить появлением заряда на поверхности диэлектрика, который создает в воздушном зазоре электрическое поле, уменьшающее поле внешнего источника питания. Заряды подобного типа получаются при изготовлении электроэлектретов [4]. Величину этого заряда и характеризует U_3 . Уменьшение силы отсутствует только при напряжении 60 в. Образец № 25 выдерживался под напряжением 67 часов, уменьшение силы не наблюдалось. По величине U_3 и его знаку результаты можно разбить на три группы. Первая - в процессе выдержки величина U_3 остается постоянной или незначительно уменьшается, но не меняет своего знака, вторая - величина U_3 уменьшается, меняет знак, а затем увеличивается и третья - величина U_3 увеличивается и не меняет своего знака. Знак U_3 выбирался из условия: если N экспериментальное больше, чем N теоретическое, которое определялось из формулы (2) при $U_3 = 0$, то U_3 имеет знак, противоположный знаку напряжения на неподвижном электроде, т.е. U_3 увеличивает поле в зазоре и увеличивает силу притяжения; если N экспериментальное меньше N теоретического, то U_3 имеет такой же знак, как знак напряжения на неподвижном электроде, т.е. U_3 уменьшает поле в зазоре, а соответственно и силу притяжения. О возможности пробоя сверхмалых зазоров говорят данные работы [5], откуда взят график, представленный на рис. 4, где приведена зависимость пробивного напряжения $U_{пр}$ от величины зазора d между контактами из палладия ($\bullet$ - в воздухе; $\circ$ - в техническом вакууме; $\times$ - в высоком вакууме $\sim 10^{-8}$ мм рт.ст.).

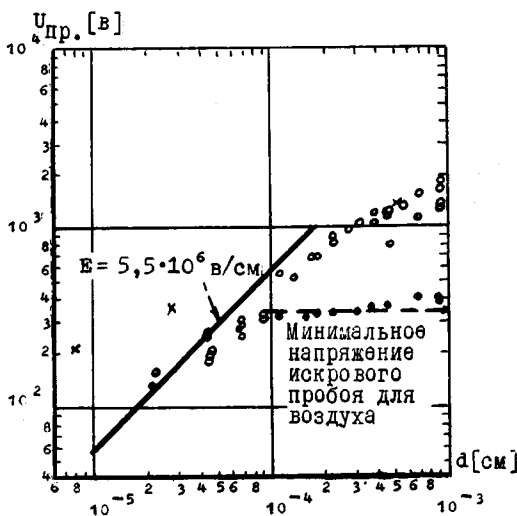


Рис. 4

Более детальное исследование поведения пленочных емкостных структур в вакууме при выдержке под напряжением может дать дополнительное доказательство высказанным предположениям. Предварительные опыты по выдержке структур с пленкой полиэтилентерефталата толщиной $4 \cdot 10^{-6}$ м в вакууме $2 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст. под напряжением 226 в и 750 в показали, что в течение четырех часов не наблюдается уменьшение силы притяжения.

Предложенная методика измерений и расчета эквивалентного напряжения

внутреннего заряда может дополнить существующие способы, описанные в литературе [6]. Она позволяет достаточно просто и точно определять величину U_3 . Кроме того, устройство для измерения представляет точную модель элемента пленочной емкостной структуры, что позволяет использовать результаты обработки измерений для прогнозирования надежной работы пленочных емкостных структур в течение длительного времени.

В заключение автор выражает глубокую благодарность к.т.н. Дятлову В.Л. за полезное обсуждение и ведущему инженеру Потапову Б.С. за помощь в постановке и проведении эксперимента.

Л и т е р а т у р а

1. ДЯТЛОВ В.Л., КОНЫШКИН В.В., ПОТАПОВ Б.С. Пленочные емкостные структуры с накатом обкладок. - В кн.: Моделирование в пленочной электромеханике (Вычислительные системы, вып. 84). Новосибирск, 1981, с. 33-53.
2. КОНЫШКИН В.В., ЛУЦЕТ М.К., ПОТАПОВ Б.С. Пленочные емкостные структуры с электростатическим приводом для устройств отображения информации и модуляции света. - Там же, с. 54-63.
3. ПОТАПОВ Б.С. Вольт-фарадные характеристики пленочных емкостных структур. - Настоящий сборник, с. 24-53.

4. ЛУШЕВКИН Г.А. Полимерные электреты. -М.: Химия, 1976. -- 224 с.

5. KISLIUK P. Arcing at Electrical Contacts on Closure. Pt V. The Cathode Mechanism of Extremely Short Arcs.- J.Appl.Phys., 1954, vol.25, N 7, p.897-900.

6. ГУБКИН А.Н. Электреты. Электретный эффект в твердых диэлектриках. - М.: Наука, 1978. - 192 с.

Поступила в ред.-изд.отд.
29 сентября 1982 года