

УДК 621.383.826: 681.7.013

Прецизионные приводы микроперемещений / А.В. Икрамов, С.В. Романов, И.М. Рощупкин, А.Г. Сафронов, А.О. Сулимов // Научное приборостроение. - 1992. - Т. 2. - № 3: Лазеры и современное приборостроение. - С. 95-98.

Рассматриваются пьезоэлектрические, электрострикционные и электромеханические приводы, предназначенные для работы в цифровых системах точного позиционирования. Описываются перспективные конструкции дифференциального и биморфного пьезоэлектрических приводов. Библ. 3 назв. Ил. 3.

А. В. Икрамов, С. В. Романов, И. М. Рошупкин,
А. Г. Сафронов, А. О. Сулимов
(НПО "Композит", Москва)

ПРЕЦИЗИОННЫЕ ПРИВОДЫ МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Одной из актуальных задач точной механики и оптики является создание прецизионных приводов микроперемещений, нашедших широкое применение в автоматических системах управления, адаптивной оптике, следящих устройствах и т. п. [1]. В работе [2] приводится классификация существующих актюаторов применительно к задачам адаптивной оптики и выделяются четыре типа таких устройств на основе принципов действия: пьезоэлектрический, электромагнитный, магнитоstrictionный и гидравлический. Очевидно, подобную классификацию можно использовать и для более широкого класса приводов, применяющихся в системах точного позиционирования.

Наибольшее распространение для регулировки положения получили пьезоэлектрические и электромагнитные устройства. Магнитоstrictionные актюаторы имеют достаточно сложную и несовершенную конструкцию, что затрудняет их широкое использование. Указанный недостаток характерен и для гидравлических приводов, имеющих к тому же низкую точность.

В настоящей работе рассматриваются пьезоэлектрические, электроstrictionные и электромеханические приводы, предназначенные для работы в цифровых системах точного позиционирования.

Пьезоэлектрический привод (рис. 1, а) представляет собой керамический цилиндр диаметром 18 мм, высотой 54 мм и диаметром отверстия 6 мм, набранный из отдельных пьезоэлектрических шайб высотой 7 мм. Каждая шайба, в свою очередь, имеет многослойную конструкцию и изготавливается путем спекания по платине пьезокерамических пленок толщиной 300 мкм. Температура спекания 1200 °С. Пленки получены методом шликерного литья из керамики ЦТССт-2. Пьезомодули d_{33} и d_{13} керамики ЦТССт-2 при $t = 20$ °С составляют порядка $4,2 \cdot 10^{-10}$ Кл/Н и $1,65 \cdot 10^{-10}$ Кл/Н, соответственно. С двух сторон по образующей цилиндрической поверхности имеются коммутирующие дорожки, нанесенные серебряной пастой и вжиганием ее при температуре 750 °С. Для избежания нежелательных поверхностных эффектов привод покрывается защитным лаком.

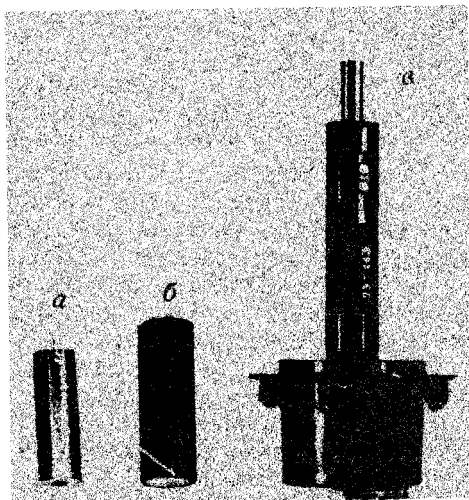


Рис. 1. Пьезоэлектрический (а), электроstrictionный (б), электромеханический (в) приводы.

Зависимость деформации пьезопривода от управляющего напряжения имеет характерный вид гистерезисной петли. Измерения проводились для небольшой партии пьезоприводов в количестве 20 шт. с помощью прибора "Микрон-2", укомплектованного индуктивным датчиком перемещений. При этом максимальная деформация для одного из приводов составила 57 мкм при $U_{упр} = +300$ В. На рис. 2 приведена зависимость $\Delta L(U)$ именно для этого привода. Максимальная деформация в среднем по партии составляет $47,7 \pm 4,4$ мкм (при $U_{упр} = +300$ В). Управляющее напряжение пьезопривода лежит в диапазоне $-150 \leq U_{упр} \leq +300$ В; при значениях $U_{упр}$ ниже -150 В начинается располяризация керамики, при $U_{упр} \geq +300$ В возможен электрический пробой керамических пленок. Электромеханический гистерезис описанных пьезоприводов не превышает 17%, электрическая емкость составляет 3,6 мкФ. Зная зависимость $\Delta L(U)$ (см. рис. 2, а), нетрудно определить чувствительность привода: в данном случае она составляет 0,16 мкм/В; относительная деформация $0,88 \cdot 10^{-33}$.

Данные пьезоприводы обладают улучшенными характеристиками по сравнению с промышленными из ряда ППУ, однако они имеют большую емкость, что при достаточно высоком управляющем напряжении (до +300 В) затрудняет их использование на частотах порядка 5 кГц и выше. Например, при использовании таких приводов в системе с частотным спектром до 1 кГц выходная мощность управляющей электроники составляет около 300 Вт для одного привода. Естественный путь понижения управляющего напряжения, как, впрочем, и уменьшения габаритных размеров пьезоприводов, при неизменных деформациях — использование керамических пленок меньшей толщины (порядка 40—100 мкм). Однако в этом случае электрическая емкость тонкопленочного привода будет возрастать пропорционально уменьшению толщины пленки.

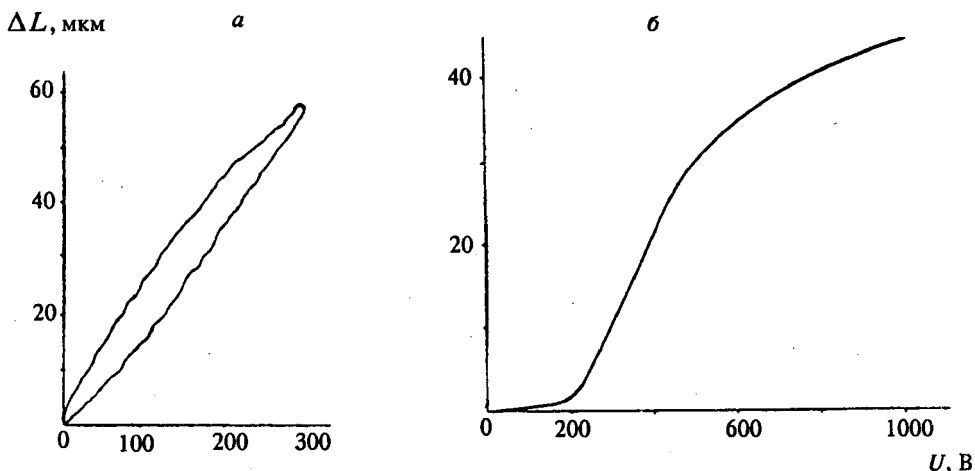


Рис. 2. Зависимость деформации ΔL от управляющего напряжения U .
а — пьезопривод, б — электрострикционный привод.

Электрострикционный привод (см. рис 1, б) также представляет собой керамический цилиндр диаметром 18 мм и высотой 65 мм, запрессованный в корпус из эпоксидной смолы. Привод набирается из отдельных шайб толщиной 0,8 мм, изготовленных из керамики на основе магнониобата-скандониобата свинца.

Отличие эффекта электрострикции от пьезоэффекта заключается в зависимости деформации от приложенного электрического поля: пьезоэффект линеен по полю, стрикционный — квадратичен. Поэтому в случае использования электрострикционных приводов мы имеем однонаправленные деформации независимо от знака управляющего напряжения.

Зависимость деформации электрострикционного привода от управляющего напряжения приведена на рис. 2, б. Измерения проводились для 8 образцов по аналогии с пьезоэлектрическими приводами. Максимальная деформация для одного из приводов при управляющем напряжении 1000 В составляет 45 мкм; среднее значение деформации (при $U_{упр} = 1000$ В) $43,6 \pm 1,6$ мкм. Существенное достоинство стрикционной керамики — низкий, по сравнению с пьезоэффектом, электромеханический гистерезис; для данных приводов он не превышает 2—3 %. Остальные параметры электрострикционных актуаторов следующие: электрическая емкость 0,6 мкФ, чувствительность 45 мкм/кВ, относительная деформация $0,7 \cdot 10^{-3}$.

Следовательно, электрострикционные приводы, по сравнению с пьезоэлектрическими, обладают следующими преимуществами: существенно меньший гистерезис (в 6—8 раз) и отсутствие такой технологической операции, как поляризация. Относительные деформации у обоих типов приводов отличаются несущественно, а такие параметры, как чувствительность, максимальное управляющее напряжение и емкость, определяются толщиной отдельных пленок или шайб.

Электромеханические приводы (см. рис. 1, в) изготовлены на базе шагового двигателя ШДР-711 и в отличие от описанных выше являются устройствами с фиксированным дискретным шагом. Перемещение штока-толкателя в них обеспечивается винтовой парой. Шаг составляет 8,3 мкм, рабочая частота — 400 шагов в секунду. Питание привода осуществляется последовательной подачей на обмотки шагового двигателя прямоугольного импульсного напряжения амплитудой 12 В и частотой 100 Гц (длительность импульса 5 мс).

Из описанных устройств электромеханический привод, безусловно, является наименее точным, поскольку в его конструкции всегда присутствуют механические элементы. Но, с другой стороны, его несомненным преимуществом является легкость сопряжения с компьютером с помощью стандартных электронных средств, что обеспечивает широкое использование таких приводов в системах точного позиционирования. Например, на базе описанного электромеханического привода изготовлена 60-канальная система управления формой поверхности главного зеркала телескопа в составе: персональный компьютер IBM PC AT, электронный блок, набор приводов.

Ранее отмечалось, что для создания миниатюрных и низковольтных пьезо- и электрострикционных приводов необходимо использовать тонкие керамические пленки. Однако существенным недостатком таких приводов является высокая емкость, а пьезоприводы к тому же имеют сильный гистерезис. Преодолеть указанные недостатки можно чисто конструктивным способом.

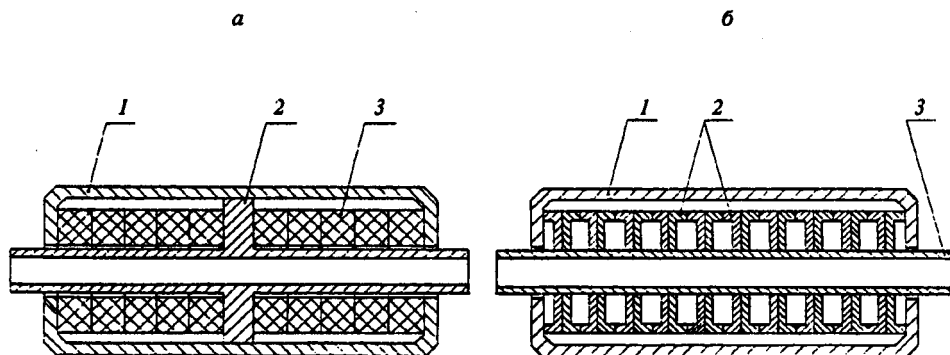


Рис. 3. Дифференциальный (а) и биморфный (б) приводы.
Объяснение в тексте.

Рассмотрим две конструкции пьезопроводов. Дифференциальный привод (рис. 3, а) состоит из корпуса 1, штока-толкателя 2 и двух наборных пьезоэлементов 3, которые работают в противофазе: при удлинении одного второй сжимается. За счет этого устраняется неоднозначность, т.е. гистерезис, положения штока привода.

Биморфный привод (рис. 3, б) состоит из корпуса 1, штока-толкателя 3 и пьезоэлемента, который собирается из отдельных биморфных шайб 2 специальной конструкции. Каждая такая шайба представляет собой биморфную структуру из двух пьезопластинок с противоположной поляризацией. При подаче разнополярного управляющего напряжения на пластины биморфная шайба деформируется (изгибается), за счет чего и происходит движение штока привода. Поскольку количество биморфных шайб невелико, а их толщина больше, чем в тонкопленочном приводе, то подобная конструкция обладает сравнительно низкой электрической емкостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тараненко В. Г., Шанин О. И. Адаптивная оптика. М, 1990. 112 с.
2. Freeman R. H., Pearson J. E. // Proc. SPIE. 1981. V. 293. P. 232-242.
3. Воронцов М. А., Гнедой С. А., Кудряшев А. В. и др. Препринт НИЦТЛ АН СССР. № 29. Шатура, 1987. 35 с.

Рукопись поступила 17.02.92