

Б. М. ЮРЧИКОВ

(Москва)

К ВОПРОСУ О СНИЖЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ЯЧЕЙКЕ ПОКЕЛЬСА

Использование продольного электрооптического эффекта в кристалле ячейки Покельса требует применения прозрачных электродов. Большое электрическое сопротивление нашедших применение тонкопленочных прозрачных электродов (несколько сотен омов на квадрат *) — основной фактор, определяющий максимально допустимую частоту переключения управляющего напряжения на электродах, а значит, и быстродействие устройства дискретного отклонения света (УДО), содержащего ячейки Покельса.

Напряжение подводится к прозрачному электроду с помощью контактной полоски проводника (металла), наносимого на его края. В известных УДО применяется нанесение контактной полоски только на один край электрода.

Естественно ожидать, что электрические потери в электроде уменьшатся и рабочая частота ячейки Покельса может быть соответственно увеличена, если контактную полоску нанести по всему периметру электрода. Однако этот способ увеличения быстродействия УДО не привлек, по-видимому, должного внимания: о степени его эффективности, насколько известно, сведений в литературе нет.

Расчеты, приведенные автором, показали, что электрические потери в электродах в значительной степени зависят от геометрии их окантовки контактной полоской проводника и учет этой зависимости позволяет сравнительно простыми средствами заметно снизить потери в электродах.

Расчет заключался в нахождении распределения тока заряда межэлектродной емкости по поверхности электродов и вычислении мощности, рассеиваемой в распределенном сопротивлении электродов. Эквивалентное сопротивление потерь определялось как отношение этой мощности к квадрату тока заряда.

Для квадратного электрода получены следующие результаты: а) если контактная полоска нанесена на один край электрода, эквивалентное сопротивление потерь в электроде в 3 раза меньше его поверхностного сопротивления (измеренного между двумя его противоположными краями); б) сопротивление потерь в электроде с контактными полосками на двух смежных, двух противоположных и на всех четырех его краях меньше соответственно в 2,2, в 4 и в 9 раз, чем в электроде с полоской проводника только с одного края; во столько же раз меньше и мощность электрических потерь.

Таким образом, нанесение контактной полоски проводника по всему периметру прозрачного электрода является эффективным средством снижения в нем электрических потерь.

*Поступило в редакцию 19 июня 1973 г.,
окончательный вариант — 3 декабря 1973 г.*

УДК 621.375.826

В. А. ХАНОВ

(Новосибирск)

ПЬЕЗОКЕРАМИКА КАК ЭЛЕМЕНТ ЦЕПИ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Частота излучения лазера определяется расстоянием между отражающими зеркалами, образующими резонатор. Поддерживая это расстояние постоянным, можно получить стабильную частоту излучения. Для этой цели используют системы с обратными связями, в которых сигнал, пропорциональный расстройке резонатора, воздействует на управляющее устройство и подстраивает расстояние между зеркалами. Динамические свойства подобных систем определяются частотными характеристиками каждого элемента цепи регулирования и, в частности, управляющего устройства. В управляющем устройстве, преобразующем электрический сигнал в механическое перемещение, обычно

* W. Kulcke et. al. Digital Light Deflectors.— Proc. IEEE, 1966, v. 54, N 10.

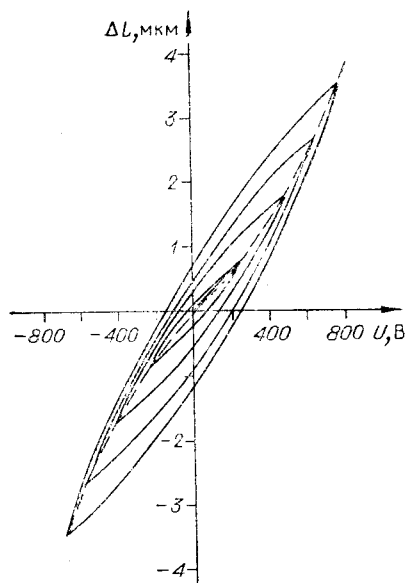


Рис. 1.

К каждому поляризованному пьезоэлементу с одного конца эпоксидной смолой ЭД-6 приклеивался фланец, а с другого — оправа. Зеркало устанавливалось между оправой и колпачком, который привинчивался к оправе. Такая конструкция крепления зеркала обеспечивала его жесткую фиксацию и имела малую массу. Механическая конструкция резонатора лазера с установленным регулирующим элементом приведена в [2].

Измерения. Для расчета системы АПЧ разработчику важно знать статическую характеристику управляющего устройства и зависимость величины перемещения отражающей поверхности зеркала от частоты прикладываемого к электродам электрического напряжения.

Зависимость деформации образцов от приложенного постоянного напряжения измерялась на интерференционном компараторе Кестерса по методике, описанной в [3]. На рис. 1 приведены результаты измерений для одного из образцов. Несмотря на большой технологический разброс пьезомодуля d_{31} ($\pm 10\%$), характер гистерезисных зависимостей сохранялся для всех исследуемых образцов.

При расчете системы АПЧ гистерезисные характеристики не могут быть описаны точным аналитическим выражением, но для экспериментально снятой зависимости можно подобрать аппроксимирующую функцию, а затем выполнить гармоническую линеаризацию [4]. Суть метода гармонической линеаризации заключается в замене нелинейного элемента линейным с коэффициентом усиления, принимающим разные значения для разных амплитуд колебаний. Для устройств с гистерезисной характеристикой при ограниченной амплитуде входного сигнала подобная линеаризация будет справедлива, если считать, что ширина петель гистерезиса пропорциональна амплитуде входных сигналов. Для характеристик, подобных приведенным на рис. 1, такое допущение справедливо.

В процессе проведения измерений наблюдалось значительное остаточное удлинение образцов (до 10% от величины изменения длины) при быстром изменении электрического напряжения на электродах. Время полного установления удлинения для имеющихся образцов пьезокерамики составляло от нескольких секунд до десятков секунд в зависимости от величины прикладываемого напряжения.

Для проектирования быстродействующей системы АПЧ важно знать частотную зависимость величины перемещения отражающей поверхности зеркала. Однако необходимо учесть, что механические резонансы крепления зеркала к пьезоэлементу и масса зеркала могут привести к появлению дополнительных резонансов в этой зависимости. Поэтому вначале были исследованы различные способы крепления пьезокерамики и зеркала (диаметр 20 мм, толщина 7 мм). Эффекты крепления выявлялись по дополнительным резонансам на графике входной проводимости пьезоэлемента, измеряемой по схеме рис. 2. На этом рисунке введены следующие обозначения: ГКЧ — генератор качающейся частоты и индикатор частотных характеристик, входящие в комплект измерителя частотных характеристик Х1-36; П — исследуемый пьезоэлемент; С — двухкоординатный самописец. Входная проводимость

используют пьезокерамические элементы с закрепленными на них зеркалами резонатора [1]. Однако имеющиеся в литературе данные не позволяют сделать однозначные выводы о возможности использования конкретных пьезокерамических элементов в широкополосных быстродействующих системах автоподстройки частоты (АПЧ) излучения лазера. Поэтому было проведено измерение статических и динамических характеристик управляющего устройства, использующего пьезокерамические элементы из наиболее распространенного материала ЦТ С-19. Выбор этого материала объясняется прежде всего высоким значением пьезомодуля d_{31} , достаточно высокой точкой Кюри и хорошо отработанной технологией изготовления.

Для испытания были взяты несколько выпускаемых промышленностью неполяризованных пьезокерамических элементов, имеющих форму пустотелых цилиндров (высота 27,5 мм, внутренний диаметр 16,2 мм, толщина стенок 1,2 мм), электроды на внутреннюю и внешнюю поверхность которых были нанесены методом вжигания серебра. Электрическое напряжение к электродам подводилось с помощью прижимных контактов. Поляризация выбранных образцов проводилась в поле ~ 12 кв/см при температуре, превышающей точку Кюри.

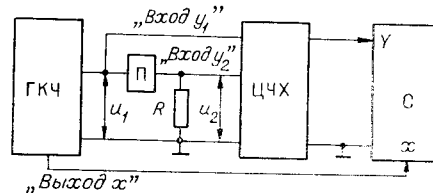


Рис. 2.

мость исследуемого образца вычислялась по формуле

$$|Y| = \frac{y_2}{y_1 R},$$

где y_1, y_2 — выходные напряжения ИЧХ, пропорциональные амплитудам переменного напряжения u_1 и u_2 соответственно (см. рис. 2). На двухкоординатном самописце в частотном масштабе последовательно записывались y_1 и y_2 и по полученным графикам строилась зависимость входной проводимости $|Y|$ от частоты для различных способов крепления. Условное обозначение зависимости положения электрических резонансов пьезоэлемента от частоты приведено на рис. 3. На этом рисунке для исследуемой области частот вертикальными линиями условно показаны электрические резонансы образца для различных способов крепления зеркал к оправе и фланца к резонатору (см. таблицу). Рис. 3 наглядно показывает, что электрические резонансы пьезоэлемента значительно отличаются от электрических резонансов системы резонатор — пьезоэлемент — зеркало.

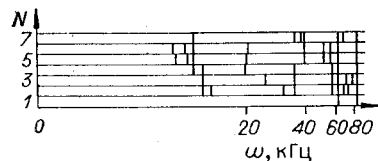


Рис. 3.

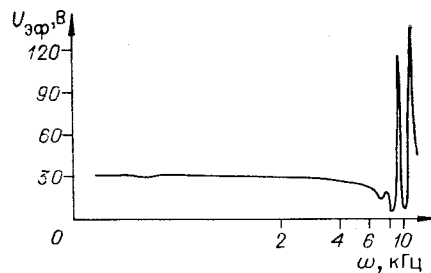


Рис. 4.

Частотная характеристика управляющего устройства конструкции 7 (см. таблицу) измерялась на интерференционном компараторе Кестера. При этом отмечалась амплитуда переменного электрического напряжения, соответствующая амплитуде колебаний отражающей поверхности зеркала, равной $\lambda/2$ ($\lambda = 0,59$ мкм). Контроль колебаний зер-

№	Крепление фланца к резонатору				Крепление зеркала к оправе			
	Не закреплён	Закреплёно жестко	Свинцовая прокладка (толщина 2 мм)	Резиновая прокладка (толщина 2 мм)	Зеркало не устанавливалось	Закреплёно жестко	Свинцовая прокладка (толщина 2 мм)	Резиновая прокладка (толщина 2 мм)
1	X				X			
2		X			X			
3			X		X			
4				X	X			
5		X				X		
6		X					X	
7		X						X

кала осуществлялся визуально по размытию интерференционной картины в поле зрения. Результаты измерений приведены на рис. 4. Следует отметить, что для данной конструкции регулирующие элементы амплитуды колебаний зеркала распределены равномерно по всей поверхности зеркала только до 4 кГц. Выше этой частоты конфигурации распределения амплитуд при различных частотах колебаний не повторяли друг друга. Поэтому для частот выше 4 кГц график описывает колебания центрального участка зеркала.

Выводы

При расчете системы АПЧ лазера необходимо учитывать нелинейный характер статической характеристики регулирующего элемента, использующего пьезокерамические элементы из материала ЦТС-19.

Рабочая область управляющего устройства значительно органичивается частотами, при которых амплитуды колебаний зеркала распределены неравномерно по отражающей поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. G. Vignbaum. Frequency Stabilization of Gas Laser.— Proc. IEEE, 1967, v. 55, N 6.
2. Г. А. Ленкова, А. И. Лохматов, И. А. Михальцова. Одночастотный стабилизированный гелий-неоновый лазер.— Автометрия, 1971, № 1.
3. Г. М. Коваленко. Обратный пьезоэффект поликристаллического BaTiO_3 в статическом режиме измерений.— Известия АН СССР. Сер. физическая, 1957, т. 21, № 3.
4. Е. П. Попов, Н. П. Пальтов. Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем. М., Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1960.

Поступило в редакцию 19 октября 1973 г.

УДК 621.373.432

В. А. Смирнов

(Новосибирск)

СТАБИЛИЗИРОВАННОЕ ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПИТАНИЯ ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

В настоящее время наиболее распространен способ накачки твердотельных лазеров с помощью ксеноновых импульсных ламп. Источником питания импульсных ламп служат емкостные накопители энергии. Обычно величина емкости накопителей составляет 100—1000 мкФ, а запасаемая энергия — единицы килоджоулей. Для заряда таких накопителей применяют высоковольтные сильноточные выпрямительные устройства. При работе лазера в частотном режиме мощность таких устройств достигает нескольких киловатт, к тому же выпрямительное устройство работает на емкостную нагрузку и должно обеспечивать большую импульсную мощность.

В экспериментах с использованием лазера часто требуется не только регулировать напряжение заряда накопителей, но и стабилизировать его с точностью до долей процента.

Феррорезонансные и электронные стабилизаторы при больших стабилизируемых мощностях громоздки и дороги [1]. Наиболее компактными и простыми являются выпрямительные устройства с тиратронами в качестве вентилях. Регулировка и стабилизация зарядного напряжения в таких устройствах осуществляется выключением тиратрона в момент времени, когда напряжение достигает заданной величины. Однако тиратрон, работающий в это время, погаснет только после того, как напряжение на участке анод — катод приблизится к нулю. Запаздывание выключения тиратрона приведет к некоторому превышению зарядного напряжения над заданной величиной. Это неуправляемое время работы тиратрона зависит от соотношения между амплитудой напряжения на аноде тиратрона и напряжением на накопителе в момент выключения. Нестабильность можно сделать малой и одинаковой при любом напряжении на накопителе, если ввести фазовое управление работой тиратрона. В этом случае с каждым последующим полупериодом выпрямления угол запаздывания зажигания уменьшается таким образом, что тиратрон включается в момент наименьшего напряжения между анодом и катодом, при котором он надежно поджигается. Однако при этом уменьшается зарядный ток, что увеличивает время заряда накопителя. Этот недостаток устраняется, если вначале тиратрон

Принципиальная схема выпрямительного устройства:

резисторы $R_1 \rightarrow R_{12}$, $R_{21} \rightarrow R_{29}$ 470 КОМ, 1%; контакт 5 — реле P_2 , P_3 высоковольтный.