

УДК 681.5.082.73

А.А. Николенко, канд. техн. наук, доц.,
 М.В. Ядрова, канд. техн. наук, доц.,
 Одес. нац. политехн. ун-т

УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ПЬЕЗОПРИВОДОМ

А.О. Николенко, М.В. Ядрова. Пристрій управління п'єзоприводом. Розглянуто пристрій управління п'єзоприводом у системі управління лазерним променем. Пристрій реалізовано за допомогою високовольтних ключових елементів та мікроконтролера з вбудованим широтно-імпульсним модулятором. Проведено моделювання імпульсного пристрою управління п'єзоприводом.

A.A. Nikolenko, M.V. Yadrova. The control unit of piezodriver. The control unit of piezodriver in the laser ray control system is considered. The unit realized by high voltage switch elements and microcontroller with built-in width-pulse modulator is offered. Simulation of impulse control unit of piezodriver is carried out.

В связи с интенсивным развитием оптоэлектронной техники приходится решать ряд сложных задач, таких как управление лазерным лучом, стыковка волокон световодов в оптических кабелях связи, осуществление коммутации световых потоков в волоконно-оптических линиях связи и др. Обеспечение требуемой точности позиционирования оптических элементов весьма важно при решении поставленных задач.

Одним из путей решения данной проблемы является создание автоматизированных оптических систем, важным элементом которых является пьезоэлектрический привод, обладающий целым рядом достоинств по сравнению с традиционными двигателями: малые размеры и вес, высокий КПД, безынерционность, высокая разрешающая способность и пр. [1]. Однако недостаточно полно в таких системах решены задачи эффективного управления пьезоприводом (ПП).

Для управления ПП, как правило, используются аналоговые устройства с высоковольтными линейными усилителями на выходе. При этом возникает ряд проблем: аналоговые устройства управления имеют высокое энергопотребление и малый коэффициент полезного действия; аналоговые усилители склонны к самовозбуждению вследствие наличия обратных связей, нуждаются в настройке для обеспечения устойчивости. В цифровых системах управления с применением микропроцессоров и ЭВМ проявляются дополнительные недостатки аналоговых устройств управления — сложность согласования пьезопривода с микропроцессорными устройствами. Для широкого использования ПП в технических системах необходимо повышение энергетической эффективности высоковольтных электронных устройств управления ПП, обеспечение их устойчивости и упрощение связи ПП с микропроцессорными устройствами.

Наиболее перспективным решением перечисленных проблем является использование устройств управления ПП с выходными каскадами на высоковольтных транзисторах, работающих в ключевом режиме, т.е. использование импульсных устройств. Импульсные устройства просты, экономичны, надежны, устойчивы к самовозбуждению, имеют лучшие массогабаритные показатели по сравнению с аналоговыми.

Разработано устройство управления пьезоприводом, обеспечивающее точное позиционирование лазерного луча.

Структурная схема устройства управления лазерным лучом содержит согласующее устройство (СУ), микроконтроллер (МК), блок индикации (БИ), фотоусилители ($\PhiУ_1, \dots, \PhiУ_n$), клавиатуру (К), блок интерфейса (RS232), лазер 1, зеркало 2, закрепленное на пьезоприводе 3, в качестве которого использован биморфный пьезоэлемент (БПЭ) (рис.1). В зависимости от приложенного

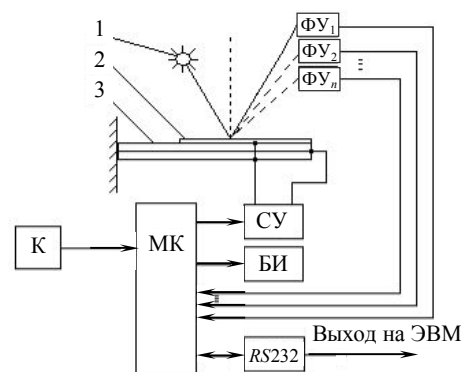


Рис. 1. Структурная схема устройства управления лазерным лучом

напряжения БПЭ изгибается и перемещает лазерный луч в заданную точку.

Применение БПЭ позволяет просто и, вместе с тем, эффективно осуществлять прецизионное позиционирование оптических элементов. Использована простейшая конструкция пьезопривода с консольно закрепленным БПЭ в виде двух склеенных разноименными полюсами поляризации металлизированных пьезокерамических пластин. При подаче управляющего напряжения пластины испытывают изгибную деформацию. Величина перемещения незакрепленного конца БПЭ определяется величиной приложенного напряжения, а направление перемещения — его полярностью и может достигать $\pm 1,5 \dots 2$ мм [1].

При настройке устройства предусмотрено проведение тест-контроля с помощью фотоусилителей $\Phi У_1, \dots, \Phi У_n$, состоящих из входных фотодиодов — приемников лазерного излучения и операционных усилителей. При нормальном функционировании устройства лазерный луч должен попасть на один из фотодиодов. Параметры фотоусилителей подобраны таким образом, что при освещении фотодиода на выходе соответствующего фотоусилителя появляется напряжение логической единицы, в противном случае — напряжение логического нуля. На выходе фотоусилителей формируется унитарный код, поступающий на входной порт микроконтроллера. Микроконтроллер сравнивает полученный код с заданным, принимает решение о правильности функционирования устройства и выдает соответствующий сигнал на блок индикации.

Для получения необходимого перемещения БПЭ на нем необходимо формировать напряжения высокого уровня (сотни вольт) в соответствии с заданным кодом микроконтроллера, что обеспечивается с помощью согласующего устройства.

Согласование ПП с микроконтроллером обеспечивается за счет формирования управляющих напряжений импульсным способом с помощью высоковольтных транзисторных ключей, емкостной нагрузкой которых является используемый в качестве пьезопривода пьезоэлемент. Наличие емкостной нагрузки и высокая частота следования импульсов (десятки кГц) позволяют сформировать на пьезоэлементе постоянное напряжение заданного уровня, величина которого пропорциональна коэффициенту заполнения поступающих импульсов.

Наиболее эффективным способом исследования процессов, происходящих при импульсном управлении ПП, является применение компьютерного моделирования устройств управления ПП с использованием современных пакетов прикладных программ.

Разработана модель высоковольтного согласующего устройства, включающая модель пьезопреобразователя (элементы R_3, L_1, C_1, C_2) (рис. 2). Силовые транзисторы VT_1, VT_2 , к коллекторам которых подключен пьезоэлемент, работают в ключевом режиме, управление ими осуществляется по цепи эмиттеров, а результаты моделирования можно наблюдать на экране виртуального осциллографа, подключенного к выходу схемы.

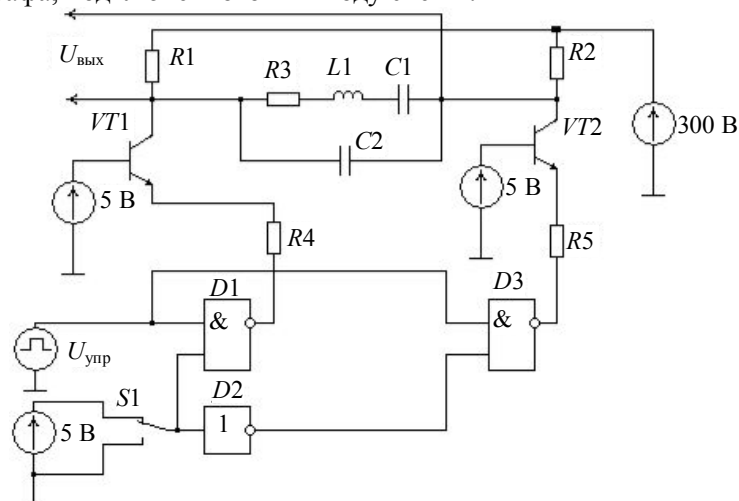


Рис. 2. Модель высоковольтного согласующего устройства

В процессе моделирования исследовалась зависимость выходного напряжения высоковольтного СУ от коэффициента заполнения управляющих импульсов $\gamma = \frac{t_n}{T}$, где t_n — длительность, а T — период следования управляющих импульсов. Получены графики изменения выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ во времени при различных значениях коэффициента заполнения γ и зависимости уровня напряжения $U_{\text{ПЭ}}$ на пьезоэлементе от коэффициента заполнения γ в установившемся режиме (рис. 3, а, б, соответственно).

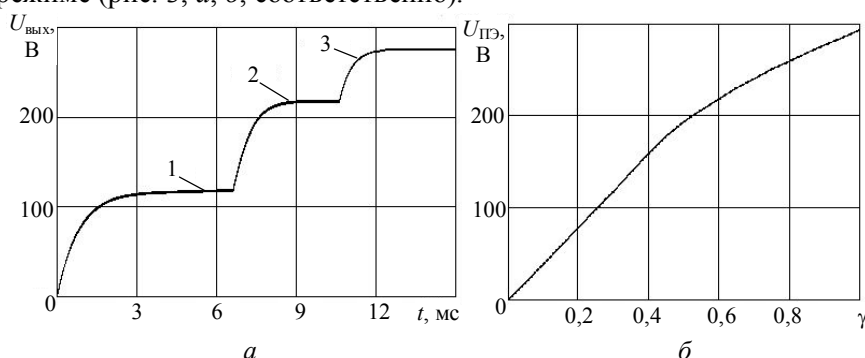


Рис. 3. Результаты моделирования СУ: а — изменение выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ во времени при значениях коэффициента заполнения $\gamma = 0,3$ (1); $0,6$ (2); $0,9$ (3); б — график зависимости $U_{\text{ПЭ}} = f\left(\frac{t_n}{T}\right)$ в установившемся режиме

СУ, реализованное в соответствии с разработанной моделью, позволяет легко изменить полярность сформированного на ПП напряжения с помощью имеющегося ключа S_1 , что приведет к изменению направления перемещения БПЭ (см. рисунок 1).

Как видно из модели СУ, пьезоэлемент является емкостной нагрузкой согласующего устройства. Большое влияние на работу ПП оказывает частота следования управляющих импульсов $f_{\text{упр}}$, поэтому проведены исследования зависимости пульсаций напряжения, сформированного на пьезоэлементе, от данной частоты.

В результате моделирования установлено, что уровень пульсаций $U_{\text{П}}$ напряжения $U_{\text{ПЭ}}$ резко увеличивается при частотах $f_{\text{упр}} < 10$ кГц, что может вызвать недопустимые погрешности перемещения ПП, а при частотах $f_{\text{упр}} > 10$ кГц мал, и пульсации не оказывают существенного влияния на работу ПП. График зависимости $U_{\text{П}} = F(f_{\text{упр}})$ представлен на рис. 4.

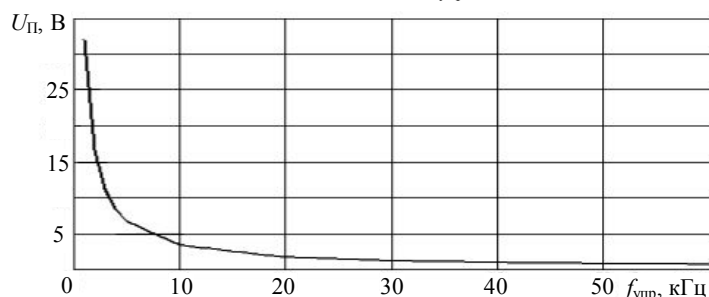


Рис. 4. График зависимости $U_{\text{П}} = F(f_{\text{упр}})$

Проведенные исследования позволили выбрать оптимальную частоту следования управляющих импульсов, поступающих на СУ, в диапазоне 20...70 кГц.

Для повышения точности позиционирования и упрощения системы управления период следования и длительность импульсов управления ключами целесообразно задавать в цифровом коде. Преобразование цифрового кода во временной интервал (широотно-импульсная модуляция ШИМ) реализуется просто известными программными или аппаратными средствами, для чего используются микроконтроллеры со встроенным модулем ШИМ, например, PIC16C712, PIC18F252, AT90S8535 и др. [2]. При частоте тактового генератора 20 МГц микроконтроллер формирует сигнал ШИМ с частотой не менее 70 кГц и разрешением 8 двоичных разрядов, что обеспечивает погрешность задания длительности импульса, а, следовательно, и постоянного напряжения, не более 0,5%. Микроконтроллер может также выполнять функции регулятора, поддерживающего заданную точность позиционирования за счет применения отрицательной обратной связи по регулируемой координате, что будет способствовать дальнейшему повышению точности позиционирования.

Результаты моделирования показали, что регулировочная характеристика $U_{ПЭ} = f(t_n/T)$ линейна в широких пределах, а уровень пульсаций напряжения при частотах управления более 10 кГц, мал, и пульсации не оказывают существенного влияния на работу ПП.

Перспективным направлением дальнейшего развития устройств управления ПП является их использование в волоконно-оптических линиях связи, где пьезопривод применяется для точного позиционирования оптических волокон и создания быстродействующих оптических коммутаторов, не требующих дополнительного преобразования оптического сигнала в электрический. Предложенные решения способствуют совершенствованию таких устройств.

Литература

1. Джагулов Р.Г. Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники, систем контроля и управления: Справочник / Джагулов Р.Г., Ерофеев А.А. — СПб.: Политехника, 1994. — 608 с.
2. Ульрих В.А. Микроконтроллеры PIC16X7XX. — СПб.: Наука и техника, 2002. — 320с.

Поступила в редакцию 19 декабря 2005 г.