

## ПРИВОД ПОСТОЯННОГО ТОКА КООРДИНАТНОГО МАНИПУЛЯТОРА

Для ряда длинноходовых производственных механизмов, например, машин термической резки (МТР), лазерных технологических комплексов (ЛТК), требующих высокого быстродействия при обеспечении широких пределов регулирования скорости перемещения рабочих органов, наиболее целесообразным является использование линейных двигателей постоянного тока (ЛДПТ). Это следует из общих тенденций развития электроприводов двухкоординатных манипуляторов, т.к. применение традиционных систем с преобразователями вращательного движения в поступательное на базе прецизионных шариковинтовых пар (ШВП), при длине хода более 3 м, затрудняет получение требуемых динамических и точностных характеристик [1, 2]. ЛДПТ, достаточно легко встраиваясь в конструкцию манипулятора, значительно упрощает кинематику и обеспечивает точность позиционирования за счет прямого привода поступательно перемещающихся элементов механизма.

При применении ЛДПТ из механизма исключается дорогостоящая ШВП, улучшаются динамические и точностные характеристики, уменьшается инерционность и влияние износа элементов механического преобразователя движения, снижаются вибрации. Подвижный орган механизма совмещается конструктивно на общих направляющих с линейным электродвигателем, обеспечивая этим простоту и надежность конструкции.

Встраиваемый в манипулятор ЛТК линейный двигатель должен обладать высоким быстродействием и обеспечивать ускорения перемещаемых масс до 20 м/с. Для этого конструкция ЛДПТ должна обеспечивать 5-6 кратное превышение максимального тягового усилия к номинальному при соответствующей форсировке тока якоря. ЛДПТ должен иметь высокий удельный показатель - отношение массы подвижной части к тяговому усилию в номинальном режиме.

Анализ поставленных требований показывает, что необходимые характеристики могут быть обеспечены использованием в длинноходовых координатных манипуляторах (МТР, ЛТК) следящего электропривода на базе бесконтактных линейных двигателей постоянного тока с полупроводниковыми коммутаторами. Коммутаторы разрабатываются с учетом опыта их проектирования и реализации в системах автоматизированного электропривода промышленных установок с двигателями постоянного тока вращательного типа [2, 3].

На рис. 1 изображена функциональная схема линейного двигателя с полупроводниковым коммутатором, где: БУ - блок управления; БСК - блок силовых ключей; Я - подвижная часть ЛДПТ совместно с обмоткой якоря; ДПР - датчик положения ротора (якоря), жестко связанный с якорем двигателя;  $X_p$  - управляющий сигнал реверса.

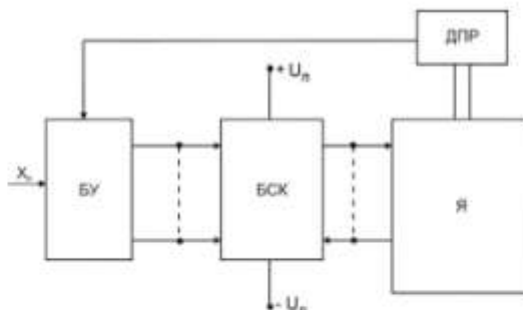


Рис. 1 Функциональная схема ЛДПТ с полупроводниковым коммутатором

При установленном сигнале " $X_p$ " под воздействием сигналов датчика положения ротора ДПР блок управления БУ подает управляющие сигналы на силовые ключи БСК, соответствующие положению ДПР, которые открываются, обеспечивая путь току от положительного полюса источника питания через обмотку якоря к отрицательному полюсу источника питания.

На блок-схеме полупроводникового коммутатора (рис. 2) тиристорный мост ТМ под воздействием сигналов датчика положения якоря ДПЯ коммутирует обмотку двигателя. Последовательно соединенный с ТМ ключ КЛ1, обеспечивает протекание тока через обмотку двигателя и открытую пару тириستоров ТМ. Диодный мост ДМ и ключ КЛ2 обеспечивают замкнутую цепь для токов ЭДС самондукции и противо-ЭДС двигателя при замыкании ключа КЛ1. Ключи КЛ1 и КЛ2 работают в противофазе: КЛ1 открыт - КЛ2 закрыт, КЛ1 закрыт - КЛ2 открыт. Управление ключами осуществляется воздействием сигналов блока регулирования БР.

Одновременно с открытием КЛ1 поступает сигнал на открывание соответствующей пары тиристоров ТМ в функции сигналов датчика положения якоря (ДПЯ).

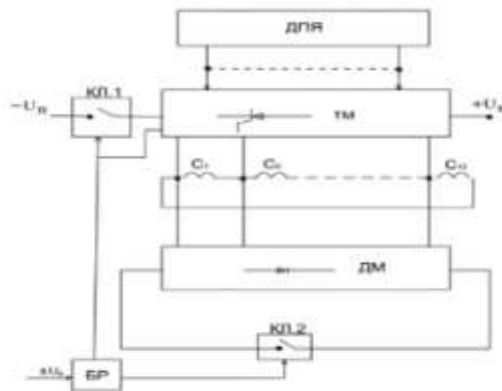


Рис. 2 Блок-схема полупроводникового коммутатора ЛДПТ

Сигнал напряжения задания  $U_n$ , поступающий на вход БР, преобразуется в два широтно-импульсных сигнала, поступающих на входы КЛ1 и КЛ2. С увеличением напряжения  $U_n$  ширина импульса, поступающего на управляющий вход КЛ1, пропорционально увеличивается, а на управляющий вход КЛ2 - уменьшается.

Рассматриваемый полупроводниковый коммутатор обеспечивает работу двигателя в двигательном режиме, в режиме динамического торможения, в режиме противовключения и позволяет реализовать работу линейного двигателя в режимах, аналогичных режимам традиционных вращающихся двигателей постоянного тока.

На рис. 3 представлена функциональная схема полупроводникового коммутатора с кольцевым включением секций обмотки якоря ЛДПТ.



Рис. 3 Функциональная схема коммутатора с кольцевым включением обмоток

Сигналы управления движением в положительном (ШИМ+) и отрицательном (ШИМ-) направлении приходят на схему объединения, где вырабатываются сигналы "знак" (направление движения) и общий сигнал "ШИМ" (широтно-импульсный модулятор). Сигнал ШИМ приходит на схемы управления транзисторными силовыми ключами, где формируются поочередные импульсы управления транзисторными ключами. Силовые ключи подают питание на двенадцати фазный мостовой инвертор напряжения, к выходу которого подключены якорные обмотки двигателя.

Информация о положении якорных обмоток двигателя, относительно вторичной структуры поступает от блока датчиков. Шестиразрядный код датчиков поступает в регистр кода датчиков, где стробируется по переднему фронту сигнала ШИМ. Это сделано с целью предотвращения изменения кода управления тиристорами во время действия активной части сигнала ШИМ. Затем стробированный код датчиков попадает на формирователь кода управления тиристорами, где по положительному фронту сигнала ШИМ формируются импульсы, отпирающие тиристоры в соответствии с заданным алгоритмом.

Замена механического коллектора в ЛДПТ на полупроводниковый коммутатор определяет собой необходимость применения специального датчика, определяющего положение секции обмотки якоря двигателя относительно полюсных выступов и вырабатывающего сигналы для включения необходимой пары ключей, обеспечивающих соответствующее направление тока в секции обмотки якоря.

К датчику положения якоря (ДПЯ) предъявлен довольно сложный комплекс требований. Прежде всего, размеры датчика не должны превышать размеров щеточно-коллекторного узла, обладать малым энергопотребле-

нием, работать в широком диапазоне температур, обеспечивать повторяемость выходных сигналов при повторяемости положений.

Наиболее простыми датчиками являются контактные. Но при работе их на активно-индуктивную нагрузку быстро подгорают контакты. Малый ресурс и ненадежная работа зачастую исключают их применение в качестве ДПЯ [3, 4]. Указанных недостатков лишены бесконтактные датчики. Наилучшими свойствами среди датчиков, работающих на переменном токе, обладают трансформаторные датчики, подразделяемые на одинарные и дифференциальные [5, 6]. Наиболее приемлемым является трансформаторный дифференциальный датчик, обладающий высокой крутизной выходного сигнала.

Более простым и технологичным, является емкостной датчик положения, работающий на принципе изменения его емкости при перемещении совместной с якорем относительно переменноточесной структуры вторичной части ЛДПТ. Недостатками таких датчиков, является необходимость их питания напряжением от специального генератора синусоидальной формы высокой частоты. Существуют и индуктивные датчики, работающие по принципу самовозбуждающего генератора высокочастотных колебаний, в контур которого включена индуктивность.

Информацию о положении якоря двигателя, можно также получить с помощью магнитного поля в зазоре между полюсным выступом и зубцом якоря, используя при этом магнитодиоды, магнитосопротивления или датчик Холла. Применение этого способа значительно упрощает конструкцию датчика и дает возможность непосредственного измерения положения якоря ЛДПТ относительно полюсных выступов двигателя. Возможно также применение фотоэлементов в качестве датчиков положения ротора. Отсутствие влияния магнитного поля на параметры фотоэлементов, делает весьма перспективным применение их в качестве датчиков положения якоря.

Принципиальная схема блока управления электроприводом для лазерных технологических комплексов с использованием линейного двигателя постоянного тока приведена на рис. 4. Устройство и работа составных частей блока управления поясняется с помощью электрической принципиальной схемы и диаграмм сигналов (рис. 5).

На схеме изображен регулятор скорости, включающий в себя операционный усилитель А3 и обязывающие его элементы. Выходной сигнал регулятора скорости поступает на выходы ШИМ-1 и ШИМ-2, выполненных на операционных усилителях А4, А5 соответственно. ШИМ-1 и ШИМ-2 осуществляют модуляцию входного сигнала соответствующей полярности, т.е. ШИМ-1 осуществляет модуляцию отрицательного сигнала, ШИМ-2 - положительного сигнала. С выходов ШИМ, сигналы поступают на управляющие входы схемы управления полупроводникового коммутатора.

Для осуществления модуляции входного сигнала на входы ШИМ-1 и ШИМ-2 поступает сигнал треугольной формы с выхода генератора. Генератор сигналов треугольной формы, выполнен из 2 операционных усилителей А1, А2 с обязывающими их элементами. На базе А1 построен интегратор, а на базе А2 построен триггер с большим гистерезисом.

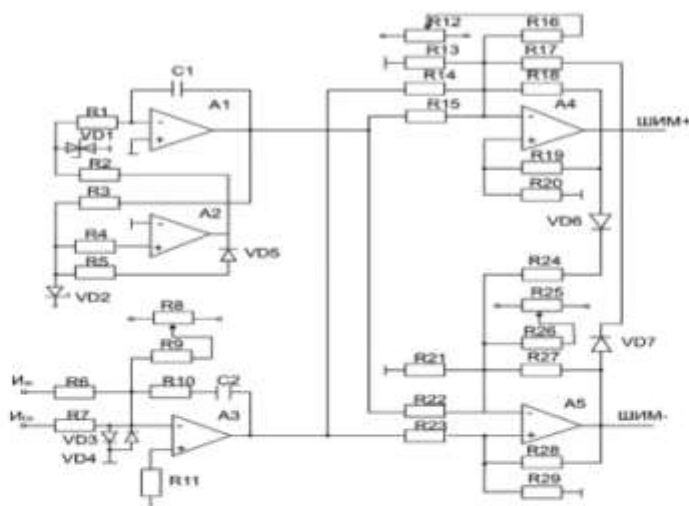


Рис. 4 Принципиальная схема блока управления электроприводом

На рис. 5 представлены диаграммы сигнала генератора, ШИМ-1 и ШИМ-2, отражающие принцип широтно-импульсной модуляции выходного сигнала регулятора. На рис. 5, а изображен выходной сигнал треугольной формы на выходе операционного усилителя. На рис. 5, б изображен изменяющийся сигнал на выходе регулятора А3 при его отрицательном значении. Этот сигнал сравнивается с сигналом треугольной формы на выходе А5, представляющего собой ШИМ-1 и на его выходе получаем широтно-модулированные сигналы, изображенные на рис. 5, в. Из этой диаграммы видно, что изменение сигнала  $U_{11}$  и  $U_{12}$  ведет за собой изменение сигнала

по ширине  $T_{11}$  и  $T_{12}$ , соответственно.

При этом операционный усилитель А4 будет находиться в отрицательной области насыщения, т.е. выходной сигнал модуляции будет равен нулю.

При появлении сигнала положительной полярности на выходе регулятора (рис 5, г) он сравнивается с треугольным напряжением на входе ШИМ-2, на выходе которого появляется широтно-модулированный сигнал регулятора с длительностью  $T_{21}$  и  $T_{22}$  (рис. 5, д).

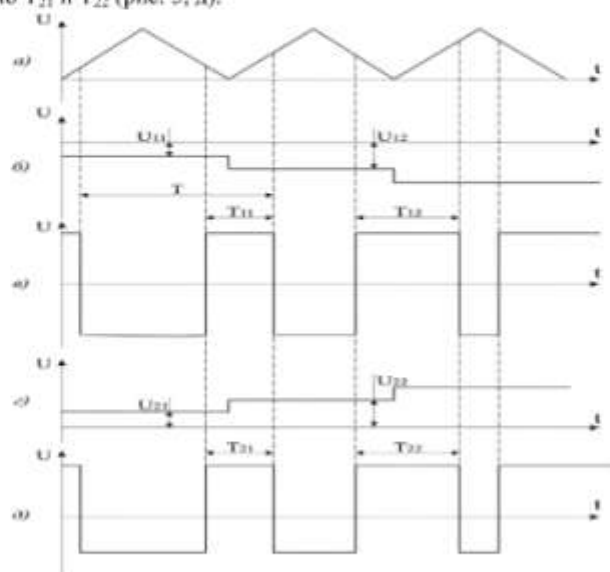


Рис. 5 Диаграмма сигналов блока управления электроприводом

При этом операционный усилитель А5 будет находиться в отрицательной области насыщения, т.е. выходной сигнал модуляции будет равен нулю.

Как видно из диаграмм, при одной и той же амплитуде отрицательного и положительного сигнала регулятора модулированные сигналы также одинаковы с длительностью  $T_{11} = T_{21}$ ,  $T_{12} = T_{22}$ . Также видно, что при увеличении напряжения на выходе регулятора, ширина  $T_{11}$ ,  $T_{12}$  увеличивается пропорционально. Ширина импульса  $T_{11}$ , свидетельствует, о времени протекания тока через двигатель от источника питания. В момент времени  $T_{11}$  или  $T_{12}$  ток через двигатель от источника питания протекать не будет.

С помощью резисторов R12 и R25 обеспечивается уровень срабатывания А4 и А5 таким образом, чтобы сигнал с длительностью  $T_{11}$  не равнялся нулю при сигнале на выходе регулятора равном нулю.

На основании обобщенных данных в ОНПУ разработаны и изготовлены полупроводниковый коммутатор с кольцевым включением обмоток якоря и линейный двигатель постоянного тока. Испытания проводились для ЛДПТ с параметрами  $U_n = 48$  В,  $I_n = 7,5$  А,  $V_n = 0,2$  м/с, с тяговым номинальным усилием  $F_n = 285$  Н, в замкнутой системе автоматического регулирования скорости.

По результатам испытаний получено подтверждение возможности обеспечения заданных параметров координатного электропривода с использованием линейного двигателя постоянного тока с полупроводниковым коммутатором.

#### Литература

1. Разработка и исследование многокоординатного стола на линейных двигателях постоянного тока. Отчет Одесского политехнического института по теме № 950-24. /В.В. Гололобов, А.Д. Ивлев. – Одесса: ОПИ, гос. регистрационный № 01850071078, 1988. - 124 с.
2. Разработка, теоретические и экспериментальные исследования комплектного двухкоординатного линейного электропривода для машины термической резки. Отчет Одесского политехнического института по теме № 425-20. /В.Т. Беликов, А.Д. Ивлев. - Одесса: ОПИ, гос. регистрационный № 77077611, 1982. - 72 с.
3. Бут Д.А. Бесконтактные электрические машины. - М.: Высш. шк., 1990. - 416 с.
4. Авдолоткин Н.П. и др. Управляемые бесконтактные двигатели постоянного тока. -Л.: Энергоатомиздат, 1984. - 148 с.
5. Домрачев В.Г., Матвеевский В.Р., Смирнов Ю.С. Схемотехника цифровых преобразователей перемещений. Справ. пособие. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 216 с.
6. Фрер Ф., Орттенбургер Ф. Введение в электронную технику регулирования. Пер. с нем. - М.: Энергия, 1973. - 246 с.