

Применение электродвигателей в робототехнике и медицинском оборудовании

Д. Аверичев¹

УДК 621.313.13 | ВАК 2.2.2

Одной из важнейших вех в истории электротехники можно считать изобретение электродвигателей, ставших неотъемлемой частью современной жизни. И если изначально электродвигатели использовались как самостоятельное устройство, то в последствии к ним стали добавлять другие компоненты: редукторы, контроллеры и датчики, и такие конструкции стали называть сервоприводами. Сегодня электродвигатели используются повсеместно – от промышленных систем и строительства до бытовой техники и потребительских устройств. В статье рассмотрены особенности применения электродвигателей и сервоприводов в таких сферах, как робототехника и медицина.

Робототехника – сфера науки и техники, начавшая стремительно развиваться в последние несколько десятилетий. Все чаще роботы применяются на производствах для повышения качества выпускаемой продукции, а также для наращивания производственных мощностей. Роботы не устают и не требуют перерывов, что позволяет сохранять высокое качество даже при сложной монотонной работе, что, в свою очередь, приводит к сокращению числа бракованных изделий. Применение роботов также снижает риск травматизма и ранений сотрудников, поскольку все производства – зоны повышенного риска. Особенно это становится актуальным там, где используются опасные вещества, например в химической промышленности. Кроме того, в долгосрочной перспективе применение роботизированных систем является более выгодным, с точки зрения расширения функционала штата сотрудников.

Роботы применяются для сварочных работ, сборки плат, покраски готовых изделий, подачи материалов и компонентов для изделий, визуального контроля и других задач на производстве. Для точного позиционирования роботов необходимы электродвигатели и сервоприводы. В рамках данной статьи мы не будем рассматривать роботизированные системы для каждой конкретной задачи, а остановимся на особенностях роботов-манипуляторов в целом.

Роботы-манипуляторы – это тип промышленных роботов, выполняющих функции человеческих рук. Соединения сегментов таких роботов допускают, как правило,

вращательные и поступательные движения. Подобные роботы нашли применение во многих сферах промышленности.

В автомобилестроении использование роботов-манипуляторов позволяет одновременно выполнять несколько процессов в автоматическом режиме во время движения изделия по конвейерной ленте. Роботов применяют для литья, штамповки, установки деталей, сборки, сварки и других видов работ. Использование роботов позволяет обеспечить непрерывное производство и повысить производственную мощность.

При производстве электротехники и электронных компонентов использование высокоточных роботов-манипуляторов позволяет не только существенно ускорить производство, но и сократить количество брака, допускаемого из-за человеческого фактора.

В химической промышленности использование роботов позволяет минимизировать взаимодействие работников с опасными химикатами.

Там же, где нельзя полностью автоматизировать процессы, применяют коллаборативных роботов (коботы), способных взаимодействовать с человеком.

На рис. 1 показана схема возможного движения робота-манипулятора для резки, сборки, шлифовки и транспортировки (в зависимости от используемых насадок) с шестью степенями свободы.

Рассмотрим примеры. На автомобильных заводах компании Нусан (Китай), специализирующейся на выпуске электромобилей, весной 2023 года начали использовать роботов для сварки от производителя SOMAU. Данные роботы быстро переключаются между производством различных моделей, а также могут быть адаптированы под

¹ Компания «ИНЕЛСО», руководитель проекта, dmitriy.a@inelso.ru.

производство новых моделей, выпускаемых Husar. В состав системы входит конвейерная линия, в которую были добавлены сервоприводы позиционирования, а также роботы-манипуляторы, предназначенные непосредственно для проведения сварочных работ. Роботы и ранее использовались на различных заводах для сварки, но добавление сервоприводов непосредственно в конвейерную линию позволяет одновременно производить сварку на нескольких изделиях, а также сократить время, затрачиваемое на одно изделие. Таким образом, использование роботизированной системы позволило увеличить производственную мощность до 200 тыс. изделий в год, а также обеспечить гибкость всей системы и возможность ее адаптации к будущим изделиям.

При применении в промышленной робототехнике сервоприводы обеспечивают требуемое положение робота в соответствии с полученной от контроллера командой. Именно для этого и требуются датчики, расположенные на валу двигателя и, опционально, на выходном валу редуктора. В состав используемых в роботах-манипуляторах сервоприводов могут входить бесколлекторный электродвигатель, волновой редуктор и датчики обратной связи на валу мотора и валу нагрузки. Среди производителей, представленных в каталоге компании «ИНЕЛСО», стоит отметить производителя волновых редукторов Han's Motion, производителя электродвигателей и датчиков Han's Motor (обе компании являются дочерними компаниями крупного производителя Han's Laser), а также турецкого производителя всех видов энкодеров – Fenac Technology.

Рассмотрим, как работает подобная система. Устройство управления вырабатывает сигнал, определяющий, к примеру, необходимый угол поворота одного из звеньев манипулятора, и этот сигнал направляется к сервоприводу, ответственному за данное звено, усиливается и в виде силового воздействия передается управляемому механизму (в данном случае, звену манипулятора). Датчики обратной связи, входящие в состав сервоприводов, получают информацию о новом положении привода, и эта информация передается на блок управления, где она сравнивается со значением положения, которое необходимо было получить. На рис. 2 показана схема устройства манипулятора с шестью звеньями, а на рис. 3 – структурная схема передачи сигнала от устройства программного управления к звеньям манипулятора.

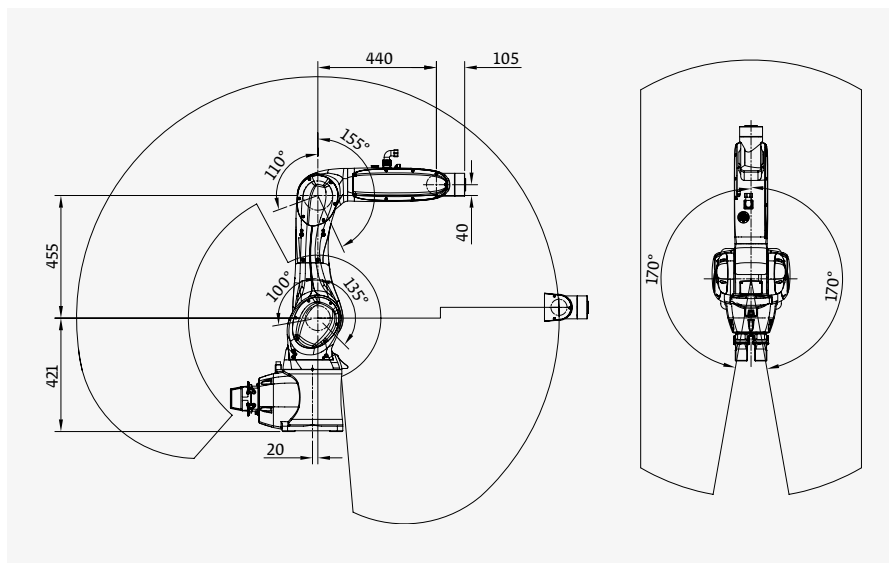


Рис. 1. Схема движения робота-манипулятора с шестью степенями свободы

В промышленных роботах применяются разные типы сервоприводов в зависимости от назначения того или иного узла. Так поворот всего корпуса робота обеспечивается относительно большим и мощным сервоприводом с малой выходной скоростью на валу редуктора, а движение более мелких узлов (например, «пальцев»

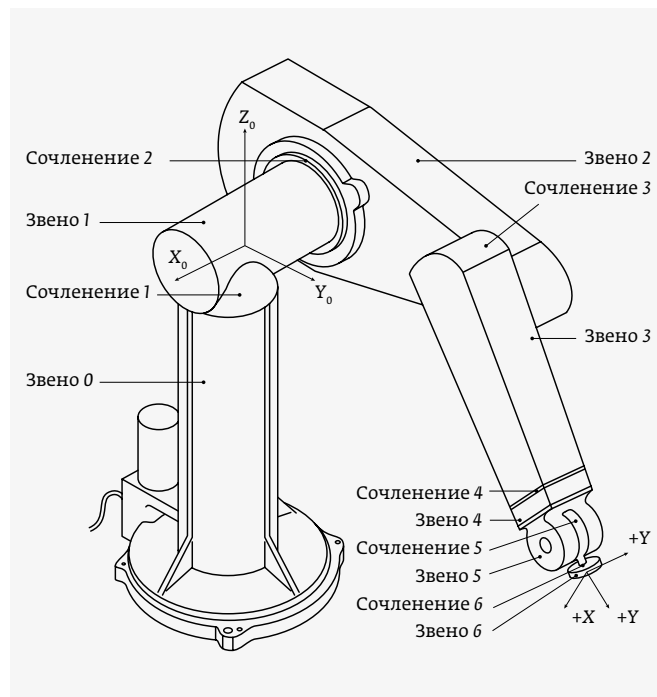


Рис. 2. Схема звеньев и сочленений робота-манипулятора

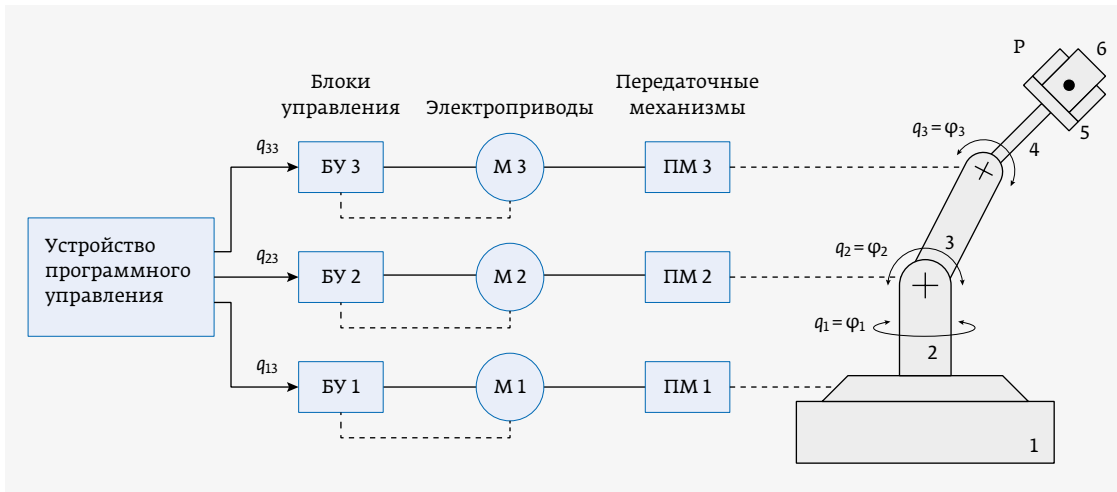


Рис. 3.
Структурная
схема
управления
роботом-
манипулятором

манипулятора) можно обеспечить с использованием менее габаритных, но более скоростных сервоприводов.

В мобильных роботах также в обязательном порядке присутствуют сервоприводы, но тут накладываются более серьезные ограничения по габаритам и весу: чем меньше и при этом мощнее электродвигатель, тем быстрее сможет перемещаться робот и тем большее количество полезной нагрузки сможет перемещать. Кроме того, в данном случае важны также параметры энергопотребления, поскольку при использовании менее мощных двигателей увеличивается время автономной работы роботов с питанием от аккумуляторных батарей. Высокоэффективные моторы Assun Motor могут обеспечить длительную работу автономных систем благодаря КПД более 90%.

В современной робототехнике важным направлением является разработка роботизированных конечностей. Основными перспективными направлениями в этой области считаются разработки бионических протезов, предназначенных для людей, переживших ампутацию или изначально родившихся без какой-либо конечности, а также системы дополнительных конечностей, предназначенные для упрощения проведения работ (например, дополнительная пара или две роботизированных рук для людей, выполняющих ремонтные работы).

Современные бионические протезы бывают односхватовые и многосхватовые. Первый тип оснащен одним мотором, который обеспечивает односложное смыкание-размыкание пальцев кисти руки. В протезах такого типа используется электродвигатель с редуктором, поскольку нет необходимости в определении точного положения пальцев. А в многосхватовых протезах используются уже миниатюрные сервоприводы, находящиеся в каждом пальце. Двигатели для подобных изделий есть у производителя Assun Motor.

В роботизированных конечностях, не предназначенных для протезов, используется аналогичная система

с несколькими сервоприводами. Главным требованием к подобным конструкциям является их компактность и малый вес. Кроме того, сервоприводы в подобных устройствах должны обладать высокими значениями моментных характеристик, чтобы не только выдерживать вес человека, но и иметь возможность облегчать его перемещение.

Основной задачей обоих направлений данных разработок является улучшение системы управления. И если управление бионическими протезами осуществляется за счет считывания миоэлектрического потенциала, который вырабатывается во время напряжения и сокращения сохранившихся мышечных тканей руки, то с дополнительными конечностями все несколько сложнее. Человеческий мозг не «запрограммирован» управлять более чем двумя парами конечностей, что ставит перед учеными проблему соединения человеческого мозга и контроллера в конечности.

Таким образом, можно сказать, что производство бионических протезов и дополнительных роботизированных конечностей – это отрасль, расположенная на стыке робототехники и медицинского оборудования, поскольку она объединяет в себе цели и сложности обеих этих сфер. Другим примером подобного симбиоза можно считать разработку и производство экзоскелетов – роботизированных систем, предназначенных для восстановления моторных функций пациентов.

Через миоэлектрические датчики экзоскелет получает информацию о движении носителя, после чего сигнал с контроллера подается на сервоприводы, приводящие в движение сочленение экзоскелета. Как правило, в подобных системах используются небольшие сервоприводы, в состав которых входят непосредственно двигатели (как правило, бесколлекторные), редукторы и один или несколько датчиков обратной связи. Например, многие компании производят экзоскелеты с приводами в бедренном и коленном



Рис. 4. Экзоскелет

сочленениях для большей подвижности. На рис. 4 показан вариант подобного экзоскелета.

В России также ведутся разработки в этом направлении, и в условиях санкций хорошим вариантом для подобных систем могут быть двигатели китайского производителя Assun Motor.

Но в медицине сервоприводы используются не только в протезах и экзоскелетах. На рис. 5 приведены основные направления развития современной медицинской робототехники.

Мы уже рассмотрели протезы, в которых применяются относительно небольшие сервоприводы, благодаря которым достигается подвижность пальцев. Теперь же поговорим о других системах, предназначенных для реабилитации пациентов, – механотерапевтических комплексах. К ним относятся как различные тренажеры, предназначенные для разработки конечностей и суставов после травм, так и роботизированные комплексы, призванные заменить трудоемкую ручную работу специалистов среднего уровня (санитаров и медсестер), а также сократить сроки восстановления нарушенных функций. Например, в последние два десятилетия начали развиваться роботизированные массажные столы.

Медицинская робототехника



Рис. 5. Направления развития медицинской робототехники

Использование сервоприводов в таких системах необходимо для движения и точного позиционирования манипулятора (рис. 6).



Рис. 6. Манипулятор роботизированного массажного комплекса

Применение роботов, способных выбирать алгоритм действий исходя из данных о пациенте, полученных с установленных на роботах датчиках, позволяет не только снизить рабочую нагрузку на медперсонал и увеличить объемы оказываемой помощи, но и обеспечить более индивидуальный подход.

Кроме того, в роботизированных тренажерах, используемых для реабилитации пациентов, также применяются сервоприводы. Особенно широко разработки в этой сфере ведутся в Европе. На рис. 7 показан пример такого комплекса.

Данный комплекс предназначен для восстановления локомоторных функций кистей рук и пальцев. Принцип его работы схож с принципом работы экзоскелета: энцеелограф считывает информацию о поступающих от пациента сигналах о движении, после чего эти сигналы фильтруются, усиливаются и через интерфейс «мозг – компьютер» подаются на приводы экзоскелета. В результате пациент видит движение своей руки в ответ на команду мозга, что способствует восстановлению нейронных



Рис. 7. Роботизированный комплекс для реабилитации

связей. Волновые редукторы Nan's Motion отлично вписываются в изделия для медицинской реабилитации, так как практически не имеют люфта, а также обеспечивают высочайшую точность и плавность перемещения. В России ведутся подобные разработки, и во многих центрах уже используются реабилитационные роботизированные комплексы отечественного производства.

Стоит отметить, что в медицине электродвигатели и сервоприводы применяются не только как часть роботизированных систем, но и как компонент некоторых видов оборудования, в частности в устройстве компьютерных томографов, где они обеспечивают вращение рентгеновских трубок внутри «трубы» томографа. В настоящее время производители медицинского оборудования стремятся к увеличению скорости вращения трубок, что позволило бы сократить время получения результата, однако увеличение скорости вращения повышает важность точного позиционирования рентгеновских трубок, которые должны двигаться с постоянной скоростью для захвата изображения через одинаковые, точно установленные интервалы (рис. 8). Для использования в подобных системах компания Nan's Motor предлагает возможность индивидуального изготовления двигателей с внутренним диаметром 1200 мм с высокими значениями номинального и максимального момента и скоростью вращения до 35 об./мин.

В устройстве современных столов, на которых размещаются пациенты для проведения МРТ и рентген-исследований, предусмотрены линейные двигатели,

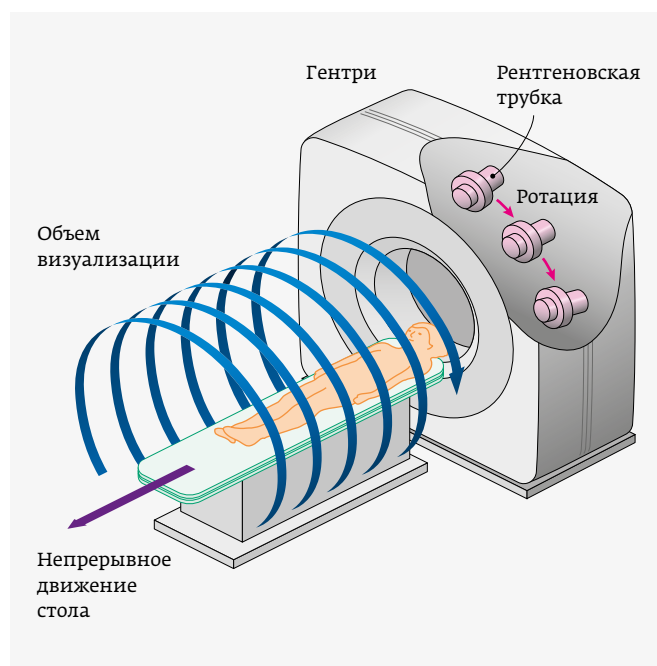


Рис. 8. Устройство компьютерного томографа



Рис. 9. Полноприводное кресло-коляска

позволяющие точно подстраивать высоту стола. Подобные системы нашли применение и в других конструкциях для размещения пациентов – в частности, в стоматологических креслах и больничных кроватях. В данных случаях уже не требуется использование датчиков обратной связи, поскольку управление системой осуществляется в ручном режиме.

В последние годы также появились кресла-коляски с электроприводами, предназначенные для улучшенной социальной адаптации лиц с ограниченными возможностями. Например, в США разрабатываются и производятся полноприводные кресла-коляски, позволяющие маломобильным группам населения передвигаться и путешествовать наравне со всеми (рис. 9).

Использование отдельных сервоприводов для каждого колеса позволяет добиться большой маневренности даже в закрытых помещениях, а также устойчивости, необходимой в сложных условиях (например, в грязи). Как и в медицинских столах, здесь нет необходимости в использовании датчиков, поскольку человек сам управляет движением коляски. Однако, как и в экзоскелетах, приводы должны быть максимально компактными и высокомоментными. В России подобные разработки также ведутся.

Помимо уже упомянутых разработок, находящихся на стыке медицины и робототехники, нельзя не упомянуть такую сферу, как роботизированная хирургия, стремительно развивающаяся в последние годы. Здесь нельзя недооценивать важность точного

позиционирования рабочих органов робота, что привело к широкому распространению сервоприводов в этой области.

В робототехнике и медицине электродвигатели нашли широкое применение в качестве самостоятельного устройства и как часть сервоприводов.

Компания «ИНЕЛСО» является официальным дистрибьютором таких компаний, как Assun Motor, Han's Motor, Han's Motion и Fenac Technology, занимающихся производством электродвигателей, редукторов и энкодеров, необходимых для сборки сервоприводов. Весной 2023 года «ИНЕЛСО» объявила о запуске собственной линейки сервоприводов под брендом «Ферзь», модели которой могут применяться в различных отраслях, в том числе в некоторых приложениях, описанных в данной статье. Доступны исполнения с полым и сплошным валом, с различными двигателями и редукторами, с разными видами датчиков на валу двигателя и редуктора, предлагаются также опции с тормозной муфтой. Широкий выбор компонентов для производства сервоприводов обеспечивает огромную вариативность: в настоящее время существует более 80 тыс. стандартных комбинаций, но при необходимости возможна доработка привода по ТЗ заказчика.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.deltasvar.ru/katalog/Промышленные-роботы-crп>
2. https://studref.com/702877/tehnika/modelirovanie_robota_manipulyatora_prosteyshim_zahvatnym_mehanizmom
3. <https://eksobionics.com/eksonr/>
4. <http://medicalrobot.narod.ru/articles/osr/osr.html>
5. <https://www.1nep.ru/articles/roboscultpor-dlya-reabilitatsii-patsientov-s-travmami-i-zabolevaniyami-kostno-myshechnoy-sistemy/>
6. <https://robo-sculptor.com/>
7. <https://beka.ru/katalog/mekhano-i-robotizirovannaya-terapiya/vosstanovlenie-funktsiy-verkhnikh-konechnostey/amadeo/>
8. <https://tyromotion.com/en/products/amadeo/>
9. <https://tomografpro.ru/kt-i-mrt/kompyuternaya-tomografiya.html>
10. <https://www.mobilityworld.co.uk/products/sunrise-medical-4-wheel-drive-off-road-power-wheelchair-magic-mobility-extreme-x8>
11. <https://www.sunrisemedical.com/power-wheelchairs/magic-mobility>
12. <https://www.comau.com/en/success-stories/comau-enables-flexible-production-for-hycan/>
13. <https://inelso.ru/proizvoditeli/section/elektroprivody/>
14. <https://inelso.ru/catalog/servoprivody/>