

МОДУЛЬНЫЕ МНОГООСЕВЫЕ СИСТЕМЫ phyMotion ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ, РАБОТАЮЩИМИ В УСЛОВИЯХ ВАКУУМА

СТАНИСЛАВ МАХОВ
makhov@microprivod.ru

На производствах и в исследовательских проектах, где осуществляются операции в вакуумных камерах, зачастую требуется рассчитанная на применение в специальных условиях автоматика для точного позиционирования заготовок или образцов. Возможность гибко изменять функционал электроники для управления одним или несколькими двигателями позволяет наиболее просто и быстро сконструировать состав системы под определенную задачу.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ В ВАКУУМНЫХ МНОГООСЕВЫХ СИСТЕМАХ

Как правило, использование стандартных моторов в сочетании со сложными передачами, располагаемыми в вакууме, является не самым удачным решением, поскольку элементы передачи занимают дополнительное место, изнашиваются, в результате чего ухудшается управление, требуются меры по замене устаревших элементов, что связано с остановкой работы и разбором камеры, при этом возникает риск ее загрязнения.

Возникает и ряд специфических требований к электродвигателям: не должно быть испарения веществ, содержащихся в смазках, клеевых соединениях, изоляции обмоток и элементах корпуса, чтобы не нарушить чистоту вакуума при нагреве. В связи с этим применяются специальные материалы в конструкции и осуществляется надзор за уровнем нагрева. Контроль температуры особенно важен в данных условиях и с другой точки зрения: в вакууме из-за отсутствия конвекционного отвода тепла мотор может очень быстро нагреться (в зависимости от цикла работы), что повышает

риск нарушения изоляции обмоток и выхода мотора из строя. Чтобы избежать перегрева, номинальный крутящий момент электродвигателя должен с запасом превышать требуемый расчетный, а для возможности контроля температуры в обмотку встраивается датчик. Эти меры способствуют стабильной работе в вакууме и увеличению срока службы мотора при соблюдении рекомендованных условий эксплуатации. Также моторы должны надежно работать и управляться с достаточной точностью перемещения, желательно в разомкнутом контуре, чтобы упростить систему

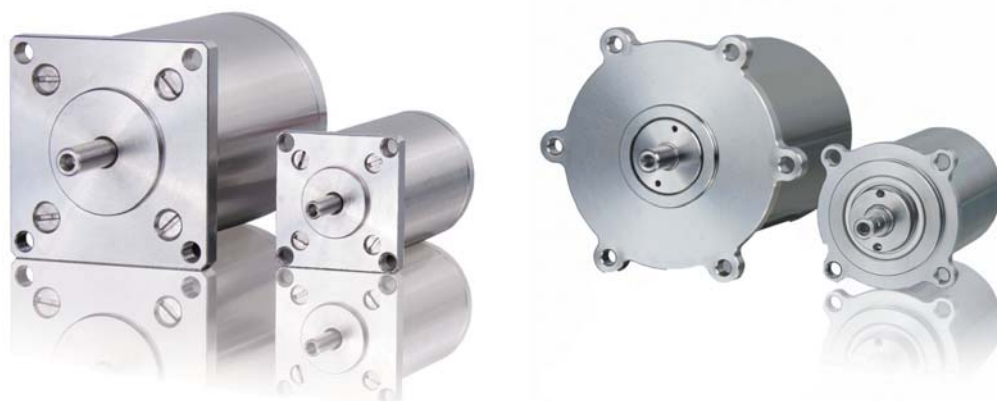


РИС. 1. ►
Исполнение шаговых двигателей Phytron для применения в наземном (слева) и космическом (справа) вакууме.

за счет отсутствия электронных узлов для осуществления обратной связи по положению. Поэтому удобнее оказывается применение специальных моторов непосредственно в вакууме с расположением управляющей электроники вне камеры.

В решении задач точного позиционирования с перечисленными требованиями хорошо зарекомендовали себя электроприводы немецкой компании Phytro, выпускающей более 60 лет гибридные шаговые малогабаритные двигатели (в диапазоне 19...107 мм в диаметре или по стороне фланца) как в стандартных общепромышленных, так и в особых исполнениях, а также управляющую электронику к ним. Изделия находят применение в промышленности, в том числе экстремальных средах, медицинской, исследовательской, космической технике (рис. 1). Как правило, продукция Phytro используется для работы в вакууме (от среднего 10^{-3} мбар до сверхвысокого 10^{-11} мбар), в космосе (возможно изготовление корпуса из титана), в криогенной среде (температура до 4 К в жидком гелии), при повышенной радиации (до 10^6 Дж/кг) и в других экстремальных условиях. Зачастую эти системы оказываются многодвигательными, как, например, в линейных координатных столах, гексаподах, сканирующих электронных микроскопах и других системах позиционирования, работающих в вакууме. Электродвигатели могут быть выпущены в сборе с планетарными редукторами, датчиками положения, электромагнитными тормозами (только в обычной промышленной версии), демпфирующими устройствами для устранения резонанса.

Перечисленные выше особенности, связанные с работой двигателей, должны быть заложены в функции электронного блока управления; в то же время нельзя охватить все разнообразие применений, используя жестко заданный набор функций. Поэтому наиболее подходящей становится конфигурация, допускающая индивидуальную компоновку элементов. В результате разработчики из Phytro пошли по пути создания многодвигательного контроллера нового поколения phyMotion, сочетающего в себе преимущества ПЛК- и ЧПУ-систем.



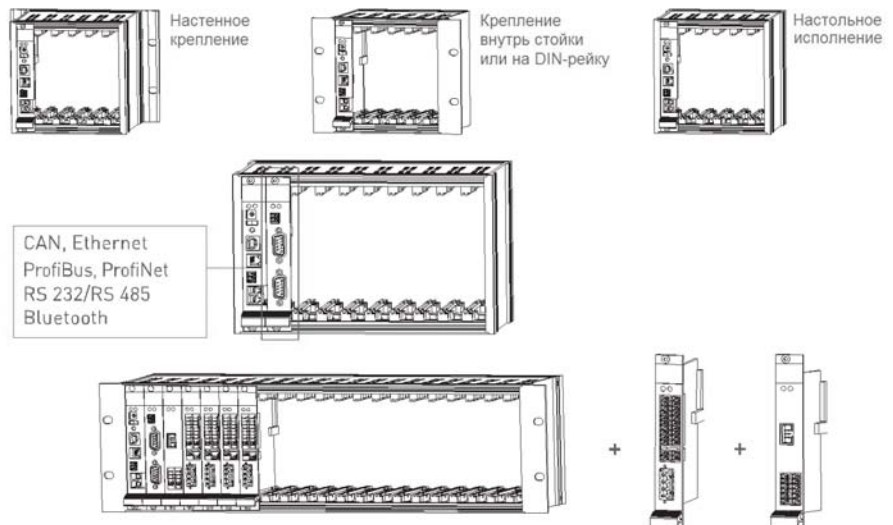
Данный контроллер позволяет работать одновременно максимум с 18 шаговыми двигателями, запускаемая их по независимым профилям движения или же организуя интерполяцию и синхронизацию работы осей. Это не просто система для управления несколькими приводами, а «конструктор», собираемый из стандартных модулей с рядом возможных модификаций: блоки с базовыми функциями управления можно устанавливать в различном количестве и дополнять опциональными подмодулями, в том числе для получения сигналов с датчиков

температуры и положения. Таким образом, практически все параметры от вида силовой ступени до типа сетевого интерфейса и числа входов и выходов контроллера могут быть индивидуально сконфигурированы и заложены в одном изделии.

На рис. 2 представлен контроллер phyMotion, включающий в себя 10 модулей (слева направо): основной модуль ввода питания, процессорный модуль, 7 модулей со встроенными силовыми каскадами для управления шаговыми двигателями, модуль цифровых входов и выходов.

РИС. 2. ▲ 7 осевой контроллер phyMotion с модулем цифровых входов и выходов

РИС. 3. ▼ Виды корпусов и компоновка осей в контроллере phyMotion





СОСТАВ И ВОЗМОЖНОСТИ МНОГООСЕВЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ PHYMOTION

Корпус контроллера выполняется в 4 стандартных типоразмерах — на 6, 8, 10 или 21 слот (длина контроллера от 137 мм до 441,8 мм, высота 132,5 мм, глубина 121 мм) и — по выбору заказчика — изготавливается с настенным креплением, внутрь стойки или на DIN-рейку, а также в настольном исполнении (рис. 3).

Для сравнения — при использовании для каждого из 18 двигателей отдельных контроллеров Phytron MCC-1 с габаритами корпусов 55 × 127 × 110 мм, имеющих мощность, как у встроенных в phyMotion силовых каскадов, потребовалось бы как минимум в 2 раза больше места при расположении отдельных блоков вплотную друг к другу (рис. 4).

В сборку всегда входят обязательные модули, такие как основной модуль ввода питания и процессорный модуль, монтируемые в начале стойки. Если число подключаемых модулей превышает 10 (в том числе обязательных) либо их токопотребление превышает 20 А, устанавливается дополнительный модуль ввода питания, также позволяющий разделить общее питание на 2 группы с разным напряжением. Между собой все модули соединены по шине, проходящей вдоль задней стенки контроллера, разделение напряжения на группы должно быть оговорено заранее на этапе проектирования. В то же время такая компоновка повышает компактность системы за счет отсутствия соединительных кабелей между модулями снаружи контроллера. Удобно выполнены входящие в поставку внешние разъемы на модулях — это стандарт-

ные Phoenix Contact, не требующие обжимки проводов специальным инструментом.

Внедрение phyMotion в состав имеющейся системы возможно различными способами. С одной стороны, контроллер может работать в качестве ведомого устройства под управлением ПК через USB-порт или Ethernet. С другой стороны, он может выступать как независимо работающих (stand-alone) контроллер движения и выполнять заложенную в него программную последовательность, имея возможность подключить HMI-панель с сенсорным дисплеем на базе Android для настройки параметров. Помимо этого, контроллер подключается к сетям ProfiBus, ProfiNet и работает по командам от ПЛК. Также сразу несколько контроллеров phyMotion могут быть соединены между собой через RS232, RS485 либо Ethernet, по шине CAN. Более того, phyMotion обладает развитой периферией — возможно подключение модулей цифровых или аналоговых входов/выходов.

Параметры установленных силовых каскадов для двигателей могут существенно отличаться по уровню потребляемой мощности и режиму работы. Встроенные силовые ступени для каждой оси рассчитаны на пиковую нагрузку 5А при напряжении от 24 до 70 В, в случае превышения этих значений можно подключить внешнюю силовую ступень, которой управляет встроенный в блок phyMotion модуль-интерфейс связи с внешним усилителем. В то же время оси характеризуются наличием встроенного или внешнего индекса-тора — этот подмодуль синхронизирует работу 2 или 4 осей с круговой или линейной интерполяцией соответственно. Также индекса-тор увеличивает максимальную частоту подачи

управляющих импульсов со стандартной 40 кГц до 500 кГц, позволяет мгновенно запускать вращение вала шагового двигателя с частотой пуска, определяемой динамическими характеристиками двигателя и инерцией нагрузки. Более того, с индекса-тором возможно большее дробление микрошага — до 1/512 полного шага (без индекса-тора — 1/256), что увеличивает плавность вращения вала с повышенным разрешением перемещений и угловое положение регулируется более точно при сохранении напряжения на обмотках шагового двигателя.

К каждому силовому каскаду можно подключать только один шаговый двигатель, при этом для внешних силовых каскадов управляющими являются три группы биполярных сигналов — тактирующий CLK, направление DIR и усиление BOOST. В то время как первые два являются стандартными для шаговых контроллеров, третий осуществляет вспомогательную функцию и позволяет компенсировать ослабление тока в подшаговом режиме на тех участках вращения ротора, когда крутящий момент создается только одной обмоткой. В результате повышается плавность вращения вала двигателя, снижается риск возникновения резонанса, помимо этого при корректном расчете допустимой нагрузки исключается пропуск шагов. При этом также снижается акустический шум во время работы двигателя. В модулях для управления внешними силовыми каскадами имеются линии для отправки служебных сигналов начала движения, сброса и ошибки. Вращение вала двигателя может осуществляться в режиме относительного и абсолютного позиционирования путем задания количества шагов для углового перемещения либо в режиме управления скоростью через задание частоты и условия остановки или смены направления вращения. Также во избежание первого резонанса минимально задаваемая частота сигналов составляет 400 Гц.

Как было упомянуто ранее, в вакууме зачастую требуется контроль температуры либо обратная связь для наблюдения за вращением вала двигателя, особенно в тех областях применения, где доступ к приводу затруднен.

РИС. 4. ▼
Стандартное решение по объединению в сеть независимо работающих двигателей

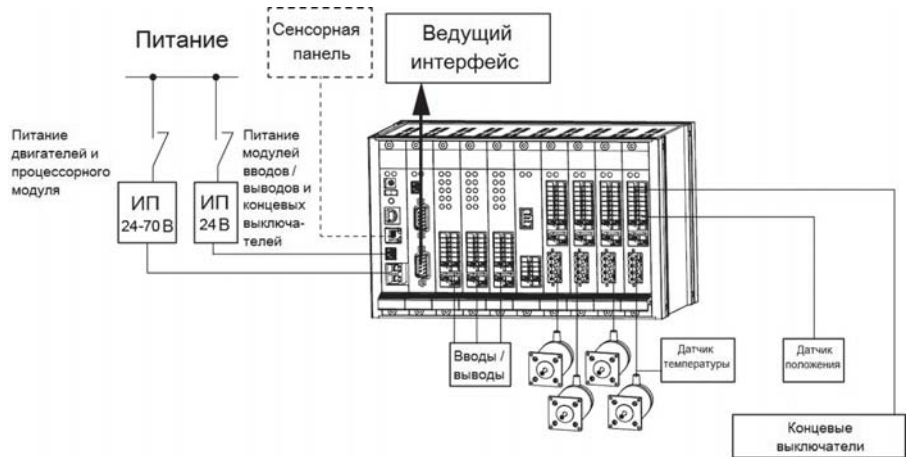


Для обработки сигналов с датчиков температуры в phyMotion устанавливаются подмодули PT501 или KTS01 — для платиновых датчиков Pt100 или термопары К-типа, встраиваемых в обмотки двигателя. При данном способе установки время отклика получается гораздо меньше по сравнению с задержкой поступления сигнала от датчиков температуры, установленных снаружи корпуса двигателя. Измерение температуры производится постоянно, даже если в какой-либо момент под напряжением находится только одна фаза двигателя. Термопара К-типа — это металлический термоэлемент с проводниками из сплава на никелевой основе (NiCr-Ni), температурный диапазон которого составляет $-270...+1370\text{ }^{\circ}\text{C}$. Платиновые датчики Pt100 состоят из витого провода высокого сопротивления, который находится в самоподдерживающемся состоянии внутри цилиндрического керамического корпуса. Используется данный тип датчиков с шаговыми двигателями, работающими в вакууме, криогенных и промышленных экстремальных условиях в диапазоне температур $-200...+300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для обработки сигналов обратной связи по положению — данных с датчиков относительного или абсолютного перемещения в формате EnDat либо SSI, а также резольверов (СКВТ) — устанавливаются соответствующие подмодули, что позволяет отслеживать пропуск шагов. Также в модули работы с двигателями всегда встроены разъемы для сигналов концевых выключателей. Пример конфигурации контроллера — на рис. 5.

ПРОГРАММНОЕ УПРАВЛЕНИЕ И ИЗМЕНЕНИЕ НАСТРОЕК

Взаимодействие с пользователем может осуществляться с помощью встроенного в общий корпус или внешнего HMI-устройства, оно служит для настройки, установки параметров и диагностики, в нем пользователь может выбирать параметры движения. В первом случае это встраиваемая в корпус phyMotion сенсорная панель с $800\times 480\text{ px}$ TFT-дисплеем. Во втором в качестве внешней панели



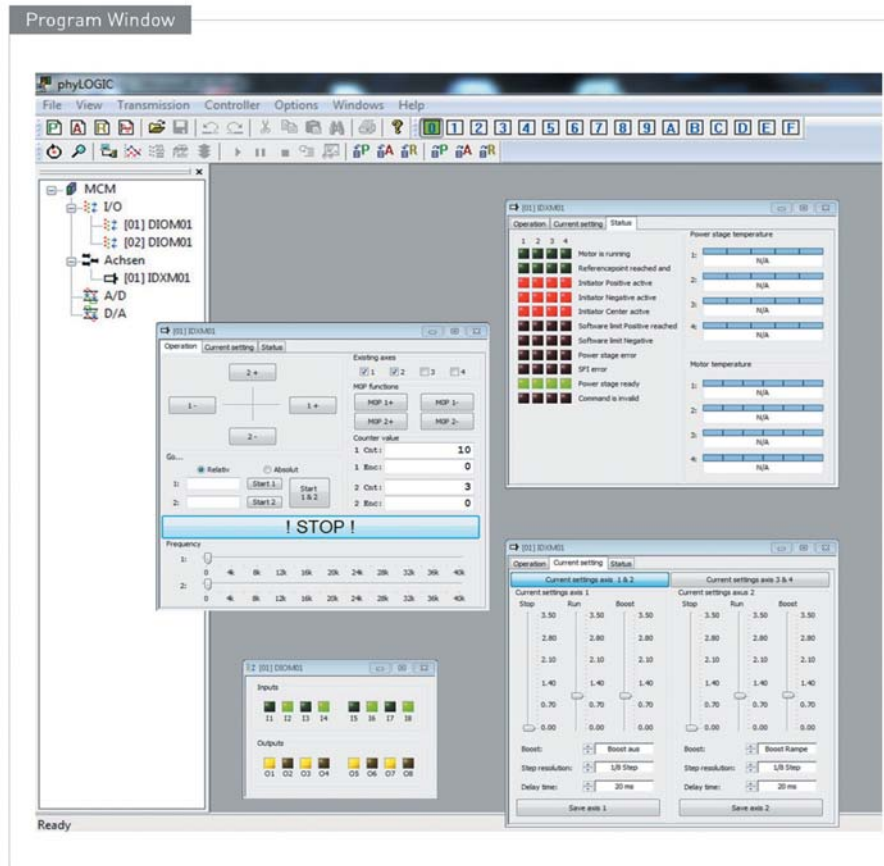
может выступать планшетный компьютер на базе операционной системы Android (от версии 4.0), он подключается через Ethernet или Wi-Fi к основному модулю ввода питания или процессорному модулю через Bluetooth. Также к phyMotion через разъем на основном модуле ввода питания может подключаться

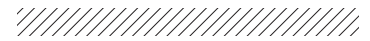
кнопочная панель оператора с дисплеем с возможностью удаленного управления.

В режиме независимо работающего контроллера phyMotion выполняет последовательность команд, записанную в него с помощью находящейся в свободном доступе программной оболочки

РИС. 5. ▲ Пример конфигурации многоосевого контроллера phyMotion

РИС. 6. ▼ Программная среда разработки phyLogic™ Toolbox





phyLOGIC™ ToolBox. В ней используется новый программный язык от Phytroп, являющийся продолжением языка MiniLog (из предыдущих версий контроллеров этого производителя) за счет расширения его функционала команд до работы с многоосевыми системами. Программная оболочка обладает дружелюбным интерфейсом, синтаксис языка высокого уровня позволяет удобно внедрять блок управления в разработки заказчиков (рис. 6). Также phyLOGIC™ ToolBox помимо среды программирования содержит такой полезный инструмент, как редактор движения («Motion Creator»), позволяющий рисовать 2D-контурные перемещения и переводить их в команды для управления двигателями, а также отображать текущее положение в виде графического представления на плоскости (рис. 7).

Помимо программирования инструкций, оболочка позволяет редактировать и сохранять параметры, за счет чего они легко могут быть перенесены на другие аналогичные блоки. Также для графического моделирования могут быть применены виртуальные инструменты (Virtual Instruments) LabVIEW, что позволяет работать с контроллером phyMotion в привычной разработчику программной среде. Использование этих средств обеспечивает проведение настройки параметров и диагностики в реальном времени. Также Phytroп поставляет исходный код для встраивания контроллеров phyMotion в системы, попадающие в рамки открытых проектов в области экспериментальной физики и промышленных систем

управления EPICS (большие телескопы, ускорители частиц).

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ RHYMOTION

После знакомства с основными концепциями phyMotion можно заключить, что рассмотренный контроллер нового поколения от Phytroп предоставляет следующие преимущества при создании систем управления шаговыми двигателями:

1. Универсальный набор только необходимых модулей и подмодулей, что позволяет создавать индивидуальную конфигурацию и исключает переплату за избыточные функции.
2. Возможность обрабатывать сигналы от датчиков двигателей, специфичных для экстремальных условий применения, вдали от управляющей электроники.
3. Удобное решение для многоосевых систем — в одном корпусе объединена электроника для управления от 1 до 18 шаговых двигателей по независимым друг от друга или взаимосвязанным профилям движения, компактность объединенных в одном корпусе модулей позволяет обойтись без лишних соединительных проводов.
4. Модули стандартные, т. е. отработаны в ряде других задач, что повышает надежность создаваемой системы, в то же время для крупного заказа производитель может разработать специальный модуль.
5. Модульная компоновка позволяет легко и быстро заменять вышедший из строя блок (в случае сохранности шины

контроллера для данного слота), что повышает ремонтпригодность системы, сокращая время простоя оборудования, оставляет заказчику возможность дальнейшего наращивания системы за счет заполнения неиспользованных слотов в корпусе.

6. Возможность использовать как в режиме ведомого устройства от ПК или ПЛК, так и в режиме независимой работы.
7. Система с дружелюбным интерфейсом экономит время на внедрение и освоение продукта, не требуется плата за использование программной оболочки.

ДАЛЬНЕЙШИЕ МОДИФИКАЦИИ

Практика показала, что отсутствие собственного блока питания или возможности подключения к сети переменного тока создает дополнительные неудобства при использовании phyMotion. Следовательно, в ближайшем будущем обновление функционала коснется именно этой особенности: станут доступными корпуса со встроенным источником питания или трансформатором 1300 ВА с возможностью подключения к сети 230 В~. Также ведутся работы по увеличению мощности встроенных силовых ступеней — силовые каскады MSX будут устанавливаться в корпус, а не подключаться извне. Таким образом, планируется поднять верхнюю планку выходного тока силового каскада с 5 А до 15 А. Планируемые изменения дополнят изделие до законченного решения управления приводами и упростят его внедрение на производстве. ●

www.microprivod.ru

РИС. 7. ▼

Пример перевода траектории из Motion Creator в набор команд

