

АВТОНОМНЫЕ ЭЛЕКТРОГИДРОСТАТИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ

Основными доводами, выдвигаемыми противниками гидравлики в конкурентной борьбе, обычно являются: пониженная энергоэффективность, необходимость использования насосной установки и трубопроводов, шум, загрязнение окружающей среды, недостаточная совместимость с существующими системами управления, сложность запуска и технического обслуживания. Все эти «гидравлические» проблемы эффективно решены в новейших автономных электрогидростатических приводах (далее АП), интенсивно разрабатываемых лидерами мирового рынка гидрооборудования.

История создания АП начинается в 90-х годах прошлого века, когда специалистам фирмы Moog, занятым разработкой гидросистем управления полетом крупных авиалайнеров, надоело, наконец, тянуть 50-метровые трубопроводы от централизованной насосной установки к рулевым поверхностям, расположенным на концах крыльев. Возникла идея создания полностью автономного узла, содержащего приводной реверсивный серводвигатель, насос, гидроцилиндр, аппаратуру управления и контроля, а также компенсационный резервуар в виде пневмогидравлического аккумулятора, причем подключение узла к системам питания и управления реализовано только электрическими проводами. Использование индивидуального насоса для каждого из гидродвигателей позволяет оптимизировать режим его работы с точки зрения энергоэффективности, а исключение разветвленной системы трубопроводов — сократить массу и существенно повысить живучесть транспортного средства в целом. Один из первых образцов АП фирмы Moog показан на рис. 1.



Рис. 1. Авиационный АП фирмы Moog

Аналогичные работы проводились С. А. Ермаковым в Московском авиационном институте [1], где был создан и исследован макетный образец АП, в котором использовался аксиально-поршневой насос с наклонным диском и пропорциональным электроуправлением, а также четырехкромочный дросселирующий гидрораспределитель (ДГР). Интересной особенностью привода является плавный переход от дроссельного способа регулирования к объемному. С этой целью при позиционировании цилиндра и работе на малых скоростях насос вращается с минимальной частотой, а ДГР работает в штатном режиме с высокими точностью, жесткостью и быстротой действия. По мере

увеличения задаваемой скорости движения электронная система обеспечивает опережающее открытие рабочих кромок золотника, а скорость движения ограничивается подачей насоса, зависящей от частоты его вращения.

В 2008 г. опубликована интересная статья специалиста фирмы Airbus проф. Jean-Charles Maré, посвященная подробному сравнительному анализу используемых в аэрокосмической технике электромеханических и электрогидравлических силовых приводов в самых разнообразных аспектах, включая мощностные, энергосберегающие, надежные, установочные, функциональные и эксплу-

АП объединяет преимущества электрической и гидравлической технологий для построения компактных, надежных и энергоэффективных систем

атационные характеристики [2]. Было показано, что, несмотря на общее стремление к расширению использования чисто электромеханических версий, последним еще присущи существенные недостатки:

- пониженная плотность энергии;
- потенциальная чувствительность к поражению от молний;
- локальный перегрев, следствием которого может быть расслоение углеродистой волокнистой структуры обшивки самолета, причем причиной этого перегрева является большое энергопотребление в режиме поддержания постоянного усилия (гидроприводы в этом случае работают с минимальной частотой вращения насоса, достаточной для создания требуемого давления при практически нулевой подаче);

— значительные инерционные нагрузки в переходных режимах, поскольку инерция ротора серводвигателя может быть в 500 раз (!) больше собственной инерции исполнительного механизма из-за наличия между ними эписцилоидных или многоступенчатых зубчатых передач с передаточным отношением часто более 1:100;

- сложность ограничения усилий
- необходимость применения механических ограничителей момента;
- трудность резервирования (для отключения неисправного канала требуются специальные механические устройства, тогда как в гидроприводах — простейший блокировочный золотник);
- усложнение смазочной системы и ее техобслуживания.

В заключение делается вывод о привлекательности использования АП в ближайшем будущем, а в ряде случаев — гибридных вариантов с гидравлической версией, работающей в нормальном режиме, и электромеханической — в резервном.

Учитывая 18-летний успешный опыт эксплуатации АП в авиации, фирма Moog Industrial Group на выставке приводов в ноябре 2011 г. представила прототип АП для общемашиностроительного применения в оборудовании, требующем больших усилий, энергосбережения, исключения гидравлических трубопроводов и соответствующем требованиям защиты окружающей среды (рис. 2). Было заявлено,

что фирма, в совершенстве владеющая электрической и гидравлической технологиями, провела углубленное исследование и сделала вывод о целесообразности создания АП — инновационного гибрида, объединяющего преимущества обеих технологий с целью построения компактных, надежных и энергоэффективных систем.



Рис. 2. Первый образец общепромышленной версии АП фирмы Moog

studiprand.it



**МОЩНОСТЬ
ПОД КОНТРОЛЕМ**



www.cbfhydraulic.com

КЛАПАНЫ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ

CBF производит гидродинамические компоненты и гидравлические клапаны, предназначенные для сельскохозяйственного оборудования, земной техники и подъемных машин. Клапаны максимального давления, редукторы давления, клапаны удержания нагрузки, разделители потока, регуляторы потока, блокировочные клапаны, ведомые блокировочные клапаны, обратные клапаны, клапаны исключения и последовательности, клапаны для модульной установки просвет 6 и просвет 10, электрические клапаны, клапаны ограничения хода, клапаны остановки цилиндра, распределители моноблочные рычажные для малых расходов, ручные насосы, встраиваемые узлы по специальным запросам клиентов.

Весь перечень продукции для удержания мощности под контролем в любых сферах применения.



CBF S.r.l. - Via Caboto, 3 - 36075 - Montecchio Maggiore (VI) - Italy
Tel. +39.0444.499.141 / +39.0444.499.143 - Fax +39.0444.499.145
info@cbfhydraulic.com

CBF hydraulic®

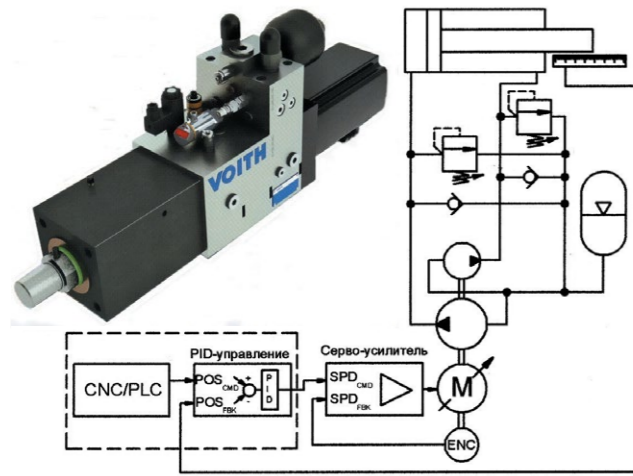


Рис. 3. АП фирмы Voith Turbo с «дифференциальным насосом»

Конечно, создание общепромышленной версии АП не было таким гладким и потребовало решения ряда технических проблем.

Насос в системе частотного регулирования должен нормально работать в 4-квadrантном режиме с возможностью реверса потока при изменении направления вращения приводного вала, выполнять функции гидромотора с разнонаправленным вращением при попутной нагрузке с целью рекуперации энергии торможения приводным сервомотором, иметь возможно больший диапазон частот вращения и повышенное (~ до 3 бар) давление в дренажной линии. Всем этим требованиям наилучшим образом соответствуют шестеренные насосы внутреннего зацепления (минимальная частота вращения $n_{min} = 100...200 \text{ мин}^{-1}$) и нерегулируемые аксиально-поршневые насосы. Новый 4-квadrанный аксиально-поршневой насос с наклонным диском мод. A10FZG фирмы Bosch Rexroth, предназначенный для комплектации АП, способен создавать давление 280 бар при $n_{min} = 40 \text{ мин}^{-1}$.

Оптимальным для использования в АП является гидроцилиндр с двусторонним штоком, имеющий одинаковые

площади рабочих камер, однако такое решение сильно увеличивает осевой габарит узла и затрудняет установку позиционного датчика Balluff. В этой связи обычно используются дифференциальные цилиндры, влекущие за собой две новые проблемы: разности объемов масла в гидрочастях при работе в замкнутом контуре и компенсации объема жидкости, вытесняемого штоком. Оригинальное решение первой проблемы предложено фирмой Voith Turbo в приводе CLDP (рис. 3) путем применения так называемого «дифференциального насоса» [3]. В этом случае на валу сервомотора установлены два рабочих комплекта шестеренных насосов внутреннего зацепления, причем соотношение их рабочих объемов равно соотношению площадей поршня цилиндра, а компенсация объема штока реализуется с помощью аккумулятора, который также выполняет функцию бака. Основные параметры привода: максимальное давление 250 бар, максимальная частота вращения 3000 мин^{-1} , максимальная скорость 132 мм/с, развиваемая сила до 196 кН, мощность 26 кВт, достигаемая точность 10 мкм.

Решение второй из указанных проблем требует увеличения маневрового объема аккумулятора, что крайне нежелательно из-за увеличения общих габаритов и массы АП. В гамме новейших приводов серии SHA фирмы Bosch Rexroth решение обеих проблем обеспечивается за счет применения специального трехкамерного гидроцилиндра (описание см. ниже).

В связи с весьма ограниченными возможностями теплоизлучения в АП обостряется проблема разогрева рабочей жидкости. Ее успешное решение может быть обеспечено только путем всемерного снижения дроссельных потерь мощности за счет рекуперации энергии торможения (в том числе при попутной нагрузке) сервомотором, работающим в режиме генератора, минимизации частоты вращения насоса при удержании нагрузки (или встройки гидрозамков), сокращения потерь давления в каналах АП.

Новые АП серии SHA фирмы Bosch Rexroth (рис. 4) содержат ряд инновационных решений [4]. Как видно из схемы, в едином конструктиве размещены приводной сервомотор IntraDrive, 4-квadrанный аксиально-поршневой насос A10FZG, трехкамерный гидроцилиндр, гидроаппаратура управления, аккумулятор и датчики. Специальная

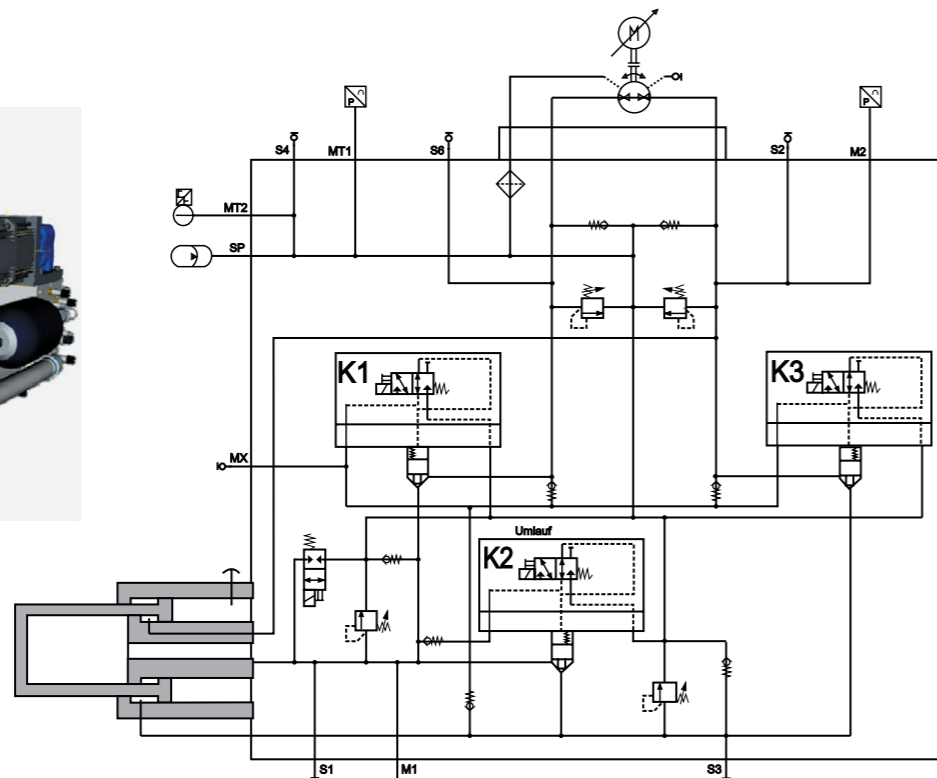


Рис. 4. АП серии SHA фирмы Bosch Rexroth

конструкция гидроцилиндра позволяет в одноштоковом варианте обеспечить равенство площадей рабочих камер, уменьшить осевой габарит (по сравнению с вариантом двустороннего штока) и обеспечить возможность изменения схемы включения с обычной на дифференциальную. Цилиндр имеет основную и две кольцевых рабочих камеры, а также вспомогательную камеру, соединенную с атмосферой, причем площадь рабочей поверхности основной камеры равна сумме площадей поверхностей кольцевых камер (возможны другие соотношения площадей). Таким образом, при соединении основной камеры с напорной линией и обеих кольцевых камер со сливной (или наоборот) цилиндр функционирует аналогично цилиндру с двусторонним штоком. Вместе с тем, в гидросистеме предусмотрена возможность коммутации линий подключения цилиндра с помощью вставных клапанов K1...K3 с электроуправлением, для получения силового и скоростного режимов работы АП, причем клапаны, герметично запирая линии, выполняют также функцию гидрозамков. В силовом режиме при движении в обе стороны открыты клапаны K1 и K3 и обеспечивается максимальное усилие на штоке; при скоростном — при движении влево открыты клапаны K1 и K2, а при движении вправо — дополнительно клапан K3, и шток перемещается с максимальной скоростью (соответственно, с меньшим усилием). При работе привода скорость и направление движения штока определяются направлением и частотой вращения сервомотора (частотное регулирование Sytronix). Модульный принцип построения (рис. 5) открывает широкие возможности создания самых разнообразных монтажных вариантов.

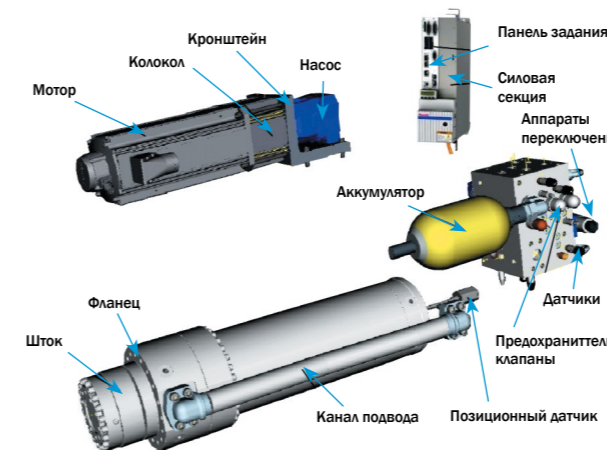


Рис. 5. Модульный принцип построения АП серии SHA фирмы Bosch Rexroth

Важно отметить, что в рамках концепции АП серии SHA фирма Bosch Rexroth предлагает законченное решение не только с точки зрения гидравлической и электромеханической компоновки оси, но и с точки зрения реализации высокодинамичного осевого регулирования с быстрым переходом между различными режимами работы, отсутствием перерегулирования в рабочих режимах и реализацией функций безопасности уровня «е» (EN ISO 13849) SIL3 (IES/EN 61511).

Силовая часть сервопривода является масштабируемой в зависимости от типоразмера гибридной оси и реализуется на базе приводов серий Cs, C семейства IndraDrive в мощностном диапазоне до 75 кВт.

Управление АП серии SHA реализовано на базе функционала встроенного в сервопривод семейства IndraDrive автономного контроллера управления движением IndraMotion MLD со специальным технологическим пакетом Sytronix Position-Force-Control. Данный технологический пакет представляет собой специальное математическое обеспечение сервопривода, реализующее управление по стандартам МЭК 61131-3, и содержащее в себе функцио-

нал для реализации высокодинамичного управления линейной сервоосью гибридной природы.

При этом возможна реализация следующих режимов управления:

- Циклический режим позиционирования с интерполяцией для движения в синхронном режиме управления.
- Встроенная в привод внутренняя интерполяция для отработки внешней команды от системы управления верхнего уровня.
- Блочный режим позиционирования для автономной работы.
- Управление усилием по обратной связи от внешнего датчика усилия/давления или при помощи расчетного усилия по крутящему моменту сервомотора.
- Опциональное активное вибрационное демпфирование.

Обобщенная структура реализации осевого регулирования представлена на рис. 6.

Согласно данной структурной схеме наряду с традицион-

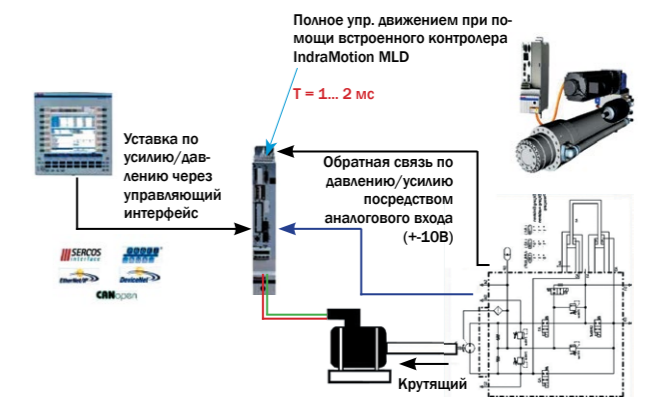


Рис. 6. Обобщенная структура реализации осевого регулирования

СОВЕРШЕНСТВО ОТЛИЧАЕТ НАС

FOR является авангардным в производстве фитингов и сборке гибких труб. Современные технологии, квалифицированный персонал сформированный в компании, внутреннее управление всеми производственными процессами являются инструментами которыми FOR оперирует каждый день для того чтобы всегда предложить Вам максимальное качество.

FOR S.p.a. - Strada Comunale Segadizzo, 2/A - 44028 Poggio Renatico - Ferrara - (Italy)
Tel +39 0532 825211 - www.forfittings.it

На правах рекламы

ной обратной связью по положению от моторного энкодера и осевого линейного датчика положения штока гидроцилиндра, сервопривод в виде аналогового сигнала получает обратную связь по давлению/усилию и реализует полное управление следящей гибридной осью по уставке, поступающей посредством

одного из цифровых управляющих интерфейсов (SERCOS III, ProfiNet, Profibus, EtherNet/IP, EtherCAT, Powerlink или CANopen), причем достигаемое время ПЛК-цикла составляет до 1 мс.

Управление клапанами, мониторинг давления и температуры, а также реализация концепции безопасности

обеспечиваются при помощи встроенных дискретных и аналоговых входов и выходов, предусмотренных на борту секции управления сервоприводом Rexroth IndraDrive. Подробная схема включения приведена на рис. 7.

Такая архитектура гибридной оси вкпе со специальным математиче-

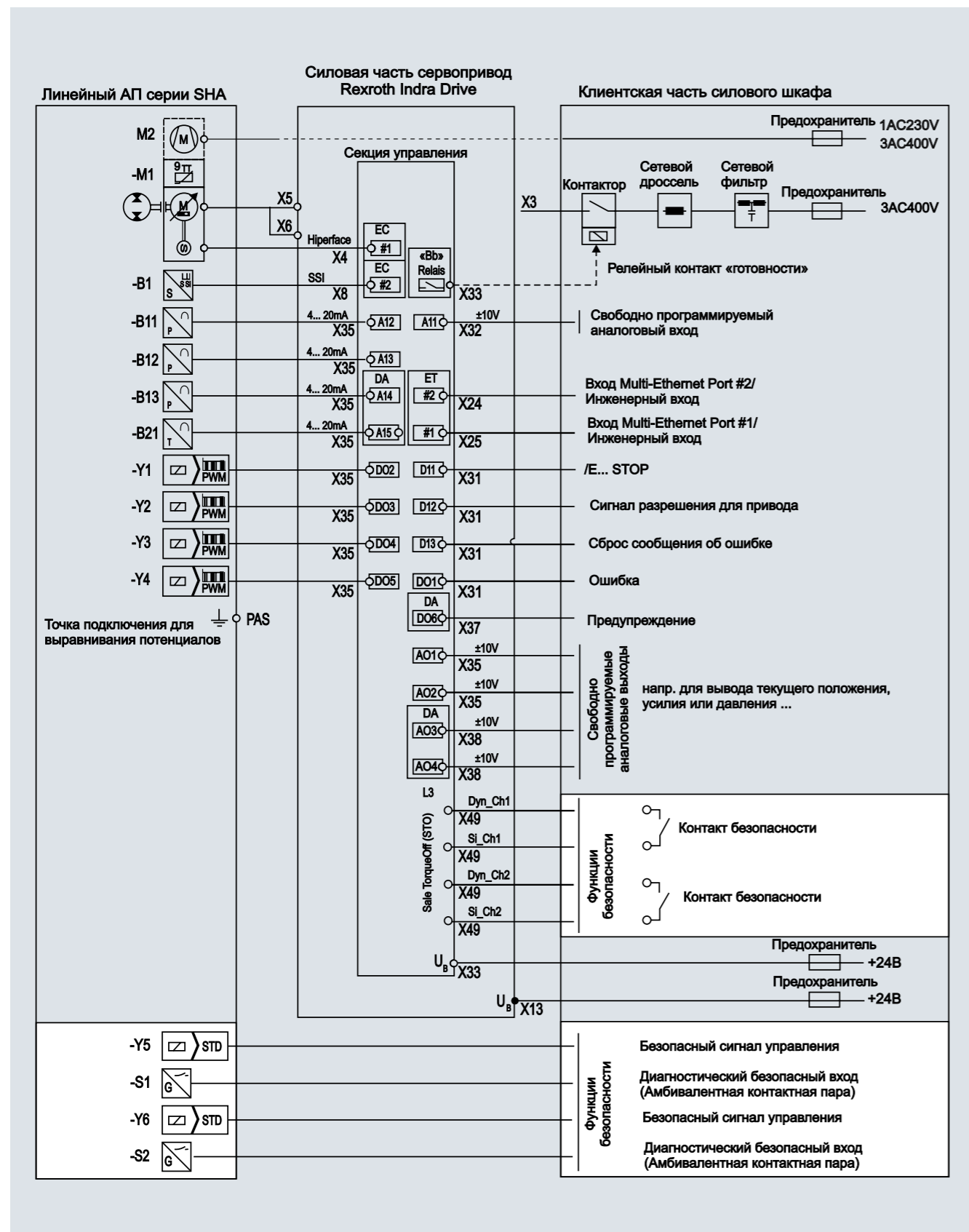


Рис. 7. Схема включения АП серии SHA с приводом Rexroth IndraDrive

ским обеспечением позволяет говорить о достижении высокого уровня автономности, вплоть до возможности самостоятельной работы сервооси по заданной ПЛК-программе, записанной во встроенном контроллере движения в привод IndraMotion MLD. При этом обеспечивается поддержка опционального управления другими ведомыми следящими приводами (до 9 ведомых осей), включая широкий набор возможностей по синхронизации движения, а также периферийными устройствами что, в свою очередь, позволяет реализовать концепцию распределенного управления машиной, увеличить быстродействие системы в целом и снизить нагрузку на ЦПУ системы управления верхнего уровня.

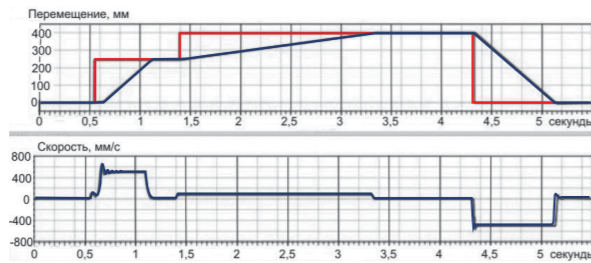


Рис. 8. Типовая осциллограмма переходных процессов

ресная возможность управления приводом непосредственно через экран смартфона или планшетного компьютера под управлением ОС Android и iOS в режиме on-line (рис. 9)

Основные параметры гаммы при-

новки и гидрولينй.

— Надежно исключены наружные утечки; рабочая жидкость заливается изготовителем и не требует замены в течение полного ресурса привода.

— Существенно снижен шум особенно в режиме ожидания под нагрузкой, когда сервомотор вращается с минимальной частотой.

— Обеспечена высокая энергоэффективность за счет использования частотного регулирования и отсутствия дроссельных потерь мощности.

— Гарантируется полная совместимость со стандартными шинами управления электромеханических приводов.

— Возможно точное позиционирование оси, благодаря встроенному позиционному датчику абсолютного измерения.

— Привод практически не нуждается в техобслуживании при эксплуатации, не требуются услуги специалиста-гидравлика.

— Обеспечены легкость замены (принцип Plug&Play) и надежная защита от окружающей среды.

— Полностью соблюдаются современные требования безопасности.

Основными областями применения АП в настоящее время разработчики называют управление газовыми и паровыми турбинами в энергетике, монтажные и рихтовочные прессы, гибочные станки и выдувные машины. Как видим, это весьма специфичные примеры со сравнительно вялотекущими рабочими процесса-

ми, далекими от высочайших динамических возможностей современных гидроприводов и электрических серводвигателей. Вместе с тем, идея объемного регулирования величины и направления потока рабочей жидкости с помощью электрического сервомотора и 4-квadrантного насоса, используемая в АП, очень привлекательна с позиций энергоэффективности. В этой связи возникает резонный вопрос — что ограничивает динамические возможности АП: тепловой режим или работоспособность насоса? И это не праздное любопытство, поскольку, например, в ресурсных испытательных стендах для генерирования гармонических колебаний мы используем гидроприводы на базе классических четырехквadrантных ДГР с колоссальными энергетическими потерями, которые вряд ли допустимы в наше время. В ряде случаев с целью минимизации потерь мощности применяются гидромеханические системы (рис. 10) с плунжерами-вытеснителями, приводимыми через эксцентриковую или кулисную передачу от частотно-регулируемых электродвигателей, и механическим изменением амплитуды колебаний путем перемещения каретки с плунжером в горизонтальном направлении [3]. Нельзя ли заменить

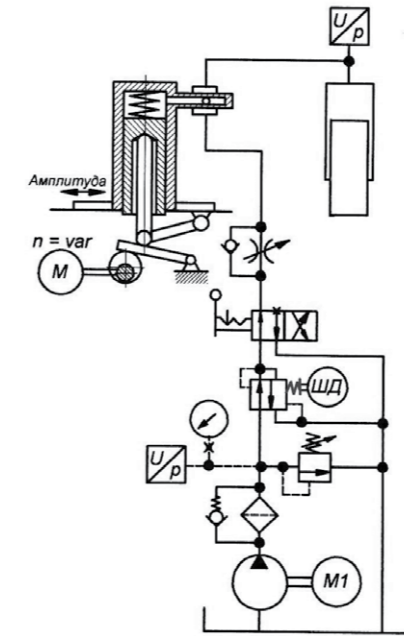


Рис. 10. Объемный метод генерирования колебаний

это сложное и дорогое оборудование хотя бы в ограниченном диапазоне частот на более современную энергосберегающую систему (возможно с маслоохладителем)? Ответ на этот вопрос, наверное, еще впереди...

Если вы хотите посмотреть АП в работе, обратитесь к сайтам.

Список литературы

1. С. А. Ермаков. Автономный электрогидравлический привод с цифровым регулятором // Приводная техника. 1997. № 3. С. 17-19.
2. Jean-Charles Mar. Сравнение электрических и гидравлических приводов в авиакосмической технике // Конструктор. Машиностроитель. 2011. № 3. С. 40-43.
3. Станочные гидроприводы: Справочник / В. К. Свешников. — 6-е изд. перераб. и доп. — СПб.: Политехника, 2015. — 627 с.: ил.
4. www. Autarke Achsen von Bosch Rexroth.
5. Open Core Engineering – современный инструмент автоматизации // Автоматизация в промышленности. №5. 2013.

В.К. Свешников, к.т.н., ЭНИМС, М.В. Сонных, ООО «Бош Рексрот»

В АП радикально устранены все основные недостатки гидроприводов, вызывающие обычно нарекания у потребителей

При этом часть входов и выходов привода остаются свободно программируемыми, что позволяет осуществлять различные пользовательские концепции управления.

Вариативность цифровых управляющих интерфейсов наряду с открытой архитектурой системы управления, наличием интегрированных в систему сенсорных подсистем и функций безопасности позволяет реализовать различные концепции построения архитектуры машины, а также говорить о полном соответствии нового поколения АП серии SHA концепции ИНДУСТРИЯ 4.0.

Типовая осциллограмма переходных процессов в АП показана на рис. 8.

Благодаря набору инструментов Open Core Engineering [5] для приводов Rexroth предусмотрена инте-

приводов SHA приведены в табл. 1.

Интересно отметить, что в АП радикально устранены все основные недостатки гидроприводов, вызывающие



Рис. 9. Управление от смартфона

обычно нарекания у потребителей:

— узел полностью автономен, не требует подключения насосной уста-

Таблица 1

Типоразмер	SHA010		SHA014		SHA020		SHA028		SHA056		SHA080		SHA120		SHA175	
Соотношение i площадей цилиндра	2,5	5	2,5	5	2,5	5	2,5	5	2,5	8	2,5	10	2,5	12	2,5	12
Рабочий объем насоса V _р , см ³	10	16	18	23	28	37	63	58	63							
Усилие, кН *	104 (34)	109 (10)	143 (43)	143 (11)	202 (61)	202 (24)	297 (96)	297 (29)	576 (197)	576 (98)	816 (267)	816 (40)	1195 (410)	1195 (43)	1773 (556)	1773 (48)
Максимальная скорость, мм/с *	127 (305)	191 (1007)	146 (385)	165 (984)	149 (396)	182 (911)	164 (423)	164 (985)	144 (370)	133 (1096)	102 (271)	102 (997)	70 (180)	70 (820)	47 (133)	47 (671)
Максимальный ход, мм	1800								1100							

* В скобках — в скоростном режиме