Записки Ленинградского горного института.
Т. 128. СПб, 1991

УДК 621.3.078:621.313.335:622.242

А.П.ЕМЕЛЬЯНОВ, З.Б.СЛЕПЦОВА,
Н.В.НЕФЕДОВА, С.С.АГАМИРЗОВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ СТАНКОВ ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНОГО БУРЕНИЯ

Развитие теории и практики регулируемых электроприводов переменного тока на базе вентильных преобразователей частоты способствует в последние годы широкому внедрению таких приводов в различных отраслях промышленности. Применение регулируемого асинхронного электропривода по системе ПЧ-АД для станков геолого-разведочного бурения является прогрессивным направлением развития бурового электропривода. Работы в этом направлении во всех технически развитых странах находятся на стадии исследований, экспериментов и создания опытно-промышленных образцов [3].

На основании анализа условий эксплуатации и технологии процесса бурения были разработаны следующие технические требования к асинхронному электроприводу станка для геолого-разведочного бурения: параметры питающей сети 380 В (+10÷ -15 %), 50 Гц±2 %; диапазон регулирования скорости (регулирование плавное) I:I0; число механических ступеней не более двух; точность поддержания скорости во всех статических режимах при номинальном моменте сопротивления на высоких скоростях (выше $0{,}25\omega_{ном}$) 5-I0 %, на низких скоростях I5-20 %; перегрузочная способность (кратковременно) на всех уровнях скорости не менее $2{,}5\text{-}3M_{н}$; регулируемые длительность пуска и торможения 2-I0 с; ПВ двигателя при бурении I00 %; ПВ двигателя при спуско-подъемных операциях не более 40 %; длительность одного цикла 40-90 с.

На кафедре электрических машин и автоматизированного привода ЛПИ разработан электропривод бурового станка, удовлетворяющий этим требованиям [I].

Схема (рис.I,а) содержит асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором M, преобразователь частоты UZ и блок вычислителей и регуляторов БВР, назначение которого - придать системе ПЧ-АД те дополнительные качества, которые необходимы для привода станка и отсутствуют в серийно выпускаемых комплектных приводах. Основное отличие заключается в организации такого управления напряжением статора АД, которое обеспечивает достаточно точное регулирование потокосцепления машины, благодаря чему появляется возможность управления перегрузочной способностью и плавного изменения скорости асинхронного двигателя при хороших экономических и динамических характеристиках, т.е. при достаточно высоком КПД, быстродействии и диапазоне регулирования.

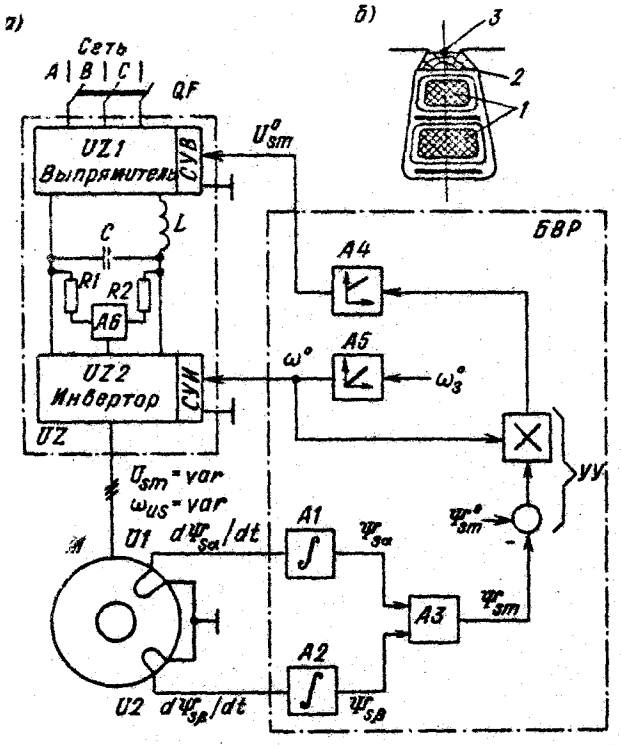


Рис.1. Структурная схема асинхронного привода (а) и расположение датчика ЭДС (б)
1 – обмотка статора: 2 – пазовый клин: 3 – измерительный проводник

Преобразователь частоты UZ представляет собой тиристорный преобразователь частоты с промежуточным звеном постоянного тока, получающий питание от сети 50 Гц, 380 В и имеющий раздельное управление по каналам частоты и напряжения. Основными элементами силовой схемы такого преобразователя являются управляемый выпрямитель $UZ1$ с системой управления СУВ, силовой фильтр L, C и автономный инвертор напряжения $UZ2$ с системой управления СУИ, который преобразует постоянное напряжение в переменное регулируемой частоты. Разделение каналов управления напряжением (управление выпрямителем) и частотой (управление инвертором) позволяет упростить систему управления приводом в целом по сравнению с серийно выпускаемыми и повысить ее надежность. Предлагаемый привод может базироваться на серийно выпускаемом преобразователе частоты, используемом в комплектном электроприводе типа ЭКТ2, после разделения каналов управления выпрямителем и инвертором, что представляет собой несложную монтажную операцию. Возможно использование преобразователя частоты другого типа и другой структуры, например, на запираемых тиристорах [3].

Для того, чтобы получить сигналы, позволяющие извлечь информацию о потокосцеплении, серийный асинхронный двигатель должен быть снабжен специальными датчиками ЭДС $U1$ и $U2$. Расположив эти датчики по ортогональным осям статора α, β, можно получить сигналы, пропорциональные производным составляющих вектора потокосцепления статора по этим осям,

$$e_{s\alpha} = -d\phi_{s\alpha}/dt; \quad e_{s\beta} = -d\phi_{s\beta}/dt. \qquad (I)$$

Предполагается эти датчики выполнить в виде двух одиночных измерительных проводников, расположенных на внутренней расточке статора по образующей цилиндра статора (рис.I,б). Проводники могут располагаться на

пазовых клиньях и должны быть сдвинуты друг относительно друга на 90 электрических градусов. При работе на интегратор каждый из таких проводников эквивалентен витку обмотки статора с диаметральным шагом. Устройство конструктивно просто, лишено температурных дрейфов и не боится вибраций.

С помощью блока БВР реализуется принцип управления потокосцеплением статора АД [4]. Система управления стабилизирует модуль потокосцепления статора АД, при этом повышается жесткость его механических характеристик. Как следствие, уменьшаются потери в роторе, что позволяет снимать бо́льшую мощность без перегрева.

Схема работает следующим образом:

По сигналам с датчиков ЭДС $U1$ и $U2$ с помощью интеграторов А1 и А2 определяются составляющие потокосцепления статора по ортогональным осям α, β:

$$\psi_{s\alpha} = \int_0^t (d\psi_{s\alpha}/dt)dt; \quad \psi_{s\beta} = \int_0^t (d\psi_{s\beta}/dt)dt. \qquad (2)$$

С помощью вычислителя модуля А3 вычисляется мгновенное значение модуля потокосцепления статора

$$\psi_{sm} = (\psi_{s\alpha}^2 + \psi_{s\beta}^2)^{1/2}. \qquad (3)$$

Полученное мгновенное значение ψ_{sm} сравнивается с сигналом задания модуля потокосцепления статора ψ_{sm}^0 и выявляется ошибка по модулю потокосцепления статора $(\psi_{sm}^0 - \psi_{sm})$.

На выходе устройства управления УУ вычисляется произведение $\omega^0(\psi_{sm}^0 - \psi_{sm})$, где ω^0 - задание по частоте напряжения UZ.

На выходе регулятора напряжения А4 формируется необходимый сигнал коррекции задания амплитуды напряжения UZ по алгоритму

$$u_{sm}^0 = k(p)\omega^0(\psi_{sm}^0 - \psi_{sm}), \qquad (4)$$

где $k(p)$ - передаточная функция регулятора А4.

Наилучшие результаты получены с ИП-регулятором

$$k(p) = (1 + T_1 p)/T_2 p,$$

где T_1, T_2 - постоянные времени.

Скорость вращения двигателя ω задается автономно по каналу управления частотой ω_{u_s} с помощью задатчика частоты А5, обеспечивающего изменение ω^0 по линейному закону как при пуске, так и при торможении. Изменение времени пуска и торможения осуществляется регулированием уставки задатчика частоты в широких пределах.

Интеграторы А1 и А2 представляют собой аналого-дискретные интеграторы со стабильным нулем [2]. Остальные узлы БВР могут быть выполнены на стандартных элементах, например, на ячейках унифицированной блочной системы регуляторов на интегральных компонентах УБСР-АИ.

Для обеспечения тормозных режимов при стопорении привода и при выполнении спуско-подъемных операций в приводе должно быть предусмотрено тор-

мозное устройство, обычно входящее в комплект серийного преобразователя частоты. В системах ПЧ-АД наиболее широкое распространение получили рекуперативное и инверторное торможение. При реализации рекуперативного торможения с помощью ПЧ с автономным инвертором напряжения необходимо иметь второй управляемый выпрямитель, работающий в режиме инвертора, ведомого сетью. Такое устройство имеется в модификациях комплектного электропривода ЭКТ2Р. Однако применение двойного комплекта управляемого выпрямителя существенно усложняет электропривод и ухудшает его весогабаритные и стоимостные показатели. Поэтому для буровых станков геолого-разведочного бурения, имеющих относительно небольшую мощность, более целесообразно применение инверторного торможения, предусмотренного в модификациях комплектного электропривода ЭКТ2Д. Эти модификации включают в себя один комплект управляемого выпрямителя и тормозное устройство, состоящее, как показано на рис.I,а, из тормозных резисторов $R1$, $R2$ и комплекта тиристорных ключей Аб.

В случае активного момента сопротивления нагрузки, совпадающего с направлением вращения электромагнитного поля статора, асинхронный двигатель начинает работать в генераторном режиме со скоростью выше синхронной и тормозной момент определяется классическим уравнением механической характеристики. Величина тормозного момента в интервале скольжений $s \in (0, s_{кр})$, где $s_{кр}$ - критическое скольжение, линейно зависит от скольжения. С помощью инвертора можно задавать частоту напряжения на статоре ω_{us}, при этом скольжение

$$s = (\omega_{us} - p\omega)/\omega_{us}, \qquad (5)$$

где p - число пар полюсов АД.

Энергию, развиваемую двигателем, работающим в генераторном режиме, поглощают тормозные сопротивления. Емкость фильтра C служит источником реактивной мощности, необходимой для возбуждения асинхронной машины.

Экспериментальные исследования опытно-промышленного образца частотно-регулируемого асинхронного электропривода бурового станка с АД типа 4АМ225 (55 кВт, I470 об /мин) были выполнены в ОНЗИ ВИТРа на испытательном стенде. В качестве ПЧ был использован комплектный электропривод ЭКТ2Д-I60/380-50 с раздельными каналами управления по напряжению и частоте и возможностью управления ПЧ как от блока ББР, так и от штатной платы регулирования. Нагрузка создавалась с помощью нагрузочной машины постоянного тока типа Д-8I2 (70 кВт, возбуждение параллельное, 220 В, 5А), работающей в режиме динамического торможения на силовой резистор 5,6 Ом. Изменение момента нагрузки осуществлялось с помощью регулирования тока в обмотке возбуждения нагрузочной машины от 0 до 5 А. В качестве регулятора возбуждения использовался тиристорный преобразователь напряжения типа ТПЕ-200/200-460.У2.I.

Экспериментальный образец был испытан на стенде как с управлением от блока ББР по алгоритму (4), так и с управлением от штатной системы регулирования ЭКТ2Д по закону $U/f = const$ в следующих режимах:

а) пуск и работа на холостом ходу в диапазоне скоростей вращения $\omega = (0,127-1,05)\omega_c$, где ω_c – синхронная скорость вращения АД при работе от сети 50 Гц, $\omega_c = 157\ c^{-1}$;

б) пуск и работа под нагрузкой в диапазоне скоростей вращения $\omega = (0,127-0,59)\omega_c$ и реактивных моментов нагрузки $M = (0,32-2)M_н$;

в) работа привода при возрастании и снятии нагрузок в указанном диапазоне;

г) инверторное торможение без подключения внешних тормозных резисторов – с рассеиванием энергии на внутренних сопротивлениях ПЧ.

Во всех режимах $\Phi_{sm} = \Phi_{sm\,ном}$.

На рис.2 представлены осциллограммы установившейся работы привода с управлением от блока БВР под нагрузкой $M = 2M_н$ и на холостом ходу. На осциллограммах: $u_{АД}$ – линейное напряжение на статоре АД; $i_{АД}$ – ток фазы статора АД; ω – скорость вращения АД; $i_{НМ}$ – ток нагрузочной машины; M – момент на валу АД; $\omega_{хх}$ – скорость холостого хода.

Исследования показали устойчивую работу привода с управлением от БВР в диапазоне регулирования скоростей вращения 1:8,3. Абсолютная статическая погрешность по скорости вращения при работе от БВР с номинальным моментом нагрузки на всех уровнях примерно одинакова – около $1,5\ c^{-1}$, что составляет на нижней скорости 7,5 %, на скорости $\omega = 0,4\omega_c$ – 2,4 %, а на скорости $\omega = 0,59\omega_c$ – 1,6 %.

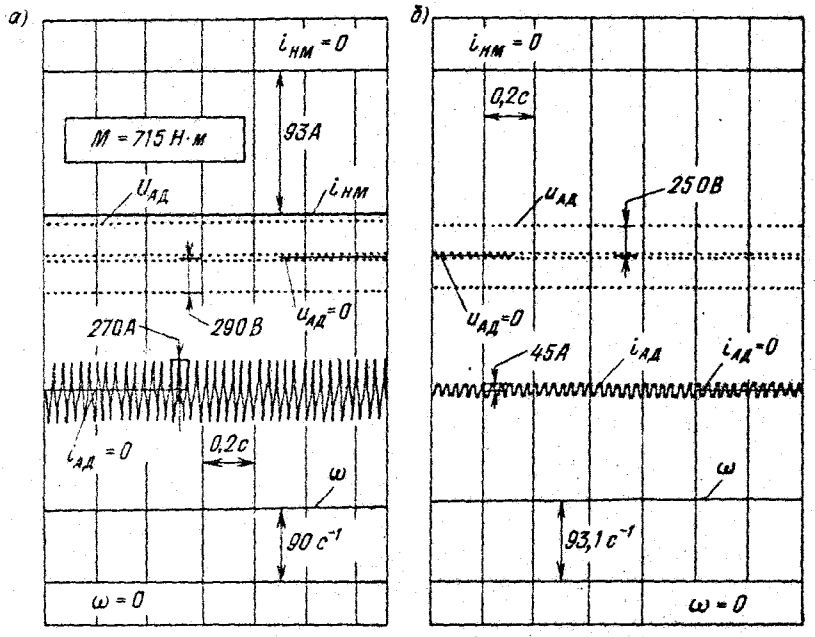


Рис.2. Работа привода с управлением от блока БВР при $\omega_{хх} = 0,59\omega_c$: а – под нагрузкой $M = 2M_н$; б – на холостом ходу

Комплектный электропривод со штатной системой управления сложнее в наладке и менее устойчив. На уровне $\omega = 0,4\omega_c$ абсолютная погрешность по скорости вращения при работе с номинальным моментом нагрузки составила 4,5 $с^{-1}$, т.е. 7,2 % или в три раза больше, чем в предлагаемом варианте.

Промышленные испытания экспериментального образца разработанного электропривода были проведены в Зыряновской ГРЭ ПГО „Востказгеология". Система управления электроприводом в опытно-промышленном исполнении (блок ВВР) была встроена в корпус серийного преобразователя частоты, входящего в состав комплектного электропривода ЭКТ2Д-160/380-50, взамен штатной платы регулирования. Электропривод был установлен на действующую и включенную в план буровую установку, оборудованную станком СКБ-5 с нерегулируемым асинхронным электроприводом на базе двигателя 4АМ180М (30 кВт, 1470 об/мин). Выносной пульт управления, содержащий командоаппарат задания скорости вращения и переключатель реверса, был выполнен в виде отдельного конструктива и установлен вблизи пульта управления гидросистемой.

Привод был опробован при спуско-подъемных операциях (СПО) с ручным тормозом на разных передачах, а также в режимах бурения при работе на вращатель. Испытания показали хорошую управляемость, устойчивость и плавный пуск привода в диапазоне регулирования скорости вращения, регламентированном рабочими частотами ЭКТ2Д, равными 6-50 Гц. При работе на одной передаче диапазон регулирования скорости составил 1:8,3. При задании частоты, меньшей 6 Гц, привод принудительно отключается.

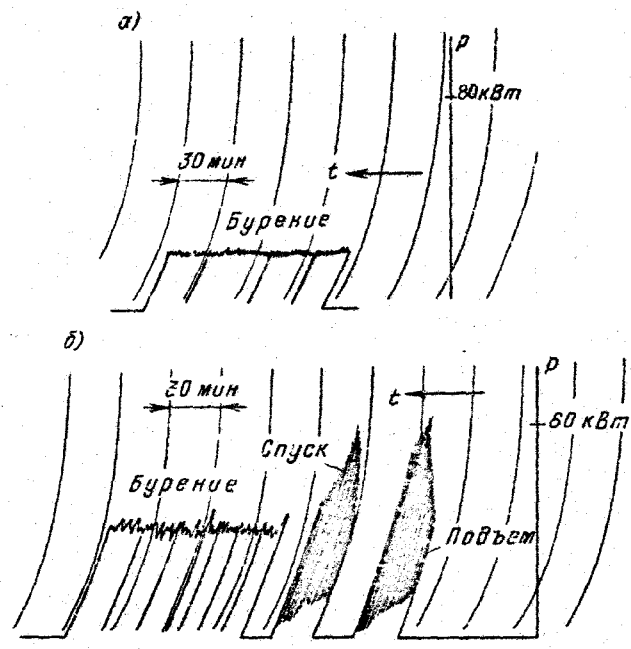


Рис.3. Активная мощность при работе бурового станка:
а - с питанием АД от сети; б - с электроприводом ПЧ-АД

Во время испытаний станок работал две смены, за которые было пробурено 20 м скважины по породам X-XI категории крепости. Скорость вращения и давление на инструмент регулировались вручную. Результаты эксперимента фиксировались самопишущим прибором „Румб 6", установленным на буровой. На рис.3,а показана зависимость активной мощности, потребляемой двигателем электропривода, от времени до модернизации станка, на рис.3,б - при плавном регулировании скорости. Как видно из диаграмм, мощность, снимаемая с двигателя после модернизации, при бурении увеличилась в I,5 раза, а в режимах СПО - в 2,7 раза. В результате уменьшилось время между перехватами буровой колонны. Перегрева двигателя не наблюдалось.

Промышленные испытания разработанного регулируемого асинхронного электропривода станка геолого-разведочного бурения показали его работоспособность в полевых условиях на буровой установке и повышение производительности бурения по сравнению с базовым вариантом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Асинхронный электропривод для станков геолого-разведочного бурения / И.М.Столяров, А.П.Емельянов, З.Б.Слепцова, Н.В.Нефедова // Изв. вузов. Горный журнал. 1990. № 5.

2. А.с. 1154684 СССР. Устройство для интегрирования периодического сигнала / И.М.Столяров, А.П.Емельянов, Г.А.Синельников и др. Бюл. изобр. 1985, № 17.

3. Мощхейн Б.И. Регулируемый электропривод переменного тока для буровых механизмов // Экспресс-информация. Серия „Техника и технология бурения скважин". М., 1988. Вып. 2.

4. Столяров И.М., Слепцова З.Б. Частотное регулирование машин переменного тока для рудничных приводов / Ленинградский горный ин-т. Л., 1983.