ВІСНИК ПРИАЗОВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
2009 р. **Вип. № 19**

УДК 681. 5.08

Зайцев В.С.[1], Харланов О.В.[2]

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ГРУЗОПОДЪЁМНОГО МЕХАНИЗМА КРАНА

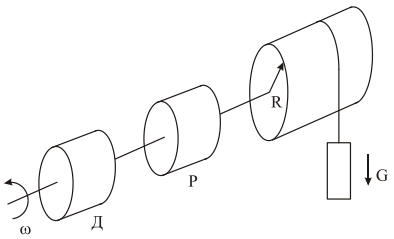
Исследованы зависимости динамических режимов электроприводов грузоподъёмных механизмов от величины поднимаемых грузов и на этой основе предложено для каждого груза устанавливать свой скоростной режим, для чего использовать силовые частотные преобразователи и информацию, получаемую с путевых датчиков и тензодатчиков

Одним из наиболее эффективных способов экономии электроэнергии (ЭЭ) является управление динамическими режимами электроприводов (ЭП). В число наиболее распространённых входят и ЭП грузоподъёмных механизмов, основанные на применении короткозамкнутых асинхронных трёхфазных двигателей (АД). Управлять скоростными режимами асинхронных двигателей возможно только за счёт изменения числа пар полюсов, изменением питающего напряжения статора. Результативное управление скоростными режимами таких двигателей возможно только за счёт одновременного изменения величины и частоты напряжения питающей сети (двигатели с фазным ротором и двигатели с переключением обмоток статора в статье не рассматриваются). Это возможно при оснащении АД преобразователем частоты с автономным инвертором напряжения (АИН) [1].

До сих пор ведутся исследования по внедрению преобразователей частоты на грузоподъемных механизмах. Одновременно с этим ведутся разработки адаптивных систем управления электроприводом грузоподъемного механизма кранов [1, 2].

Целью настоящей статьи является теоретическое обоснование способа управления ЭП подъёмного устройства крана и синтез структурной схемы адаптивной системы управления этим ЭП.

На рис. 1 изображена кинематическая схема электропривода грузоподъемного механизма крана.



Д – двигатель с редуктором;
G – поднимаемый груз;
R – радиус барабана лебёдки;
P – редуктор;
ω – угловая скорость, рад /сек.

Рис. 1 – Схема подъёма грузов

Основное уравнение электропривода в общем случае оно имеет вид [1]

$$J\, d\,\omega/dt = \pm(M_д \pm M_{сум}), \qquad (1)$$

где J – момент инерции всего механизма;

$d\,\omega/dt$ – угловое ускорение;

$M_д$ – вращающий момент двигателя;

$M_{сум}$ – момент сопротивления, определяемый величиной поднимаемого груза, а также моментами сопротивления редуктора и ненагруженного грузоподъёмного механизма (лебёдки).;

T – время, сек.

[1]ПДТУ, д-р техн. наук, проф.
[2]ПДТУ, аспирант

Примем следующее обозначение для углового ускорения:

$$a = d\,\omega/dt\,,\ рад/сек^2.$$

Запишем уравнение (1) для случая подъёма груза:

$$J\,a = M_д - M_{сум}.$$

Отсюда $$a = (M_д - M_{сум}) / J. \qquad (2)$$

В выражении (2) момент инерции $J=J_p+J_{гп}+J_д$ [1], где J_p – момент инерции редуктора, $J_{гп}$ – момент инерции грузоподъёмного механизма с грузом, $J_д$ – момент инерции двигателя.

Перемещение механизма S равно

$$S = at^2 / 2. \qquad (3)$$

На основании выражений (1, 2, 3) можно записать используемые далее выражения для разгона и торможения подъёмного механизма с грузом при равноускоренном движении :

$$t=\sqrt{2S/a}\ ,\ \ \omega = at\,. \qquad (4)$$

При торможении угловое ускорение (замедление) механизма равно $-d\,\omega/dt = -a$.

Для перехода к метрическим единицам используется выражение $\omega=2\pi n$, где

ω – угловая скорость в рад/сек, 2π – число радиан в окружности, n – скорость вращения, об/мин.

В уравнении (1) номинальный вращающий момент двигателя определяется с помощью паспортных данных двигателя из выражения [3]

$$M_{дп} = P_n / \omega_n\ , \qquad (5)$$

где ω_n – номинальная угловая скорость вращения двигателя,

P_n – номинальная активная мощность электродвигателя.

Момент сопротивления нагрузки может быть определен (рис.1) из выражения

$$M_c = GR\,, \qquad (6)$$

где G – в кг, R – в м, M_c – в кгм, или в нм после умножения величины GR на 9.81.

Приведенные выше соотношения позволяют установить зависимости между величиной груза, допустимыми при этом ускорением и замедлением, а также временем работы грузоподъёмного механизма, необходимым для перемещения груза. Для анализа необходимо все моменты движущихся элементов привести к валу двигателя. В этом случае суммарный момент сопротивления на валу двигателя определится из выражения

$$M_{сум} = M_p + (M_г + M_c) / i\,\eta_c\,, \qquad (7)$$

где M_p – момент сопротивления редуктора;

$M_г$ – момент сопротивления грузоподъёмного механизма без груза;

i – передаточное число редуктора;

η_c – коэффициент полезного действия всего грузоподъёмного механизма.

Суммарный момент инерции, приведенный к валу двигателя, запишется в виде выражения

$$J_{сум} = J_д + J_p + J_c / i^2\eta_c\,, \qquad (8)$$

где J_c, пренебрегая моментом инерции лебёдки, равен $J_c = GR^2$.

В зависимости от поднимаемого груза и мощности двигателя допустимое ускорение может быть определено из выражения (2), как

$$a=(M_д - M_{сум}) / J_{сум} = P_n / J_{сум}\,\omega_n - M_{сум} / J_{сум}\,i\,\eta_c\,.$$

Учитывая, что величины M_p, $M_г$, i, η_c, а также J_p и $J_д$ являются известными для конкретных типов оборудования, и учитывая также, что $M_c = GR$, $J_c = GR^2$, можно записать ,пренебрегая величиной $M_г$,

$$a = P_n /(J_д + J_p + GR^2 / i^2\eta_c)\,\omega_n - (M_p + M_г + GR) / (J_д + J_p + GR^2 / i^2\eta_c)\,i\,\eta_c\,. \qquad (9)$$

Уравнение (9) позволяет определить значения параметра a в зависимости от величины поднимаемого груза. При известной величине подъёма груза можно с учётом выражения (3) рассчитать время работы (подъём и опускание груза) всего механизма.

Расчёты были выполнены для асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором типа 4А200М4У3, мощностью 37 кВт, номинальной скоростью 1475 об/мин, кпд η=91 %, cosφ = 0.9.

На рис. 2 показаны график изменения во времени пути, проходимого грузоподъёмным механизмом и графики скорости (пунктир) при подъёме и опускании груза.

При построениях графиков были приняты следующие значения параметров: высота подъёма груза S = 6 м, груз G= (100÷1000) кг, ускорение a = 0.2 рад/сек^2, $i=1200$, общий КПД электропривода η = 0.78. Расчёты и построение графиков выполнены в системе «MATLAB».

По существующим «Правилам устройства и безопасной эксплуатации грузоподъёмных механизмов» [4] все краны должны быть оснащены приборами безопасности. В состав таких

приборов входят датчики усилия и электронные блоки. В зависимости от величины сигнала, получаемого от датчика, электронный блок вырабатывает сигнал, разрешающий или запрещающий работу крана. Величина сигнала, снимаемого с датчика усилия, пропорциональна величине поднимаемого груза.

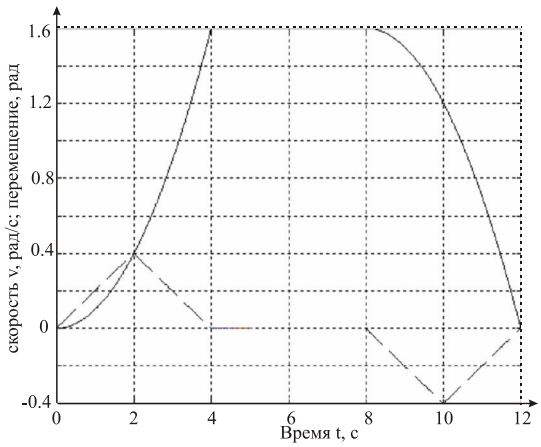


Рис. 2 – Зависимости скорости и пути при подъёме и опускании груза от времени

Тензометрические датчики также входят в состав крановых весов, которыми оснащаются некоторые краны.

Применение частотных преобразователей для питания асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором позволяет управлять динамическими характеристиками этих двигателей.

Кроме того, грузоподъёмное устройство должно быть оборудовано путевым датчиком, выдающим информацию о высоте подъёма груза, скорости и ускорении его перемещения.

Наличие этих устройств позволяет синтезировать адаптивную систему управления ЭП подъёмного устройства крана в зависимости от поднимаемого груза, что позволяет уменьшить потери ЭЭ.

На основе сигнала, пропорционального величине поднимаемого груза, система управления задаёт ЭП динамический режим на основе рассчитанного по выражению (9) ускорения *a,* устанавливая путём изменения выходного напряжения АИН вращающий момент двигателя, соответствующий этому ускорению.

В результате снижаются суммарные потери на нагрев электродвигателя. В рассматриваемом случае снижение потерь ЭЭ достигает величины около 4 %. Дальнейшее исследование данной проблемы позволит внедрить синтезированную адаптивную систему на практике.

Выводы

1. Адаптивная система, состоящая из преобразователя частоты с АИН, тензодатчика, путевых датчиков, позволит осуществлять управление динамическими режимами электроприводов грузоподъёмных механизмов кранов с приводом от асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.
2. При применении адаптивной системы станет возможным реализовывать оптимальные режимы управления электроприводов и получить существенную экономию электроэнергии. Как показало моделирование, для двигателя 4А200М4У3 мощностью 37 кВт снижение потерь электроэнергии достигает 4 %. Можно предположить, что для двигателей большей мощности потери снизятся еще больше.

Перечень ссылок

1. *Чиликин М.Г.* Общий курс электропривода / *М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер.* – М: Энергия, 1981. – 576 с.
2. *Воскобойников В.Э.* Об эффективности использования регулируемого асинхронного электропривода / *В.Э. Воскобойников, Ю.В. Чернихов* // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – № 3. – С.94 – 96.
3. Основы автоматизированного электропривода / *М.Г. Чиликин, М.М. Соколов, В.М. Терехов, А.В. Шинянский*. – М: Энергия, 1974. – 568 с.
4. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных механизмов. НПАОП 0.00 – 1 – 1.03 – 02. – Харьков: Форт, 2007. – 170 с.
5. *Иващенко Н.Н.* Автоматическое регулирование / *Н.Н. Иващенко*. – М.:МАШГИЗ, 1962. – 628 с.
6. *Фельдбаум А.А.* Основы теории оптимальных автоматических систем / *А.А. Фельдбаум.* – М: Наука, 1966. – 623 с.

Рецензент: А.К. Алексеев
канд. техн. наук, доц., ПГТУ

Статья поступила 12.02.2009