

## ЭНЕРГЕТИКА

УДК 681.5.08

Зайцев В.С.<sup>1</sup>, Харланов О.В.<sup>2</sup>

### К ВОПРОСУ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМОВ

*Рассмотрены способы управления скоростью асинхронных двигателей в приводах подъемно-транспортных механизмов. Приведены функциональные возможности и преимущества современного электропривода с питанием от преобразователей частоты на базе IGBT - транзисторных инверторов с широтно-импульсной модуляцией. В пакете Matlab осуществлено сравнительное моделирование прямого неуправляемого пуска и управляемого пуска от амплитудно-частотного преобразователя асинхронного короткозамкнутого двигателя.*

На современных предприятиях одним из главных потребителей электроэнергии является электропривод грузоподъемных механизмов. На предприятиях черной металлургии в большинстве случаев в качестве электропривода грузоподъемных механизмов используются асинхронные двигатели.

Асинхронные двигатели нашли широкое применение в промышленности благодаря простоте конструкции и невысокой стоимости. Но у них есть значительный недостаток – сложность подбора способа регулирования скорости вращения, при котором возможно было бы получить оптимальную кривую разгона.

Существуют следующие способы регулирования скорости вращения электропривода грузоподъемных механизмов: включение сопротивления в обмотки статора, изменения числа пар полюсов, регулирование частоты питающего напряжения. Широкое применение нашел простой, но неэкономичный способ регулировки – изменение напряжения в обмотках статора при помощи кулачкового контроллера.

До сих пор ведутся исследования по внедрению преобразователей частоты на грузоподъемных сооружениях [1 – 3]. В перспективе в черной металлургии увеличится число кранов с частотно-регулируемым электроприводом.

Целью настоящей статьи является рассмотрение возможности применения частотно-управляемых асинхронных двигателей на металлургических кранах.

Наиболее распространенные устройства современной силовой электроники – автономные инверторы напряжения (АИН) с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), которые преобразуют постоянное напряжение в переменное регулируемой частоты и амплитуды. АИН управляется микропроцессорным устройством (МК). Преобразование напряжения из постоянного в переменное осуществляется в мостовом транзисторном инверторе, собранном на транзисторно-диодных модулях. Транзисторно-диодный модуль представляет собой два биполярных транзистора с изолированным затвором (IGBT-транзистора) и быстродействующие обратные диоды в каждой из трёх фаз, включенные встречно-параллельно каждому транзистору. IGBT-транзисторы переключаются многократно в течение периода выходной частоты в соответствии с ШИМ – алгоритмом МК. На выходе преобразователя получаем требуемую синусоиду: требуемой частоты и амплитуды, действующей значений основной гармоники выходного напряжения.

Преобразователь частоты обеспечивает функции частотного пуска и останова двигателя с оптимальным по времени разгоном и торможением. Кроме этого преобразователь частоты обеспечивает следующие функции:

---

<sup>1</sup> ПГТУ, д-р техн. наук, проф.

<sup>2</sup> ПГТУ, аспирант

- самонастройка минимального тока двигателя с обеспечением требуемого момента;
- реверс двигателя;
- обеспечение заданной диаграммы скорости с различным числом ступеней регулирования, и, как результат, обеспечение минимальных потерь электроэнергии;
- бессенсорное и (или) сенсорное векторное управление двигателем (при разомкнутой системе управления);
- индикация параметров, различные виды защит для преобразователя и двигателя и другие функции, упрощающие контроль за работой двигателя.

Преобразователи частоты могут использоваться для регулирования скорости не только кранового оборудования, но и для других различных механизмов: двигателей насосов, дымососов, электроприводов станочного оборудования и т.п. Областью применения частотно-управляемого электропривода является также его применение в механизмах прокатных станков, в частности:

- для привода рольгангов;
- для привода подъемно - качающихся столов;
- для привода манипуляторов;
- для привода пил горячей резки и др.

Применение преобразователей частоты позволяет:

- снизить пусковые токи и устранить негативные последствия от действия таких токов на двигатель и питающую сеть, снизить потери электроэнергии;
- значительно повысить срок службы электрооборудования и других совместно работающих устройств и механизмов за счёт реализации систем регулирования параметров управляемого привода;
- модернизировать действующее оборудование без остановки производства и без замены основного оборудования.

На входе преобразователя установлен неуправляемый выпрямитель и поэтому привод потребляет из питающей сети практически только активную энергию. Реактивная энергия, которая необходима для работы асинхронного двигателя, создается и циркулирует внутри привода между накопительным конденсатором и обмотками двигателя через инвертор. Сетевым счетчиком реактивной энергии она не учитывается.

Основной эффект от применения частотно-управляемого электропривода в системах регулирования – это экономия электроэнергии. Это достигается за счет снижения потерь в двигателе при реализации динамических режимов.

Для получения полной картины возникновения потерь электроэнергии при работе грузоподъемного механизма рассмотрим кратко потери, возникающие при работе электроприводов грузоподъемных механизмов [1 – 3]. Эти потери зависят от состава электроприводов и от режимов пуска и торможения электродвигателей.

В состав потерь мощности в нерегулируемом электроприводе входят потери мощности в двигателе и в механических передачах от двигателя к рабочему органу, т.е.

$$\Delta P = \Delta P_{\text{дв}} + \Delta P_{\text{мех}}. \quad (1)$$

Потери в двигателе условно подразделяют на постоянные ( $\kappa$ ) и переменные ( $\nu$ ) потери, т.е.

$$\Delta P_{\text{дв}} = \kappa + \nu. \quad (2)$$

К постоянным потерям относятся механические потери от трения в подшипниках, вентиляционные потери и потери в обмотках возбуждения. К переменным потерям относят потери мощности, зависящие от тока нагрузки, т.е. потери в меди обмоток двигателя, по которым протекает ток нагрузки.

Для асинхронных двигателей

$$\nu = 3 I_1'^2 R_1 + 3 I_2'^2 R_2' = \nu_n (I_2' / I_{2n}')^2, \quad (3)$$

где  $I_1'$  – ток статора;

$I_2', I_{2n}'$  – токи ротора, приведенные к току статора;

$R_1, R_2'$  – сопротивления обмотки статора и приведенное сопротивление ротора;

индекс “н” относится к номинальному режиму.

При обычном регулировании двигатель потребляет из сети номинальную мощность. Потери, вычисляемые по формулам (1÷3), будут зависеть от тока нагрузки. Пусковой ток асинхронного короткозамкнутого двигателя в 5 – 7 раз больше номинального тока, что вызывает значительные потери электроэнергии.

При частотном регулировании двигателя пусковой ток изменяется по заданным законам, что позволяет управлять скоростными режимами двигателя по оптимальным траекториям.

В случаях, когда применение частотно-управляемого привода экономически нецелесообразно, снизить потери электроэнергии можно за счёт использования компенсирующих устройств для разгрузки подводящих линий от передачи реактивной мощности [4].

Для подавляющего большинства асинхронных двигателей коэффициент мощности равен  $\cos\varphi = 0.8 \div 0.9$  и реактивная мощность

$$Q = P_a \operatorname{tg}\varphi = (0.5 - 0.75) P_a, \quad (4)$$

где  $P_a$  – активная мощность.

При отсутствии нагрузки двигатель потребляет незначительную активную мощность, практически равную постоянным потерям, и значительную реактивную мощность, расходуемую в основном на создание главного поля машин. Коэффициент мощности  $\cos\varphi$  при этом мал. С ростом нагрузки потребление реактивной мощности увеличивается незначительно за счет того, что мощность главного поля несколько снижается из-за уменьшения намагничивающего тока,  $\cos\varphi$  при этом растёт.

Для сравнительного анализа в среде Matlab были созданы виртуальные модели асинхронного привода, мощностью 14 кВА, номинальным напряжением 220 В, при частоте питающей сети 50 Гц. Нагрузка на валу двигателей одинаковая. Производится разгон двигателя до номинальной скорости вращения [5].

На рис. 1 изображена модель асинхронного двигателя, включаемого напрямую в сеть переменного тока, а на рис. 2 показана модель системы асинхронный двигатель – синусоидальная ШИМ с инвертором.

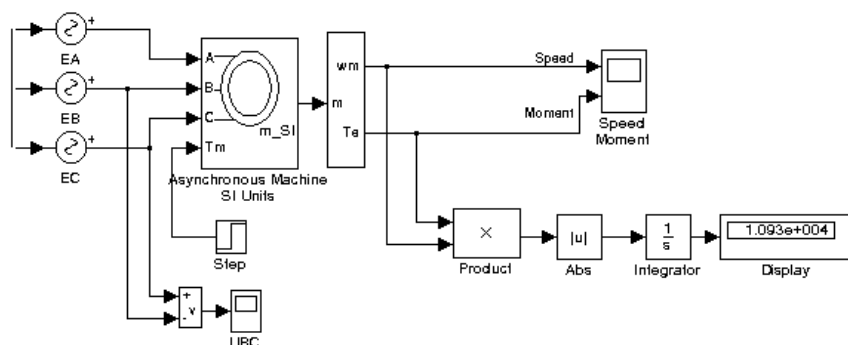


Рис. 1 – Виртуальная модель асинхронного двигателя, пускаемого от сети

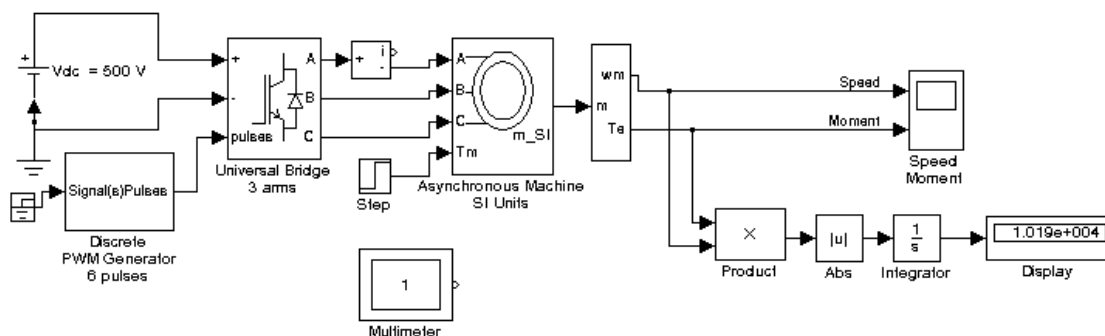


Рис. 2 – Модель системы асинхронный двигатель – синусоидальная ШИМ

Была определена энергия, затрачиваемая на пуск двигателя в единицу модельного времени. При прямом пуске эта величина составила 10930 относительных единиц (параметры модели берутся в относительных единицах), а в системе асинхронный двигатель - синусоидальная ШИМ эта же величина составила 10190 о.е. Следует помнить, что двигатели грузоподъемных механизмов работают в повторно-кратковременном режиме. Частота пуска двигателей кранов колеблется от нескольких включений до нескольких сот включений в час, что сулит существенную экономию электроэнергии.

Произведем несложный расчет. Например, при частоте пуска двигателя 10 включений в час энергия, затрачиваемая на пуск двигателя напрямую от сети в единицу модельного времени, составляет 109300 о.е. При той же частоте включений двигателя в системе «асинхронный двигатель - синусоидальная ШИМ» затрачиваемая энергия составляет 101900 о.е. Экономия электроэнергии – 7400 о.е. Если частота пуска двигателя будет 100 включений в час, то экономии электроэнергии составит 74000 о.е.

Следует отметить, что решение о применении частотно-управляемого привода должно приниматься только на основе технико-экономических расчетов.

### *Выводы*

1. Проведенные расчеты показали, что энергия, затраченная при прямом пуске двигателя, больше, чем при пуске двигателя в системе асинхронный двигатель - синусоидальная ШИМ с инвертором.
2. Рекомендуется оснастить асинхронные двигатели преобразователями частоты в электроприводах, где требуется плавное регулирование скорости вращения, в частности, в электроприводах грузоподъемных механизмов. Такая система управления позволяет снизить потребление электроэнергии не только за счет снижения потребления активной энергии, но и за счет снижения потребления реактивной мощности.
3. На кранах, не оборудованных преобразователями частоты, рекомендуется устанавливать компенсирующие конденсаторы. Кроме того, рекомендуется оснастить краны большой грузоподъемности приборами учета электроэнергии. Это позволит оценить эффективность установки преобразователей частоты и продолжить дальнейшие исследования в этой области.

### *Перечень ссылок*

1. *Чиликин М.Г.* Общий курс электропривода / *М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер.* – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.
2. *Воскобойник В.Э.* Об эффективности использования регулируемого асинхронного электропривода / *В.Э. Воскобойник, Ю.В. Черников* // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2000. - №3. – С. 94 – 96.
3. *Крячко А.П.* Современные методы экономии энергетических ресурсов путем создания систем управления энергохозяйством на базе преобразователей частоты / *А.П. Крячко, П.А. Новицкий* // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 1999. – №6. – С. 92 –94.
4. *Железко Ю.С.* Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии / *Ю.С. Железко.* – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 224с.
5. *Герман-Галкин С.Г.* Компьютерное моделирование полупроводниковых систем / *С.Г. Герман-Галкин.* – СПб.:КОРОНА принт, 2001. – 320 с.

Рецензент: Ю.Л.Саенко  
д-р техн. наук, проф. ПГТУ

Статья поступила 10.01.2007