

УДК 62-83:621.313.333

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ТЕКСТИЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

В. Л. ЧИСТОСЕРДОВ, А. ФАЛЛАХ

(Ивановский государственный энергетический университет)

Проблема улучшения энергетических характеристик текстильного электропривода приобретает в настоящее время большую актуальность.

Использование электроприводов на базе АД с короткозамкнутым ротором для оборудования прядильного и ткацкого производств с механическими способами регулирования скорости вращения и производительности рабочих механизмов приводит к росту потребления электроэнергии, ухудшению структуры энергопотребления и завышению установленной мощности оборудования. Применение в этом случае частотно-регулируемого автоматизированного электропривода позволит сократить энергопотребление и улучшить качественные характеристики технологического процесса.

К числу наиболее простых и эффективных систем регулирования технологических параметров средствами электропривода можно отнести систему преобразователь частоты — асинхронный двигатель (ПЧ—АД) с регулированием частоты и амплитуды напряжения на статоре АД в разомкнутом контуре [1].

Рассматриваемая система электропривода обеспечивает диапазон регулирования 1 : 10, что достаточно для большинства механизмов текстильного производства, максимальные КПД и коэффициент мощности ($\cos \varphi$), минимум тока статора либо сочетание уровней этих параметров, обеспечивающее наименьшие затраты в процессе эксплуатации оборудования.

Для определения закона частотного регулирования с целью энергосбережения используем статическую T-образную схему замещения АД [2], на основании которой выражение для полного тока запишется в виде:

$$I_1 = U_1 \sqrt{\frac{(L_2 + L_\mu)^2 \omega_1^2 S^2 + R_2^2}{[(L_2 + L_\mu) \omega_1 S R_1 + (L_1 + L_\mu) \omega_1 R_2]^2 + [(L_1 L_2 + L_1 L_\mu + L_2 L_\mu) \omega_1^2 S - R_1 R_2]^2}} \quad (1)$$

Здесь L_1 , L_2 — индуктивности рассеяния соответственно обмотки статора и ротора, Гн; L_μ — взаимная индуктивность статора и ротора, приведенная к параметрам обмотки статора, Гн; R_1 , R_2 — активные сопротивления соответственно обмотки статора и ротора, Ом; I_1 , I_2 — токи обмоток соответственно статора и ротора, А; I_μ — ток ветви намагничивания, А; U_1 — напряжение статора, В; ω_1 — угловая частота напряжения статора, рад/с; S — скольжение ротора.

Зависимости коэффициента мощности $\cos \varphi$ и активной мощности P от скольжения

$$\cos \varphi(S) = \frac{(L_\mu + L_2)^2 \omega_1^2 S^2 R_1 + R_1 R_2^2 + L_\mu^2 \omega_1^2 S R_2}{\sqrt{[(L_\mu + L_2)^2 \omega_1^2 S^2 R_1 + R_1 R_2^2 + L_\mu^2 \omega_1^2 S R_2]^2 + \dots}}$$

$$\frac{+[(L_{\mu}+L_2)(L_1L_2+L_1L_{\mu}+L_2L_{\mu})\omega_1^2S^2+]}{+(L_{\mu}+L_1)\omega_1R_2^2]^2}, \quad (2)$$

$$P(S) = 3M_{el} \frac{L_{\mu}^2\omega_1^2SR_2 + (L_{\mu}+L_2)^2\omega_1^2S^2R_1 + R_1R_1^2}{L_{\mu}^2p\omega_1SR_2} \quad (3)$$

где M_{el} — электромагнитный момент, развиваемый двигателем;
 p — число пар полюсов обмотки статора.

Для каждой рабочей точки во всем диапазоне регулирования скорости определим U_1 и ω_1 , обеспечивающие экстремумы I_1 , $\cos \phi$ потребляемой мощности. В результате исследования на экстремальность получим выражения для частоты напряжения статора, при которой обеспечивается минимальное значение оптимизируемого параметра:

а) для тока статора

$$\omega_1 = \frac{R_2}{L_2 + L_{\mu}} + p\Omega_2; \quad (4)$$

б) для потребляемой мощности

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{R_1R_2^2}{R_1(L_2+L_{\mu})^2 + R_2L_{\mu}^2}} + p\Omega_2. \quad (5)$$

где p — число пар полюсов;

Ω_2 — механическая угловая скорость ротора.

Экстремальное значение коэффициента мощности ($\cos \phi$) определяется с помощью расчетов из его зависимости от скольжения (рис. 1).

На основании (4) и (5) для всего диапазона регулирования скорости вычислим статический закон управления асинхронным электроприводом, обеспечивающий минимальные ток статора и потребляемую активную мощность. Для случая постоянства момента во всем частотном диапазоне получим законы регулирования, представленные зависимостью действующего значения напряжения статора от его частоты на рис. 2.

При расчетах использованы параметры асинхронного двигателя серии 4А мощностью 3,2 кВт с обмоткой статора, соединенной в звезду и имеющей 3 пары полюсов: $U_1 = 220$ В (действующее значение), частота напряжения статора $f_1 = 50$ Гц, $L_1 = 0,007$ Гн, $L_2 = 0,01$ Гн, $L_{\mu} = 0,18$ Гн, $R_1 = 2,53$ Ом, $R_2 = 1,88$ Ом. Рассмотренные выше законы управления получены на основе статической схемы замещения асинхронного электропривода, при построении которой принимается допущение о синусоидальности напряжения статора. В реальных же электроприводах с частотным управлением, использующих полупроводниковые силовые вентили, напряжение статора будет иметь иррамоугольную

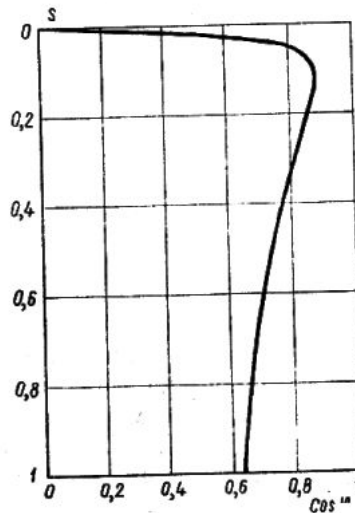


Рис. 1.

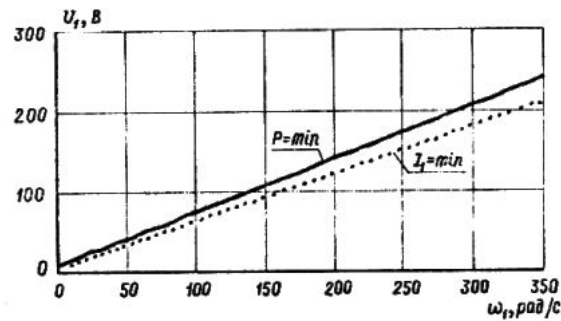


Рис. 2.

форму, синусоидальна лишь его первая гармоническая составляющая. Кроме того, и это особенно важно, энергетические характеристики электропривода по отношению к питающей сети будут в значительной мере определяться входными параметрами силового преобразователя.

В качестве преобразователя частоты в работе рассматривается система (рис. 3), состоящая из трехфазного неуправляемого выпрямителя (НУВ) и транзисторного автономного инвертора напряжения (АИН), поскольку в настоящее время такая схема получает наибольшее распространение в промышленных электроприводах малой и средней мощности.

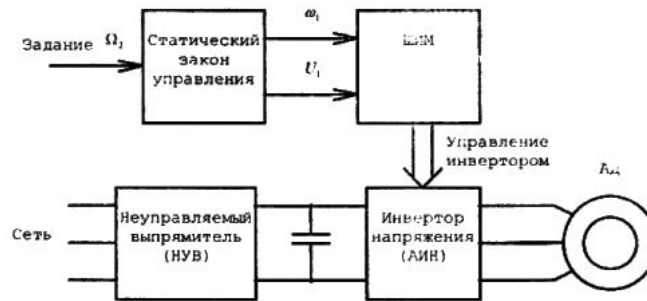


Рис. 3.

Определение влияния процессов обмена энергией, протекающих в силовом преобразователе, на энергетические характеристики двигателя выполнено нами на основе модели системы ПЧ—АД, состоящей из моделей НУВ, АИН и АД.

При построении модели были приняты следующие допущения: силовые вентили представляются в виде идеализированных ключей, имеющих только полностью открытое или полностью закрытое состояние, причем время переключения между этими состояниями равно времени коммутации обычного силового транзистора; полупроводниковые диоды—в виде идеальных элементов односторонней проводимости, мгновенно переходящих из одного состояния в другое; индуктивности выпрямителя и звена постоянного напряжения не учитываются; считается, что сеть имеет только активное сопротивление.

В качестве управляющего сигнала силовых вентилей инвертора рассматривался сигнал широтно-импульсной модуляции (ШИМ), по-

лученный при помощи равнобедренного пилообразного модулирующего сигнала.

Поскольку нас интересовали статические режимы работы электропривода, из модели асинхронного двигателя, использованной в расчетах, было исключено уравнение движения, механическая скорость ротора считалась постоянной. Полученная таким образом квазистатическая модель описывает только электромагнитные динамические процессы привода.

В случае же рассмотрения энергетических характеристик всей системы асинхронного электропривода, а не только двигателя, для их анализа использовались ток и напряжение фазы *A* выпрямителя. Токи и напряжения остальных фаз выпрямителя считались симметричными и получались путем сдвига тока по фазе на углы 120° и -120° .

В результате расчета данной модели получены следующие результаты.

Зависимости активных составляющих тока и мощности, потребляемых статором асинхронного двигателя, от нагрузки на валу, прямо пропорциональны таким же зависимостям активных составляющих тока и мощности любой из фаз питающей сети на входе неуправляемого выпрямителя (НУВ). Следовательно, закон управления, оптимизирующий ток и активную составляющую мощности на входе двигателя, позволяет с достаточной точностью оптимизировать и ток, и активную составляющую мощности, потребляемые электроприводом из сети.

Коэффициент мощности, потребляемой электроприводом, при изменении нагрузки от нуля до критического момента всегда близок к 1 ($0,99 > \cos \varphi > 0,96$). Таким образом, мощность, потребляемая из сети, является почти чисто активной, а ее реактивной составляющей можно пренебречь. Весь обмен реактивной энергией происходит внутри системы ПЧ — АД. Следовательно, $\cos \varphi$ не нуждается в оптимизации.

ВЫВОДЫ

1. Предложены статические законы частотного управления асинхронным электродвигателем, полученные на основании *T*-образной схемы замещения, позволяющие при известном характере нагрузки в статическом режиме минимизировать активные составляющие тока и мощности, потребляемые статорной обмоткой двигателя.

2. Выполненный анализ математической модели системы преобразователя частоты — асинхронный двигатель подтвердил эффективность предложенных законов минимизации активных составляющих тока и мощности, потребляемых статорной обмоткой двигателя, в электроприводах, имеющих в своем составе инвертор напряжения с неуправляемым выпрямителем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глазунов В. Ф., Лебедев С. К., Фаллах А. Энергосберегающие законы управления асинхронным электроприводом общепромышленных механизмов // Тез. научн.-техн. семинара: «75 лет отечественной школы электропривода». 24—26 марта 1997 г. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет, 1997.

2. Динамика управляемого электромеханического привода с асинхронными двигателями/Вейц В. Л., Вербовой П. Ф., Кочура А. Е., Куценко Б. Н. — Киев: Наукова думка, 1988.

Рекомендована кафедрой электропривода и автоматизации промышленных установок. Поступила 17.11.97.