

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССАХ

Матвеев Ю.В.

Ключевые слова: электропривод, энергосбережение, переходные процессы, потери энергии.

Аннотация. Вопросы энергосбережения являются важной составной частью при использовании электроприводов в технологических установках. Рассматриваются режимы работы электроприводов с возникающими в них потерями энергии при переходных процессах, а также способы их снижения.

ENERGY SAVING IN ELECTRIC DRIVES OF LIFTING DEVICES IN TRANSIENTS

Matveev Yu. V.

Keywords: electric drive, energy saving, transients, energy loss.

Abstract. Energy saving issues are an important part of the use of electric drives in technological installations. Modes of operation of electric drives with energy losses arising in them at transients, and also ways of their decrease are considered.

При пуске электродвигателя электропривода, его реверсирования и изменения скорости вращения его вала, а также при его торможении имеют место переходные процессы. Кроме того, такие процессы возникают при изменении напряжении сети, перегрузке и переходе на холостой режим работы. Все это приводит к большим потерям энергии, перегреву и снижению срока службы электродвигателя и, как следствие, электропривода в целом. В связи с этим представляет интерес рассмотреть электромеханические переходные процессы, протекающие в электроприводе, а также определить возможные потери энергии при различных режимах его работы.

Потери энергии за время переходного процесса ($t_{пер}$) определяются как

$$\Delta W = \int_0^{t_{пер}} \Delta P dt = \Delta W_{пост} + \Delta W_{пер},$$

где $\Delta W_{пост}$ и $\Delta W_{пер}$ – потери энергии связанные с постоянными и переменными потерями мощности соответственно.

Постоянные потери мощности для электропривода с асинхронным электродвигателем включают в себя потери: в стали, механические и дополнительные. Для электропривода с двигателем постоянного тока эти потери дополняются потерями мощности на возбуждение. Переменные потери мощности связаны с относительной скоростью работы привода и электромагнитным моментом.

Вследствие того, что при переходном процессе постоянные потери значительно меньше переменных потерь, то в приведенных ниже выражениях постоянными потерями пренебрежем.

Для асинхронного двигателя (АД) переменные потери мощности состоят из потерь в обмотке статора ΔP_1 и потерь в роторе ΔP_2

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2,$$

где $\Delta P_1 = 3I_1^2 R_1$, $\Delta P_2 = 3I_2'^2 R_2'$, причем I_1 – фазный ток статора, I_2' – приведенный ток ротора, а R_1 и R_2' – активное сопротивление фазы обмотки статора и приведенное активное сопротивление фазы обмотки ротора соответственно. Если пренебречь током холостого хода, то следует принять $I_1 \approx I_2'$. Тогда мощность потерь в статоре можно определить как

$$\Delta P_1 = 3I_1^2 R_1 \approx 3I_2'^2 R_1 = \Delta P_2 \frac{R_1}{R_2'},$$

а потери энергии в статоре – $\Delta W_1 = \Delta W_2 \frac{R_1}{R_2'}$, где ΔW_2 – потери энергии в роторе.

В результате мощность потерь в статоре зависит от соотношения сопротивлений R_1 и R_2' . Далее, для определения потерь энергии, определим потери мощности в роторе. С этой целью воспользуемся уравнением движения электропривода при неравномерном вращении вала ротора АД и определим динамический момент [1]

$$M_{\text{дин}} = M - M_c = J \frac{d\omega}{dt},$$

где $M_{\text{дин}}$ – динамический момент, M – вращающий момент, M_c – момент сопротивления рабочего механизма, J – момент инерции, ω – угловая скорость вращения, а $\frac{d\omega}{dt}$ – ускорение при вращательном движении.

С учетом предыдущего выражения найдем потери мощности в роторе составят

$$\Delta P_2 = M\omega_0 s = M_c \omega_0 s + J\omega_0 s \frac{d\omega}{dt},$$

где $s = \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$ – относительное значение скорости, причем ω_0 – угловая скорость идеального холостого хода, а $\Delta\omega$ – перепад угловой скорости, обусловленный моментом сопротивления M_c рабочего механизма.

Тогда потери энергии в роторе составят

$$\Delta W_2 = \int_0^{t_{\text{nep}}} \Delta P_2 dt = \int_0^{t_{\text{nep}}} M_c \omega_0 s dt + \int_0^{t_{\text{nep}}} J\omega_0 s d\omega.$$

При работе без нагрузки момент сопротивления равен нулю. Тогда с учетом того, что $d\omega = -\omega_0 s$ потери энергии в роторе составят

$$\Delta W_2 = - \int_0^{t_{nep}} J\omega_0^2 s ds .$$

Далее изменим пределы интегрирования, приняв обозначение s_1 для момента времени $t=0$, а s_2 – для момента времени t_{nep} . В результате выражение потерь энергии в роторе примет следующий вид

$$\Delta W_2 = J\omega_0^2 \int_{s_2}^{s_1} J\omega_0^2 s ds = \frac{J\omega_0^2}{2} (s_1^2 - s_2^2) .$$

При работе электропривода под нагрузкой появляются дополнительные потери. Для упрощения рассмотрения появления таких потерь примем момент сопротивления $M_c = const$. Такую моментную характеристику имеют грузоподъемные устройства, рабочие механизмы подач станков, поршневые насосы с фиксированной высотой подачи и т.д.

$$\Delta W_2 = M_c (\omega_0 t_{nep} - \int_0^{t_{nep}} \omega dt) + \frac{J\omega_0^2}{2} (s_1^2 - s_2^2) .$$

Из последнего выражения видно влияние на потери энергии времени переходного процесса.

Сделаем оценку потерь энергии при различных режимах работы привода. С этой целью определим потери энергии для холостого режима работы электропривода при пуске, динамическом торможении, реверсе и противовключении.

При пуске начальная скорость имеет значение $\omega_1 = 0$ и установившаяся скорость – $\omega_2 = \omega_0$, что соответствует $s_1 = 1$ и $s_2 = 0$. Потери в роторе при пуске примут значение $\Delta W_{2пущ.} = \frac{J\omega_0^2}{2}$.

При динамическом торможении $s_1 = 0$, а $s_2 = 1$, что приведет значению потерь энергии $\Delta W_{2дин.торм.} = -\frac{J\omega_0^2}{2}$, проявляющихся в дополнительном нагреве двигателя.

Для режима реверса значения угловых скоростей равны $\omega_1 = \omega_0$, $\omega_2 = -\omega_0$, что будет соответствовать значениям относительных скоростей $s_1 = 2$, а $s_2 = 0$. В таком режиме потери энергии будут равны учетверенному запасу кинетической энергии электропривода $\Delta W_{2рев.} = \frac{4J\omega_0^2}{2}$.

В режиме противовключения $\omega_1 = \omega_0$, а $\omega_2 = 0$, что соответствует $s_1 = 1$, а $s_2 = 0$. При таком режиме потери энергии в роторе примут значение $\Delta W_{2проти.} = \frac{3J\omega_0^2}{2}$. Режим противовключением может быть осуществлен за

счет смены чередования фаз обмотки статора, приводящей к изменению направления вращения магнитного поля. В результате ротор двигателя будет вращаться против направления поля, создавая тормозной момент, приводящий к падению угловой скорости до нуля. Таким образом, наибольшие потери энергии в роторе имеют место в режимах противовключения и реверса.

Окончательно переменные потери энергии в АД при $M_c = 0$ можно определить по выражению

$$\Delta W = \Delta W_2 + \Delta W_2 \frac{R_1}{R_2'} = \frac{J\omega_0^2}{2} (s_1^2 - s_2^2) \left[1 + \frac{R_1}{R_2'} \right].$$

Из последнего выражения можно определить общие меры по снижению потерь энергии в электроприводе.

1) Адаптивное управление скорости идеального холостого хода. С этой целью следует применять многоскоростные электродвигатели со ступенчатым и плавным регулированием скорости вращения.

2) Уменьшение момента инерции электропривода. Для этого при проектировании следует применять специальные малоинерционные электродвигатели и редукторы с адаптивной регулировкой передаточного числа.

3) Управление пуском электродвигателя и уменьшение времени пуска и переходных процессов.

Задачами дальнейших исследований является анализ снижения потерь энергии при работе электропривода под нагрузкой.

Список литературы

1. Браславский И.Я. Асинхронный полупроводниковый электропривод с параметрическим управлением. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 224 с.

References

1. Braslavsky I.Ya. Semiconductor asynchronous electric drive with parametric control. – M.: Energoatomizdat, 1988. – 224 p.

<p>Матвеев Юрий Валентинович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры “Судовое электрооборудование” Севастопольского государственного университета, г.Севастополь, Россия, yuriy-radio@mail.ru</p>	<p>Matveev Yuri Valentinovich – candidate of technical sciences, associate Professor, associate Professor of “Ship electrical equipment” of Sevastopol state University, Sevastopol, Russia, yuriy-radio@mail.ru</p>
--	---

Received 19.12.2019