

УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИМИ РЕЖИМАМИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПОВЫШЕННЫМ ПУСКОВЫМ МОМЕНТОМ

Национальный авиационный университет

Рассмотрены вопросы управления динамическими режимами асинхронных электроприводов при ограничении величины потребляемого при пуске тока. Проанализированы показатели пусковых режимов при использовании серийного двигателя и машины с повышенным пусковым моментом

Введение

Модернизация производства в современных условиях тесным образом связана с повышением его энергетической эффективности. Повышение производительности оборудования и повышение качества выпускаемой продукции должно сопровождаться снижением затрат на его производство.

Одним из наиболее широко распространенных типов электрических двигателей, применяемых в промышленности, являются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Это обусловлено их более высокими надежностными, экономическими и массогабаритными показателями по сравнению с другими типами электрических машин.

Для управления режимами работы асинхронных электроприводов применяются специальные преобразователи.

Анализ исследований и публикаций

В настоящее время наиболее функциональным устройством, обеспечивающим наилучшие энергетические показатели асинхронного электропривода практически во всех режимах является преобразователь частоты. Данные устройства позволяют регулировать скорость вращения электродвигателя в широком диапазоне и, за счет реализации частотного пуска, ограничивать величину пусковых токов при обеспечении достаточной величины пускового момента. В большинстве регулируемых асинхронных электроприводов реализовано именно частотное управление скоростью вращения. Существенным недостатком данных устройств является стоимость преобразователей частоты. Например, для электропривода мощностью 15 кВт при стоимости асинхронного двигателя АИР в районе 4500–5500 грн. [1,2] стоимость простейшего преобразователя частоты больше как минимум втрое.

Значительная часть потребляемой электроэнергии приходится на нерегулируемые электроприводы. Многие из этих устройств работают с частыми пусками и остановками. Такой режим работы негативно влияет как на механический износ оборудования, так и на его энергетические показатели. Пусковые режимы электроприводов сопровождаются значительными пусковыми токами, которые в 6–8 раз превышают номинальный (рис. 1), и невысокими значениями коэффициента мощности и коэффициента полезного действия (КПД).

Отдельно необходимо отметить проблемы с запуском асинхронных электроприводов, питание которых осуществляется от автономных источников питания. Как правило, мощность таких источников сопоставима с мощностью самого электропривода, и, как следствие, автономный источник либо не может обеспечить прямой пуск двигателя, либо это приводит к его перегрузке. Поэтому в подобных ситуациях необходимо применять специальные меры, снижающие величины пускового тока.

Применение преобразователей частоты только для повышения энергетических характеристик пусковых режимов (если нет необходимости регулировать скорость вращения в установившемся режиме работы) является экономически неоправданным.

Для управления динамическими режимами нерегулируемых асинхронных электроприводов разработаны так называемые плавные пускатели или устройства плавного пуска [3]. Типовая принципиальная схема такого электропривода приведена на рис. 2. Основу устройства составляет тиристорный регулятор напряжения. Посредством датчиков тока ДТ1–ДТ3 контролируется величина тока в фазах статора двигателя. При превышении током заданного значения ограничения с помощью тиристорного регулятора снижается величина напряжения, подаваемого на двигатель. Когда ток ста

новится меньше заданного, тиристоры полностью открыты, обеспечивая подачу на двигатель полного напряжения сети. После окончания

разгона электропривода пусковые устройства (в зависимости от модификации) могут осуществлять функции защиты и контроля состояния двигателя.

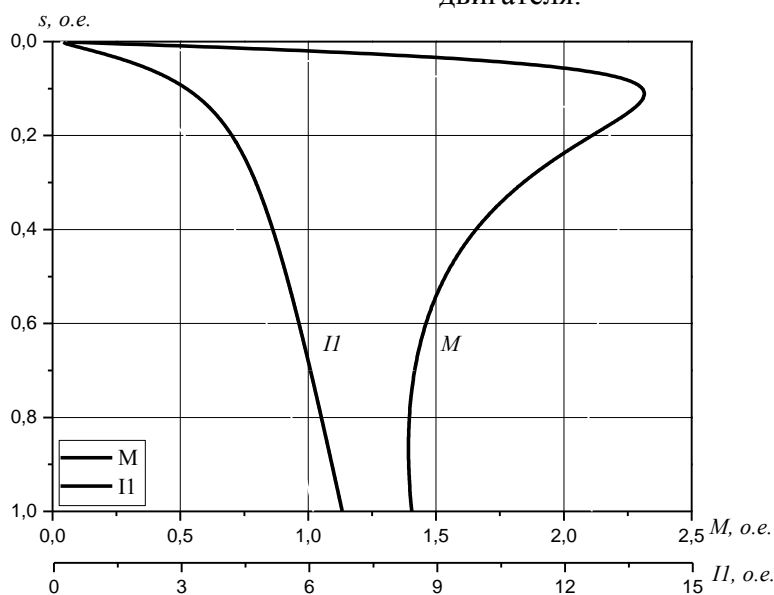


Рис. 1. Механическая и электромеханическая характеристики серийного асинхронного двигателя мощностью 15 кВт

Программный интерфейс и система управления такого пускателя обеспечивают:

- управление пуском;
- управление остановкой (торможением);
- электронную защиту.

Современные устройства плавного пуска имеют микропроцессорную систему управления и позволяют реализовать ряд защит, например, отключение электродвигателя при отклонении питающего напряжения от установленных пределов, обрыве одной, двух или трех фаз на входе устройства, пропадании напряжения питания, несимметрии питающего напряжения свыше 5%, несимметрии токов асинхронного двигателя, механическом затормаживании вала двигателя, перегрузке или недогрузке по мощности после завершения процесса пуска и др., осуществляют индикацию аварийной ситуации с указанием кода неисправности.

Кроме того, применение устройств управления динамическими режимами позволяет осу-

ществить пуск асинхронных двигателей от автономных источников питания близкой мощности.

Стоимость плавного пускателя существенно меньше преобразователя частоты и сопоставима со стоимостью электродвигателя.

Однако такой способ управления пусковыми режимами имеет серьезный недостаток — существенное снижение величины пускового момента. На рис. 3 приведены механические характеристики электропривода на базе серийного двигателя с короткозамкнутым ротором мощностью 15 кВт.

Характеристика $M1$ соответствует ограничению пускового тока на уровне $3I_{ном}$ ($I_{ном}$ — номинальный ток двигателя), $M2$ — $4I_{ном}$, а $M3$ — $5I_{ном}$. Таким образом, при ограничении пускового тока на уровне 5-кратного номинального значения, пусковой момент снижается почти вдвое. Данный недостаток существенно ограничивает возможные области применения таких систем управления пусковыми режимами.

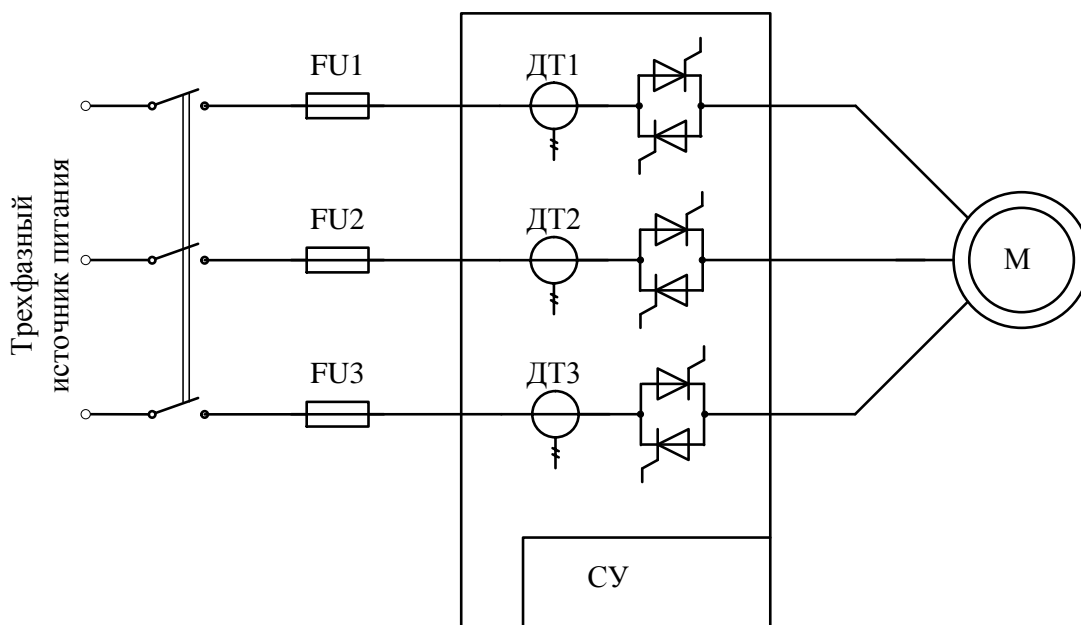


Рис. 2. Схема управления динамическими режимами АД при питании от тиристорного пускателя

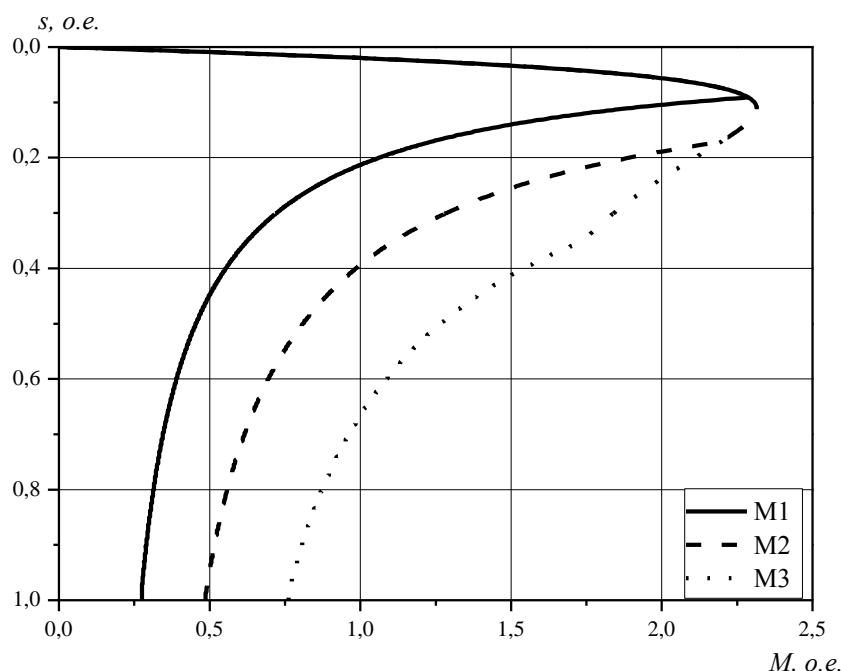


Рис. 3. Механические характеристики электропривода с ограничением пусковых токов.

Например, при использовании данной системы управления пусковыми режимами невозможен запуск электропривода с постоянным моментом нагрузки на валу, равным номинальному.

Постановка задания

Задачей данной статьи является поиск путей создания асинхронного электропривода с системой управления динамическими режимами, который позволил бы наряду с решением задачи ограничения величины токов при пуске, также повысить и энергетические показатели таких устройств.

Система управление динамическими режимами асинхронного электропривода с повышенным пусковым моментом

Для решения поставленной задачи предлагается в тех случаях, когда нерегулируемый по скорости электропривод в процессе пуска должен развивать высокий пусковой момент при ограничении величины пусковых токов использовать асинхронный двигатель специальной конструкции с повышенным пусковым моментом. В качестве примера такого электродвигателя рассмотрим конструкцию с массивными ферромагнитными торцевыми экранами [4]. Механическая и электромеханическая характер

ристики данного двигателя мощностью 15 кВт приведены на рис. 4.

Как видно из графика, данная конструкция двигателя позволяет повысить его пусковой момент практически в полтора раза по сравне

нию с серийным, механическая характеристика которого приведена на рис. 1.

Механические характеристики электропривода с модифицированным двигателем при управлении динамическими режимами аналогично рассмотренному ранее приведены на рис. 5.

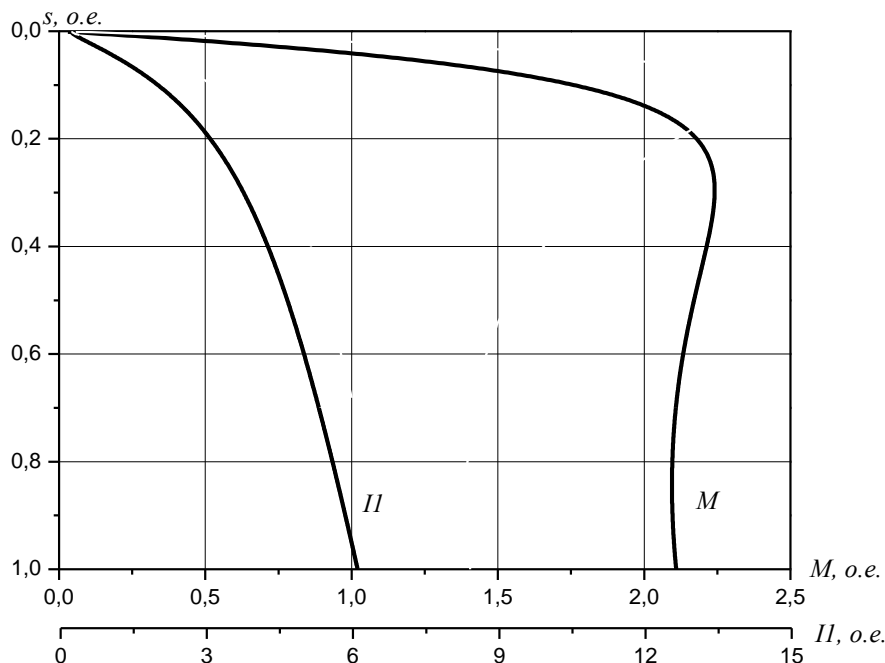


Рис. 4. Механическая и электромеханическая характеристики асинхронного двигателя с повышенным пусковым моментом

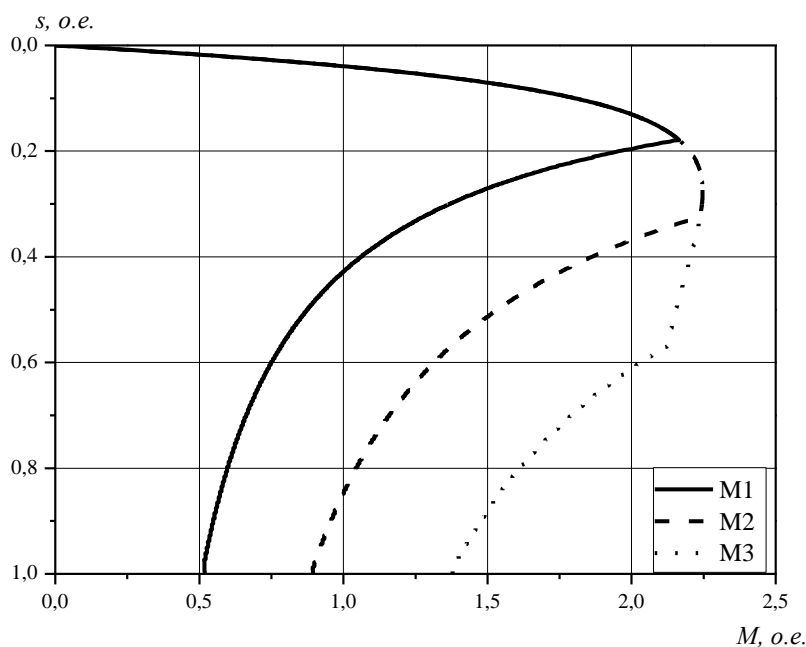


Рис. 5. Механические характеристики электропривода с повышенным пусковым моментом при ограничении пусковых токов

Как и в случае применения серийного двигателя, характеристика M1 соответствует ограничению пускового тока на уровне $3I_{ном}$, M2 – $4I_{ном}$, а M3 – $5I_{ном}$. Анализ характеристик показывает, что при ограничении пускового уровня

на уровне пятикратного номинального значения, электропривод обеспечивает пусковой момент на уровне номинального значения двигателя обычной конструкции той же мощности.

Сравним энергетические показатели пусковых режимов с использованием системы

управления динамическими режимами. Были проведены серии расчетов динамических ре-

жимов по математическим моделям двигателей, которые приведены в [5,6]. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнительная таблица пусковых параметров при различных режимах управления пуском электропривода

Тип двигателя	Серийный двигатель				Модифицированный двигатель		
	прямой пуск	$I_{огр}=3I_n$ ом	$I_{огр}=4I_n$ ом	$I_{огр}=5I_n$ ом	$I_{огр}=3I_n$ ом	$I_{огр}=4I_n$ ом	$I_{огр}=5I_n$ ом
Режим питания	2	3	4	5	6	7	8
t_n , с	1,045	5,0	1,94	1,19	1,8	1,04	0,81
W_n , кДж	44,99	60,88	41,62	37,6	26,83	24,37	23,82
M_{cp} , о.е.	1,458	0,517	0,858	1,265	0,951	1,478	1,874
ΔP_{cp} , кВт	43,05	12,19	21,43	31,64	14,85	23,19	29,36
S_{1cp} , кВ·А	102,2	30,67	52,46	77,19	34,99	54,54	69,19
$\cos\varphi_{cp}$, о.е.	0,506	0,453	0,492	0,503	0,56	0,574	0,577
$P_{cp\text{ дин}}$, кВт	8,7	1,72	4,4	7,16	4,76	8,9	10,56
P_{1cp} , кВт	51,75	13,9	25,83	38,8	19,6	31,4	39,9
η , о.е.	0,16	0,124	0,17	0,185	0,243	0,261	0,265
η/η_0	1,0	0,775	1,063	1,156	1,518	1,631	1,656

В таблице обозначены:

t_n , с – время разгона привода от неподвижного состояния до скорости, соответствующей значению скольжения ротора двигателя 5%;

W_n , кДж – потери энергии в электродвигателе за время пуска $W_n = \sum_{i=1}^k W_i(t) \Delta t_i$;

M_{cp} , о.е. – средняя величина момента двигателя в процессе его пуска, отнесенная к номинальному значению электромагнитного момента;

ΔP_{cp} , кВт – средняя величина мощности потерь, выделяющихся в двигателе за время пуска $\Delta P_{cp} = \sum_{i=1}^k \Delta P_i(t) \Delta t_i / \sum_{i=1}^k \Delta t_i$;

S_{1cp} , кВ·А – среднее значение полной мощности, потребляемой электроприводом из сети в процессе пуска;

$P_{cp\text{ дин}}$ и P_{1cp} , кВт – средние значения динамической ($J_\Sigma \omega_n^2 / 2t_n$) и активной мощности, потребляемой из сети;

$\cos\varphi_{cp}$ – среднее значение коэффициента мощности за время пуска;

η – КПД процесса пуска $\eta = J_\Sigma \omega_n^2 / (J_\Sigma \omega_n^2 + 2W_n)$;

η_0 – КПД процесса прямого пуска серийного АД.

Во втором столбце приведены результаты расчетов для прямого пуска электропривода без управления динамическими режимами. В

3–8 столбцах приведены результаты расчетов с использованием систем управления динамическими режимами для серийного и модифицированного двигателей при указанном уровне ограничения пусковых токов.

Оценивать данные табл. 1 следует с двух точек зрения: во-первых, возможности энергосбережения в пусковых режимах работы асинхронных электроприводов с различными конструктивными особенностями и условиями электропитания, а во-вторых, возможности снижения средней величины мощности, потребляемой от сети при пуске. Первая проблема важна в общегосударственном масштабе и направлена на снижение энергопотребления технологическими объектами и комплексами, а вторая – очень актуальна в случае питания электроприводов от электроэнергетических систем ограниченной мощности.

Как свидетельствуют данные табл. 1 применительно к серийному двигателю, использование токоограничения в статорной цепи двигателя при его пуске приводит к увеличению энергопотребления с одновременным уменьшением потребляемой мощности.

Пуск асинхронного электропривода с серийным двигателем с использованием системы управления динамическими режимами, которая обеспечивает ограничение пускового тока на уровне $3I_{ном}$, $4I_{ном}$ и $5I_{ном}$ по сравнению с показателям прямого пуска электропривода

приводит к уменьшению средней мощности потерь в 3,53, 2,0 и 1,36 раза и средней величины полной мощности, потребляемой из сети, в 3,33, 1,95 и 1,32 раза соответственно. Одновременно потери электроэнергии увеличивается в 1,35 при $I = 3I_{\text{ном}}$ и снижается 1,08 и 1,2 раза при $I = 4I_{\text{ном}}$ и $I = 5I_{\text{ном}}$ соответственно, а КПД процесса пуска снижается в 1,29 и увеличивается в 1,063 и 1,156 раза соответственно.

Пуск асинхронного электропривода с модифицированным АД при тех же условиях (по сравнению с прямым пуском электропривода с серийным двигателем) характеризуется повышением КПД пуска в 1,52, 1,63 и 1,65 раза, уменьшением средней мощности потерь в 2,9, 1,86 и 1,47 раза, средней величины полной мощности, потребляемой из сети, в 2,92, 1,87 и 1,48 раза и потерь электроэнергии в 1,68, 1,85 и 1,89 раза соответственно.

Выводы

Рассмотренная в статье система управления динамическими режимами обеспечивает ограничение величины пусковых токов, а при применении в электроприводе двигателя с повы-

шенным пусковым моментом позволяет существенно повысить и энергетические показатели

Список літератури

1. <http://www.etra.com.ua/filearea/price/>
2. <http://www.ventilator.kiev.ua/production/>
3. Онищенко Г.Б. Электрический привод. – М.: Академия, 2003. – 320 с.
4. Красношарпа Н.Д. Особенности определения параметров динамической модели асинхронного двигателя с ферромагнитными экранами частей короткозамкнутой роторной обмотки / Н.Д. Красношарпа // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України. Електротехніка. – 1999. – С. 98–104.
5. Красношарпа Н.Д. Зменшення похибки розрахунку пускових режимів асинхронних електроприводів за статичними характеристиками // Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. праць. – К.: НАУ, 2011. – № 3 (35). – С. 62–67
6. Математична модель асинхронної машини з підвищеним пусковим моментом / Красношарпа Н.Д., Тихонов В.В., Захарченко В.П. та ін. // Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. праць. – К.: НАУ, 2012. – № 1(37). – С. 73–78