

## Пусковые режимы асинхронных электродвигателей

*Д.Ф. Мартынычев, А.А. Силаев*

*Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета*

**Аннотация:** В статье рассматриваются современные средства автоматизации и управления, описаны достоинства и недостатки различных режимов пуска асинхронных электродвигателей.

**Ключевые слова:** автоматизированный электропривод, асинхронный электродвигатель, пусковой режим, устройство плавного пуска, преобразователь частоты, автоматическое управление.

Большинство электродвигателей, используемых в промышленности – асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. На современных производствах применяются различные типы запуска и управления асинхронными двигателями, выбор режима пуска определяет необходимые средства автоматизации электропривода, что напрямую влияет на функционал и соответственно на конечную стоимость реализации проекта. Определиться с выбором оборудования необходимого для той или иной схемы управления - одна из задач при проектировании систем технологического производства.

Асинхронные электродвигатели широко распространены в различных областях промышленности и сельского хозяйства за счет высокой надежности в работе, неприхотливости и невысокой цены по сравнению с другими электрическими [1] двигателями.

К основным пусковым режимам асинхронных двигателей [2] относятся:

- прямой пуск;
- звезда – треугольник;
- плавный пуск;
- частотное регулирование.

Прямой пуск — это самый распространенный способ включения электродвигателя. Главным достоинством прямого пуска является максимальная дешевизна реализации схемы управления.

В простейших схемах реализации прямого пуска электродвигателей применяется релейно-контакторное управление, предусматривающее наличие магнитных пускателей с тепловым реле. Исполнительным механизмом для включения и отключения нагрузки здесь служит магнитный пускатель, а тепловое реле играет роль защиты двигателя от перегрузок и неполнофазных режимов работ. Недостатком прямого пуска являются высокие пусковые токи, превышающие номинальные в 3-8 раз, что приводит к повышенному износу обмоток и вызывает сокращение срока службы электродвигателя. Высокий начальный пусковой момент сопровождается значительным толчком, что подвергает существенной нагрузке как механизмы самого электропривода, так и узлы технологического оборудования. Также следует отметить, что из-за высоких скачков токов при пуске такой способ применим в основном к двигателям небольшой мощности.

Рассмотрим комбинированную схему подключения, известную, как «звезда – треугольник». Схема пуска «звезда – треугольник» применяется для снижения пусковых токов. Она позволяет производить плавный пуск при схеме звезда, а в процессе работы включается треугольник, обеспечивающий максимальную мощность агрегата. В отличие от прямого пуска, схема подключения «звезда-треугольник» требует использования трех магнитных пускателей, устанавливаемых в соединения обмоток. Для предотвращения замыканий между фазами, подключенными к пускателям, реализуется блокировка, когда включается один магнитный пускатель, у другого происходит размыкание контактов, а с помощью реле времени задается определенный промежуток времени, за который звезда переключается в

---

треугольник. При пуске двигателя [3] по схеме «звезда – треугольник» удается уменьшить пусковой ток в 3 раза по сравнению с прямым включением. Данный способ включения неэффективен для механизмов с небольшим моментом инерции, например, погружных насосов. Дело в том, что из-за малого момента инерции рабочего колеса насоса при отключении звезды двигатель практически сразу останавливается, вследствие чего включение треугольника сопровождается большим броском тока, как и при прямом пуске.

Автоматическое управление схемами прямого пуска и «звезда-треугольник» реализуется установкой программируемых логических контроллеров. В более технологичных схемах широко используются многофункциональные устройства Simocode Pro и TeSys T, включающие в себя функции управления, мониторинга, защиты, диагностики и имеющие возможность подключения к шинам обмена данными. В устройства включено множество predetermined схем реализации пуска и функций управления, которые могут быть адаптированы для любой задачи с помощью свободно конфигурируемых логических модулей. Применение данных устройств значительно уменьшает количество компонентов и необходимых соединений, обеспечивая легкость интеграции в системы автоматизации. Многофункциональные устройства Simocode Pro и TeSys T довольно компактны и дают существенную экономию места при монтаже, тем более, если требуется сборка схем большого числа двигателей.

Устройства Simocode Pro [4] помимо базовых модулей включают в себя различные модули расширения, что дает возможность комплектовать устройство в зависимости от требуемого функционала.

Многофункциональное реле защиты и управления электродвигателем TeSys T [5] состоит из основного блока LTM R, имеющего пять видов исполнения с различными интерфейсами обмена данными, блоков

---

расширения LTM E с дополнительными логическими входами и терминала пользователя, который позволяет осуществлять конфигурирование и локальное управление устройством.

Использование устройств Simocode Pro и TeSys T обеспечивает комплексный мониторинг состояния электродвигателей, позволяя анализировать их режимы работы и оперативно принимать необходимые меры, избегая простоев оборудования.

Недостатки прямого пуска и пуска со схемой «звезда треугольник», такие, как скачки тока, приводящие к падению напряжения и механическому износу оборудования, можно эффективно устранить применением устройств плавного пуска (далее УПП). В отличие от пусковых режимов, рассмотренных ранее, устройство плавного пуска [6] стабилизирует пусковые характеристики, обеспечивая постепенное нарастание мощности и стабильную работу мотора, что позволяет продлить срок службы электродвигателя и технологического оборудования. Снижение пусковых токов также дает возможность уменьшения номинала пускателей и сечения питающих кабелей. Благодаря своим особенностям, устройства плавного пуска применяются в различном производственном оборудовании и технологических установках с тяжелыми условиями пуска. В современных УПП предусмотрены различные интеллектуальные функции, такие, как автопараметрирование, контроль состояния, очистка насоса или динамическое торможение. На рынке представлен широкий ассортимент устройств плавного пуска с различными функциональными возможностями, что позволяет сделать выбор с учетом требований всех сфер производства. Критериями выбора устройств плавного пуска являются номинальный ток и напряжение, диапазон ограничения тока и допустимая мощность электродвигателя. УПП нашли применение там, где нет необходимости

---

регулировать скорость вращения электродвигателя, но важным аспектом является минимизация пусковых перегрузок сети и механизмов.

Более технологичной и совершенной альтернативой устройств плавного пуска являются преобразователи частоты (далее ПЧ), имеющие широкие функциональные возможности. Хотя преобразователи частоты стоят дороже, чем УПП, они хорошо зарекомендовали себя в процессах, где необходимо плавное изменение скорости вращения электропривода. ПЧ изменяют частоту напряжения питания электродвигателя, тем самым регулируя скорость вращения ротора и момент силы [7] на валу двигателя. Использование преобразователей частоты позволяет оптимизировать производство, снизить потребление энергоресурсов, и увеличить срок службы оборудования. Также ПЧ позволяет защитить электродвигатель при коротком замыкании, отклонениях от номинального напряжения сети и контролирует рабочую температуру [8] электродвигателя, не допуская его перегрева.

Применение преобразователей частоты дает возможность использовать различные схемы управления асинхронными электродвигателями. К ним относятся схемы с одним агрегатом, схемы типа «один рабочий, один резервный», схемы с использованием каскадирования. Схемы с использованием управления одним агрегатом являются самыми простыми и распространенными и предусматривают управление одним асинхронным двигателем. В схемах «один рабочий, один резервный» управление рабочим двигателем осуществляется через преобразователь частоты, а резервный запускается при аварии ПЧ и работает на прямую от сети с постоянной частотой. Еще одной распространенной схемой управления является каскадирование. Простейшая реализация данной схемы осуществляется подключением одного двигателя через ПЧ, а другого - напрямую от сети, такая схема используется в блоках воздушного охлаждения, насосном

---

оборудовании и системах вентиляции, где требуется большой интервал регулирования расхода в зависимости от требований технологического процесса.

По способу управления преобразователи частоты разделяются на векторные и скалярные [9], причем векторные являются более дорогими в производстве и обслуживании. Основная задача векторных преобразователей частоты — обеспечение высокого момента при малой скорости вала электропривода. Одним из недостатков векторных преобразователей является невозможность их применения в управлении несколькими двигателями одновременно. Скалярные преобразователи частоты нашли применение в различных производственных и непромышленных сферах. Основным достоинством скалярных преобразователей частоты являются наиболее простая конструкция по сравнению с векторными преобразователями, и, соответственно, меньшая стоимость при более высокой надежности. К недостаткам данных преобразователей частоты относятся малая глубина регулирования и зависимость скорости вала от нагрузки на управляемом механизме.

Современные преобразователи частоты [10] имеют возможность управления в различных режимах:

- Ручное управление. Пуск и остановка осуществляются вручную с панели управления, причем все защитные функции работают в автоматическом режиме.

- Внешнее управление. Полное управление преобразователем частоты посредством различных промышленных интерфейсов от внешнего управляющего устройства.

- Управление по дискретным входам. Управление посредством подачи сигнала на различные дискретные входы, имеющие определенные функции управления, такие, как пуск, остановка, значения скорости и т.п.

---

- Управление событиями. Автономное функционирование преобразователя частоты по заранее запрограммированным оператором действиям.

Модельный и функциональный ряд современных преобразователей частоты предлагает множество вариантов для решения широкого спектра задач - от самых простых до обеспечивающих управление сложнейшими автоматизированными электроприводами. При выборе ПЧ в первую очередь необходимо определиться, для каких целей и задач выбирается оборудование, а также - в каких условиях будет использоваться. Параметры ПЧ подбираются под конкретный электропривод, исходя из его мощности и номинального тока. Преобразователи частоты — это современное решение автоматизированного электропривода для организации самых различных производственных процессов энергетических и промышленных проектов.

Рассмотрев особенности, а также достоинства и недостатки пусковых режимов асинхронных электродвигателей, можно определить, какое оборудование необходимо для реализации конкретной задачи автоматизированного электропривода.

### Литература

1. Алиев И.И. Асинхронные двигатели в трехфазном и однофазном режимах. М.: ИП Радио Софт, 2004. 128 с.
2. Baltabay B.S., Barakova A.S., Zhusipbekova S.E., Omarkulova N.S., Ibadullayeva G.S., Akzholova A.A., Baikadamova L.S., Sugurov S.S., Issayeva G.B. Asynchronous motor - operating principle and device // ISJ Theoretical & Applied Science. 2018. №04 (60). pp. 285-289.
3. Лихачев В.Л. Электродвигатели асинхронные. М.: Солон-Р, 2002. 304 с.
4. SIMOCODE pro: устройства защиты, мониторинга и локальной автоматизации двигателей // Siemens. URL: [new.siemens.com/ua/ru/](http://new.siemens.com/ua/ru/)



products/avtomatizatsiya-promyshlennosti/puskoreguliruyushchaya-apparatura-sirius/sirius-monitor/simocode.html (дата обращения: 28.09.2021).

5. Многофункциональное реле защиты и управления электродвигателем TeSys T // Schneider Electric URL: [se.com/ru/ru/product-range/1508-tesys-t](http://se.com/ru/ru/product-range/1508-tesys-t) (дата обращения: 29.09.2021).

6. Устройство плавного пуска // Danfoss. URL: [drives.ru/stati/ustrojstvo-plavnogo-puska/](http://drives.ru/stati/ustrojstvo-plavnogo-puska/) (дата обращения: 10.10.2021).

7. Rahul Dixit, Bindeshwar Singh, Nupur Mittal. Adjustable speeds drives: Review on different inverter topologies // International Journal of Reviews in Computing. 2012. №9. pp. 54-66.

8. Лимонов Л.Г. Автоматизированный электропривод промышленных механизмов. Харьков: Форт, 2009. 272 с.

9. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 304 с.

10. Новиков Г.В. Частотное управление асинхронными электродвигателями. М.: МГТУ, 2016. 500 с.

### References

1. Aliev I.I. Asinhronnye dvigateli v trehfaznom i odnofaznom rezhimah [Asynchronous motors in three-phase and single-phase modes]. М.: IP Radio Soft, 2004. 128 p.

2. Baltabay B.S., Barakova A.S., Zhusipbekova S.E., Omarkulova N.S., Ibadullayeva G.S., Akzholova A.A., Baikadamova L.S., Sugurov S.S., Issayeva G.B. ISJ Theoretical & Applied Science. 2018. №04 (60). pp. 285-289.

3. Lihachev V.L. Jelektrodvigateli asinhronnye [Asynchronous electric motors]. М.: Solon-R, 2002. 304 p.

4. SIMOCODE pro: ustrojstva zashhity, monitoringa i lokal'noj avtomatizacii dvigatelej [SIMOCODE pro: protection, monitoring and local automation devices for engines]. URL: [new.siemens.com/ua/ru/](http://new.siemens.com/ua/ru/)

---





products/avtomatizatsiya-promyshlennosti/puskoreguliruyushchaya-apparatura-sirius/sirius-monitor/simocode.html (date accessed: 28.09.2021).

5. Mnogofunkcional'noe rele zashhity i upravlenija jelektroprivodom TeSys T [Multifunctional motor protection and control relay TeSys T]. Schneider Electric. URL: [se.com/ru/ru/product-range/1508-tesys-t](http://se.com/ru/ru/product-range/1508-tesys-t) (date accessed: 29.09.2021).

6. Ustrojstvo pлавного пуска [Soft start device]. Danfoss URL: [drives.ru/stati/ustrojstvo-plavnogo-puska/](http://drives.ru/stati/ustrojstvo-plavnogo-puska/) (date accessed: 10.10.2021).

7. Rahul Dixit, Bindeshwar Singh, Nupur Mittal. International Journal of Reviews in Computing. 2012. №9. pp. 54-66.

8. Limonov L.G. Avtomatizirovannyj jelektroprivod promyshlennyh mehanizmov [Automated electric drive of industrial mechanisms]. Har'kov: Fort, 2009. 272 p.

9. Terehov V.M., Osipov O.I. Sistemy upravlenija jelektroprivodov [Electric drive control systems]. M.: Izdatel'skij centr «Akademija», 2006. 304 p.

10. Novikov G.V. Chastotnoe upravlenie asinhronnymi jelektroprivodami [Frequency control of asynchronous electric motors]. M.: MGTU, 2016. 500 p.