

костью/К.А.Адымкулов, Н.А.Бауков, Б.К.Буль и др.// Электротехника. 1979. № 9.

4. Коц Б.Э. Электромагниты постоянного тока с форсировкой. М.: Энергия, 1973.

5. Леоненко Л.И. Полупроводниковые форсирующие схемы. М.: Энергия, 1974.

6. Быстродействующие электромеханические тормоза для высокомоментных электродвигателей/А.А.Соколов, Н.И.Рычкова, И.В.Бочкарев и др.//Электротехника. 1988. № 7.

7. А.с. 1261017 СССР. Электромагнит с форсировкой/А.А.Соколов, И.В.Бочкарев, П.П.Решетников и др.//Открытия. Изобретения. 1986. № 36.

8. А.с. 1282299 СССР. Электропривод/Н.А.Бауков, И.В.Бочкарев, И.В.Брякин, А.А.Соколов//Открытия. Изобретения. 1987. № 1.

9. А.с. 1390755 СССР. Электропривод переменного тока/И.В.Бочкарев, И.В.Брякин, Н.А.Бауков, А.А.Соколов//Открытия. Изобретения. 1988. № 15.

Бочкарев Игорь Викторович — заведующий кафедрой «Электромеханика» Кыргызского технического университета. В 1973 г. закончил энергетический факультет Фрунзенского политехнического института (ФПИ). В 1982 г. защитил кандидатскую диссертацию по теме «Асинхронные малоинерционные электродвигатели с двумя концентрично расположенными роторами» в МЭИ.

Галбаев Жалалидин Токтобаевич — аспирант Ошского технологического университета. В 1986 г. закончил энергетический факультет ФПИ.

## Опыт применения комплексной тиристорной станции ТСУ-2 для управления пуском асинхронных электроприводов турбомеханизмов

ЛУКОВНИКОВ В.И., доктор техн. наук, ЗАХАРЕНКО С.И., канд. техн. наук, РОЖКОВ А.И., инж.

*Гомельский ГТУ им. П.О.Сухого*

*Описано управление пуском асинхронных вентиляторных электроприводов мощностью до 200 кВт с помощью тиристорных преобразователей переменного напряжения типа ТСУ-2. Использование в системе пуска датчика интенсивности с новым программируемым законом изменения сигнала управления СИФУ и введение обратной связи с отсечкой по току статора позволяют ограничить пульсации и автоколебания пускового тока.*

Нерегулируемые электроприводы мотор-вентиляторов тепловозов, горнопроходческих машин скребкового типа, судовых грузоподъемных механизмов, гребных установок, запорной арматуры, сельскохозяйственных и бытовых устройств нередко работают в режиме частых пусков и остановок, достигающих 7000 включений в час. А электропривод раскрутки маховика шахтного гирозова, вентиляторов, насосов и других турбомеханизмов, хотя и имеет небольшое число включений в час, но обладает большим временем пуска, достигающим 8—10 мин [1].

Для таких электроприводов пускотормозные режимы являются определяющими в надежности и долговечности работы, потерях электроэнергии, износе.

Наилучшим по управляемости автоматизированным электроприводом переменного тока является частотный электропривод с инвертором тока или напряжения. Он по сравнению с обычными электроприводами позволяет в пусковых режимах турбомеханизмов экономить до 50% электроэнергии [2].

Однако повышенные требования к надежности электроприводов питательных насосов ТЭЦ и АЭС, перекачивающих насосов нефтепроводов и

компрессорных станций магистральных газопроводов, вентиляторов воздуходувок металлургического производства заставляют отказываться от использования частотных электроприводов только для управления пускотормозными режимами из-за насыщенности элементной базы, сложности схемы и необходимости резервирования блоков преобразователя частоты для повышения надежности их работы.

Тиристорные преобразователи напряжения (ТПН) отличаются от преобразователей частоты меньшей вентилеемкостью, а также меньшими массогабаритными и стоимостными показателями, большей надежностью, что позволяет с успехом использовать их для регулирования частоты вращения [3].

Сказанное, в частности, подтверждается имеющимся положительным опытом применения комплектной тиристорной станции управления ТСУ-2, разработчиком и изготовителем которой являются АО «Электропривод» и ЭПО «Преобразователь», не только для регулирования скорости, но и для управления пускотормозными режимами асинхронных электроприводов.

Основной задачей управления пуском асинхронных электроприводов турбомеханизмов про-

должительностью в несколько минут является снижение пускового тока без существенного увеличения длительности пуска.

Для исследования указанных пусковых режимов нами была разработана математическая модель с программным обеспечением системы «тиристорный преобразователь напряжения — асинхронный электродвигатель», учитывающая дискретность работы ТПН и работающая в реальном масштабе времени. Программа аналогична описанной в [4], но в отличие от последней осуществляет расчет углов управления тиристорами не заранее, а в процессе моделирования.

С ее помощью был произведен численный анализ следующих пусковых режимов асинхронного электропривода вентилятора воздухоудвки нагревательной печи сортопрокатного цеха Белорусского металлургического завода:

- прямой пуск;
- пуск переключением статорных обмоток, соединенных треугольником, на звезду;
- пуск при экспоненциальном законе управления СИФУ ТСУ-2 согласно [5];
- пуск при первоначальном скачкообразном задании напряжения трогания, последующем сбросе его до минимального значения, начиная с которого обеспечивается тоже экспоненциальный закон управления согласно [6].

Электропривод имеет следующие номинальные технические характеристики: напряжение 380 В, ток 200 А, частота вращения 1480 об/мин, момент 1290 Н·м, механическая мощность 200 кВт, КПД 0,94, коэффициент мощности 0,92. Асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором имеет соединение статорных фазных обмоток по схеме треугольник. Его штатный пуск осуществляется переключением соединения обмоток с треугольника на звезду.

Моделировался предписанный технологическим процессом пуск электродвигателя вентилятора при закрытой задвижке воздухоудвки, когда момент трогания составляет 8%, а установившийся вентиляторный нагрузочный момент при номинальной частоте вращения — 34% номинального значения. В дальнейшем задвижка воздухоудвки открывается, и в запущенном до номинальной скорости электродвигателе ток и момент возрастают тоже до номинального значения.

Выяснилось, что скачкообразная подача напряжения в начале пуска приводит к ударным токам, достигающим, например, при прямом пуске, семикратных значений от номинального (1400—1500 А).

Заключительная фаза пуска, осуществляемая при экспоненциальном законе управления, также неудовлетворительная из-за больших значений пускового тока, достигающих пятикратных значений (800—950 А), почти вдвое превышающих текущее значение.

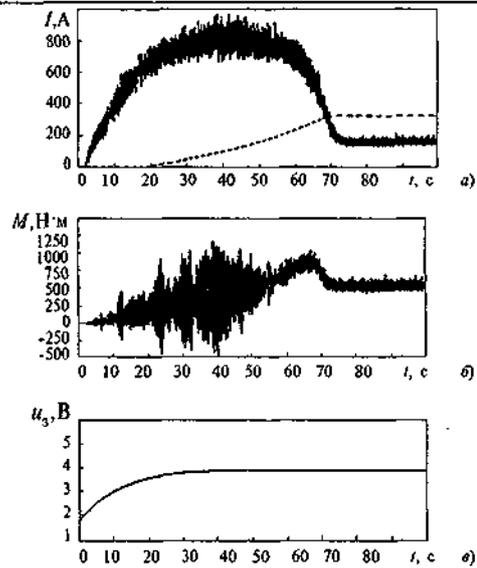


Рис.1. Временные диаграммы частоты вращения, статорного тока (а) и момента (б) асинхронного электропривода вентилятора воздухоудвки при законе управления пуском (в) по [6]

Хорошие результаты дал разработанный нами комбинированный закон управления пуском, в котором осуществляется первоначальное экспоненциальное нарастание напряжения до значения напряжения трогания с постоянной времени, не меньшей, чем 1—2 электромагнитных постоянных времени электродвигателя, последующая выдержка при напряжении трогания, равная 3—6 электромагнитным постоянным времени, и увеличение напряжения по линейному закону до номинального значения в заключительной фазе пуска.

На рис.1 и 2 приведены временные диаграммы тока, частоты вращения и момента для луч-

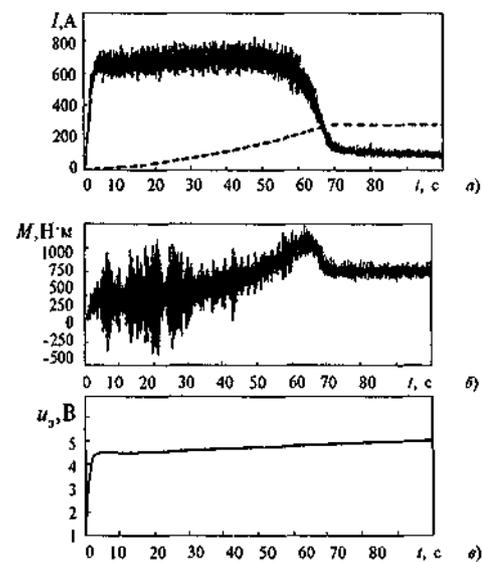


Рис.2. Временные диаграммы частоты вращения, статорного тока (а) и момента (б) асинхронного электропривода вентилятора воздухоудвки при законе управления пуском (в), разработанном авторами

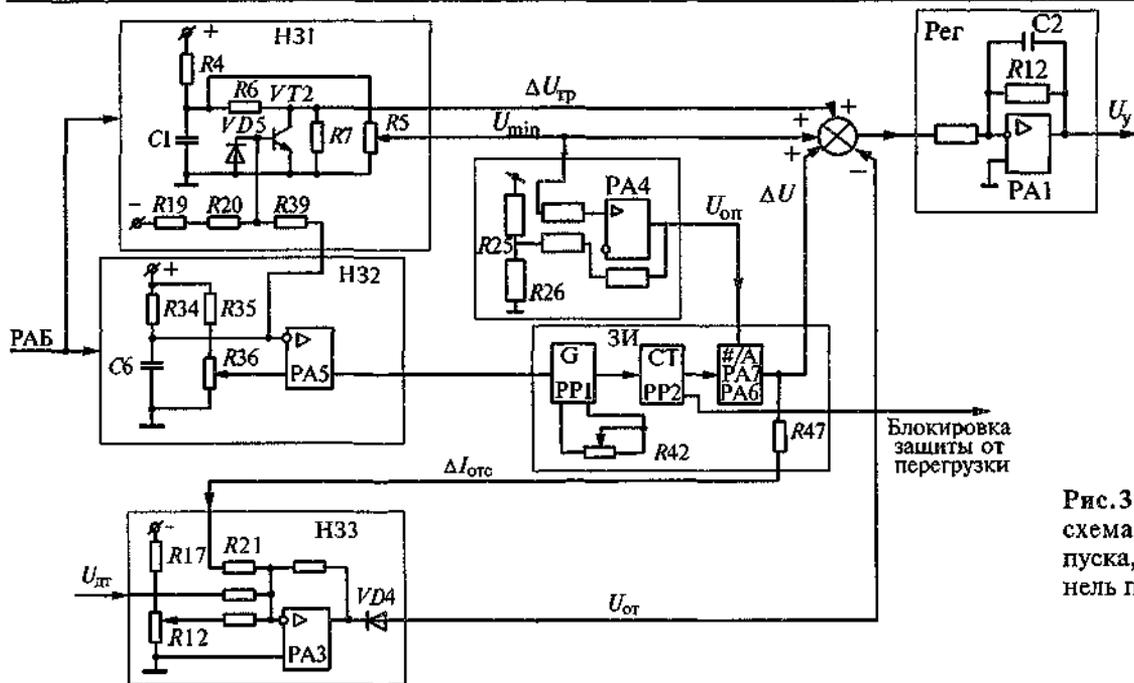


Рис.3. Электрическая схема платы плавного пуска, заменяющей панель пуска в ТСУ-2

шего из исследованных и описанного нами в [6] закона управления пуском асинхронного электропривода вентилятора воздухоудвки, которые убеждают в преимуществе последнего. Действительно, при одинаковой длительности пуска в первом случае пусковой ток достигает 800 А с пульсациями  $\pm 150$  А, а во втором — 700 А с пульсациями  $\pm 100$  А. Кроме того, пульсации момента в первом случае лежат в диапазоне от  $-500$  до  $+1150$  Н·м, а во втором — от  $-300$  до  $+800$  Н·м.

Пуск по предложенному нами способу внедрен на Белорусском металлургическом заводе (г.Жлобин) взамен используемого штатного пуска переключением со звезды на треугольник асинхронного электропривода вентилятора воздухоудвки нагревательной печи сортопрокатного цеха.

Для управляемого пуска используется комплектная тиристорная станция управления ТСУ-2, где панель пуска заменена разработанной нами платой плавного пуска, схема которой представлена на рис.3.

Плата формирует временную диаграмму напряжения управления СИФУ из трех участков: первоначальное нарастание по экспоненте, последующая выдержка на постоянном уровне или снижение до минимального значения по экспоненте, заключительное нарастание по линейному закону до номинального значения.

**Диапазоны регулирования параметров временной диаграммы напряжения управления СИФУ**

|   |         |
|---|---------|
| Напряжение пика, В .....                      | 0—10    |
| Напряжение полки, В .....                     | 0—8     |
| Время нарастания пикового напряжения, с ..... | 0—4     |
| Время уменьшения напряжения трогания, с ..... | 0—4     |
| Длительность полки, с .....                   | 0—6,5   |
| Время пуска, мин .....                        | 0,5—4,5 |

Формирование линейно-нарастающей части диаграммы осуществляется с помощью цифроаналогового задатчика интенсивности, а остальных участков — с помощью RC-цепей.

Время первоначального нарастания сигнала задания определяется постоянной времени R4C1-цепи в звене H31. Напряжение трогания является суммой сигналов  $U_{мин}$ , регулируемых потенциометром R5, и напряжения  $U_{тр}$  с делителя R6R7. Снижение сигнала задания от напряжения трогания до напряжения выдержки выполняется транзистором VT2, который при открывании шунтирует резистор R7. Требуемое время спада и интенсивность снижения сигнала задания обеспечиваются напряжением смещения базы транзистора VT2 через резисторы R19, R20. Время требуемое для затухания электромагнитных переходных процессов, задается в звене H3 2 потенциометром R36. Обеспечение требуемого уровня и фронта сигнала разрешения работы задатчика интенсивности 3И производится компаратором на операционном усилителе PA5.

Цифроаналоговый задатчик интенсивности 3И состоит из задающего генератора, собранного на микросхеме (PP1), счетчике (PP2) и цифроаналоговом преобразователе (PA6, PA7). Время его развертки задается переменным сопротивлением R42, определяющим тактовую частоту генератора.

Для того, чтобы при пуске двигателя не сработала имеющаяся в ТСУ-2 защита преобразователя от перегрузки по току, она на время пуска блокируется сигналом с выхода счетчика (PP2) и разблокируется только по окончании пуска с задатчика интенсивности.

Производственные испытания описанной системы пуска, проведенные на Белорусском ме-

таллургическом заводе и меховой фабрике (г. Жлобин), показали, что в разомкнутой системе пуска в связи с длительным разгоном (до 2—3 мин) на неустойчивой части механической характеристики двигателя и наличием нелинейности в прямом канале возникают автоколебания тока статора с частотой нескольких герц и амплитудой, равной пусковому току.

Для исключения автоколебаний и обеспечения заданного токоограничения при минимальном возможном времени пуска была введена обратная связь по току с отсечкой. Это позволило задать значение пускового тока статора и уменьшить амплитуду автоколебаний до допустимых пределов. Датчик тока статора в ТСУ-2 выполнен в виде трехфазного трансформатора тока, работающего на выпрямитель. В подобной системе измеряется среднее значение тока, поэтому при уменьшении угла отпирания тиристоры рост процентного отношения первой гармоники тока статора не фиксируется. Для компенсации увеличения первой гармоники тока статора в системе пуска предусмотрено суммирование сигнала датчика тока с сигналом задатчика интенсивности (рис.3).

В процессе эксплуатации описанной системы управления пуском вентиляторного электропривода была установлена почти пропорциональная

зависимость между временем пуска и максимальным значением пускового тока. Так, при пусковом токе, в 3 раза превышающем номинальный, время разгона составило 47 с, а при токе в 1,25 раза больше номинального — 90 с. В пределе удастся снизить пусковой ток почти в 5 раз по сравнению с пуском по схеме звезда—треугольник, правда при более чем двухкратном увеличении времени разгона.

#### Список литературы

1. Луковников В.И., Середа В.П. Динамические режимы работы асинхронного электропривода. М.: ВЗПИ, 1990.
2. Лезнов Б.С. Экономия электроэнергии в насосных установках. М.: Энергоатомиздат 1991.
3. Анисимов В.А. и др. Опыт разработки и применения ТПН для управления асинхронными электроприводами//Электротехника. 1993. № 6. С.38—41.
4. Масанджлов Л.Б., Мельник Р.Р. Система программ для расчета и анализа асинхронного электропривода с реверсивным тиристорным преобразователем напряжения//Электротехника. 1998. № 9. С.58—63.
5. Лебедев К.Н., Громак В.В. Теоретическое обоснование параметров устройства плавного пуска погружных электронасосов//Сборник научных трудов ВНИПТИМЭСХ. Зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 1993.
6. А.с. 1108589, кл. Н02Р1/26 от 15.04.84. Способ пуска малоинерционного асинхронного электродвигателя.

## Результаты испытаний и опытной эксплуатации на предприятиях региона КМА энергосберегающих устройств на основе частотно-регулируемого электропривода с транзисторными преобразователями АТ 01 (АТ 02)

ХЕЧУЕВ Ю.Д., канд.техн.наук

### ОАО НИИКМА

*Результаты испытаний и опытной эксплуатации технологических механизмов — насосов, питателей и др. с частотно-регулируемыми приводами на базе преобразователей АТ 01 показывают снижение расхода электроэнергии на 35—40% и более, уменьшение износа и аварийности механизмов и узлов.*

Многие нерегулируемые приводы с асинхронными двигателями, а их доля в мощностях предприятий составляет до 30%, дают потери энергии до 60%. Кроме того, работа оборудования на постоянных высоких режимах приводит к повышенному его износу.

Большая доля электроприводов оборудования — насосов, вентиляторов, компрессоров, питателей и др. — на технологических процессах на значительное время может быть переведена на оптимальные, пониженные режимы работы, что приведет к значительному (до 40—60%) сниже-

нию потребляемой электроэнергии за счет отказа от регулирования дроссельными устройствами — задвижками, шиберами и др.

Перспективным для многих механизмов относительно небольшой мощности является применение частотно-регулируемых электроприводов с транзисторными преобразователями и современными системами управления.

В статье рассматривается практика построения электроприводов на основе транзисторных преобразователей частоты АТ 01 и АТ 02 мощностью от 7,5 до 315 кВт, массой 40—110 кг, разра-