

Разработка системы контроля и обеспечения качества при транспортировке руды

П. В. Реньё

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)*

pvrene@stud.etu.ru

Аннотация. Транспортировка руды на поверхность является ключевым этапом горного производства, влияющим на весь технологический цикл. Для оптимизации и контроля процесса передачи полезного ископаемого из бункера в дозатор предлагается использовать разработанную систему управления, включающую в себя преобразователь частоты для управления двигателем конвейера и преобразователь частоты для управления двигателем питателя, которые связаны по Ethernet. Данная система контроля и управления позволяет снизить нагрузку и увеличить эффективность питателя и конвейера путем применения интеллектуального алгоритма анализа фазных токов преобразователей. Анализ фазных токов асинхронного электродвигателя питателя позволяет предиктивно формировать уставку скорости конвейерной ленты, что позволяет снизить износ и исключить повреждение ленты при попадании негабаритного груза. В исследовании применяются методы математического моделирования и структурного анализа. Результаты моделирования подтвердили эффективность и целесообразность внедрения системы управления и контроля при транспортировке руды.

Ключевые слова: инвертор, высокая частота, постоянный ток/ переменный ток, ШИМ, ПИ регулятор, THD, измерение, конвейер, ленточный конвейер

I. ВВЕДЕНИЕ

Транспортировка руды на поверхность — это очень важная и неотъемлемая составляющая часть горного производства. От качества и скорости транспортировки руды зависит весь технологический цикл: чем быстрее руда попадет на обогатительную фабрику, тем быстрее из нее извлекут концентрат в виде конечного продукта для потребителя. Именно поэтому стоит задуматься об оптимизации и ускорении передачи горной массы из бункера в дозатор.

Технически данный путь состоит из двух неотъемлемых агрегатов: пластинчатого питателя и ленточного конвейера. Первый служит для гашения кинетической энергии при падении груза из бункера и передачи руды на ленту конвейера, второй же служит для непосредственной транспортировки руды на более дальние расстояния. Для оптимизации данного процесса предлагается использовать систему управления, состоящую из двух преобразователей частоты: один для питателя, второй — для конвейера. Данные преобразователи частоты будут надежно связаны посредством Ethernet TCP/IP.

В качестве датчиков приняты датчики токов. Вследствие подачи большей нагрузки на двигатель токи растут: чем больше груз на конвейере, тем больше ток на двигателе. Данная зависимость будет принята для контроля согласования пластинчатого питателя и

ленточного конвейера, которые работают в паре. Технологически руда поступает на питатель, затем — на конвейер. Условие, при котором ток на двигателе питателя приближен или равен нулю, означает, что груз перемещен с питателя на конвейер; следовательно, можно увеличить скорость ленточного конвейера посредством преобразователя частоты для улучшения технологических и скоростных параметров подачи руды на поверхность.

Также повышенное значение токов на двигателе питателя может означать превышение массогабаритных параметров транспортируемого материала, что свидетельствует о негабаритах и может привести к повышенному износу узлов конвейера. Для недопущения преждевременного выхода из строя конвейера будет предусмотрена защита двигателя, настроенная по параметрам тока.

II. СПОСОБЫ ПУСКА ДВИГАТЕЛЯ КОНВЕЙЕРА

В горном производстве надежность и эффективность работы электродвигателей играют ключевую роль. Одним из важных аспектов их эксплуатации является процесс пуска, который на протяжении времени совершенствовался.

На заре автоматизации для запуска электродвигателей использовались релейные схемы. Эти системы, основанные на механических реле и контакторах, обеспечивали базовое управление процессом включения и отключения двигателей. Релейные схемы были достаточно простыми в реализации и доступными по стоимости, что сделало их популярными в различных отраслях. Пример релейной схемы представлен на рис. 1.

Однако у таких систем имелись серьезные недостатки. Резкий старт двигателя приводил к возникновению высоких пусковых токов, что могло вызвать перегрузку электрической сети и даже повреждение самого оборудования. Кроме того, отсутствие плавного разгона создавало дополнительные механические нагрузки на компоненты системы, что сокращало срок их службы.

С развитием технологий возникла необходимость в более совершенных решениях для управления пуском электродвигателей. Так появились устройства плавного пуска (УПП), которые стали настоящим прорывом в этой области. Эти устройства позволяют значительно снизить токи при запуске за счет постепенного увеличения напряжения, что обеспечивает мягкий разгон двигателя. Схема управления двумя асинхронными электродвигателями с устройствами плавного пуска (УПП) представлена на рис. 2.

Преимущества УПП заключаются не только в снижении механических нагрузок, но и в уменьшении риска перегрузки электрической сети. Это особенно важно для промышленных предприятий, где стабильность работы оборудования очень важна.

В современных производственных системах часто возникает необходимость последовательного запуска нескольких двигателей. Например, сначала может быть запущен один двигатель, а затем подключен второй. Устройства плавного пуска идеально подходят для решения этой задачи благодаря своей гибкости и возможности программирования. Ранее был предусмотрен поочередный запуск с выдержкой по времени, как представлено на рис. 1.

С помощью УПП можно задать временные интервалы между запусками двигателей, что позволяет избежать резких скачков нагрузки в сети. Это особенно актуально в условиях ограниченной мощности или при работе с высокомощными агрегатами, где каждая деталь имеет значение.

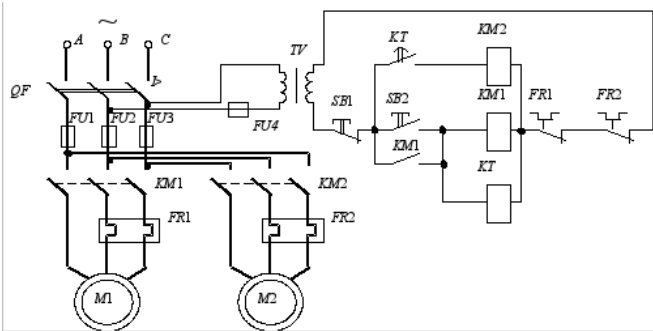


Рис. 1. Схема управления двумя асинхронными электродвигателями с задержкой пуска одного из них по времени

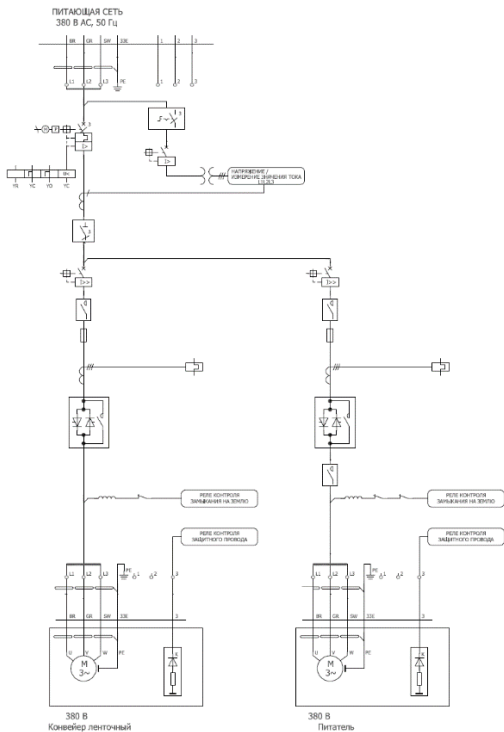


Рис. 2. Схема управления двумя асинхронными электродвигателями с устройствами плавного пуска (УПП)

Частотный пуск электродвигателя, или пуск с использованием частотного преобразователя, в настоящее время становится все более

распространенным решением в различных отраслях. Так как данный способ пуска двигателя имеет ряд преимуществ:

Частотные преобразователи обеспечивают плавное увеличение частоты и напряжения, что позволяет избежать резких скачков тока и механических нагрузок на двигатель и приводное оборудование. Это особенно важно для защиты оборудования и продления его срока службы.

При использовании частотного преобразователя пусковой ток значительно ниже, чем при прямом пуске. Это помогает избежать перегрузки электрической сети и уменьшает риск повреждения оборудования, что особенно актуально в условиях ограниченных ресурсов электроэнергии.

Уменьшение механических нагрузок: плавный пуск и возможность регулировки скорости помогают снизить механические нагрузки на приводное оборудование, что увеличивает срок службы как электродвигателя, так и всего механизма.

Характерными достоинствами применения преобразователя частоты в системе управления являются:

Управление скоростью: частотные преобразователи позволяют точно регулировать скорость вращения электродвигателя, что особенно полезно в системах, где требуется изменение производительности в зависимости от условий работы. Это дает возможность адаптировать работу оборудования под конкретные задачи.

Энергоэффективность: путём регулирования скорости можно оптимизировать потребление энергии, что приводит к снижению эксплуатационных расходов и уменьшению углеродного следа. В условиях растущих цен на энергоносители это становится важным фактором для многих предприятий.

Функции защиты: современные частотные преобразователи часто оснащены встроенными функциями защиты от перегрузок, короткого замыкания и других аварийных ситуаций, что повышает надежность системы и снижает риски простоев.

Удобство управления: частотные преобразователи могут быть интегрированы в автоматизированные системы управления, что позволяет легко управлять процессами и контролировать состояние оборудования в реальном времени. Это упрощает эксплуатацию и повышает эффективность работы. Структурная схема преобразователя частоты представлена на рис. 3.

В данной статье рассмотрен способ управления двигателем с помощью преобразователя частоты.

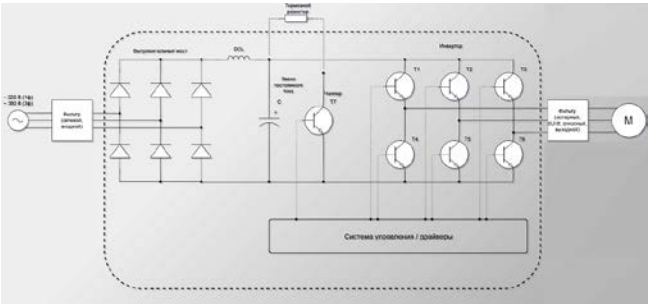


Рис. 3. Структурная схема преобразователя частоты

III. ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

В данной статье рассматривается моделирование процесса управления электродвигателем с использованием системы управления на основе обратной связи по току в среде MATLAB/Simulink. Основными компонентами модели являются электродвигатель пластинчатого питателя и электродвигатель конвейера, также их системы управления.

Для начала необходимо определить параметры электродвигателей, которые будут использоваться в модели. В данной статье рассматриваются приводы двух асинхронных двигателей. Важно учесть такие характеристики, как номинальная мощность, напряжение, момент инерции ротора, сопротивление обмоток и индуктивность для асинхронного двигателя, а также коэффициенты потерь. Эти параметры будут определять динамику работы двигателя и его реакцию на управляющие воздействия, они точно рассчитаны математически и внесены в состав модели электродвигателя.

Система управления должна обеспечивать регулирование скорости или момента двигателя на основе измеренного тока. Для этого можно использовать PID-регулятор, который будет вычислять управляющий сигнал на основе разницы между заданным значением и фактическим значением тока, потребляемого двигателем. Структура системы управления включает в себя несколько ключевых этапов: сначала задается целевое значение тока или скорости, затем происходит измерение фактического значения с помощью соответствующего блока. После этого вычисляется ошибка между заданным и фактическим значениями, которая передается на вход PID-регулятора для вычисления управляющего сигнала.

После завершения настройки модели запускается симуляция, в ходе которой можно наблюдать за поведением системы. Важно изучить графики изменения тока, скорости и момента двигателя во времени. Это позволяет оценить стабильность работы системы и проверить точность поддержания заданных параметров. Также стоит обратить внимание на то, как система реагирует на изменения заданного значения.

Когда тяговое усилие на двигатель увеличивается, это может быть вызвано увеличением нагрузки на конвейер, например, падение на него негабарита. Если на конвейере добавляются новые материалы, не удовлетворяющие параметрам по масса-габаритным характеристикам для заданной конвейерной линии или увеличивается скорость перемещения груза, это приведет к росту необходимого момента для поддержания работы двигателя. В модели это можно смоделировать путем изменения параметров нагрузки на двигатель.

Увеличение нагрузки приводит к росту тока в обмотках двигателя. При увеличении нагрузки ток будет расти до тех пор, пока не достигнет предельного значения, установленного для данного двигателя. Если ток превышает допустимые значения, это может привести к перегреву и повреждению двигателя. Именно поэтому критические значения токов на обмотках двигателя служат сигналом для срочной остановки и немедленного извлечения негабарита с ленты.

IV. МОДУЛЯЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ КОНВЕЙЕРА

Рассмотрим систему векторного управления (ВСУ).

Преимуществами векторной системы управления являются высокая точность управления, плавность регулирования скорости, что очень важно при работе конвейера. Также при использовании ВШИМ КПД, $\cos(\phi)$, жесткость и перегрузочная способность являются регулируемыми параметрами во всем диапазоне регулирования, что особенно важно при пуске конвейера под нагрузкой.

Схема автоматизированного электропривода с двухзвенным ПЧ, входными и выходными согласующими устройствами представлена на рис. 1, имитационная модель ВШИМ на рис. 4, она состоит из: вычислителя проекций вектора заданного напряжения в системе координат альфа-бета; вычислителя абсолютного угла поворота вектора заданного напряжения; вычислителя времени включения векторов; вычислителя сектора; структурной схемы математической модели автономного инвертора.

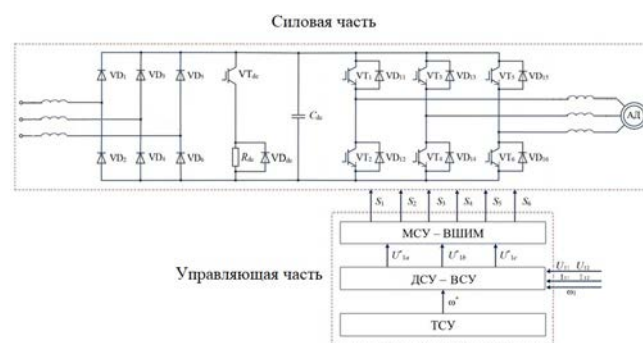


Рис. 4. Функциональная схема электропривода

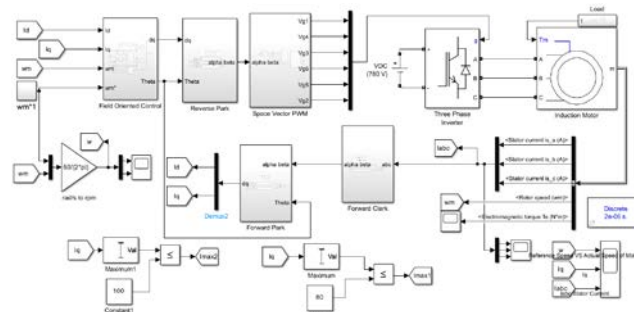


Рис. 5. Имитационная модель системы управления

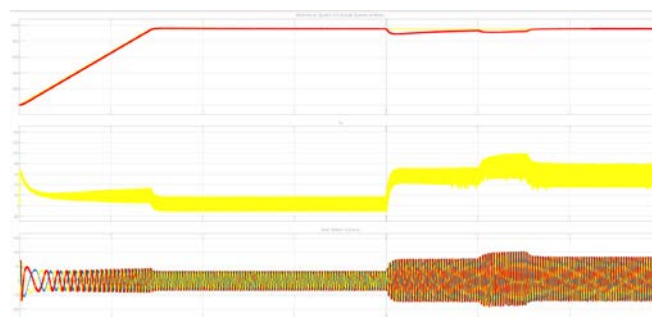


Рис. 6. Результаты моделирования

На рис. 5 представлена модель асинхронного двигателя конвейера с разработанной системой управления, созданная в среде компьютерного моделирования MATLAB/Simulink. Особенностью

данной модели является измерение тока I_q (составляющая тока по оси q) для определения внешних параметров нагрузки, поступающей на конвейерную ленту.

Из графиков, представленных на рис. 6, видно, что разгон двигателя происходит за 1,5 секунды. Начиная с 4 секунд, начинается подача руды, а с 5 секунд на конвейерную ленту попадает негабаритный груз, что вызвало кратковременный резкий скачок тока. Этот всплеск является сигналом для системы и оператора конвейера к принятию мер. В модели экспериментально определены два критических значения тока: первое – при попадании налипшей руды, превышение которого не приведет к критическим изменениям в системе (двигатель просто начнет вращаться быстрее для преодоления момента); второе значение опасно для системы – превышение тока в 100 ампер вызовет повышенный нагрев и преждевременный выход двигателя из строя, поэтому при превышении этого значения двигатель немедленно остановится. Кроме того, раннее обнаружение негабаритного материала на конвейерной ленте положительно скажется на всем технологическом цикле подъема груза на поверхность. Как известно, пропуск сверхнормативного веса недопустим, а негабарит может препятствовать закрытию затвора скипа.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует отметить, что разработанная усовершенствованная система управления двигателем конвейера представляет собой значительный шаг вперед в обеспечении надежности и долговечности оборудования. Благодаря внедрению современных технологий мониторинга и управления удалось устранить проблему перегрева двигателя, что не только повышает его эффективность, но и существенно

продлевает срок службы как двигателя, так и конвейерного оборудования.

Кроме того, наша система обладает уникальной функцией отслеживания негабаритных объектов на конвейерной ленте. При попадании такого объекта на ленту система мгновенно реагирует, предотвращая возможные повреждения и неисправности. Данное решение не только сокращает затраты на обслуживание и ремонт, но и способствует общей производительности технологических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] C.D. Tran, P. Brandstetter, B.H. Dinh, Ch. Si. T. Dong, “An Improving Hysteresis Current Control Method Based on FOC Technique for Induction Motor Drive”, Journal of Advanced Engineering and Computation, vol. 5, p. 83, 2021. DOI:10.25073/jaec.202152.321
- [2] M.A. Awdaa, “Three-phase Induction Motor SVPWM-FOC Control Based on PLC Matlab Translation Approach”, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 745., pp.125–130, 2020.
- [3] O.M. Pihnastyi, “Model of Conveyer with the Regulable Speed”, Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software, vol. 10, pp.. 64-77, 2017.
- [4] V.S. Shchukin, “Contact-free device for controlling belt movement in conveyer devices”, Glass and Ceramics, vol. 31, pp. 175-176, 1974.
- [5] A. Bhatia, “Energy Efficient Electric Motor Selection”, Handbook: Quick Book. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2014.
- [6] Жуковский Ю.Л., Сусликов П.К. Оценка потенциального эффекта от применения технологии управления спросом на горнодобывающих предприятиях.территорий. 2024. Т. 16, № 3. С. 895–908.
- [7] Control system modeling and simulation for active filters of the high-frequency harmonics / N. Tretyakov, A. Bobryshov, V. Kuzmenko, O. Solenaja // Wave Electronics and Its Application in Information and Telecommunication Systems. 2023. Vol. 6, No. 1. P. 434-439. DOI:10.1109/WECONF57201.2023.10147915