

УДК 621.316

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Куликов А.А., магистрант гр. ЭПм-191, II курс
Воронин В.А., старший преподаватель
Непша Ф.С., к.т.н., старший научный сотрудник
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Несмотря на развитие концепции интеллектуальных электрических сетей и роста энерговооруженности горно-шахтного оборудования, компенсация реактивной мощности (КРМ) в системах электроснабжения (СЭС) угольных шахт, по-прежнему, осуществляется централизованно на шинах 6 кВ главных понизительных подстанций. Централизованная КРМ не позволяет разгрузить элементы СЭС угольной шахты, следовательно, потенциал повышения энергоэффективности угольных шахт остается нереализованным. В настоящее время появились устройства компенсации реактивной мощности взрывозащищенного исполнения (УКРВ) [1], что сделало возможным выполнение индивидуальной и групповой КРМ в подземной части СЭС угольной шахты.

Укрупненный технико-экономический расчет [2] показывает высокую эффективность использования устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ) в подземной части СЭС угольной шахты: достигается снижение потерь электроэнергии на величину до 12% при сроке окупаемости около 3 лет. Тем не менее, существующие подходы к выбору мощности УКРВ, предлагаемые производителем, не позволяют определить его оптимальную комплектацию, т.к. не предполагают выбор количества ступеней регулирования и фактора включения. При этом под вопросом остается необходимый коэффициент реактивной мощности, который может варьироваться в зависимости от состава нагрузки.

Для повышения эффективности оптимизации потоков реактивной мощности необходимо учитывать особенности динамического режима работы горных машин. Как отмечается в работе [3], в случае изменяющейся нагрузки электропривода следует учитывать возникающие переходные явления в СЭС с электродвигательной нагрузкой, т.к. при резком изменении нагрузки они могут оказать существенное влияние на потребление реактивной мощности.

В связи с этим для оптимизации мероприятий по КРМ требуется разработка имитационной модели СЭС выемочного участка угольной шахты, учитывающей динамический характер работы горно-шахтного оборудования. В литературе проблема компьютерного моделирования электропривода горных машин освещена достаточно хорошо. Однако представленные модели могут не

учитывать динамику электропривода (например, [4]) или не рассматривать потребление реактивной мощности (например, [5]). Поэтому для решения проблемы КРМ в угольных шахтах необходимо разработать новую имитационную модель.

Неравномерность характера нагрузки горных машин обусловлена как технологическими, так и многими случайными факторами. Однако наибольшее влияние на график электрической нагрузки оказывают процессы пуска и остановки электродвигателей. В связи с этим для упрощения модели сделано следующее допущение: работа горного оборудования предполагается при неизменной или плавно изменяющейся нагрузке, а динамика учитывается пусками и остановками горных машин.

В качестве среды моделирования выбран MATLAB - Simulink. MATLAB является средой объектно-ориентированного программирования, поддерживающая различные расширения и дополнительные пакеты программ, расширяющих возможности моделирования.

MATLAB - Simulink позволяет с высокой точностью моделировать переходные и установившиеся режимы работы электрической сети, определять необходимые параметры в любом узле схемы, такие как: напряжение, ток, активную и реактивную мощность и другие.

Для примера в MATLAB Simulink была построена модель участка системы электроснабжения очистного забоя, включающая в себя один ПУПП и два электропривода горных машин (Рис.1).

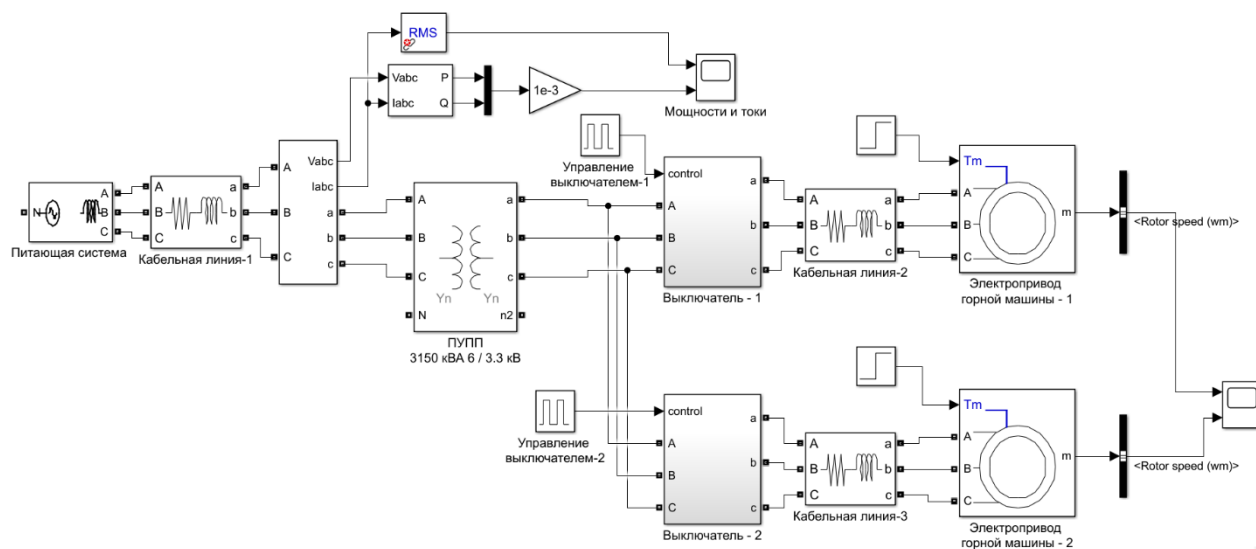


Рис. 1. Модель участка системы электроснабжения очистного забоя в MATLAB Simulink

Основные элементы системы электроснабжения выемочного участка шахты представлены в модели следующими блоками:

1. Питающая система моделируется с помощью блока Three-Phase Source. Данный элемент реализует сбалансированный трехфазный источник напряжения 6 кВ с внутренним импедансом R-L и характеризуется параметрами: напряжение, частота сети, внутреннее сопротивление источника.

2. Кабельная линия моделируется с помощью блока Three-Phase Series RLC Branch. Данный блок позволяет учесть сопротивление кабельной сети 6 кВ и 3,3 кВ. Параметры цепи задаются через сопротивление в омах, индуктивность в генри и емкость в фарадах.

3. ПУПП 6/3,3 кВ моделируется с помощью блока Three-Phase Transformer (Two Windings). Данный элемент моделирует работу трёхфазного двухобмоточного трансформатора, который питает участок очистного забоя. Параметры элемента задаются номинальной мощностью, напряжениями ветвей ВН и НН, сопротивлениями обмоток.

4. Выключатели моделируются с помощью блока Breaker. Данный блок служит для коммутации цепи и может управляться внешним входным сигналом. Включение устройства выполняется единичным управляющим сигналом. Команда на выключение дается нулевым уровнем сигнала, при этом выключение устройства осуществляется при уменьшении тока до нуля.

5. Электропривод горной машины моделируются с помощью блока Asynchronous Machine SI Units. Данный блок позволяет учесть трёхфазную нагрузку и характеризуется параметрами: номинальная мощность, действующее линейное напряжение, номинальная частота, активное сопротивление и индуктивность статора и ротора.

Оборудование выемочного участка работает в повторно-кратковременном режиме и отличается нестабильностью нагрузки, частыми пусками и остановками двигателей, значительными колебаниями напряжения электрической сети. Продолжительность включения (*ПВ*) оборудования выемочного участка, режим которых характеризуется частыми пусками определяется отношением продолжительности времени работы к продолжительности цикла в течении смены или суток.

По данным [6], $PВ_{ср}$ изменяется от 0,5 до 0,78 и подчиняется закону равномерного распределения при суточной нагрузке на лаву до 1200 т, при нагрузке 2000-2500 т – 0,7-0,81, с нагрузкой выше 2500 т – 0,85. Частота пусков и остановок электропривода моделируется системой управления выключателя блоком Breaker и внешним входным сигналом.

На рисунке 2 представлены результаты работы имитационной модели при запуске электродвигателя горных машин в MATLAB Simulink.

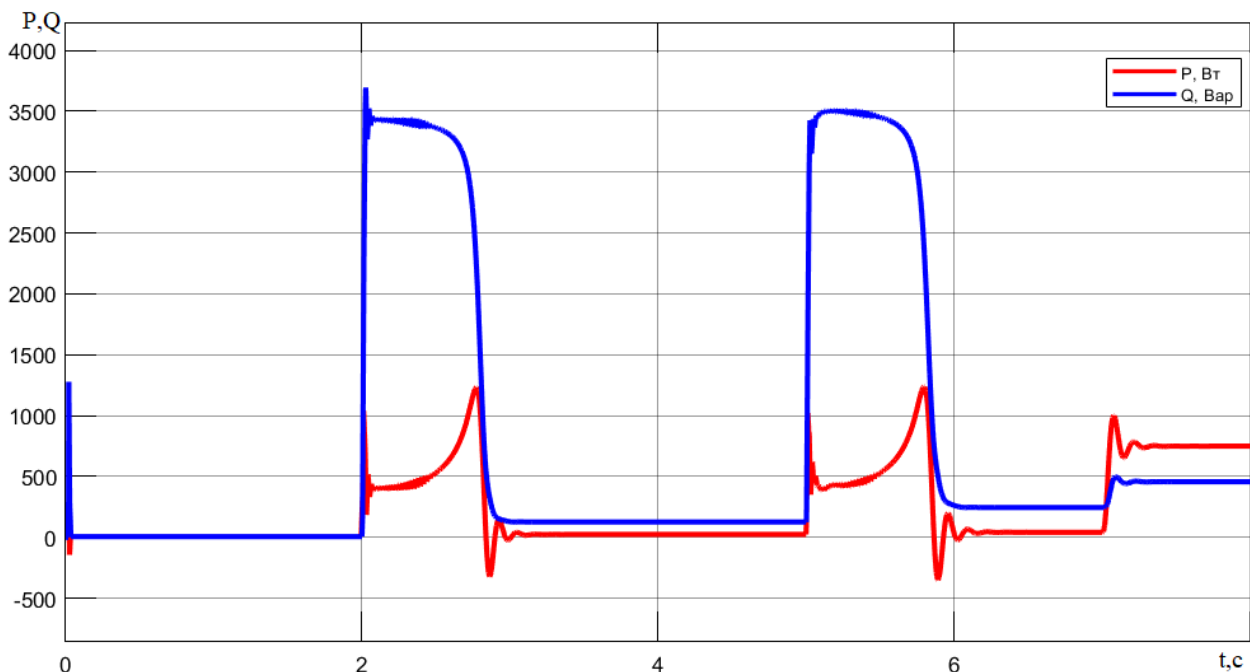


Рис. 2. График потребления активной и реактивной мощности оборудованием очистного участка

Таким образом, в этой статье был приведен основной подход к разработке модели СЭС выемочного участка угольной шахты. Имитационная модель, разработанная на основании этого подхода, может быть использована для определения уровня потерь активной мощности в сети, объема электрической энергии, потребляемой выемочным участком или конкретным оборудованием данного участка, а также для нахождения коэффициента мощности и напряжения в узлах сети с учетом пусковых процессов электродвигателей и периодических остановок горных машин.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых №МК-236.2020.8.

Список литературы:

1. Установка конденсаторная рудничная взрывозащищенная (УКРВ). Каталог продукции. // Завод-изготовитель горно-шахтного оборудования ООО "Промышленный Союз". URL: http://promsouz.com/ukrv_6_3.html (дата обращения 20.03.2021).
2. Непша, Ф.С. К вопросу оптимального размещения взрывозащищенных устройств компенсации реактивной мощности на угольных шахтах / Ф.С. Непша, В.А. Воронин // VII Международная научно-практическая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электро-механики: IPDME-2020» (23-24 апреля 2020 г.). – 2020. С. 573-577

3. Дабаров, В.В. Компенсация реактивной мощности в динамических режимах работы электродвигательной нагрузки: монография / КузГТУ. Кемерово, 2015. – 107 с.

4. Копылов К.Н. Имитационное моделирование системы электроснабжения выемочного участка угольной шахты / К.Н. Копылов, С.Н. Решетняк, С.С. Кубрин // ГИАБ. – 2016. – №12. С. 40-50

5. Заголило С.А. Компьютерное моделирование многодвигательной системы электропривода в пакете программ MatLab / С.А. Заголило, А.С. Семёнов, М.Н. Семёнова, И.А. Якушев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – № 8 (2)

6. Стариков Б.Я. Асинхронный электропривод очистных комбайнов / Б.Я. Стариков, В.Л. Азарх, З.М. Рабинович. М.: Недра, 1981. 288 с.