

УДК 622.625:621.333

О.Н. СИНЧУК, д-р техн. наук, проф., В.А. ФЕДОТОВ, ст. преподаватель,
М.Л. БАРАНОВСКАЯ, канд. техн. наук, доц.
Криворожский национальный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШАХТНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА

Цель. Стратегически важной проблемой для отечественных железорудных предприятий является сдерживание роста себестоимости выпускаемой продукции – фактора, определяющего конкурентоспособность отечественной железной руды на мировом рынке сырья. В комплексе общей себестоимости добываемого железорудного сырья весомая роль внутришахтного электровозного транспорта транспортной артерии доставки руды. Поэтому необходимо переснащение внутришахтного электровозного транспорта, особенно переход на эксплуатацию новых видов электровозов с современными высокоэффективными типами систем управления движением электровозосоставов.

Методы. При исследовании динамических процессов использовались методы кусочно-линейной аппроксимации, 2-й закон Ньютона, элементы теории автоматического управления электроприводами, операторно-рекуррентный метод анализа и синтеза электрических цепей, элементы теории электрических машин, методы математического моделирования.

Научная новизна. В настоящее время во всем комплексе электровозной откатки железорудных шахт самыми несовершенными и сдерживающими развитие всего комплекса внутришахтного электровозного транспорта являются именно системы прямого управления тяговыми комплексами электровозов – тяговыми электроприводами. При этом важно понимать, что система тягового электропривода электровоза – база строения АСУ внутришахтного электровозного транспорта.

Практичная значимость. Автоматизация внутришахтного электровозного транспорта предполагает создание эффективной структуры тягового электропривода, на базе которой должна строиться система управления работой всего тягового комплекса электровоза, как в ручном, так и автоматическом режимах. В этом плане важным моментом является пробная оптимизация переходных процессов в тяговом электроприводе.

Результаты. В статье приведены результаты исследований динамических процессов в асинхронном тяговом электроприводе и практические решения по созданию системы автоматического управления электроприводом комплексом двоосного шахтного контактно-аккумуляторного электровоза при погрузочно-разгрузочных операциях технологического цикла транспортирования полезных ископаемых в условиях железорудных шахт.

Ключевые слова: контактно-аккумуляторный электровоз, переходные процессы, тяговые асинхронные двигатели, режим пуска-торможения.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-46-95-99

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Основным видом транспорта отечественных горнометаллургических предприятий с технологиями подземного ведения работ является электровозный, обеспечивающий 100 % грузоперевозок товарной железной руды [1]. В общем объеме энергопотребления подземных предприятий доля внутришахтного транспорта на ряде шахт достигает 29 % от общего объема энергопотребления [1].

Анализ исследований и публикаций. В последние годы в Украине для отечественных горных предприятий созданы экспериментальные образцы новых типов шахтных электровозов – контактно-аккумуляторных с эффективными видами тяговых электротехнических систем на основе IGBT-инверторов и асинхронных электрических двигателей с короткозамкнутым ротором [1-16].

Постановка задачи. При погрузочно-разгрузочных операциях шахтный электровоз работает в пуско-тормозных режимах. При этом для разработки алгоритма управления тягового электротехнического комплекса (ТЭТК) реалистичной является треугольная, а не трапециевидальная форма графиков движения электровозосостава. Основываясь на результатах экспериментальных исследованиях [1] учтем, что ускорение движения при трогании электровозосостава не должно превышать 1 м/с^2 . В противном случае будет наблюдаться буксование ведущих колес электровоза и, естественно, одиозные переходные процессы в ТЭП с потерей контроля управляемости этим процессом со стороны системы управления.

Изложение материала и результаты. В расчетах использовались модели электровозосостава – электровоза и вагонеток, учитывающих упругие и вязкие свойства как электровоза и вагонеток, так и аппарата сочленения. Расчетные ситуации, рассматриваемые при моделировании: соударения вагонов при формировании поезда, пуск поезда и полное служебное торможение [1].

В общем случае механическая часть представляет собой систему связанных масс, движущихся с различными скоростями вращательно или поступательно. При изменении нагрузки

элементы системы (валы, опоры, клиноременные передачи, зубчатые зацепления и т.п.) деформируются, так как механические связи не являются абсолютно жесткими. Входной вал механизма приводится во вращение со скоростью ω_1 электромагнитным моментом M , возникающим на роторе двигателя.

Модель исследуемой системы, представленная на рис. 1 содержит следующие блоки:

Блок 1 – Тяговая подстанция, в состав которой входит тяговый трансформатор 10/0,4кВ, трехфазный выпрямитель, емкостной фильтр. Данный блок имитирует режим работы контактной сети и тяговой трансформаторной подстанции.

Блок 2 – IGBT транзисторный преобразователь, состоящий из трех однофазных инверторных мостов, объединенных в трехфазный инвертор напряжения.

Блок 3 - Тяговый асинхронный двигатель (ТАД).

Блок 4 – Тяговая аккумуляторная батарея.

Блок 5 – Система управления IGBT транзисторным преобразователем.

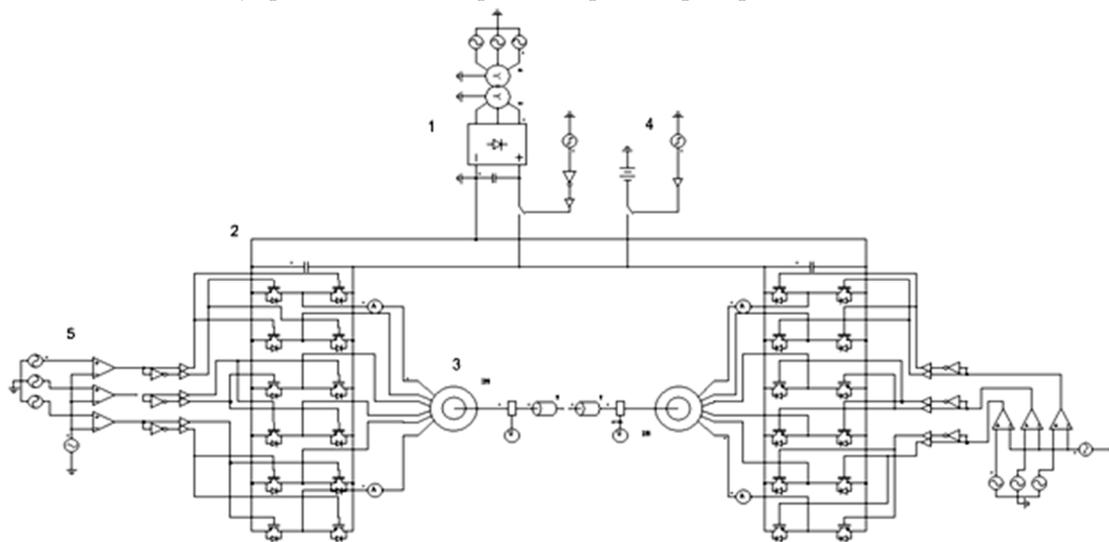


Рис. 1. Динамическая модель разомкнутой системы тягового асинхронного электропривода шахтного контактно-аккумуляторного электровоза

В модели предусматривается двухсистемный режим питания тягового электропривода, получающий питание как от контактной сети (275В), так и от аккумуляторной батареи (80 В).

В качестве режима управления рассматривались две системы:

система формирования напряжения питания по классическому синусоидальному закону управления;

система формирования напряжения питания по предлагаемому трапецеидальному закону управления.

В ходе моделирования решались следующие задачи:

исследование режимов пуска и работы под нагрузкой ТАД с широтно-импульсным модулятором (ШИМ) напряжения питания при синусоидальном и трапецеидальном законе формирования выходного напряжения.

исследования и анализ гармонического состава напряжения и тока статора ТАД с ШИМ напряжения питания при различных законах формирования выходного напряжения;

исследование переходных процессов изменения токов, скорости и моментов тяговых асинхронных двигателей при параметрической несимметрии статорных и роторных цепей.

Для компьютерного моделирования использовался пакет прикладных программ *PSIM*, который содержит в себе вычисление, визуализацию и программирование в удобной среде. При моделировании с использованием *PSIM* реализуется принцип визуального программирования, согласно которому пользователь на экране из библиотеки стандартных блоков создает модель устройства и осуществляет расчеты. При работе в *PSIM* пользователь имеет возможность модернизировать библиотечные блоки, создавать свои собственные, а также создавать новые библиотеки блоков. При моделировании пользователь может выбирать способ изменения времени моделирования (с фиксированным или сменным шагом). В ходе моделирования есть возможность следить за процессами, которые происходят в системе. Для этого используются специ-

альные устройства наблюдения, которые входят в состав библиотеки PSIM. Результаты моделирования могут быть представлены в виде графиков или таблиц.

Использование модели позволяет быстро провести отладку коэффициентов передачи системы на работу с тяговыми приводами с разными параметрами, кроме того, компьютерная модель дает целостное представление о функционировании модели и ее работоспособности.

В табл. 1 показан гармонический состав напряжения и тока статора тягового асинхронного двигателя типа АД-50 при ШИМ напряжения питания.

Таблица 1

Законы изменения напряжения и тока		Номер гармоники				
Напряжение (синусоидальный закон)	1	18	36	54	90	
	203,57	50,3	22,929	21,929	13,904	
Ток (синусоидальный закон)	1	5	13	22	26	
	108,12	3,123	7,561	5,412	0,912	
Напряжение (трапецидальный закон)	1	14	24	36	90	
	204,214	18,139	25,121	16,324	19,901	
Ток (трапецидальный закон)	1	5	13	22	26	
	109,961	1,314	4,325	4,828	2,510	

На рис. 2 представлены машинограммы фазных токов на зажимах ТАД и их гармонический состав при синусоидальном и трапецидальном законе ШИМ выходного напряжения.

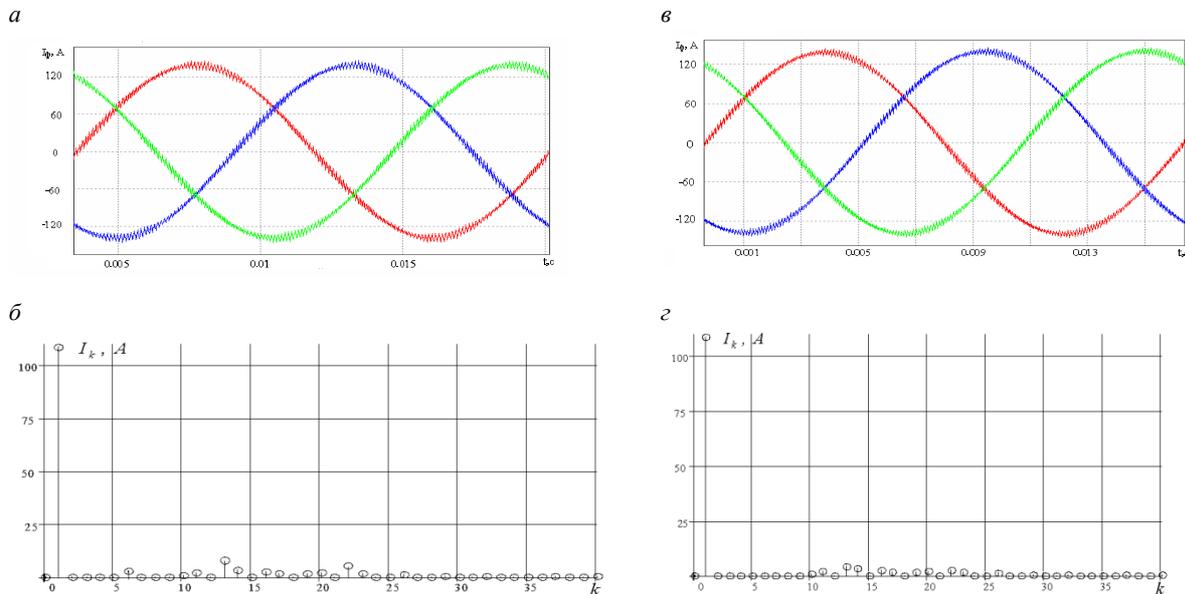


Рис. 2.Трехфазный ток тягового асинхронного двигателя при ШИМ напряжения питания: а – по синусоидальному закону управления; в) при трапецидальном законе управления; гармонический состав тока тягового двигателя при ШИМ напряжения питания: б) по синусоидальному закону управления, г) при трапецидальном законе управления

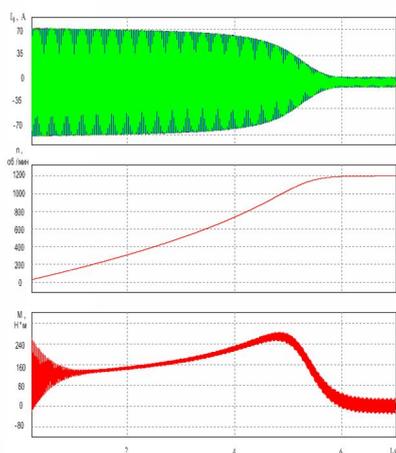


Рис. 3. Машинограммы трехфазного тока статора, частоты вращения и момента тягового асинхронного двигателя при пуске с ШИМ напряжения питания от аккумуляторной батареи

С целью анализа переходных процессов в ТАД при двухсистемном питании электровоза было проведено моделирование пускового режима двигателя (рис. 3).

На машинограммах рис. 4 приведены осциллограммы переходных процессов в ТАД электропривода рудничного контактно-аккумуляторного электровоза на входе контура преобразователя электрической энергии при переходе тягового асинхронного электропривода (ТАП) на питание с одного источника на другой: КС-ТАБ (контактная сеть – тяговая аккумуляторная батарея) и ТАБ-КС.

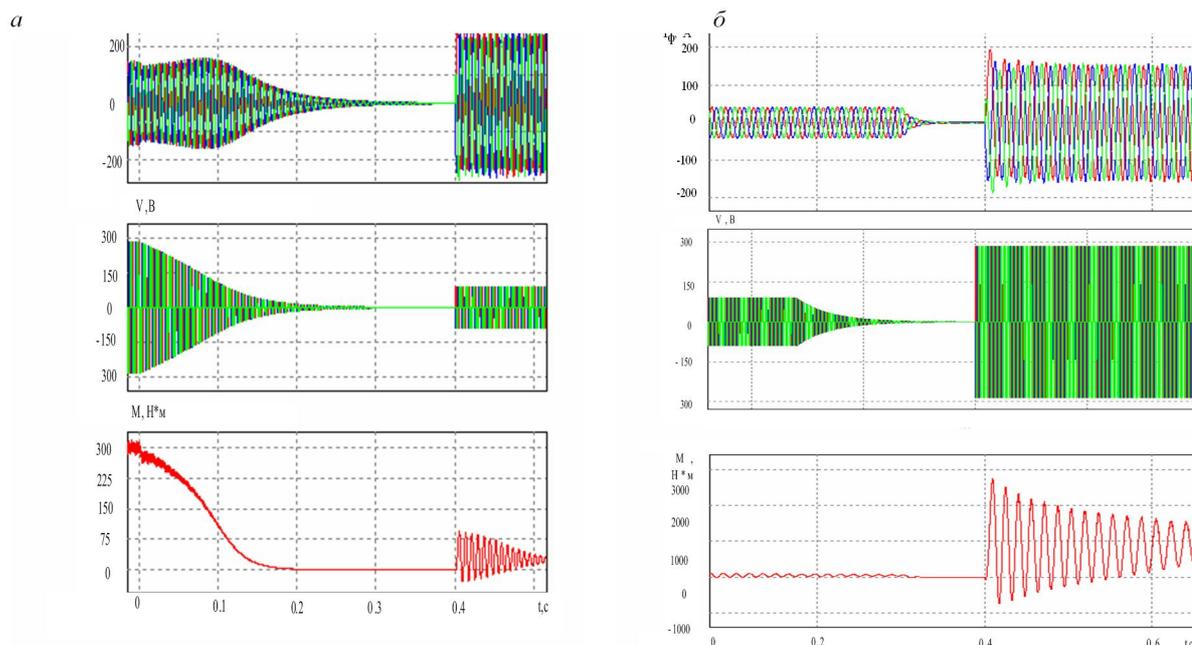


Рис. 4. Машинограммы трехфазного тока статора, изменения момента тягового асинхронного двигателя и напряжения при переходе питания от КС к ТАБ (а) и от ТАБ к КС (б)

Как видим, падение напряжения с уровня 230В до уровня 80В происходит менее чем за 200 мс, что обусловлено разрядом конденсаторной батареи (КБ) преобразователя через транзисторные ключи преобразователя. Длительность разряда КБ зависит от величины емкости и нагрузки на валу двигателя. «Подхват» питания (переход на ТАБ) осуществляется через 0,3с после исчезновения питания.

Выводы и направление дальнейших исследований.

1. На основании разработанной методики и математической модели проведения исследования выявлено влияние системообразующих параметров на динамические свойства системы: шахтной контактно-аккумуляторной «электровоз – вагонетки».

2. Как следует из представленных осциллограмм динамика переходных процессов при автономном режиме питания (от ТАБ) в ходе передвижения электровозосостава при погрузочно – разгрузочных операциях не отличается и даже близка по аналогичности при питании электровоза от КС.

3. Единственным отличием протекания переходных процессов при питании электровоза от ТАБ является некоторая «затянутость» в отличие от режима питания от КС.

4. Следует констатировать, что при перестановке электровозосоставов (4 – 5 с) ТАП не достигает установившихся режимов функционирования.

Список литературы

1. Синчук О.Н. О варианте энергоэффективной структуры управления тяговым электромеханическим комплексом двухосных электровозов / О.Н. Синчук, И.О. Синчук, А.Ю. Давыдов, С.Н. Якимец, Н.И. Лесной, Е.И. Скапа // Электромеханічні енергозберігаючі системи. Кременчук, КНУ 2010. – Вип. 3/2010 (11). – С.27–29.
2. Оат Г.П. Промышленные испытания аппаратуры автоматического вождения шахтных поездов / Г.П. Оат, Н.И. Литун, В.Н. Дардалан // Уголь. – 1980. – № 11. – С. 38 – 39.
3. Астафьев Ю.П. Опыт применения АСУ электровозным транспортом с использованием компьютеров / Ю.П. Астафьев, О.Н. Синчук, Э.С. Гузов // Горный журнал. – №11, 1980. – С.55 – 58.
4. Тимошенко А.В. Система реалізації максимуму тяги рудникового електровозу. Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2012. – Вип. 3/2012 (19). – с. 366 – 369.
5. Bertil Oberg. Computer-controller ore transformation at the LKAB mine in Kiruna. – Sweden Information of ASEA. – 1979. P. 212.
6. Valk R. On the computational power of extended Petri nets. – In: Lecture Notes in Computer Science. – Berlin – Springer – Verlag. – 1978, 64. – P. 526 – 535.
7. Dankmeyer Hugo. Kopalnia lokomotyw przewodowa o podwyższonej zdolności przewozowej. – Pns. gorn. – 1979, 35, N 10. – с. 432 – 438. LIV.

8. LaneWhite. New haulage level at Kiruna, Sweden, has massive capacity. // Mining Journal. – 1978. – Vol. 119, № 6. – 112 p.
9. Лебодкін С.В. Вугільна промисловість і перспективні напрямки розвитку тягових електроприводів рудникових електровозів (Проблеми і перспективи) / С.В. Лебодкін, А.П. Сінолицький, О.В. Пасько // Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. – 2004. № 4. – С. 12 – 15.
10. Синчук О.Н. Перспективи розвитку шахтних (рудничних) електровозів з енергосберегаючими видами тягових електроприводів / О.Н. Синчук, С.В. Лебедкин, И.О. Синчук, О.О. Удовенко, О.В. Пасько // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. Луганськ: СХУ ім. В. Даля. – 2006. – № 8 (102). – С. 83 – 92.
11. Степаненко В.П. Разработка и испытание шахтных контактно-аккумуляторных електровозов. / В.П. Степаненко, Ванцлафф В., Дайнека Р. // Уголь. – 1986. – №12. – С. 32 – 33.
12. Волотковский С.А. Рудничная электровозная тяга / Волотковский С.А. – Москва: Недра, 1981. – 389 с.
13. Синчук О.Н. и др. Системы управления шахтным электровозным транспортом / О.Н. Синчук, Э.С. Гузов, Н.И. Шулин, П.К. Саворский – К.: Техніка, 1985. – 198 с.
14. Бердфорд Б. Теория автономных инверторов / Б. Бердфорд, Р. Хорт. – Москва: Энергия, 1986. – 260 с. – (Пер. с англ. Под ред. И.В. Антика).
15. Чернышев А.О. Перетворювач з інвертором і напівпровідниковим вмикачем гальмових резисторів. Патент на корисну модель №25450, МПК (2006): H02M 7/66, H02P 5/74, G05D 13/00, заява № U200703283, 10.08.2007, бюл. № 12, 2007 р.
16. Branched circuit of 6 kV operation with insulated neutral under phase-to-earth fault / M. Baranovskaya, V. Tytyuk, V. Nevzlin, V. Zagirnyak. // Електромеханічні і енергозберігаючі системи Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського. Кременчук. – 2015. – №1. – С. 67–73.

Рукопись поступила в редакцию 18.04.2018

УДК 622.87:613.6.06

Н.Ю. ШВАГЕР, д-р техн. наук, проф., Д.П. ЗАЙКІНА, аспірант
Криворізький національний університет

АНАЛІЗ ПРОФЕСІЙНОЇ ЗАХВОРЮВАНОСТІ НА ГІРНИЧОДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ КРИВБАСУ

Мета. Аналіз стану професійної захворюваності на підприємствах, щодо визначення подальших напрямків процедури ідентифікації та оцінки небезпек, котрий дозволить мінімізувати травматизм на виробництві.

Методи дослідження. Було використано узагальнення та аналіз літературних джерел і статичної інформації за умовами праці на залізрудних шахтах.

Наукова новизна. Аргументовано необхідність в реконструкції та оснащенні сучасним обладнанням ряду виробництв, так як виробничі фонди характеризуються поза межним зносом, використовуються застарілі технології та обладнання.

Практична значимість. Обґрунтування вибору методів аналізу виявлених причин.

Результати. Сучасна технологія підземного і відкритого видобутку руди, виробництва металу неминує пов'язана з забрудненням повітря робочої зони шкідливими речовинами, наявністю на робочих місцях шумо- і вібронезащитного обладнання, немеханізованого або маломеханізованого трудового процесу.

Динаміка професійної захворюваності не проглядається певною тенденцією до зниження або до збільшення, що затрудняє виявлення основних, можливо прихованих, причин явища. Статистика свідчить, що отримують професійні захворювання, здебільшого, працівники, що мають вік за 40 років, стаж роботи яких, в гірничий промисловості, перевищує 15-20 років і зайняті управлінням або обслуговуванням гірничо-транспортного обладнання, що вичерпав ресурс роботи.

Рівень професійної захворюваності по місту значно перевищує аналогічні показники захворюваності по Дніпропетровській області та Україні.

Вимагають вирішення основні проблемні питання професійної захворюваності: поліпшення умов праці на виробництві шляхом впровадження сучасних технологій; залучення наукового потенціалу міста до вирішення проблемних питань поліпшення умов праці; розробку сучасних комплексних планів оздоровчих заходів на виробництві з урахуванням конкретних показників професійної захворюваності; підвищення якості профпатологічної допомоги працюючому населенню міста. Перераховані в статті порушення та недоліки виробничого процесу свідчать про необхідність: правильної постановки системи управління охороною праці; розробки нових методів навчання керівників підприємств; проведення спеціальних опитувань і досліджень з виявлення проблем в організації безпечної праці працівників гірничорудної промисловості.

Ключові слова: шкідливі та небезпечні умови праці, нещасний випадок, професійна захворюваність, професійна патологія, причини нещасних випадків, виробничий процес, процедура ідентифікації та управління ризиків.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-46-99-104