

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
Администрация Правительства Кузбасса
Администрация г. Новокузнецка
Институт проблем управления им. Трапезникова РАН
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН
АНО «Научно-образовательный центр «Кузбасс»**

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
(в образовании, науке и производстве)
AS' 2023**

**ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ
(с международным участием)**

12-14 декабря 2023 г.

**Новокузнецк
2023**

УДК 658.011.56
С 409

Редакционная коллегия:

д.т.н., проф. В.В. Зимин (ответственный редактор),
д.т.н., проф. С.М. Кулаков, к.т.н., доц. В.А. Кубарев,
д.т.н., проф. Л.Д. Павлова, д.т.н., доц. И.А. Рыбенко,
к.т.н., доц. В.И. Кожемяченко (технический редактор).

С 409 Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) AS'2023: труды Всероссийской научно–практической конференции (с международным участием), 12-14 декабря 2023 г. / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет ; под общ. ред. В.В. Зимина. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2023. – 420 с.

ISBN 978-5-7806-0583-6

Труды конференции посвящены научным и практическим вопросам в области современных систем автоматизации и информатизации учебных, исследовательских и производственных процессов. Представлены результаты исследования, разработки и внедрения методического, математического, программного, технического и организационного обеспечения систем автоматизации и информационно-управляющих систем в различных сферах деятельности.

Сборник трудов ориентирован на широкий круг исследователей, научных работников, инженерно-технический персонал предприятий и научно-исследовательских лабораторий, преподавателей вузов, аспирантов и обучающихся по программам бакалавриата и магистратуры.

УДК 658.011.56

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2023

Библиографический список

1. Островляничик, В.Ю. Автоматический электропривод постоянного тока горно-металлургического производства// В.Ю. Островляничик. – Новокузнецк: СибГИУ, 2004.– 382с.
2. Синтез аналоговых устройств : методические указания / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет, Кафедра электротехники, электропривода и промышленной электроники ; сост. В.А. Кубарев. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2023.
3. Исследование компонентов силовой интеллектуальной электроники: лабораторный практикум / Сиб. Гос. индустр. ун-т; сост. Д.Е. Модзелевский., Н.В. Веригин – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ , 2015. – 25 с.
4. Кузнецов И.Н. Научное исследование. Методика проведения и оформления: учеб. пособие для вузов/ И.Н. Кузнецов. - М.: Дашков и К, 2008.- 457 с.
5. Шкляр М.Ф. Основы научных исследований/ М.Ф. Шкляр.- М.: Дашков и К, 2009.- 293 с.
6. Юньков М.Г., Ильинский Н.Ф. Перспективы развития автоматизированного электропривода. Автоматизированный электропривод, силовые полупроводниковые приборы, преобразовательная техника / Под общ. ред. Н.Ф. Ильинского, И.А. Тепмана, М.Г. Юнькова. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 472 с. (С. 5–13).
7. Глебов И.А. Научные проблемы электротехники // Электротехника. – 1980. – № 1. – С. 10–15.
8. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология научного исследования: учеб. пособие / А.М. Новиков, Д.А. Новиков.- М.:Либроком,2010.-280с.-Официальный сайт академика РАО А.М. Новикова.
9. Кожухар В.М. Основы научных исследований / В.М. Кожухар.- М.: Дашков и К°,2010._216 с.

УДК 62-83

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ШАХТНОГО ПОДЪЁМА

Сарсембин А.О., Кубарев В.А.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
г. Новокузнецк, Россия, adilsarsembin@mail.ru

***Аннотация.** Электроэнергетические системы современной структуры значительно отличаются от традиционных в контексте состава используемого оборудования и динамических характеристик, определяющих характер протекания процессов. Последнее приводит к закономерной необходимости в адаптации различных систем регулирования и управления, используемых на объектах электроснабжения, для обеспечения требуемого уровня надежности и устойчивости функционирования современных электроэнергетических систем.*

***Ключевые слова:** регулятор возбуждения, синхронный генератор, система возбуждения, электроэнергетическая система, закон.*

***Abstract.** The electric power systems of the modern structure differ significantly from the traditional ones in the context of the composition of the equipment used and the dynamic characteristics that determine the nature of the processes. The latter leads to a natural need to adapt various control and control systems used at power supply facilities to ensure the required level of reliability and stability of the functioning of modern electric power systems.*

***Keywords:** excitation regulator, synchronous generator, excitation system, electric power system, law.*

Система автоматического регулирования возбуждения синхронных двигателей (СД) должна осуществлять запуск с автоматической подачей возбуждения на СД, регули-

рование тока возбуждения по заданному закону, ограничение напряжения возбуждения, ограничение токов возбуждения, защиту обмотки ротора от длительной перегрузки по току.

Пуск синхронного двигателя прямым включением в сеть, невозможен, так как ротор из-за своей значительной инерции не может быть сразу увлечен вращающимся полем статора. Для запуска синхронного двигателя применяют различные способы, суть которых заключается в разгоне ротора до подсинхронной скорости, после чего двигатель втягивается в синхронизм.

Наибольшее распространение получил асинхронный запуск синхронного двигателя. При этом методе синхронный двигатель запускают как асинхронный, для чего СД снабжают специальной короткозамкнутой обмоткой типа «беличья клетка». Схема этого пуска приведена на рисунке 1.

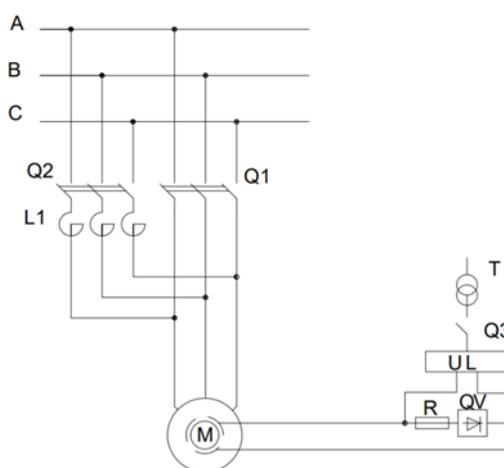


Рисунок 1 – Упрощенная схема пуска СД

Невозбужденный синхронный двигатель подключают выключателем Q_1 к сети синхронный двигатель начинает вращаться и работает как АД. После разгона ротора до скорости вращения равной 0,95 номинальной (подсинхронной скорости). Обмотка возбуждения СД подключается к источнику постоянного тока. Возникающий при этом синхронный момент втягивает двигатель в синхронизм.

Во время запуска в обмотка возбуждения индуцируется ЭДС, для предотвращения пробоя изоляции обмотки возбуждения в момент запуска СД, необходимо обмотку возбуждения замкнуть на гасящий резистор R тиристорным ключом QV . Величина гасящего резистора должна быть в 8 - 12 раз больше сопротивления обмотки возбуждения.

Однако, во время прямого запуска мощного СД возникают большие пусковые токи, поэтому прямой пуск применяют при мощной сети, способной выдержать броски пускового тока. При недостаточно мощной сети применяют пуск СД при пониженном напряжении (реакторный пуск).

При применении реакторного пуска СД (рисунок 1) сначала включается выключатель Q_2 и двигатель получает питание через трёхфазный реактор L_1 , по достижении нормальной скорости вращения включается Q_1 , шунтирующий L_1 , и на двигатель подается номинальное напряжение.

Как уже говорилось, система автоматического регулирования возбуждения (АРВ) служит не только для запуска СД. Система АРВ осуществляет регулирование тока возбуждения во время работы двигателя.

В зависимости от требуемых режимов работы регулирование тока возбуждения СД может осуществляться по следующим законам:

– регулирование $I_{\text{возб}} = f(U_{\text{ити}})$;

- регулирование $Q_p = const$;
- регулирование $\cos \varphi = const$;
- регулирование по полному току статора;
- регулирование $I_{возб} = f(\theta)$;
- регулирование по минимуму потерь;
- комбинированное.

При комбинированном способе регулирования I_b возможно построение систем, осуществляющих независимое одновременное воздействие на обмотку возбуждения обоих каналов управления. Рассмотрим некоторые законы регулирования.

Регулирование возбуждения СД в функции изменения напряжения питающей сети. Данная система выбирается с учетом характера изменения нагрузок электропотребителей, режимов работы СД и причин, вызывающих изменение напряжения.

Для узлов нагрузок мощных систем электроснабжения целесообразно предусматривать лишь форсировку возбуждения СД при аварийном снижении напряжения.

Для узлов нагрузок с СД, в которых уровень напряжения изменяется из-за дефицита реактивной мощности в энергосистеме, регулируют возбуждение СД в зависимости от отключения от номинального значения.

В этих случаях нужно предусматривать кратковременную форсировку возбуждения при аварийном снижении напряжения.

Для предотвращения чрезмерного ослабления или усиления возбуждения при АРВ СД необходимо вводить ограничения тока возбуждения снизу и сверху. Нижняя граница определяется пределом статической устойчивости СД, верхняя граница – допустимым нагревом обмоток двигателя.

При глубоких снижениях напряжения – до 0,7 – 0,8 номинального – допустимое увеличение возбуждения составляет 1,8 - 2 $I_{вн}$.

Регулирование возбуждения СД на постоянство $\cos \varphi_q$. Закон регулирования $\cos \varphi_q = const$ целесообразен для электроприводов большой и средней мощности с плавно изменяющейся нагрузкой при незначительных колебаниях напряжения питающей сети. Чаще всего стабилизируется номинальное значение $\cos \varphi_{qn}$.

Закон регулирования $\cos \varphi_q = const$ обеспечивается при регулировании по углу мощности двигателя θ и по активному и полному токам статора. Регулирование осуществляется при $\cos \varphi_q < 1$. В этом случае при регулировании по углу θ законом регулирования является значение ЭДС возбуждения двигателя.

$$E_b = f(\theta) = U_n (\cos \theta + \mathcal{R}_x \tan(\theta + \varphi) \sin \theta),$$

где U_n – напряжение питающей сети

$$\mathcal{R}_x = x_d / x_q.$$

Закон регулирования $\cos \varphi = const$ не подходит для СД, работающих с ударной нагрузкой, так как при этом вместе с активной мощностью изменяется и реактивная, что может привести к резким колебаниям напряжения на шинах питающей подстанции.

Регулирование возбуждения СД на постоянство отдачи реактивной мощности. Закон регулирования $Q = const$.

Используется для приводов средней и большой мощности с резко переменной нагрузкой. Задача улучшения режима работы состоит в обеспечении устойчивости и экономичности двигателя, минимума потерь энергии в сети и минимума колебаний напряжения в сети.

Регулирование возбуждения СД на постоянство отдачи реактивной мощности вытекает из основных требований, предъявляемых к СД для систем электроснабжения, у которых потребляемая реактивная мощность Q_p больше установленной мощности СД.

При регулировании возбуждения по закону $Q_p = const$ ЭДС двигателя в зависимости от нагрузки представляется в следующем виде:

$$E_H = \frac{\sqrt{\beta^2 + K_H^2 - 1}}{K_H}$$

где $\beta = \frac{P}{P_H} = \frac{I_a}{I_{aH}} = \frac{E_d \sin \theta}{E_{dH} \sin \theta_H}$ – мощность на валу двигателя в относительных единицах;
 $R_H = \frac{P_{max}}{P_H} = \frac{1}{\sin \theta}$ – перегрузочная способность СД при номинальной ЭДС.

Как уже говорилось, реализация $Q_p = const$ одновременно обеспечивает максимум выработки двигателем реактивной мощности, ограничиваемой тепловым режимом. При недостатке реактивной мощности этот закон обеспечивает минимум потерь энергии.

Рассмотренные законы регулирования реализовывались системами АРВ, изготовленными на базе статических выпрямителей. Из-за своих низких технико-экономических показателей эти системы заменяются на цифровые системы возбуждения. Значительным их преимуществом является высокое быстродействие.

Как известно, наличие всевозможных возмущающих воздействий приводит к отклонению параметров СД и питающей сети от номинальных значений, что может привести к нежелательным последствиям.

Поэтому системы АРВ должны обеспечить устойчивую работу СД и стабилизацию параметров питающей сети системы электроснабжения.

АРВ СД, работающего в установившемся режиме, должна обеспечить ликвидацию колебаний напряжения сети и потребность в реактивной мощности. Основным требованием в данном случае является качество регулирования, т.е. точность стабилизации регулируемого параметра и надежность работы.

В динамическом режиме от АРВ требуется высокое быстродействие. Из этого следует, что к АРВ СД подъёмных установок предъявляются повышенные требования к точности, надежности и быстродействию.

Кроме того, что АРВ должно обеспечить формирование тока возбуждения, что повышает устойчивость и перегрузочную способность двигателя. Система АРВ должна содержать устройства, обеспечивающие надежную защиту полупроводниковых вентилях при переходных и аварийных режимах, система возбуждения должна обеспечить формирование возбуждения не менее 1,5 номинального напряжения возбуждения при уменьшении напряжения сети до 0,7 номинального значения. Также должна обеспечиваться простота и надежность замера параметров, по которым осуществляется регулирование и высокая чувствительность измерительных элементов.

В заключении можно сказать, что для улучшения технико-экономических показателей СД, работающего с резко переменной нагрузкой, лучше использовать закон регулирования $Q_p = const$, так как при недостатке мощности этот закон обеспечивает минимум потерь энергии.

Для реализации этого закона необходимо:

- 1) рассчитать нагрузочную диаграмму скипового подъема;
- 2) рассчитать функциональную зависимость для I_b СД для условия поддержания постоянства потребляемой реактивной мощности;
- 3) синтезировать структуру систем АРВ;
- 4) рассчитать параметры регуляторов;
- 5) разработать принципиальную схему системы АРВ.

Библиографический список

1. Фащиленко, В.Н. Электропривод и автоматика машин и установок горного производства : учебник / В.Н. Фащиленко, Л.А. Плащанский. - Москва : МИСиС, 2020. - 370 с. - ISBN 978-5-907061-45-3
2. Ляхомский, А.В. Автоматизированный электропривод машин и установок горного производства. Часть 1. Автоматизированный электропривод механизмов циклического действия / Ляхомский А.В., Фащиленко В.Н. - Москва : Горная книга, 2014. - 477 с. (ГОРНАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА) - ISBN 978-5-98672-367-9
3. Методы и средства наладки электроприводов // Докл. науч.-метод. семинара. – М.: Издательство МЭИ, 2014. – 96 с.

УДК 621.3

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

Кубарев В.А.¹, Кучик М.М.¹, Маршев Д.А.²

¹ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
г. Новокузнецк, Россия, kva2003@list.ru

²ЭТЛ НПК «Энергия-2»

Аннотация. Изучена важность и необходимость изучения визуализации схем. Представлены её достоинства и недостатки. Изготовлен учебно-лабораторный стенд «Автоматическая система управления освещением», составлена его электрическая принципиальная схема и визуализированная схема.

Ключевые слова: визуализация, учебно-лабораторный стенд, электрическая принципиальная схема.

Abstract. The importance and necessity of studying circuit visualization is studied. Its advantages and disadvantages are presented. A training and laboratory stand «Automatic lighting control system» was manufactured, its electrical circuit diagram and visualized diagram were compiled.

Keywords: visualization, educational laboratory stand, electrical circuit diagram.

В настоящее время в России приняты определённые стандарты для отображения однолинейных или принципиальных электрических схем, состав и позиционные обозначения элементов определены нормативными документами [1]. Однако, для чтения таких схем нужны определённые знания и если в промышленном секторе (заводы, торговые центры, предприятия), с данными знаниями люди более или менее знакомы, то в бытовом секторе, с пониманием, составлением и чтением подобных схем, существуют определённые трудности.

Если отследить последовательность работ при строительстве любого крупного или малого предприятия, то самым важным для всех участников процесса является понимание того, что и в какой последовательности должно выполняться. Для этого необходимо чтоб заказчик, проектировщик, наладчик, электромонтажник общались на одном языке. Визуализация схем является самым простым и понятным вариантом отображения информации, именно этот инструмент позволяет лучше понять каждому участнику, что именно и в какой последовательности нужно делать. Таким образом всем участникам процесса становится проще понимать фронт работ, кто устанавливает оборудование, кто проверяет его, и кто обслуживает, что снижает вероятность ошибки.

Чем проще и понятнее будет схема электроустановки, тем меньше ошибок будет совершено в процессе её реализации, таким образом, исправления будут вноситься оперативно, а работы будут выполнены качественно и в срок, на всех этапах [2]. Если ошибка останется незамеченной и в последствии не исправленной, то в лучшем случае она будет замечена во время монтажных работ, в худшем случае это приведёт к аварийной ситуа-

<i>Александров Н.А., Модзелевский Д.Е., Кипервассер М.В.</i>	
Модернизация многодвигательного электропривода установки сухого тушения кокса с учетом неидентичности характеристик электродвигателей.....	346
<i>Поползин И.Ю., Живаго Р.Э.</i>	
Особенности работы синхронного двигателя при колебаниях сетевого напряжения в нерегулируемых электроприводах с длительным режимом работы	351
<i>Костылев С.Ю., Модзелевский Д.Е.</i>	
Построение модели и синтез управления автоматизированной поточно-транспортной системы	356
<i>Калачева О.К., Модзелевский Д.Е.</i>	
Исследование режимов работы многоагрегатного электропривода насосной станции.....	362
<i>Алтухов Д.И., Модзелевский Д.Е.</i>	
Разработка многоуровневого инвертора напряжения для электропривода ШПУ	367
<i>Вершинин М.С., Модзелевский Д.Е.</i>	
Применение имитационного моделирования при создании тренажера для подготовки к сдаче демонстрационного экзамена по «Мехатронике».....	374
<i>Мальшев Г.Д., Борщинский М.Ю.</i>	
Разработка электронного значка со световой эмблемой СибГИУ.....	381
<i>Ушаков В.В., Кармачев С.К., Борщинский М.Ю.</i>	
Осциллограф на базе персонального компьютера	383
<i>Рогожников И.П., Борщинский М.Ю.</i>	
Реализация системы единого времени с использованием микроконтроллера	386
<i>Яценко Н.Р., Борщинский М.Ю.</i>	
Измерение АФЧХ с помощью универсального измерительного прибора OSA103F	390
<i>Дорошенко А.В.</i>	
Современные методы и средства исследования автоматизированных электрических и электромеханических систем. состояние, проблемы, перспективы.....	394
<i>Сарсембин А.О., Кубарев В.А.</i>	
Системы автоматического регулирования возбуждения синхронных двигателей шахтного подъёма.....	398
<i>Кубарев В.А., Кучик М.М., Маршев Д.А.</i>	
Визуализация электрических схем	402
<i>Бунакова М.Т., Водоватова А.Е., Корнеев П.А., Мищенко С.А., Низовская А.Д.,</i>	
Разработка учебного квадрокоптера.....	406
СПИСОК АВТОРОВ	412
СОДЕРЖАНИЕ	414

Научное издание

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
(в образовании, науке и производстве)
AS' 2023**

**ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ
(с международным участием)**

12-14 декабря 2023 г.

Под общей редакцией д.т.н., доц. В.В. Зимина

Техническое редактирование и компьютерная верстка В.И. Кожемяченко

Подписано в печать 01.12.2023 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага писчая. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 25.04. Уч.-изд. л. 26.64. Тираж 20 экз. Заказ 260.

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, зд. 42.

Издательский центр СибГИУ