

Содержание

Электротехника, 2022, №2, стр. 2-6

Парирование статических нагрузок в асинхронных машинах двойного питания при частотном управлении со стороны ротора

КОДКИН В.Л. БАЛДЕНКОВ А.А.

Приведены результаты экспериментальных исследований возможности эффективного парирования изменений напора и скорости ветра путем механических воздействий, формируемых в машинах двойного питания (МДП) со стороны ротора. Исследованы особенности управления таких машин при воздействии механических нагрузок, и сформулированы предложения по повышению эффективности парирования моментных вариаций. Эксперименты показали, что в МДП при управлении со стороны ротора формируется значительный вращающий момент, способный улучшить стабилизацию вращения МДП при вариациях скорости и порывах ветра. Показано, что момент, создаваемый МДП, определяется в значительной мере током статора, что не требует большой мощности преобразователя частоты (ПЧ) в цепях ротора. Установлено, что динамическая положительная связь по действующему значению тока статора, введенная в алгоритм управления ПЧ ротора, существенно улучшает регулировочные показатели системы электропривода.

Ключевые слова: ветрогенератор, машина двойного питания, частотное управление, парирование статических нагрузок.

The results of experimental studies of the possibility of effective parrying of changes in the head and wind speed by mechanical influences formed in dual-power machines (MDP) from the rotor side are presented. The features of the control of such machines under the influence of mechanical loads are investigated, and proposals are formulated to improve the efficiency of parrying moment variations. Experiments have shown that in the MDP, when controlled by the rotor, a significant torque is formed that can improve the stabilization of the rotation of the MDP with speed variations and wind gusts. It is shown that the moment created by the MDP is determined to a large extent by the stator current, which does not require a large frequency converter (FC) power in the rotor circuits. It has been established that the dynamic positive coupling according to the effective value of the stator current, introduced into the control

algorithm of the FC rotor, significantly improves the adjustment parameters of the electric drive system.

Key words: wind generator, dual power machine, frequency control, static load parrying.

Электротехника, 2022, №2, стр. 7-11

Экспериментальное исследование асинхронного электропривода с частотным управлением

БАЛДЕНКОВ А.А., ЛОГИНОВА Н.А., КОДКИН В.Л.

Выполнен анализ процессов в электроприводе транспортировочных валков линии окраски листовых материалов. В приводе были применены локальные динамические положительные обратные связи (ДОС+) по активному току статора асинхронного электродвигателя – сигналу, близкому к значению момента, развиваемого двигателем. Токовые диаграммы, полученные во время рабочих циклов в преобразователях частоты приводов транспортирования листовых материалов, показали преимущества этого способа управления по сравнению со скалярным и векторным бездатчиковым управлениями. Эксперименты и моделирование показали, что в статических режимах при парировании нагрузки в приводе с ДОС+ требуемый механический момент формируется при меньших значениях амплитуды статорных токов. Анализ данных, полученных при эксплуатации асинхронных приводов и исследования их модели показали, что коррекция ДОС+ в переходных процессах способна демпфировать колебательные свойства системы электроприводов, вызванные внешними упругими связями или внутренней колебательностью системы.

Ключевые слова: асинхронный электропривод, частотное управление, положительная обратная связь, демпфирование колебаний.

The analysis of processes in the electric drive of the transport rolls of the sheet material coloring line is carried out. Local dynamic positive feedbacks (DOS+) were applied in the drive by the active current of the stator of an asynchronous electric motor - a signal close to the value of the torque developed by the motor. Current diagrams obtained during operating cycles in frequency converters of sheet material transportation drives have shown the advantages of this control method compared to scalar and vector sensorless controls. Experiments and simulations have

shown that in static modes, when parrying the load in a drive with DOS+, the required mechanical moment is formed at lower values of the amplitude of the stator currents. Analysis of the data obtained during the operation of asynchronous drives and studies of their models have shown that the correction of DOS+ in transients is able to dampen the oscillatory properties of the electric drive system caused by external elastic bonds or internal oscillation of the system.

Key words: asynchronous electric drive, frequency control, positive feedback, vibration damping.

Электротехника, 2022, №2, стр. 12-16

Тепловая модель электрической машины прокатного стана

УСЫНИН Ю.С., ГРИГОРЬЕВ М.А.

Предложена тепловая модель обмотки якоря, учитывающая в переходных процессах тепловые характеристики трех главных компонентов якоря: обмотки, ее изоляции и сердечника якоря. Экспериментально определены передаточные коэффициенты изоляционного промежутка, что позволяет достаточно точно описать изменение превышения температуры изоляции на начальной стадии переходного процесса. Получены графики допустимого времени перегрузки прокатного двигателя в зависимости от кратности перегрузки. Даны рекомендации по нагрузке прокатного двигателя, которые оформлены в виде графика, учитывающего неравномерность нагрева различных участков поверхности секции обмотки якоря в переходных процессах.

Ключевые слова: прокатный стан, электродвигатель, переходные процессы, тепловая модель.

A thermal model of the armature winding is proposed, which takes into account the thermal characteristics of the three main components of the armature in transient processes: the winding, its insulation and the armature core. The transfer coefficients of the insulation gap have been experimentally determined, which makes it possible to accurately describe the change in the excess of the insulation temperature at the initial stage of the transition process. Graphs of the permissible overload time of the rolling motor depending on the multiplicity of overload are obtained. Recommendations are given on the load of the rolling motor, which are designed in the form of a graph that takes into account the uneven heating of various sections of the surface of

the armature winding section in transients.

Key words: rolling mill, electric motor, transients, thermal model.

Электротехника, 2022, №2, стр. 17-21

Электропривод системы верхнего привода буровой установки

БЕЛОУСОВ Е.В., ГРИГОРЬЕВ М.А., ХРЮКИН Д.Ю.

Статья посвящена возможности увеличения диапазона регулирования момента системы верхнего привода (СВП) буровой установки за счет использования в механическом канале трёхрядного планетарного редуктора. Посредством электромагнитных муфт возможно направить механическую энергию или через все три ряда, или через второй и третий ряды редуктора. Тем самым становится возможным изменять передаточное число планетарного редуктора дистанционно, что крайне важно для СВП. В результате удаётся добиться более высоких энергетических показателей электроустановки при бурении и на малой, и на большой глубине. В обоих случаях двигатель работает в режиме, близком к номинальному. Использование пониженной передачи позволит также снизить пиковые токи при раскреплении колонны труб. Гипотеза Проверка выполнена на математической модели, где электропривод был представлен системой «преобразователь – двигатель» с векторной системой управления. Потребляемая мощность измерялась на входе преобразователя частоты при имитации большой и малой нагрузки и изменении передаточного числа редуктора. Путем оптимального выбора номинальной точки и соотношения передаточных чисел редуктора при работе в обычном режиме и на пониженной передаче удалось добиться повышения энергоэффективности на 4–8,5 % в зависимости от глубины бурения.

Ключевые слова: буровая установка, система верхнего привода, планетарный редуктор, математическая модель, энергоэффективность.

The article is devoted to the possibility of increasing the torque control range of the upper drive system (SVP) of the drilling rig due to the use of a three-row planetary gearbox in the mechanical channel. By means of electromagnetic couplings, it is possible to direct mechanical energy either through all three rows, or through the second and third rows of the gearbox. Thus, it becomes possible to change the gear ratio of the planetary gearbox remotely, which is

extremely important for SVP. As a result, it is possible to achieve higher energy indicators of the electrical installation when drilling at both shallow and deep depths. In both cases, the engine operates in a mode close to the nominal. The use of a reduced transmission will also reduce peak currents when loosening the pipe column. The hypothesis was tested on a mathematical model where the electric drive was represented by a converter –motor system with a vector control system. The power consumption was measured at the input of the frequency converter when simulating a large and small load and changing the gear ratio. By optimal selection of the nominal point and ratio of gear ratios when operating in normal mode and in reduced gear, it was possible to achieve an increase in energy efficiency by 4-8.5%, depending on the drilling depth.

Key words: drilling rig, upper drive system, planetary gearbox, mathematical model, energy efficiency.

Электротехника, 2022, №2, стр. 22-29

Устройства синхронизации активных выпрямителей

ДУДКИН М.М., КУШНАРЕВ В.А., ГРИГОРЬЕВ М.А.

Рассмотрены принципы синхронизации активных выпрямителей вентильных преобразователей с питающей сетью на базе устройства синхронизации со следящей фиксацией точек естественной коммутации напряжения сети (УС-СФ) и принципы его интервально-кодовой диагностики. Приведены временные диаграммы сигналов для исправного состояния УС-СФ и при различных катастрофических отказах, в том числе, исчезновения фазного напряжения и неправильного чередования фаз напряжения сети, а также неисправности, возникающие в самом УС. Приведена сводная таблица десятичных состояний УС-СФ, на ее основе показана возможность диагностики отказов элементов канала синхронизации, а также при исчезновения фазного напряжения и неправильном чередовании фаз. Выполнена минимизация числа кодовых состояний, обеспечивающих достоверность диагностики УС-СФ с локализацией места неисправности. Приведен фрагмент функциональной схемы, поясняющей принцип построения каналов распознавания отказов в УС-СФ.

Ключевые слова: активный выпрямитель, устройство синхронизации, диагностика.

The principles of synchronization of active rectifiers of valve converters with a supply network based on a synchronization device with a tracking fixation of points of natural switching of the mains voltage (SD-TF) and the principles of its interval-code diagnostics are considered. The time diagrams of signals for the serviceable state of the SD-TF and for various catastrophic failures, including the disappearance of phase voltage and incorrect alternation of phases of the mains voltage, as well as malfunctions occurring in the SD itself, are given. A summary table of the decimal states of the SD-TF is given, based on it, the possibility of diagnosing failures of the elements of the synchronization channel, as well as when the phase voltage disappears and the phase alternation is incorrect is shown. The minimization of the number of code states ensuring the reliability of SD-SF diagnostics with localization of the fault location was performed. A fragment of a functional diagram explaining the principle of constructing fault recognition channels in the SD-TF is given.

Key words: active rectifier, synchronization device, diagnostics.

Электротехника, 2022, №2, стр. 30-35

Алгоритм контроля качества напряжения трехфазной сети

ХРИСТИЧ И.О., КОНСТАНТИНОВ К.В., ЕВСТАФЬЕВ А.М., ТЕРЕХИН И.А.,
СЫЧУГОВ А.Н.

Представлен подход к разработке системы управления импульсным преобразователем, позволяющий сводить задачу детектирования в реальном времени отклонений напряжения электрической сети к параметрической настройке компонентов программы. Представлена структура параметризуемых компонентов алгоритма и способ их комбинирования для выполнения поставленной задачи. Показана принципиальная возможность использования результатов работы алгоритма для выработки дискретных и непрерывных сигналов управления импульсным преобразователем в реальном времени. Предлагаемый алгоритм использует для детектирования отклонений напряжения электрической сети набор данных, используемых для векторного управления импульсным преобразователем, в том числе, мгновенные значения линейного напряжения электрической сети.

Ключевые слова: качество электроэнергии, импульсные преобразователи, метод симметричных составляющих, фазовая автоподстройка частоты, бесперебойное питание, системы реального времени, детектирование событий.

An approach to the development of a pulse converter control system is presented, which makes it possible to reduce the task of detecting voltage deviations in the electrical network in real time to parametric tuning of program components. The structure of the parametrizable components of the algorithm and the method of combining them to perform the task are presented. The fundamental possibility of using the results of the algorithm to generate discrete and continuous control signals of a pulse converter in real time is shown. The proposed algorithm uses a set of data used for vector control of a pulse converter, including instantaneous values of the line voltage of the electrical network, to detect voltage deviations of the electrical network.

Key words: power quality, pulse converters, method of symmetric components, phase frequency auto-tuning, uninterruptible power supply, real-time systems, event detection.

Электротехника, 2022, №2, стр. 36-39

Модель теплового потока обмотки статора асинхронного тягового электродвигателя

ГРАЧЕВ В.В., ГРИЩЕНКО А.В., КИСЕЛЕВ И.Г., КУРИЛКИН Д.Н., ШПРАЙБЕР М.А.

Предложена тепловая модель асинхронного тягового электродвигателя с сосредоточенными параметрами, позволяющая быстро и точно оценить распределение температуры в отдельных частях обмотки статора двигателя. Точность расчета такой модели зависит от точных знаний тепловых коэффициентов и, что более важно, распределения потерь. Предложен модифицированный метод определения температуры обмотки статора с использованием тепловой модели асинхронного тягового электродвигателя с сосредоточенными параметрами.

Ключевые слова: асинхронный тяговый электродвигатель, обмотка статора, тепловая модель, теплопередача, распределение температуры, тепловой коэффициент.

A thermal model of an asynchronous traction electric motor with concentrated parameters is proposed, which makes it possible to quickly and accurately estimate the temperature distribution in certain parts of the motor stator winding. The accuracy of calculating such a model depends on accurate knowledge of the thermal coefficients and, more importantly, the distribution of losses. A modified method for determining the temperature of the stator winding

using a thermal model of an asynchronous traction motor with concentrated parameters is proposed.

Key words: asynchronous traction electric motor, stator winding, thermal model, heat transfer, temperature distribution, thermal coefficient.

Электротехника, 2022, №2, стр. 40-45

Моделирование электропривода с асинхронным двигателем в аварийных и нештатных режимах преобразователя частоты

ПУГАЧЕВ А.А., МОРОЗОВ С.В., ТРЕТЬЯКОВ А.В., ВИКУЛОВ И.П.

Приведены структурные схемы двухуровневого инвертора и трехуровневого инвертора с фиксирующими диодами, проанализированы принципы их работы и порядок формирования выходного напряжения. Проанализированы типовые неисправности преобразователей частоты; показано, что большинство аварийных и нештатных режимов связано с коротким замыканием одиночного транзистора инвертора или отсутствием управляющих импульсов на его затворе. Исследовано влияние этих неисправностей на динамику электропривода. Приведены результаты моделирования электроприводов с рассматриваемыми типами автономных инверторов напряжения. Установлено, что при исчезновении управляющих импульсов с затвора транзистора переходные процессы в инверторах с различными топологиями качественно и количественно практически не различаются; короткое замыкание одиночного транзистора в трехуровневом инверторе имеет менее негативные последствия по отношению к двухуровневому инвертору – максимальное значение тока в переходном процессе почти в четыре раза меньше, максимальное значение момента – примерно в 2,5 раза меньше.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, автономный инвертор напряжения, короткое замыкание, обрыв, переходный процесс, моделирование.

The structural diagrams of a two-level inverter and a three-level inverter with locking diodes are given, the principles of their operation and the order of formation of the output voltage are analyzed. Typical malfunctions of frequency converters are analyzed; it is shown that most emergency and abnormal modes are associated with a short circuit of a single inverter transistor or the absence of control pulses on its gate. The influence of these malfunctions on the dynamics

of the electric drive is investigated. The results of modeling electric drives with the considered types of autonomous voltage inverters are presented. It is established that when the control pulses disappear from the transistor gate, transients in inverters with different topologies practically do not differ qualitatively and quantitatively; a short circuit of a single transistor in a three-level inverter has less negative consequences in relation to a two-level inverter – the maximum value of the current in the transient is almost four times less, the maximum value of the moment is about 2.5 times less.

Key words: asynchronous motor, autonomous voltage inverter, short circuit, breakage, transient, simulation.

Электротехника, 2022, №2, стр. 46-51

Зависимость динамической устойчивости линии электропередачи от степени компенсации промежуточного синхронного компенсатора

КИМ К.И., КИМ К.К., САЦУК Т.П., АНИСИМОВ Г.Н.

В статье исследована пропускная способность линии электропередачи при неполной компенсации. Для случая одной линии электропередачи определена зависимость между предельной мощностью по условиям динамической устойчивости и степенью компенсации промежуточного синхронного компенсатора. При этом сделано допущение, что ЭДС генератора и компенсатора за их переходным реактивным сопротивлением – величины постоянные. Это позволило использовать энергетические функции для оценки устойчивости системы. Показано, что при таком условии предел динамической устойчивости существенно зависит от степени компенсации компенсатора, что в основном наблюдается в области больших степеней компенсации. При малой степени компенсации (не превышающей 50 %) уровень компенсации практически не влияет на предел динамической устойчивости.

Ключевые слова: линия электропередачи, степень компенсации, динамическая устойчивость, переходное реактивное сопротивление, потенциальная функция.

The article examines the transmission capacity of the power line with incomplete compensation. For the case of a single power transmission line, the dependence between the maximum power under the conditions of dynamic stability and the degree of compensation of the intermediate

synchronous compensator is determined. At the same time, it is assumed that the EMF of the generator and the compensator behind their transient reactance are constant values. This made it possible to use energy functions to assess the stability of the system. It is shown that under this condition, the limit of dynamic stability significantly depends on the degree of compensation of the compensator, which is mainly observed in the region of large degrees of compensation. With a small degree of compensation (not exceeding 50%), the level of compensation practically does not affect the limit of dynamic stability.

Key words: power transmission line, compensation degree, dynamic stability, transient reactance, potential function.

Электротехника, 2022, №2, стр. 51-56

Разделительный высокочастотный трансформатор для преобразователей собственных нужд локомотивов с автономными энергоустановками

ПЬЯНЗИНА И.А., ПЬЯНЗИН Д.В.

Разработан силовой разделительный трансформатор для преобразователей собственных нужд локомотивов с автономными энергоустановками – тепловозов и газотурбовозов, работающий на повышенной частоте. Рассмотрены особенности конструктивного исполнения трансформатора с учетом требуемых массогабаритных параметров.

Представлены результаты теплового расчета для различных значений рабочей индукции с учетом выбранного материала и типа магнитопровода, а также описаны особенности обеспечения требуемого сопротивления изоляции между обмотками трансформатора и обмотками и корпусом. Приведены результаты испытаний трансформатора в составе преобразователя собственных нужд ПСН350 при полной нагрузке 350 кВт. Результаты испытаний показали работоспособность трансформатора.

Ключевые слова: высокочастотный трансформатор, магнитные материалы, рабочая индукция, нагрев трансформатора.

A power separation transformer has been developed for converters of the own needs of locomotives with autonomous power plants - diesel locomotives and gas turbine locomotives, operating at an increased frequency. The features of the design of the transformer are considered, taking into account the required weight and size parameters. The results of thermal calculation

for various values of working induction are presented, taking into account the selected material and type of magnetic circuit, and the features of providing the required insulation resistance between the transformer windings and the windings and the housing are described. The results of testing of the transformer as part of the converter of own needs PSN350 at full load of 350 kW are presented. The test results showed the operability of the transformer.

Key words: high frequency transformer, magnetic materials, working electromagnetic induction, heating the transformer.

Электротехника, 2022, №2, стр. 57-63

Модернизация тепловоза и ресурс тягового электродвигателя

ЛОГИНОВА Е.Ю., ВАХРОМЕЕВА Т.О., НЕФЕДОВ Р.А., ПУДОВИКОВ О.Е.

На примере тепловоза, прошедшего модернизацию по увеличению мощности дизель-генераторной установки, выполнен расчет нагрузок штатного тягового электродвигателя ЭД-118А и температур его обмоток в эксплуатации. Показано, что узлом, определяющим ресурс изоляции, является лобовая часть обмотки якоря со стороны привода. Выполнен сравнительный анализ износа изоляции обмоток классов F и H при штатных нагрузках электродвигателя и нагрузках, соответствующих повышенной мощности дизель-генератора. Получено, что для сохранения базового ресурса тягового электродвигателя допустимое увеличение мощности дизель-генератора 2ТЭ116 при модернизации тепловоза не должно превышать 10%.

Ключевые слова: тяговый электродвигатель, тяговый расчёт, ресурс изоляции, температура изоляции, надёжность.

Using the example of a diesel locomotive that has undergone modernization to increase the power of a diesel generator set, the loads of the standard traction electric motor ED-118A and the temperatures of its windings in operation are calculated. It is shown that the node determining the insulation resource is the frontal part of the armature winding on the drive side. A comparative analysis of the insulation wear of the windings of classes F and H is performed at regular loads of the electric motor and loads corresponding to the increased power of the diesel generator. It is found that in order to preserve the basic resource of the traction electric motor, the permissible increase in the power of the 2TE116 diesel generator during the modernization of

the locomotive should not exceed 10%.

Key words: traction electric motor, traction calculation, insulation life, insulation temperature, reliability.

Электротехника, 2022, №2, стр. 63-68

Определение параметров схемы замещения и основных характеристик короткозамкнутых асинхронных двигателей малой мощности на основе анализа сигналов тока и напряжения

Ершов М.С., Комков А.Н., Гамидов О.М.

В работе представлена методика определения параметров схемы замещения и основных характеристик короткозамкнутого асинхронного двигателя, основанная на анализе осциллограмм тока и напряжения по результатам измерения в режиме пуска и холостого хода и дополнительного измерения скорости в установившемся режиме холостого хода. Для реализации методики используются доступные промышленные средства измерения и регистрации электрических сигналов и скорости. Результаты апробированы на примере асинхронного двигателя малой мощности.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, схема замещения, осциллограммы токов и напряжений.

This work presents a method for determining the parameters of the equivalent circuit and the basic characteristics of squirrel-cage induction motor, based on the analysis of oscillograms of current and voltage measurement in the trigger mode and galactogogue and an additional measure of speed in a steady idle. To implement the method, available industrial means of measuring and recording electrical signals and speed are used. The results are tested on the example of a low-power asynchronous motor.

Key words: induction motor, equivalent circuit, oscillograms of current and voltage.

Электротехника, 2022, №2, стр. 69-74

**Производство силовых полупроводниковых приборов из карбида кремния в России
– вызовы и возможности**

АРГАСЦЕВ А.Ю., ГЕЙФМАН Е.М., ЖДАНЕЕВ О.В.

Карбид кремния как материал для силовой электроники интенсивно исследуется в течение последних двух десятилетий и в настоящее время имеется множество коммерчески доступных устройств, которые могут работать при более высоком напряжении, более высокой частоте переключения и более высокой температуре. В статье описано необходимое технологическое оборудование для производства карбида кремния, определены критически важные технологии и меры господдержки, а также целевые программы развития подобного производства.

Ключевые слова: силовые полупроводниковые приборы, силовые преобразователи, карбид кремния, обзор.

Silicon carbide as a material for power electronics has been intensively researched over the past two decades and there are currently many commercially available devices that can operate at higher voltage, higher switching frequency and higher temperature. The article describes the necessary technological equipment for the production of silicon carbide, identifies critical technologies and state support measures, as well as targeted programs for the development of such production.

Key words: power semiconductor devices, power converters, silicon carbide, overview.

Электротехника, 2022, №2, стр. 75-77

Авторы номера

Электротехника, 2022, №2, стр. 78-81

Алексей Владимирович Иванов-Смоленский

(К 100-летию со дня рождения)