

## **Алгоритмы цифровой системы автоматического регулирования натяжения и петли широкополосного стана горячей прокатки**

ШИЛЯЕВ П.В., АНДРЮШИН И.Ю., ГОЛОВИН В.В., РАДИОНОВ А.А., КАРАНДАЕВ А.С., ХРАМШИН В.Р

При производстве горячекатаных полос толщиной 0,8–1,5 мм, являющихся конечной продукцией металлургического предприятия, существенно возрастают требования, предъявляемые к разнотолщинности полосы, которая должна находиться в пределах  $\pm 5\%$ . При таком сортаменте значительное влияние на разнотолщинность оказывают отклонения натяжения. Рассмотрены уточненные алгоритмы вычисления задания момента электропривода петледержателя, задания на угол подъема петледержателя и алгоритм регулирования размера петли в межклетевом промежутке, реализованные в цифровой системе автоматического регулирования натяжения и петли широкополосного стана 2500 горячей прокатки. Экспериментально доказано, что внедрение усовершенствованных алгоритмов и разработанной системы взаимосвязанного регулирования натяжения и толщины обеспечивает выполнение возросших требований по разнотолщинности.

*Ключевые слова:* широкополосный стан горячей прокатки, толщина полосы, натяжение, размер петли, система автоматического регулирования.

Rolling mills producing 0,8–1,5 mm hot rolled strip have to meet the ever growing requirements in terms of strip thickness deviation where a tolerance of  $\pm 5\%$  must be assured. Variation in strip tension has a great impact on thickness deviation when rolling such product range. The authors developed advanced algorithms of set point calculation for the looper electric drive torque/moment, for the looper lifting angle and the algorithm of loop control in the interstand span. These algorithms have been implemented in the digital system of automatic tension and loop control of the 2500 wide strip hot rolling mill. Pilot study proved that introduction of the advanced algorithms and the developed system of interactive tension and thickness control made it possible to meet the stringent thickness deviation requirements.

*Key words:* wide strip hot rolling mill, thickness, loop diameter, automatic control system.

## **Полезные свойства двенадцатифазных преобразователей с управляемым ансамблем гармоник в общем для шестифазных блоков компенсирующем устройстве**

ХОХЛОВ Ю.И., ФЕДОРОВА М.Ю., ХЛОПОВА А.В.

Представлено схемное решение одного из вариантов двенадцатифазных преобразователей с реакторным управлением ансамблем гармоник токов и напряжений в компенсирующем устройстве, общем для двух шестифазных блоков. Приведены временные диаграммы и основные характеристики преобразователя. Для потребителей электрической энергии постоянного тока, расположенных в районе, прилегающем к энергоснабжающей организации, показана целесообразность использования преобразователей с ансамблем нечетно-кратных гармоник. Для удаленных потребителей предложено использовать преобразователи с ансамблем четно-кратных гармоник. С целью повышения устойчивости инверторного режима при рекуперации электрической энергии в питающую сеть, показана целесообразность применения тиристорных преобразователей с ансамблем четно-кратных гармоник. Приведены элементы конструкторского

и дизайнерского решения на примере реактора компенсирующего устройства для преобразователя с ансамблем нечетно-кратных гармоник.

*Ключевые слова:* двенадцатифазный преобразователь, шестифазный блок, ансамбль нечетно-кратных гармоник, ансамбль четно-кратных гармоник, выпрямитель, инвертор, компенсирующее устройство, система электроснабжения, реактор, конструкторское решение.

A scheme decision of one of variants of twelve-phase converters with a reactor control of an ensemble of harmonics of current and voltage in a compensating device common for two six-phase units is set out. Time diagrams and basic characteristics of a converters are given. For electric power consumers of direct current situated in a region adjoining a power supply organization the expediency of using converters with an ensemble of odd-fold harmonics is shown. It is suggested using converters with an ensemble of even-fold harmonics for distant consumers. For the purpose of increasing inverted condition stability when recuperating electric power into a power supply system is given. Some elements of constructive and design decision after the example of a compensating device reactor for a converter with an ensemble of odd-fold harmonics are presented.

*Key words:* twelve-phase converter, six-phase unit, ensemble of odd-fold harmonics, ensemble of even-fold harmonics, rectifier, inverter, compensating device, constructive decision.

### **Спектральные характеристики развертывающих преобразователей с широтно- и частотно-широтной импульсной модуляцией**

ДУДКИН М.М., ЦЫТОВИЧ Л.И., БРЫЛИНА О.Г.

Рассмотрены принципы построения и временные диаграммы сигналов развертывающих преобразователей (РП) с широтно- и частотно-широтной импульсной модуляцией (ЧШИМ), применяемых в аналоговых и цифровых системах управления вентильными преобразователями. На основе математического моделирования в среде MatLab+Simulink выполнен сравнительный анализ спектральных характеристик РП различных классов в широком частотном диапазоне сигнала гармонической помехи. Доказана высокая помехоустойчивость интегрирующих РП с ЧШИМ.

*Ключевые слова:* развертывающий преобразователь, широтно-импульсная модуляция, частотно-широтной импульсная модуляция, интегрирующий преобразователь, спектральные характеристики, помехоустойчивость.

Design principles and timing waveform diagrams of scanning converters (SC) with width- and pulse-frequency-width modulation (PFWM) used in analog and digital control systems by valve inverters are considered. On the basis of mathematical simulation in programming environment MatLab+Simulink the comparative analysis of spectral performances of different mode SC when affecting the harmonic interfering signal in a wide frequency range is fulfilled. The high noise stability of integrating SC with PFWM is proved.

*Key words:* scanning converter, pulse-width modulation, pulse-frequency-width modulation, integrating converter, spectral performances, noise stability.

### **Стартер-генератор для дизельной силовой установки**

ВОРОНИН С.Г., СОГРИН А.И., ШАБУРОВ П.О., ШУМАКОВ Б.Д.

Приведены результаты проектирования стартер-генератора для дизельной силовой установки. Стартер-генератор выполнен на базе бесконтактной электрической машины с возбуждением от постоянных магнитов, имеет дробную зубцовую обмотку, разделенную на две независимые части, питающиеся от отдельных полупроводниковых преобразователей. Получен пусковой момент 1300 Нм, мощность в режиме генератора — до 50 кВт.

*Ключевые слова:* интегрированный стартер-генератор, синхронная машина, постоянные магниты, дробная зубцовая обмотка.

The paper describes the results of designing an integrated starter-generator for a diesel engine. Starter-generator is based on the permanent magnet synchronous machine, has a single-tooth winding, divided into two independent parts, powered by individual power converters. Designed machine has a starting torque 1300 Nm, power to run at the generator — up to 50 kW.

*Key words:* integrated starter-generator, synchronous machine with permanent magnets, fractional-slots winding.

### **Система управления электроприводом с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения**

ГРИГОРЬЕВ М.А.

Приведено математическое описание системы электропривода, указано, что электропривод с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения может быть представлен многоканальной системой, в которой структура каждого канала аналогична структуре электропривода постоянного тока. Предложены структуры управления с независимым и двухзонным регулированием скорости.

*Ключевые слова:* электропривод, синхронная реактивная машина независимого возбуждения, метод конечных элементов, частотные характеристики, структуры управления.

The mathematic model of the electric drive with field regulated reluctance machine is represented. The model of electric drive is the multichannel control system. The each channel of the multichannel control system is equivalent to the DC electric drive control system. The structures with separately excited machine and below and above base speed control are proposed.

*Key words:* electric drive, field regulated reluctance machine, finite elements method, bode diagrams, control system.

### **Импульсно-векторное управление с косвенным определением углового положения ротора**

УСЫНИН Ю.С., СМИРНОВ Ю.С., КОЗИНА Т.А., ВАЛОВ А.В.

Рассмотрена система импульсно-векторного управления с косвенным определением углового положения ротора, использующая оригинальный способ двухэтапного вычисления положения, которая может быть применена в электроприводах с одно- и двухсменными графиками работы с целью энерго- и ресурсосбережения. Предложен и описан двухэтапный алгоритм вычисления положения, основанный на сопоставлении напряжений на обмотках двигателя. Приведены дифференциальные уравнения и функциональные зависимости переменных состояния от угла поворота ротора.

*Ключевые слова:* асинхронный двигатель, фазный ротор, импульсно-векторное управление, математическое моделирование, метод конечных элементов, показатели качества процессов.

The system of impulse-vector control with an indirect determination of the rotor angular position, based on the original two-step method of calculating the position, is considered. The system can be applied in the electric drives with one- and two-shift work schedules to conserve energy and resource. It is proposed and described a two-step algorithm for computing the position basing on a comparison of the motor windings voltages. The differential equations and the functional dependences of the state variables according to the rotational angle of the rotor are given.

*Key words:* induction motor, phase-rotor, impulse-vector control, mathematical simulation, finite element method, control quality.

### **Тиристорное устройство гашения поля синхронного генератора с системой самовозбуждения**

ГОЛЬДШТЕЙН М.Е., ПРОКУДИН А.В.

Рассмотрены параметры идеального процесса гашения поля синхронного генератора, определены критерии обеспечения минимального времени гашения поля, рассмотрены схемы тиристорного устройства гашения поля и приведены результаты экспериментальных испытаний одного из устройств.

*Ключевые слова:* синхронный генератор, система самовозбуждения, гашение поля, тиристорный преобразователь, система управления.

The ideal process parameters field damping of the synchronous generator is the criterias of a minimum time damping considered the field by use thyristor-device, theoretic and practic schemes with the results of tests of the experimental device.

*Key words:* synchronous generator, self-excitation system, damping the field, thyristor rectifier, control system.

### **Моделирование генератора ветроэнергетической установки**

КИРПИЧНИКОВА И.М., МАРТЪЯНОВ А.С., СОЛОМИН Е.В.

Проведен анализ систем возбуждения генераторов ветроэнергетической установки, представлен программный комплекс для моделирования генератора, изложена последовательность проектирования генератора.

*Ключевые слова:* ветроэнергетическая установка, генератор, моделирование, оптимизация.

There is an analysis of the excitation systems of generators, the program for generator modeling is presented, and the sequence of the design process of the generator is described.

*Key words:* wind turbine, generator, simulation, optimization.

### **Векторное управление синхронными двигателями с возбуждением от постоянных магнитов**

ВОРОНИН С.Г., КУРНОСОВ Д.А., КУЛЬМУХАМЕТОВА А.С.

Рассматриваются некоторые схемы и алгоритмы векторного управления синхронным двигателем с возбуждением от постоянных магнитов путём регулирования модуля вектора поля статора и его углового рассогласования относительно вектора поля ротора. Предлагаемые алгоритмы дают возможность простыми средствами обеспечить разнообразный вид механических характеристик двигателя, показывают низкую чувствительность к разбросу параметров двигателя, используют относительно небольшой объём вычислительных процедур и позволяют достаточно просто реализовать разнообразные статические и динамические режимы работы привода, включая режим прямого токового управления, пуска, реверса и т.д. Приводятся результаты моделирования работы привода в статических и динамических режимах.

*Ключевые слова:* синхронные двигатели с постоянными магнитами, векторное управление, бездатчиковое управление, идентификатор двигателя.

There are some of the schemes and algorithms for vector control of synchronous motor with permanent magnet by adjusting magnitude of the vector field of the stator and its angular misalignment relative to the vector field of the rotor discussed in the article. The proposed algorithms make it possible to provide a simple means of diverse kind of mechanical characteristics of the motor, show low sensitivity to the dispersion parameters of the engine, use a relatively small amount of computational procedures and provide an easy way to implement a variety of static and dynamic modes of operation of the drive, including a direct current mode control, starting, reversing and etc. Simulation results of the drive in the static and dynamic modes are presented.

*Key words:* synchronous motors with permanent magnet, vector control, sensorless control, identification of motor.

### **Влияние режима работы силовых кабелей 6(10) кВ на параметры частичных разрядов в изоляции**

КОРЖОВ А.В., КОЗИН А.А.

Выполнены исследования влияния режима работы силовых кабелей 6(10) кВ городских распределительных сетей на параметры частичных разрядов в изоляции. Проанализированы рабочие режимы работы кабеля, режимы после высоковольтных испытаний и коротких замыканий и возможность диагностики однофазного замыкания в распределительной сети 6(10) кВ, определены зависимости изменения интенсивности частичных разрядов в данных режимах.

*Ключевые слова:* силовой кабель 6(10) кВ, режим работы, изоляция, частичные разряды.

Some research results of the city distribution network 6(10) kV power cables operating mode influence on the change of parameters of the partial discharges in insulation are considered. Working modes of power cables, post-high-voltage test regimes, short-circuit regimes and the possibility of the phase-to-ground fault diagnostics in 6(10) kV distribution network are analyzed. Partial discharges intensity dependencies in such regimes are determined.

*Key words:* 6(10) kV power cables, insulation, partial discharges, operating modes.

### **Применение векторно-импульсного способа для пуска двигателей переменного тока**

БАСКОВ С.Н., РАДИОНОВ А.А., СВЯТЫХ А.Б.

Рассмотрен способ плавного пуска асинхронных и синхронных двигателей, основанный на импульсном подключении статора двигателя к питающей сети в моменты, когда положения векторов потокосцепления статора и ротора формируют положительный электромагнитный момент. Представлены принципиальная схема экспериментального устройства плавного пуска, алгоритм ее работы и результаты экспериментов.

*Ключевые слова:* асинхронный двигатель, синхронный двигатель, метод пуска, векторно-импульсное управление, эксперимент.

There has been considered the soft starting method for an asynchronous and synchronous motor based on impulse connection of the motor's stator with the power system when the positions of stator and rotor flux linkage vectors make positive electromagnetic torque. The action chart of the experimental soft starter device, its operating algorithm and the results of the experiments have been shown.

*Key words:* asynchronous motor, synchronous motor, starting method, vector- impulse control, experiment.