

## **Повышение эффективности работы оперативно-диспетчерского персонала путем создания централизованной системы управления уровнями напряжения**

ГВОЗДЕВ Д.Б., ХОЛОПОВ С.С.

Рассматриваются возможность и целесообразность разработки системы централизованного управления уровнями напряжения в сетях 110–220 кВ для решения задачи оптимизации загрузки диспетчерского персонала. Рассмотрен отечественный и зарубежный опыт построения систем централизованного управления уровнями напряжения и проанализирована применимость данных систем для решения поставленных задач. Определены цели функционирования системы, разработаны основные принципы ее работы и установлены конкретные требования к устройствам управления, исполнения и измерения, входящим в состав системы. Разработан алгоритм согласованного управления исполнительными устройствами в виде устройств компенсации реактивной мощности и устройств регулирования напряжения. Проанализирована эффективность работы алгоритма в тестовой электрической сети.  
*Ключевые слова:* электрические сети, управление напряжением, потери активной мощности, эффективность управления

## **Achieving More Efficient Work of Operative Dispatch Control Personnel through Setting Up a Centralized Voltage Level Control System**

D.B. GVOZDEV and S.S. KHOLOPOV

The possibility and advisability of developing a system for centralized control of voltage levels in 110–220 kV networks for optimizing the burden imposed on the dispatch control operators re considered. National and foreign experience gained with construction of systems for centralized control of voltage levels are considered, and applicability of these systems for solving the abovementioned problems is analyzed. The system operation objectives are determined, the main principles of its operation are developed, and specific requirements for the control, actuation, and measurement devices used as part of the system are established. An algorithm for coordinated control of actuator sin the form of reactive power compensating devices and voltage control devices is developed. The algorithm performance efficiency in the test electric network is analyzed.

*Key words:* electric networks, active power losses, control efficiency

**Гвоздев Дмитрий Борисович** окончил горно-электромеханический факультет Кузбасского государственного технического университета (КузГТУ) в 1996 г. В 2000 г. защитил кандидатскую диссертацию в КузГТУ. Директор Ситуационно-аналитического центра ОАО «Российские Сети», доцент кафедры «Электроэнергетические системы» Научно-исследовательского университета «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ»).

**Gvozdev Dmitrii Borisovich** (Moscow, Russia) – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor in the Moscow Power Engineering Institute, Head of the Situational analysis centre at JSC «Russian Grids».

**Холопов Станислав Сергеевич** окончил магистратуру Института электроэнергетики НИУ «МЭИ» в 2015 г. Инженер ЗАО «Российская Корпорация Средств Связи».

**Kholopov Stanislav Sergeyeovich** (Moscow, Russia) – Engineer at the JSC «Russian Telecom Equipment Company».

## **Комбинированный способ определения места повреждения в линии электропередачи переменного тока**

ИВАНОВА Е.А.

Рассмотрены недостатки существующих методов определения места повреждения (ОМП) – импедансного и волнового – в высоковольтных линиях (ВЛ) электропередачи переменного тока. Рассмотрена возможность применения известного спектрального метода ОМП в линиях постоянного тока для ВЛ переменного тока. Описаны причины появления погрешностей спектрального метода ОМП в ВЛ переменного тока и рассмотрены возможные способы борьбы с ними. Приведена оценка влияния переходного сопротивления в месте КЗ на расчет расстояния до места повреждения спектральным методом для ВЛ разных классов напряжения (110, 220 и 330 кВ). Предложен новый комбинированный способ ОМП, основанный на совместном использовании импедансного и спектрального методов ОМП в ВЛ переменного тока. Точность предлагаемого метода по предварительным расчетам не превышает 0,5% длины ВЛ.

*Ключевые слова:* линия электропередачи переменного тока, определение места повреждения, переходное сопротивление, импедансный метод, волновой метод, спектральный метод

### **Combined method for AC transmission line fault location**

Ye.A. IVANOVA

In the article disadvantages of the most popular AC transmission line fault location methods – impedance and travelling wave methods are considered. Application of the known spectrum line fault location method for AC transmission line is investigated. Causes of possible inaccuracies of this approach are described and ways for their prevention are suggested. Influence of the fault impedance on the line fault location using spectrum approach for the AC transmission lines of different voltage types (110 kV, 220 kV and 330 kV) is estimated. New combined method based on the both impedance and spectrum approaches for line fault location in AC power lines is proposed. Error of such approach is considered to be no more than 0,5 % of the faulted AX line length.

*Key words:* AC transmission line, line fault location, fault impedance, impedance approach, travelling wave method, spectrum approach

**Иванова Елена Алексеевна** в 2011 г. окончила электромеханический факультет С.Петербургского политехнического университета. Младший научный сотрудник, аспирант ОАО «Научно-исследовательский институт по передаче электроэнергии постоянным током высокого напряжения».

**Ivanova Elena Alexeyevna** (St. Petersburg, Russia) – Junior research scientist, PhD student at the JSC «High voltage direct current power transmission research institute».

### **Новая декомпозиция узловых цен на вклады ценообразующих заявок при оптимизации режимов электрических систем**

ВАСЬКОВСКАЯ Т.А.

На оптовом рынке электроэнергии расчет узловых цен проводится одновременно с оптимизацией режимов электрической системы. Целевой функцией задачи оптимизации является удовлетворение наиболее эффективного спроса и загрузка наиболее эффективного генерирующего оборудования, ограничениями – нелинейные уравнения установившегося режима, сетевые ограничения, ограничения по напряжению и т.п. Источником для формирования узловых цен являются замыкающие (ценообразующие)

заявки участников. Разложение узловых цен на компоненты позволяет определить факторы, влияющие на узловые цены. Стандартная декомпозиция предполагает разложение цен на системную цену, вклад потерь и системных ограничений. Предлагается новый метод декомпозиции узловых цен, позволяющий определить вклад ценообразующих заявок как совокупный, так и обусловленный сетевыми ограничениями и ограничениями по напряжению. Метод основан на использовании данных оптимального режима и анализе чувствительности задачи оптимизации к ограничениям. Полученная декомпозиция уникальна, а сумма рассчитанных вкладов равна узловой цене. Она может быть использована в мониторинге цен на рынке на сутки вперед и балансирующем рынке, при оценке и объяснении влияния тех или иных факторов на ценообразование. Она позволяет выделять зоны влияния ценообразующих заявок и отвечает на вопрос, какой именно заявкой и насколько сформирована узловая цена. Применение предлагаемого подхода показано на примере электрической системы из пяти узлов при различных случаях ценообразования.

*Ключевые слова:* рынок электроэнергии, электрическая система, узловая модель ценообразования, узловая цена, декомпозиция, ценообразующие заявки

### **A New Decomposition of Nodal Prices for the Contributions of Price Forming Bids in Optimal Power Flow Calculating**

T.A. VASKOVSKAYA

Nodal prices in a wholesale market of electricity are calculated concurrently with optimizing the electric power system operating modes. Meeting the most effective demand and loading the most efficient powergenerating equipment constitute the objective function, and the nonlinear load flow equations, network limitations, voltage limitations, etc. serve as the constraints of the optimization problem. Closing (price forming) bids from the participants are the source for determining the nodal prices. By decomposing nodal prices into components it is possible to determine the factors affecting these prices. According to the standard decomposition procedure, the prices are decomposed into the system price and the contributions due to losses and congestion. A new nodal price decomposition method is proposed, using which it is possible to determine the contribution of price forming bids as a combined one and as resulting from network limitations and voltage limitations. The proposed method is based on using the optimal power flow data and on analyzing the optimization problem sensitivity to constraints. The obtained decomposition is a unique one, and the sum of calculated contributions is equal to the nodal price. It can be used in monitoring the prices in the day ahead market and in the balancing market, as well as in evaluating and explaining the effect of various factors on price formation. It allows one to separate the influencing zones of price forming bids and to answer the following question: due which particular bid and to what extent the price has been formed? The application of the proposed approach is illustrated taking as an example a five node electric power system with different price forming scenarios.

*Key words:* electricity market, electric power system, nodal price, decomposition, price forming bids

**Васьковская Татьяна Александровна** окончила в 2002 г. институт электроэнергетики Московского энергетического института (Технического университета) (ныне Национальный исследовательский университет МЭИ – НИУ «МЭИ»). Там же в 2003 г. защитила кандидатскую диссертацию «Диагностика линейных электрических цепей по частям». Доцент кафедры теоретических основ электротехники НИУ «МЭИ».

**Vaskovskaya Tatiana Aleksandrovna** (Moscow, Russia) – Cand. Sci. (Eng.). Associate

professor of the Department, Scientific and Research University «Moscow Power Engineering Institute».

### **Промышленная безопасность объектов электроэнергетики**

СКОПИНЦЕВ В.А.

На современном этапе развития электроэнергетики в условиях рыночных отношений возникла потребность в разработке показателей и их нормативов для оценок уровня промышленной безопасности при проектировании и эксплуатации энергообъектов. Приведен анализ практики оценки и обеспечения промышленной безопасности в различных странах. Рассмотрены особенности понимания термина «безопасность» с учетом законодательства РФ, обоснование целесообразности оценки уровня промышленной безопасности размером риска. Обоснован подход к определению риска. Для практического использования рекомендуется формула вычисления риска негативных последствий от технологических нарушений, применение которой показано на примерах оценки экономического и социального рисков по статистическим данным о последствиях нарушений в электрических сетях. В энергосистемах необходимо обеспечить формирование достоверной и полной базы данных о технологических нарушениях с отражением не только их причин, но и объемов последствий.

*Ключевые слова:* электроэнергетические объекты, промышленная безопасность, технологические нарушения, риски последствий, показатели, нормативы

### **Industrial Safety of Electric Power Facilities**

V.A. SKOPINTSEV

At the present development stage of electric power industry under the conditions of market relations, a need has arisen to develop indicators and their criteria for estimating the level of industrial safety in designing and operation of power facilities. The approaches applied in different countries to estimating and securing industrial safety are analyzed. The specific features pertinent to understanding the "safety" term taking into account the legislation of the Russian Federation, and the advisability of estimating the industrial safety level in terms of risk amount is discussed. The approach to determining the risk is substantiated. For practical use, it is recommended to use a formula for calculating the risk of negative consequences from technological abnormalities. The application of this formula is illustrated on examples of estimating the economic and social risks from statistical data about the consequences of abnormalities in electric networks. As far as power systems are concerned, arrangements must be taken for setting up a valid and full database on technological abnormalities with reflecting not only their causes, but also the scope of their consequences.

*Key words:* electric power facilities, industrial safety, technological abnormalities, risks of consequences, indicators, standards

**Скопинцев Владимир Алексеевич** окончил электроэнергетический факультет Московского энергетического института в 1965 г. В 1998 г. защитил докторскую диссертацию по анализу аварийности электроэнергетических систем. Начальник департамента ОАО «Институт «Энергосетьпроект».

**Skopintsev Vladimir Alekseyevich** (Moscow, Russia) - Dr. Sci (Eng.). He is Head of the Department the JSC "Institute "Energoset'proekt".

## **Об эффективности использования трансфильтров и сглаживающих дросселей в структурах преобразователей с многоканальным преобразованием**

ХЛАИНГ МИН У, МЫЦЫК Г.С.

В структурах статических преобразователей с многоканальным преобразованием энергетического потока суммирование токов каналов может осуществляться с использованием либо трансфильтров (ТФ), либо сглаживающих дросселей. В статье решается задача сопоставления этих двух альтернативных вариантов по массогабаритному показателю с учетом влияния их на показатели всего преобразователя. В качестве статического преобразователя рассматривается трансформаторно-выпрямительное устройство с двухканальным преобразованием энергетического потока с пульсностью выпрямленного напряжения 12 (ТВУ12). В качестве средств решения поставленной задачи используются имитационное компьютерное моделирование и известные методики расчета массы трансформаторов, трансфильтров и сглаживающих дросселей. Показано, что при равных условиях по заданным показателям качества однозначное и убедительное преимущество имеет вариант с использованием трансфильтров. Вывод распространяется на все классы статических преобразователей с многоканальным преобразованием энергетического потока.

*Ключевые слова:* статический преобразователь, трансформаторно-выпрямительное устройство, многоканальное преобразование, суммирование токов каналов, трансфильтры, сглаживающие дроссели, сопоставление вариантов

## **About the Effectiveness of Using Transfilters and Smoothing Chokes in the Structures of Converters Involving Multichannel Conversion**

KHLAING MIN U and G. S. MYTSYK

In the structures of static converters involving multichannel power flow conversion, the currents of channels can be added using either transfilters (TFs) or smoothing chokes. The article is devoted to comparison of these two alternatives in terms of their combined mass and dimension indicator taking into account its influence on the performance characteristics of the entire converter. A transforming and rectifying device involving two channel conversion of power flow with the DC voltage rectified according to a 12pulse arrangement (TVU12) is considered as the static converter. The formulated problem is solved using computer simulation and the well known procedures for calculating the weight of transformers, transfilters, and smoothing chokes. It is shown that with the same conditions in regard of specified quality indicators, the version involving the use of transfilters is unambiguously and solidly superior to the other ones. This conclusion is valid to all classes of static converters with multichannel conversion of power flow.

*Key words:* static converter, transforming and rectifying device, multichannel conversion, adding of channel currents, transfilters, smoothing chokes, comparison of versions

**Хлаинг Мин У** (Союз Мьянма) защитил в МЭИ в 2009 г. кандидатскую диссертацию «Исследование эффективности использования промежуточного высокочастотного преобразования при построении статических преобразователей и систем на их основе». Докторант кафедры «Электротехнические комплексы автономных объектов» МЭИ.  
**Khlaing Min U.** (Union M'yanma) – Cand. Sci. (Eng.), MPEI.

**Мыцык Геннадий Сергеевич** окончил Московский энергетический институт (МЭИ) в 1964 г. Защитил в МЭИ в 2001 г. докторскую диссертацию «Методология структурно-алгоритмического синтеза и анализа малоискажающих устройств силовой электроники для электротехнических комплексов автономных объектов». Профессор кафедры

«Электротехнические комплексы автономных объектов» МЭИ.

**Mytsyk Gennadii Sergeevich** (Moscow, Russia) – Dr. Sci. (Eng.), Professor from the «Electrical complexes of autonomous objects» Department, Moscow Power Engineering Institute (MPEI).

### **Преобразование линеаризованных дискретных структурных динамических моделей импульсных преобразователей**

БЕЛОВ Г.А.

Предложена основанная на теории смещенного z-преобразования методика упрощающих преобразований линеаризованных дискретных структурных динамических моделей импульсных преобразователей постоянного напряжения (ППН) в режиме прерывистого тока. Методика является общей для всех трех рассматриваемых схем – понижающей, повышающей и инвертирующей. Преобразуемые модели основаны на предложенных автором дискретных структурных динамических моделях силовых частей ППН. Основной особенностью, затрудняющей их широкое применение на практике, является наличие в них до четырех замкнутых контуров с импульсными элементами, работающими синхронно, но не синфазно; присутствуют также импульсные элементы, осуществляющие амплитудно-импульсную модуляцию (АИМ) как первого, так и второго рода. В результате преобразований получены структурные модели, в которых исключен внутренний контур с идеальным импульсным элементом, через который осуществляется отрицательная обратная связь по току дросселя, охватывающая динамическое звено с передаточной функцией, равной операторной проводимости дросселя. Существенно упрощен внутренний контур с импульсным элементом, выполняющим АИМ второго рода, через который осуществляется отрицательная обратная связь по выходному напряжению ППН. Обратная связь охватывает два последовательно включенных динамических звена модели силовой части.

*Ключевые слова:* импульсный преобразователь, режим прерывистого тока, дискретные динамические структурные модели, упрощающие преобразования, смещенное z-преобразование

### **Transformation of Linearized Discrete Structural Dynamic Models of Impulse Converters for Simplifying Them**

G.A. BELOV

A procedure for carrying out simplifying transformations of linearized discrete structural dynamic models of impulse DC voltage converters (DCVCs) operating in an intermittent current mode (ICM) developed using the modified z-transform theory is proposed. The developed procedure is common for all of the three considered arrangements, namely, the step down, step up, and inverting ones. The models being transformed are based on the DCVC power part's discrete structural dynamic models proposed by the author. The main specific feature of these models that hinders their wide use for practical applications is that they contain up to four closed loops with impulse elements operating synchronously but not in phase; they also contain elements performing pulse-amplitude modulation (PAM) of both the first and second kind. As a result of transformations, structural models are obtained that do not contain the inner loop with the ideal impulse element through which negative choke current feedback is implemented, which embraces the dynamic section with the transfer function equal to the operator choke admittance. The inner loop with the impulse element performing the PAM of the second kind, through which negative DCVC output voltage feedback is performed, is



simplified to an essential extent. This feedback embraces two series connected dynamic sections of the power part model.

*Key words:* impulse converter, intermittent current mode, discrete dynamic models, simplifying transformations, modified z-transform

**Белов Геннадий Александрович** окончил факультет электронной техники Московского энергетического института (МЭИ) в 1962 г. Докторскую диссертацию «Развитие теории и разработка импульсных преобразователей постоянного напряжения» защитил в МЭИ в 1991 г. Заведующий кафедрой промышленной электроники Чувашского государственного университета.

**Belov Gennadii Aleksandrovich** (Cheboksary, Russia) – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department, Chuvash State University.

### **Синтез системы управления многоканальным объектом**

СИМАКОВ Г. М., ФИЛЮШОВ Ю. П.

На основе принципа максимума представлен метод синтеза управления выходными величинами многоканального взаимосвязанного объекта. Показано, что оптимальное по быстродействию управление должно обеспечивать регулирование задаваемых переменных с одинаковым темпом, что достигается путем синтеза управляющего воздействия. Это ключевое положение справедливо для многоканальных объектов, в которых можно осуществить развязку внутренних обратных связей. Задаваемое соотношение между регулируемыми переменными сохраняется во всем временном интервале, не нарушая оптимальности переходных процессов. Критерием оптимальности является время.

*Ключевые слова:* многоканальный объект, оптимальное управление, принцип максимума

### **Synthesizing the Control System for a Multichannel Plant**

G.M. SIMAKOV and Yu.P. FILYUSHOV

A method for synthesizing a system for controlling the output variables of a multichannel interlinked plant based on the maximum principle is presented. It is shown that the control optimal in terms of response speed should ensure control of the specified variables with the same rate, which is achieved by synthesizing the appropriate control output. This key statement is valid for multichannel plants in which their inner feedbacks can be decoupled. The specified correlation between the controlled variables is retained in the entire time interval without upsetting the optimality of transients. Time serves as the optimality criterion.

*Key words:* multichannel plant, optimal control, maximum principle

**Симаков Геннадий Михайлович** окончил Новосибирский электротехнический институт в 1964 г. В 2005 г. защитил докторскую диссертацию «Развитие теории и основы построения быстродействующего позиционного микроэлектропривода постоянного тока с разрывным управлением». Профессор кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Новосибирского государственного технического университета (НГТУ).

**Simakov Gennadii Mikhailovich** (Novosibirsk, Russia) – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Novosibirsk State Technical University (NSTU).

**Филюшов Юрий Петрович** окончил НГТУ в 1985 г. В 2007 г. защитил кандидатскую диссертацию «Многокритериальная оптимизация работы машины переменного тока» Инженер Производственного объединения «Север».

**Filyushov Yurii Petrovich** (Novosibirsk, Russia) – Cand. Sci. (Eng.), Engineer, Production Association «Sever»

### **Анализ частотных характеристик неорганических диэлектриков с одним типом релаксаторов**

КОСТЮКОВ Н.С., ЩЕРБАКОВА Е.В., СОКОЛОВА С.М.

На основе теории вынужденных колебаний определены действительная и мнимая части поляризуемости для упругого и релаксационного характера колебаний ионов в области релаксационной поляризации, дан анализ диэлектрических характеристик и тангенса угла диэлектрических потерь для неорганических материалов с одним типом релаксатора в зависимости от вида его колебаний. Показано, что в диэлектриках с одним типом релаксатора в области частот  $\omega\omega < 0$  диэлектрическая проницаемость описывается одним видом формул независимо от вида колебаний: упругих (при  $b < \omega 0$ ) или релаксационных (при  $b > \omega 0$ ). Поляризация на данных частотах не дает вклада в диэлектрические потери, которые в этом случае определяются только потерями проводимости. При  $\omega\omega > 0$  колебания релаксаторов находятся в инфракрасной, видимой и ультрафиолетовой областях спектра. В области дисперсии формулы, описывающие диэлектрические характеристики для упругих ( $b < \omega 0$ ) и релаксационных ( $b > \omega 0$ ) колебаний, различны. *Ключевые слова:* поляризуемость, диэлектрическая проницаемость, диэлектрические потери, резонансная частота, релаксационная область, керамические диэлектрики

### **Analyzing the Frequency Responses of Inorganic Dielectrics with One Type of Relaxation Oscillators**

N.S. KOSTYUKOV, E.V. SHCHERBAKOVA, and S.M. SOKOLOVA

The real and imaginary polarizability components for the elastic and relaxation oscillation patterns of ions in the relaxation polarization domain are determined based on the theory of forced oscillations, and the dielectric characteristics and dielectric loss tangent of inorganic materials with one type of relaxation oscillator are analyzed as a function of the kind of its oscillations. It is shown that the dielectric constant of dielectrics with one type of relaxation oscillator is described in the frequency band by formulas of the same kind irrespectively on the type of oscillations: elastic (at  $b < \omega 0$ ) or relaxation ones (at  $b > \omega 0$ ). The polarization at these frequencies does not make contribution in dielectric losses, which are determined in this case only by the conductivity losses. At  $\omega\omega > 0$  the oscillations of relaxation oscillators are in the infrared, visible, and ultraviolet regions of the spectrum. In the dispersion region, the formulas describing the dielectric characteristics for elastic oscillations ( $b < \omega 0$ ) differ from those describing similar characteristics for relaxation oscillations ( $b > \omega 0$ ).

*Key words:* polarizability, dielectric constant, dielectric losses, resonance frequency, relaxation region, ceramic dielectrics

**Костюков Николай Сергеевич** окончил физико-математический факультет Воронежского государственного университета в 1949 г. В 1972 г. защитил докторскую диссертацию «Действие облучения на керамические электроизоляционные материалы» в Томском политехническом институте (ТПИ). Главный научный сотрудник Амурского государственного университета (АмГУ), г. Благовещенск.



**Kostyukov Nikolai Sergeevich** (Blagoveshchensk, Russia) – Dr. Sci. (Eng.), Chief scientific researcher, Amur State University.

**Щербакова Елена Владимировна** окончила физико-математический факультет Благовещенского педагогического института в 1987 г. В 1997 г. защитила кандидатскую диссертацию «Некоторые аспекты влияния нейтронного облучения на диэлектрические и оптические свойства керамических диэлектриков в области УФ-, видимых и ИК-частот» в Амурском комплексном НИИ, г. Благовещенск. Заведующая кафедрой общеобразовательных дисциплин Амурского филиала морского государственного университета им. адм. Г.И. Невельского.

**Shcherbakova Elena Vladimirovna** (Blagoveshchensk, Russia) – Cand. Sci. (Eng.), Head of the Department, Amur Branch of G.I. Nevel'skii Sea State University.

**Соколова Светлана Михайловна** окончила химико-технологический факультет Томского политехнического института в 1989 г. В 2008 г. защитила кандидатскую диссертацию «Диэлектрические свойства керамических материалов и стеклоприпоев для гермовводов» в АмГУ. Научный сотрудник Института геологии и природопользования Дальневосточного отделения РАН, г. Благовещенск.

**Sokolova Svetlana Mikhailovna** (Blagoveshchensk, Russia) – Cand. Sci. (Eng.), Scientific researcher, Geology and Nature Institute, Far-East Branch of Russian Academy of Sciences.

**Геннадий Иванович Мещанов** (К 75-летию со дня рождения)  
**Gennadii Ivanovich Meshchanov** (to mark the 75<sup>th</sup> Annivercary)

**Алексей Петрович Бурман** (Некролог)  
**Aleksei Petrovich Burman** (Obitary)