

Обязательный экземпляр

На правах рукописи



Сидоренко Александр Александрович

**ПОДАВЛЕНИЕ КОНДУКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ
В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ ВОДНОГО
ТРАНСПОРТА**

**Специальность 05.14.02 - Электростанции и
электроэнергетические системы**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Новосибирск 2006

Работа выполнена в ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Иванова Елена Васильевна

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Лизалек Николай Николаевич

доктор технических наук, профессор
Хрущев Юрий Васильевич;

Ведущая организация - **ОАО «Иртышское пароходство»**

Защита состоится 12 мая 2006 г. в 10 часов (ауд. 227) на заседании диссертационного совета Д 223.008.01 при ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта» по адресу: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, НГАВТ (тел/факс 22-49-76, E-mail: ngavt@ngs.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Автореферат разослан 11 апреля 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



В.Ф. Тонышев

2006 А
8269

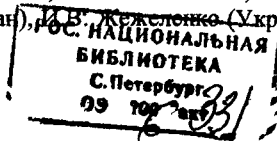
Актуальность темы. Электромагнитная совместимость (ЭМС) линий электропередачи различного напряжения с техническими средствами, в том числе и между собой, представляет глобальную проблему в электроэнергетике, которую министры энергетики восьми ведущих промышленно развитых стран (страны «Группы восьми») на встрече 03.05.2002 г. в США (г. Детройт, штат Мичиган) рекомендовали решать объединенными усилиями. Для этого в Международной электротехнической комиссии (МЭК) существует Технический кабинет №77 «Электромагнитная совместимость электрооборудования, присоединенного к общей электрической сети», а в Международной конференции по большим энергетическим системам (СИГРЭ) созданы специальные рабочие группы. В связи с интеграцией Европейских стран имеется еще Европейский (региональный) комитет GENELEC.

Проблема ЭМС технических средств в отдельных регионах Сибири с мощным водным транспортом в настоящее время обострилась по объективным причинам из-за спада производства военно-промышленного комплекса и наоборот подъема производства в отдельных районах, где ощущается дефицит электрической энергии. В этих регионах изменился баланс электрической мощности и, как следствие, произошло изменение интегрального показателя региональных электроэнергетических систем (ЭЭС) мощности трехфазного короткого замыкания (КЗ). Это вызвало усиление влияния нелинейной (искажающей) нагрузки в основном предприятий тяжелой промышленности и электрифицированного железнодорожного транспорта, работающего в предельных режимах, на электрические сети различного напряжения.

Наиболее подверженным гармоническому воздействию на водном транспорте являются электрические сети и электрооборудование транспортных терминалов (речные порты) по переработке грузов совместно с электрифицированным железнодорожным транспортом. Искажение формы кривой напряжения в питающей сети вызывает:

- нарушение нормальной работы устройств релейной защиты, автоматики и связи;
- интенсивное старение изоляции электроустановок и кабельных сетей;
- уменьшение коэффициента мощности и увеличение потерь электрической энергии из-за отказов конденсаторов, применяемых для компенсации реактивной мощности на порталных кранах;
- увеличения тока замыкания на землю и снижения надежности работы сетей 10 кВ, обусловленное увеличением случаев однофазных замыканий на землю и переходом их в двух и трехфазные КЗ.

Исследования отечественных и зарубежных ученых С.Р. Глинтерника, М.П. Бадера, Г.Я. Вагина, Н.Н. Лизалека, В.Г. Сальникова, В.В. Шевченко (Россия), Г.Г. Трофимова (Казахстан), И.В. Желелонко (Украина), Н.



Майер, К. Меллер, А. Шваб (Германия), Рене Пелисье (Франция) и др. охватывают различные аспекты обеспечения ЭМС технических средств в электрических сетях. Однако рассматриваемая проблема достаточно многогранна и одна из научных задач - подавление кондуктивных электромагнитных помех (ЭМП) по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения не решена. В частности, нет алгоритма подавления этой помехи в сети, подверженной гармоническому воздействию; критерия её распределения в ЭЭС; методики построения эффективной системы электроснабжения новых транспортных терминалов, строящихся в Сибири.

В связи с изложенным тема диссертации является актуальной.

Связь темы диссертации с общенаучными (государственными) программами и планом работы академии. Работа выполнялась в соответствии с научными направлениями технического комитета № 77 МЭК и рабочих групп СИГРЭ, с рекомендациями министров энергетики восьми ведущих промышленно развитых стран (страны «Группы восьми»), с научной целевой комплексной темой «Разработка мероприятий по повышению надежности работы оборудования в условиях пониженных температур» Новосибирской государственной академии водного транспорта (гос. Регистр. № 0188.0004137).

Целью работы является разработка критерия распространения кондуктивной ЭМС по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения, алгоритма подавления кондуктивной электромагнитной помехи по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения в распределительных сетях ЭЭС, методики выбора параметров и схемы эффективной системы электроснабжения береговых объектов водного транспорта, подверженных гармоническому воздействию.

Идея работы заключается в выражении гармонического воздействия на электрические сети береговых объектов водного транспорта через кондуктивную ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения, в установлении её связей с ЭМС технических средств и параметрами ЭЭС, воздействуя на которые можно повысить эффективность системы электроснабжения.

Методы исследования. В процессе выполнения исследования применялись: научно-техническое обобщение литературных источников по исходным предпосылкам исследований, методы теоретических основ электротехники и теории электрических сетей, методы математической статистики и теории вероятностей, метод аналитических исследований (гармонический анализ), рекомендованные Госстандартом России методы и средства измерения показателей качества электроэнергии (КЭ), методы математической обработки экспериментальных исследований и теории ошибок.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются: отбором значимых для проведения научных исследований процессов; принятыми уровнями допущений при ма-

темагическом описании явлений; исследованиями погрешностей разработанных математических моделей; обоснованностью исходных посылок, вытекающих из фундаментальных законов естественных наук; удовлетворительным совпадением результатов теоретических исследований с результатами экспериментов, выполненных в реальных сетях; достаточным объемом экспериментальных исследований.

Научная новизна работы заключается в развитии методов подавления кондуктивных ЭМП в ЭЭС, распространяющихся по сетям, теории ЭМС технических средств. Характеризуется следующими новыми научными положениями:

- установлены на основе измерений в сетях от 10 до 110 кВ береговых объектов водного транспорта Омского Прииртышья законы и параметры распределения кондуктивных ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения, необходимые для оценки ЭМО и уровней ЭМС технических средств;

- определён критерий распределения в ЭЭС кондуктивной ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения;

- разработан алгоритм подавления кондуктивной ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения в распределительных сетях ЭЭС;

- предложена методика выбора параметров и схемы эффективной системы электроснабжения береговых объектов водного транспорта, подверженных гармоническому воздействию.

Практическая ценность работы заключается в том, что внедрение следующих научных результатов в проектную и эксплуатационную практику обеспечивает повышение помехоустойчивости сетей береговых объектов водного транспорта при гармоническом воздействии, что повышает уровень ЭМС технических средств и эффективность электроснабжения:

- численные значения критерия распределения кондуктивной ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения в сетях от 10 до 330 кВ ЭЭС;

- алгоритм подавления кондуктивной ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения в распределителях сетей ЭЭС;

- методика выбора и параметров схемы эффективной системы электроснабжения береговых объектов водного транспорта, подверженных гармоническому воздействию.

Реализация работы. Разработанные в диссертации научные положения (алгоритм подавления кондуктивной ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения, методика выбора параметров и схемы эффективной системы электроснабжения береговых объектов водного транспорта, подверженных гармоническому воздействию) внедрены в ОАО «Омский речной порт». Годовой экономический эффект составляет 123 тыс. рублей. Социальный эффект обуславливается за счет повышения

качества электроэнергии в части городской сети 10 кВ, которая подключена к ТП ОАО «Омский речной порт». Результаты диссертационной работы внедрены также в учебный процесс Омского филиала ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта» по дисциплине «Энергосберегающие технологии» для студентов специальностей 180404 и 180104.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались, обсуждались и были одобрены:

– на международной научно-технической конференции «Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт» (18-19 дек. 2002, Новосибирск, Россия);

– на отраслевой научно-технической конференции «Конференция научно-технических работников ВУЗов и предприятий по энергетике и транспорту» (12-14 март., 2003, Новосибирск);

– на республиканском научно-техническом семинаре «Электромагнитная совместимость технических средств в электрических сетях» (23-24 окт., 2003, Павлодар, Казахстан);

– на второй международной научно-технической конференции «Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт» (8-11 сент., 2004, Тобольск, Россия).

На защиту выносятся следующие научные положения и результаты.

1. Результаты экспериментальных исследований кондуктивных ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения δK_U в сетях от 10 до 110 кВ береговых объектов водного транспорта Омского Прииртышья:

– закон и параметры распределения кондуктивной ЭМП δK_U в сети 110 кВ общего назначения Омского Прииртышья, вероятность её появления;

– закон и параметры распределения кондуктивной ЭМП δK_U в сети 10 кВ Омского речного порта, вероятность её появления;

– закон и параметры распределения этой кондуктивной ЭМП δK_U в сети 35 кВ Омского судоремонтного завода, вероятность её появления.

2. Критерий распределения кондуктивной ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения в ЭЭС.

3. Алгоритм подавления кондуктивной ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения в сетях ЭЭС.

4. Методика выбора параметров и схемы эффективной системы электроснабжения предприятий водного транспорта.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 17 научных работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка использованной литературы и приложений. Изложена на 125 страницах машинописного текста, содержит 29 рисунков, 9 таблиц, список использованной литературы из 89 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и идея исследований. Представлены научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Сформулированы научные положения, выносимые на защиту. Отражен уровень апробации и объем публикаций по теме диссертации.

В первой главе проведен анализ содержания проблемы ЭМС технических средств в системах электроснабжения береговых объектов водного транспорта, подверженных гармоническому воздействию, и научных исследований в этом направлении.

Для электрических сетей от 10 до 110 кВ береговых объектов водного транспорта наиболее важной задачей является обеспечение регламентируемых ГОСТом 13109-97 уровней ЭМС технических средств по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения K_U . Для этого необходимо подавить кондуктивные ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения. По литературным источникам установлено, что определить эти помехи можно только статистическими методами.

Проведен ретроспективный анализ основных источников кондуктивных ЭМП, обусловленных несинусоидальностью токов и напряжений. Основными источниками этих помех являются вентильные преобразователи, применяемые в промышленности, на электрифицированном железнодорожном транспорте и в нефтедобывающей отрасли. Это обусловило выбор этих устройств для анализа влияния нелинейной нагрузки на качество электроэнергии в сетях от 10 до 110 кВ и определения параметров распределения кондуктивных ЭМП в ЭЭС.

Вторая глава посвящена исследованию кондуктивных ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения в сетях от 10 до 110 кВ береговых объектов водного транспорта Омского Прииртышья.

На основании ретроспективного анализа методов исследования ЭМО в сетях, подверженных гармоническому воздействию, выбран алгоритм расчета кондуктивных ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения, основанный на использовании экспериментальных исследований показателей (КЭ).

Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения связан с полем событий и характеризуется таблицей вероятностей

$$\left(K_{U1}; K_{U2}; K_{U3}; \dots ; K_{Un} \right), \quad (1)$$

$$P_1; P_2; P_3; \dots ; P_n$$

где $K_{U1}; K_{U2}; K_{U3}; \dots ; K_{Un}$ - различные значения K_U в течение суток;
 $P_1; P_2; P_3; \dots ; P_n$ - вероятность появления значений K_U .

При превышении нормально допустимого значения коэффициента $K_{U,n}$ часть поля событий (1) обуславливает кондуктивную ЭМП, вызванную особенностями технологического процесса производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии. Достоверное значение этой кондуктивной ЭМП может быть определено только статистическими методами, а процесс её возникновения представляется математической моделью

$$K_U [P(K_{U,n} \leq K_U \leq K_{U,n}) > 0,05; P(K_{U,n} < K_U < \infty) \neq 0] \subset \delta K_U, \quad (2)$$

где δK_U - кондуктивная ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения, %; $K_{U,n}$ и $K_{U,n}$ - соответственно нормально и предельно допустимые значения K_U , обусловленные величиной номинального напряжения в сети.

Таким образом, кондуктивная ЭМП δK_U появляется в сети тогда, когда вероятность нахождения K_U в течение суток в пределах $(K_{U,n}; K_{U,n})$ превышает 0,05, а в пределах $(K_{U,n}; \infty)$ не равна нулю. Эта кондуктивная ЭМП появляется также при выполнении только одного условия, является производящей функцией непрерывно распределенной случайной величины K_U .

Интегральные функции распределения в интервалах $(K_{U,n}; K_{U,n})$ и $(K_{U,n}; \infty)$ определяется соответственно по формулам

$$P(K_{U,n} \leq K_U \leq K_{U,n}) = \int_{K_{U,n}}^{K_{U,n}} \varphi\{K_U, M[K_U], \sigma[K_U]\} d(K_U), \quad (3)$$

$$P(K_{U,n} < K_U < \infty) = \int_{K_{U,n}}^{\infty} \varphi\{K_U, M[K_U], \sigma[K_U]\} d(K_U), \quad (4)$$

где $\varphi\{K_U, M[K_U], \sigma[K_U]\}$ - плотность вероятности распределения величины K_U , 1/%; $M[K_U]$ - математическое ожидание, %; $\sigma[K_U]$ - среднее квадратическое отклонение, %.

Кондуктивная ЭМП δK_U , как производящая функция K_U , обладает на основании теоремы о равенстве начальных моментов и следствия о равенстве центральных моментов свойствами:

$$M\{K_U\} = M\{\delta K_U\}, \sigma\{K_U\} = \sigma\{\delta K_U\},$$

а на основании следствия из теоремы единственности и теоремы непрерывности теории производящих функций характеризуется равенством

$$\varphi\{K_U, M\{K_U\}, \sigma\{K_U\}\} = \varphi\{\delta K_U, M\{\delta K_U\}, \sigma\{\delta K_U\}\}. \quad (5)$$

Приведены результаты измерений коэффициента K_U в сети 110 кВ общего назначения Омского Прииртышья, в сети 35 кВ Омского судоремонтного завода и в сети 10 кВ Омского речного порта. Измерения осуществлялись в течение расчетного времени (24 ч.), использовался ИВК «Омск».

Методами математической статистики показано, что в сети 110 кВ распределение K_U определяется по формуле

$$\varphi\{K_U; 2, 25; 0, 69\} = 0,58 \exp\left[-\frac{(K_U - 2,25)^2}{0,95}\right]. \quad (6)$$

Результаты измерений в сетях 10; 35 кВ обрабатывались на персональном компьютере по специальной программе. Коэффициенты K_U также следуют нормальному закону распределения теории вероятностей. Плотности вероятностей распределения K_U в этих сетях определяются соответственно по формулам

$$\varphi\{K_U; 3, 31; 0, 78\} = 0,51 \exp\left[-\frac{(K_U - 3,31)^2}{1,2}\right], \quad (7)$$

$$\varphi\{K_U; 5, 63; 1, 5\} = 0,27 \exp\left[-\frac{(K_U - 5,63)^2}{4,5}\right]. \quad (8)$$

Вычисления определенных интегралов (3) и (4) производились с помощью функции Лапласа.

Вероятность появления кондуктивной ЭМП δK_U в сети определяется по формуле

$$P(\delta K_U) = P(K_{U,н} \leq K_U \leq K_{U,п}) + P(K_{U,н} < K_U < \infty) - 0,05. \quad (9)$$

Выполненные исследования показали, что в сети 110 кВ действует кондуктивная ЭМП δK_U (рисунок 1), которая характеризуется нормальной плотностью вероятности распределения с параметрами $M\{\delta K_U\} = 2,25\%$, $\sigma\{\delta K_U\} = 0,69\%$ и вероятностью появления $P\{\delta K_U\} = 0,59$. Сети 35 кВ и 10 кВ соответственно имеют $M\{\delta K_U\} = 3,31\%$, $\sigma\{\delta K_U\} = 0,78\%$, $P\{\delta K_U\} = 0,08$; $M\{\delta K_U\} = 5,63\%$, $\sigma\{\delta K_U\} = 1,5\%$, $P\{\delta K_U\} = 0,61$.

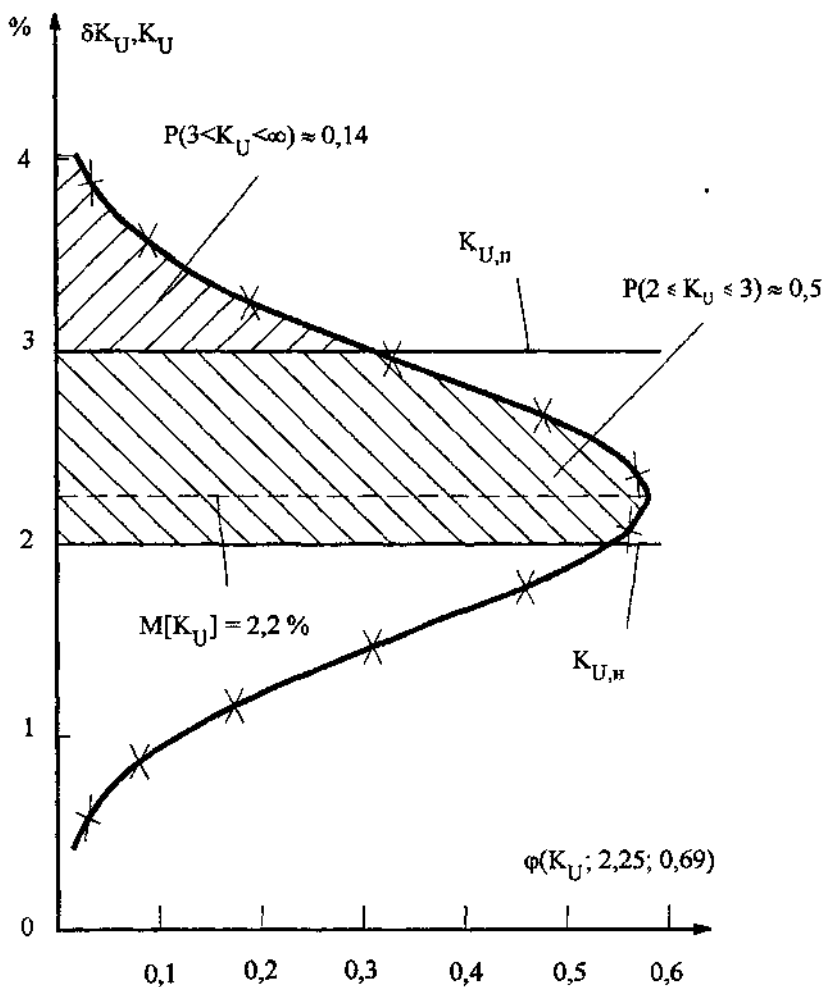


Рисунок 1 - График нормальной плотности вероятности распределения $\varphi(K_U; 2,25; 0,69)$ совмещенный с нормируемыми значениями уровней ЭМС в электрической сети 110 кВ

Таким образом, установлено, что в рассматриваемых электрических сетях 10; 35; 110 кВ береговых объектов водного транспорта необходимо подавить кондуктивные ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения.

В третьей главе исследован механизм распространения кондуктивной ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения в ЭЭС.

Информация о коэффициенте K_U в различных сетях ЭЭС, имеющей нелинейную нагрузку, получена путем прямых измерений и расчетов. В связи с тем, что источниками искажающими форму кривой напряжения в сетях от 10 до 110 кВ Омского Прииртышья являются вентиляные преобразователи выбрана математическая модель, позволяющая определить гармоническое воздействие группы этих преобразователей на коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения

$$K_{UN} = \sqrt{K_{U\Sigma 1}^2 + K_{U\Sigma 2}^2 + \dots + K_{U\Sigma i}^2 + \dots + K_{U\Sigma n}^2}, \quad (10)$$

где $K_{U\Sigma 1}, K_{U\Sigma 2}, \dots, K_{U\Sigma i}, \dots, K_{U\Sigma n}$ - соответственно, коэффициенты искажения синусоидальности кривой напряжения, обусловленные работой 1, 2, ..., i, ..., n-ой группы одинаковых преобразователей. Значения этих коэффициентов определялись по формуле

$$K_{U\Sigma i} = \frac{S_{Ti}}{S_k} \left[\frac{3}{\pi} \frac{6 N_i K_{zi} \sqrt{1 - (\chi_i / K_{ni})}}{m (S_{Ti} / S_k) + u_{ki} + x_{пр}} \right]^{0,5}, \quad (11)$$

где S_{Ti} , K_{zi} , u_{ki} - соответственно мощность, коэффициент загрузки по полной мощности и напряжение КЗ i-го преобразовательного трансформатора ой группы; χ_i , K_{ni} - соответственно коэффициенты мощности и искажения; N_i - количество преобразователей в i-ой группе; S_k - мощность 3-фазного КЗ в исследуемой точке ЭЭС; m - число фаз схемы преобразования; $x_{пр}$ - индуктивное сопротивление цепи в относительных единицах, приведенной к S_{Ti} , от преобразовательного трансформатора до точки, в которой определяется $K_{\Sigma i}$.

Гармонический анализ позволил определить критерий распределения кондуктивной ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения в сетях ЭЭС. При гармоническом воздействии со стороны сети более низкого напряжения имеем

$$\lambda \geq \sqrt{\frac{S_{k,п}}{S_{k,пр}}}, \quad (12)$$

где $S_{k,п}$, $S_{k,пр}$ - соответственно, мощность трехфазного КЗ в сети низкого и высокого напряжения.

Если воздействие оказывается со стороны более высокого напряжения, то критерий обозначается λ' . Значения величины λ и λ' , рассчитанные из условий ЭМС сетей низкого и высокого напряжения, приведены на рисунке 2. Например, если источник высших гармоник находится в сети 0,4

кВ то чтобы исключить его влияние на сеть от 6 до 20 кВ необходимо выдержать неравенство $\lambda < 0,79$.

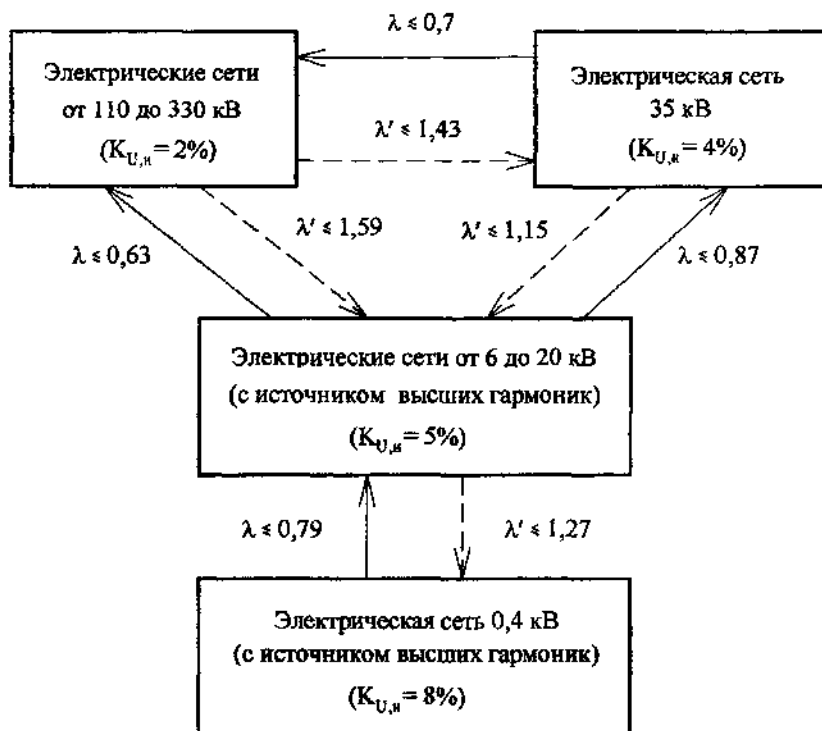


Рисунок 2 - Механизм распространения кондуктивной ЭМП δK_U в электроэнергетической системе

Четвертая глава посвящена разработке методов повышения эффективности систем электроснабжения предприятий водного транспорта, подверженных гармоническому воздействию. На основании теории вероятностей и математической статистики, которые предоставляют наиболее подходящие методы при исследовании процессов, испытывающих влияние случайных факторов, и теоретических основ кондуктивных ЭМП в ЭЭС, распространяющихся по сетям, разработан алгоритм подавления кондуктивных ЭМП δK_U . В соответствии с которым на графике нормальной плотности вероятности распределения $\varphi\{K_U, M[K_U], \sigma[K_U]\}$ совмещенным с нормируемыми значениями уровней ЭМС, характерными для величины напряжения сети (рисунок 3, кривая 1), размещается этот же график с

таким расчетом, чтобы вероятность появления величины K_U в интервале $(K_{U,н}, K_{U,п})$ не превышала установленного ГОСТ 13109-97 значения 0,05 (рисунок 3 кривая 2).

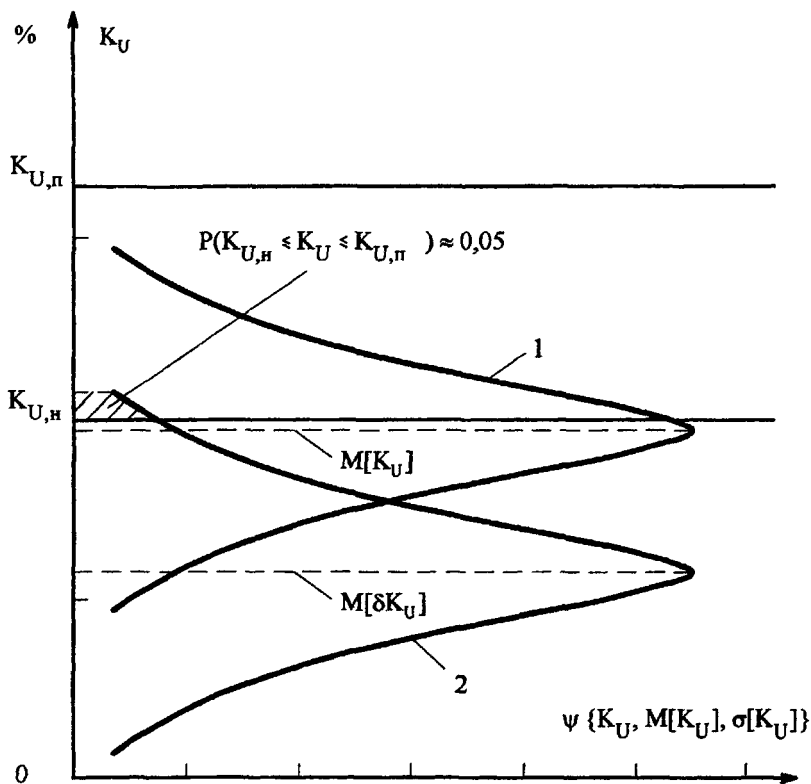


Рисунок 3 - График нормальной плотности распределения коэффициента K_U (1) совмещенный с нормируемыми уровнями ЭМС и тот же график (2), при котором обеспечивается подавление кондуктивной ЭМП δK_U

Определяется математическое ожидание $M[\delta K_U]$. Вычисляется величина

$$\Delta M[K_U] = M[K_U] - M[\delta K_U], \quad (13)$$

на которую необходимо уменьшить математическое ожидание случайной величины K_U , чтобы подавить кондуктивную ЭМП δK_U в ЭЭС.

Исходя из сущности критерия распределения кондуктивной ЭМП δK_U в ЭЭС и математической модели (11) влияния нелинейной нагрузки на коэффициент K_U определены три способа снижения величины $M[K_U]$ на величины $\Delta M[K_U]$:

1. Если имеется возможность воздействовать на суммарную мощность вентильных преобразователей $S_{п\Sigma}$ (например, путем перевода части нелинейной нагрузки на другую секцию шин РУ), то её необходимо уменьшить в K - раз. Эта величина определяется по формуле

$$K = \frac{S_{п\Sigma}}{S_k M[\delta K_U]} . \quad (14)$$

В этом случае мощность трехфазного КЗ в рассматриваемой сети $S_k = \text{const}$.

2. Если имеется возможность влиять не только на величину $S_{п\Sigma}$, но и на S_k в рассматриваемой сети, то минимальную мощность трехфазного КЗ S_k' , при которой происходит подавление δK_U , можно определить по формуле

$$S_k' = S_k \frac{M[K_U]}{n M[\delta K_U]} , \quad (15)$$

где n - возможная кратность уменьшения величины $S_{п\Sigma}$.

3. Для сетей предприятий водного транспорта по объективным причинам подавление кондуктивной ЭМП δK_U приходится осуществлять при $S_{п\Sigma} = \text{const}$, т.е. повлиять на изменение величины $S_{п\Sigma}$ не удастся. В этом случае минимальную мощность трехфазного КЗ в сети S_k'' можно определить по формуле

$$S_k'' = S_k \frac{M[K_U]}{M[\delta K_U]} . \quad (16)$$

Предложенный алгоритм позволил предложить с учетом возможностей сетей технические мероприятия по подавлению кондуктивных ЭМП δK_U в сетях 10; 35; 110 кВ Омского Прииртышья. Внедрены мероприятия в сети 10 кВ Омского речного порта.

Интенсивное развитие нефте - и газодобывающих отраслей промышленности Сибири обуславливают создание новых и реконструкцию старых береговых объектов водного транспорта. В связи с этим возникает задача по реконструкции и построению эффективных систем электроснабжения этих объектов.

В качестве критерия сравнительной экономической эффективности различных схем электроснабжения были приняты приведенные годовые затраты.

$$Z_{\Gamma} = rK + C_{\Gamma} + Y_{\Pi} + Y_{\kappa} = \min, \quad (17)$$

где K - капитальные затраты или инвестиции, тыс. руб.; C_{Γ} - годовые эксплуатационные издержки, тыс. руб.; Y_{Π} - математическое ожидание убытков объекта от перерывов в электроснабжении, тыс. руб.; Y_{κ} - математическое ожидание убытков от кондуктивной ЭМП δK_{Π} , тыс. руб.; r - реальная ставка дисконтирования, отн. ед. Эта величина определяется по формуле

$$r = \frac{E_{\Pi} - b}{1 + b}, \quad (18)$$

где E_{Π} - номинальная процентная ставка, которая в расчетах принимается в размерах ставки рефинансирования Центрального банка России, отн. ед.; b - средний годовой уровень инфляции, отн. ед.

Неопределенность решения этой задачи обуславливается отсутствием данных об величинах Y_{Π} и Y_{κ} . Однако, при решении задачи (17) недопустимо следующее неравенство

$$Y_{\Pi} + Y_{\kappa} \geq rK + C_{\Gamma}. \quad (19)$$

Минимальные значения математических ожиданий Y_{Π} и Y_{κ} наблюдаются в системах электроснабжения с нормальной ЭМО и нормируемыми уровнями ЭМС. Для таких систем оптимизационная задача является корректно поставленной, потому что удовлетворяет условиям:

- для всех исходных данных

$$\left. \begin{array}{l} K_i \in K, \\ C_{\Gamma i} \in C_{\Gamma}, \\ Y_{\Pi i} \in Y_{\Pi}, \\ Y_{\kappa i} \in Y_{\kappa}, \\ rK + C_{\Gamma} > Y_{\Pi} + Y_{\kappa} \end{array} \right\}, \quad (20)$$

существует решение

$$Z_{\Gamma} \in Z_{\Gamma}; \quad (21)$$

- решение однозначно;

- задача устойчива на пространствах при номинальной процентной ставки $E_{\Pi} = 0,14$ и уровне инфляции $b = 10\%$

Таким образом, анализ решения оптимизационной задачи показывает, что экономика региона в котором находятся береговые объекты водного транспорта, не может успешно развиваться, если в его ЭЭС не обеспечиваются ЭМС технических средств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации дано новое решение актуальной научной задачи, состоящее в статистической оценке внешнего гармонического воздействия на сети от 10 до 110 кВ предприятий водного транспорта, путем экспериментальных исследований и расчетов кондуктивных электромагнитных помех по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения; в разработке алгоритма подавления кондуктивных электромагнитных помех по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения; в установлении критерия распределения этих кондуктивных электромагнитных помех в сетях различных классов напряжения электроэнергетической системы; в постановке и решении задачи по выбору эффективной системы электроснабжения предприятия водного транспорта, подверженной гармоническому воздействию. Это имеет существенное значение для электроэнергетики, так как позволяет обеспечить электромагнитную совместимость в электроэнергетической системе за счет повышения помехоустойчивости сетей.

Основные научные выводы и практические рекомендации диссертационной работы.

1. Определены источники гармонического воздействия на сети от 10 до 110 кВ предприятий водного транспорта, установлены причины обострения проблемы электромагнитной совместимости технических средств.

2. Произведено экспериментальное исследование электромагнитной обстановки в сети 10 кВ Омского речного порта, в сети 35 кВ Омского судоремонтного завода и в сети 110 кВ общего назначения Омского Прииртышья, обусловленной гармоническим воздействием. Доказано с помощью χ^2 - критерия согласия, что распределение кондуктивных электромагнитных помех соответствует нормальному закону теории вероятностей. Определены параметры этого закона. Показано, что требования ГОСТ 13109 - 97 не выполняются, кондуктивные электромагнитные помехи необходимо подавить.

3. Определен критерий распределения в электроэнергетической системе кондуктивной электромагнитной помехи по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения. Рассчитаны его численные значения.

4. Разработан алгоритм подавления кондуктивной электромагнитной помехи по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения в распределительных сетях электроэнергетической системы.

5. Сформулирована и решена оптимизационная задача по выбору параметров и структуры системы электроснабжения береговых объектов водного транспорта, подверженной гармоническому воздействию. Эта задача является корректно поставленной и имеет единственное решение.

Основные результаты, полученные в диссертационной работе, изложены в следующих публикациях:

1. Сидоренко, А.А. Расчетное обеспечение нормируемого уровня электромагнитной совместимости технических средств в электрической системе [Текст] / А.А. Сидоренко // Кондуктивные электромагнитные помехи в сетях 6-10 кВ: Е.В.Иванова, А. А Руппель; под ред. В.П. Горелова. – Омск. – 2004. – Гл. 7. – С.196-218.

2. Компенсация ограничения искажений формы кривой напряжения в электрических сетях [Текст] / А.А. Сидоренко [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. – 2005. – №2. – С.118-124.

3. Выбор эффективной системы электроснабжения общего назначения береговых объектов речного транспорта [Текст] / А.А. Сидоренко [и др.] // Электромагнитная совместимость технических средств в электрических сетях: тр. респ. науч. - техн. семин., Павлодар, 23-24 окт. 2003 г., – Павлодар, Вестник ПГУ, 2004. – №1. – С.199-204.

4. Влияние нелинейной нагрузки на работу электросетей 10 кВ [Текст] / А.А. Сидоренко [и др.] // Матер. конф. науч. - техн. работ. вузов и предпр. В 2-х ч. Ч.1, Новосибирск, 12-14 марта 2003 г. – Новосибирск. – С.168-170.

5. Избыточная реактивная мощность малозагруженной линии электропередачи высокого напряжения [Текст] / А.А. Сидоренко [и др.] // Сб. науч. тр. / Омск. фил. НГАВТ. – Омск: Омск. фил. Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2006. – №5. – С.15-21.

6. Повышение электромагнитной совместимости электроприемников промышленных предприятий [Текст] / А.А. Сидоренко [и др.] // Сб. науч. тр. / Омск. фил. НГАВТ. - Омск: Омск. фил. Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2006. – №5. – С.10-14.

7. Влияние мощной нелинейной нагрузки на ток замыкания фазы на землю в электрических сетях 10 кВ [Текст] / А.А. Сидоренко [и др.] // Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт: тр. науч. - техн. конф., Новосибирск, 18-19 дек. 2002 г. – Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2002. – С.103-116.

8. Перспективные направления проектирования и реконструкции систем электроснабжения предприятий водного транспорта [Текст] / А.А. Сидоренко [и др.] // Сб. науч. тр. / Омск. фил. НГАВТ. – Омск: Омск. фил. Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2006. – №5. – С.7-9.

9. Ток замыкания на землю в электрической сети при несинусоидальном напряжении [Текст] / А.А. Сидоренко [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. – 2003. – № 3. – С.137-149.

10. Влияние параметров ошиновки преобразовательный трансформатор - управляемый выпрямитель на коэффициент сдвига агрегата питания [Текст] / А.А. Сидоренко [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. – 2006. – №6. – С.259-265.

11. Рациональное использование силовых фильтрокомпенсирующих устройств в электрической сети [Текст] / А.А. Сидоренко [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. – 2006. – №1. – С.255-259.

12. Экономическое обоснование выбора числа фаз схем выпрямления преобразовательных трансформаторов [Текст] / А.А. Сидоренко [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. – 2006. – №1. – С.251-255.

13. Уровень напряжения в системах электроснабжения общего назначения промышленных центров [Текст] / А.А. Сидоренко [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. – 2005. – № 2. – С.110-118.

14. Основные тенденции современного развития приборов силовой электроники [Текст] / А.А. Сидоренко, А.А. Руппель, А.Е. Стукалов // Сб. науч. тр. / Омск. фил. НГАВТ. – Омск: Омск. фил. Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2006. – №5. – С.22-26.

15. Координация тока замыкания на землю в электрической сети 10 кВ береговых объектов речного транспорта [Текст] / А.А. Сидоренко [и др.] // Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт: тр. второй междунауч. - техн. конф.; Тобольск, 8-11 сент. 2004 г. – Новосибирск, 2004. – С.124-130.

16. Сидоренко, А.А. Характеристики электропривода [Текст] / А.А. Сидоренко, Д.Ф. Зенков, В.Х. Слободской – Омск: Омск. фил. Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2004. – 117 с.

17. Сидоренко, А.А. Гармоники в электрических сетях: задачи и решения [Текст] / А.А. Сидоренко, Е.В. Иванова; под ред. А.А. Руппель. – Омск: Омск. фил. Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2006. – 119 с.

Личный вклад в статьях опубликованных в соавторстве составляет не менее 50 %.

Подписано в печать 07 апреля 2006 г. с оригинал макета.
Бумага офсетная № 1, формат 60 x 84 1/16, печать RISO.
Усл. печ. л. 1 тираж 100 экз., заказ № 85. Бесплатно.

**ВГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия
водного транспорта» (НГАВТ)**

639099 Новосибирск, ул. Щетинкина, 33
Лицензия ЛП № 021257 от 27. 11. 1997г.
Отпечатано в отделе оформления НГАВТ

2006A

8269

P - 8269