

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Тюменский государственный нефтегазовый университет»

ИНСТИТУТ НЕФТИ И ГАЗА

Кафедра «Электроэнергетика»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к контрольным работам

«Расчет электромагнитного влияния от действующей
линии электропередач на провода близлежащей линии»,
«Анализ электрических полей трехфазной ВЛ»
по дисциплине:
«Электромагнитная совместимость в электроэнергетике»

для студентов направления 140200 – Электроэнергетика
специальность 140211 – Электроснабжение
нефтяной и газовой промышленности
очной и заочной форм обучения

Тюмень 2006

Утверждено редакционно-издательским советом
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Тюменский государственный нефтегазовый университет»

Составитель: д.т.н., профессор Кицис С.И.,
ассистент Негомедзянова Г.А.

© Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Тюменский государственный нефтегазовый университет», 2006 г.

ВВЕДЕНИЕ

Резкое увеличение числа источников электромагнитного поля привело к тому, что в настоящее время его интенсивность многократно превосходит уровень естественного магнитного поля Земли. Это оказывает негативное влияние на здоровье людей и обостряет проблему электромагнитной совместимости (ЭМС) электрооборудования и электрических сетей.

Неблагоприятная электромагнитная обстановка приводит к выходу из строя и сбою дорогостоящего или ответственного электронного оборудования под действием электромагнитных помех.

Отказ электронного оборудования может привести к очень серьезным последствиям. Вопросы электромагнитной совместимости становятся приоритетными по ряду адекватных причин.

Начнем с того, что функционирование любого современного предприятия или организации невозможно без применения различной электронной аппаратуры, в том числе и на основе микропроцессорных устройств. Это позволяет эффективно организовать производственные процессы, обеспечить выполнение сложных алгоритмов (в том числе, диспетчеризации на транспорте), повысить эффективность контроля качества продукции, автоматизировать многие трудоемкие операции, улучшить обслуживание потребителей и т.д. Поэтому электронная аппаратура широко внедряется в области, где на нее возлагаются все более и более ответственные задачи. Но при этом, к сожалению, она может подвергаться внешним электромагнитным воздействиям, способным вызвать сбои в работе или вообще вывести аппаратуру из строя.

Надежность работы энергетических и промышленных объектов во многом определяется надежностью работы электронной (сейчас, как правило, цифровой) аппаратуры защиты, автоматики, связи и т.п. Специфика современных объектов такова, что устанавливаемая на них электронная аппаратура часто подвергается воздействию высоких уровней электромагнитных помех.

Целью данной дисциплины является изучение вопросов электромагнитной совместимости энергетических объектов и методов оценки электромагнитного влияния на эти объекты и на окружающую среду. Для реализации этих целей в процессе изучения курса предусмотрено выполнение расчетно-графических контрольных работ, в ходе выполнения которых осуществляется закрепление теоретического материала, производится анализ влияния электромагнитных полей на конкретные энергетические объекты.

В рамках сквозной компьютерной подготовки предусмотрено выполнение контрольных заданий на ПК с помощью расчетно-графических прикладных программ MathCad, MathLab, Visio, AutoCad и т.п.

1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Основные определения

Электромагнитная помеха (ЭМП) – электромагнитное явление, процесс, которые снижают или могут снизить качество функционирования технического средства (ГОСТ 30372-95/ГОСТ Р 50397-92).

Для нормального функционирования современных электронных устройств необходимо обеспечивать их электромагнитную совместимость (ЭМС) с электромагнитной обстановкой (ЭМО) на объекте. ЭМП могут создаваться естественными (например, молния) и искусственными (например, коммутации в системе электроснабжения) источниками. Возможно также генерирование ЭМП намеренно в результате чьих–либо враждебных действий (военных, террористических, криминальных).

Электромагнитная совместимость (ЭМС) технических средств – способность технического средства функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам (ГОСТ 30372-95/ГОСТ Р 50397-92).

Совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, частотном и временном диапазонах называется электромагнитной обстановкой (ЭМО) (ГОСТ 30372-95/ГОСТ Р 50397-92). Подчеркнем, что ЭМО является индивидуальной характеристикой каждого объекта.

Приведем наиболее распространенные признаки неблагоприятной ЭМО:

- повреждения и сбои электронной аппаратуры во время грозовой активности;
- нарушение работы систем связи, особенно высокоскоростных цифровых каналов;
- ложные срабатывания цифровых и аналоговых электронных систем защиты и автоматики;
- частые беспричинные «зависания» и перезагрузки цифровой техники;
- повторяющиеся повреждения блоков питания и (или) интерфейсных элементов электронного оборудования;
- сильные помехи радиоприему;
- «выгорание» или пробой кабелей;
- существенные разности потенциалов между различными заземленными элементами, проявляющиеся в виде искрения, возникновения неприятных ощущений при прикосновении к различным заземленным проводящим частям и т.п.;
- корреляция сбоев и отказов аппаратуры с работой коммутационных устройств, определенным временем суток и т.п.;

- большой трафик ЛВС, непропорциональный объему реально передаваемой информации, частые отказы сети на физическом уровне;
- искажение изображений на экранах мониторов (дрожание, временные нарушения цветопередачи), повышенная утомляемость персонала.

1.2 Источники электромагнитных помех на предприятиях

Мощными и, пожалуй, самыми опасными источниками помех являются разности потенциалов, импульсные магнитные поля и наводки, возникающие при молниевых разрядах.

Для того чтобы оценить степень опасности помех при молниевом разряде для аппаратуры, необходимо принять определенную модель молниевых разрядов. Согласно стандартам МЭК (IEC 61024, 61312) и Российской НТД Инструкцией по молниезащите зданий, сооружений и промышленных коммуникаций от 2003 года (СО-153-34.21.122-2003) для целей молниезащиты принимаются следующие основные параметры импульса молнии:

- амплитуда импульса – 200 кА
- длительность импульса – 350 мкс,
- длительность фронта импульса – 10 мкс.

Помехи при молниевом разряде способны вызывать повреждение электронной аппаратуры и даже пробой изоляции цепей питания и обмена информацией.

Аварии в сетях электроснабжения могут послужить причиной возникновения электромагнитных помех, опасных для аппаратуры

Наиболее распространенной аварийной ситуацией в сетях электроснабжения, при которой могут создаваться опасные помехи, являются короткие замыкания (КЗ). Большие (до нескольких десятков кА) токи, протекающие по проводам линий электропередачи, шинпроводам и элементам ЗУ при КЗ способны генерировать кратковременные, но мощные (до нескольких десятков А/м) магнитные поля. Такие поля (как и поля при молниевом разряде) способны приводить к сбоям в работе и повреждениям аппаратуры. Опасные наводки возникают в проводных цепях (в частности, цепях связи) и любых металлоконструкциях, имеющих участки сближения с влияющей высоковольтной линией.

Кроме того, при протекании через заземляющее устройство тока КЗ в сетях с номинальным напряжением выше 1 кВ, возможно появление на нем потенциала порядка нескольких кВ (в отдельных случаях – до нескольких десятков кВ). При этом потенциал обычно распределяется неравномерно, что приводит к появлению опасных перепадов потенциалов как между различными точками на территории подстанции, так и между точками на подстанции и за ее пределами. Особую опасность такие перепады потенциалов представляют для цифровой аппаратуры, размещаемой

непосредственно на высоковольтной подстанции (например, аппаратуры РЗА).

Качество электрической энергии в сети питания – важный фактор, влияющий на работоспособность электронной аппаратуры

Часто к сети электропитания на промышленных объектах могут подключаться устройства с нелинейной вольтамперной характеристикой или с энергопотреблением, сильно меняющимся в течение рабочего цикла. К первым относятся, например, все электронные устройства с импульсными блоками питания (компьютеры, специализированная электронная аппаратура и т.п.), тиристорные устройства и т.п., питающиеся от сети переменного тока. Ко вторым, как правило, относятся устройства обогрева и охлаждения различного назначения с терморегуляторами, различное силовое оборудование, устройства с импульсными блоками питания, работающими от сетей постоянного тока и т.п. Работа таких устройств ведет к снижению показателей качества питания электронных устройств. Важнейшими показателями качества питания являются:

- Коэффициент несинусоидальности напряжения в сетях переменного тока,
- Уровень провалов и выбросов напряжения в сетях переменного тока.
- Уровень пульсаций напряжения в сетях постоянного тока.

В некоторых случаях негативное влияние на показатели качества питания оказывают сами источники питания: выпрямители, источники бесперебойного питания (ИБП), дизельные электрогенераторы (ДЭГ) и т.п. Особенно это касается источников, работающих на предельной мощности или морально устаревших.

В некоторых случаях требуемые показатели качества электроэнергии не обеспечивает энергоснабжающая организация.

Опасность для аппаратуры и обслуживающего персонала могут представлять низкочастотные магнитные поля в помещениях, где размещается электронная аппаратура и рабочие места персонала.

Обычно значительный уровень (до нескольких десятков А/м) постоянно действующих магнитных полей фиксируется в диапазоне частот от 50 Гц до нескольких кГц. Источником таких полей является штатная работа силового электрооборудования. Спектр низкочастотных полей представляет собой набор гармоник промышленной частоты (ориентировочно – от нулевой до тринадцатой). Отметим, что низкочастотные электрические поля хорошо экранируются любыми конструкциями, в частности – зданиями, сооружениями, крышками кабельных лотков и т.п.

В то же время, эффективное экранирование низкочастотного магнитного поля может быть обеспечено лишь применением специальных экранов. Следовательно, из низкочастотных полей основную опасность для аппаратуры в закрытых помещениях представляет магнитное поле. Уровень магнитных полей в штатном режиме работы силового оборудования обычно существенно ниже, чем при КЗ. Однако, поскольку воздействие таких полей

происходит постоянно (в отличие от поля при КЗ), итоговый эффект воздействия на аппаратуру может все же оказаться существенным. Поэтому возникает необходимость в отдельном рассмотрении полей в штатном режиме работы объекта.

Радиосредства являются источниками электромагнитных полей, способных влиять на электронную аппаратуру

При отсутствии на расстоянии нескольких километров или меньше от объекта мощных радиопередающих систем (что обычно легко проверить визуально), основную опасность может представлять, согласно данным литературы, работа портативных раций.

Электростатические разряды как источник опасности для аппаратуры

Разряды статического электричества возникают при обмене зарядами между телом человека, инструментами и другими предметами, заряженными статическим электричеством, с одной стороны, и заземленными проводящими частями или массивными металлоконструкциями – с другой стороны.

Различают прямые разряды (например, разряд с тела человека при касании клавиатуры компьютера) и косвенные разряды (например, разряд с тела человека на металлический корпус шкафа или стойки, где размещается аппаратура).

Коммутационные перенапряжения могут вызывать сбои и повреждения электронной аппаратуры

Коммутационные перенапряжения могут генерироваться при переключениях в цепях переменного тока, цепях постоянного тока, сигнализации и т.п.

В сетях выше 1 кВ при коммутационных операциях выключателями и разъединителями возникает высокочастотный переходный процесс. Аналогичная ситуация имеет место при отключении ячеек (выкатывании «тележки») ЗРУ. Параметры этого процесса индивидуальны для каждого объекта и, более того, для каждой конкретной коммутации. ВЧ токи и перенапряжения через системы шин распространяются по территории подстанции. Они создают электромагнитные поля, способные вызывать наводки и в цепях низкого напряжения.

В сетях ниже 1 кВ значительные помехи могут создаваться при работе контакторов, пускателей, а также других устройств на электромеханической элементной базе. Частотный спектр помех при коммутациях в сети низкого напряжения достигает сотен МГц, амплитуда – до 3 – 4 кВ. Частоты подобных помех близки к рабочим частотам электронной аппаратуры, что может в отдельных случаях вызывать «зависания» цифровых блоков и искажения при передаче информации.

Обычно амплитуды коммутационных помех меняются от нескольких десятков В до 4 кВ. Из-за того, что при коммутации часто происходит многократный пробой диэлектрического промежутка (особенно при коммутациях разъединителями), воздействие помех часто носит многократный характер (особенно при коммутациях разъединителями).

1.3 Электромагнитная совместимость вблизи энергетических объектов

Электрические поля ВЛ и ОРУ по своей интенсивности могут превосходить безопасные значения, что требует либо их уменьшения, либо применения специальных защитных мер. Такая ситуация требует решения ряда инженерных задач. Первая из них состоит в определении интенсивности поля и выяснения степени опасности его воздействия. Эта задача решается по данным о напряженности электрического поля, которая и показывает его интенсивность. Данные о значениях напряженности по конкретному объекту могут быть получены либо расчетным путем, либо при помощи измерений. Степень опасности устанавливается сравнением значений напряженности для данного объекта с нормируемыми значениями.

Вторая инженерная задача - разработка или выбор необходимых защитных средств в случае, если напряженность воздействующего поля превышает нормируемые значения. Под выбором защитных средств понимается выбор того или иного известного технического решения. Так, для некоторых экранирующих систем известны коэффициенты экранировки по электрическому полю. В этом случае задача сводится к выбору соответствующего варианта. Однако могут встретиться и такие случаи, когда "готовое" техническое решение использовать не представляется возможным. Тогда возникает необходимость разработки "индивидуального" решения. Первый этап - расчет необходимого средства защиты. Снижение напряженности поля может быть достигнуто либо удалением защищаемого объекта от источника поля, либо посредством экранировки поля. Эти задачи могут быть решены расчетным путем.

Третья инженерная задача состоит в оценке степени опасности электрических полей проектируемых объектов - линий или подстанций. Она выполняется только расчетным путем и сводится к расчету распределения напряженности поля в некоторых областях. Типичная задача такого рода - расчет электрического поля у поверхности земли для проектируемых ОРУ напряжением 330 кВ и выше. Цель расчета - вычисление напряженности поля на маршрутах движения оперативного персонала. При расчете поля решается (или может решаться) задача выбора необходимых защитных средств, включая расчет поля при наличии защитных средств.

Таким образом, расчет поля может служить средством решения всех перечисленных задач. Однако это не означает отказа от прямых измерений напряженности поля. Более того, реальные объекты в совокупности с необходимыми средствами защиты принимаются в эксплуатацию по параметрам воздействия электрического поля только на основе измерений напряженности на рабочих местах.

В заключение отметим, что все сказанное справедливо также и по отношению к магнитным полям. Это относится и к перечисленным инженерным задачам, и к роли расчетных методов.

Известны аналитические и численные способы расчета электрических полей. Применительно к нашим задачам имеет смысл говорить только о численных методах. Но даже такое "сужение" проблемы не делает ее разрешения более легким. Выбор того или иного расчетного метода определяется характером или спецификой задачи.

Специфика задачи расчета электрических полей энергетических объектов состоит в следующем. В однородной среде (воздухе) требуется рассчитать электрическое поле, создаваемое сложными по геометрическому описанию системами электродов, называемыми "тонкими". Под тонкими понимаются электроды, длина которых много больше характерного радиального размера. К ним относятся провода, сборные шины на ОРУ, опоры как сооружения, состоящие из большого числа тонких электродов. Можно также показать, что почти все элементы оборудования ОРУ и ВЛ могут быть представлены в виде систем тонких электродов.

При расчете электрического поля задаются граничные условия. Для рассматриваемого случая они состоят в том, что известны потенциалы всех электродов. При этом земля считается проводящей плоскостью нулевого потенциала. Описанная задача, в которой известны потенциалы на всех граничных поверхностях (на поверхностях всех электродов, включая заземленные), известна в теории как задача Дирихле.

В соответствии с отечественными стандартами уровни воздействия электрического поля на персонал в электрических сетях высокого и сверхвысокого напряжений разделяют на три зоны:

I - в непосредственной близости от токоведущих частей, находящихся под напряжением, где напряженность электрического поля на несколько порядков превышает величину, допустимую для человека без средств защиты от влияния электрического поля. Радиус зоны I равен минимально допустимому расстоянию приближения токоведущих частей под напряжением к заземленным конструкциям;

II - на расстоянии токоведущих частей, больше минимально допустимого, однако уровень напряженности электрического поля при этом превышает 25 кВ/м. Это не позволяет персоналу находиться внутри зоны без специальных средств защиты;

III - персонал может находиться без средств защиты ограниченное время (час), определяемое выражением

$$T = \frac{50}{E} - 2(\text{час})$$

где E - напряженность электрического поля в месте нахождения человека, изменяющаяся от 5 до 20 кВ/м (при $E=20-25$ кВ/м время пребывания человека в зоне ограничено 10 минутами).

2. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВЛИЯНИЯ ОТ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НА ПРОВОДА БЛИЗЛЕЖАЩЕЙ ЛИНИИ.

Для практики наиболее важным оказывается умение рассчитывать электромагнитное влияние в случае системы проводов, протянутых параллельно друг другу над поверхностью земли. Длина проводов обычно настолько велика, что поле можно считать плоскопараллельным. Обычно диаметры проводов весьма малы по сравнению с расстояниями между их осями и с высотой их подвеса.

Используемый в данном разделе метод расчета, строго говоря, справедлив только для электростатического поля. Однако с большой степенью точности он может быть использован и при расчете электромагнитного влияния ВЛ на близлежащие провода при технической частоте 50 Гц. Критерием допустимости рассмотрения переменного электромагнитного поля около проводов линии в отдельные моменты времени как поля электростатического служит соотношения между линейными размерами области, в которой рассматривается поле, и длиной электромагнитной волны.

Имеет место соотношение между длиной волны λ , скоростью ее распространения в воздухе V и частотой электромагнитных колебаний f , именно:

$$\lambda = \frac{V}{f}. \quad (1)$$

В воздухе $V = 3 \cdot 10^5$ км/сек, и при частоте $f=50$ Гц найдем, что $\lambda=6000$ км.

На длине волны фаза колебания напряженности поля меняется на 2π . В пределах области, линейные размеры которой измеряются метрами или десятками метров, то есть значительно меньше λ , можно считать фазу колебаний напряженности поля одинаковой во всех точках области и с большой точностью рассматривать поле в каждый момент времени как электростатическое.

В частности, влияние трехфазной линии электропередач на близлежащий провод l в общем случае описывается системой уравнений Максвелла:

$$\begin{cases} U_A = \alpha_{AA}\tau_A + \alpha_{AB}\tau_B + \alpha_{AC}\tau_C + \alpha_{A1}\tau_1 \\ U_B = \alpha_{BA}\tau_A + \alpha_{BB}\tau_B + \alpha_{BC}\tau_C + \alpha_{B1}\tau_1 \\ U_C = \alpha_{CA}\tau_A + \alpha_{CB}\tau_B + \alpha_{CC}\tau_C + \alpha_{C1}\tau_1 \\ U_1 = \alpha_{1A}\tau_A + \alpha_{1B}\tau_B + \alpha_{1C}\tau_C + \alpha_{11}\tau_1 \end{cases} \quad (2)$$

где U_i – потенциал i -го провода, τ_i – линейная плотность заряда i -го провода, α_{ij} – потенциальный коэффициент влияния j -го провода на i -тый.

Потенциал провода I радиусом r_I , как это видно из выше приведенной системы уравнений определяется электрическими зарядами каждого из проводов трехфазной линии и собственным электрическим зарядом.

Для учета влияния земли на величину потенциала проводов используется метод зеркальных изображений. Этот метод основан на том обстоятельстве, что влияние некоторого i -го провода над землей может быть заменено влиянием двухпроводной линии, состоящей из i -го провода и некоторого фиктивного провода с зарядом $-\tau_i$, зеркально отраженного в плоскости земли. При такой замене плоскость упомянутой двухпроводной линии остается плоскостью нулевого потенциала.

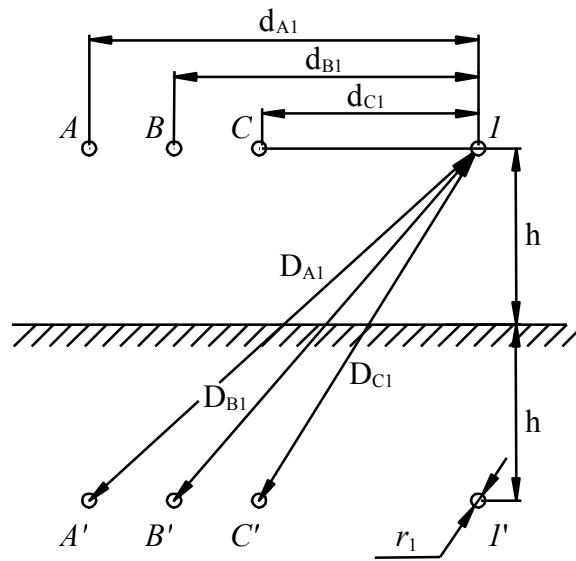


Рис. 1. Схема взаимного расположения проводов влияющих ВЛ и проводника 1 над поверхностью земли

Потенциал провода I радиусом r_I , будет равен сумме потенциалов, создаваемых каждым проводом влияющей ВЛ и его зеркальным изображением (рис. 1). Составляющую потенциала провода I от провода фазы A влияющей ВЛ и его зеркального изображения A' можно записать следующим образом:

$$U_{IA} = \frac{\tau_A}{2\pi\epsilon} \ln \frac{D_{AI}}{d_{AI}}, \quad (1.2)$$

где D_{AI} - расстояние от провода I до зеркального изображения провода фазы A , м;

d_{AI} - расстояние от провода I до провода A , м;

τ_A - линейная плотность заряд в проводе фазы A , Кл/м,

$\epsilon = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \approx 8,85 \cdot 10^{-12}$ - диэлектрическая проницаемость воздуха, Ф/м.

Найдем D_{AI} , D_{BI} , D_{CI} .

$$\begin{aligned}
D_{A1} &= \sqrt{(2h_1)^2 + d_{A1}^2} \\
D_{B1} &= \sqrt{(2h_1)^2 + d_{B1}^2} \\
D_{C1} &= \sqrt{(2h_1)^2 + d_{C1}^2}
\end{aligned}
\tag{1.4}$$

Суммарный потенциал провода от всех трех фаз влияющих ВЛ определится как

$$\begin{aligned}
U_1 = U_{1A} + U_{1B} + U_{1C} + U_{11} &= \frac{\tau_A}{2\pi\varepsilon} \ln \frac{D_{A1}}{d_{A1}} + \frac{\tau_B}{2\pi\varepsilon} \ln \frac{D_{B1}}{d_{B1}} + \\
&+ \frac{\tau_C}{2\pi\varepsilon} \ln \frac{D_{C1}}{d_{C1}} + \frac{\tau_1}{2\pi\varepsilon} \ln \frac{2h_1}{r_1}
\end{aligned}
\tag{1.3}$$

После проведенного расчета следует сравнить суммарный потенциал провода от всех фаз влияющей линии и потенциал самой линии.

3. АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ТРЕХФАЗНОЙ ВЛ

Наглядный анализ электрических полей ВЛ может быть проведен лишь с помощью упрощенной расчетной модели. В качестве такой модели обычно рассматривают трехфазную линию, состоящую из горизонтально расположенных бесконечно длинных проводов. Иными словами, не учитываются провис проводов в пролете и их конечная длина. Оба эти допущения приводят к некоторому завышению расчетных значений напряженности у поверхности земли. Вместе с тем использование в расчетной модели бесконечных, параллельных земле проводов чрезвычайно упрощает расчет.

Для проводов ВЛ и систем шин на ОРУ радиус провода много меньше расстояния до земли или соседних фаз. Поэтому расчетная модель состоит из равномерно заряженных осей, помещенных на осях проводов и их зеркальных отображениях.

Каждый провод имеет свой заряд, определяемый потенциалами других проводов относительно земли, взаимным расположением проводов и их высотой над землей.

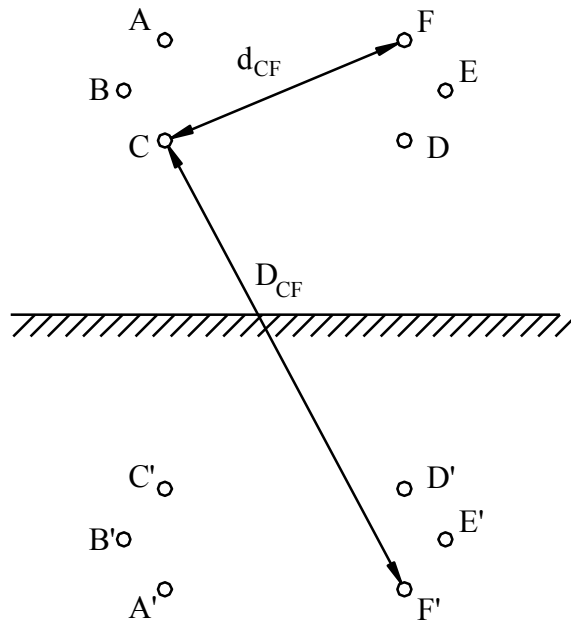


Рис.2. Упрощенная расчетная модель двухцепной воздушной линии

Для расчета поля нужно определить заряды проводов через их напряжения. Поскольку в принятой расчетной модели линейная плотность заряда на проводах не меняется по длине, число неизвестных зарядов равно числу проводов. Модель для случая, когда на одной опоре подвешены провода двух линий, представлена на рис. 2. Такие линии называются двухцепными. Из курса ТОЭ известно, что для такой системы проводов их заряды связаны с потенциалами следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} U_A = \alpha_{AA}\tau_A + \alpha_{AB}\tau_B + \alpha_{AC}\tau_C + \alpha_{AD}\tau_D + \alpha_{AE}\tau_E + \alpha_{AF}\tau_F \\ U_B = \alpha_{BA}\tau_A + \alpha_{BB}\tau_B + \alpha_{BC}\tau_C + \alpha_{BD}\tau_D + \alpha_{BE}\tau_E + \alpha_{BF}\tau_F \\ U_C = \alpha_{CA}\tau_A + \alpha_{CB}\tau_B + \alpha_{CC}\tau_C + \alpha_{CD}\tau_D + \alpha_{CE}\tau_E + \alpha_{CF}\tau_F \\ U_D = \alpha_{DA}\tau_A + \alpha_{DB}\tau_B + \alpha_{DC}\tau_C + \alpha_{DD}\tau_D + \alpha_{DE}\tau_E + \alpha_{DF}\tau_F \\ U_E = \alpha_{EA}\tau_A + \alpha_{EB}\tau_B + \alpha_{EC}\tau_C + \alpha_{ED}\tau_D + \alpha_{EE}\tau_E + \alpha_{EF}\tau_F \\ U_F = \alpha_{FA}\tau_A + \alpha_{FB}\tau_B + \alpha_{FC}\tau_C + \alpha_{FD}\tau_D + \alpha_{FE}\tau_E + \alpha_{FF}\tau_F \end{cases}, \quad (3)$$

Для любого числа проводов система уравнений, аналогичная (3), может быть представлена в матричной форме как

$$A \cdot T = U, \quad (4)$$

где A - квадратная матрица размерности $n \times n$, где n - число проводов. Диагональные элементы матрицы равны $\alpha_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{2h_i}{r_i}$, остальные

определяются выражением $\alpha_{ij} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{D_{ij}}{d_{ij}}$.

Из изложенного следует, что первое преимущество упрощенной расчетной модели - сокращение размерности СЛАУ до числа проводов. Кроме этого, упрощается и расчет напряженности поля. Действительно,

напряженность поля равномерно заряженной оси описывается элементарной формулой

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon r}, \quad (5)$$

где r - расстояние от заряженной оси до рассматриваемой точки.

Таким образом общий алгоритм расчета напряженности под ВЛ состоит в определении зарядов проводов q_i посредством системы уравнения типа (3) и вычисления напряженности в какой-то точке от всех проводов по выражениям (4). Расчет напряженности следует проводить для нескольких моментов времени в течение периода промышленной частоты, чтобы учесть поляризацию вектора E и определить большую ось эллипса поляризации. Алгоритм легко программируется и расчет на ПЭВМ производится практически мгновенно.

На линиях с номинальным напряжением 330 кВ и выше применяют так называемые «расщепленные провода». Это значит, что каждая фаза (или фазный провод) состоит из нескольких проводов. Число проводов в фазе зависит от номинального напряжения.

Радиус одиночного провода, имеющего такой же заряд на единицу длины, как и расщепленный провод, принято называть эквивалентным. В случае, когда составляющие расщепленного провода расположены симметрично по радиусу окружности, то эквивалентный радиус находят по формуле

$$R_{\text{э}} = R_{\rho} \cdot \sqrt[n]{n \frac{R_0}{R_{\rho}}}, \quad (6)$$

где R_{ρ} - радиус окружности, на которой расположены оси составляющих расщепленного провода; n - число составляющих; R_0 - радиус составляющей.

Следовательно, для определения полных зарядов фаз можно воспользоваться системой (2.5). Однако радиус одиночного провода следует заменить эквивалентным радиусом, вычисленным по (2.7).

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

4.1 Контрольное задание №1

Цель задания: Целью контрольного задания является закрепление теоретического материала по расчету влияния ВЛ на близлежащие проводные линии и наглядная демонстрация величины этого влияния на примере трехфазной ВЛ.

Условие задания: Определить электрический потенциал провода l (см. рис.1) радиусом r_l , проходящего параллельно проводам влияющей трехфазной линии электропередач и сопоставить эту величину с электрическим потенциалом провода в предположении отсутствия влияющей линии. Исходные данные для расчета взять согласно номеру варианта из таблицы исходных данных. Диэлектрическую проницаемость воздуха ϵ принять равной $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \approx 8,85 \cdot 10^{-12}$ (Ф/м)

Таблица 1.

Исходные данные к контрольному заданию №1

№ варианта	Линейная плотность зарядов				Расстояние между проводами от земли			
	τ_A , мкКл/км	τ_B , мкКл/км	τ_C , мкКл/км	τ_l , мкКл/км	d_A , м	d_B , м	d_C , м	h , м
1	80	-12	-4,75	10	10	8	6	3
2	70	-20	5	10	10	8	6	4
3	60	10	-4	18	9	7	5	5
4	-18	6	70	5	10	8	6	4
5	50	-16	20	20	10	8	6	3
6	-5	-5	70	10	9	7	5	4
7	4	-12	80	10	10	8	6	3
8	-20	65	25	15	10	8	6	3
9	-15	60	20	10	10	8	6	4
10	70	-5	-5	10	9	7	5	4

Диаметр проводов принять равной $r_l=5$ мм.

4.2 Контрольное задание №2

Цель задания: Целью контрольного задания является закрепление теоретического материала по расчету интенсивности электромагнитных полей и проведению наглядного анализа электрических полей ВЛ с помощью упрощенной расчетной модели на примере трехфазной линии, состоящей из горизонтально расположенных бесконечно длинных проводов.

Условия задания: Провести анализ электрических полей трехфазной ВЛ, состоящей из горизонтально расположенных бесконечно длинных проводов. Определить распределение напряженности электрического поля под ВЛ на высоте 1,8м в пролете 10м в обе стороны от оси опоры, рассчитать время пребывания в электрическом поле при максимальном уровне напряженности (часы). Исходные данные для расчета взять согласно номеру варианта из таблицы исходных данных.

Таблица 2.

Исходные данные к контрольному заданию №2

№ варианта	Номинальное напряжение, кВ	Число проводов в фазе, шт	Диаметр провода, мм	Тип опоры	Высота до низа траверсы, м
1	110	1	24,0	П110-1В	19,0
2	110	1	29,2	У110-1+5	15,5
3	220	1	28,8	П220-2	22,5
4	220	1	34,7	ПП220-2/40	40,0
5	330	2	26,0	П330-2	25,5
6	330	2	30,0	ПП330-1/41	41,0
7	500	3	37,5	У1	17,0
8	750	4	34,5	У750-1	20,0
9	750	4	28,8	П750-1	35,0
10	750	5	25,2	УС750-1+5Т	25,0

Примечание: расстояние между составляющими расщепленных проводов 40см.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хабигер Э.: Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике. М.: Энергоатомиздат, 1995.
2. Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.2.542—96. М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1996
3. Костин М. К., Матвеев М. В.: Проблемы и методы контроля электромагнитной обстановки на энергообъектах. Сб. научных докладов IV Международного симпозиума по электромагнитной совместимости. С-Пб, 2001
4. Методические указания по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций от импульсных помех (РД 34.20.116-93) М.: РАО «ЕЭС России»
5. Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок (РД 153-34.0-20.525-00) М.: РАО «ЕЭС России»
6. ГОСТ 30372-95/ГОСТ Р 50397-92 Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения.
7. ГОСТ Р 51317.2.5-2000 (МЭК 61000-2-5-95) Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитная обстановка. Классификация электромагнитных помех в местах размещения технических средств.
8. СО 34.35.311-2004 (РАО ЕЭС России). Методические указания по определению электромагнитной обстановки на электрических станциях и подстанциях.
9. Методические указания по ограничению высокочастотных коммутационных перенапряжений и защите от них электротехнического оборудования в распределительных устройствах 110 кВ и выше. СПО ОРГРЭС, 1998(УДК 621.311). Введено в действие с 01.07.1998 г.
10. Правила устройства электроустановок. / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 640 с. [УДК 621.31.002.5, ББК 31.277 П68]
11. Правила устройства электроустановок. Раздел 1. Общие правила. Глава 1.8.– 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. – 88 с. [УДК 621.313.001.4, ББК 31.29-5 П68]
12. www.iec.ch/ – официальный сайт Международной электротехнической комиссии (IEC)
13. www.cigre.org/ - официальный сайт Международной организации по большим энергосистемам (CIGRE)
14. www.gost.ru/ - сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ	4
1.1 Основные определения	4
1.2 Источники электромагнитных помех на предприятиях	5
1.3 Электромагнитная совместимость вблизи энергетических объектов .	8
2. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВЛИЯНИЯ ОТ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НА ПРОВОДА БЛИЗЛЕЖАЩЕЙ ЛИНИИ.	10
3. АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ТРЕХФАЗНОЙ ВЛ	12
4. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ	15
4.1 Контрольное задание №1	15
4.2 Контрольное задание №2	16
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	17

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к контрольным работам «Расчет электромагнитного влияния от действующей линии электропередач на провода близлежащей линии», «Анализ электрических полей трехфазной ВЛ» по дисциплине: «Электромагнитная совместимость в электроэнергетике» для студентов направления 140200 – Электроэнергетика специальность 140211 - Электроснабжение нефтяной и газовой промышленности очной и заочной форм обучения

Составитель: д.т.н., профессор Кицис С.И.,
ассистент Негомедзянова Г.А.

Подписано к печати

Заказ №

Формат 60x90 1/16

Отпечатано на RISO GR 3750

Бум.писч.№1

Уч.изд.л. 1,25

Усл.печ.л. 1,25

Тираж 100 экз.

Издательство «Нефтегазовый университет»

Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования

«Тюменский государственный нефтегазовый университет»

625000, г.Тюмень, ул. Володарского, 38

Отдел оперативной полиграфии издательства «Нефтегазовый университет»

625039, г.Тюмень, ул. Киевская, 52