

УДК 621.315.2:621.397

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ НАВОДОК НА КОАКСИАЛЬНЫЕ КАБЕЛИ СИСТЕМ ОХРАННОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

асп. БОЙПРАВ О.В., докт. техн. наук, доц. БОРБОТКО Т.В.

Предложено использовать систему автоматизированного проектирования FEKO для моделирования электромагнитных наводок на коаксиальные кабели различных типов, в частности тех, которые используются в системах охранного телевидения (RG59/U, RG11/U, RG179/U). Приведено обоснование выбора элементов и параметров для такого моделирования, описаны и проанализированы его результаты. Установлено, что из всех коаксиальных кабелей, используемых при проектировании систем охранного телевидения, наиболее уязвимым к воздействию внешних электромагнитных излучений является кабель типа RG179U. Выявлено, что уровни электромагнитных наводок на коаксиальном кабеле зависят от его длины и принимают наибольшие значения, когда она является кратной длине волны внешних электромагнитных излучений. Предложен способ снижения уровня электромагнитных воздействий на линии связи систем охранного телевидения.

UDC 621.315.2:621.397

SIMULATION OF ELECTROMAGNETIC PICKUP ON CCTV COAXIAL CABLE

P.G. BOIPRAV O.V., Dr. of Tech. Sc., Assoc. BORBOTKO T.V.

The utilization of computer-aided design FEKO for simulation of electromagnetic interference on coaxial cables of different types, such as those used in CCTV (RG59/U, RG11/U, RG179/U) is proposed. Item and parameters selection for this simulation rationale is given. The obtained results are described and analyzed. It was found that a cable RG179U is the most vulnerable to external electromagnetic radiation among of all coaxial cables used in the CCTV design. It was revealed that the electromagnetic interference levels on coaxial cable depends on this one length and takes maximum value when it is a multiple of the external electromagnetic radiation wavelength. A method for electromagnetic interference on the cable network CCTV reduction is proposed.

Одну из основополагающих ролей в интегрированных системах безопасности предприятий любой отрасли играет СОТ. Она включает в себя следующее оборудование: видеокamеры, оборудование для представления визуальной информации оператору, устройства записи/хранения видеоданных и т.д. Все перечисленные устройства соединяются друг с другом посредством линий связи, в том числе коаксиальных кабельных линий.

Коаксиальные кабели относятся к несимметричным линиям связи и состоят из центральной жилы, диэлектрика и оплетки. В СОТ наиболее широко применяются коаксиальные кабели типов RG59/U, RG11/U и RG179/U, отличающихся друг от друга техническими характеристиками, основные из которых приведены в таблице.

Технические характеристики коаксиальных кабелей

Тип кабеля	Диапазон частот	Номинальное волновое сопротивление	Затухание на частоте 200 МГц	Диаметр центральной жилы	Диаметр оплетки
RG59/U	5–1000 МГц	75 Ом	1,5 дБ/100м	0,5 мм	6 мм
RG11/U	5–1000 МГц	75 Ом	6,4 дБ/100 м	1,63 мм	10,03 мм
RG179/U	5–3000 МГц	75 Ом	41 дБ/100 м	0,7 мм	1,6 мм

Качество передачи видеосигнала по кабелям рассматриваемых типов зависит не только от их технических характеристик, но и от внешних условий. К перечню последних, наряду с температурой и влажностью окружающей среды, можно отнести наличие устройств, являющихся источниками ЭМИ и в силу этого способных создавать ЭМН, вызывающие искажения видеосигнала. Уровень ЭМН определяется мощностью электромагнитного воздействия, удаленностью источников ЭМИ от кабеля, а также его длиной. При этом электромагнитные воздействия могут носить как преднамеренный, так и случайный характер.

Таким образом, при проектировании СОТ следует проводить измерения ЭМН, которые потенциально могут быть созданы на коаксиальных кабелях, предполагаемых к использованию. Как правило, эти измерения влекут за собой значительную потерю времени, которая связана, в первую очередь, с необходимостью их многократного проведения (в том случае, если предполагается использовать коаксиальные кабели различных длин и/или типов), а также с подключением измерительного оборудования, выполнением требуемых для него настроек. Для экономии временных ресурсов подобные измерения возможно осуществлять при помощи специализированных САПР РЭА радиочастотного диапазона, позволяющих решать задачи электродинамики. В настоящее время наблюдается тенденция увеличения количества таких систем, связанная с расширением использования и возрастанием объема и сложности оборудования, функционирующего в диапазоне радиоволн. При выборе той либо иной САПР следует обращать внимание на методы, заложенные в основе ее работы, т. к. они напрямую влияют на затраты компьютерных и временных ресурсов на моделирование и расчеты. В определенных случаях данные затраты могут превысить те, которые требуются для проведения натуральных экспериментов.

В современных САПР реализуются разные математические методы. Среди них можно отметить прямые методы решения граничных задач: МКЭ и FDTD (метод конечных разностей во временной области). Отличительной и наиболее привлекательной их чертой является универсальность, т. е. возможность анализировать практически любую структуру. Однако платой за универсальность являются значительные затраты компьютерных и временных ресурсов, обусловленные использованием большого количества элементов при дискретизации пространства. Количество этих элементов определяет размерность решаемой задачи. МКЭ заложен в основу работы системы ANSYS HFSS, FDTD – системы CST MWS [1].

Альтернативным направлением в решении задач электродинамики являются не прямые методы. Среди них выделяется MOM – метод моментов. Отличие этого метода от упомянутых выше состоит в том, что в нем численное определение поля основывается на аналитическом решении задачи о возбуждении структуры элементарным источником тока. В математике такое решение получило название функции Грина. MOM оказывается эффективным, если функция Грина может быть записана аналитически в простой форме. В этом случае дискретизации подвергается не пространство, а ограничивающая его поверхность, что значительно понижает размерность задачи. Функция Грина может быть достаточно просто найдена для плоскостойких структур и свободного пространства. Именно для таких структур были разработаны САПР на основе MOM – Microwave Office и ADS.

Особое место среди задач, решаемых САПР РЭА, занимают задачи излучения и рассеяния электромагнитных волн, в которых требуется определять поля в областях различного электрического размера, в том числе в тех, где отношение геометрического размера к длине волны в свободном пространстве велико. Ис-

пользование методов МКЭ и FDTD в таких задачах является, как правило, неэффективным. Кроме того, часто оказывается неэффективным и МОМ. В этом случае перечисленные методы необходимо дополнять так называемыми асимптотическими методами: физической оптики, геометрической теории дифракции – и тем самым реализовывать гибридные подходы к решению задачи. На основании таких подходов осуществляется свое функционирование САПР FEKO. Она предназначена для решения задач, связанных с проектированием РЭА и антенн, рассеянием электромагнитных волн на сложных объектах, распространением радиоволн в городских условиях и пр. [2]. Использование гибридных подходов в FEKO позволяет преодолеть главный недостаток большинства программ для моделирования высокочастотных структур – значительные затраты компьютерных и временных ресурсов на моделирование различных объектов, в том числе и тех, у которых размеры намного превышают длину электромагнитной волны.

Цель настоящей работы состояла в установлении зависимости уровня ЭМН на коаксиальные кабели типов RG59/U, RG11/U и RG179/U от их длины, а также мощности электромагнитных воздействий. Для реализации описанной цели при помощи САПР FEKO было произведено моделирование процесса взаимодействия ЭМИ различных уровней мощности с коаксиальными кабелями указанных типов.

Обоснование выбора элементов и параметров для моделирования

В качестве источника внешних ЭМИ при моделировании была выбрана полуволновая дипольная антенна, работающая на частоте (F), равной 100 МГц. Выбор данной частоты обусловлен тем, что на ней осуществляется передача сигналов формата RGBHV в COT. Выбор дипольной антенны в качестве источника внешних ЭМИ связан с тем, что она равномерно излучает по всем направлениям плоскости,

перпендикулярной своей оси, а также с тем, что большинство систем, которые могут оказывать непреднамеренное воздействие на коаксиальные кабели COT, построены на основе антенн данного типа (например, системы радиовещания и телевидения).

Дипольная антенна была реализована на основе проводника с круглым сечением, диаметр (d) которого составлял 0,015 м. Требуемая длина плеч (l) моделируемой дипольной антенны была рассчитана по следующим формулам:

$$l = \frac{(L \cdot k - d)}{2}; L = \frac{\lambda}{2}; \lambda = \frac{c}{F},$$

где L – общая (геометрическая) длина дипольной антенны с учетом зазора между ее плечами, требуемого для установки источника питания; k – коэффициент укорочения дипольной антенны; λ – длина электромагнитной волны, излучаемой дипольной антенной; c – скорость света в вакууме.

Дипольная антенна, наряду с геометрической, определяется еще и электрической длиной. Фактически геометрическая и электрическая длины дипольной антенны равны лишь в том случае, когда проводник является бесконечно тонким. На практике скорость распространения электромагнитных волн от проводника меньше, чем скорость распространения света в вакууме. В связи с этим на концах дипольной антенны возникает емкостный ток, который эквивалентен значению d антенны. Для его устранения следует уменьшать геометрическую длину дипольной антенны до значения ее электрической длины. Степень этого уменьшения определяется коэффициентом k , который в диапазоне УКВ зависит от значения отношения $\frac{\lambda}{d}$. Данная зависимость выражается кривой, изображенной на рис. 1 [3].

В рассматриваемом случае $\frac{\lambda}{d} = 200$, следовательно, $k = 0,94$, $l = 0,6975$.

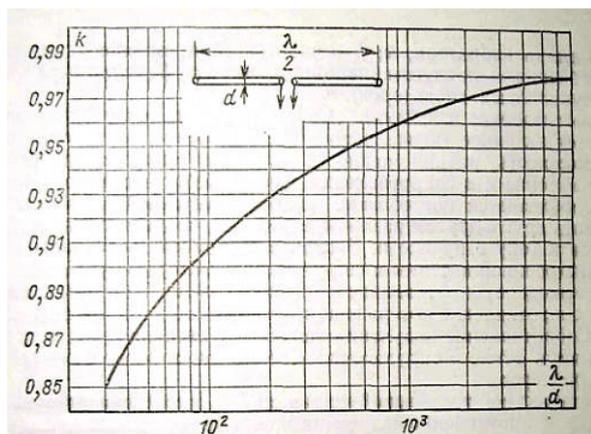


Рис. 1. Коэффициент укорочения полуволновой дипольной антенны в зависимости от значения отношения $\frac{\lambda}{d}$

На рис. 2 для ближней зоны смоделированной полуволновой дипольной антенны представлены распределения значений модулей проекций вектора Пойнтинга на оси Ox и Oy . Координаты дипольной антенны в пространстве отмечены на рис. 2, $a - (0,5; 2,5; 2)$. Кроме того, на обеих частях рисунка отмечены точки, в которых модуль проекции вектора Пойнтинга максимален (значение мощности ЭМИ антенны – 1 Вт).

При моделировании коаксиальные кабели требуемых в рамках настоящей работы типов были доступны для выбора в специали-

зированной библиотеке, являющейся одной из компонентов САПР FEKO.

Ось смоделированной полуволновой дипольной антенны располагалась перпендикулярно оси коаксиального кабеля на расстоянии 0,5 м от последней. Зазор дипольной антенны был размещен в одной плоскости с осью коаксиального кабеля и смещен влево относительно одного из разъемов его подключения на 0,5 м. Такое расположение антенны обусловлено тем, что на указанных расстояниях модуль ее вектора Пойнтинга принимает максимальное значение (см. рис 2). Сопротивления на разъемах подключения коаксиального кабеля устанавливались равными 75 Ом. Вся смоделированная система была размещена над платой, выполненной из идеально проводящего материала.

Измерения уровней ЭМН на коаксиальных кабелях СОТ были проведены для следующих случаев:

1) значения мощности ЭМИ дипольной антенны изменялись в пределах диапазонов 1–10 мВт, 20–100 мВт, 100–1000 мВт с шагом 1 мВт, 10 мВт, 100 мВт соответственно; длина коаксиального кабеля составляла 12 м;

2) значения длины коаксиального кабеля изменялись в пределах диапазона 3–36 м с шагом 1 м; мощность дипольной антенны со-

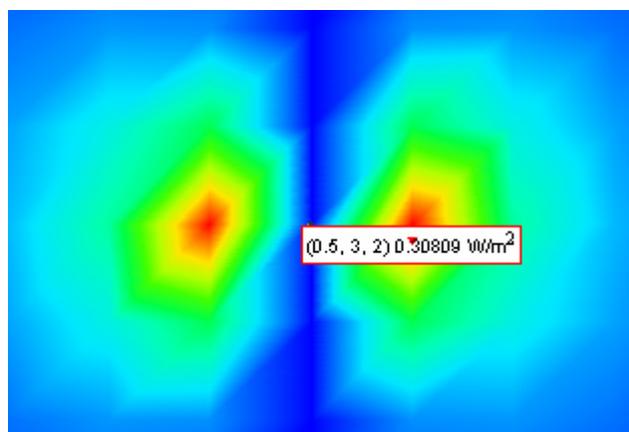
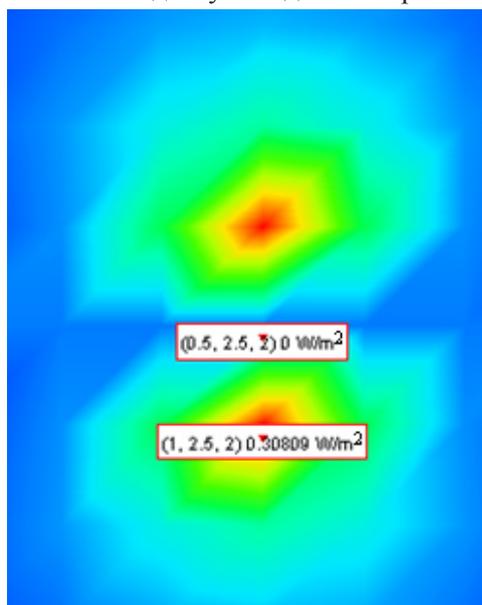


Рис. 2. Распределения модулей проекций вектора Пойнтинга на оси Ox (а) и Oy (б) полуволновой дипольной антенны, полученные в САПР FEKO

ставляла 1000 мВт.

Результаты моделирования и их обсуждение

Из трех исследованных типов коаксиальных кабелей в наибольшей степени подвержен воздействию внешних ЭМИ кабель типа RG179U, в наименьшей – кабель типа RG11U (см. рис. 3). Низкие уровни ЭМН на кабеле

типа RG11U объясняются тем, что он обладает самыми высокими значениями диаметра центральной жилы, толщины диэлектрика и экранирующей оплетки (см. таблицу).

Наряду с мощностью источников внешних ЭМИ, на уровни ЭМН на коаксиальном кабеле оказывает влияние его длина. Зависимость напряжения ЭМН на коаксиальном кабеле от

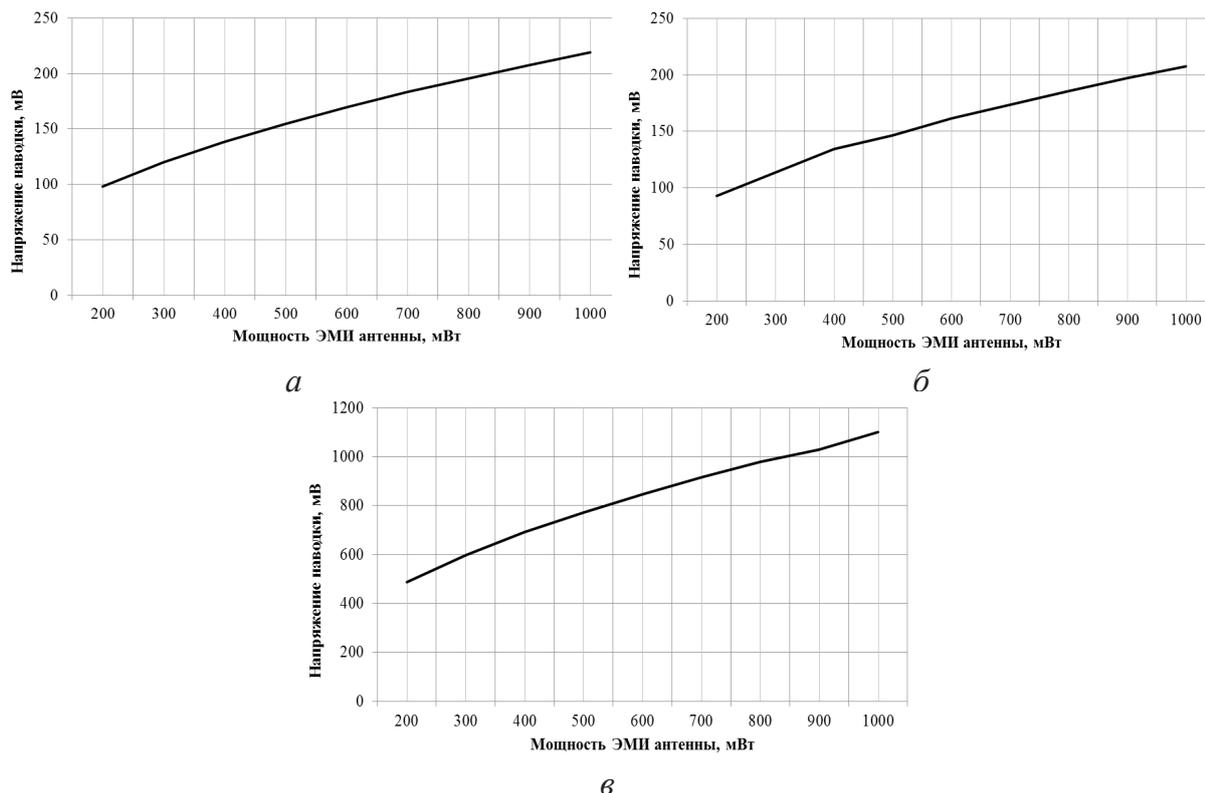


Рис. 3. Зависимость напряжения ЭМН от уровня мощности внешних ЭМИ диапазона 200–1000 мВт на коаксиальных кабелях типа RG59/U (а), RG11/U (б), RG179U (в)

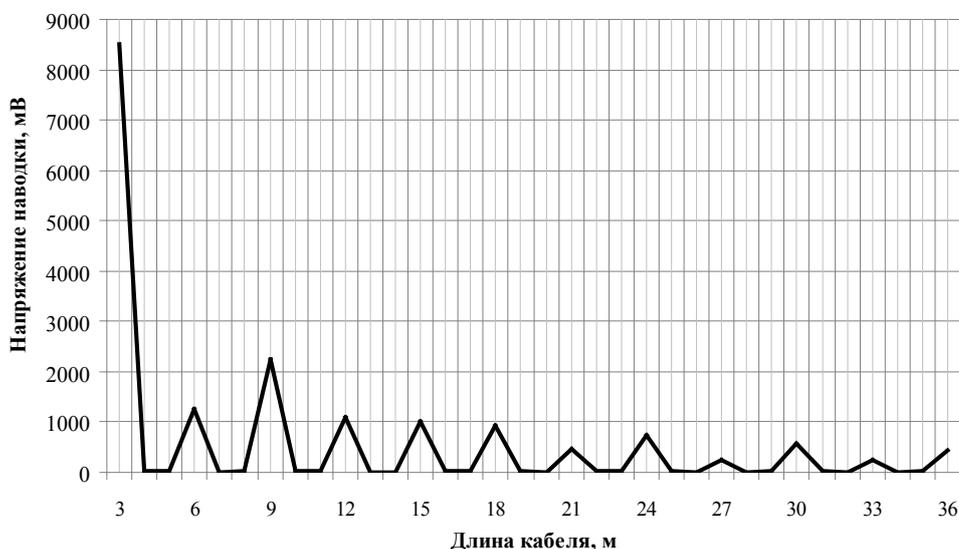


Рис. 4. Зависимость напряжения ЭМН на коаксиальном кабеле типа RG179U от его длины

его длины характеризуется большим количеством экстремумов (резонансных значений) (см. рис. 4). При этом точками экстремумов являются значения длин кабеля, кратные длине излучаемой антенной электромагнитной волны (в рассматриваемом случае длина электромагнитной волны составляет 3 м).

Кроме того, в процессе исследования установлено, что в случаях, когда в коаксиальном кабеле умещается целое количество длин излучаемых антенной электромагнитных волн (т.е. когда длина кабеля кратна длине излучаемых антенной электромагнитных волн), уровни ЭМН на обоих разъемах его подключения равны.

ВЫВОДЫ

В результате компьютерного моделирования, произведенного при помощи САПР ФЕКО, установлено, что из всех коаксиальных кабелей, используемых при проектировании СОТ, наиболее уязвимым к воздействию внешних ЭМИ является кабель типа RG179U.

Выявлено, что уровень ЭМН на коаксиальном кабеле зависит от его длины. Если источником ЭМИ является полуволновая дипольная антенна, работающая на частоте 100 МГц, то резонансные значения уровней ЭМН наблюдаются для кабелей, длина которых кратна 3 м, т.е. длине излучаемой антенной электромагнитной волны. При этом один из разъемов коаксиального кабеля должен располагаться в точке, в которой модули составляющих вектора Пойнтинга антенны принимают максимальные значения. В описанной ситуации самый высокий уровень ЭМН может быть зарегистрирован на коаксиальных кабелях длиной 3 м и 9 м.

Таким образом, чтобы обеспечивать бесперебойное функционирование СОТ в целом следует снижать уровень электромагнитных воздействий на ее линии связи. Для этого, например, на этапе монтажа СОТ используемые коаксиальные кабели можно укладывать в специальные короба, выполненные из материала, способствующего ослаблению интенсивности ЭМИ.

Перечень принятых обозначений и сокращений

FDTD – Finite Difference Time Domain;
MOM – Method Of Moments;
RGBHV – Red, Green, Blue, Horizontal sync, Vertical sync;
МКЭ – метод конечных элементов;
РЭА – радиоэлектронная аппаратура;
САПР – система автоматизированного проектирования;
СОТ – система охранного телевидения;
ЭМИ – электромагнитные излучения;
ЭМН – электромагнитные наводки;
УКВ – ультракороткие волны.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Банков, С.Е.** Расчет излучаемых структур с помощью ФЕКО / С.Е. Банков, А.А. Курушин. – М., ЗАО «НПП «РОДНИК», 2008. – 246 с.
2. **Марков, Г.Т.** Математические методы прикладной электродинамики / Г.Т. Марков, Е.Н. Васильев. – М., «Советское Радио», 1970. – 117 с.
3. **Ротхаммель, К.** Антенны / К. Ротхаммель. – М. Энергия, 1979. – 320 с.