

ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи



ПУСТОВОЙ ЮРИИ ~~И~~В ~~И~~ГОРЬЕВИЧ

ИЗЛУЧЕНИЕ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ АПЕРТУРНЫМИ АНТЕННАМИ

01.04.03 - радиопизика

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

Харьков - 1996

Диссертация представляет собой рукопись.

Работа выполнена в Институте магнетизма НАН Украины.

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор
Зернов Николай Викторович.

Официальные оппоненты:

1. доктор физико-математических наук, профессор
Горобец Николай Николаевич,
Харьковский государственный университет;
2. доктор технических наук, профессор
Карпенко Владимир Иванович,
Харьковский военный университет.

Будущая организация:

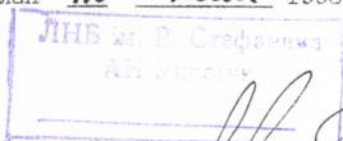
Институт радиопизики и электроники НАН Украины.

Защита состоится "20" июня 1996 г. в 12 час. 00 мин.
на заседании специализированного ученого совета Д 02.02.07
Харьковского государственного университета (310077, г. Харьков,
пл.Свободы, 4, аудитория III-9).

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной
библиотеке Харьковского государственного университета.

Автореферат разослан "12" мая 1996 г.

Ученый секретарь
специализированного ученого совета



В.И.Чеботарев



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Решение ряда практических задач современной радиотехники, наряду с традиционными узкополосными колебаниями, предполагает использование сигналов, ширина реального спектра которых соизмерима с его средней частотой. Подобные сигналы в литературе получили наименование сверхширокополосных (СШП).

Совокупность практических проблем, при решении которых находят применение СШП сигналы, весьма разнообразна.

В частности, сюда входят исследования в области подповерхностной радиолокации, работы по развитию методов обычной радиолокации, связанных с обнаружением и распознаванием малозаметных объектов при помощи получения различной некоординатной информации. Кроме того, проводятся исследования по применению СШП сигналов в связи, по вопросам анализа устойчивости антенных систем к мощному импульсному излучению, а также по вопросам возникающей в ходе практической реализации вышеперечисленных направлений проблемы электромагнитной совместимости антенных систем, работающих с негармоническими колебаниями.

Одним из важнейших аспектов подобных направлений исследований, как представляется очевидным, является вопрос о работе устройств антенно-фидерного тракта радиотехнических средств при излучении или приеме СШП сигналов. Однако, следует заметить, что для решения таких задач классические методы антенной техники напрямую применять нельзя, так как они основаны на предположении об узкополосности излучаемых колебаний.

В связи с этим, особую актуальность приобрели исследования в области теории антенн, излучающих или принимающих негармонические сигналы.

Ряд работ отечественных и зарубежных авторов посвящен методам анализа подобных антенн, анализу работы в негармоническом режиме традиционных антенных устройств, попыткам создания антенн, специально предназначенных для работы с СШП сигналами, а также вопросам прохождения таких

сигналов через волноводы.

Вместе с тем, при решении некоторых практических задач возникает необходимость обеспечить высокую направленность излучения негармонических колебаний с точки зрения энергетика сигнала. Поэтому весьма актуальными представляются исследования антенн апертурного типа, так как априорно известно, что они обладают большим коэффициентом направленного действия (КНД) в гармоническом режиме.

Целью настоящей работы является нахождение аналитического решения задачи излучения круглой и прямоугольной апертурными антеннами при возбуждении их финитными во времени негармоническими сигналами, а также исследование свойств таких антенн на основе полученных выражений.

Научная новизна работы состоит в том, что:

- Впервые на основе частотного подхода и представления сигнала в виде ряда Фурье на промежутке финитности предложена методика вычисления полей антенн, излучающих негармонические колебания.

- Впервые на основе частотного подхода и предложенной методики в приближении апертурного метода получено и исследовано аналитическое решение для поля, создаваемого в дальней зоне круглой апертурной антенной, синфазно возбуждаемой произвольным финитным негармоническим сигналом.

- Впервые на основе частотного подхода в приближении апертурного метода получено и исследовано аналитическое решение для поля, создаваемого в дальней зоне прямоугольной апертурной антенной, синфазно возбуждаемой произвольным финитным негармоническим сигналом.

Положения, выносимые на защиту:

1. Впервые на основе частотного подхода и представления сигнала в виде ряда Фурье на промежутке финитности предложена методика вычисления полей антенн, излучающих негармонические колебания.

1.1. Предложенная методика в некоторых случаях делает возможным получение решения в виде аналитического выражения поля антенны, возбуждаемой любым финитным сигналом, для

которого известны коэффициенты его разложения в ряд Фурье на промежутке финитности.

1.2. В случае невозможности получения аналитических выражений, методика позволяет проводить численный анализ исследуемых антенн без значительного увеличения объема вычислений.

2. Впервые на основе частотного подхода и предложенной методики в приближении апертурного метода получено и исследовано аналитическое решение для поля, создаваемого в дальней зоне круглой апертурной антенной, синфазно возбуждаемой произвольным финитным негармоническим сигналом.

2.1. Излучение круглой апертурой, возбуждаемой негармоническим сигналом эквивалентно излучению каждой точкой края ее апертуры колебаний, пропорциональных некоторому временному интегралу от этого сигнала. При этом порядок такого интеграла тем больше, чем более неравномерно амплитудное распределение поля в раскрыве антенны.

2.2. В случае негармонического излучения, характеристики направленности круглой антенны по средней мощности уже, чем в случае гармонического излучения, причем у них отсутствуют нули и локальные максимумы, а их ширина и уровень бокового излучения при более равномерном амплитудном распределении поля на апертуре меньше, чем при более неравномерном.

3. Впервые на основе частотного подхода в приближении апертурного метода получено и исследовано аналитическое решение для поля, создаваемого в дальней зоне прямоугольной апертурной антенной, синфазно возбуждаемой произвольным финитным негармоническим сигналом.

3.1. Излучение прямоугольной апертурой негармонического сигнала эквивалентно излучению каждой из четырех точек, расположенных в ее углах, колебаний, пропорциональных двукратному интегралу производной временной зависимости этого сигнала с весом, представляющим собой некоторую комбинацию гармонических функций.

3.2. Излучающие свойства прямоугольной апертуры отличаются от свойств апертуры круглой наличием более

сложной зависимости амплитуды и формы создаваемых прямоугольной антенной полей от направления излучения. При этом практическая разница в их свойствах направленности тем незаметнее, чем более неравномерно амплитудное распределение поля на апертуре.

Практическая и теоретическая ценность работы:

- Предложенная методика вычисления полей антенн, возбуждаемых негармоническими сигналами, может быть использована для анализа других антенных устройств, а также при решении задач дифракции СВЧ сигналов.

- Полученные результаты могут найти применение при построении высокоинформативных радиолокационных систем обнаружения и распознавания, а также других специальных систем получения некоординатной информации.

- Найденные решения для электромагнитных полей круглой и прямоугольной апертур могут служить основой для проведения дальнейших исследований работы апертурных антенн в негармоническом режиме.

Апробация работы. Диссертация представляет собой изложение и обобщение 7 ранее опубликованных работ автора.

Изложенные в диссертации результаты были доложены и обсуждены на Межотраслевом семинаре по проблемам боевой устойчивости и живучести (Калининград Моск. обл., 1989), на Всесоюзном совещании по приземному распространению радиоволн и электромагнитной совместимости (Улан-Удэ, 1990), на Всесоюзной научно-технической конференции (НТК) по применению сверхширокополосных сигналов в радиоэлектронике и геофизике (Красноярск, 1991), на 49-й НТК научно-технического общества радиотехники, электроники и связи (НТО РЭС) им.А.С.Попова (Санкт-Петербург, 1994).

Личный вклад диссертанта в разработку достигнутых научных результатов состоял в проведении самостоятельных исследований по теме работы под общим руководством научного руководителя.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, трех основных разделов и заключения. Работа изложена на 196 страницах машинописного текста, из них

основной текст - на 105 с., 76 страниц рисунков, список использованной литературы на 13 с., содержащий 77 наименований работ, а также список публикаций автора, отражающих основное содержание диссертации, на 2 с., включающий 7 наименований.

Во введении (раздел 1) обоснована актуальность диссертации, сформулирована ее цель, отражены основные положения, выносимые на защиту, а также изложена общая характеристика работы.

Во втором разделе дано определение и математическое описание СШП сигналов, проведен краткий обзор существующих методов исследования антенн, работающих в режиме негармонического излучения, а также изложен частотный метод расчета электромагнитных полей, создаваемых антеннами в дальней зоне при возбуждении их несинусоидальными колебаниями. На основе частотного метода и представления СШП сигнала в виде ряда Фурье на промежутке финитности предложена методика вычисления полей, позволяющая получать решение в аналитическом виде для большого класса возбуждающих сигналов. Там же дается определение и способ вычисления характеристик направленности (ХН) и коэффициента направленного действия (КНД) антенных устройств, работающих в режиме негармонического излучения, а также получены и проанализированы соотношения, определяющие КНД применительно к апертурным антеннам.

В третьем разделе изложено аналитическое решение задачи излучения негармонических сигналов круглой апертурной антенной, найденное в приближении апертурного метода на основе частотного подхода и методики вычисления полей антенн, изложенных в предыдущем разделе. Используя полученные выражения, проведен анализ полей, создаваемых антенной в дальней зоне. Там же на основе полученного решения исследованы характеристики направленности круглой антенны по энергии и по средней мощности применительно к различным видам распределения поля на апертуре и временным сигналам с различными спектральными свойствами.

В четвертом разделе изложено аналитическое решение

задачи излучения несинусоидальных сигналов антенной с прямоугольной апертурой, найденное, также как и для круглой антенны, в приближении апертурного метода на основе частотного подхода. Далее, используя полученные выражения, проанализированы поля, которые создает такая антенна в дальней зоне, а также рассмотрены ее свойства направленности. Там же на основе полученных результатов исследований проведен краткий сравнительный анализ свойств круглой и прямоугольной антенн, работающих в режиме излучения негармонических колебаний.

В заключении (раздел 5) кратко подведены итоги проделанной работы, определены возможные пути использования результатов диссертации для решения практических задач, а также очерчены перспективы дальнейших исследований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Как известно, сверхширокополосными принято считать такие сигналы, для которых показатель широкополосности $\mu = \Delta f / f_0$ (где Δf - ширина реального спектра сигнала, а f_0 - его средняя частота) составляет величину порядка единицы.

В случае подобного сигнала излучающие свойства антенн сильно меняются в пределах его спектра. Поэтому при решении такого рода задач методы, основанные на предположении о близости сигнала некоторому монохроматическому колебанию, напрямую не могут быть применены.

Вместе с тем, обзор существующих методов анализа антенн, излучающих несинусоидальные колебания, показал, что, с точки зрения возможностей использования в негармоническом анализе хорошо известных результатов из классической теории и получения решения для создаваемых полей в аналитическом виде, наиболее предпочтителен частотный метод.

Суть метода состоит в следующем.

Пусть на вход исследуемой антенны поступает возбуждающее воздействие, которое как функция пространства и времени представляется вещественной зависимостью $\vec{d}(\mathbf{L})s(t)$, где \mathbf{L} - точка некоторой пространственной поверхности G , на

которой существует сигнал; $s(t)$ - некоторая финитная на интервале времени $t \in [0; \tau]$ функция. Тогда поле, создаваемое антенной в некоторой точке пространства M , будет иметь вид:

$$\vec{E}(t, M) = \mathcal{F}^{-1} \left\{ \vec{E}(\omega, M) \mathcal{F} [s(t)] \right\} ;$$

$$\vec{H}(t, M) = \mathcal{F}^{-1} \left\{ \vec{H}(\omega, M) \mathcal{F} [s(t)] \right\} ,$$

где $\vec{E}(\omega, M)$ и $\vec{H}(\omega, M)$ - комплексные амплитуды напряженностей электрического и магнитного полей соответственно, создаваемых в точке наблюдения M при возбуждении антенны гармоническим сигналом с круговой частотой колебаний ω вида $\mathcal{F}(L)e^{i\omega t}$;

\mathcal{F} и \mathcal{F}^{-1} - операторы соответственно прямого и обратного преобразований Фурье;

$i = \sqrt{-1}$ - мнимая единица.

Таким образом, для того чтобы найти поле антенны в режиме излучения СШП сигнала, достаточно иметь выражение для его спектральной плотности и решение для монохроматического сигнала на произвольной частоте ω . Последняя зависимость в литературе получила наименование частотной характеристики антенны.

На основе такого метода и известной возможности разложения финитной функции $s(t)$ в ряд Фурье на промежутке финитности в виде

$$s(t) = \sum_{j=0}^{\infty} \left[a_j A_j(t) + b_j B_j(t) \right] ,$$

где

$$a_j = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} s(t) \cos 2\pi j \frac{t}{\tau} dt ;$$

$$b_J = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} s(t) \sin 2\pi J \frac{t}{\tau} dt ;$$

$$A_J(t) = w(t) \cos 2\pi J \frac{t}{\tau} ;$$

$$B_J(t) = w(t) \sin 2\pi J \frac{t}{\tau} ;$$

$$w(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t \in [0; \tau] ; \\ 1, & \text{при } t \in [0; \tau] , \end{cases}$$

В работе предложена методика вычисления полей антенн, возбуждаемых сверхширокополосными сигналами, суть которой состоит в том, чтобы находить решение в виде взвешенной суммы соответствующих решений, полученных для каждой из составляющих разложения:

$$\vec{E}(t, M) = \sum_{J=0}^{\infty} \left[a_J \vec{E}_{AJ}(t, M) + b_J \vec{E}_{BJ}(t, M) \right] ,$$

где $\vec{E}_{AJ}(t, M) = \mathcal{F}^{-1} \left\{ \vec{E}(\omega, M) \mathcal{F} [A_J(t)] \right\} ;$

$$\vec{E}_{BJ}(t, M) = \mathcal{F}^{-1} \left\{ \vec{E}(\omega, M) \mathcal{F} [B_J(t)] \right\} .$$

В ходе исследований рассматривались круглая и прямоугольная антенны, апертуры которых возбуждаются соответственно колебаниями следующего вида:

$$\vec{E}_S(x', y', t) = \vec{E}_0 (1 - R^2)^{k-1} s(t) ; \quad (1)$$

$$\vec{E}_S(x', y', t) = \vec{E}_0 \cos^m \left[\frac{\pi x'}{a} \right] \cos^n \left[\frac{\pi y'}{b} \right] s(t) , \quad (2)$$

где x', y' - пространственные координаты точки на апертуре;
 \vec{E}_0 - максимальное значение амплитуды поля на апертуре,

вектор которого лежит в плоскости раскрыва;

$$R^2 = 4(x'^2 + y'^2)/d^2 \leq 1;$$

d - диаметр круглой апертуры;

a, b - размеры прямоугольной апертуры;

k, m, n - натуральные числа.

Используя в качестве частотных характеристик круглой и прямоугольной антенн известные из классической теории решения для случая гармонического излучения, путем осуществления последовательных математических преобразований получены аналитические выражения для полей апертурных антенн, возбуждаемых негармоническими сигналами.

На основе полученных выражений проведен анализ таких полей, а также характеристик направленности рассматриваемых антенных устройств. Отдельно исследован вопрос о коэффициенте направленного действия апертурных антенн.

В ходе анализа рассматривались различные виды временной функции возбуждающего воздействия $s(t)$, различные виды амплитудного распределения поля в раскрыве антенны, варьировались длительность сигнала и направление на точку наблюдения. При этом последняя задавалась в сферической системе координат $M(r, \theta, \varphi)$, где r - расстояние от центра апертуры до точки наблюдения; θ - угол между нормалью к апертуре и направлением на точку наблюдения; φ - угол между проекцией направления наблюдения на плоскость раскрыва и некоторым «нулевым» направлением в этой плоскости.

По результатам исследований проведен также сравнительный анализ излучающих свойств круглой и прямоугольной апертурных антенн.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИИ

1. Впервые на основе частотного подхода и представления сигнала в виде ряда по некоторому набору финитных функций предложена методика вычисления полей антенн, излучающих негармонические колебания. Такая методика предполагает рассмотрение сигнала в виде ряда по несинусоидальным составляющим и нахождение решения задачи излучения в виде

ряда по решениям для каждой из таких составляющих. При этом коэффициенты ряда по решениям численно совпадают с коэффициентами разложения самого сигнала.

2. Предложенная методика в некоторых случаях делает возможным получение решения в виде аналитического выражения поля антенны, возбуждаемой любым финитным сигналом, для которого известны коэффициенты его разложения в ряд Фурье на промежутке финитности.

3. В случае невозможности получения аналитических выражений, методика позволяет, после предварительного численного расчета решений для составляющих, проводить вычисление решения собственно для сигнала путем комбинации полученных ранее численных данных. Такой подход дает возможность рассмотреть большое количество сигналов без значительного увеличения объема вычислений.

4. Предложенный подход к определению характеристик направленности и коэффициента направленного действия антенн, работающих в режиме излучения негармонических волн, позволяет проводить анализ их направленных свойств с точки зрения энергетики излучаемых колебаний.

5. Кроме того, данные определения ХН по средней мощности и КНД в предельном случае значения показателя широкополосности сигнала $\mu=0$ совпадают с определениями ХН по мощности и КНД для режима излучения синусоидальных волн. Такой результат позволяет проводить сравнение свойств направленности исследуемой антенны, работающей как в режиме излучения СШП сигнала, так и в режиме узкополосного излучения.

6. Впервые предложена формула расчета КНД апертурной антенны при ее возбуждении несинусоидальными колебаниями, аналогичная соответствующей формуле в гармоническом режиме. Введены понятия эффективной площади антенны и частотного множителя для режима излучения негармонических волн. В ходе исследования полученных выражений показана инвариантность КНД к форме апертуры в случае синфазного ее возбуждения несинусоидальным сигналом при условии неизменности величины эффективной площади антенны в гармоническом режиме. Также

сформулировано условие эквивалентности антенн с точки зрения КНД для режима несинфазного возбуждения их апертур СШП сигналом.

7. Впервые на основе частотного подхода и предложенной методики в приближении апертурного метода получено аналитическое решение для поля, создаваемого в дальней зоне круглой апертурной антенной, синфазно возбуждаемой произвольным финитным негармоническим сигналом.

8. Излучение круглой апертурой, возбуждаемой негармоническим сигналом вида (1), эквивалентно излучению каждой точкой края ее апертуры колебаний, пропорциональных интегралу $k-1$ -го порядка временной функции этого сигнала $s(t)$. При этом амплитудный вклад точек такого кольца определяется некоторой гармонической зависимостью от угловой координаты φ каждой из них.

9. Круглая апертурная антенна, возбуждаемая негармоническим сигналом, в направлениях, достаточно близких к направлению нормали к апертуре, излучает колебания, пропорциональные первой производной такого сигнала, а при больших отклонениях от нормали - совокупность колебаний, пропорциональных временному интегралу от возбуждающего воздействия порядка $k-1$.

10. В ходе анализа ХН круглой антенны по средней мощности установлено, что ширина таких характеристик тем больше, чем более неравномерно амплитудное распределение поля по апертуре в рамках исследуемой модели, причем это справедливо не только в области максимума излучения, но и в области углов, соответствующих первому боковому лепестку в режиме гармонического возбуждения на средней частоте спектра данного сигнала. Таким образом, при излучении антенной негармонического сигнала, более равномерное распределение поля в раскрыве антенны выгоднее более неравномерного не только с точки зрения меньшей ширины ХН, но и, в отличие от гармонического режима, с точки зрения более низкого уровня бокового излучения.

11. Сравнительный анализ направленных свойств круглой антенны в случаях излучения колебаний различной

широкополосности, но с одинаковой средней частотой показал, что в области углов вблизи направления главного максимума XH по средней мощности при несинусоидальном излучении несколько уже, чем в случае излучения гармонических волн. В районе первого бокового лепестка в случае максимально широкополосного сигнала у такой XH , в отличие от гармонического режима, вообще отсутствуют нули и локальные максимумы. Установлено, что такие различия становятся ощутимыми, если ширина реального спектра излучаемого сигнала составляет порядка 0.2 от средней частоты колебаний.

12. Впервые на основе частотного подхода в приближении апертурного метода получено аналитическое решение для поля, создаваемого в дальней зоне прямоугольной апертурной антенной, синфазно возбуждаемой произвольным финитным негармоническим сигналом.

13. Излучение прямоугольной апертурой СШП сигнала вида (2), по аналогии со случаем круглой апертуры, эквивалентно излучению каждой из четырех точек, расположенных в ее углах, колебаний, пропорциональных двукратному интегралу производной временной зависимости этого сигнала $s(t)$ с весом, представляющим собой некоторую комбинацию гармонических функций.

14. Аналогично случаю круглой антенны, можно сказать, что прямоугольная апертурная антенна, возбуждаемая негармоническим сигналом, в направлениях, достаточно близких к направлению нормали к апертуре, излучает колебания, пропорциональные первой производной такого сигнала, а при больших отклонениях от нормали - совокупность колебаний, пропорциональных временному интегралу от возбуждающего воздействия. При этом порядок и вес такого интегрирования зависят не только от степени неравномерности амплитудного распределения поля в раскрыве, но и от значения угла φ .

15. Сравнительный анализ результатов исследования круглой и прямоугольной апертур показал, что излучающие свойства последних во многом идентичны, в особенности что касается вопроса о характеристиках направленности. При этом основное отличие в их свойствах - наличие зависимости

амплитуды и формы создаваемых прямоугольной антенной полей от угла φ — тем незаметнее, чем более неравномерно амплитудное распределения поля на апертуре.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА,
ОТРАЖАЮЩИХ ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Зернов Н.В., Пустовой Я.И. Излучение круглой апертурной антенной сверхширокополосных сигналов. — Проблемы обработки информации в информационных системах: Научно-технический сборник, Министерство обороны РФ, выпуск 1, 1994, с. 81-82.
2. Пустовой Я.И. Излучение сверхширокополосных колебаний апертурной антенной с круглым раскрывом. — Доповіди НАН України, 1995, №7, с. 52-54.
3. Зернов Н.В., Пустовой Я.И. Характеристики направленности круглых апертурных антенн при излучении несинусоидальных сигналов. — Доповіди НАН України, 1995, №9, с. 46-48.
4. Зернов Н.В., Меркулов Г.В., Пустовой Я.И. Анализ устойчивости антенных систем при воздействии на них мощных коротких СВЧ импульсов. — Межотраслевой семинар по проблемам боевой устойчивости и живучести: Тезисы докладов, г.Калининград Моск. обл., ЦНИИ МАШ МОМ, 1989, с. 78-79.
5. Зернов Н.В., Меркулов Г.В., Пустовой Я.И. Электромагнитная совместимость антенных систем при работе со сверхширокополосными сигналами. — Всесоюзное совещание по приземному распространению радиоволн и электромагнитной совместимости: Тезисы докладов, Улан-Удэ, 1990, с. 143.
6. Зернов Н.В., Меркулов Г.В., Пустовой Я.И. Характеристики направленности апертурных антенн, излучающих сверхширокополосные (СШП) сигналы. — Всесоюзная НТК по применению сверхширокополосных сигналов в радиоэлектронике и геофизике: Тезисы докладов, Красноярск, 1991, с. 74.

7. Пустовой Я.И. Применение ряда Фурье для представления сверхширокополосных сигналов. - 49-я НТК НТОРЭС им. А.С.Попова: Тезисы докладов, Санкт-Петербург, 1994, с. 82.

АННОТАЦИЯ

Пустовой Я.И. Излучение сверхширокополосных сигналов апертурными антеннами.

Диссертация (рукопись) на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 - радиофизика, Харьковский государственный университет, Харьков, 1996.

Представлено к защите 7 научных работ, которые содержат теоретические исследования излучающих свойств круглой и прямоугольной апертурных антенн, возбуждаемых несинусоидальными сигналами. Предложена методика вычисления полей антенн, излучающих нестационарные колебания; на ее основе получены и исследованы аналитические решения для полей круглой и прямоугольной апертур.

ABSTRACT

Pustovyi Ya.I. Radiation of Ultra-Wide-Band Signals by Aperture Antennas.

The manuscript-type thesis to obtain the degree of candidat of physical and mathematical sciences on speciality 01.04.03 - Radio Physics, Kharkiv State University, Kharkiv, 1996.

The seven science works, which contents theoretical researches of radiation properties of round and rectangular aperture antennas, stimulated by nonsinusoidal signals, are presented to defence. The methods of radiating transient waveforms aperture antenna fields calculation was proposed; The analytical solutions for round and rectangular aperture fields were developed and investigated on basic of this methods.

Ключові слова:

надширококугові сигнали, несинусоподібні сигнали, апертурні антени.

На правах рукописи

СОВА

СОВА

ВЛИВ ВПЛИВУ МОДИФІКАЦІЙ
ПЛАКСТАТНОЇ ДИСЕРЖІ
МЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ
ДОГО БЕДНА

МОНІТОРИНГОВА РОБОТА «Машини, агрегати та обладнання
механізації»

446761

Подписано в печать 30.04.96. Формат 60 x 84 / 16 Отпечатано на дупликаторе.
Усл.п.л. 1,0. Уч.-изд.л. 1,0 Тираж 100 Заказ 114

AB 34.836

AB 34.836

1974

Handwritten text at the bottom of the page, possibly a signature or date.