

*Российская академия наук
Санкт-Петербургский государственный университет
Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет*

**XVII Всероссийская научная конференция
студентов-радиофизиков**

Тезисы докладов

22-24 апреля 2014 года

*Санкт-Петербург
Издательство «Соло»
2014*

XVII Всероссийская научная конференция студентов-радиофизиков:
Тез. докл. – СПб.: Изд-во «Соло», 2014. – 120 с.

Организационный комитет конференции

Председатель:	Макаров Г.И.,	Почетный профессор СПбГУ
Сопредседатели:	Зернов Н.Н., Черепанов А.С.,	профессор СПбГУ профессор СПбГПУ
Зам.председателя:	Битюков А.А.,	доцент СПбГУ
Члены:	Бисярин М.А. Сочава А.А., Тюхтин А.В., Чижик В.И.,	профессор СПбГУ доцент СПбГПУ профессор СПбГУ профессор СПбГУ
Техн. секретарь:	Юсупов И.Е.,	СПбГУ
Секретарь:	Букина И.В.,	СПбГУ

*Кафедра радиофизики физического факультета СПбГУ
198504, Санкт-Петербург, Петродворец, ул. Ульяновская 1*

*Тел.: (812) 428-72-89
E-mail: radio@niirf.spbu.ru*

© Санкт-Петербургский государственный университет, 2014
© Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2014

ISBN

СОДЕРЖАНИЕ

Агеев И.В. Краткий обзор результатов высокотемпературных измерений интенсивности рассеяния электромагнитного излучения в стеклах и их расплавах	6
Амару Ж. Выбор угла наведения антенны для линии спутниковой связи С-диапазона	10
Бурулев А.П. Моделирование сильных флуктуаций поля на трансионосферных трассах распространения	13
Варзер Е.В. Нелинейная магнитоупругая динамика в анизотропной ферритовой пластине	16
Васькин А.Д. Исследование комбинированной пирамидальной гофрированной рупорно-линзовой антенны	18
Горинбахер А.В. ВЧ генератор для возбуждения ультразвука в ферритовых пленках	21
Гофман А.А. Солнечные микровсплески	23
Данилогорская Е.А. О вкладе горизонтальных градиентов в ошибки измерения координат местоположения объектов Глобальными навигационными спутниковыми системами	26
Желнина Е.А. Исследование закономерностей формирования дисперсионных искажений ЛЧМ-импульсов при вертикальном зондировании ионосферы	29
Зотов М.Б. Основные рабочие характеристики блока промежуточной частоты приемного комплекса радиотелескопа РТ-70 (Уссурийск) для режима совместных наблюдений в РСДБ-сети «Квазар-КВО»	32
Капинос Э.О. Исследование нелинейных режимов магнитоупругих колебаний в двухслойной структуре	35
Квочкин Д.О. Модуль сетевого управления на связке АТmega8 – ENC28J60	38
Кирушев М.С., Елфимова Н.С. Нелинейная прецессия вектора намагниченности в анизотропных магнитоупругих ферритовых пластинах	40
Клепфиш М.Б. Исследование временной стабильности критической частоты ионосферного слоя F2	42

Коновалюк Д.А., Карманов А.И. Разработка микропроцессорного блока управления и стабилизации тока электромагнита ЯМР-спектрометра	45
Конашук Н.Н. Пространственное распределение магнитного поля и энергичных частиц в источниках сантиметровых радиовсплесков	47
Костин А.А. Пространственно-частотная функция когерентности волнового поля в марковском приближении	49
Крутиев С.В. Волноводный полосно-пропускающий фильтр на сложных резонансных диафрагмах	51
Кузнецов О.Ю. Результаты экспериментальных исследований атмосфериков в ИНЧ диапазоне	54
Кулаков Н.С. Исследование коммутационного диода СВЧ при обратном смещении	58
Курдюкова Е.Г., Пилипец Е.С. Моделирование нелинейной динамики двух взаимодействующих магнитных диполей	62
Куцов А.С. Метод измерения шероховатости поверхности подложек интегральных схем СВЧ диапазона	64
Кырнышев А.М., Роев А.А. Измерение диаграммы эффективной поверхности рассеяния проводящих тел с использованием эффекта Доплера и аппаратно-программной платформы NI	68
Линдт С.В. Мультистабильные колебания в кольцевых автогенераторах	71
Майоров А.Г. Шифрование сигналов с помощью детерминированного хаоса	74
Михайлов С.А. Абсолютные измерения при помощи внешнего волоконного интерферометра Фабри-Перо: повышение быстродействия	77
Мязин А.С. Повышение точности измерения электрических полей при помощи интегрально-оптического волоконного поляризационного датчика	80
Очиков П.Н. Мультифрактальный анализ флуктуаций трансферных сигналов и моделирование стохастических процессов с заданными мультифрактальными характеристиками	82
Пешков А.А. Излучение заряда, влетающего в киральную изотропную среду	85

Попов А.А. Исследование возможностей и особенности работы микроволнового спектрометра, предназначенного для дистанционного мониторинга влажностных характеристик атмосферы	88
Ристо А.В. Применение модели связанных осцилляторов для анализа нелинейного возбуждения гиперзвука в ферритовой пластине	92
Тарасов А.Ю. Широкополосный усилитель-формирователь радиочастотных импульсов	94
Устюгов В.А., Квочкин Д.О. Автоматизированная система измерения и контроля температуры	97
Худышев Ю.С. Дисперсионные искажения короткого хаотического импульса при распространении в межпланетной плазме	100
Шеховцов В.В. Направленный ответвитель диапазона 4...12 ГГц	103
Аннотации	106

КРАТКИЙ ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ РАССЕЙЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СТЕКЛАХ И ИХ РАСПЛАВАХ

Студент: И.В. Агеев (6 курс, кафедра физики твердого тела, СПбГУ)

Рассеяние видимого света (РВС) является одним из основных способов изучения флуктуационных явлений в стеклах и их расплавах [3]. Флуктуационные процессы, приводящие к генерации изотропного рассеяния, можно разделить на три типа, обусловленные существованием флуктуации плотности, температуры и концентрации [1]. Решение задачи как при помощи метода статистических ансамблей Гиббса, так и на основе термодинамической теории флуктуаций приводит к следующим результатам:

$$\langle (\Delta\rho)^2 \rangle = kT \cdot \beta_{T,0} \cdot \rho^2 / \nu$$

$$\langle (\Delta T)^2 \rangle = kT^2 / c_v \cdot \rho \cdot \nu$$

$$\langle (\Delta c)^2 \rangle = kT \cdot (1 - c_i) \cdot \left(\frac{\partial M_i}{\partial c_i} \right)_{T,p}^{-1} \cdot V_m / \nu$$

где k – постоянная Больцмана, $\beta_{T,0}$ – равновесная изотермическая сжимаемость, c_i – молярная доля i -ого компонента в растворе ($i = 1, 2$), c_v – удельная изохорная теплоемкость, M_i – молярный химический потенциал i -ого компонента, V_m – молярный объем раствора.

Применение метода РВС позволило разделить и оценить вклады, обусловленные разными флуктуационными процессами, в полную интенсивность рассеянного света на составляющие, обусловленные флуктуациями плотности, концентрации [2]. Совокупность экспериментальных результатов по поведению интенсивности рассеяния электромагнитного излучения в интервале стеклования, полученную в последние десятилетия, сложно интерпретировать в рамках

существующих представлений [4, 5]. Поведение интенсивности рассеянного света характеризуется существованием гистерезиса температурной зависимости, отличительной особенностью которой является образование максимума в режиме нагрева стекла через интервал стеклования [4]. Данная зависимость приведена на рис. 1.

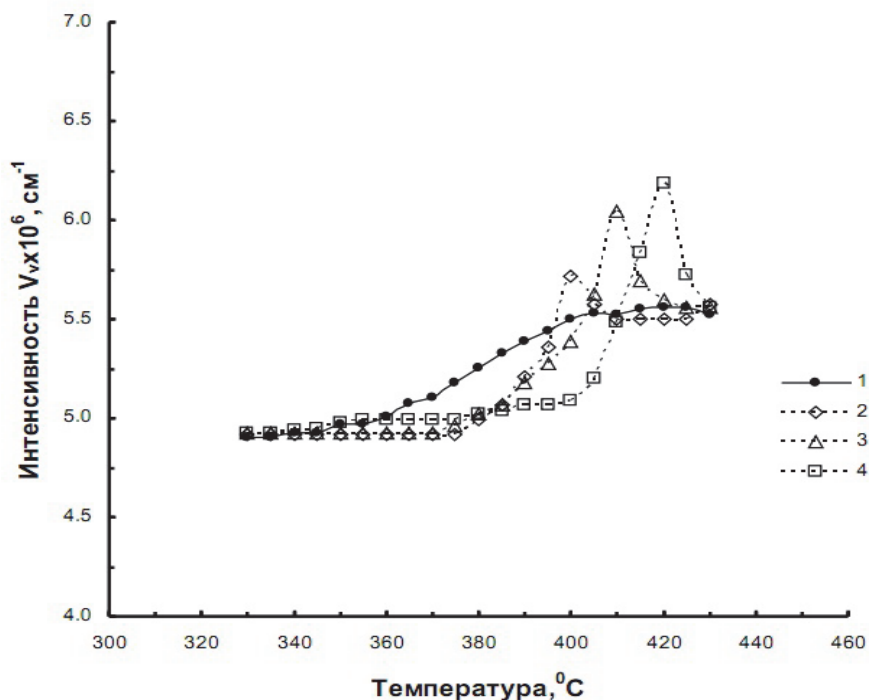


Рис. 1. Температурная зависимость поляризованной V_V составляющей рассеянного света в интервале стеклования фосфатного стекла, содержащего 9,4 мол. % Na_2O * 57,7 мол. % ZnO * 32,9 мол. % P_2O_5 , при его охлаждении через интервал стеклования со скоростью $10^\circ\text{C}/\text{мин}$ (линия 1) и последующем нагреве со скоростью $10^\circ\text{C}/\text{мин}$ (линия 2), $30^\circ\text{C}/\text{мин}$ (линия 3) и $50^\circ\text{C}/\text{мин}$ (линия 4).

В результате проведенных исследований, выполненных методом РВС для ряда оксидных стекол, было установлено, что такой вид зависимости интенсивности от температуры в интервале стеклования имеет универсальный характер [6]. Чтобы исключить зависимость параметров максимума интенсивности РВС от скорости нагрева образца в дальнейших опытах был использован метод температурных скачков. Использование метода температурных скачков позволило установить наличие временной зависимости интенсивности, которая представлена на рис. 2, высота и положение максимума интенсивности являются функцией от времени [6].

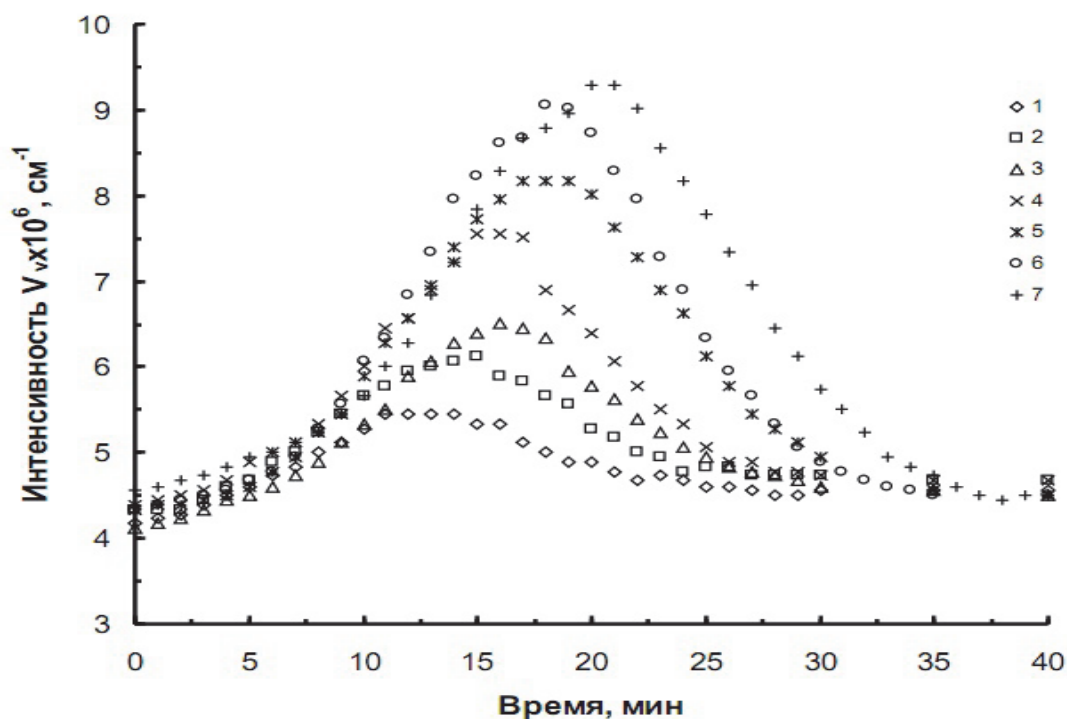


Рис. 2. Зависимость от времени поляризованной V_V (90°) составляющей рассеянного излучения для фосфатного стекла состава 9,4 мол. % Na_2O * 57,7 мол. % ZnO * 32,9 мол. % P_2O_5 при 383°C после температурного скачка от 360°C . Длительность стабилизации при 360°C в часах: 4 (1), 8 (2), 14 (3), 22 (4), 46 (5), 94 (6), 164 (7).

Научные руководители:

к.ф.-м.н., заведующий отделом ЦСОП и НИ СПбГУ Богданов В.Н.
д.ф.-м.н., доцент, ведущий научный сотрудник ИХС РАН Боков Н.А.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов В.Н., Константинов А.В., Максимов Л.В., Смердин С.Н. Роль концентрационных флуктуации в рассеянии света оптическими стеклами // В кн.: Оптические и спектральные свойства стекол. Тезисы докл. VI Симпозиума по оптическим и спектральным свойствам стекол. Рига. 1986. С. 33.
2. Богданов В.Н., Соловьев В.А., Чернышева О.Е. Рассеяние света в стеклах системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3$ // Физ. и хим. стекла. 1982. Т. 8. № 4. С.491-494.

3. Боков Н.А., Андреев Н.С. Релеевское рассеяние света в расплавах литиевооборотных, натриевооборотных и калиевооборотных стекол // Тезисы докладов VIII Всесоюзного совещания по стеклообразному состоянию. 1986. С. 109.
4. Боков Н.А., Андреев Н.С. Рассеяние света расплавом В2О3 в интервале 300-900°С // Физ. и хим. стекла. 1984. Т. 10. № 3. С. 274-277.
5. Голубков В.В. Структура В2О3 и щелочных боратов в стеклообразном и расплавленном состоянии // Физ. и хим. стекла. 1992. Т. 18. №2. С. 14-33.
6. Боков Н.А. Температурная зависимость интенсивности рассеяния видимого света при переходе стекол в состояние метастабильной жидкости // Физ. и хим. стекла. 1991. Т. 17, № 5. С. 839-841.

ВЫБОР УГЛА НАВЕДЕНИЯ АНТЕННЫ ДЛЯ ЛИНИИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ С-ДИАПАЗОНА

Аспирант: Ж. Амару (1 год, кафедра радиотехники и радиосистем, ВлГУ)

С появлением геостационарного спутника «АНГОСАТ» начинаются работы по созданию национальной телекоммуникационной сети спутниковой связи в Республике Ангола. При разработке сети спутниковой связи требуется определить параметры земных станций (ЗС). Одним из важных параметров является угол наведения антенны на спутник связи (СС), при котором должна осуществляться уверенная передача информации от ЗС к СС и наоборот, а также обеспечиваться отсутствие помех другим спутникам.

Центральную земную станцию сети спутниковой связи планируется разместить в столице республики, в г. Луанда, где уже имеется развитая телекоммуникационная инфраструктура и где сходятся имеющиеся в стране сети передачи информации.

При размещении центральной земной станции (ЦЗС) в столице, расстояние до спутника связи (СС) «АНГОСАТ» определим [1] как:

$$d_{\text{цзс-сп}} = \sqrt{r^2 + R^2 \cos^2 \xi - Rr \cos \xi \cos \beta + R^2 \sin^2 \xi}, \text{ км}, \quad (1)$$

где: $\xi = 8^\circ 50'$ – широта ЗС, β – разность долготы спутника и ЗС $\beta = \gamma - \delta$, $\gamma = 14.5^\circ$ в.д. – долгота подспутниковой точки, $\delta = 13^\circ 33'$ – долгота ЗС, $r = 35876$ км – расстояние до геостационарной орбиты, $R = 6378$ км – радиус Земли.

Ширина главного лепестка диаграммы направленности (ДН) антенны центральной земной станции по уровню половинной мощности [2, 3] составит:

$$\theta_{3\text{дБ}}^\circ = 70^\circ \frac{\lambda_{\text{пер.цзс}}}{D}, \quad (2)$$

где: $D = 9.3$ м – диаметр антенны ЗС, $\lambda_{\text{пер.цзс}}$ – рабочая длина волны.

Максимальный коэффициент усиления антенны определим [4] как:

$$G_{\text{макс.пер.цзс}} = 9.94 + 10 \log_{10} K_u + 20 \log_{10} \left(\frac{D}{\lambda_{\text{пер.цзс}}} \right), \text{ дБ}, \quad (3)$$

где: $k_u = 0.7$ – коэффициент использования поверхности антенны.

Затухание сигнала в свободном пространстве [5]:

$$L_{\text{св}} = 32.4 + 20 \log_{10} f_{\text{пер.цзс}} + 20 \log_{10} d_{\text{цзс-ср}}, \text{ дБ}. \quad (4)$$

Авторы работы [6] показали, что всегда есть неточность наведения антенн между ЗС и СС. Из-за этого уменьшается эффективная ширина диаграммы направленности антенны передатчика ЗС до величины

$$\theta_{\text{пер.цзс}} = \frac{\theta_{\text{3дБ.пер.цзс}}}{2.5 \div 3.5}, \quad (5)$$

а потери составят [6]:

$$L_{\text{ор.пер.цзс}} = 12 \times \left(\frac{\theta_{\text{пер.цзс}}}{\theta_{\text{3дБ}}} \right)^2, \text{ дБ}. \quad (6)$$

При этом коэффициент усиления антенны станет:

$$G_{\text{пер.цзс}} = G_{\text{макс.пер.цзс}} - L_{\text{ор.пер.цзс}}, \text{ дБ}. \quad (7)$$

Эффективная мощность на выходе передатчика составит [1, 3]:

$$P_{\text{пер.цзс}} = \frac{16\pi^2 d_{\text{цзс-ср}}^2 L_{\text{дон}} k T_{\Sigma \text{ср}} \Delta f_{\text{ш.ср}}}{\lambda_{\text{пер.цзс}}^2 G_{\text{пер.цзс}} G_{\text{пр.ср}} \eta_{\text{пер.цзс}} \eta_{\text{пр.ср}}} a \left(\frac{C}{N} \right)_{\Sigma}, \text{ Вт}, \quad (8)$$

где: $k = 1.38 \times 10^{-23}$ Вт/К·Гц – постоянная Больцмана; $T_{\Sigma \text{ср}} = 2000$ К – эквивалентная шумовая температура приемника СС; $\Delta f_{\text{ш.ср}} = 72$ МГц – эквивалентная шумовая полоса пропускания СС; $G_{\text{пр.ср}} = 158.49$ – коэффициент усиления приемник - антенна СС; $\eta_{\text{пер}} = 0.85$ – к п д волноводного тракта ЦЗС, дБ; $\eta_{\text{пр.ср}} = 0.91$ – к п д волноводного тракта СС; $a = 5.01$ – коэффициент запаса; $\left(\frac{C}{N} \right)_{\Sigma} = 13$ дБ – ожидаемое соотношение сигнал-шум на линии при вероятности ошибки 10^{-6} .

На основании выражений (1) – (8) найдем основные необходимые технические параметры ЦЗС для СС, работающего на частотах 4130/6355 МГц. Для линии связи вверх получены $d_{цзс-ср} = 36000$ км, $\lambda_{пер.цзс} = 0.047$ м, $\theta_{3дБ}^{\circ} = 0.35$, $G_{макс.пер.цзс} = 54.32$ дБ, $L_{св} = 199.59$ дБ, $\theta_{пер.цзс} = 0.1^{\circ}$, $L_{ор.пер.цзс} = 0.98$ дБ, $G_{пер.цзс} = 53.34$ дБ.

Для обеспечения необходимой мощности на выходе ЦЗС, $L_{ор.пер.цзс} < 2$ дБ, и чтобы не создавать помехи другим спутникам, угол неточности наведения антенны должен строго соответствовать предложенным условиям $\theta_{3дБ.пер.цзс} / 2.5 \leq \theta_{пер.цзс} \leq \theta_{3дБ.пер.цзс} / 3.5$. При этом $P_{пер.цзс} = 33 \div 34.88$ дБ, что обеспечит погрешность угла неточности наведения между ЦЗС и СР не более 0.2° .

В результате проведенных расчетов определен угол наведения антенны ЦЗС на спутник связи «АНГОСАТ», который составил $\theta_{пер.цзс} = 0.1^{\circ}$

Руководитель – д.т.н., профессор, декан ФРЭМТ ВлГУ А.Г. Самойлов

ЛИТЕРАТУРА

1. Спутниковая связь и вещание: Справочник / Под ред. Л.Я. Кантора. – М.: Радио и связь. – 1987. – 528 с.
2. Kolawole M.O. Satellite Communication Engineering. – Melbourne, Australia. – 2002. – 270 pp.
3. Требования к характеристикам подсистемы связи «спутник АНГОСАТ» министерства телекоммуникаций и информационных технологий Республики Ангола // МТТИ. – 2010. – 54 с.
4. International Telecommunications Union. Handbook on Satellite Communications, 3rd ed. – 2002. – 1066 pp.
5. International Telecommunication Union. Calculation of free-space attenuation. – Rec. ITU – R: P.525 – 2, 1994. – 3pp.
6. Maral G., Bousquet M. Satellite Communication Systems. – A John Wiley and Sons, 1993. – 688 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛЬНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ПОЛЯ НА ТРАНСИОНОСФЕРНЫХ ТРАССАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Студент: А.П. Бурулев (6 курс, кафедра радиофизики, СПбГУ)

Симулятор (имитатор) любого стохастического сигнала должен иметь своим результатом временной ряд отсчетов, обладающий заданными статистическими свойствами, из которых наиболее важными являются временная корреляция (или спектр мощности) и распределение вероятностей амплитуды. Эти характеристики определяются в результате решения задачи распространения в случайной среде [1], причём для распределения амплитуды используется модельное распределение p_m (Накагами [2], $\alpha - \mu$ распределение [3]), вид которого задаётся параметром S^4 , полученным из расчёта.

Процедура генерирования стохастического временного ряда отсчетов комплексного сигнала с заданной функцией корреляции и плотностью распределения амплитуды, соответствующей заданному распределению, может быть описана в виде последовательности следующих шагов.

- Предположим, что мы имеем два независимых нормальных случайных процесса $x(t)$ и $y(t)$ с заданными, пока неизвестными автокорреляционными функциями. Тогда амплитуда $a = |V|$ комплексного случайного процесса $V(t) = A + x(t) + iy(t)$, будет иметь распределение Райса $p_n(a)$ [4]. Здесь параметр A выбирается так, чтобы среднее значение выходного сигнала было равно значению среднего поля, полученному из расчета.

- Построим отображение f процесса $V(t)$ на новый комплексный случайный процесс $U = f(V)$, имеющий распределение $p_m(b)$ для амплитуды, где $b = |U|$ – амплитуда процесса U . Чтобы построить это отображение f , необходимо построить интегральные функции распределения $P_n(a) = \int_0^a p_n(a) da$ и $P_m(b) = \int_0^b p_m(b) db$,

соответствующие плотностям распределения $p_n(a)$ и $p_m(b)$. Тогда отображение может быть найдено в виде

$$b = f(a) = P_m^{-1}(P_n(a)). \quad (1)$$

- Корреляционные свойства процесса $U = f(V)$ определяются функцией корреляции исходного процесса и видом отображения f . В частности, функция когерентности процесса U равна

$$\Gamma(t_1 - t_2) = \langle U(t_1)U^*(t_2) \rangle = \iint f(x_1 + iy_1) f^*(x_2 + iy_2) w_2(x_1, y_1, x_2, y_2, t_1, t_2) dx_1 dx_2 dy_1 dy_2, \quad (2)$$

где $w_2(x_1, y_1, x_2, y_2, t_1, t_2)$ – двухточечная функция совместного распределения вероятностей двух комплексных переменных $(x_1 + iy_1)$ и $(x_2 + iy_2)$, соответствующих моментам времени t_1 и t_2 . Эта функция для статистически однородных гауссовых случайных величин, соответствующих исходному процессу $V(t)$, имеет вид [4]

$$w_2(x_1, y_1, x_2, y_2, t_1, t_2) = \frac{1}{(2\pi)^2 \sigma^4 (1-K^2)} \exp\left(-\frac{(x_1-A)^2 - 2K(x_1-A)(x_2-A) + (x_2-A)^2}{2\sigma^2(1-K^2)}\right) \exp\left(-\frac{y_1^2 - 2Ky_1y_2 + y_2^2}{2\sigma^2(1-K^2)}\right). \quad (3)$$

Здесь σ^2 - дисперсия распределений компонент $x(t)$ и $y(t)$, $K = K(t_1 - t_2)$ – корреляционный коэффициент процесса, $0 \leq K \leq 1$. Соотношения (2, 3) определяют связь функции когерентности результирующего процесса и корреляционного коэффициента исходного процесса при совпадающих значениях аргументов. При этом заданной величиной является функция когерентности выходного процесса $\Gamma(t_1 - t_2)$. По существу, строится второе отображение

$$K(t_1 - t_2) = R(\Gamma(t_1 - t_2)), \quad (4)$$

которое устанавливает соответствие между корреляционным коэффициентом входного процесса и функции когерентности выходного после преобразования (1).

- Окончательно, после того, как отображения (1) и (4) построены, генерируется исходный комплексный случайный процесс $V(t) = A + x(t) + iy(t)$ с корреляционным коэффициентом (4). Этот процесс затем преобразуется в выходной

посредством отображения (1). Развитая процедура обеспечивает заданное распределение амплитуды и корреляционные свойства выходного случайного процесса.

В докладе изложена методика моделирования поля в трансionoсферном стохастическом канале распространения. Она позволяет осуществить генерацию сигнала, обладающего статистическими характеристиками, полученными в результате решения задачи распространения в флуктуирующем трансionoсферном канале. Представленная методика реализована в виде программного симулятора трансionoсферных сигналов, который расширяет возможности предыдущей версии, представленной в [1].

Научный руководитель: Герм Вадим Эдуардович

ЛИТЕРАТУРА

1. Ghern V. E., Zernov N. N., Strangeways H. J. Propagation model for transionospheric fluctuating paths of propagation: Simulator of the transionospheric channel // *Radio Science*, 2005, 40, RS1003, doi:10.1029/2004RS003097.
2. Nakagami M. *Statistical Methods in Radio Propagation*, p. 3. Pergamon Press, New York, 1960.
3. The α - μ Distribution: A Physical Fading Model for the Stacy Distribution, *IEEE transactions on vehicular technology*, vol. 56, 2007, p 27-34.
4. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. Часть 1: Случайные процессы. М.: Наука, 1978. 494 с.

НЕЛИНЕЙНАЯ МАГНИТОУПРУГАЯ ДИНАМИКА В АНИЗОТРОПНОЙ ФЕРРИТОВОЙ ПЛАСТИНЕ

Студент: Е.В. Варзер (4 курс, кафедра радиофизики и электроники, СыктГУ)

В данной работе исследуются особенности нелинейных магнитоупругих колебаний в ферритовой пластине, намагниченной перпендикулярно ее плоскости, возбуждаемых переменным радиочастотным полем, ориентированным в плоскости пластины. При такой геометрии задачи процессы параметрического распада блокируются, следовательно, увеличиваются углы прецессии вектора намагниченности и нелинейность колебаний при этом значительно возрастает [1]. Для описания магнитоупругих колебаний используются уравнения Ландау-Лифшица с диссипативным членом в форме Гильберта и уравнения для упругого смещения [1]. Для численного решения системы дифференциальных уравнения применяется метод Рунге-Кутты-Фельберга 4-5 порядка. Решение системы описывает изменение намагниченности, упругого смещения и скорости упругого смещения со временем.

В работе выявлены особенности поведения магнитных колебаний в условиях, близких к акустическому резонансу, исследовались как линейные режимы, так и нелинейные. По результатам расчетов построены графики зависимостей намагниченности от времени для линейного и нелинейного режимов. Также найдены амплитуды и частоты переменного поля для перехода от одного режима к другому. Было проведено качественное сравнение магнитоупругой релаксации в линейном и нелинейном режимах, выявлен нелинейный режим релаксации магнитоупругих колебаний после действия переменного импульса в ферритовом слое.

В ходе работы были выявлены два вида автоколебаний – переориентационный и расстройный. Обнаружено, что переориентационный механизм имеет место

тогда, когда частоты магнитного и упругого резонансов системы совпадают с частотой возбуждения, а расстроенный механизм имеет место тогда, если все эти частоты значительно различаются. И в том и в другом случае колебания возникают пороговым образом. В ходе расчетов было установлено, что порог переориентационных колебаний на порядок выше, чем у расстроенных. Расстроенный механизм возникает из-за перекачки магнитной энергии в упругую и обратно, а переориентационный – из-за релаксационного установления намагниченности.

Также была построена модель системы в квадратичном приближении. В этой модели при повышенном значении константы магнитоупругого взаимодействия были выявлены два режима возбуждаемых при этом автоколебаний. При первом режиме магнитные колебания носят близкий к шумовому характер, тогда как упругие остаются достаточно регулярными. При втором режиме как магнитные, так и упругие колебания являются хаотическими. Оба режима имеют пороговый характер, причем порог второго примерно в три раза выше, чем первого. Было показано, что система в квадратичном приближении, хотя и не совсем точно повторяет форму колебаний, однако полностью обеспечивает описание общего характера развития во времени и порога огибающей как регулярных, так и хаотических автоколебаний, причем различие в амплитуде не превышает 20%.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №12-02-01035а).

Научный руководитель:

В.С. Власов, доцент кафедры радиофизики и электроники СыктГУ

ЛИТЕРАТУРА

1. Власов В.С. Исследование релаксационных и нелинейной динамики магнитных и магнитоупругих колебаний пленок и частиц. Дис. Канд. Физ.-мат. Наук. М.: МГУ. 2007. 149 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ПИРАМИДАЛЬНОЙ ГОФРИРОВАННОЙ РУПОРНО-ЛИНЗОВОЙ АНТЕННЫ

Студент: А.Д. Васькин (6 курс, кафедра радиофизики, СПбГПУ)

Введение

В данной работе приведены исследования конструкции малошумящего антенного датчика в виде пирамидальной гофрированной рупорно-линзовой антенны. Этот тип антенн используется сравнительно редко и, как правило, для варианта конических рупоров в одном диапазоне частот. В исследуемом варианте появляется возможность создания малошумящей антенны для двух диапазонов частот при использовании двух поляризаций, с возможным выводом сигнала, как на волновод, так и на коаксиальный кабель.

1. Гофрированный пирамидальный рупор с линзой с выходом на волновод

Использование стенок поверхностей с реактивным импедансом в виде гофр, позволяет получить спадающее амплитудное распределение в обеих плоскостях и соответственно более низкий коэффициент рассеяния.

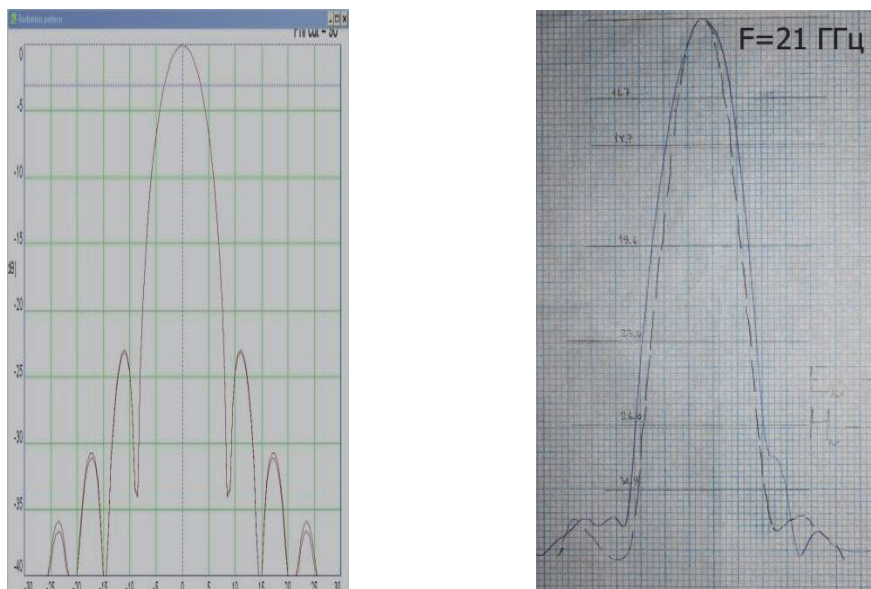


Рис. 1

На рис. 1 представлены теоретически и экспериментально полученные диаграммы направленности гофрированной пирамидальной рупорно–линзовой антенны.

В табл. 1 приведены теоретические и экспериментальные значения ширины диаграммы направленности антенны на частоте 21 ГГц.

Уровень, ДБ	Теоретическое значение		Экспериментальное значение	
	Е	Н	Е	Н
-3	12,5	11,6	11,7	11,2
-5	16	16,4	14,7	14,4
-10	21	20	19,6	18,9
-15	24,5	23,6	23,4	22,8
-20	27,2	27	26	25,4

Табл. 1

Видно, что экспериментальные диаграммы в двух плоскостях имеют примерно одинаковую ширину по главному лепестку, что подтверждает правильную работу гофрированных поверхностей.

2. Гофрированный пирамидальный рупор с выходом на коаксиальный кабель

Для вывода на коаксиальный кабель, можно использовать головную часть рупора в виде серийно выпускаемого биортогонального рупорного облучателя (производитель ЗАО НПЦ «СКАРД» СВЧ ЭЛЕКТРОНИКА).

На рис.2 представлен исследуемый антенный датчик.



Рис. 2

Основная задача подобрать параметры антенны так, чтобы ширина главного лепестка диаграмма направленности исследуемой антенны совпадали в Е и Н плоскости.

На рис. 3 показаны экспериментальные диаграммы направленности данного антенного датчика.

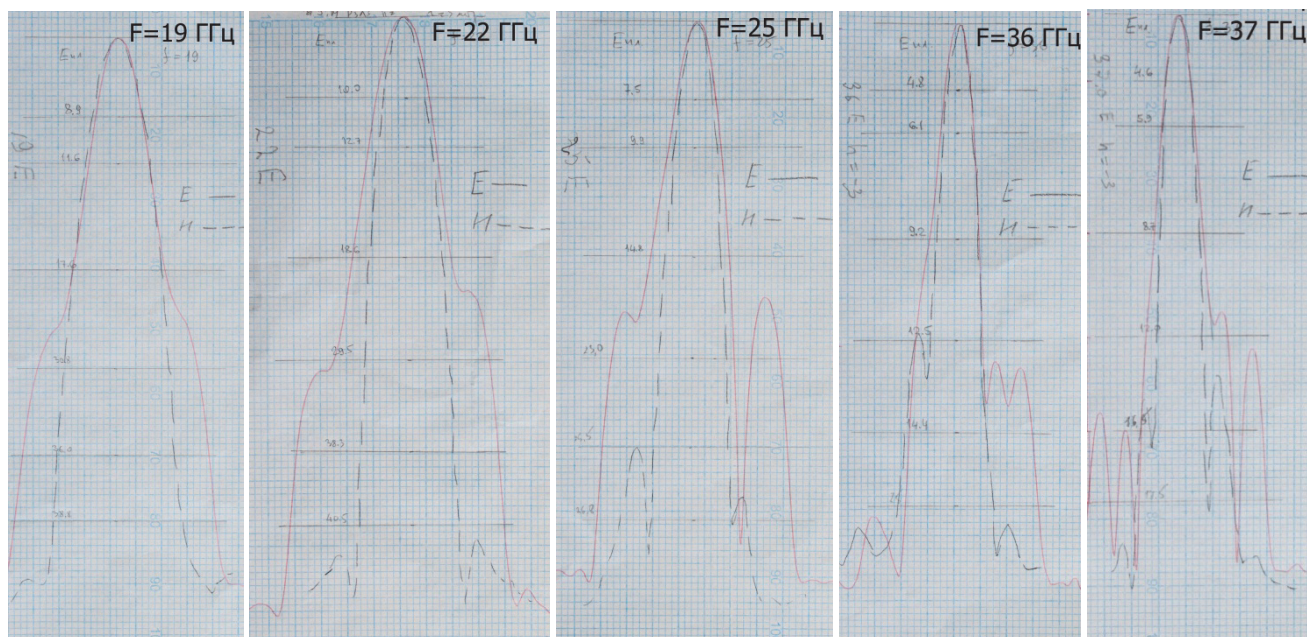


Рис. 3

Заключение

В результате проделанной работы было подтверждено, что данную конструкцию можно использовать, как с волноводным выходом, так и с выходом на коаксиальный кабель для работы в двух диапазонах. Подобный вариант антенны может быть полезен как в качестве отдельной эталонной антенны, так и для использования двух диапазонного малошумящего антенного датчика в системах автоматического зондирования влажностных характеристик атмосферы.

Руководитель: Рыбаков Ю.В.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фролов О. П., Вальд В. П. Зеркальные антенны для земных станций спутниковой связи. Москва. Горячая линия – телеком. 2008г.-491с.
2. Зелкин Е.Г. Линзовые антенны. Москва. Советское радио 1974г.-279с.

ВЧ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА В ФЕРРИТОВЫХ ПЛЕНКАХ

Студент: А.В. Горинбахер (5 курс, кафедра радиопизики и электроники, СыктГУ)

Возбуждение ультразвуковых колебаний с помощью магнитострикционных преобразователей находит широкое применение в акустоэлектронике, где высокая механическая добротность ферритовых резонаторов при использовании железоиттриевого граната (ЖИГ) позволяет создать высокоэффективные устройства обработки информации в диапазонах ВЧ и СВЧ. Особенно перспективным является возбуждение ультразвука в нормально намагниченной ферритовой пластине, где за счет геометрии потери, обусловленные параметрическим возбуждением обменных спиновых волн, полностью исключены, в результате чего амплитуда возбуждаемого гиперзвука может превосходить таковую при линейном возбуждении не менее чем на два порядка [1].

В работе разработана схема генератора ВЧ радиоимпульсов для магнитострикционного преобразователя, работающего в нелинейном режиме, на основе нормально намагниченных пленок ЖИГ толщинами около 10 мкм расположенных на подложках из гадолиний галлиевого граната толщиной около 2 мм. Генератор будет создавать радиоимпульсы с частотой заполнения 50-150 МГц. Эти частоты соответствуют собственным частотам нескольких первых упругих резонансов пленок ЖИГ.

ВЧ генератор синусоидальных колебаний построен на микросхеме MC12148. Сигнал от него в дальнейшем усиливается микросхемой RF2114. Для генерации радиоимпульсов будет использован генератор прямоугольных импульсов, собранный на микроконтроллерах PIC16F84A или ATTINY2113. Для создания импульсной модуляции прямоугольные импульсы необходимо подать на 4 ножку микросхемы RF2114 (рис. 1).

Минимальная длительность радиоимпульсов, при использовании генератора прямоугольных импульсов, собранного на микроконтроллере PIC16F84A составит 1 мкс, если в схеме использовать кварцевый резонатор с рабочей частотой 4 МГц. Если в схеме использовать генератор прямоугольных импульсов на микроконтроллере ATTINY2113, то минимальная длительность радиоимпульсов составит 250 нс, при использовании кварцевого резонатора на 8 МГц. Собранная схема генератора радиоимпульсов имеет выходную мощность 800 мВт.

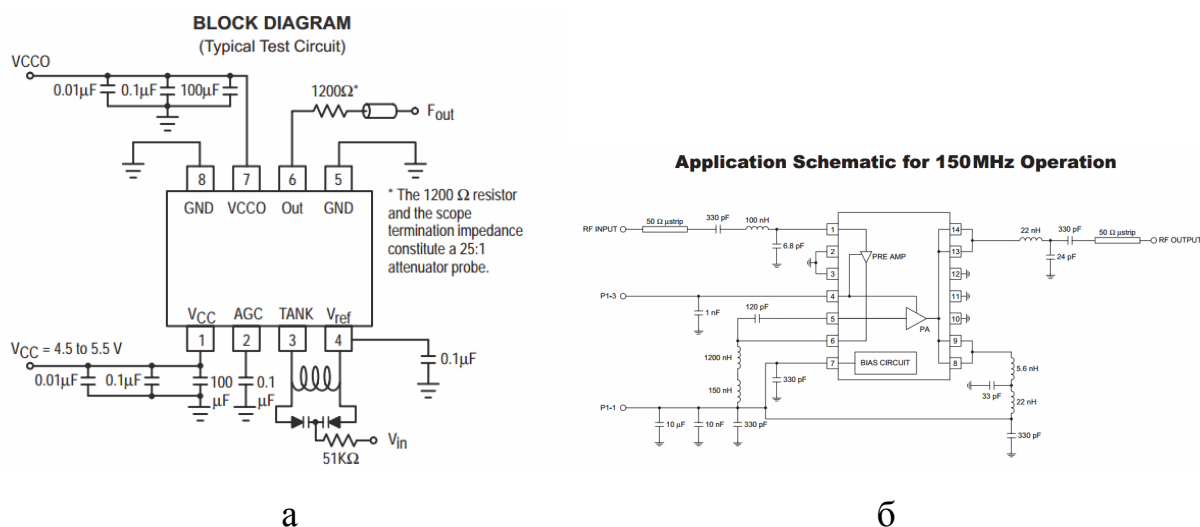


Рис. 1. Схема генератора управляемого напряжением на микросхеме MC12148 (а) и схема усилителя на микросхеме RF2114 (б).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №12-02-01035а).

Научный руководитель: доцент кафедры радиофизики
и электроники СыктГУ В.С. Власов

ЛИТЕРАТУРА

1. Власов В.С. Исследование релаксационных и нелинейной динамики магнитных и магнитоупругих колебаний пленок и частиц. Дис. Канд. Физ.-мат. Наук. М.: МГУ. 2007. 149 с.

СОЛНЕЧНЫЕ МИКРОВСПЛЕСКИ

Студент: А.А. Гофман (5 курс, кафедра радиофизики, СПбГУ)

Данная работа посвящена изучению солнечных микровсплесков (МВ), радиоизлучения в дециметровом диапазоне длин волн [1].

Исследование явления МВ представляет собой как теоретическое описание механизма генерации излучения, так и анализ экспериментальных данных, полученных с использованием радиотелескопа РАТАН-600.

1. Анализ данных наблюдений

Проведено исследование МВ на примере события 18 февраля 2011 года.

Регистрируемое излучение имело как право-, так и левополяризованную составляющую. Были построены автокорреляционные функции участков записи, относящихся к спокойному Солнцу (QS), и участков, соответствующих активным областям (АО). Квазипериоды, найденные по первым значимым пикам автокорреляционных функций активных участков, сравнивались с такими же величинами, вычисленными для участка спокойного Солнца – что доказывает факт наличия МВ в данной АО. По величине квазипериода была вычислена длительность отдельного всплеска.

Исследования проводились в нескольких азимутах (углах к меридиональной линии), в которых также было подтверждено наличие данного явления. Также был проведен расчет величины активной области, генерировавшей излучение.

Таким образом, в ходе исследования было получено доказательство наличия МВ в данной АО в нескольких режимах наблюдения, были рассчитаны длительность отдельного всплеска и величина АО.

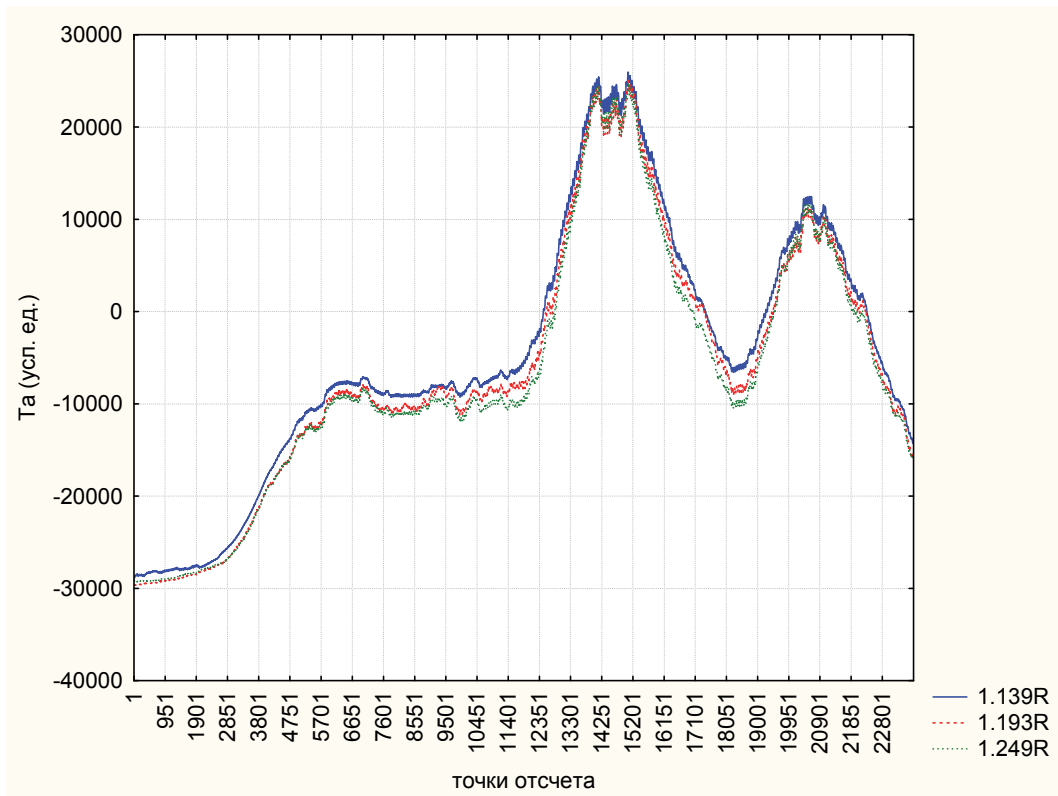


Рис.1. Сглаженные по 100 точкам кривые, описывающие правополяризованное излучение трех частот диапазона.

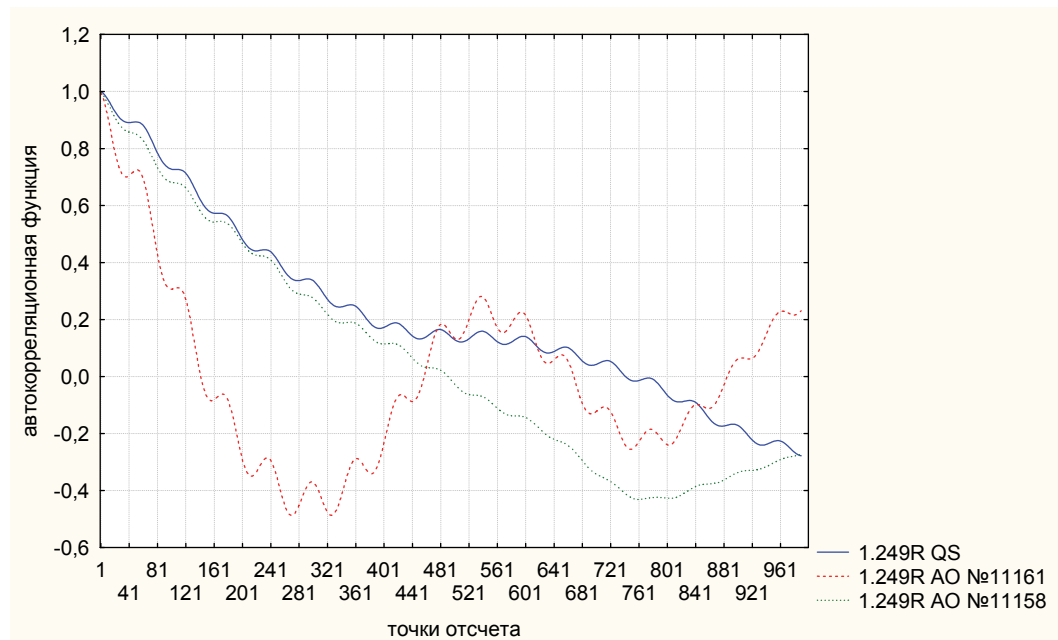


Рис. 2. Сравнение поведения автокорреляционной функции для разных участков Солнца (правополяризованное излучение).

2. Теоретический расчет

Для объяснения результатов наблюдений была рассмотрена теория механизма генерации МВ. Было проведено сравнение двух механизмов излучения: плазменного и гиротронного [2, 3]. Предполагалось, что излучение МВ генерируется в магнитных петлях над активными областями. Распределение энергичных электронов в магнитной петле полагалось анизотропным. Рассматривались экспоненциальная и степенная зависимости распределения энергичных электронов по скоростям.

Было проведено сравнение указанных механизмов при различных зависимостях распределения энергичных электронов по скоростям. Были рассчитаны яркостные температуры излучения для данных механизмов генерации. Выяснилось, что яркостная температура излучения в случае плазменного механизма генерации превышает аналогичную характеристику в случае гиротронного излучения. На основании этого сделан вывод о большей эффективности плазменного механизма излучения выше, чем гиротронного.

Также на основе плазменного механизма генерации радиоволн получены некоторые характеристики области генерации МВ, а именно: коэффициент излучения продольной плазменной волны и эффективный коэффициент поглощения.

Научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор СПбГУ Яснов Л.В.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yasnov, L. V.; Bogod, V. M.; Stupishin, A. G. 2008, *Sol Phys.* 249, 37.
2. Thejappa, G. 1991, *SolPhys.* 132, 173.
3. Dulk, G.A., Marsh, K.A. 1982, *Astrophys. J.* 259, 350.

О ВКЛАДЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ГРАДИЕНТОВ В ОШИБКИ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ГЛОБАЛЬНЫМИ НАВИГАЦИОННЫМИ СПУТНИКОВЫМИ СИСТЕМАМИ

Студент: Е.А. Данилогорская (6 курс, кафедра радиофизики, СПбГУ)

Традиционными подходами для определения ошибки измерения дальности возникающей из-за присутствия неоднородной ионосферы являются рассмотрение решения геометро-оптических уравнений с использованием теории возмущения в лучевых уравнениях по прямым лучам [1], а также чисто численное рассмотрение [2]. В традиционной теории возмущения малым параметром является квадрат отношения плазменной частоты к рабочей. Для частот диапазона ГГц и выше последнему соответствует значения 10^{-4} , что является естественным физическим малым параметром задачи. Если же рабочая частота становится ниже (сотни МГц), все члены более высокого порядка ряда теории возмущений дают больший вклад в ионосферный эффект. В работе предлагается явная процедура суммирования всех частотных эффектов в виде точного решения для сферически-слоистой среды, а горизонтальные градиенты электронной плотности ионосферы учитываются в рамках теории возмущений.

В качестве модели диэлектрической проницаемости холодной плазмы будет использовано широко известное квазипродольное приближение:

$$\varepsilon_{o,e}(\mathbf{r}) = 1 - \frac{\omega_p^2(\mathbf{r})}{\omega^2} \pm \frac{\omega_g(\mathbf{r})\omega_{pl}^2(\mathbf{r})}{\omega^3} \cos \chi(\mathbf{r}), \quad (1)$$

где $\omega_{pl}^2(\mathbf{r})$ – есть локальная плазменная частота, $\omega_g(\mathbf{r})$ – электронная гирочастота, ω – рабочая частота, χ – угол между магнитным полем Земли и направлением распространения электромагнитной волны. Характерные пространственные масштабы функции $\omega_{pl}^2(\mathbf{r})$ определяются вертикальными и горизонтальными

масштабами электронной концентрации ионосферы, а масштаб гирочастоты $\omega_g(\mathbf{r})$ дается пространственным масштабом геомагнитного поля.

Как показывают многочисленные вычисления для определения полного набега фазы достаточно произвести интегрирование вдоль изотропных кривых распространения, которые являются решением следующей системы уравнений:

$$\frac{d\mathbf{r}}{ds} = \frac{\mathbf{p}}{\sqrt{\varepsilon(\mathbf{r})}}, \quad \frac{d\mathbf{p}}{ds} = \frac{\nabla \varepsilon(\mathbf{r})}{2\sqrt{\varepsilon(\mathbf{r})}}. \quad (2)$$

С диэлектрической проницаемостью, описанной соотношением (1). После чего происходит вычисление фазового набега

$$\psi_{o,e}(\mathbf{r}(s)) = \int_{s_0}^s \sqrt{1 - \frac{\omega_p^2(\mathbf{r}(s))}{\omega^2} \pm \frac{\omega_g(\mathbf{r}(s))}{\omega}} X(\mathbf{r}(s)) \cos \chi(\mathbf{r}(s)) ds, \quad (3)$$

здесь s – длина изогнутой траектории определяется из уравнений (2).

При решении поставленной задачи используется сферическая система координат, выбранная таким образом, что полярная ось направлена от центра Земли до точки наблюдения, расположенной на поверхности Земли, а плоскость $\varphi = 0$ определяется тремя точками: точка центра Земли, точка наблюдения и точка расположения спутника. При этом предполагается, что производные от диэлектрической проницаемости по угловым переменным являются малыми величинами порядка

$$\alpha_{g,\varphi} = \frac{L_r}{L_{g,\varphi}} = 0,001, \quad (4)$$

где L_r – вертикальный масштаб ионосферного слоя, $L_{g,\varphi}$ – два, как правило различных, масштаба ионосферного слоя вдоль горизонтальных (угловых) переменных. Уравнения траектории луча (2) решаются с использованием теории возмущений по малым параметрам (4). При этом нулевой порядок ($\alpha_{g,\varphi} = 0$) соответствует сферически-симметричной ионосфере. Когда горизонтальные градиенты электронной плотности в ионосфере учитываются по теории возмущений до второго порядка малости, то набег фазы для двух магнитно-ионных компонент задается следующим образом:

$$\psi_{o,e} = \int_{R_e}^{R_s} \sqrt{\varepsilon_{o,e}(r, \alpha_g \theta_0(r) + \alpha_g \theta_1(r), \alpha_\phi \phi_1(r))} \sqrt{1 + h_\theta^2 \left(\frac{d\theta_0}{dr} + \frac{d\theta_1}{dr} \right)^2 + h_\phi^2 \left(\frac{d\phi_1}{dr} \right)^2} dr, \quad (5)$$

где диэлектрическая проницаемость для обыкновенной и необыкновенной компоненты поля определяется соотношением (1), а h_g и h_ϕ есть коэффициенты Ламе сферической системы координат.

Результаты

В докладе будет представлен полный вариант описанной техники определения ошибок позиционирования. Для проведения описанных вычислений горизонтальные градиенты ионосферы будут взяты из доступных эмпирических данных. Вклад горизонтальных градиентов электронной плотности в нарастание фазы исследован в зависимости от углового расстояния между источником и приемником. Кроме того, результаты вычисления будут сравнены с результатами, полученными с использованием традиционной техники разложения по степеням обратных квадратов частот. Результаты будут представлены с точностью до второго порядка $\alpha_{g,\phi}$ включительно.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
профессор Зернов Николай Николаевич

ЛИТЕРАТУРА

1. V.E. Gherm, R. Novitsky, N.N. Zernov, H.J. Strangeways, and R.T. Ioannides. On the limiting accuracy of range measurements for the three-frequency mode of operation of a satellite navigation system, 3-7, COST 296 workshop, Rennes, France, 4-6 October 2006.
2. V.I. Ashmanets, V.V. Vodyannikov, and B.V. Troitsky. Exact calculation of errors at transionospheric propagation, J. Atmospheric and Terrestrial Physics, 58, 1996, pp. 1161–1163.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ДИСПЕРСИОННЫХ ИСКАЖЕНИЙ ЛЧМ-ИМПУЛЬСОВ ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОМ ЗОНДИРОВАНИИ ИОНОСФЕРЫ

Студент: Е.А. Желнина (4 курс, кафедра радиофизики и информационной безопасности, БФУ им. И. Канта)

Цифровые ЛЧМ-ионозонды широко применяются для радиофизической диагностики ионосферы и каналов КВ-связи [1]. Дисперсионное расплывание сигналов усиливается на частотах, близких к критической частоте плазмы. Моделирование распространения радиоимпульса с произвольной начальной огибающей в холодной плазме проведено в [2].

Целью данной работы является анализ закономерностей формирования дисперсионных искажений ЛЧМ-импульсов при вертикальном зондировании ионосферы посредством численных экспериментов на основе модели [3]. С учетом трехмерной неоднородности, анизотропии и дисперсии плазмы ионосферы в зависимости от геофизических условий.

На рис. 1 представлены результаты расчетов для обыкновенной волновой моды и момента мирового времени $UT = 16,65$ час. Расчеты проведены для условий летнего солнцестояния при высокой солнечной активности ($F_{10,7} = 150$). Выбраны гипотетическая среднеширотная передающая станция на поверхности Земли с географическими координатами ($50^\circ, 290^\circ$) и низкоширотная передающая станция с координатами ($25^\circ, 290^\circ$). Приняты обозначения: α и β – угол места и азимут излучения передающей антенны, задано $\alpha = 90^\circ$, и $\beta = 90^\circ$.

Рассматривается излучение ЛЧМ-импульса, который представляется последовательностью волновых пакетов [3].

Обозначения, принятые на рис. 1: S , км – геометрическая длина; h , км – высота над поверхностью Земли; k , дБ/км – дифференциальное поглощение; S_{np} , км – при-

веденная длина; c/V_{gp} – отношение скорости света к групповой скорости волнового пакета. Текущее значение приведенной длины $S_{np} = ct_{gp}$, где t_{gp} – время группового запаздывания каждого волнового пакета от точки излучения до текущей точки на лучевой траектории.

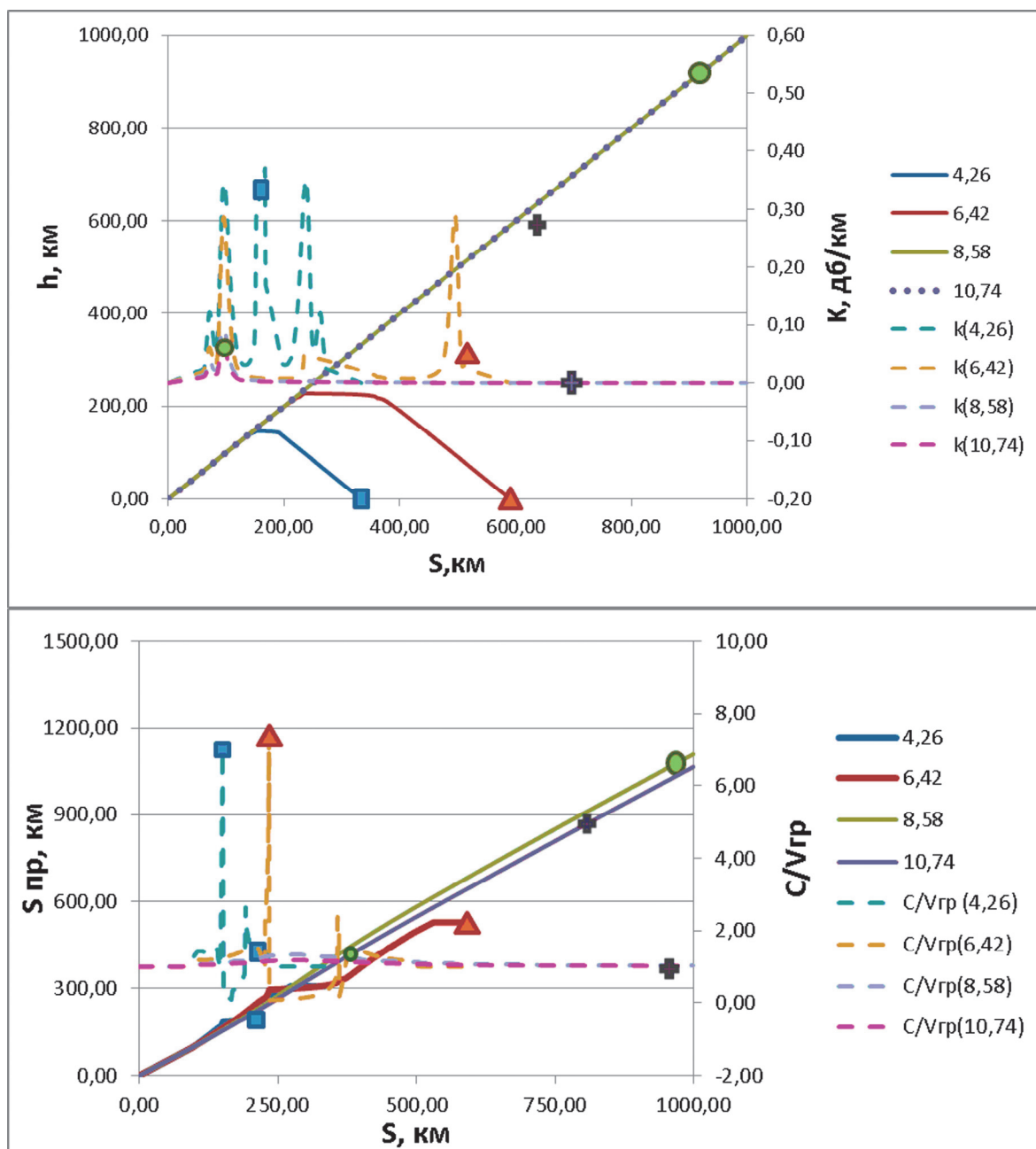


Рис. 1. Результаты численных расчетов зависимостей величин h , k , S_{np} , и c/V_{gp} от s для волновых пакетов обыкновенной волновой моды со средними частотами 4,26 МГц (кривые с маркером ■), 6,42 МГц (кривые с маркером ▲), 8,58 МГц (кривые с маркером ●), и 10,74 МГц (кривые с маркером +), в составе ЛЧМ-импульса при вертикальном зондировании ионосферы в дневных условиях.

В выбранных условиях критическая частота слоя F2 ионосферы находится в полосе частот спектра заданного ЛЧМ-импульса. В каждом случае графики представлены для четырех волновых пакетов из состава ЛЧМ-импульса. Из-за дисперсии плазмы ионосферы волновые пакеты с разными несущими частотами не только имеют различные групповые скорости, но и распространяются вдоль различных лучевых траекторий. При эффективной длительности Δt каждого волнового пакета его длина $\Delta\sigma$ изменяется при распространении в неоднородной ионосфере вдоль соответствующей лучевой траектории, причем для слабо неоднородной среды $\Delta\sigma \approx v_{gp}\Delta t$.

Отношение $c/v_{gp} \geq 1$ для выделенного волнового пакета возрастает при погружении в ионосферу вместе с уменьшением вещественной части показателя преломления ионосферной плазмы n_1 и ростом интенсивности поглощения пакета. Рост дисперсионных искажений пакета проявляется в его сильном расплывании.

Численные расчеты проводились и для необыкновенной волновой моды.

Руководитель: д.ф.-м.н., профессор Захаров В.Е.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В.А., Иванов Д.В., Рябова Н.В. Развитие радиофизических методов диагностики ионосферы и каналов КВ-связи с использованием цифрового ЛЧМ-ионозонда // Сборник докладов XXIII Всероссийской научной конференции по распространению радиоволн – Т. 1. – Йошкар-Ола, 23 – 26 мая 2011 г. – С. 20 – 30.
2. Стрелков Г.М. Сложный радиосигнал в ионосферной плазме // Радиотехника и электроника. 2008. – Т. 53. – В. 9. - С. 1094 – 1103.
3. Захаров В.Е. Модель распространения ЛЧМ импульсов в ионосфере // Региональная XVIII конференция по распространению радиоволн. Тезисы докладов. - СПб.: ВВМ. – 2012.

ОСНОВНЫЕ РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЛОКА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ ПРИЕМНОГО КОМПЛЕКСА РАДИОТЕЛЕСКОПА РТ-70 (УССУРИЙСК) ДЛЯ РЕЖИМА СОВМЕСТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В РСДБ-СЕТИ «КВАЗАР-КВО»

Студент: М.Б. Зотов (5 курс, кафедра радиофизики, СПбГПУ)

Полноповоротный радиотелескоп РТ-70 (г. Уссурийск), выполненный по системе Грегори с дополнительными зеркалами для переключения диапазонов рабочих длин волн является уникальным инструментом с самым большим диаметром зеркала в России. В настоящее время в ИПА РАН (Санкт-Петербург) ведется разработка современных аппаратно-программных средств для приемного комплекса РТ-70, обеспечивающих работу радиотелескопа в двух режимах: радиометрическом и радиоинтерферометрическом в составе радиоинтерферометра со сверхдлинной базой (РСДБ) «Квазар-КВО» [1]. Ниже приводятся результаты измерения и анализа характеристик блоков промежуточной частоты (БПЧ) радиоастрономического приемного комплекса (РПК) диапазонов длин волн λ 13 и 3,5 см (S и X диапазон) для антенной системы РТ-70 (Уссурийск).

Разработанный РПК выполнен по схеме с пилот-сигналом [1] с выравниванием (компенсацией) уровня сигнала в полупериоды модуляции, когда подключен либо генератор шума компенсации (ГШ), либо эталонная нагрузка (рис. 1). В состав РПК входит двухдиапазонный облучатель S и X диапазонов, обеспечивающий одновременный прием сигналов двух круговых поляризациях в каждом диапазоне. Облучатель вместе с малошумящими усилителями (МШУ) помещен в криоэлектронный фокальный блок (КФБ), охлаждаемый до температур 15...18 К. Имеется также генератор шума предназначенный для формирования сигналов калибровки (в радиометрическом режиме).

Блоки промежуточных частот (БПЧ) предназначены для окончательного

усиления и преобразования СВЧ-сигнала в сигнал промежуточной частоты, а также для амплитудной модуляции входного сигнала при работе приемного канала в радиометрическом режиме. Блоки содержат общий совмещенный высокостабильный гетеродин, синхронизация которого осуществляется сигналом от водородного стандарта частоты. Узел БПЧ включает также модулятор, усилители высокой частоты (УВЧ), полоснопропускающие фильтры (ППФ), смеситель (СМ), усилитель промежуточной частоты (УПЧ). Узлы ШПК на каждый диапазон и гетеродин выполняются в виде микросборок, разработанных в ИПА РАН. В целом блок промежуточных частот термостатируется.

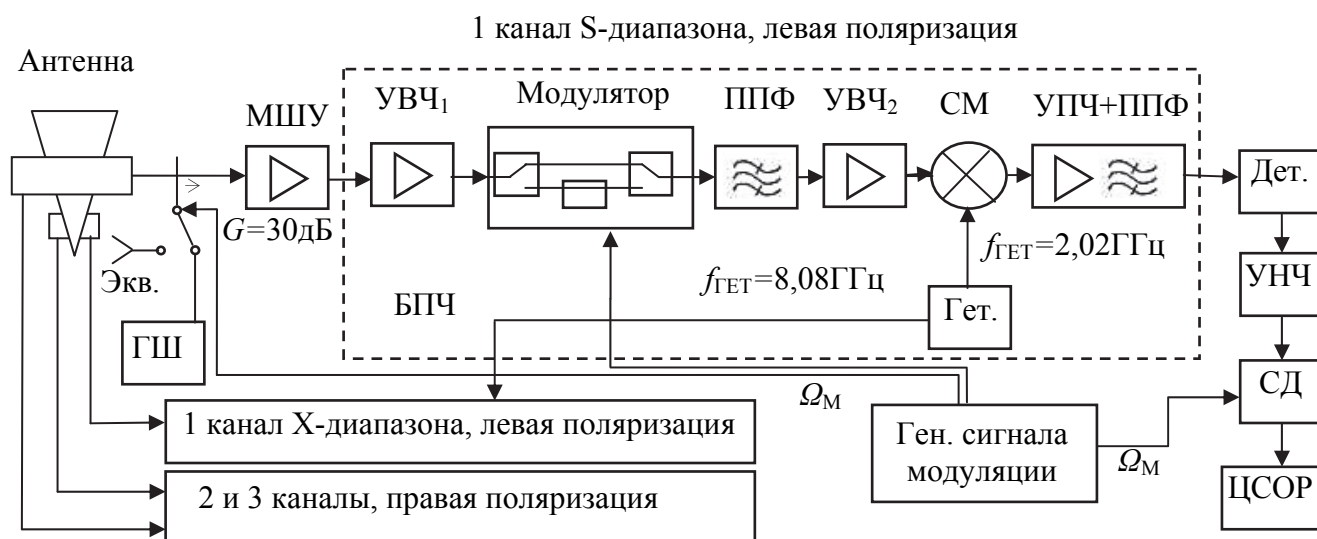


Рис.1.

К основным рабочим характеристикам БПЧ относятся зависимость коэффициента усиления (по мощности) G и коэффициента шума F от частоты f . На рис. 2а и 2б приведены экспериментальные зависимости коэффициентов G и F от частоты соответственно для S и X диапазонов. Для измерения характеристик в данной работе использовались прецизионный источник шума и анализатора цепей фирмы Agilent. Методика и погрешность измерений приведена в работе [2]. Для S-диапазона средняя величина коэффициента усиления в рабочем диапазоне частот составила 35 дБ, неравномерность G не превышала 2 дБ. Коэффициент шума для этого диапазона не превышал 4 дБ. Для X-диапазона средняя величина G составила 36 дБ, неравномерность G не превышала 3 дБ. Коэффициент шума для этого

диапазона не превышал 5 дБ.

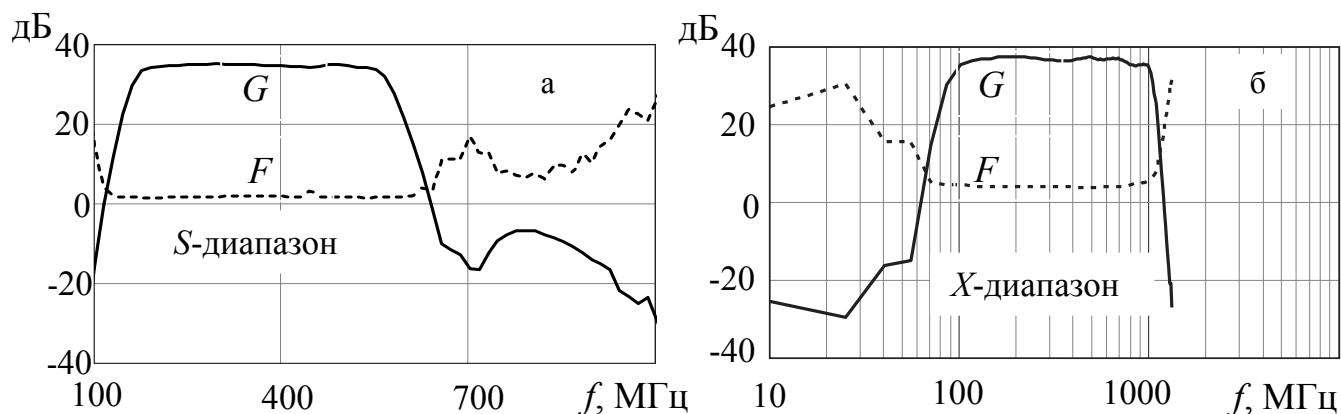


Рис.2.

Измеренная зависимость коэффициента усиления от частоты позволяет вычислить потенциально достижимую радиометрическую полосу приемника

$$\Delta f_{РАД} = \left(\int_0^{\infty} G(f) df \right)^2 \cdot \left(\int_0^{\infty} G^2(f) df \right)^{-1}$$

в *S* и *X* диапазоне, которая составила 416 МГц и 1 ГГц

соответственно. Коэффициент шума *F* определяет шумовую температуру БПЧ, величина которой, приведенная к входу радиометра, составила не более 1 К и не вносит существенного вклада в общую шумовую температуру радиометра.

Таким образом, разработанные в ИПА РАН блоки промежуточной частоты могут быть успешно использованы для радиотелескопа РТ-70 (г. Уссурийск) в режиме совместных наблюдений в РСДБ-сети «Квазар-КВО».

Научные руководители: к.т.н., зав. лаб. ИПА РАН В.В. Мардышкин,
к.ф.-м.н, доц. СПбГПУ С.И. Иванов

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Д.В., Ипатов А.В., Ипатова И.А., Мардышкин В.В., Михайлов А.Г. Приемники радиоинтерферометрической сети КВАЗАР //Труды ИПА РАН. Вып 2. Техника радиоинтерферометрии. – СПб.: ИПА РАН, 1997. – С. 242 - 256.
2. Noise Figure Measurement Accuracy –The Y-Factor Method. Application Note 57-2. Agilent Technologies, Inc. 2004. . – 44 P.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ РЕЖИМОВ МАГНИТОУПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ В ДВУХСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЕ

Студент: Э.О. Капинос (5 курс, кафедра радиофизики и электроники, СыктГУ)

Задача возбуждения ультразвуковых колебаний с помощью магнестрикционных преобразователей издавна привлекает внимание исследователей [1-2]. Весьма перспективным является использование таких преобразователей в магнитной акустоэлектронике, где высокая механическая добротность ферритовых резонаторов (до 10^7 при использовании железоиттриевого граната (ЖИГ)) позволяет создать высокоэффективные устройства обработки информации в диапазоне СВЧ ($f \sim 10^9 \div 10^{11}$ Гц).

В работе рассмотрена нелинейная задача о возбуждении гиперзвука в нормально намагниченной структуре, состоящей из двух слоев пленок ферритов, упругие свойства которых по общей толщине структуры едины, но магнитные и магнитоупругие свойства могут различаться, причем слои структуры обладают кубической анизотропией и магнестрикцией. Геометрия задачи изображена на Рис. 1.

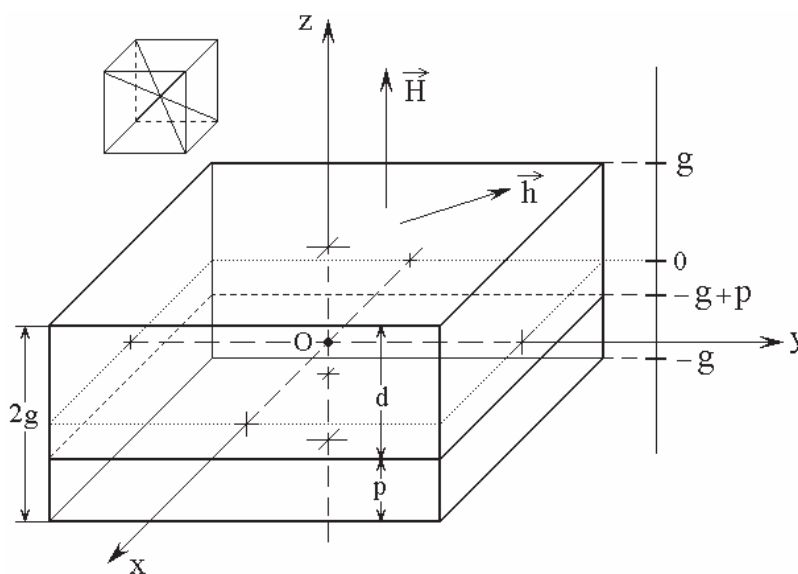


Рис. 1. Общая геометрия задачи о двухслойной структуре.

Двухслойная структура состоит из двух сложенных вместе бесконечно протяженных пластин из упругого магнетодиэлектрика. Толщина первого слоя равна p , второго равна d , полная толщина всей структуры: $p + d = 2g$. Начало координат выбрано на середине толщины структуры в целом, то есть ее верхняя поверхность соответствует координате g , нижняя – координате $-g$, а граница раздела между слоями – координате $-g + p$. Магнитные и магнитоупругие параметры слоев различны и обозначаются далее индексами p и d , а упругие параметры – одинаковы и этих индексов не имеют.

Получены уравнения движения и граничные условия для компонент намагниченности и упругого смещения в обоих слоях для случая произвольного угла прецессии вектора намагниченности. Для удовлетворения неоднородной задачи неоднородным граничным условиям проведено разделение исходной задачи на две: однородную с неоднородными граничными условиями и неоднородную с однородными граничными условиями. Показано, что в результате разложения по собственным модам упругих колебаний структуры в целом задача сводится к системе бесконечного числа дифференциальных уравнений второго порядка относительно упругих мод. В частном случае возбуждения только первой упругой моды полная задача упрощается до системы из тридцати нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка (шесть уравнений для намагниченностей слоев и двадцать четыре для упругих смещений).

Полученная система уравнений решена численно методом Рунге-Кутты. Рассмотрено развитие колебаний во времени, происходящее в результате включения переменного поля. Показано, что при возбуждении на частоте упругого резонанса, амплитуда упругих колебаний больше в том слое, частота магнитных колебаний которого совпадает с частотой возбуждения, если частота магнитного резонанса одного из слоев в линейном режиме совпадает с частотой возбуждения, а в другом – ниже этой частоты. В сильно нелинейном режиме амплитуда упругих колебаний во втором слое резко возрастает, превышая амплитуду упругих колебаний в первом

слое, в результате чего общая амплитуда возбуждаемого гиперзвука значительно увеличивается.

Выявлен сложный характер фазовых соотношений между возбуждаемыми колебаниями и переменным полем, отмечены два частных случая, в которых фазовые соотношения являются простыми: первый – совпадение частот обоих магнитных и упругого резонанса, эквивалентный однослойной структуре, второй – отклонение частот магнитных резонансов от частоты упругого на одну и ту же величину в разные стороны.

Для этих частных случаев исследованы амплитудно-частотные характеристики возбуждаемых колебаний. На основе анализа таких характеристик показано, что при увеличении амплитуды возбуждения на два порядка в сильно нелинейном режиме, как в однослойной, так и в двухслойной структурах максимальная интенсивность возбуждаемых упругих колебаний может превышать амплитуду тех же колебаний в линейном режиме от 30 до 70 раз. Взаимная расстройка частот магнитных резонансов слоев позволяет расширить полосу возбуждаемых частот как магнитных, так и упругих колебаний по сравнению с однослойной структурой от двух до пяти раз.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №12-02-01035-а).

Научный руководитель: доцент кафедры радиофизики и
электроники СыктГУ В.С. Власов

ЛИТЕРАТУРА

1. Кикучи Е. Ультразвуковые преобразователи. М.: Мир. 1972.
2. Голямина И.П. Магнитострикционные излучатели из ферритов. В кн.: Физика и техника мощного ультразвука. Кн.1. Источники мощного ультразвука. М., Наука, 1967.

МОДУЛЬ СЕТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ НА СВЯЗКЕ ATMEGA8 – ENC28J60

Студент: Д.О. Квочкин (5 курс, кафедра радиопизики и электроники, СыктГУ)

В рамках проекта по модернизации существующего лабораторного оборудования был разработан модуль сетевого управления (МСУ) на базе микроконтроллера ATmega8, работающий в связке с Ethernet контроллером ENC28J60. Данный модуль сопряжения (хост-плата), построенный на микромоцном ЭВМ, представляющий собой преобразователь интерфейсов различной структуры (со стороны используемого лабораторного оборудования) в сетевой интерфейс Ethernet, является фундаментом для построения системы сетевого управления лабораторией.

Хост-плата (Рис.1.) собрана на микроконтроллере ATmega8, тактируемом на частоте 12 МГц. Связь с Ethernet-модулем на контроллере ENC28J60 осуществляется по интерфейсу SPI на частоте 6 МГц. Также на хост-плате присутствует простейший формирователь шины USB, посредством которого становится возможным реализовать подключение локальной консоли при использовании библиотеки V-USB фирмы Objective Development или осуществлять программирование контроллера с использованием специального загрузчика (bootloader). Прочие неиспользуемые выводы портов ввода-вывода микроконтроллера ATmega8 реализованы в виде pinhead-коннекторов для подключения к интерфейсам оборудования или датчиков физической лаборатории.

Программная составляющая данного МСУ реализована на языке AVR ASM в виде библиотеки процедур для работы с ENC28J60 по SPI. Последняя версия ПО хост-платы содержит в себе поддержку 7 инструкций управления ENC28J60,

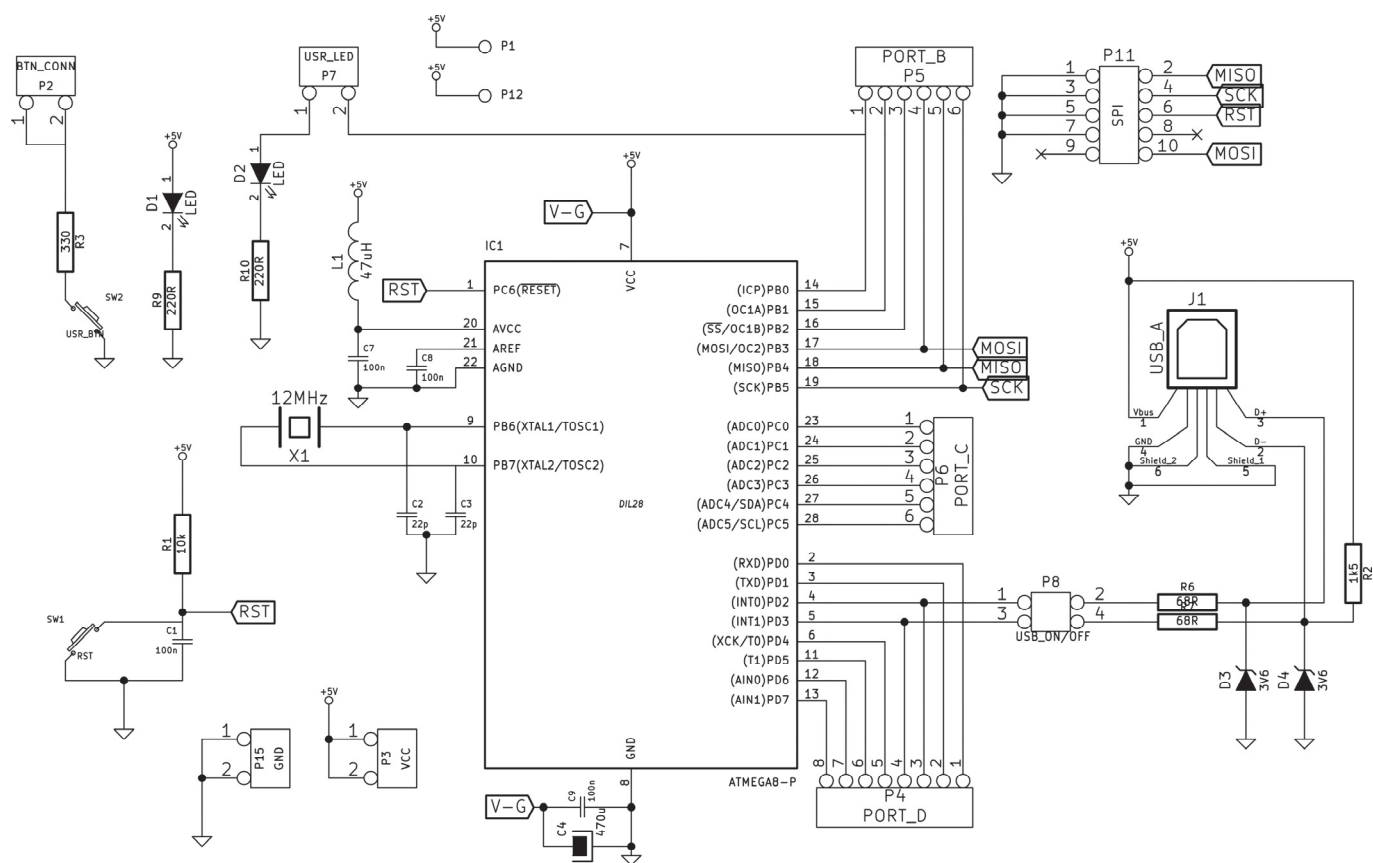


Рисунок 1. Принципиальная электрическая схема хост-платы МСУ.

процедуры инициализации МСУ, инструкции для проверки наличия новых необработанных кадров в буфере ENC28J60, для обработки принятых кадров (фильтрация по физическому адресу, по логическому адресу, по протоколу), для формирования Ethernet-кадров для. В качестве первичной задачи реализована поддержка протокола ARP. Работа над поддержкой IPv4 и UDP протоколами продолжается. Разработка модуля сетевого управления ведётся на свободном программном обеспечении.

Руководитель: к.т.н., доцент кафедры радиофизики и электроники
Сыктывкарского государственного университета Е.Н. Карпушов

НЕЛИНЕЙНАЯ ПРЕЦЕССИЯ ВЕКТОРА НАМАГНИЧЕННОСТИ В АНИЗОТРОПНЫХ МАГНИТОУПРУГИХ ФЕРРИТОВЫХ ПЛАСТИНАХ

Студенты: М.С. Кирушев (5 курс, кафедра радиофизики и электроники, СыктГУ)

Н.С. Елфимова (3 курс, кафедра радиофизики и электроники, СыктГУ)

В ряде наших работ была рассмотрена вынужденная высокоамплитудная прецессия намагниченности в ферритовой пластине [1, 2]. Было показано, что в перпендикулярно намагниченной ферритовой пластине, в условиях ориентационного перехода переменное поле круговой поляризации может вызывать прецессию положения равновесия, которая является одним из режимов прецессии намагниченности второго порядка [1]. В данной работе детально исследуются переходы между режимами прецессии второго порядка в пластине с кубической анизотропией и особенности прецессии второго порядка в пластине с магнитоупругими свойствами.

Временные зависимости компонент вектора намагниченности были получены путем численного решения уравнения Ландау-Лифшица с релаксационным членом в форме Гильберта методом Рунге-Кутты. Выявлены пять различных режимов прецессии второго порядка, сменяющие друг друга при увеличении амплитуды переменного поля [1, 2]. Перечислим эти режимы. Режим № 1 – малоамплитудная круговая прецессия, при котором вектор намагниченности прецессирует по малому кругу вокруг положения равновесия. Режимы № 2, № 3 - прецессия положения равновесия без охвата и с охватом центра, соответственно. В этих режимах положение равновесия вектора намагниченности прецессирует вокруг направления поля, средняя линия быстрых колебаний намагниченности периодически колеблется вокруг нулевой линии. В режиме № 2 при максимальных отклонениях быстрые колебания нулевой линии не достигают, а в режиме №3 – пересекают нулевую линию. Режим № 4 – затухающая прецессия положения равновесия с охватом

центра. В этом режиме положение равновесия в начальный момент времени после включения переменного поля сначала прецессирует с затуханием, после чего постепенно останавливается, средняя линия быстрых колебаний намагниченности совпадает с нулевой линией. Режим № 5 – развернутая круговая прецессия.

При переходе между режимами № 4 и № 5 наблюдается явление динамического гистерезиса – переходы в больший по номеру режим (в старший) и переход обратно (в младший) происходят при разных амплитудах переменного поля h . Установлено, что зависимость поля переходов из одного режима в другой от величины первой константы анизотропии K_1 , близка к линейной.

Также была обнаружена возможность получения прецессии второго порядка при постоянном поле равном и большем поля размагничивания формы. Такая возможность возникает при больших отрицательных значениях K_1 .

Была также исследована нелинейная прецессия намагниченности в постоянных полях меньших поля размагничивания при учёте магнитоупругих взаимодействий. Исследованы амплитудно-частотные характеристики прецессии, а также упругие колебания при пяти режимах прецессии. Обнаружено видоизменение режимов прецессии, при котором режим № 3 пропадает, а режим № 4 остается затухающим, но уже без охвата центра. При исследовании выяснено, что видоизменение режимов происходит в нижней области частот, а пороговая частота линейно зависит от константы анизотропии.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №12-02-01035а).

Научный руководитель: доцент кафедры радиофизики
и электроники СыктГУ В.С. Власов

ЛИТЕРАТУРА

1. Власов В.С., Кирушев М.С., Котов Л.Н., Шавров В.Г., Щеглов В.И. РЭ, **58**, 806 (2013).
2. Власов В.С., Кирушев М.С., Котов Л.Н., Шавров В.Г., Щеглов В.И. РЭ, **58**, 857 (2013).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ СТАБИЛЬНОСТИ КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ ИОНОСФЕРНОГО СЛОЯ F2

Студент: М.Б. Клепфиш (5 курс, кафедра радиопизики, физический факультет,
Южный федеральный университет)

Ионосферный канал связи является важным звеном многих международных систем связи. Высокочастотный радиоканал обеспечивает связь как на малые, так и на глобальные расстояния. Недостатком данного вида связи является сильная изменчивость и зависимость от таких факторов, как время года, время суток, геофизические условия, ориентация и протяжённость радиотрасс. Одним из способов повышения надежности связи по ВЧ каналам является совершенствование ионосферных прогнозов на основе эмпирических моделей ионосферы. Самой распространённой моделью ионосферы является Справочная модель ионосферы (International Reference Ionosphere) [1, 2]. Она рекомендована как стандарт для международного использования Комитетом по космическим исследованиям (COSPAR) и Международным радиосоюзом (URSI). Модель постоянно совершенствуется, является глобальной, имеется доступная реализация. Её последней версией является IRI-2012. Остается актуальной задача определения точности прогнозирования основной характеристики – критической частоты на основе модели IRI.

Целью данной работы было: во-первых, определение вариаций ото дня ко дню критической частоты слоя F2 на 9 европейских ионосферных станций вертикального зондирования, во-вторых, получение количественной оценки точности прогнозирования критической частоты ионосферного слоя F2 с использованием модели IRI.

Для решения поставленных задач использовались результаты вертикального зондирования (ВЗ), полученные на 9 станциях: El Arenosillo (37,10°N, 353,30°E), Roquetes (40,80°N, 0,50°E), Rome (41,90°N, 12,50°E), San Vito (40,60°N, 17,80°E), Athenes (38,00°N, 23,50°E), Nicosia (35,03°N, 33,16°E), Trosmo (69,60°N, 19,20°E), Juliusruh (54,60°N, 13,40°E) Pruhonice (50,00°N, 4,60°E). Данные вертикального зондирования получены из базы Digital Ionogramm DataBase [3, 4]. Время наблюдения – 2013 г. (максимум солнечной активности), 2012 г. (средняя солнечная активность) и 2008 г. (минимум солнечной активности). Частота ВЗ – один раз в 5 минут.

Методика обработки данных была следующей. Для месяца на плоскость «время суток – критическая частота» наносились все полученные значения. Затем, для каждого обработанного часа находились средние значения f_0F_2 . Аналогично рассчитывались средние прогнозируемые значения по модели IRI. Далее рассчитывалось среднеквадратичное отклонение экспериментальных значений от среднего за месяц, которое было принято в качестве меры вариации ото дня ко дню. После этого сопоставлялись средние экспериментальные и прогнозируемые суточные зависимости критической частоты. Вычислялось среднее относительное отклонение ε :

$$\varepsilon = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{|f_0F_{2_{эксп}i} - f_0F_{2_{IRI}i}|}{f_0F_{2_{эксп}i}} \right) \cdot 100\%. \quad \text{Данная оценка рассчитывалась за}$$

сумеречные, дневные и ночные часы, а также за всё время суток.

Получены следующие результаты:

1. В среднем за весь период наблюдения вариации ото дня ко дню критической частоты составили 14%.
2. Сезонная зависимость проявлялась слабо. Весной и летом вариации составили 13%, зимой – 15%, осенью – 17%.
3. Наблюдалась слабовыраженная зависимость от солнечной активности. На всех станциях при минимальной солнечной активности вариации ото дня ко дню достигает

16%, при средней солнечной активности 15%, а при максимальной солнечной активности 12,5%.

4. Значения вариаций ото дня ко дню в дневные часы в среднем меньше на 5%, чем в ночные и сумеречные.

5. Отмечалась широтная зависимость. Максимальные вариации наблюдались на высокоширотной станции Trosno (69,60°N, 19,20°E) (до 20%). На среднеширотных станциях вариации составили около 13...15%.

6. Среднее относительное отклонение ε прогнозируемых по модели IRI-2012 значений от измеренных имеет суточную и сезонную зависимость. В восходно-заходные и ночные часы значения ε составляют 10,5%, в дневной – 7%. Весной и летом ε меньше на 5%, чем в зимний и осенний период. При минимальной солнечной активности относительное отклонение ε достигает 7%. При средней и максимальной – 9% и 12% соответственно. В среднем за весь период наблюдения ε не превышает 10%.

Научный руководитель: доцент кафедры радиофизики физического факультета
ЮФУ, к.ф.-м.н. Радио Л.П.

ЛИТЕРАТУРА

1. D. Bilitza and B. Reinisch, International Reference Ionosphere 2007: Improvements and new parameters, J. Adv. Space Res., 42, №4, 599-609, doi:10.1016/j.asr.2007.07.048, 2008.
2. <http://spdf.gsfc.nasa.gov/pub/modes/iri/iri2012/>.
3. Reinisch, B.W., I.A. Galkin, G. Khmyrov, A. Kozlov, and D. F. Kitrosser, Automated collection and dissemination of ionospheric data from the digisonde network, Adv. Radio Sci. (2004), 2: 241-247.
4. <http://ulcar.uml.edu/DIDBase/>.

РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЦЕССОРНОГО БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ И СТАБИЛИЗАЦИИ ТОКА ЭЛЕКТРОМАГНИТА ЯМР-СПЕКТРОМЕТРА

Студенты:

Д.А. Коновалюк (3 курс, кафедра радиофизики и электроники, СыктГУ)

А.И. Карманов (5 курс, кафедра радиофизики и электроники, СыктГУ)

Электрические схемы на микроконтроллерах — это современный и удобный способ исполнения электрических цепей и автоматизации устройств. Их применение позволяет снизить энергопотребление, уменьшить габариты готовых изделий, а популярность применения их в схемотехнике делает устройство современным и ремонтпригодным. Применение программного управления позволит в последующем модернизировать устройство, а так же использовать готовый прибор в составе автоматизированного лабораторного комплекса.

Ядерный магнитный резонанс — это популярный и современный метод исследования молекулярного строения вещества и его свойств, широко применяющийся сейчас [1]. Для проведения таких работ на кафедре применяется ЯМР спектрометр TESLA BS467A.

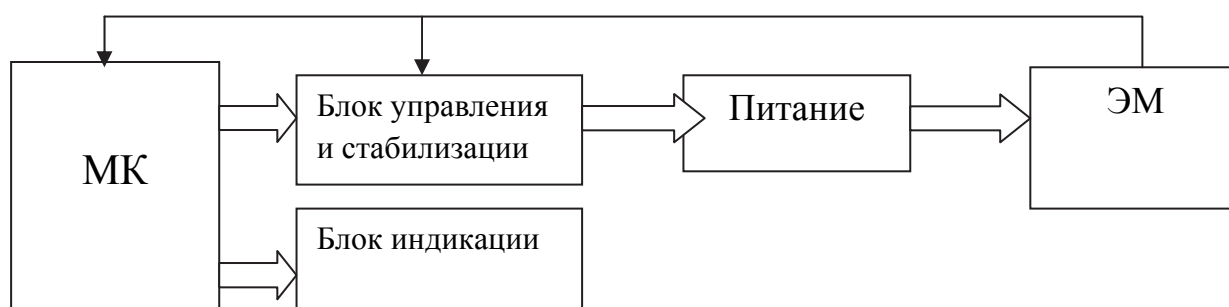


Рис. 1. Блок-схема управления электромагнитом ЯМР-спектрометра.

Целью работы ставится модернизация источника питания электромагнита спектрометра и замена старого блока питания на новый, стабилизированный с микроконтроллерным управлением.

Изначально в спектрометре использовался отдельный крупногабаритный блок управления, в качестве управляющего элемента использовалась линейка из восьми биполярных транзисторов. Новая схема управления, выполненная на микропроцессоре, имеет меньшие габариты, меньшее потребление электроэнергии и более удобную в эксплуатации и настройке нужных параметров прибора часть. Линейка транзисторов была заменена на IGBT модуль, работающий на полевом транзисторе, так же позволяющий снизить габариты и электропотребление. Кнопочное управление сделало работу более удобной.

В качестве регулировочного элемента был применен IGBT транзистор, на затвор которого подавалось управляющее напряжение. Стабилизация производилась с помощью отрицательной обратной связи операционного усилителя и резистора с эталонным напряжением. Значение индукции поля электромагнита выводится на трехразрядный светодиодный индикатор. Его значение было получено из условия пропорциональности поля току, идущему через магнит. Поле измерялось измерителем индукции Ш1-9. Измерение индукции магнитного поля до 1 Тл проводится с точностью 1 мТл. Дискретность регулировки тока через электромагнит — 0,01А. Также применено плавное выключение тока через электромагнит, для защиты силового IGBT транзистора от ЭДС самоиндукции.

Разработанное устройство соответствовало поставленной цели работы, показало свою работоспособность, позволило повысить удобство и точность работы с прибором.

Научный руководитель:

инженер кафедры радиофизики и электроники

Безносиков Д.С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Х. Гюнтер. Введение в курс спектроскопии ЯМР. М.: Мир.: 1984. 487 с.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ЭНЕРГИЧНЫХ ЧАСТИЦ В ИСТОЧНИКАХ САНТИМЕТРОВЫХ РАДИОВСПЛЕСКОВ

Студент: Н.Н. Конашук (6 курс, кафедра радиофизики, СПбГУ)

Радиоизлучение Солнца занимает особое место в прогнозировании солнечных вспышек, происходящие в хромосфере и сопровождаются выбросом частиц высокой энергии – энергичных частиц (электронов) в межпланетное пространство, при этом наблюдается мощное излучение в радиодиапазоне.

В работе рассматривается модель области генерации всплеска с определенными распределениями магнитного поля и концентрации быстрых частиц в пространстве. Спектральные характеристики излучения всплесков тесным образом связаны с физическими условиями в области их генерации. Предполагается, что областью генерации всплеска может быть усеченная пирамидообразная трубка длиной L с сечением в виде квадрата, длина стороны которого изменяется вдоль оси по степенному закону с показателем степени $-\mu$. Магнитное поле также задается по степенному закону с показателем степени 2μ . Область заполнена нетепловыми электронами, концентрация которых вдоль оси изменяется по степенному закону с показателем степени $-\nu$.

В сантиметровом диапазоне длин волн излучение обусловлено нетепловым магнитно-тормозным механизмом, который и лежит в основе данного рассмотрения. Предполагается, что элементарные всплески происходят в области с неизменной структурой магнитного поля [2].

Исследование физических условий во всплесках на Солнце выполняется при помощи метода определения параметров (μ и ν) модели всплесков по динамическим характеристикам их радиоизлучения. Для этого рассчитывалась спектральная плотность потока радиоизлучения с использованием коэффициентов излучения и

поглощения из [1]. Расчетные потоки всплесков сравниваются с наблюдаемыми потоками, полученными на японских радиополяриметрах Нобеяма.

В ходе работы ставился численный эксперимент для проверки относительной точности определения параметров всплеска. Далее анализировались реальные данные для выявления зависимости показателя пространственного распределения энергичных частиц от показателя энергетического спектра электронов, а также определялось, как эти параметры меняются со временем. Для получения теоретической зависимости тех же параметров рассмотрено стационарное уравнение эволюции энергичных электронов, взятое из [3] при условии учета влияния диффузии энергичных электронов в магнитной ловушке и без неё.

В итоге получен следующий вывод:

1. Рассмотренный метод определения параметров пространственного распределения магнитного (μ) поля и пространственного распределения быстрых частиц (v) в области генерации всплеска по его динамическим спектрам в микроволновом диапазоне длин волн достаточно эффективен и позволяет надежно определять эти параметры. Полученное значение μ не противоречит данным из [4].
2. Показатель энергетического спектра электронов и параметр пространственного распределения быстрых частиц меняются во времени в соответствии с природой взаимодействия энергичных электронов с электронами фоновой плазмы.
3. Выведенная в теоретическом рассмотрении зависимость v от показателя энергетического спектра электронов согласуется с экспериментальной.

Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, профессор СПбГУ Яснoв Л.В.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dulk C. A., Marsh K. A. 1982, *Astroph. J.*, **259**, 350.
2. Howard R., Cragg T., Babcock H.W. 1959, *Nature*, **184**, Issue 4683, 351.
3. Leach, J., & Petrosian, V. 1981, *ApJ*, **251**, 781
4. Bogod, V. M., Stupishin, A. G., and. Yasnov, L. V. 2012, *Solar Phys.* **276**, 61.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНАЯ ФУНКЦИЯ КОГЕРЕНТНОСТИ ВОЛНОВОГО ПОЛЯ В МАРКОВСКОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

Студент: А.А. Костин (6 курс, кафедра радиофизики, СПбГУ)

Решение марковского параболического уравнения для пространственно-частотной функции когерентности второго порядка не всегда может быть выражено аналитически. В работах [1, 2] предложен асимптотический метод построения решения, основанный на квазиклассическом приближении с комплекснозначными траекториями. Аналитически реализовать эту технику удастся лишь для весьма ограниченного числа моделей эффективной поперечной структурной функции флуктуаций диэлектрической проницаемости среды распространения $\tilde{D}_\varepsilon(r)$. Хотя для структурной функции типичное поведение на бесконечности есть $\tilde{D}_\varepsilon(\infty) = \tilde{A}_\varepsilon(0) = \text{const}$, в множество моделей, для которых найден явный вид функции когерентности, входит квадратичная парабола $\tilde{D}_\varepsilon(r) = 2\tilde{A}_\varepsilon(0)r^2$, не имеющая членов высших порядков по r и не являющаяся хорошим приближением для структурной функции при больших значениях поперечной переменной. О методе расширения области применимости параболической модели с помощью добавления к ней поправки в виде членов следующих порядков, взятых из разложения в ряд гиперболической модели, пойдёт речь в докладе.

$$K \frac{\partial \Gamma_1}{\partial \zeta} + \frac{i\tilde{k}_d}{2} \nabla_r^2 \Gamma_1 + \frac{K^2}{4} [\tilde{A}_\varepsilon(0) - \tilde{A}_\varepsilon(r)] \Gamma_1 = 0. \quad (1)$$

Формальное асимптотическое решение параболического уравнения (1) для функции когерентности второго порядка может быть представлено в виде разложения в ряд по большому параметру задачи K .

$$\Gamma_1(\mathbf{r}, \zeta) = \exp[K\psi(\mathbf{r}, \zeta)] \sum_{j=0}^{\infty} \frac{U_j(\mathbf{r}, \zeta)}{K^j}. \quad (2)$$

После подстановки анзаца (2) в исходное равенство (1) и приравнивания коэффициентов при одинаковых степенях K можно выделить уравнения для эйконала, переноса главной амплитуды и для амплитуд высших порядков. Далее используют метод характеристик, приводящий к лучевому уравнению в виде квадратуры. Луч ищется в виде траекторий, выходящих из комплексной точки

$\vec{R}_{\text{ВЫХ}} = \{r_{\text{ВЫХ}}(0), 0\}$ на плоскости $\zeta = 0$ и приходящих в вещественную точку входа $\vec{R}_{\text{ВХ}} = \{r_{\text{ВХ}}(z), z\}$. Возможность аналитического решения интеграла зависит от структурной функции, входящей в состав подынтегрального выражения. В докладе рассмотрены модель квадратичной параболы гиперболическая модель Пёшля-Теллера.

$$\tilde{A}_\varepsilon(r) = \tilde{A}_\varepsilon(0) \frac{1}{ch^2(r)} = \tilde{A}_\varepsilon(0) \left[1 - r^2 + \frac{2}{3}r^4 - \dots \right].$$

Заметим, что первые два члена ряда модели гиперболического косинуса являются параболической моделью. Отсюда возникла идея добавить в последнюю слагаемое следующего порядка, получить уравнение луча и сравнить с имеющимся явным выражением для луча, полученным из модели Пёшля-Теллера. То есть рассматривается некая гибридная модель, представляющая собой промежуточный случай между параболой и гиперболическим косинусом.

Результат, полученный из расширенной модели, почленно совпадает с разложением в ряд выражения для луча модели Пёшля-Теллера. В качестве вывода отметим, что предложенная методика позволяет из имеющейся квадратичной эффективной поперечной структурной функции флуктуаций диэлектрической проницаемости среды распространения $\tilde{D}_\varepsilon(r) = 2\tilde{A}_\varepsilon(0)r^2$ путем добавления поправок высших порядков из других моделей создать реалистическую модель структурной функции. А значит довольно простым образом получить пространственно-частотную функцию когерентности, правильно ведущую себя как при малых, так и при больших значениях поперечной разностной переменной.

Научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор СПбГУ Н.Н. Зернов

ЛИТЕРАТУРА

1. Bitjukov A.V., Gherm V.E., Zernov N.N. On the solution of Markov's parabolic equation for the second order spaced frequency and position coherence function // Radio Science. 2002. V.37(4). doi:10.1029/2001RS002491.
2. Bitjukov A.V., Gherm V.E., Zernov N.N. Quasi-classic approximation in Markov's parabolic equation for spaced position and frequency coherency // Radio Science. 2003. V.38(2). doi:10:1029/2002RS02714.

ВОЛНОВОДНЫЙ ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩИЙ ФИЛЬТР НА СЛОЖНЫХ РЕЗОНАНСНЫХ ДИАФРАГМАХ

Студент: С.В. Крутиев (6 курс, кафедра прикладной электродинамики и компьютерного моделирования, физический факультет, ЮФУ)

Волноводные полосно-пропускающие фильтры широко используются в современной технике сантиметровых и миллиметровых волн. Они по-прежнему сохраняют лидирующие позиции в устройствах, требующих отсутствия излучения, высокой добротности и малых потерь. Как правило, фильтры волноводного исполнения формируются либо с помощью объемных резонаторов, ограниченных тонкими штырями или плоско-поперечными неоднородностями, такими как тонкие диафрагмы, сдвиги и стыки волноводов различного поперечного сечения, либо с помощью резонансных штырей или резонансных диафрагм. Последние, в свою очередь, являются наиболее предпочтительным элементом при построении компактных фильтров, поскольку продольный размер такого устройства будет определяться только длиной участков четвертьволновых связей между резонансными диафрагмами [1]. Однако, классические прямоугольные резонансные диафрагмы обладают достаточно малыми добротностями, составляющими лишь несколько единиц, поэтому проектирование фильтров с полосой пропускания менее 15 % оказывается весьма затруднительно. Повышение добротности резонансных диафрагм возможно при использовании более сложного поперечного сечения резонансного окна. Одним из вариантов увеличения затухания в полосе заграждения полосно-пропускающих фильтров на резонансных диафрагмах является применение резонансных окон, АЧХ которых обладает не только резонансом, но и антирезонансом, причем так, чтобы антирезонанс попадал в полосу заграждения фильтра. Таким резонансным окном может служить прямоугольное окно с двумя L-образными металлическими гребнями. В данной работе проводится

электродинамический анализ и синтез полосно-пропускающих фильтров [2] на резонансных диафрагмах в виде прямоугольного окна с двумя L-образными гребнями.

Электродинамический анализ прямоугольного волновода с двумя L-гребнями, определяющего апертуру исследуемых сложных резонансных диафрагм, будем проводить методом частичных областей с учетом особенности электромагнитного поля на ребре [3].

Приведем результаты синтеза полосно-пропускающих фильтров на трех и пяти резонансных диафрагмах. Полосу пропускания фильтров зададим 10%. Необходимо отметить, что алгоритм расчета добротностей резонаторов, позволяет получить хорошее начальное приближение, оптимизация которого требует лишь несколько итерационных циклов.

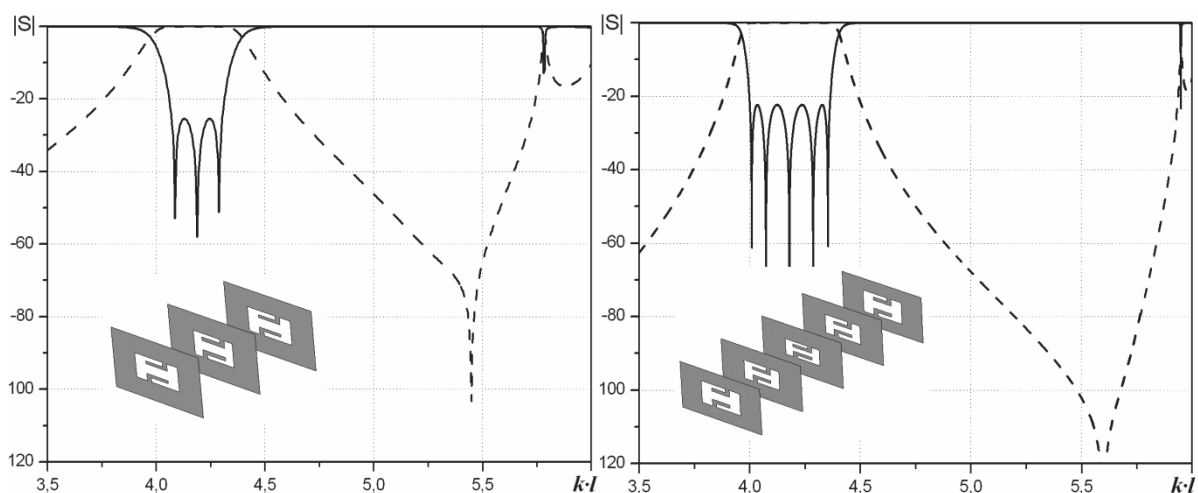


Рис. 1

Рис. 2

На рис. 1 и 2 представлены соответствующие характеристики модулей матрицы рассеяния фильтров в дБ (S_{11} – сплошная линия, S_{21} – пунктирная линия). Было также проведено сравнение полученных результатов с результатами компьютерного моделирования прямыми численными методами, показавшими расхождение результатов не более 0,5%.

Таким образом, в данной работе приводятся результаты электродинамического анализа и синтеза полосно-пропускающих фильтров на резонансных диафрагмах в виде прямоугольного окна с двумя L-образными гребнями. Предложенная апертура

диафрагмы позволяет не только получать более высокие добротности резонаторов, чем обычные прямоугольные окна, но и благодаря наличию антирезонанса в своей переходной характеристике, обеспечивать рекордно низкие для данного типа фильтров уровни затухания в полосе заграждения.

Руководитель: кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры прикладной электродинамики и компьютерного моделирования физического факультета ФГАОУ ВПО «Южного федерального университета»
Земляков Вячеслав Викторович

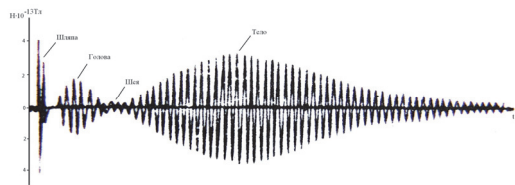
ЛИТЕРАТУРА

1. Фельдштейн А.Л., Явич Л.Р., Смирнов В.П. Справочник по элементам волноводной техники. М.: Советское радио. 1967.
2. Заргано Г.Ф., Земляков В.В., Синявский Г.П. Вычислительные методы прикладной электродинамики / под. ред. Синявского Г.П. М.: Радиотехника. 2009.
3. Заргано Г.Ф., Земляков В.В., Кривопустенко В.В. «Электродинамический анализ и синтез собственных волн в прямоугольном волноводе с двумя L-выступами» // Радиотехника и электроника, 2011, т. 56, № 3, с. 285-294.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АТМОСФЕРИКОВ В ИНЧ ДИАПАЗОНЕ

Студент: О.Ю. Кузнецов (6 курс, кафедра радиофизики, СПбГУ)

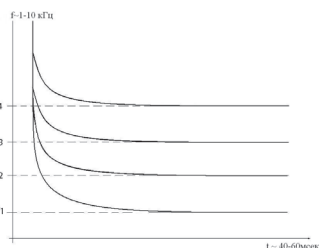
Настоящее сообщение является экспериментальным блоком работы по исследованию особенностей атмосфериков (электромагнитного излучения сильноточных компонент молниевых вспышек) в ИНЧ-ОНЧ диапазоне. Интерес к таким особенностям обусловлен возможностью использования естественных сигналов в качестве инструмента для исследования параметров ионосферы и их возможных вариаций. Одним из интересных типов сигналов грозового происхождения являются так называемые «твики», являющиеся одним из редких видов возбуждаемых молниевыми разрядами атмосфериков, распространяющихся в волноводе Земля-ионосфера. В качестве иллюстрации на рисунке приведена



волновая форма Ez-компоненты такого сигнала с выделенными на нем наиболее характерными особенностями [1]. По данным ряда исследований

[1] наблюдаемая длительность атмосферика составляет единицы миллисекунд. Длительность «головы» и «шеи» достигает 10 мс, а длительность «тела» может варьироваться в достаточно широких пределах от нескольких десятков до ста и даже более миллисекунд.

Твики возникают только в течение неосвещенного времени суток. Наибольшая часть регистрируется в период с 21.00 до 03.00 часов ночи [2]. На рисунке ниже приведен пример типичной для твика спектрограммы.

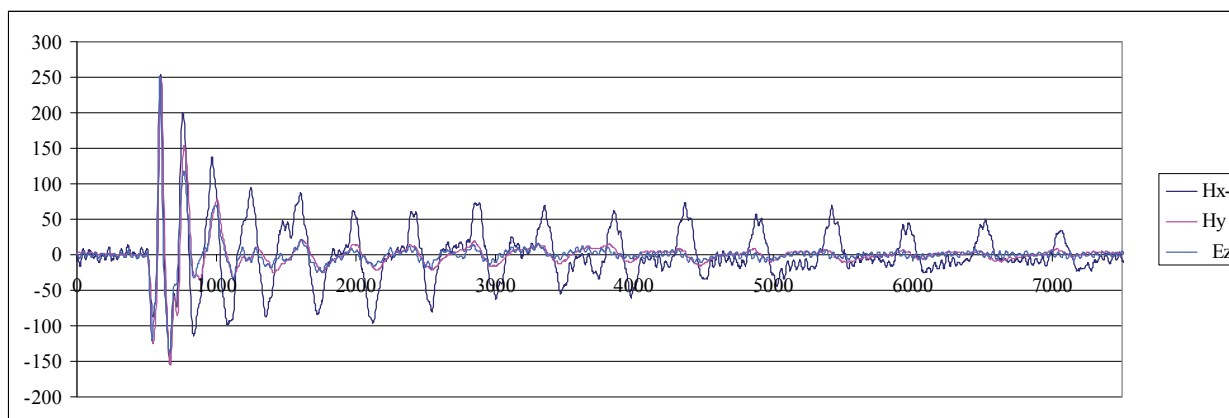


Из рисунка видно, что характерной особенностью твиков является сильная дисперсия основных гармоник (мод), каждая мода определяет свою частоту среза f_n [1]. Высота отражения для каждой гармоники разная и

колеблется приблизительно от 80 до 90 км, что, как правило, соответствует D-области ионосферы [1]. Дальность распространения твиков достигает нескольких тысяч километров [4]. Таким образом, приведенные выше характеристики сигналов, позволяют рассматривать твики как один из возможных методов зондирования нижней части ионосферы

Обработка экспериментальных данных и результаты

Цель обработки – выявить наличие твиковых форм в потоке импульсного излучения, возбуждаемого сильноточными молниевыми разрядами в ИНЧ-ОНЧ диапазоне и выяснить особенности изменения их пространственно-временной структуры в суточном цикле изменения свойств ионосферы. Для обработки была использована базы данных непрерывной экспериментальной регистрации трех компонент поля (вертикальной электрической и горизонтальных магнитных) атмосфериков в течение грозового сезона лета 2010 года, выделены области грозовой активности, практически непрерывно функционирующие в течение двух суток. Период дискретизации рассмотренных сигналов равен 10 мкс, а их длительность составляет 7,7 мс, что почти на порядок короче длительности, необходимой для регистрации полной формы твика. Однако, как показала обработка, даже на такой относительно короткой длительности регистрации все основные особенности твиков достаточно четко проявляются, причем наиболее ярко эти особенности выражены в аномальной компоненте магнитного поля, что иллюстрируется приведенным ниже рисунком.



Был проведен анализ данных за выделенный интервал наблюдений с помощью программы DRAW, и написана программа в MatLab для построения сигналов, их спектров и сонограмм. Из проведенного анализа было обнаружено, что первые твичоподобные формы атмосфериков начинали возбуждаться около 19.00 UT (для анализируемого пункта оно совпадает с местным временем) и наблюдались приблизительно до 03.00 UT, после чего практически полностью исчезали. В остальное время суток твичовых форм обнаружено не было. Эти наблюдения совпадают с результатами, описанными в «Features of Tweeks observed in Indian Low Latitudes» [2].

В рамках грубой модели волновода Земля-ионосфера, была произведена оценка параметров обработанных сигналов. Высота отражения h и плотность электронной концентрации n_e вычислялись по формулам приведенным ниже [3]. Высота отражения:

$$h = \frac{nc}{2f_{cn}},$$

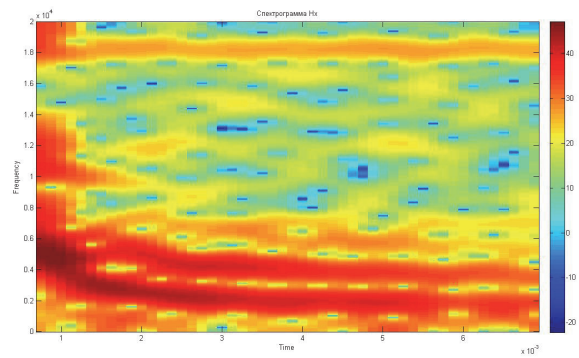
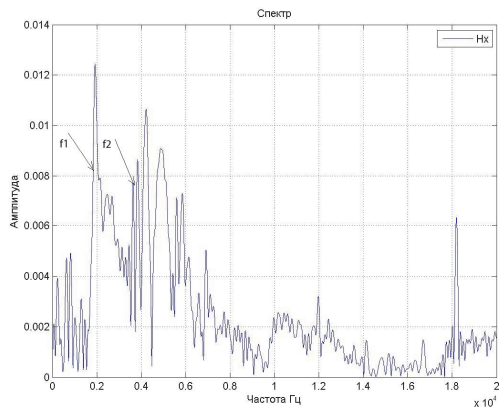
где n – номер моды, c – скорость света в вакууме, f_{cn} – частота среза n -ой моды.

Плотность электронной концентрации:

$$n_e = 1,9790 \cdot 10^{-9} \cdot f_{cn} \cdot \left[\{2\pi(f_{cn} + f_H)\}^2 + \left(1,816 \cdot 10^{11} \exp(-0,15 \cdot h)\right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \text{ см}^{-3},$$

где f_{cn} – частота среза n – ой моды, f_H – гирочастота для геомагнитного поля $H_0 = 50,209 \text{ А/м}$, h – высота отражения от ионосферы.

На следующих ниже рисунках представлен полный спектр сигнала и соответствующая ему спектрограмма. Из приведенных иллюстраций видно наличие двух сильно диспергирующих мод с достаточно четко выраженными частотами обрезания. Это позволяет на основании приведенных выше соотношений определить эффективные параметры волновода.



Таким образом, за проанализированный промежуток времени чаще всего наблюдались квазитвики содержащие 1-2 моды, средняя частота среза колеблется от 1700 до 1900 Гц, СКО частоты среза от ее среднего значения равно 40 Гц, высота отражения от ионосферы лежит в пределах $78 \div 86$ км, а плотность электронной концентрации для разных мод находится в пределах $39 \div 120 \text{ см}^{-3}$.

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент СПбГУ, И.И. Кононов

ЛИТЕРАТУРА

1. Д.Е. Едемский, Б.С. Рябов, С.С. Тараненко, А.Ю. Щекотов, В.С. Яроцкий «Особенности распространения и структура поля твиков». -Москва, 1998.
2. Rajesh Singh, B. Veenadhari, A.K. Maurya, P. Pant, A.K. Singh «Features of Tweeks observed in Indian Low Latitudes».
3. Sushil Kumar, Anil Deo, and V. Ramachandran «Nighttime *D*-region equivalent electron density determined from tweek sferics observed in the South Pacific Region».
4. Ajeet K. Maury¹, R Selvakumaran, Rajesh Singh, B. Veenadhari «Characteristics of Tweeks Radio Atmospheric Observed in Indian Low Latitude region using AWESOME VLF receiver».

ИССЛЕДОВАНИЕ КОММУТАЦИОННОГО ДИОДА СВЧ ПРИ ОБРАТНОМ СМЕЩЕНИИ

Студент: Н.С. Кулаков (6 курс, кафедра электроники и схемотехники, СПбГУТ)

Коммутационные диоды СВЧ нашли широкое применение в полупроводниковых защитных устройствах СВЧ-диапазона, выключателях и многоканальных коммутаторах. Принцип действия переключательных диодов основан на резком изменении полного сопротивления диода при изменении полярности управляющего напряжения или тока [2].

Также коммутационные диоды используются в качестве фоточувствительных элементов с высоким быстродействием. В основе принципа работы таких диодов лежит использование лавинного пробоя.

В настоящее время устройства на полупроводниковых структурах могут работать при большом уровне СВЧ мощности. Уровень мощности сигнала в таких устройствах может достигать порядка 10...50 кВт. Включение нескольких диодов позволяет создать выключатели, работающие при большом уровне СВЧ мощности, а также значительно повысить потери запирающего выключателя и расширить полосу рабочих частот.

Реализация устройств с большим уровнем рабочей мощности, как правило, имеет волноводное исполнение, а, как известно, любые волноводные структуры (резонаторы, шлейфы, мосты) обладают высокой добротностью. Потери на стенках волноводов невелики, и поэтому при определенных условиях высокая добротность линии может стать причиной паразитных эффектов [3].

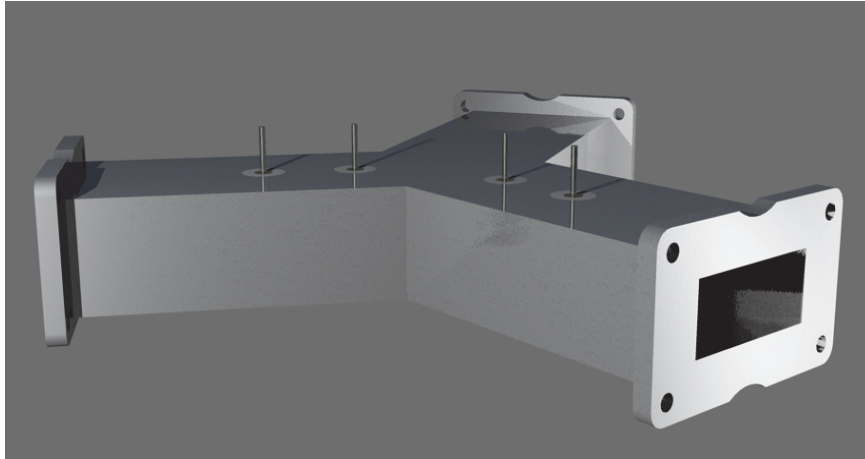


Рис. 1 Конструкция двухканального коммутатора.

В современной литературе нет рекомендаций по выбору запирающих напряжений СВЧ диодов в составе коммутационных схем СВЧ. Эквивалентные схемы коммутационных диодов и возможность лавинного пробоя в них [1] дают основания предположить, что при высокодобротном (волноводном) включении диода, а также при подаче на диод запирающего напряжения близкого к пробивному (особенно в отрицательный полупериод СВЧ колебания), напряжение на диоде может достичь пробивного. Тогда на диоде может возникнуть паразитная генерация. Следует так же отметить, что при непрерывной работе на высокой мощности диод нагревается, что при плохом теплоотводе может повлечь нарушение теплового равновесия, и как следствие – значительное понижение пробивного напряжения по сравнению с номинальным значением в технических характеристиках.

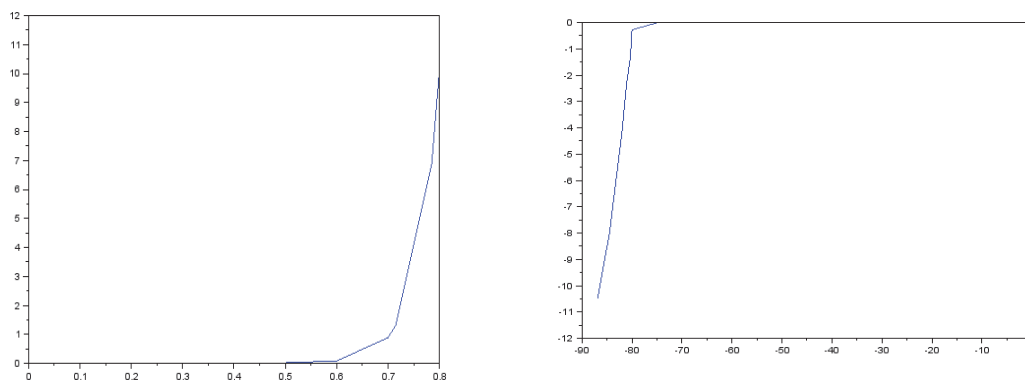


Рис. 2 Прямая (слева) и обратная (справа) ветви ВАХ диода 2А-534А.

Для проверки предположений о паразитной генерации коммутационных диодов мы выбрали различные образцы с относительно невысоким обратным пробивным напряжением, которые широко используются в современных СВЧ-устройствах. Первым этапом работы было снятие ВАХ диодов (2А-546А, 2А-507А, 2А-534А) и поиск минимального пробивного напряжения в каждом конкретном случае. Были получены прямые и обратные ветви ВАХ. Из трех исследуемых диодов минимальное пробивное напряжение (порядка 85 В) было получено у диода 2А-534А.

Далее в ходе работы было предложено поместить диод в сферический резонатор, чтобы проверить предположения о выделении СВЧ мощности при пробое диода. Для работы был взят сферический резонатор (диаметром 6 см), внутри которого был помещен диод с питанием и с элементом связи. Коаксиальный кабель от элемента связи был подключен к всеволновому ваттметру Я2М-66 для регистрации СВЧ мощности.

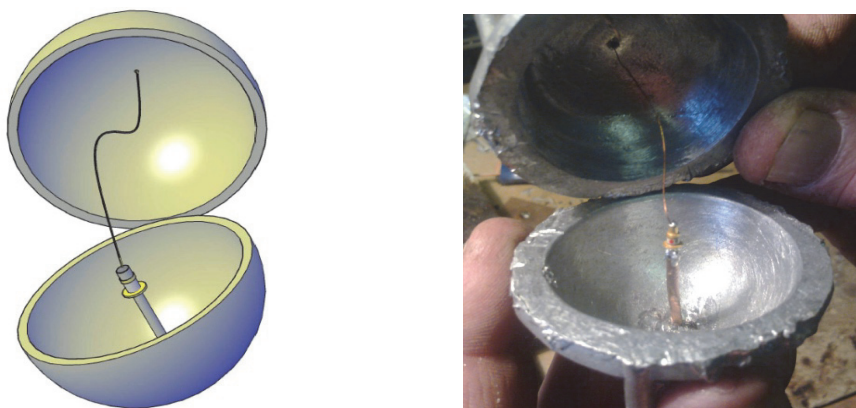


Рис. 3 Моделирование (слева) и реализация (справа) устройства со сферическим резонатором и коммутационным диодом.

При плавной подаче обратного напряжения близкого к пробивному, ваттметр зарегистрировал мощность больше 1 мВт, генерация продолжалась около 5...10 секунд. Точно определить частоту генерации при подаче постоянного пробивного

напряжения довольно сложно, однако можно предположить, что подача пилообразного напряжения, которое близко у острия «пилы» к пробоям, позволит определить и частоту генерации, и не допустить теплового пробоя диода. Предположение о том, что коммутационные диоды СВЧ могут вносить заметные искажения в сигнал, а также при неправильном выборе запирающего напряжения, создавать фактически «регенеративный усилитель» на лавинно-пролетном эффекте, подтвердилось.

В дальнейшем планируется разработать инженерную методику для выбора запирающих напряжений в устройствах СВЧ на коммутационных диодах.

Руководители:

профессор кафедры «Электроники и Схемотехники», к.т.н. Е.И. Бочаров,
доцент кафедры «Электроники и Схемотехники», к.т.н. Э.Ю.Седышев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тагер А.С., Вальд-Перлов В.М.. Лавинно-пролетные диоды и их применение в технике СВЧ. М., Издательство «Советское радио», 1968.
2. Вайсблат А.В. Коммутационные устройства СВЧ на полупроводниковых диодах. М., Издательство «Радио и связь», 1987.
3. Бочаров Е.И., Кулаков Н.С., Седышев Э.Ю. Доклад. «III Международная научно-техническая и научно-методическая конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, «Исследование р-і-п диода в многоканальном коммутаторе», СПб., 2014 год.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ ДВУХ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ МАГНИТНЫХ ДИПОЛЕЙ

Студенты:

Е.Г. Курдюкова (3 курс, кафедра радиопизики и электроники, СыктГУ)

Е.С. Пилипец (5 курс, кафедра радиопизики и электроники, СыктГУ)

Проблема исследования нелинейной радиочастотной магнитной динамики однодоменных частиц в ансамблях является актуальной задачей физики магнитных явлений [1]. Прежде чем проводить дорогостоящие эксперименты в этом направлении, необходимо сначала провести теоретические исследования и разобраться в многообразии динамических режимов векторов намагниченности частиц ансамбля, возникающих под действием радиочастотного магнитного поля.

Целью настоящей работы было исследование нелинейной динамики системы двух взаимодействующих изотропных магнитных частиц в форме эллипсоидов вращения, намагниченных до насыщения вдоль оси z и имеющих цилиндрическую симметрию относительно этой оси. Возбуждающее циркулярно поляризованное радиочастотное магнитное поле лежало в плоскости перпендикулярной оси z .

В работе были построены временные зависимости и прецессионные портреты колебаний намагниченности, которые рассчитывались путем численного решения системы уравнений Ландау-Лифшица. В проекциях на оси декартовой системы координат система представляет собой шесть обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка. Анализ численного решения системы показывает, что под действием переменного магнитного поля ВЧ и СВЧ частот возникают различные динамические режимы магнитных колебаний. Рассмотрены случаи слабого и сильного взаимодействия между частицами. При $N_z \rightarrow 1/3$, где N_z – размагничивающий фактор вдоль оси z , взаимодействие между частицами становится сильным, так как магнитные поля диполь-дипольного

взаимодействия между частицами по модулю становятся сравнимыми с внутренними полями частиц. В случае отличия значения N_z даже на несколько сотых от 1/3, взаимодействие между частицами становится слабым, поскольку поля взаимодействия частиц по модулю будут значительно меньше внутренних полей [2].

Расчеты временных зависимостей компонент векторов намагниченности частиц для различных значений амплитуд и частот переменного поля показали наличие различающихся колебательных режимов для случаев сильного и слабого магнитного взаимодействия. При слабом магнитном взаимодействии обнаружено 7 различных режимов колебаний векторов намагниченности частиц, в том числе автоколебательный и хаотический режимы. При сильном магнитном взаимодействии было обнаружено около 10 различных колебательных режимов. Определены области существования различных режимов магнитных колебаний в зависимости от частоты и амплитуды переменного поля в случаях слабого и сильного магнитного взаимодействия частиц.

Получены зависимости времени релаксации магнитных колебаний от амплитуды переменного поля и зависимость периода магнитных колебаний частиц от частоты переменного магнитного поля.

Научный руководитель:

доцент кафедры радиофизики и электроники СыктГУ В.С. Власов

ЛИТЕРАТУРА

1. Власов В.С. Исследование релаксационных и нелинейной динамики магнитных и магнитоупругих колебаний пленок и частиц. Дис. Канд. Физ.-мат. Наук. М.: МГУ. 2007. 149 с.
2. В.С. Власов, Л.Н. Котов, Е.С. Липина, М.С. Кирушев, Ф.Ф. Асадуллин, С.М. Полещиков, В.Г. Шавров, В.И. Щеглов. Исследование динамики и изменения магнитной структуры ансамбля ферромагнитных частиц // Известия РАН. Серия физическая. 2013. Т. 77. №10. С. 1459-1461.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПОДЛОЖЕК ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ СВЧ ДИАПАЗОНА

Студент: А.С. Куцов (6 курс, кафедра электроники и схемотехники, СПбГУТ)

Особую роль в радиотехнике на сегодняшний день играют гибридно-интегральные (ГИС) и объемно-интегральные схемы (ОИС) СВЧ диапазона. Любое отклонение параметров микрогеометрии подложки при создании ГИС и ОИС ведет к нарушению работоспособности всей схемы. Приборами для измерения микрогеометрии поверхности называются профилометры.

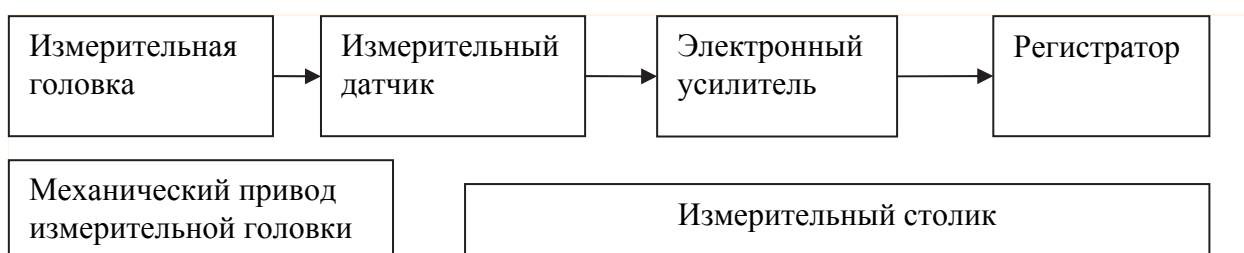


Рис.1. Типовая структура профилометра.

Все профилометры имеют общую структуру. Большинство методов измерения отличаются лишь способом детектирования сигнала от измерительной головки и законом ее движения по поверхности. Стандартное решение для данных измерительных станков - проводить измерения на очень малой линейной скорости, проводя ощупывающей головкой по поверхности. Скорость ощупывающей головки должна быть сверхлинейной, только тогда она не влияет на показания измерений и не требует какой-то специальной обработки. Однако этот способ весьма дорог и не использует возможности современных цифровых устройств, то есть не использует цифровую обработку, хотя и весьма широко применяется.

Нами предлагается метод, основанный на включении в структуру профилометра датчика скорости измерительной головки. Он отличается от

стандартного возможностью нелинейного измерения шероховатости подложек, то есть движение датчика по поверхности может производиться с любой скоростью. Информация с датчика измерительной головки и датчика скорости может быть связана аппаратно, тем самым удастся добиться их синхронизации.

В данном случае, роль механического привода измерительной головки может выполнять любой двигатель или рука измеряющего. Точность измерения будет зависеть от программного аппарата, который свяжет функции скорости и измерительного сигнала. Простым способом решения этой задачи могла бы стать регистрация сигналов от измерительной головки и ее скорости через микрофон. Реализация предлагаемого метода измерений шероховатости заключается в модификации измерительного щупа. Детектировать скорость было решено механическим способом, самым простым из всех возможных.

К измерительной головке, помимо взятой из щупового метода иглы, прикрепляется ролик. Он включает в себя гладкий диск, который повторяет движение измерительной иглы и имеет хорошее сцепление с измеряемой поверхностью. К основному диску крепится второй, с известной величиной шероховатости или известным количеством зубцов. Ко второму диску крепится гибкая пластина или игла. Повторяя движения первого диска, второй диск делает известное количество оборотов в единицу времени. Скорость вращения определяет опорный тон (шум), который издает пластина или игла от столкновений с известными неровностями второго диска.

Аналогично мы получаем тон и от измерительной иглы, от столкновения ее с микрогеометрией поверхности подложки. Анализ такого сигнала можно провести через спектрограмму звука, где сигнал от неровностей поверхности должен выделиться из общего числа шумовых составляющих.

Анализируя тон (шум) от измерительной головки, тон (шум) от головки скорости можно узнать, как взаимно меняются эти параметры при нелинейном движении измерительной головки по поверхности с определенной шероховатостью.

Впоследствии измерительная головка может быть заменена с алмазной иглы (как рассматривалось в примере) на любой другой вид измерительной головки, включая оптические.

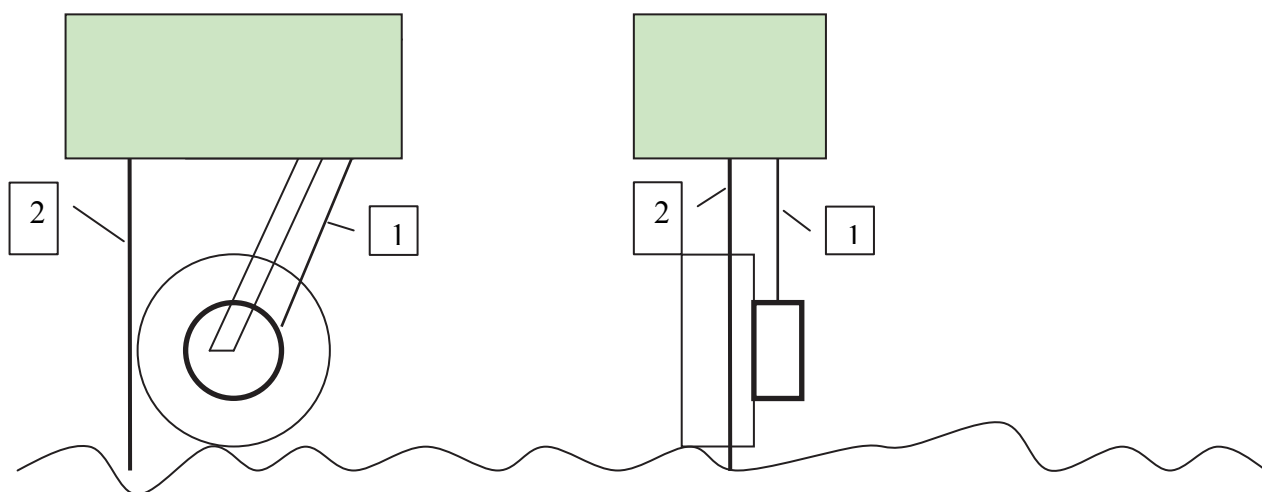


Рис. 2. Изображение предлагаемого устройства: вид сбоку и спереди.

Рассмотрим принцип работы устройства. Игла 1 (Рис. 2) скользит по поверхности маленького диска, который является частью основного ролика. Она выдает шум, который зависит от скорости вращения ролика и шероховатости маленького диска. Игла 2 (Рис. 2) скользит по поверхности измеряемой подложки и выдает шум, который полностью определяется шероховатостью поверхности. Оба шума подлежат дальнейшей цифровой обработке, в результате обработки мы получим значение шероховатости поверхности, по которой «прошел» наш профилометр.

Разумеется, как и в каждом контактном профилометре, измерительная игла должна двигаться строго по нормали к поверхности и с одинаковым нажимом. От этого зависит точность вычислений. Можно использовать и оптические устройства для определения скорости движения и шероховатости, однако в данном случае необходимо отметить, что это крайне усложняет конструкцию мобильного профилометра, хотя и повышает точность измерений. Основным же достоинством

предлагаемого мобильного профилометра является отсутствие механических подвижных узлов стенда измерения шероховатости.

Руководитель: к.т.н., доцент кафедры электроники и схемотехники
СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича Э.Ю. Седышев

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств. Под ред. В.И.Вольмана, Москва, «Радио и связь», 1982 г.

ИЗМЕРЕНИЕ ДИАГРАММЫ ЭФФЕКТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ РАССЕЯНИЯ ПРОВОДЯЩИХ ТЕЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТА ДОПЛЕРА И АППАРАТНО-ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ NI

Студенты: А.М. Кырнышев, А.А. Роев (4 курс, кафедра радиофизики, СПбГПУ)

Измерение количественных характеристик дифракции и рассеяния радиоволн стало необходимым из-за развития таких отраслей техники как радиолокация, радиоастрономия и др. Наиболее удобной характеристикой является эффективная поверхность рассеяния (ЭПР), которая численно характеризует поле, рассеянное объектом при его облучении плоской однородной монохромной волной. Зависимость ЭПР от угла поворота отражателя называют диаграммой ЭПР [1]. Для тел сложной формы, которыми является большинство реальных радиолокационных целей, не существует достаточно точных аналитических методов расчета и для них величина ЭПР может быть получена только путем измерений. Наиболее прогрессивным методом, свободным от погрешностей, вносимых метеоусловиями, паразитным рассеянием и радиопомехами, является измерения ЭПР в экранированных безэховых камерах. Однако, стоимость таких объектов очень высока. На кафедре радиофизики СПбГПУ разработана установка измерения диаграммы ЭПР, имеющая низкие требования к уровню безэховости помещений и высокую информативность [1]. Для выделения сигнала, отраженного от объекта, на фоне мешающих рассеяний окружающими предметами в установке используется эффект изменения частоты отраженного сигнала при движении исследуемого рассеивателя (эффект Доплера).

Целью настоящей работы являлось оптимизация параметров установки на основе компьютерного моделирования и разработка цифрового модуля обработки и регистрации низкочастотного сигнала балансного детектора (БД) на базе аппаратно-программной платформы National Instruments (NI).

ВЧ часть рис. 1, содержит генератор СВЧ (Г), работающий на частоте 15 ГГц в режиме непрерывного излучения, и высокочастотную головку. В высокочастотной головке вентили V_1 и V_2 предотвращают паразитное просачивание отраженного сигнала к смесителю. Направленный ответвитель и смесительные диоды образуют балансный смеситель (БС), уменьшающий сигнал, связанный с паразитной модуляцией СВЧ сигнала в генераторе. Таким образом, удается увеличить динамический диапазон измерительной установки в целом. Так как излученный и принимаемый сигналы имеют разные частоты, то на диодах формируется низкочастотный сигнал с частотой порядка 80...200 Гц (при используемой в установке скорости движения объекта и частоте СВЧ генератора). Циркулятор Ц обеспечивает развязку СВЧ трактов излучаемого и принимаемого сигналов.

Упрощенная схема цифрового модуля обработки и регистрации показана на рис. 1. Она содержит фильтры низких частот (ФНЧ), инструментальный операционный усилитель низкой частоты (УНЧ), обеспечивающий согласование уровня выходного сигнала БС с платой сбора данных USB NI-6009. Аппаратно-программная платформа NI, включающая среду графического программирования LabVIEW и плату сбора данных USB NI-6009, реализует обработку и регистрацию низкочастотного сигнала балансного смесителя.

На рис 2а. представлена кинематическая схема механической части, обеспечивающей возвратно поступательное движение исследуемого объекта 1. При этом одновременно производится медленное его вращение за один ход шатунного механизма L при вращении двигателя D .

На рис. 2б приведены результаты измерения диаграммы ЭПР и ее расчетная зависимость металлического цилиндра. Видно удовлетворительное согласие экспериментальных и теоретических данных. Таким образом, разработанная измерительная установка может быть успешно использована для определения диаграммы ЭПР сложных тел.

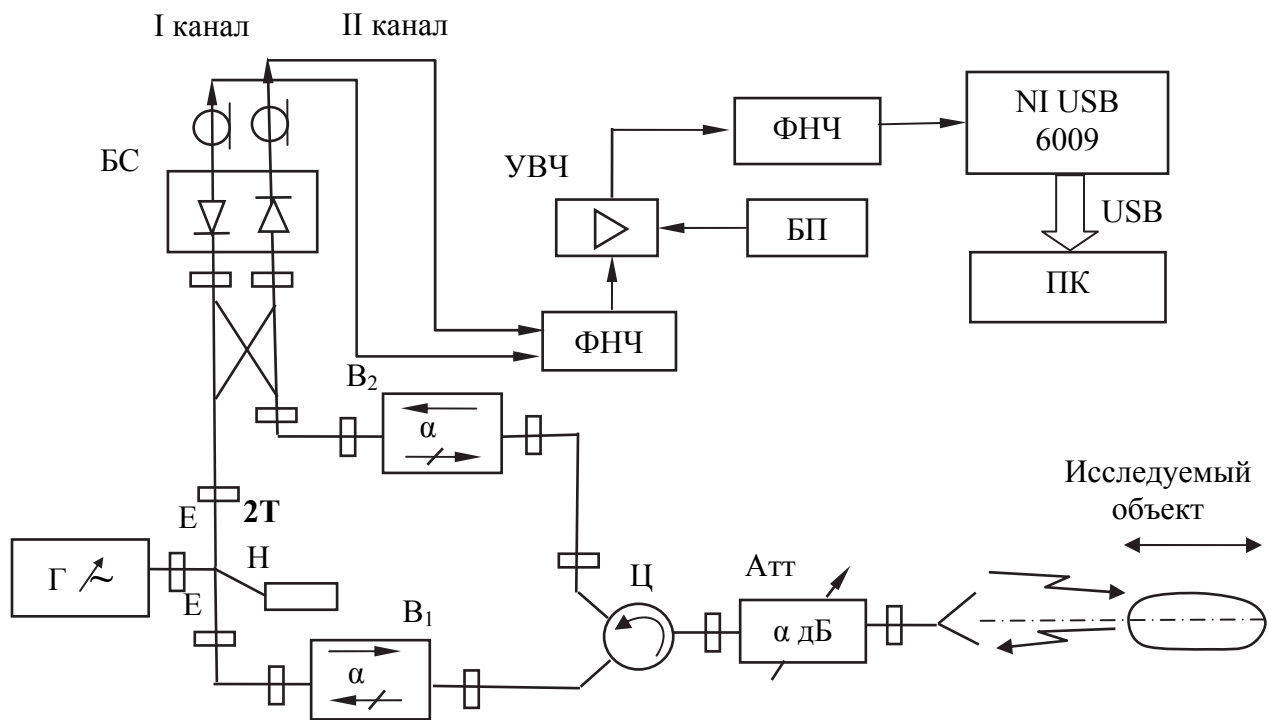


Рис.1.

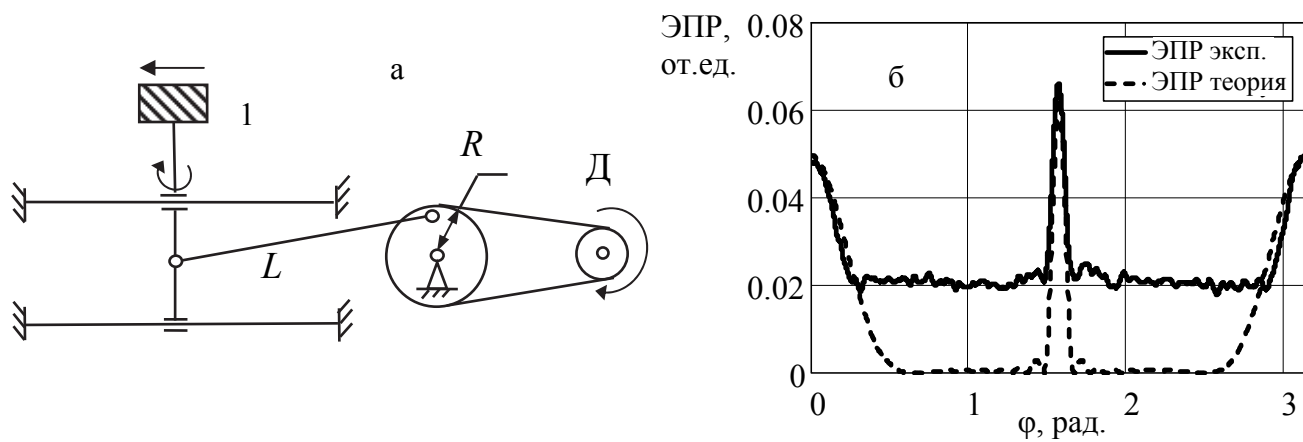


Рис. 2.

Научный руководитель: к.ф.-м.н, доц. СПбГПУ С.И. Иванов

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов В.П., Утробин О.Б., Шанников Д.В. Излучение и распространение электромагнитных волн: Лабораторный практикум – СПб.: СПбГПУ, 1991. – 99 с.

МУЛЬТИСТАБИЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В КОЛЬЦЕВЫХ АВТОГЕНЕРАТОРАХ

Студент: С.В. Линдт (5 курс, кафедра радиофизики, полупроводниковой микро-
и наноэлектроники, СамГУ)

Модели взаимосвязанных систем достаточно широко применяются в исследованиях как реально существующих объектов, так и изучении и обнаружении новых физических эффектов. Кольцевой способ взаимосвязи ячеек дает ряд преимуществ по сравнению с автогенератором, состоящем из одной активной ячейки. В настоящем сообщении рассмотрен вариант кольцевого генератора (КГ) – кольцо из двух резонансных ячеек (каскадов) с кубически нелинейными активными трехполосниками. Этот вариант КГ назван двухкаскадным осциллятором Ван дер Поля (ДО ВдП) [1]. Описан эффект конкуренции колебаний, возникающий в ДО ВдП в существенно нелинейном режиме генерации.

Математической моделью ДО ВдП является система уравнений вида:

$$\frac{d^2 u_1}{dt^2} + \frac{1}{Q} \frac{du_1}{dt} + u_1 = \gamma(1 - u_2^2) \frac{du_2}{dt}, \quad \frac{d^2 u_2}{dt^2} + \frac{1}{Q} \frac{du_2}{dt} + u_2 = \gamma(1 - u_1^2) \frac{du_1}{dt}. \quad (1)$$

В уравнении (1) осциллирующие переменные нормированы на характерный масштаб нелинейности, а нормировка времени такова, что собственные частоты резонаторов в ячейках ДО ВдП принимают единичные значения; Q – добротности резонаторов, γ – параметр превышения порога генерации.

Результаты численного моделирования свидетельствуют о значительных различиях в динамике классического осциллятора Ван дер Поля и динамике ДО ВдП. В частности, данные различия иллюстрирует график огибающей автоколебаний ДО

ВдП, приведенный на рис. 1. На нем показан процесс установления автоколебаний с различными значениями $A^{(1)}$ и $A^{(2)}$ амплитуд в ячейках ДО ВдП. В расчетах принято значение добротности $Q = 10$, значение параметра глубины обратной связи $\gamma = 3,3$, а начальное возмущение $y_1(0) = 0,1$ введено в один из каскадов.

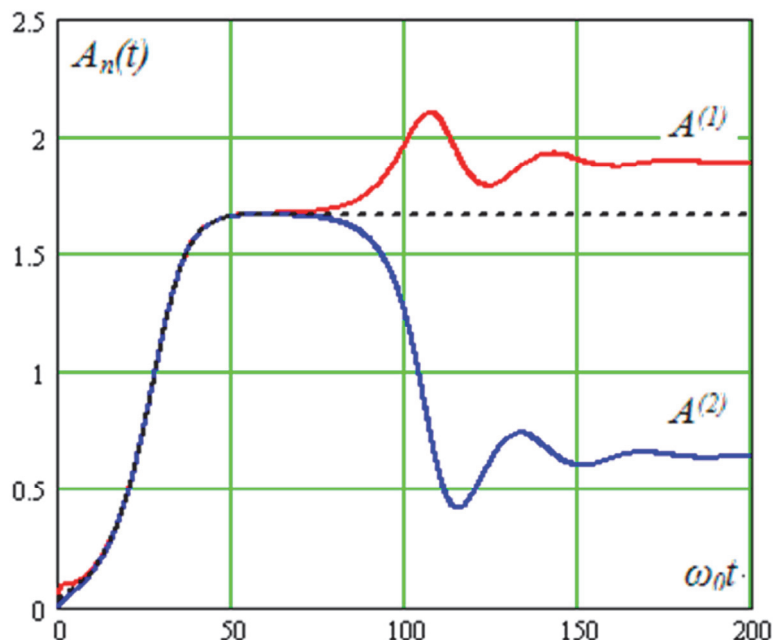


Рис. 1

Результаты численного интегрирования уравнений движения (1) указывают на синфазность колебаний в ячейках ДО ВдП. Это позволяет, воспользовавшись приближением медленно меняющихся амплитуд, записать приближенное решение уравнений в виде квазигармонических функций

$$y_n(t) = A_n(t) \cos(t)$$

с амплитудами $A_n(t)$, удовлетворяющими системе укороченных уравнений

$$\frac{dA_1}{dt} = -\frac{1}{2Q} A_1 + \frac{\gamma}{2Q} \left(1 - \frac{1}{4} A_2^2\right) A_2, \quad \frac{dA_2}{dt} = -\frac{1}{2Q} A_2 + \frac{\gamma}{2Q} \left(1 - \frac{1}{4} A_1^2\right) A_1. \quad (2)$$

Для режима установившихся автоколебаний с амплитудами, удовлетворяющими системе нелинейных алгебраических уравнений

$$-A_1 + \gamma \left(1 - \frac{1}{4} A_2^2\right) A_2 = 0, \quad -A_2 + \gamma \left(1 - \frac{1}{4} A_1^2\right) A_1 = 0 \quad (3)$$

рассчитана бифуркационная диаграмма, представленная на рис. 2. Ветвь диаграммы $A^{(0)}$ соответствует режиму с однородным распределением амплитуд по ячейкам, а ветви $A^{(1)}$ и $A^{(2)}$ – режиму с неоднородным распределением. Ветвь $A^{(0)}$ – это совокупность особых точек типа устойчивый узел, ветви $A^{(1)}$ и $A^{(2)}$ – устойчивые узлы, переходящие в устойчивые фокусы, а на ветви $A^{(3)}$ расположены седловые точки.

Из уравнений (3) также следует, что неоднородный режим характеризуется постоянством суммарной мощности автоколебаний в ячейках ДО ВдП.

Результаты численного моделирования автогенераторов с числом ячеек $N = 4; 6; 8$ также указывают на возможность реализации в кольцевых генераторах с дискретными активными ячейками мульти-

стабильных режимов генерации с неоднородным распределением амплитуд автоколебаний по ячейкам кольца [1]. Этот нелинейный эффект можно рассматривать как следствие конкуренции колебаний, приводящей к разделению амплитуд по дискретным уровням. Процесс разделения весьма инерционен, а итоговое пространственное распределение амплитуд существенным образом зависит от начальных возмущений в ячейках.

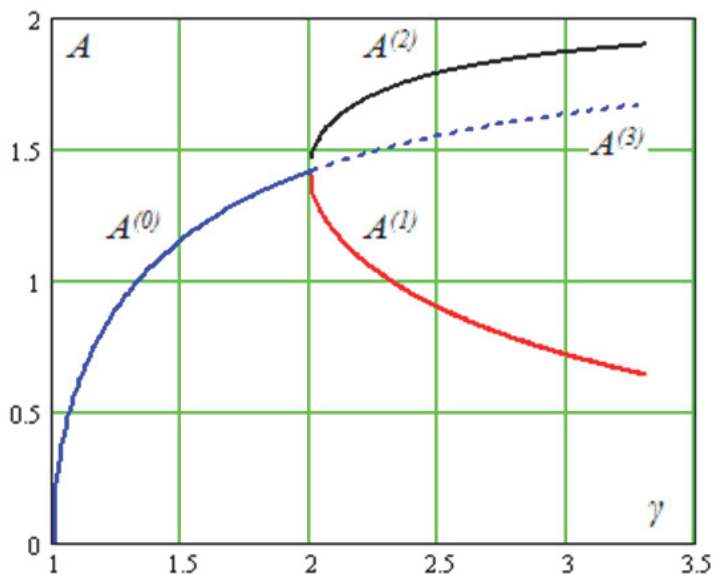


Рис. 2

Руководитель: Зайцев В.В.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцев В.В., Линдт С.В., Стулов И.В. Динамика автоколебаний в двухкаскадном осцилляторе Ван дер Поля // Вестник СамГУ. 2013. №6(107). С. 141-146.

ШИФРОВАНИЕ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО ХАОСА

Студент: А.Г. Майоров (5 курс, кафедра радиофизики и компьютерного моделирования радиосистем, СамГУ)

Математические системы с хаотическим поведением являются детерминированными, то есть подчиняются некоторому строгому закону, и, в каком-то смысле, являются упорядоченными. В таких системах наблюдается сильная чувствительность к изменению начальных условий. Их поведение невозможно предсказать на достаточно длинных временных интервалах.

В данной работе изложен алгоритм шифрования изображений, основанный на использовании генераторов детерминированного хаоса [1]. В качестве таких генераторов используются аттрактор Лоренца [1] и дискретный осциллятор Ван дер Поля [2]. Аттрактор Лоренца выражается следующей системой уравнений:

$$\frac{dX}{dt} = -\sigma X + \sigma Y, \quad \frac{dY}{dt} = -XZ + rX - Y, \quad \frac{dZ}{dt} = XY - \beta Z, \quad (1)$$

где: $r = 28$, $\sigma = 10$, $\beta = 8/3$.

Дискретный осциллятор Ван дер Поля выражается следующим нелинейным разностным уравнением:

$$y[n] = \alpha_1 y[n-1] + \alpha_2 y[n-2] + \gamma(1 - y^2[n-1])(y[n-1] - y[n-2]), \quad (2)$$

где: $\alpha_1 = 2 \exp(-\pi \frac{\Omega_0}{Q}) \cos(2\pi \Omega_0)$, $\alpha_2 = -\exp(-2\pi \frac{\Omega_0}{Q})$, $\gamma = 0.195$, $\Omega_0 = 0.2$, $Q = 30$.

В работе исследованы статистические свойства хаоса, возникающего в этих системах. Показано, что с помощью известных распределений (нормального, релеевского, пуассоновского, экспоненциального), невозможно описать выборку случайных величин, получаемую с помощью обеих хаотических систем. Таким образом, перехват злоумышленником сообщения, зашифрованного предложенным способом, не позволяет ему на основе свойств перечисленных функций распределения дешифровать сообщение или изображение.

Для того чтобы выяснить какая из систем лучше с точки зрения шифрования, нами произведен сравнительный анализ процессов генерируемых системами на хаотичность. В качестве критерия хаотичности взят показатель Херста вычисленный с помощью программы Fractan4.4. Для системы Ван дер Поля показатель Херста: $H = 0.572983$, для системы Лоренца: $H = 0.735632$. Делаем вывод, что сигнал системы Лоренца более хаотичен.

В системе Mathcad реализован алгоритм шифрования изображений. Опишем алгоритм шифрования изображения (рис.1 а).

Матрица изображения разделяется на L равных участков размером $S \times S$, так чтобы число разбиений было целым. Значение S выбирается кратным разрешению кодируемого изображения.

Далее выбирается L отрезков из сигнала генератора хаоса так, чтобы каждый из отрезков содержал 255 отсчетов.

Затем значения каждого из L участков матрицы изображения заменяются на значения сигнала генератора $f(t)$ по формуле:

$$M_x(i, j) = f(x * 255 + D_x(i, j)), \quad (3)$$

где $x = 0 \dots L$ (номер шифруемого участка матрицы изображения D).

Затем все участки M_x собираются в матрицу M - конечный результат шифрования, которая передается по помехоустойчивым каналам передачи информации. Алгоритм дешифровки изображен на рис.1 б.

Значения параметров генератора, в частности начальные условия $X(0), Y(0), Z(0)$, полностью определяют поведение шифрующего процесса, что делает возможным их использование в качестве ключа к шифрующей и дешифрующей программе.

Стойкость алгоритма к попыткам несанкционированного дешифрования обусловлена невосприимчивостью хаотических систем при неизвестных параметрах и начальных условиях, так как при малейшем несоответствии этих значений истинным, поведение системы совершенно отличается от исходного, и восстановить сигнал невозможно. Злоумышленник не сможет расшифровать данные на другой ЭВМ, даже полностью завладев самой программой.

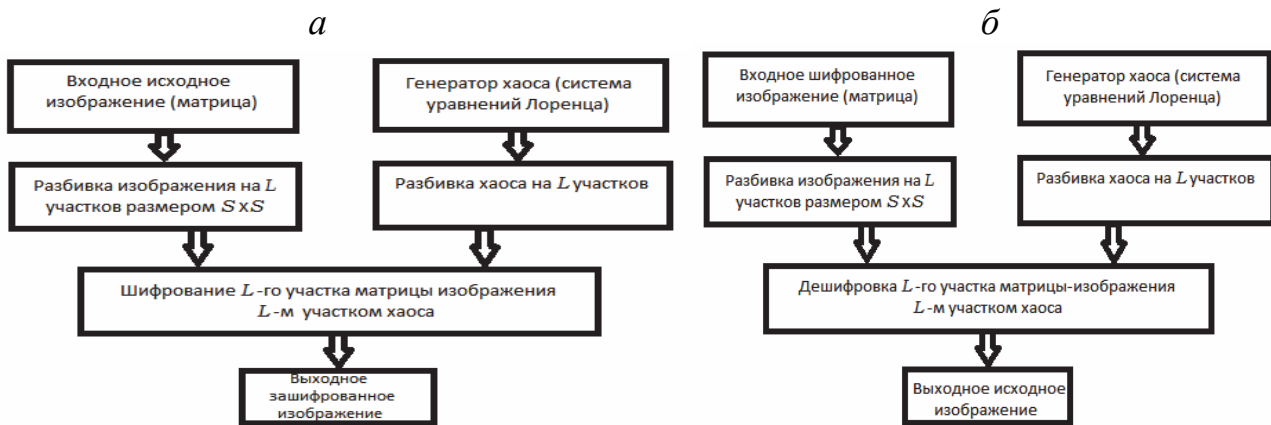


Рис. 1. *а* - схема алгоритма шифрования изображения, *б* - схема алгоритма дешифровки изображения.



Рис. 2. *а* - исходное изображение размером 400×300 , *б* - зашифрованное изображение.

Научный Руководитель: д.ф.-м.н., профессор Неганов В.А.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев В.В., Сапожникова Ю.В. Исследование метода шифрования основанного на использовании аттрактора Лоренца в качестве генератора детерминированного хаоса С.57-74. // в кн. Информационная безопасность: методы шифрования/ Под ред. Е.М.Сухарева Кн.7.-М.: Радиотехника, 2011.- 208с.
2. Зайцев В.В. Скрытая передача информации на основе хаотических автоколебаний дискретного осциллятора //Физика волновых процессов и радиотехнические системы.-2007.-Т.10.-№1.- С.132-135.

АБСОЛЮТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ВНЕШНЕГО ВОЛОКОННОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО: ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ

Студент: С.А. Михайлов (4 курс, кафедра радиофизики, СПбГПУ)

Внешний волоконный интерферометр Фабри-Перо (ВИФП) является модификацией оптического интерферометра Фабри-Перо, образуемого двумя отражающими поверхностями [1]. На основе ВИФП предложены конструкции датчиков различных физических величин с малогабаритным чувствительным элементом и высокой чувствительностью к измеряемым воздействиям [1].

В основе одного из наиболее перспективных методов нахождения базы ВИФП лежит регистрация его спектральной передаточной функции (СПФ). Принимая во внимание низкую добротность рассматриваемого интерферометра (отражение на границе сред стекло-воздух составляет около 3%), его СПФ можно записать в виде

$$I(\lambda, L) = C + A \cdot \cos(2\pi nL/\lambda + \varphi) = C + I'(\lambda, L), \quad (1)$$

где n – показатель преломления среды между зеркалами, значения коэффициентов C и A определяются величинами коэффициентов отражения зеркал, числовой апертурой подводящего волокна, расстоянием L .

Для нахождения L измеренная характеристика $S(\lambda)$ аппроксимируется выражением (1) путем выбора значения L , минимизирующего норму невязки осциллирующих компонент измеренной $S'(\lambda)$ и теоретической $I'(\lambda)$ зависимостей [2]

$$R(L) = \left\| S'(\lambda) - A_0 \cdot \cos\left(\frac{4\pi nL}{\lambda} + \varphi(L)\right) \right\|, \quad (2)$$

При использовании данного подхода для измерения базы ВИФП было достигнуто разрешение в десятки пикометров [2].

Несмотря на привлекательность методов, связанных с регистрацией СПФ, они имеют существенный недостаток – одно измеренное значение базы L за время

измерения спектра T_M , как правило, составляющее сотни мс. Соответственно, более быстрые изменения базы ВИФП не будут зарегистрированы этим методом.

Однако, при использовании в анализаторе спектра источника излучения со сканируемой длиной волны, каждому моменту времени $t_i \in [-T_M/2; T_M/2]$, отсчитываемому от середины интервала измерения спектра, соответствует индивидуальное значение длины волны λ_i . При линейном сканировании связь между длиной волны и моментом времени даётся соотношением $\lambda_i = \lambda_0 + K \cdot t_i$, где λ_0 – середина регистрируемого спектрального интервала, а K – скорость сканирования длины волны источника. Принимая во внимание изменение базы интерферометра $L(t)$ за время измерения спектра, модельную СПФ можно привести к виду выражения частотно-модулированного квазигармонического сигнала

$$I'(\lambda, L_0) = A \cdot \cos\left(\frac{4\pi n L(t)}{\lambda}\right) = A \cdot \cos\left[2\pi\left(\frac{2nKL_0}{\lambda_0^2} + \frac{2nK \cdot \delta L(t)}{\lambda_0^2}\right)t - \varphi\right], \quad (3)$$

где $2nKL_0/\lambda_0^2$ – "несущая частота", $2nK\delta L(t)/\lambda_0^2$ – "частота модуляции", а эквивалентная "частота дискретизации" равна K/λ_s , λ_s – шаг спектральных отсчётов, $\delta\lambda = K \cdot t$ – изменение длины волны, L_0 – среднее значение базы интерферометра, $\delta L(t)$ – изменяющаяся часть базы ВИФП.

Таким образом, задача нахождения базы ВИФП изменяющейся за время измерения спектра разбивается на 2 этапа:

- 1) Нахождение постоянной составляющей базы ВИФП L_0 (в контексте задачи частотного детектирования – "несущей частоты") путём аппроксимации зарегистрированной СПФ $S'(\lambda, L)$ аналитическим выражением (1) при помощи специально модифицированного метода наименьших квадратов. Подробное описание и анализ используемого метода аппроксимации приведены в [2];
- 2) Детектирование переменной составляющей $\delta L(t)$ методами частотного детектирования [3]. Для этого находились аргументы аналитических сигналов, соответствующих зарегистрированной СПФ $S'(\lambda(t))$ и теоретической СПФ $I'(\lambda, L)$, и вычислялась их разность $\psi(\lambda(t))$. Переменная составляющая базы ВИФП

$\delta L(t)$ находилась по формуле

$$\delta L(t) = \frac{\psi(t)\lambda_0^2}{4\pi nKT_M} = \frac{\psi(t)\lambda_0^2}{4\pi n\Delta\lambda}. \quad (4)$$

Для корректной работы метода частотного детектирования необходимо чтобы зарегистрированный сигнал СПФ исследуемого интерферометра $S(\lambda(t))$ удовлетворял критериям относительно узкополосного процесса [3].

Предложенный метод нахождения изменяющейся базы ВИФП $L(t)$ был реализован экспериментально. Измерения спектральных функций интерферометра выполнялись при помощи измерителя спектра NI PXIe 4844, установленного на шасси PXI PXIe-1065. Исследуемый интерферометр формировался торцом волоконного разъёма и металлическим зеркалом, закрепленным на пьезокерамической пластине. К пьезопластине было приложено переменное гармоническое напряжение (с частотой в пределах от 20 до 200 Гц), приводившее к быстрым измерениям базы исследуемого интерферометра, результирующий размах колебаний значения базы ВИФП находился в пределах от 0,2 до 1,2 мкм.

Предложен метод обработки спектров ВИФП, позволивший повысить частоту регистрируемых флуктуаций базы внешнего волоконного интерферометра Фабри-Перо. Данный метод был реализован экспериментально, проверена его работоспособность для осцилляций базы ВИФП различной частоты, амплитуды и формы.

Руководитель: ассистент каф. радиофизики Ушаков Н.А.

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. Удд. Волоконно-оптические датчики. Вводный курс для инженеров и научных сотрудников, М.: Техносфера, 520 стр. (2008).
2. N. Ushakov, L. Liokumovich, A. Medvedev. EFPI signal processing method providing picometer-level resolution in cavity length measurement, Proc SPIE 8789, 87890Y (2013).
3. С.И. Баскаков. Радиотехнические цепи и сигналы, М.: Высшая школа, 462 стр. (2000).

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПРИ ПОМОЩИ ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКОННОГО ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ДАТЧИКА

Студент: А.С. Мязин (4 курс, кафедра радиофизики, СПбГПУ)

В последние годы проявляется большой интерес к оптическим измерительным трансформаторам тока и напряжения. Использование волоконных световодов в таких приборах позволяет создавать измерительные устройства как для стационарных, так и для мобильных применений. Основными преимуществами использования датчиков подобного рода является их компактность, надежность, простота монтажа, а также возможность измерения высоких напряжений и токов. При этом большое значение придается точности приборов, так как даже небольшие погрешности в измерениях приводят к значительным несоответствиям в учете потребляемой электроэнергии.

Доклад посвящен анализу режимов распространения и преобразования излучения в волоконно-оптическом измерителе напряженности электрических полей с целью определения источников дополнительных ошибок в измерениях, и их последующего устранения. К этим факторам, например, относятся паразитные флуктуации состояния поляризации света при изменении условий измерений.

Приводятся результаты расчета оптической схемы датчика [1], демонстрирующие влияние характеристик отдельных компонентов схемы и их взаимного согласования на точность измерений. Большая часть доклада посвящена результатам практических измерений характеристик оптического излучения в различных точках волоконного тракта. Изучено влияние изгиба и нагрева волоконного световода на состояние поляризации оптического излучения.

Результаты проведенного анализа были использованы при усовершенствовании схемы лабораторного макета волоконно-оптического измерителя напряжённости электрического поля.

Чувствительным элементом данного макета является кристалл ниобата лития [2], в котором создан оптический волновод. Под действием внешнего электрического поля, за счет эффекта Поккельса, происходит изменение состояния поляризации света, проходящего по волноводу. Это изменение регистрируется с использованием оригинальных алгоритмов обработки сигналов. Анализ и обработка полученных данных производится в персональном компьютере с применением программного пакета LabVIEW. Чувствительный элемент выполнен полностью из диэлектрических материалов, помещен в отдельный малогабаритный корпус, связанный с оптоэлектронным блоком волоконным световодом длиной десять метров.

Полученные результаты демонстрируют возможность существенного увеличения точности измерений на основе результатов проведенных исследований.

Руководитель: доц. каф. радиофизики СПбГПУ, к.ф.-м.н. А. В. Медведев

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.Б. Лиокумович, А.В. Медведев, В.М. Петров. Волоконно-оптическая поляризационно-интерферометрическая схема с двумя электрооптическими модулями для регистрации электрического поля. // Сборник докладов 22-й международной конференции «Лазеры. Измерения. Информация», 3-й том, Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2012., стр. 240-254.
2. В.М. Петров, Л.Б. Лиокумович, А.В. Медведев, А.В. Шамрай, В.В. Лебедев. Особенности электрооптического эффекта в оптических волноводах в ниобате лития. // Труды конференции «Лазеры. Измерения. Информация» 4-6 июня 2013, Санкт-Петербург, стр. 41.

МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФЛУКТУАЦИЙ ТРАНСИОНОСФЕРНЫХ СИГНАЛОВ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ЗАДАННЫМИ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Студент: П.Н. Очиков (6 курс, кафедра радиофизики, СПбГУ)

Одним из основных источников ошибок спутниковых навигационных систем при определении местоположения объектов является ионосфера, вносящая в навигационный сигнал искажения и задержки. Основная часть групповой и фазовой задержек определяется величиной полной электронной концентрации (ПЭС) ионосферы, измеренной вдоль трассы распространения спутник-приемник. Поэтому, если величина ПЭС известна, то большая часть ошибки может быть скорректирована.

Наибольшая частота и интенсивность возмущений ионосферы наблюдается в экваториальных и полярных широтах. К неоднородностям высокоширотной ионосферы, а также аврорального овала относят полярные сияния, полярные арки, полярные «патчи». Патчами (от англ. patch – заплата) называют области F-слоя ионосферы, размером 100...1000 км, с повышенной концентрацией электронов (обычно, в 1,5...2 раза больше фоновой), которые передвигаются со скоростями порядка 1 км/с. При наличии в ионосфере патчей, пересекающих трассу распространения сигнала, зависимость ПЭС от времени обнаруживает характерные вариации, имеющие характер случайного процесса.

Для количественного описания характеристик случайных процессов традиционно используется спектральный подход, при котором стохастический процесс характеризуется частотным спектром мощности. Альтернативой являются фрактальный и мультифрактальный методы анализа, которые применимы в том числе и к статистически нестационарным процессам.

В данной работе проведен мультифрактальный анализ временных вариаций

ПЭС в полярной ионосфере. Для анализа используются данные двухчастотных измерений трансionoсферных сигналов спутников системы GPS, регистрируемые приемниками сети наблюдательных станций международной службы IGS. Обработка данных позволяет получить зависимости ПЭС от времени для всех спутников, наблюдаемых на данной станции.

Существует несколько методов мультифрактального анализа. Например, метод структурных функций, метод DFA (Detrended Fluctuation Analysis), метод максимумов модулей вейвлет-преобразования и метод вейвлет лидеров (Wavelet leader method) [1]. Ознакомившись с вышеперечисленными методами нами было принято решение для анализа данных использовать метод вейвлет лидеров. К плюсам данного метода можно отнести отсутствие необходимости детрендрования исходных данных, так как вейвлеты не чувствительны к тренду.

Суть метода вейвлет лидеров в следующем: после вейвлет-преобразования сигнал оказывается разложен на вейвлет-коэффициенты разных уровней, которые представлены в виде матрицы. После чего происходит анализ этой матрицы, таким образом, что на каждом уровне анализируется набор: коэффициент и его соседи (справа и слева). Из них выбирается наибольший. Таким образом получается набор наибольших коэффициентов – лидеров, для каждого уровня вейвлет-разложения. Далее следует стандартная процедура мультифрактального анализа: нахождение обобщенных структурных функций сигнала, нахождение скейлинговой экспоненты структурных функций $\tau(q)$, по которой находится спектр сингулярностей (функция мультифрактального спектра) $D(h) = qh(q) - \tau(q)$, где $h = \frac{d\tau}{dq}$ – локальный параметр Херста (показатель Гельдера). Знание $\tau(q)$ позволяет представить её в виде ряда по степеням q с коэффициентами C_p . А именно C_1 характеризует положение максимума $D(h)$, C_2 характеризует ее ширину, а C_3 асимметричность. Таким образом триплет (C_1, C_2, C_3) содержит основную часть мультифрактальной информации, полученную из реальных данных.

Для проверки достоверности метода было произведено его тестирование с помощью синтетически полученного сигнала с известным мультифрактальным

спектром. Алгоритм генерации построен на основе случайных каскадов на бинарном дереве вейвлет коэффициентов [2].

Тестирование метода вейвлет лидеров показало, что результаты полученные методом близки к теоретическим.

Так же проводилась статистическая оценка результатов – блочный бутстрап (block bootstrap) [3]. Полученные доверительные интервалы для коэффициентов, в особенности для C_2 , позволяют сделать вывод о наличии существенной мультифрактальности сигнала.

Данным методом обработан обширный объем данных ПЭС, и получены C_1 , C_2 , C_3 содержащие мультифрактальную информацию об исследуемых сигналах.

Дальнейшая обработка была направлена на выявление возможных статистических зависимостей между полученными оценками параметров спектра и значениями планетарного геомагнитного индекса K_p , характеризующего возмущённость геомагнитного поля. Например, на основе анализа данных за 2007 год была выявлена статистическая зависимость между значениями параметра c_2 и индекса K_p , состоящая в увеличении c_2 при росте K_p , т.е. в магнитовозмущённые дни ($K_p \geq 4$) наблюдались большие ширины мультифрактальных спектров, чем в дни, когда магнитная обстановка была спокойная ($K_p \leq 2$). В докладе подробно представлены статистические результаты исследований мультифрактальных характеристик вариаций полярного ПЭС за период 2007 – 2013 годы.

Научный руководитель: доцент, к. ф.-м. н. В.Э. Герм

ЛИТЕРАТУРА

1. Jaffard S., Lashermes B., Abry P. Wavelet leaders in multifractal analysis. In T. Qian, M.I. Vai, and X. Yuesheng, editors, *Wavelet Analysis and Applications*, 1. p. 219–264, Basel, Switzerland, 2006. Birkhauser Verlag.
2. A. Arneodo, E. Bacry, and J. F. Muzy. Random cascades on wavelet dyadic trees. *J. Math. Phys.* 39, 4142 (1998); doi: 10.1063/1.532489 с. 4145-4152.
3. Wendt H., Abry P., Jaffard S. Bootstrap for Empirical Multifractal Analysis // *IEEE signal processing magazine*. 2007, 24, 4, p. 38-48.

ИЗЛУЧЕНИЕ ЗАРЯДА, ВЛЕТАЮЩЕГО В КИРАЛЬНУЮ ИЗОТРОПНУЮ СРЕДУ

Студент: А. А. Пешков (6 курс, кафедра радиофизики, СПбГУ)

Рассматривается задача о переходном излучении заряженной частицы, пересекающей плоскую границу раздела между вакуумной областью и областью, заполненной киральной (гиротропой) изотропной средой. Последнюю можно реализовать с помощью хаотично ориентированных киральных объектов (которые не совпадают со своим зеркальным отображением). Это могут быть как макрообъекты (например, металлические спирали), так и многочисленные молекулы (аминокислоты, сахара, модификации кристаллического кварца и т.д.). В такого рода средах поляризация нормальных волн является круговой независимо от направления их распространения. Материальные соотношения для таких сред могут записываться различным образом. Мы воспользуемся "симметризованными" соотношениями, которые для Фурье образов записываются в виде $\vec{D}_\omega = \varepsilon(\omega)\vec{E}_\omega - i\chi(\omega)\vec{H}_\omega$, $\vec{B}_\omega = \mu(\omega)\vec{H}_\omega + i\chi(\omega)\vec{E}_\omega$. Отметим, что излучение частиц, движущихся в неограниченных киральных средах, достаточно детально исследовалось ранее [1, 2].

Источником поля является точечный заряд, движущийся со скоростью $\vec{v} = v\vec{e}_z = c\beta\vec{e}_z$ и влетающий в киральную среду в момент времени $t = 0$. Область $z < 0$ является вакуумной, а область $z > 0$ заполнена киральной средой. Задача решалась с помощью введения вспомогательных потенциалов для Фурье-образов

$\vec{E}_{\omega\pm} = \vec{E}_\omega \mp i\frac{\mu}{\sqrt{\varepsilon\mu}}\vec{H}_\omega$, которые представлялись в виде интегралов по компоненте

волнового вектора, параллельной границе раздела. С помощью метода перевала был проведен их анализ для вакуумной области.

Поле в вакууме имеет как те же компоненты E_r, E_z, H_φ , что и «падающее» поле (ко-поляризация), так и компоненты H_r, H_z, E_φ (кросс-поляризация). Наличие кросс-поляризации обусловлено киральностью среды. Асимптотический анализ показывает, что в вакуумной области, на больших расстояниях от точки влёта частицы в среду и от границы раздела, поле представляет собой сферическую волну (определяемую вкладом седловой точки).

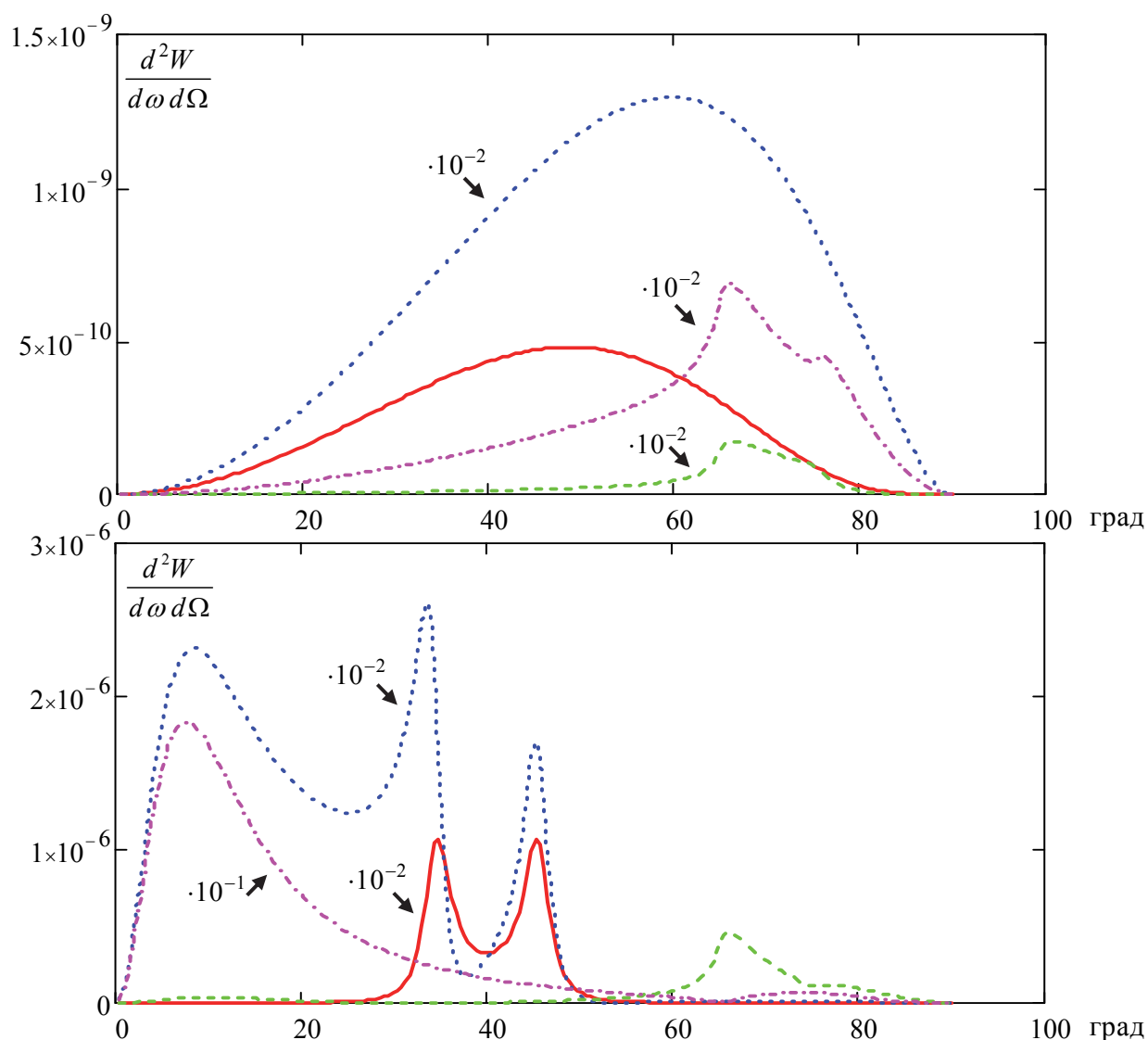


Рис. 1. Спектрально-угловые плотности энергии излучения (Дж с/рад). Сплошная ($\omega_1 = 2\omega_p$) и точечная ($\omega_2 = 5\omega_p$) линии соответствуют кросс-поляризации; пунктирные ($\omega_1 = 2\omega_p$) и штрихпунктирные ($\omega_2 = 5\omega_p$) графики – ко-поляризации. Для верхнего рисунка $\beta = 0.1$, для нижнего - $\beta = 0.99$. Параметры среды: $\omega_0 = 0.1\omega_p$, $\omega_r = 3\omega_p$, $\omega_d = 0.3\omega_p$, $\omega_p = 20$ ГГц, $q=1$ нКл.

На рис. 1 показаны типичные зависимости спектрально-угловых плотностей энергии излучения от угла между нормалью к границе и радиус-вектором. При расчетах использовалась следующая модель частотной дисперсии:

$$\varepsilon(\omega) = 1 + \omega_p^2 (\omega_r^2 - \omega^2 - i\omega\omega_d)^{-1}, \quad \mu(\omega) = 1, \quad \chi(\omega) = \omega\omega_0 (\omega^2 - \omega_r^2)^{-1}.$$

Научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор СПбГУ А.В. Тюхтин

ЛИТЕРАТУРА

1. Б.М. Болотовский, Теория эффекта Вавилова – Черенкова, УФН, Т.62, № 3, с.201 (1957).
2. S.N. Galyamin, A.A. Peshkov, A.V. Tyukhtin, Phys. Rev. E 88, 013206 (2013).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ МИКРОВОЛНОВОГО СПЕКТРОМЕТРА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ВЛАЖНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРЫ

Студент: А.А. Попов (6 курс, кафедра радиофизики, СПбГПУ)

На протяжении последних десятилетий большое внимание уделяется возможности дистанционного мониторинга интегрального влагозапаса безоблачной атмосферы и интегрального водозапаса облаков с помощью СВЧ-радиометрических комплексов миллиметрового диапазона. С этой целью по заказу ГГО им. А.И. Воейкова в СКБ ИРЭ РАН был разработан уникальный радиометрический комплекс Р22 и Р37, позволяющий измерять радиояркостные температуры атмосферы $T_{я}$ в широком диапазоне частот. Это позволяет как получить корреляционные связи между $T_{я}$ и интегральными влажностными характеристиками атмосферы для разнообразного набора метеоусловий (температура, давление, влажность), так и провести сравнения с ранее полученными результатами российских и зарубежных авторов для отдельных точек диапазона частот.

1. Теоретическая часть

В работе [1] показано, что в простейшем случае зависимость радиояркостной температуры облачной атмосферы в зените $T_{яf}$ от интегрального влагозапаса безоблачной атмосферы Q и интегрального водозапаса облаков W может быть представлена в виде:

$$T_{яf} = a_f + b_f Q + c_{яf} W,$$

где a_f, b_f, c_f – некоторые коэффициенты.

В [2] была получена зависимость T_y безоблачной атмосферы ($W=0$) от частоты для трёх значений Q : 0 кг/м^2 , 6 кг/м^2 , 20 кг/м^2 . Используя данную зависимость, нами были получены теоретические значения коэффициентов формул обращения для различных частот.

Таблица 1. Теоретические значения b_f

19 ГГц	20,6 ГГц	22,2 ГГц	23,8 ГГц	24 ГГц	31,6 ГГц	34,9 ГГц	37 ГГц
0,60	1,01	1,50	1,20	1,17	0,52	0,51	0,58

2. Экспериментальная часть

Радиометрический комплекс (РК) состоит из радиометров Р22 и Р37 с антеннами и блоками питания, управляющего компьютера и программы управления. Антенна представляет собой внеосевую зеркально рупорную систему с низким уровнем боковых лепестков и малым коэффициентом рассеяния. Приём сигнала ведётся одновременно на четырёх частотах. Алгоритм перестройки частот приёма выбирается пользователем. Радиометры Р22 и Р37 принимают излучение одновременно в четырёх каналах полосы, которые находятся на частотном расстоянии $1,8 \text{ ГГц}$ и $2,4 \text{ ГГц}$ соответственно. Входные полосы перестраиваются одновременно и так, что частотное расстояние между ними остаётся постоянным.

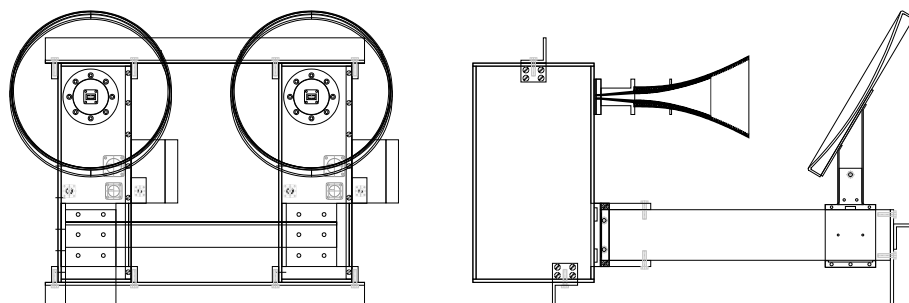


Рис.1. Комплекса радиометров Р22 и Р37.

Внешний вид РК на поворотной установке показан на Рис.2. Наличие

метеозащиты позволило проводить работы при любых погодных условиях. Сопутствующие значения по Q были получены из данных радиозондирования, проводимых в непосредственной близости.

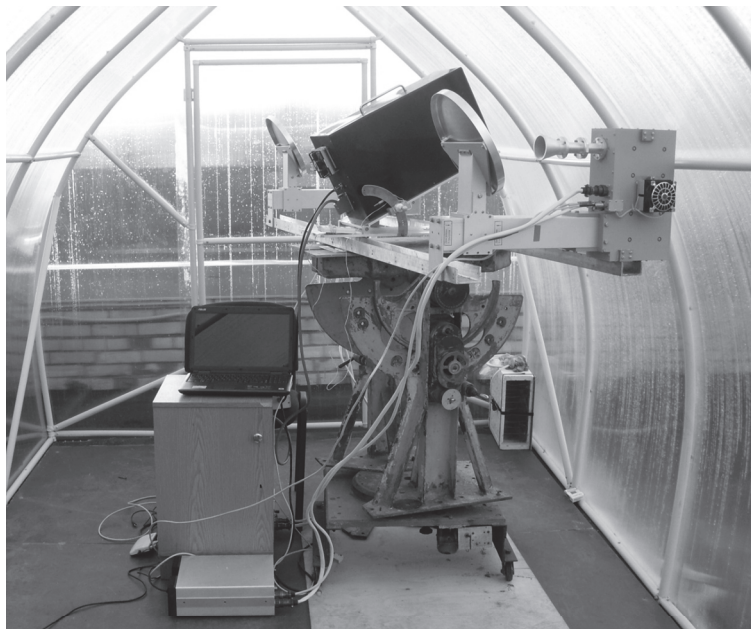


Рис.2. Внешний вид РК.

3. Некоторые предварительные результаты

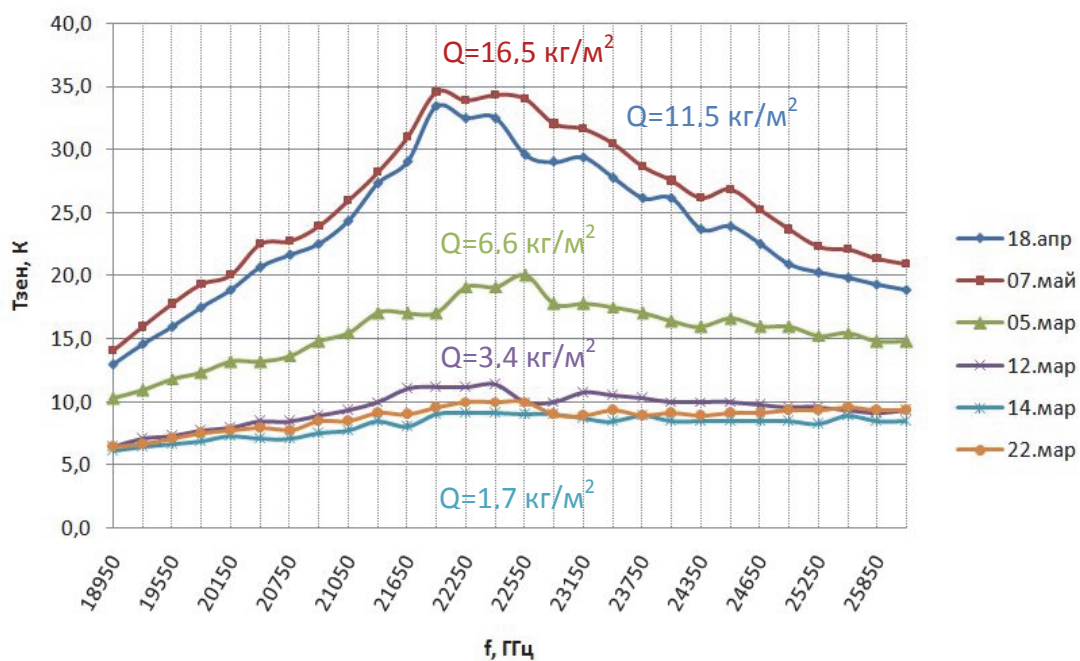


Рис.3. Зависимость $T_{эф}(f)$ для различных значений Q .

На Рис.3 представлены зависимости $T_{яf}$ для различных значений Q безоблачной атмосферы.

Имея значения Q по данным аэрозондирования, мы можем получить экспериментальные значения коэффициента b_f , которые приведены в Таблице 2.

Таблица 2. Экспериментальные значения коэффициента b_f .

19 ГГц	20,6 ГГц	22,2 ГГц	23,8 ГГц	24 ГГц	31,6 ГГц	34,9 ГГц	37 ГГц
0,38	0,94	1,48	1,16	1,12	-	-	-

Сравнение данных таблиц 1 и 2 показывают хорошее соответствие между теоретическими и экспериментальными результатами, в особенности в центре линии поглощения.

На данный момент ведется обработка всего массива данных, включая облачные дни.

Руководитель: Рыбаков Ю.В.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цейтлин Н. М. Применение методов радиоастрономии в антенной технике.
2. Ernest K.Smith. Centimeter and millimeter wave attenuation and brightness temperature due to atmospheric oxygen and water vapor.

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ СВЯЗАННЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ ДЛЯ АНАЛИЗА НЕЛИНЕЙНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ГИПЕРЗВУКА В ФЕРРИТОВОЙ ПЛАСТИНЕ

Студент: А.В. Ристо (3 курс, кафедра радиофизики и электроники, СыктГУ)

Модели связанных осцилляторов, примерами которых может служить колебательная система маятников связанных между собой пружинами или колебательные контура состоящие из двух или более контуров, позволяют эффективно описать сложные процессы в различных областях физики (физика твердого тела, физика сплошных сред, радиофизика и др.).

На основе модели связанных осцилляторов может быть описано возбуждение гиперзвука в перпендикулярно намагниченной ферритовой пластине. Данная работа посвящена этому вопросу.

Будем рассматривать плоскопараллельную пластину в декартовой системе координат, обладающую магнитными, упругими и магнитоупругими свойствами. Постоянное магнитное поле приложено перпендикулярно пластине, переменное магнитное поле действует в плоскости пластины.

На основе численного анализа соотношения составляющих эквивалентных параметров для реального случая железиттриевого граната (ЖИГ), получены укороченные уравнения, содержащие только главные слагаемые, отвечающие за динамическое поведение системы. Из уравнений видно, что главную роль играют слагаемые, пропорциональные третьей степени по намагниченности и произведению намагниченности на квадрат ее производной по времени.

При рассмотрении колебаний во времени, был проведен анализ приближений, обеспечиваемый линеаризованной системой и системой в квадратичном приближении по сравнению с решением, обеспечиваемым точной нелинейной системой полученной в работе [1]. Все системы уравнений решались численно методом Рунге-Кутты. Показано, что при описании упругих колебаний на уровне

точности 20%, линеаризованная система является корректной на уровне переменных полей не более 0,05 от намагниченности насыщения (при углах прецессии порядка 3°), тогда как система в квадратичном приближении сохраняет корректность вплоть до полей, составляющих 0.40 от намагниченности насыщения (соответствует углам прецессии до 25°). По магнитным колебаниям система в квадратичном приближении сохраняет точность 5% до полей превышающих намагниченность насыщения более чем в три раза, что соответствует углам прецессии до 40° .

Степень адекватности модельной и полной систем была проверена на примере автомодуляционных колебаний. Для анализа были выбраны автомодуляционные колебания, имеющие место при достаточно высокой амплитуде возбуждения (для ЖИГ – порядка 100 Э) в сочетании с повышенным значением константы магнитоупругого взаимодействия (на порядок выше, чем для ЖИГ). В ходе предварительного исследования были выявлены два режима возбуждаемых колебаний: в первом режиме магнитные колебания носят близкие к шумовому характеру, тогда как упругие остаются достаточно регулярными; во втором режиме как магнитные, так и упругие колебания являются хаотическими. Оба режима имеют пороговый характер, причем порог второго примерно в три раза выше, чем первого.

Расчет обоих типов автомодуляционных колебаний проводился как по модельной, так и по полной системам уравнений. Было показано, что модельная система, хотя и не совсем точно повторяет форму колебаний, однако полностью обеспечивает описание общего характера развития во времени и порога огибающей как регулярных, так и хаотических автомодуляционных колебаний. Причем различие в амплитуде не превышает 20%.

Научный руководитель: доцент кафедры РЭ, к.ф.-м.н. Власов В.С.

ЛИТЕРАТУРА

[1] В.С.Власов, Л.Н. Котов, В.Г. Шавров, В.И. Щеглов // Радиотехника и электроника. 2009. Т. 54. Вып. 7. С. 863-874.

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ-ФОРМИРОВАТЕЛЬ РАДИОЧАСТОТНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Студент: Тарасов А.Ю. (4 курс, кафедра радиопизики и электроники, СыктГУ)

Для определения свойств веществ, таких как структура, состав и т.д., в современном мире широко используются методы радиоспектроскопии. К основным способам наблюдения радиочастотных спектров относятся: непрерывный и импульсный методы. Импульсная методика в отличие от непрерывной имеет ряд преимуществ. К основному преимуществу можно отнести наблюдение сигнала не на одной частоте, а наблюдение частотного спектра при воздействии короткого радиоимпульса.

Благодаря совершенствованию технологии обработки информации и повышения производительности электронной вычислительной техники одним из перспективных направлений развития импульсной методики, является применение преобразования Фурье для целей спектрометрического анализа. Поэтому важной частью аппаратуры является тракт усиления зондирующих импульсов, основными параметрами которого являются: выходная мощность, минимальная длительность радиоимпульса, широкий диапазон частот, глубина подавления сигнала несущей частоты в паузах между радиоимпульсами и пр.

Целью данной работы заключается в разработке усилителя-формирователя высокочастотных радиоимпульсов большой мощности на транзисторах. Данный прибор может быть применен в научных исследованиях в областях ЯМР спектроскопии, акустической спектроскопии, дефектоскопии и др. с целью исследования магнитострикционных, пьезоэлектрических, магнитных и других свойств веществ.

Важным вопросом при проектировании мощных широкополосных транзисторных усилителей является выбор того или иного вида включения

транзистора (ОЭ или ОБ). При решении этого вопроса следует исходить из сравнительной оценки каскадов усилителей, с точки зрения обеспечения максимальной мощности, КПД и коэффициента усиления по мощности в заданной полосе частот, поведения при работе на изменяющуюся нагрузку, чувствительности к изменению параметров схем и температуры, уровня нелинейных искажений и других соображений [1].

Для схемы с ОБ характерно получение больших значений коэффициента использования коллекторного напряжения т. е. несколько большего КПД в отличие от схемы с ОЭ. Однако во многих случаях это различие невелико, так что с точки зрения КПД и максимальной выходной мощности обе схемы можно считать примерно эквивалентными, тем более на высоких частотах крутизна линии критического режима для обеих схем включения транзисторов практически одинакова [2].

Для обеспечения всех требований, которые могут предъявляться к усилителю, не проводя полного электрического расчета, можно пользуясь оценочными сведениями и формулами составить несколько вариантов его структурных схем и выбрать наиболее простую из них [3].

Покажем выше написанное на примере. Чтобы данный усилитель мощности мог работать для усиления высокочастотных сигналов в широком диапазоне частот, используются согласующие цепи (ЦС) и составляется структурная схема всего прибора. Она представлена на рис.1.



Рис.1. Структурная схема усилителя.

Согласующие цепи ЦС1 и ЦС2 со стороны входа нужны для согласования низкого входного сопротивления транзистора первого каскада с сопротивлением несимметричного фидера (кабеля). К первому каскаду дополнительно подключен модулятор, с помощью которого можно управлять амплитудой выходного сигнала. Согласующая цепь ЦС3 предназначена для согласования выходного сопротивления первого каскада с входным сопротивлением второго. Для согласования выходного сопротивления транзистора второго каскада с сопротивлением несимметричного фидера (нагрузки) применены согласующие цепи ЦС4 и ЦС5.

Научный руководитель:
инженер кафедры радиофизики и электроники
Безносиков Д.С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каганов В. И. Транзисторные радиопередатчики. М., Энергия, 1970. – 328 с. с илл.
2. Шахгильдян В.В. Проектирование радиопередающих устройств. М., 1984.
3. Уткин Г. М., Благовещенский М. В., Жуховицкая В. П. и др. Проектирование радиопередающих устройств СВЧ: учебное пособие для вузов.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Студенты: В.А. Устюгов, Д.О. Квочкин
(5 курс, кафедра радиопизики и электроники, СыктГУ)

Разработано недорогое программно-аппаратное решение для сбора и первичной обработки экспериментальных данных, а также автоматизации проведения эксперимента. Данный комплекс может быть использован либо как часть проектируемой экспериментальной установки, либо для модернизации существующего оборудования и повышения эффективности работы оператора. Проект реализован на свободном программном обеспечении.

Питание устройства поступает с линии +5В порта USB персонального компьютера, что исключает его автономность, однако позволяет избежать использования внешнего блока питания, что снижает конечную стоимость изделия. Микроконтроллер тактируется от кварцевого резонатора с частотой 12 МГц. Для подавления помех на линии питания установлен фильтр нижних частот. Это необходимо, поскольку устройство предназначено для оцифровки внешних сигналов.

Для записи управляющей программы («прошивки») во flash-память микроконтроллера на плате размещён разъём внутрисхемного программирования, что позволяет избежать использования внешнего программатора. Кроме того, существует возможность использования загрузчика (bootloader), т.е. специальной программы для прошивания микроконтроллера по интерфейсу USB без использования специального оборудования, что позволит конечному пользователю легко обновлять прошивку.

Измерение температуры может производиться тремя способами:

1. Измерение температуры в пределах от -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$ с точностью $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ в диапазоне температур от -10°C до $+85^{\circ}\text{C}$ с помощью установленного на плате цифрового термометра DS18B20. Данный термометр позволяет контролировать температуру в помещении, в котором проводится эксперимент (технологический процесс).
2. Измерение температуры с помощью термопары К-типа в пределах от 0°C до $+1100^{\circ}\text{C}$. Для подключения термопары используется микросхема MAX31855, производящая оцифровку термо-ЭДС термопары, компенсацию влияния температуры холодного спая, вычисление температуры в градусах Цельсия, а также контроль за состоянием термопары и обнаружение ошибок (разрыв, короткое замыкание).
3. Измерение температуры с помощью внешнего измерителя (например, термосопротивления), подключаемого к свободным цифровым микроконтроллера или каналам АЦП. В последнем случае требуется применение согласовывающего усилителя.

Результаты измерений передаются на ПК по интерфейсу USB. В программной реализации USB для микроконтроллера использована свободная версия библиотеки V-USB фирмы Objective Development. Применение свободной библиотеки libusb позволяет разрабатывать кросс-платформенные приложения для персонального компьютера для работы с аппаратной частью.

Клиентская часть написана на языке Python 2.7 с использованием свободных версий библиотек PyQt (для разработки пользовательского интерфейса) и matplotlib (для изображения графиков измеряемых величин). Программа имеет интуитивно понятный интерфейс и может быть легко расширена с помощью доступных свободных инструментов разработки. В демонстрационной версии программы на экран выводится температура, получаемая с цифрового термодатчика и график зависимости напряжения, подаваемого на вход аналогово-цифрового

преобразователя. Также отображается частотный спектр оцифровываемого сигнала, полученный с помощью быстрого преобразования Фурье.

Данная система температурного контроля была применена, в частности, для управления температурой муфельной печи экспериментальной установки. Измерение температуры выполнялось через определённые промежутки времени (1 секунда), затем производилось сравнение полученного результата с заданным пользователем значением и поддержание (изменение) путём пропорционально-интегрально-дифференциального регулирования. Для осуществления воздействия на печь (регулирования питания) использован широтно-импульсный модулятор микроконтроллера на восьмибитном таймере. Для написания программы управления микроконтроллером была использована SWITCH-технология [1].

Таким образом, разработанная система является недорогой, но гибкой, простой в эксплуатации, расширяемой системой для автоматического сбора данных и автоматизации проведения физического эксперимента, не имеющей коммерческих аналогов. Также устройство позволяет модернизировать существующие (частично устаревшие) экспериментальные установки, снижая необходимость их полной замены.

Руководитель: к.ф.-м.н., ст. преп. кафедры радиофизики и электроники
Сыктывкарского государственного университета П.А. Макаров

ЛИТЕРАТУРА

1. Шалыто А.А. Switch-технология. Алгоритмизация и программирование задач логического управления.. – СПб.: Наука, 1998. – 628 с.

ДИСПЕРСИОННЫЕ ИСКАЖЕНИЯ КОРОТКОГО ХАОТИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ В МЕЖПЛАНЕТНОЙ ПЛАЗМЕ

Студент: Ю.С. Худышев (4 курс, факультет ИТ, МГТУ МИРЭА)

Возможности применения хаотических сигналов в радиосистемах весьма разнообразны (см., напр., [1]), и круг обсуждаемых здесь задач постоянно расширяется. В связи с этим возникает проблема описания процесса распространения хаотических импульсов в природных средах. Ниже представлены некоторые результаты анализа дисперсионных искажений короткого хаотического радиоимпульса при прохождении протяженных межпланетных трасс, особенностью которых являются большие значения интегральной электронной концентрации $TEC = \int_z N_e(z) dz$ (N_e – локальная электронная концентрация; z – длина трассы).

Излучаемое поле E описывалось стохастическим дифференциальным уравнением вида [2]

$$\ddot{E} + \alpha E = (\varepsilon - E^2)\dot{E} + \sqrt{2D}\xi(t),$$

где t – время; $\xi(t)$ – нормированный гауссовский белый шум; D – константа, задающая его интенсивность, и α – константа, регулирующая частоту поля. Белый шум моделировался по [3]. Искажения распространяющегося импульса описывались по [4] при условии, что эффективная частота соударений в среде равна нулю.

Рис.1 и 2 иллюстрируют характер деформации хаотического импульса в плазменной среде для случая, когда максимум его амплитудного (энергетического) спектра приходится на частоту 2 ГГц (рис.1б). Прежде всего, импульс уширяется в сотни и тысячи раз и его текущая форма не имеет общих признаков с излучаемым импульсом. Одной особенностью искажений является то, что, начиная с некоторых значений TEC , импульс распространяется самоподобно, т.е. без выраженных изменений текущей формы. Так, величины TEC трассы для рис.1в и 1г различаются на порядок.

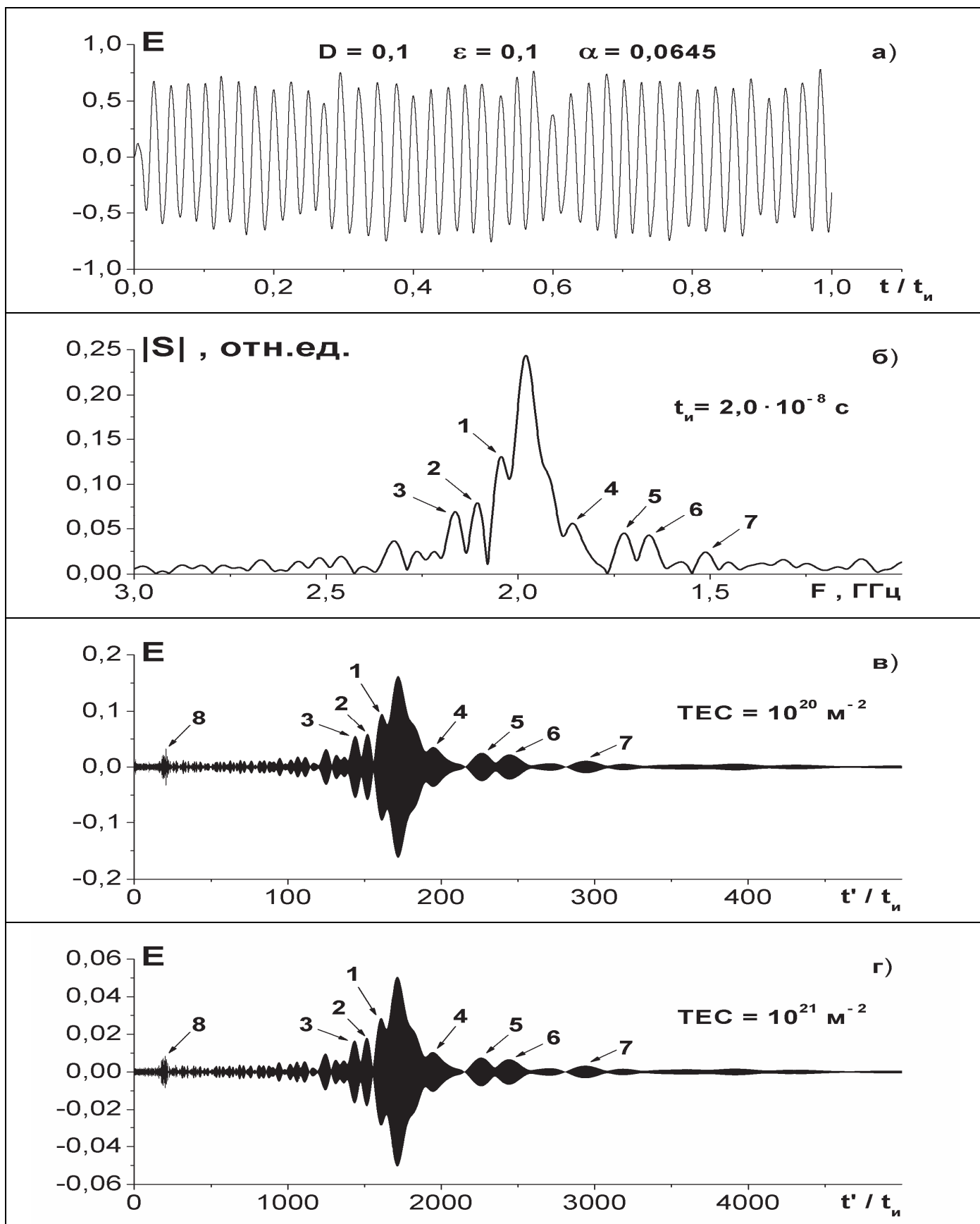
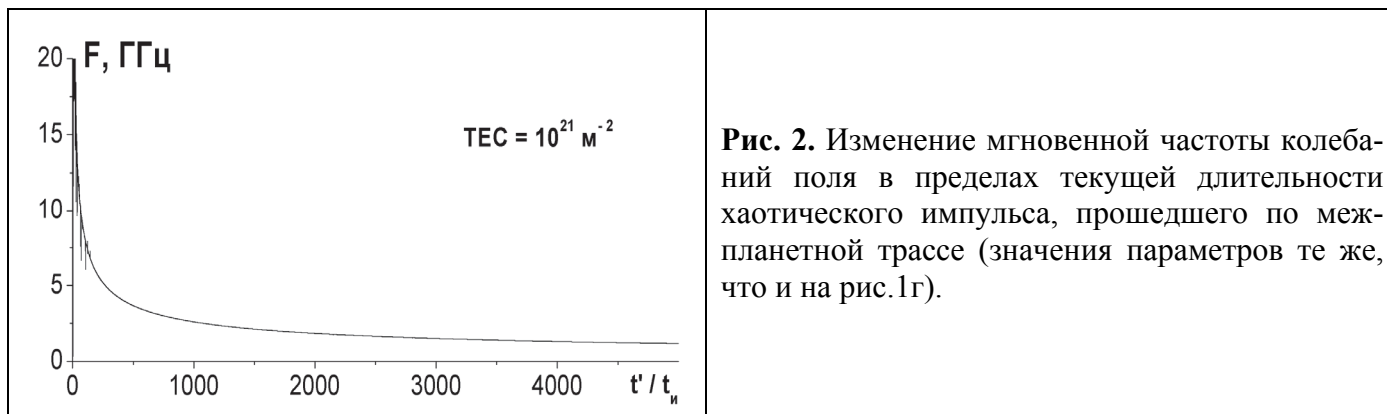


Рис. 1. Пример искажений хаотического радиоимпульса при распространении по межпланетной трассе (а – излучаемый импульс; б – его амплитудный спектр; импульс, деформированный по прохождении трассы с $\text{TEC} = 10^{20} \text{ м}^{-2}$ (в) и 10^{21} м^{-2} (г); (длительность импульса $t_n = 20 \text{ нс}$; значения других параметров см. на поле рис.1а; $t = t - z/c$, c – скорость света)).

Однако, если отвлечься от значений величин E и t' , отложенных по осям, можно допустить, что на них изображена одна и та же зависимость $E(t')$. Повторяются все детали кривых, например, отмеченные на рис.1в и 1г цифрами 1 – 8. Если же, напротив, обратиться к численным значениям величин E и t' на осях рис.1в и 1г,



то очевидно значительное различие между кривыми. Другая особенность искажений состоит в том, что по достижении некоторого значения ТЭС трассы форма импульса повторяет форму его амплитудного (энергетического) спектра, обращенного по частоте (как это сделано на рис.1б). Иначе: максимумы спектра постепенно трансформируются в максимумы поля распространяющегося импульса. Трансформация есть непосредственное следствие возрастания скорости распространения формирующих импульс гармоник вместе с частотой. В результате в пределах текущей длительности импульса мгновенная частота колебаний поля монотонно убывает, как это показано на рис.2, а группы гармоник, занимающих интервал df в окрестности частоты f и переносящих энергию $|S(f)|^2 df$, постепенно распределяются по трассе в порядке убывания величины f .

Руководитель: зав. лаб. ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, проф. Стрелков Г.М.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Максимов Н.А., Панас А.И. Генерация хаоса. М.: Техносфера. 2012. 423 с.
2. Вадивасова Т.Е., Анищенко В.С., Окрокверцхов Г.А., Захарова А.С. //Радиотехника и электроника. 2006. Т.51. № 5. С.580-592.
3. Vox G.E.P., Muller M.E. //Ann. Math. Statistics. 1958. V.29. No.2. P.610-611.
4. Гуляев Ю.В., Стрелков Г.М. //Докл. РАН. 2006. Т.408. №6. С.754-757.

НАПРАВЛЕННЫЙ ОТВЕТВИТЕЛЬ ДИАПАЗОНА 4...12 ГГц

Студент: В.В. Шеховцов (6 курс, кафедра прикладной электродинамики и компьютерного моделирования, физический факультет, ЮФУ)

В настоящее время весьма актуальной является разработка высококачественных пассивных СВЧ компонентов для элементной базы современных радиотехнических систем, включая беспроводные системы связи различного назначения. К числу таких компонентов относятся широкополосные направленные ответвители (НО) [1]. Ключевыми требованиями к электрическим параметрам НО являются заданный уровень переходного ослабления в рабочей полосе частот и его малая неравномерность, высокая направленность и высокое согласование со стандартным коаксиальным трактом.

В данной работе теоретически и экспериментально исследована конструкция направленного ответвителя со слабой связью для работы на уровне мощности до 100 Вт. НО должен обеспечивать переходное ослабление 20 дБ в диапазоне 4...12 ГГц.

Для реализации направленного ответвителя была выбрана трехсекционная конструкция на основе симметричных полосковых линий передачи с боковой связью.

Предложенная структура представляет собой симметричную многослойную конструкцию (рис. 1, а), в центре которой расположены полосковые проводники (толщина металлизации 0,035 мм), нанесенные на две диэлектрические подложки ($\epsilon = 2,2$, толщина 0,45 мм). Тонкие диэлектрические подложки расположены между двумя более толстыми пластинами диэлектрика (фторопласт армированный фольгой) ($\epsilon = 2,5$, толщина 1,5 мм). Многослойная структура помещена в металлический корпус, образованный двумя металлическими пластинами, между которыми расположены диэлектрические платы. Все входные и выходные полосковые линии имеют волновое сопротивление 50 Ом и соединены с разъемами

N-типа, нерабочий выход НО нагружен согласующими резисторами.

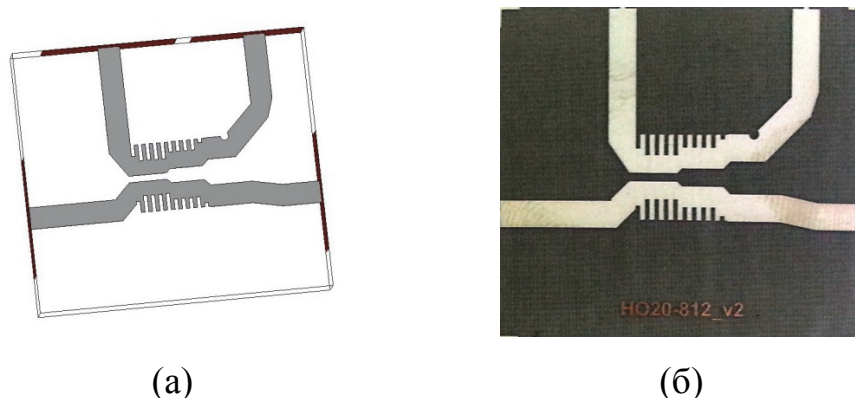


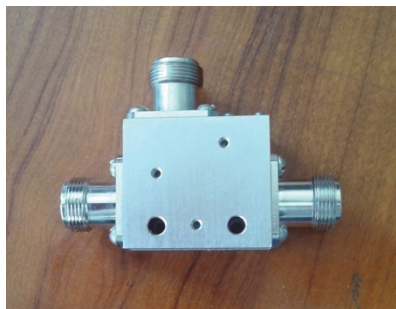
Рис. 1. Трехмерная модель направленного ответвителя (а),
фотография печатной платы (б).

Моделирование направленного ответвителя выполнено на основе итерационной процедуры, которая включала применение методов теории цепей [1] и строгий электродинамический анализ и оптимизацию на основе метода конечного интегрирования [2].

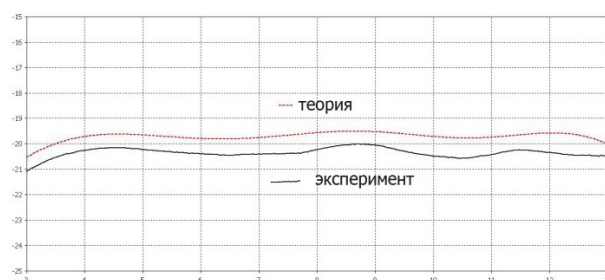
Для выравнивания фазовых скоростей четной и нечетной волн использовались неоднородности в виде периодической гребенчатой структуры, что обеспечило высокую изоляцию и направленность ответвителя. Проведенные в [3, 4] исследования позволили определить эквивалентные параметры этих неоднородностей: волновые сопротивления и эффективные электрические длины синфазного и противофазного режимов возбуждения. Аналогично [5] в конструкции НО на рис. 1 были использованы периодические структуры ступенчатых неоднородностей на внешних сторонах связанных полосковых линий.

Фотография изготовленного макета НО и характеристика его переходного ослабления приведены на рис. 2. Из рис. 2, а видно, что экспериментальные и теоретические результаты хорошо совпадают. Разработанная конструкция имеет высокие электрические параметры: в диапазоне 4...12 ГГц неравномерность переходного ослабления (20 дБ) составляет 0,4 дБ, значение КСВ по всем входам не превышает 1,4, изоляция менее 35 дБ, направленность 15 дБ. Направленный ответвитель имеет компактную технологичную конструкцию и высокие

электрические характеристики. Достигнутые характеристики находятся на уровне лучших мировых аналогов.



(а)



(б)

Рис. 2. Фотография изготовленного направленного ответвителя (а), частотная зависимость переходного ослабления (б).

Руководитель: д.ф.-м.н., профессор кафедры прикладной электродинамики и компьютерного моделирования физического факультета ЮФУ Мануилов М. Б.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по элементам полосковой техники /Под ред. Фельдштейна А.Л. – М.: Связь, 1979. – 336 с.
2. Weiland T. // Int. J. of Numerical Modeling. – 1996. –V.9. N. 3. –P. 295-319.
3. Следков В.А., Рейзенкинд Я.А., Рязанов В.Д. //Электронная техника. Ч.1. Электроника СВЧ. – 1987.- №8. – С.33-35.
4. Следков В.А., Ржевская Л.А., Рейзенкинд Я.А., Рязанов В.Д. //Электронная техника. Ч.1. Электроника СВЧ. – 1988.- №8. – С.7-12.
5. Шеховцов В.В., Следков В.А., Пищенко Г.П., Мануилов М.Б. // Известия вузов. Физика, 2013, т. 56, №8/3, с. 51-53.

АННОТАЦИИ

Агеев И.В. Краткий обзор результатов высокотемпературных измерений интенсивности рассеяния электромагнитного излучения в стеклах и их расплавах.

Рассеяние видимого света (РВС) является одним из основных способов изучения флуктуационных явлений в стеклах и их расплавах. Понимание сущности флуктуационных процессов, происходящих в температурном интервале стеклования, является необходимым для дальнейшего развития теории стеклообразного состояния. Совокупность экспериментальных результатов по поведению интенсивности рассеяния электромагнитного излучения в интервале стеклования, полученную в последние десятилетия, сложно интерпретировать в рамках существующих представлений. Поведение интенсивности рассеянного света характеризуется существованием гистерезиса температурной зависимости, отличительной особенностью которой является образование максимума в режиме нагрева стекла через интервал стеклования. В результате проведенных исследований, выполненных методом РВС для ряда оксидных стекол, было установлено, что такой вид зависимости интенсивности от температуры в интервале стеклования имеет универсальный характер.

Амару Ж. Выбор угла наведения антенны для линии спутниковой связи С-диапазона.

Выполнен расчет угла наведения антенны на спутник связи для центральной земной станции телекоммуникационной сети Республики Ангола.

Бурулев А.П. Моделирование сильных флуктуаций поля на транссионосферных трассах распространения.

В докладе изложена методика моделирования поля в транссионосферном стохастическом канале распространения. Она позволяет осуществить генерацию сигнала, обладающего статистическими характеристиками, полученными в результате решения задачи распространения в флуктуирующем транссионосферном канале. Представленная методика реализована в виде программного симулятора транссионосферных сигналов.

Варзер Е.В. Нелинейная магнитоупругая динамика в анизотропной ферритовой пластине.

В работе исследуются нелинейные магнитоупругие колебаний в перпендикулярно намагниченной ферритовой пластине. Переменное возбуждающее радиочастотное поле ориентировано в плоскости пластины. Было проведено качественное сравнение магнитоупругой релаксации в линейном и нелинейном режимах. Выявлены два вида автоколебаний – переориентационный и расстройный. Также была построена модель системы в квадратичном приближении и исследованы особенности автоколебаний в модели.

Васькин А.Д. Исследование комбинированной пирамидальной гофрированной рупорно-линзовой антенны.

В данной работе приведены исследования конструкции малошумящего антенного датчика в виде пирамидальной гофрированной рупорно-линзовой антенны. Этот тип антенн используется сравнительно редко и, как правило, для варианта конических рупоров в одном диапазоне частот. В исследуемом варианте появляется возможность создания малошумящей антенны для двух диапазонов частот при

использовании двух поляризации, с возможным выводом сигнала, как на волновод, так и на коаксиальный кабель.

Горинбахер А.В. ВЧ генератор для возбуждения ультразвука в ферритовых пленках.

В работе разработана схема генератора ВЧ радиоимпульсов для магнитострикционного преобразователя, работающего в нелинейном режиме, на основе нормально намагниченных пленок ЖИГ толщинами около 10 мкм расположенных на подложках из гадолиний галлиевого граната толщиной около 2 мм. Генератор будет создавать радиоимпульсы с частотой заполнения 50-150 МГц, минимальной длительностью 250 нс и мощностью 800 мВт.

Гофман А.А. Солнечные микровсплески.

Проведено исследование микровсплесков (МВ) в дециметровом диапазоне радиоизлучения Активных Областей (АО) Солнца. Были определены длительность отдельного всплеска и построен частотный спектр излучения. Факт наличия явления МВ был подтвержден анализом статистических характеристик записей радиотелескопа РАТАН600. Для описания явления были рассмотрены плазменный и гиросинхротронный механизмы генерации излучения при различных зависимостях распределения энергичных электронов по скоростям. Определены некоторые характеристики области генерации МВ на основе плазменного механизма генерации радиоволн.

Данилогорская Е.А. О вкладе горизонтальных градиентов в ошибки измерения координат местоположения объектов Глобальными навигационными спутниковыми системами.

В работе в отличие от существующих подходов определения ошибки измерения дальности возникающей из-за присутствия неоднородной ионосферы базирующихся на решении геометра - оптических уравнений с использованием теории возмущений по прямым лучам, где малым параметром является квадрат отношения плазменной частоты к рабочей, предлагается явная процедура суммирования всех частотных эффектов в виде точного решения для сферически – слоистой среды, а горизонтальные градиенты электронной плотности ионосферы учитываются в рамках теории возмущений.

Желнина Е.А. Исследование закономерностей формирования дисперсионных искажений ЛЧМ-импульсов при вертикальном зондировании ионосферы.

Проведены численные эксперименты по исследованию дисперсионных искажений ЛЧМ-импульсов при вертикальном зондировании ионосферы с учетом трехмерной неоднородности, анизотропии и дисперсии среды распространения, а также зависимости параметров ионосферы и нейтральной атмосферы от геофизических условий.

Зотов М.Б. Основные рабочие характеристики блока промежуточной частоты приемного комплекса радиотелескопа РТ-70 (Уссурийск) для режима совместных наблюдений в РСДБ-сети «Квазар-КВО».

В работе приводятся результаты измерения и анализа характеристик блока промежуточной частоты приемного комплекса для антенной системы радиотелескопа РТ-70 (Уссурийск), работающего в режиме совместных наблюдений в интерферометрической сети со сверхдлинной базой «Квазар-КВО». Исследовались

разработанные в ИПА РАН (Санкт-Петербург) блоки промежуточной частоты для приемного комплекса совмещенных диапазонов длин волн $\lambda = 13$ и $3,5$ см (S и X диапазон). Средняя величина коэффициента усиления блоков промежуточной частоты S и X диапазонов составила 35...36 дБ при неравномерности, не превышающей 2-3 дБ в рабочем диапазоне частот. Коэффициент шума не превышал 4...5 дБ, что подтверждает перспективность использования разработанных устройств.

Капинос Э.О. Исследование нелинейных режимов магнитоупругих колебаний в двухслойной структуре.

В работе рассмотрена нелинейная задача о возбуждении гиперзвука в нормально намагниченной структуре, состоящей из двух слоев пленок ферритов, упругие свойства которых по общей толщине структуры едины, но магнитные и магнитоупругие свойства могут различаться.

Квочкин Д.О. Модуль сетевого управления на связке ATmega8 – ENC28J60.

Разработан аппаратный модуль для сопряжения оборудования и датчиков физической лаборатории с ПК оператора средствами сети Ethernet. В основе модуля сетевого управления лежит организация связки контроллеров ATmega8 – ENC28J60 по интерфейсу SPI. Программная поддержка стандартов сети Ethernet реализована в виде библиотеки процедур для микроконтроллера ATmega8 для работы с Ethernet-контроллером ENC28J60. Библиотека написана на языке AVR ASM. В последней версии данного ПО реализована поддержка всех внутренних инструкций ENC28J60, приём-отправка Ethernet-кадров на канальном уровне, ARP-протокол.

Кирушев М.С., Елфимова Н.С. Нелинейная прецессия вектора намагниченности в анизотропных магнитоупругих ферритовых пластинах.

В работе детально исследуются переходы между режимами нелинейной прецессии намагниченности в условиях ориентационного перехода в пластине с кубической анизотропией. Также рассматриваются особенности прецессии второго порядка в пластине с магнитоупругими свойствами.

Клепфиш М.Б. Исследование временной стабильности критической частоты ионосферного слоя F2.

Приводятся результаты исследований вариаций ото дня ко дню критической частоты ионосферного слоя F2, полученные по результатам обработки данных вертикального зондирования на 9 европейских ионосферных станциях за 3 года. Получены количественные оценки использования Международной справочной модели ионосферы IRI для прогнозирования критической частоты. Получены зависимости вариаций от времени суток, сезона, уровня солнечной активности. Показано, что вариации ото дня ко дню в среднем не превышают 15%. Среднее относительное отклонение прогнозируемых по модели IRI значений критической частоты от экспериментально наблюдаемых не превышает 10%.

Коновалюк Д.А., Карманов А.И. Разработка микропроцессорного блока управления и стабилизации тока электромагнита ЯМР-спектрометра.

В работе был модернизирован блок стабилизации тока магнита спектрометра TESLA BS467A. Старый блок был заменен на новый, на микропроцессорном управлении, написано программное обеспечение для него. Регулировочный элемент в виде линейки транзисторов заменен одним IGBT модулем. Результатом стало снижение энергопотребления и повышение удобства работы с прибором.

Конашук Н.Н. Пространственное распределение магнитного поля и энергичных частиц в источниках сантиметровых радиовсплесков.

Работа посвящена решению обратной задачи по восстановлению физической плазмы, излучающей в микроволновом диапазоне. В силу многопараметричности задачи и значительных погрешностей радиоастрономических наблюдений проводится моделирование источника, рассчитываются наблюдаемые характеристики и из их сравнения получают выводы о наиболее реалистичных свойствах источника радиовсплеска. Актуальность этой задачи не оставляет сомнений, поскольку диагностика вспышечного сценария так и не нашла своего полного решения на протяжении нескольких десятилетий. В работе обобщен опыт многих предшественников и реализован и доведен до конечных результатов, пригодных для сравнения с наблюдениями на японском радиополяриметре обсерватории Нобеяма.

Костин А.А. Пространственно-частотная функция когерентности волнового поля в марковском приближении.

В данной статье рассмотрен вопрос получения аналитических решений марковского параболического уравнения для пространственно-частотной функции когерентности второго порядка. Проанализированы модели квадратичной параболы и гиперболического косинуса Пёшля - Теллера для эффективной поперечной структурной функции флуктуаций диэлектрической проницаемости среды распространения и выявлена связь между рассматриваемыми моделями. На основе произведенных наблюдений предложена методика, базирующаяся на квадратичной модели, для получения функции когерентности, правильно ведущей себя как при малых, так и при больших значениях поперечной разностной переменной.

Крутиев С.В. Волноводный полосно-пропускающий фильтр на сложных резонансных диафрагмах.

Приводятся результаты электродинамического анализа одиночных резонансных диафрагм в виде прямоугольного окна с двумя L-образными гребнями в прямоугольном волноводе и результаты синтеза полосно-пропускающих фильтров на их основе. Электромагнитные поля и критические волновые числа прямоугольного волновода с двумя L-гребнями, образующего апертуру диафрагм, определены методом частичных областей с учетом особенности поля на ребре. Предложенная апертура диафрагмы позволяет не только получать более высокие добротности резонаторов, чем обычные прямоугольные окна, но и благодаря наличию антирезонанса в своей переходной характеристике, обеспечивать рекордно низкие для данного типа фильтров уровни затухания в полосе заграждения.

Кузнецов О.Ю. Результаты экспериментальных исследований атмосфериков в ИНЧ диапазоне.

Твики являются одним из видов возбуждаемых молниевыми разрядами атмосфериков, распространяющихся в волноводе Земля-ионосфера. Они имеют свою характерную волновую форму, где присутствуют четыре характерных участка: 1. «Шляпа» - собственно атмосферик; 2. «Голова»; 3. «Шея»; 4. Тело или хвост твика. Наблюдаемая длительность атмосферика составляет несколько миллисекунд. Длительность «головой» и «шеи» достигает 10 мсек. Длительность тела составляет несколько десятков миллисекунд и определяется амплитудой и затуханием твиковой моды.

Кулаков Н.С. Исследование коммутационного диода СВЧ при обратном смещении.

Коммутационные диоды СВЧ нашли широкое применение в полупроводниковых защитных устройствах СВЧ-диапазона, выключателях и многоканальных

коммутаторах. Принцип действия переключаемых диодов основан на резком изменении полного сопротивления диода при изменении полярности управляющего напряжения или тока. Также коммутационные диоды используются в качестве фоточувствительных с высочайшей чувствительностью и высоким быстродействием. В основе принципа работы таких диодов лежит использование лавинно-пролетного пробоя.

Курдюкова Е.Г., Пилипец Е.С. Моделирование нелинейной динамики двух взаимодействующих магнитных диполей.

Работа посвящена исследованию нелинейной радиочастотной динамики системы двух взаимодействующих изотропных магнитных частиц в форме эллипсоидов вращения. Рассмотрены случаи слабого и сильного взаимодействия между частицами. Определены области существования различных режимов магнитных колебаний в зависимости от частоты и амплитуды переменного поля.

Куцов А.С. Метод измерения шероховатости поверхности подложек интегральных схем СВЧ диапазона.

Статья посвящена методам измерения шероховатости поверхностей гибридно-интегральных схем (ГИС) и объемно-интегральных схем (ОИС) СВЧ диапазона. Показана основная структура измерительного прибора – профилометра. Вкратце рассмотрены сложности, с которыми приходится сталкиваться, такими как трудоемкое снятие измерений с измерительной головки и обязательная линейность её движения. На основе этого было предложено улучшение в структуре профилометра. Главными достоинствами новой модели являются нелинейность измерений, удешевление конструкции и мобильность.

Кырнышев А.М., Роев А.А. Измерение диаграммы эффективной поверхности рассеяния проводящих тел с использованием эффекта Доплера и аппаратно-программной платформы NI.

На основе компьютерного моделирования проведена оптимизация параметров установки для измерения диаграммы ЭПР с использованием эффекта Доплера и аппаратно-программной платформы National Instruments (NI). Разработан цифровой модуль обработки и регистрации низкочастотного сигнала балансного смесителя на базе среды графического программирования LabVIEW и платы сбора данных USB NI-6009. Проведенные измерения характеристик рассеяния для металлических тел простой формы подтверждают низкие требования к уровню безэховости и высокую информативность метода для данной установки.

Линдт С.В. Мультистабильные колебания в кольцевых автогенераторах.

Представлены результаты численного моделирования автоколебаний в двухкаскадном кольцевом генераторе с активными ячейкам Ван дер Поля. Показано, что при больших превышениях порога генерации в системе с идентичными ячейками наблюдается неоднородное пространственное распределение амплитуд автоколебаний. Установлен факт постоянства суммарной мощности автоколебаний в ячейках двухкаскадного осциллятора Ван дер Поля в неоднородном режиме. Обозначена возможность реализации в кольцевых генераторах с дискретными активными ячейками мультистабильных режимов генерации с неоднородным распределением амплитуд автоколебаний по ячейкам кольца.

Майоров А.Г. Шифрование сигналов с помощью детерминированного хаоса.

В данной работе изложен и программно реализован в системе Matcad алгоритм шифрования изображений, основанный на использовании генераторов детерминированного хаоса. Исследованы статистические свойства хаоса,

возникающего в системе Лоренца и в дискретном осцилляторе Ван дер Поля, произведен сравнительный анализ на хаотичность процессов генерируемых данными системами.

Михайлов С.А. Абсолютные измерения при помощи внешнего волоконного интерферометра Фабри-Перо: повышение быстродействия.

Датчики на основе внешнего волоконного интерферометра Фабри-Перо (ВИФП) позволяют определять внешнее воздействие по измеренному значению базы интерферометра. Существуют способы нахождения абсолютного значения базы на основе регистрации спектральной передаточной функции интерферометра. При этом частота отсчетов равна частоте измерения спектров, не превышающей десятки герц, а значит, более быстрые изменения базы не могут быть зафиксированы. Нами предложен метод обработки спектров ВИФП, основанный на частотном детектировании и позволяющий регистрировать флуктуации базы интерферометра, происходящие за время измерения спектра. Данный метод был реализован экспериментально, проверена его работоспособность для гармонического, треугольного и линейно частотно-модулированного воздействия.

Мязин А.С. Повышение точности измерения электрических полей при помощи интегрально-оптического волоконного поляризационного датчика.

В докладе рассмотрены методы минимизации погрешностей, возникающих при измерении напряженностей электрических полей с помощью волоконно-оптического поляризационного датчика. Приведены результаты теоретического анализа оптической схемы прибора, измерения поляризационных характеристик входящих в нее элементов, практические результаты измерения полей, полученные на созданном лабораторном макете. Эксперименты демонстрируют возможность существенного увеличения точности измерений на основе результатов проведенных исследований.

Очиков П.Н. Мультифрактальный анализ флуктуаций трансионосферных сигналов и моделирование стохастических процессов с заданными мультифрактальными характеристиками.

Представлены результаты исследований мультифрактальных спектров временных вариаций полного электронного содержания в полярной ионосфере. Результаты исследований за несколько лет позволяют сделать вывод о существенно мультифрактальном характере поведения ПЭС в полярных широтах и о наличии зависимости характера спектров от геомагнитной обстановки. В частности установлено, что ширина мультифрактальных спектров увеличивается с ростом планетарного геомагнитного индекса Кр.

Пешков А.А. Излучение заряда, влетающего в киральную изотропную среду.

Рассматривается задача о переходном излучении заряженной частицы, пересекающей плоскую границу раздела между вакуумной областью и областью, заполненной киральной изотропной средой. Получены выражения для компонент поля в вакууме и в среде. Проведён асимптотический анализ поля в вакууме. Показано, что основной вклад вдали от точки влёта представляет собой сферическую волну. Построены типичные диаграммы направленности для спектрально-угловой плотности энергии излучения.

Попов А.А. Исследование возможностей и особенности работы микроволнового спектрометра, предназначенного для дистанционного мониторинга влажностных характеристик атмосферы.

В данной работе проводится исследование возможностей микроволнового спектрометра, предназначенного для дистанционного мониторинга влажностных характеристик атмосферы и позволяющего измерять радиояркие температуры

атмосферы в широком диапазоне частот. В результате были получены регрессионные зависимости между радиояркостной температурой атмосферы в зените и интегральными влажностными характеристиками атмосферы для разнообразного набора метеоусловий и проведено сравнение с ранее полученными результатами российских и зарубежных авторов для отдельных точек диапазона частот.

Ристо А.В. Применение модели связанных осцилляторов для анализа нелинейного возбуждения гиперзвука в ферритовой пластине.

Работа посвящена применению модели связанных осцилляторов для описания возбуждения гиперзвука в перпендикулярно намагниченной ферритовой пластине. При рассмотрении колебаний во времени, был проведен анализ приближений, обеспечиваемый линеаризованной системой и системой в квадратичном приближении по сравнению с решением, обеспечиваемым точной нелинейной системой.

Тарасов А.Ю. Широкополосный усилитель-формирователь радиочастотных импульсов.

В работе приведён анализ по разработке усилителей мощности высокой частоты. Данный прибор может быть применен в научных исследованиях в областях ЯМР спектроскопии, акустической спектроскопии, дефектоскопии и пр.

Устюгов В.А., Квочкин Д.О. Автоматизированная система измерения и контроля температуры.

Разработано недорогое программно-аппаратное решение для сбора и первичной обработки экспериментальных данных, а также автоматизации проведения эксперимента. Измерение температуры может производиться тремя различными

способами. Результаты измерений передаются клиентской программе на ПК. Для осуществления воздействия на объект контроля использован широтно-импульсный модулятор микроконтроллера на восьмибитном таймере.

Худышев Ю.С. Дисперсионные искажения короткого хаотического импульса при распространении в межпланетной плазме.

Выполнен анализ дисперсионных искажений короткого хаотического импульса, распространяющегося в холодной изотропной плазменной среде, при интегральных электронных содержаниях (ТЕС), характерных для межпланетных трасс. Показано, что, начиная с некоторых значений ТЕС, текущая форма импульса практически не изменяется и стремится повторить форму амплитудного спектра излученного импульса, обращенного по частоте.

Шеховцов В.В. Направленный ответвитель диапазона 4...12 ГГц.

Работа посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию полосковых направленных ответвителей (НО) диапазона 4...12 ГГц. Для реализации направленного ответвителя была выбрана трехсекционная конструкция на основе симметричных полосковых линий передачи с боковой связью. Электродинамический анализ и оптимизация устройств были выполнены методом конечного интегрирования. Для выравнивания фазовых скоростей четной и нечетной волн использовалась периодическая гребенчатая структура, что обеспечило высокую изоляцию и направленность ответвителя. Была разработана и экспериментально исследована конструкция НО, обеспечивающая в диапазоне 4...12 ГГц высокие электрические характеристики: КСВ по всем входам не превышает 1,4, изоляция 35 дБ, направленность 15 дБ, переходное ослабление 20 дБ с неравномерностью 0,4 дБ. Достигнутые характеристики находятся на уровне лучших мировых аналогов.

**XVII Всероссийская научная конференция
студентов-радиофизиков**

Тезисы докладов

22-24 апреля 2014 года