

Рисунок 4. Графики переходных процессов при прямом пуске АД

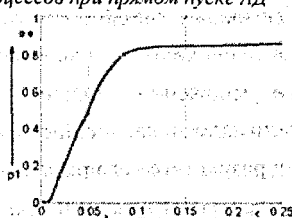
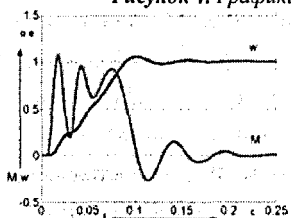


Рисунок 5. Графики переходных процессов при линейном законе изменения угла управления тиристорами  $\gamma$

**Литература.** 1. Петров Л.П. Тиристорные преобразователи напряжения для асинхронного электропривода / Л.П. Петров, О.А. Андрущенко, В.И. Капинос и др. - М.: Энергоатомиздат, 1986.-200 с.: ил.

### ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУД ПАРЦИАЛЬНЫХ МОД РАСПРОСТРАНЕНИЯ КВ-РАДИОСИГНАЛА МЕТОДАМИ БИСПЕКТРАЛЬНОГО И КЕПСТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

*Щирый А.О, Марийский ГТУ, Йошкар-Ола (Россия)*

Как известно, под действием постоянного магнитного поля Земли ионосфера приобретает свойства двоякопреломляющей среды. В условиях распространения коротких радиоволн это свойство проявляется в том, что одна волна с линейной поляризацией расщепляется на две – так называемые обыкновенную (O) и необыкновенную (X). Каждая составляющая при этом распространяется в ионосфере со своей групповой скоростью и отражается от различных уровней (высот) ионосферы, испытывает разное поглощение в ионосфере. Очевидно, что различно время распространения O и X лучей от передатчика к приемнику. Разность их времени группового запаздывания –  $\Delta\tau$ .

Описанные эффекты, т.н. магнитоионные расщепления (МИР) – не единственная причина многолучевости в диапазоне КВ. Вообще, дискретная многолучевость может быть вызвана приходом в точку приема нескольких скачковых и/или волноводных мод распространения радиосигнала. Диффузная многолуче-

вость связана с рассеянием на ионосферных неоднородностях. Однако, в каналах образованных только О и Х компонентами луча одной моды (обычно скачковой моды) именно МИР ограничивают пропускную способность канала, т.к. если при приеме лучи не разделяются (системой связи), то имеет место их интерференция, приводящая к биениям и замираниям сигнала.

Современным средством исследования модовой структуры КВ-радиосигнала является наклонный ионозонд, использующий в качестве зондирующих сигналы с линейно-частотной модуляцией (ЛЧМ). В приемнике ЛЧМ-ионозонда происходит сжатие принятого сигнала в частотной области, состоящее в его умножении на сигнал гетеродина, комплексно-сопряженный излучаемому сигналу и дальнейшему спектральному анализу сигнала разностной частоты, в результате чего разделяются дискретные моды распространения сигнала. Спектральный анализ и управление приемником осуществляется ПЭВМ со специальным программным обеспечением (ПО) [1]. Результат работы ионозонда – ионограмма, характеризующая зависимость амплитуды сигнала от частоты  $f$  и времени группового запаздывания  $\tau$ . АЧХ моды находится по ионограмме по максимумам в выделенных областях, затем для удаления одиночных выбросов (вызванных, как правило, ошибкой выделения моды и помехами) подвергается медианной фильтрации (см. рис.1).

В работе использовались данные зондирования КВ - радиолиний (длина - в скобках) Н.Новгород – Йошкар-Ола (246 км), Кипр – Йошкар-Ола (2600 км), Великобритания – Йошкар-Ола (3100 км), Хабаровск – Йошкар-Ола (5700 км).

Разрешающей способности ионозонда по времени группового запаздывания (25 мксек) не всегда достаточно для разрешения (разделения) О и Х компонентов. Протяженность неразделенных участков треков (НУТ) может превышать 10 МГц. Для дальнейшего анализа выделялись НУТ. Амплитуда на НУТ испытывает замирания (рис.1) с периодом, обратным  $\Delta\tau$  ( $\Delta\tau \sim 1..5$  мксек).

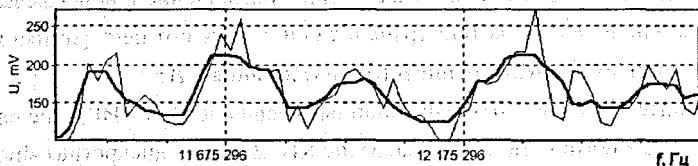


Рис.1. Фрагмент АЧХ НУТ по ионограмме Хабаровск - Йошкар-Ола, 24.11.1998, 12:25, до (тонкая линия) и после (толстая) медианной фильтрации

Если АЧХ имеет вид "хорошей" синусоиды, то период можно определить и на глаз (см. рис.1, период замираний АЧХ по этому фрагменту составляет 200-250 кГц, следовательно  $\Delta\tau \sim 4...5$  мксек). Этот случай как раз соответствует биению двух лучей. Однако практика обработки экспериментальных данных показала, что такой вид "хорошей" синусоиды имеют только около 11 % фрагментов НУТ (доля этих НУТ от суммарной длины всех НУТ). И дело здесь не в помехах (задача фильтрации сосредоточенных помех, преобладающих практически на всем КВ-диапазоне над другими видами помех, при приеме непрерывного ЛЧМ-сигнала решалась в [2]). Дело в неоднородности и слоистой структуре ионосферы. Поэтому и возникла необходимость второго спектрального анализа (считая первым – спектральный анализ сигнала разностной частоты). Вместо двойного спектрального (биспектрального) анализа может использоваться кепстральный анализ: хотя в данной задаче и не требуются свойства логарифмической нелинейности, на которых основан последний, но его свойства лучше исследованы, введена терминология и др. [3].

Кепстральный анализ отличается тем, что второй спектр мощности вычисляется от логарифма первого спектра мощности. Под биспектральным анализом понимается спектр мощности спектра мощности. АЧХ (т.е. амплитудный спектр) предварительно переводится в спектр мощности.

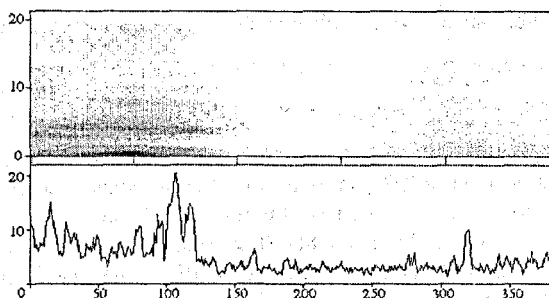


Рис.2. Развертка спектров (вверху) и АЧХ моды (внизу), р/л Кипр – Йошкар-Ола

Для повышения устойчивости обнаружения максимумов применяется следующая методика: данные (АЧХ) обрабатываются блоками равного размера, полученные кепстры выстраиваются в ряд т.о., что по вертикальной оси стоят частоты, по горизонтальной оси – номер блока (которому соответствует рабо-

чая частота), а в “высоту” (цветом) – амплитуды кепстров. Задача обнаружения максимумов в последовательности кепстров сводится к поиску протяженных “пятен” на построенной развертке кепстров. На рис.2 в качестве примера показаны развертка спектров (БПФ над АЧХ по 64 точки; цветом изображена амплитуда: черный – максимум) и АЧХ моды.

Обработка данных показала, что в кепстре наблюдаются два и даже три максимума, не считая нулевой кепстральной компоненты. Об этой нулевой кепстральной компоненте следует сказать особо: она соответствует постоянному уровню (в данном случае постоянному уровню АЧХ парциальной моды) и, согласно обработанным данным, превышает амплитуду биений в 3-10 раз. Этот вывод важен для проводимого [1] исследования свойств АЧХ, т.к. позволяет при оценочных инженерных расчетах АЧХ КВ – радиолинии считать амплитуду моды постоянной почти на всем ее протяжении.

Множество максимумов в кепстре означает, что интерferируют не два, а три или четыре луча – лучей на единицу больше чем максимумов. Интерпретация результатов о более чем двухлучевом характере биений на НУТ и их связь с ионосферными параметрами требуют дальнейших исследований.

Результаты оценки  $\Delta t$  между О и Х согласуются по порядку величин с результатами, полученными интерферометрическим методом [4] ранее. Правда, прямое сравнение невозможно, т. к. различна длина радиотрасс.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 02-02-16318.

**Литература.** 1. *Щирый А.О.* Методика и результаты исследования АЧХ многолучевой ионосферной КВ-радиолинии с использованием ЛЧМ-ионозонда // Труды 5-ой Сессии молодых учёных "Гелио- и геофизические исследования". – Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2002. – с.88-90. 2. *Щирый А.О.* Борьба с сосредоточенными помехами при приеме непрерывного ЛЧМ сигнала // Труды XII Всероссийской школы - конференции по дифракции и распространению волн. – Т.2. – М.: МФТИ, 2001. – с. 448-449. 3. *Чайлдс Д.Дж., Скиннер Д.П., Кемрейт Р.Ч.* Кепстр и его применение при обработке данных. Обзор // ТИИЭР, 1977, т.65, №10. – с. 5-23. 4. *Дробжев В.И., Куделин Г.М., Нургожин Б.И. и др.* Волновые возмущения в ионосфере. – Алма-Ата: Наука Казахской ССР, 1975. – 179 с.