

РАДИОФИЗИКА

УДК 538.565.3

СЕЛЕКТИВНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ВОЛН
В ИОНОСФЕРЕ

Ю. В. Березин, Д. Е. Рыжов

(кафедра физики атмосферы и математической геофизики)

Разработан метод и проведены эксперименты по изучению возможности селективного возбуждения характеристических волн в ионосфере. Результаты эксперимента свидетельствуют о возможности устойчивого возбуждения одной характеристической волны, причем отношение средних мощностей неподавленной и подавленной волн можно довести до 10. Показано, что выигрыш в помехоустойчивости при приеме такого однодогового сигнала по сравнению с двухмодовым равен 10—20 дБ.

Физические особенности ионосферы таковы, что отраженные от нее радиоволны являются частично поляризованными. В ионосферном канале связи радиоволны от точки излучения к точке приема распространяются одновременно по нескольким траекториям, причем частотные спектры этих волн смещены вследствие эффекта Доплера на различную величину. Эти два обстоятельства обуславливают интерференционный фединг суммарного поля и, следовательно, снижение помехоустойчивости приема.

Известно, что в анизотропной ионосфере возможно распространение только двух — характеристических волн (ХВ), отличающихся, в частности, поляризацией. Теоретическое решение задачи о поляризации ХВ, выходящих из ионосферы, встречает значительные трудности вследствие целого ряда причин [1, 2]. Результаты экспериментальных исследований, проведенных при вертикальном зондировании ионосферы, показывают, что поляризация ХВ, измеренная вблизи поверхности земли, эллиптическая и почти ортогональная (в среднем) [3].

Резкое различие поляризации двух ХВ и физический запрет на распространение в ионосфере волн с другой поляризацией наводят на мысль о возможности возбуждения в ионосфере только одной ХВ. Для решения этой задачи необходимо согласовать поляризацию излученной волны с поляризацией одной из ХВ.

Идея метода селективного поляризационного возбуждения одной ХВ основана на двух предположениях о физических свойствах ионосферы и распространяющихся в ней электромагнитных волн:

- 1) значение диэлектрической проницаемости ионосферы не зависит от мощности распространяющейся в ней электромагнитной волны;
- 2) поляризационные параметры ХВ на выходе из ионосферы не зависят от вида поляризации волны, излучаемой передающей антенной.

Эти два предположения обоснованы теоретически и подтверждены прямыми физическими экспериментами [1, 3, 4].

Возможность селективного возбуждения отдельных ХВ проверялась экспериментально при вертикальном зондировании ионосферы импульсными сигналами. Частота радиосигналов зондирования выбиралась с таким расчетом, чтобы наблюдалось разделение отраженных от ионосферы импульсных сигналов, соответствующих двум ХВ, по времени группового запаздывания.

Сеансы наблюдения имели длительность порядка десятка минут, причем каждому сеансу с селективным возбуждением характери-

ческой волны предшествовал тестовый сеанс наблюдения, в котором возбуждались обе ХВ и измерялась их мощность.

Результаты измерений отношения мощностей ХВ в тестовых сеансах наблюдения представлены на рис. 1. Вычислялось отношение средних за сеанс значений мощностей двух ХВ: $Q_l = P_m/P_s$, где P_m — более мощная волна, P_s — «слабая» волна независимо от ее типа (обыкновенная или необыкновенная).

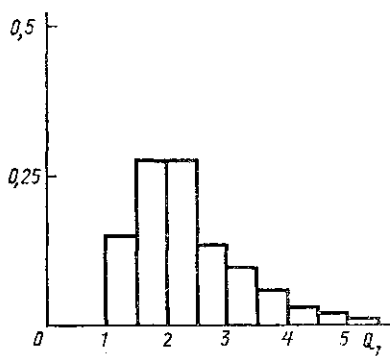


Рис. 1

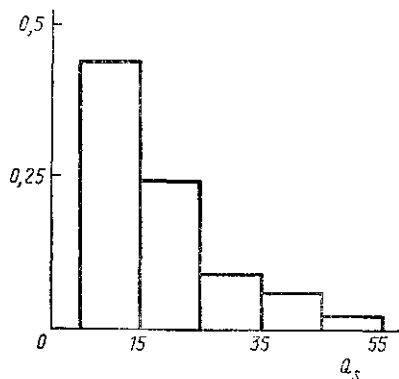


Рис. 2

Рис. 1. Отношение мощностей ХВ при излучении линейно поляризованной волны

Рис. 2. Отношение мощностей неподавленной к подавленной ХВ при селективном возбуждении

Видно, что все значения Q_l лежат в пределах от 1 до 5, что свидетельствует об отсутствии преимущественного возбуждения какой-либо одной ХВ в условиях данного эксперимента.

За тестовым всегда следовал сеанс с селективным возбуждением ХВ, в котором также измерялась мощность двух принятых волн. На рис. 2 изображена гистограмма отношения средних мощностей селективно возбужденной (неподавленной) и подавленной ХВ $Q_s = P_{np}/P_p$.

Вследствие целого ряда причин идеальное возбуждение только одной ХВ невозможно — всегда присутствует и другая — подавленная (значительно меньшей мощности), поэтому значение Q_s никогда не бывает бесконечным. Гистограмма на рис. 2 свидетельствует о том, что при селективном возбуждении соотношение мощностей двух ХВ существенно изменилось — значение Q_s лежит в пределах $5 \div 55$ (заметим, что значение Q_l заключено в пределах $1 \div 5$).

Таким образом, сравнивая гистограммы рис. 1 и 2, можно сделать вывод о том, что использованный метод селективного возбуждения характеристических волн в ионосфере позволяет изменить соотношение мощностей этих волн в среднем на порядок, т. е. сделать одну характеристическую волну в десять раз менее мощной, чем другая. Эксперименты показали, что этот эффект устойчив во времени — в течение 10—15 мин среднее значение Q_s практически не меняется.

Представленные на рис. 1 и 2 результаты относятся к измерению мощности векторного поля $P = |E_x|^2 + |E_y|^2$, где $E_{x,y}$ — проекции вектора принятого поля в системе координат, связанной с приемной антенной, и вследствие этого являются инвариантными по отношению к выбранной системе координат.

Полученные результаты, свидетельствующие о возможности возбуждения в ионосферном моде только одной характеристической волны, позволяют сделать оценку выигрыша в помехоустойчивости приема, который может быть получен за счет этого эффекта.

Вероятность ошибки при приеме дискретной информации, передаваемой с помощью флукутуирующих сигналов, определяется формулой

$$P_{\text{err}} = \int_{-\infty}^{\infty} W(A) f[h^2(A)] dA, \quad (1)$$

где $W(A)$ — функция распределения амплитуды A принятого сигнала, f — функция, зависящая от способа приема,

$$h^2 = A^2(t) h_0^2 / \langle A^2(t) \rangle, \quad h_0^2 = P_c T / v^2,$$

P_c , T — средняя мощность и длительность элемента сигнала соответственно, v^2 — спектральная плотность шума в полосе приема [5].

При некогерентном приеме методом относительной фазовой телеграфии формула (1) принимает вид

$$P_{\text{err}} = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} W(A) \exp\{-h^2(A)\} dA. \quad (2)$$

Если принимаемый сигнал состоит из двух частично рассеянных парциальных волн со смещенными спектрами, то в соответствии с формулой (2) вероятность ошибки определяется выражением

$$P_{\text{err}} = \frac{1}{2} \frac{1 + k_0^2}{1 + k_0^2 + h_0^2} \exp\left\{-\frac{k_0^2 h_0^2}{1 + k_0^2 + h_0^2}\right\} \cdot I_0\left(\frac{2k_{10} k_{20} h_0^2}{1 + k_0^2 + h_0^2}\right), \quad (3)$$

где $k_0^2 = k_{10}^2 + k_{20}^2$; $k_{i0} = A_{i0}^2 / 2\sigma^2 = \beta_i^2 \alpha_i^2 / (\alpha_1^2 + \alpha_2^2)$, $\alpha_i = \sigma_i^2 / \sigma^2$; $\beta_i = A_{i0}^2 / 2\sigma_i^2$, A_{i0} — мощность нерассеянной составляющей парциальных полей E_i , $2\sigma^2$ — средняя мощность рассеянных составляющих полей, $i=1, 2$. По определению α_i^2 всегда равно 1, а

$$\alpha_2^2 = \langle A_2^2 \rangle (1 + \beta_1^2) / (\langle A_1^2 \rangle (1 + \beta_2^2)).$$

При приеме однолучевого поля вероятность ошибки определяется формулой

$$P_{\text{err}} = \frac{1}{2} \frac{1 + k_{10}^2}{1 + k_{10}^2 + h_0^2} \exp\left\{-\frac{k_{10}^2 h_0^2}{1 + k_{10}^2 + h_0^2}\right\}, \quad (4)$$

которая следует из выражения (3) при отсутствии второй волны (например, $A_2=0$).

Формулы (3), (4) были использованы для оценки выигрыша в помехоустойчивости при селективном возбуждении одной характеристической волны в ионосфере. Параметры β^2 и α^2 определялись на основе результатов эксперимента, значение h_0^2 было принято равным 200.

На рис. 3 представлена зависимость выигрыша $Y = 10 \lg(P_{\text{err}2}/P_{\text{err}1})$ в функции параметра β^2 . График рис. 3 свидетельствует о том, что для наиболее вероятных значений $\beta^2 = 5 \div 10$ величина выигрыша Y лежит в пределах $10 \div 20$ дБ.

Разработанный метод селективного возбуждения ХВ в ионосфере был апробирован экспериментально с помощью специального диагностического комплекса, содержащего ЭВМ.

Сформулируем экспериментальные результаты.

В ионосфере возможно возбуждение только одной характеристической волны: метод и разработанное устройство позволяют возбудить любую характеристическую волну — по выбору.

Время устойчивого возбуждения только одной характеристической волны превышает 10—15 мин.

Качество возбуждения одной характеристической волны достаточно высокое и позволяет довести отношение средних мощностей двух характеристических волн до 10; при таком значении Q_s интерференционный фединг суммарного поля практически отсутствует.

Выигрыш в помехоустойчивости приема одномодового сигнала, распространяющегося в ионосферном канале связи, полученный за счет снижения интерференционного фединга, равен 10—20 дБ.

Эти результаты свидетельствуют о том, что селективное возбуждение одной характеристической волны в ионосфере является новым и весьма мощным средством повышения качества и надежности передачи информации по ионосферному каналу связи.

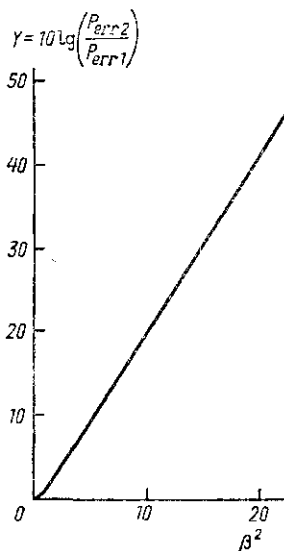


Рис. 3. Выигрыш в помехоустойчивости при селективном возбуждении

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гинзбург В. Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. М., 1962. [2] Денисов Н. Г. // Изв. вузов, Радиофизика. 1978. 21, № 7. С. 921. [3] Березин Ю. В. // Геомагнетизм и аэронавигация. 1970. 10, № 6. С. 1003. [4] Гараган В. И., Кашеев Б. Л. // Ионосферные исследования. М., 1961. № 9. С. 47. [5] Финк Л. М. Теория передачи дискретных сообщений. М., 1970.

Поступила в редакцию
27.06.91