

рассмотреть плазменные волноводные системы, которые наиболее часто встречаются в эксперименте. Особый интерес представляет рассмотрение предельных состояний волна-пучок для поверхностных волн.

Авторы благодарны А. А. Коломенскому и А. А. Рухадзе за обсуждение полученных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Гришин В. К., Иванов С. Т., Каневский М. Ф. О предельном состоянии волна-пучок в плазменной среде. — Вестн. Моск. ун-та. Сер. Физ. Астрон., 1981, 22, № 1, с. 11—14. [2] Thode L. E., Sudan R. N. Plasma heating by relativistic electron beams. I. Two-stream instability. — Phys. Fluids, 1975, 18, p. 1552—1563. [3] Ковтун Р. И., Рухадзе А. А. К теории нелинейного взаимодействия релятивистского электронного пучка малой плотности с плазмой. — ЖЭТФ, 1970, 58, с. 1709—1714.

Поступила в редакцию
07.02.79

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1981, т. 22, № 2

УДК 621.396

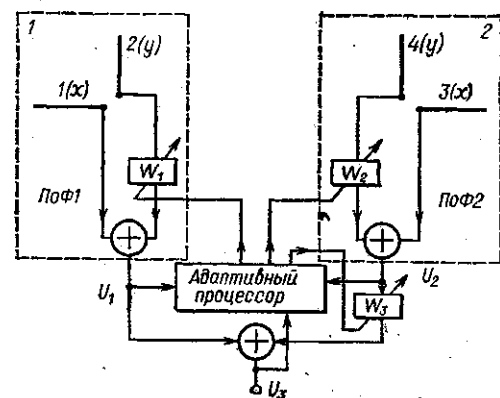
ПРОСТРАНСТВЕННО-ПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Ю. В. Березин, А. Н. Талицкий

(кафедра общей физики и волновых процессов)

Селекцию электромагнитных волн одной частоты $E_1(\omega_0)$ и $E_2(\omega_0)$ можно осуществить либо на основе их различия в углах прихода, либо в поляризации. Других физических параметров, отличающих эти две волны, не существует. Селекция волн по указанным признакам осуществляется с помощью пространственных [1] и поляризационных [2] фильтров.

Угловой и поляризационный способы селекции имеют свои достоинства и недостатки, ограничивающие область их применения. Возможно совместное использование угловых и поляризационных свойств электромагнитного поля и создание на этой основе пространственно-поляризационного способа селекции волн одной частоты. При падении одной волны на ионосферу возбуждается несколько отраженных волн. Физические причины их появления различны — возникают многократные отра-



жения от различных слоев ионосферы, причем каждое отражение состоит из двух магнитоионных компонент.

Для практических и научных целей важно уметь селективировать отдельные волны (моды, магнитоионные компоненты). Фильтрация электромагнитных волн одновременно по поляризационным и угловым признакам может быть использована для борьбы с многолучевостью ионосферных сигналов. Структура пространственно-поляризационного фильтра (ППФ) представлена на рисунке. Два поляризационных фильт-

ра (ПоФ1, ПоФ2), состоящие каждый из пары линейных скрещенных антенн и системы весовой обработки сигнала (ВОС1, ВОС2), разнесены на расстояние d и объединены в один пространственный фильтр (ПрФ) третьей системой ВОС3. Такой ППФ имеет три степени свободы: две — в пространстве фазора [3] и одну — в пространстве углов. Исследуем возможности ППФ при селекции частично рассеянных векторных волн. Пусть в точки наблюдения 1 и 2 приходят четыре частично рассеянные волны одной частоты $E_1(\omega_0)$, $E_2(\omega_0)$, $E_3(\omega_0)$, $E_4(\omega_0)$, различающиеся углами прихода и поляризацией. Назовем волны E_1 , E_2 двухлучевым сигналом, а волны E_3 , E_4 — двухлучевой помехой. Будем считать, что сигнал и помеха — стационарные, однородные, взаимно некоррелированные процессы. Кроме того, на входе антенной системы присутствует аддитивный шум, который является полностью неполяризованным и дельта-коррелированным. При обработке двухлучевой помехи ППФ функции подавления отдельных лучей можно разделить между пространственной и поляризационными ветвями. Возможны два варианта:

1. Поляризационные фильтры используются для подавления первого луча помехи, а пространственный фильтр используется для подавления второго луча помехи и интерференционной части поля, возникающей вследствие корреляции первого и второго лучей помехи.

2. Поляризационные фильтры используются для подавления первого луча помехи и интерференционной части поля, а пространственный фильтр используется для подавления второго луча помехи.

Рассмотрим первый вариант работы ППФ. Для обозначения ортогональных антенн используем индекс $i=1-4$ ($i=1, 2$ — антенны в точке 1, $i=3, 4$ — антенны в точке 2), для обозначения номера луча сигнала и помехи — индекс $k=1, 2$. Двухлучевые поля сигнала и помехи будем описывать с помощью вектор-столбцов $A_i = \|a_{ik}(t)\|$ — сигнал, $B_i = \|b_{ik}(t)\|$ — помеха. На выходе ПоФ1 сумма напряжений первого луча помехи и аддитивного шума $n_i(t)$ будет равна

$$U_1(t) = b_{11}(t) + n_1(t) + w_1[b_{21}(t) + n_2(t)],$$

где w_1 — комплексный весовой коэффициент системы ВОС1.

Соответствующая средняя мощность на выходе ПоФ1

$$\langle P_1(t) \rangle = \langle U_1(t) U_1^*(t) \rangle = \langle |b_{11}(t)|^2 \rangle + \sigma_n^2 + |w_1|^2 (\langle |b_{21}(t)|^2 \rangle + \sigma_n^2) + 2 \operatorname{Re}[\langle b_{11}(t) b_{21}^*(t) \rangle w_1^*],$$

где $\sigma_n^2 = \langle |n_1(t)|^2 \rangle = \langle |n_2(t)|^2 \rangle$.

(1)

Известно [4], что выбором w_1 можно обеспечить минимум средней мощности (1). Для этого необходимо, чтобы

$$w_1 = w_{10} = - \frac{R}{\rho(1+r)}, \quad (2)$$

где $\rho = \sigma_{21}/\sigma_{11}$, $\sigma_{ik}^2 = \langle |b_{ik}(t)|^2 \rangle$, $r = \sigma_n^2/\sigma_{21}^2$, $R = \langle b_{11}(t) b_{21}^*(t) \rangle / \sigma_{11}\sigma_{21}$ — коэффициент корреляции ортогональных проекций первого луча помехи в точке 1.

Вследствие однородности рассматриваемых процессов $w_{20} = w_{10} = w_0$, т. е. управление поляризационными фильтрами должно быть параллельным. Оптимизация ПрФ производится по критерию минимума средней мощности двухлучевой помехи и шума на выходе ППФ, определяемой выражением

$$\langle P_3(t) \rangle = (1 + |w_3|^2) [M_{11} + |w_0|^2 M_{22} + \sigma_n^2 (1 + |w_0|^2) + 2 \operatorname{Re}(w_0^* M_{12})] + 2 \operatorname{Re}[w_3^* (M_{13} + w_0 M_{23} + w_0^* M_{14} + |w_0|^2 M_{24})], \quad (3)$$

где $M_{jl} = e' B_{jl} e$, $e' = (1 \quad 1)$ — транспонированный вектор-столбец $e = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$, $B_{jl} = \langle B_j B_l^* \rangle$ — корреляционные матрицы поля помехи; $j, l = 1-4$.

Можно показать, что минимум $\langle P_3(t) \rangle$ достигается при

$$\omega_{3opt} = \omega_{30} = - \frac{R_{B13} + P_B (\omega_0 R_{B23} + \omega_0^* R_{B14}) + P_B^2 |\omega_0|^2 R_{B24}}{1 + r_1 (1 + |\omega_0|^2) + 2P_B \operatorname{Re}(\omega_0^* R_{B12}) + |\omega_0|^2 P_B^2}, \quad (4)$$

где $P_B = \sqrt{M_{22}}/\sqrt{M_{11}}$ — модуль фазора суммарного поля помехи; $P_{B12} = M_{12}/\sqrt{M_{11}M_{22}}$ — коэффициент корреляции ортогональных проекций поля помехи в одной точке пространства; $R_{B13}(d) = M_{13}/M_{11}$, $R_{B24}(d) = M_{24}/M_{22}$ — коэффициенты пространственной корреляции соответственно x - и y -проекций поля помехи; $R_{B23}(d) = M_{23}/\sqrt{M_{11}M_{22}}$, $R_{B14}(d) = M_{14}/\sqrt{M_{11}M_{22}}$ — коэффициенты взаимной пространственной корреляции ортогональных проекций поля помехи; $r_1 = \sigma_n^2/M_{11}$ — относительная мощность шума.

С помощью выражений (3), (4) определим минимальную среднюю мощность помехи и шума на выходе ППФ

$$\langle P_3(t) \rangle_{\min} = (1 - |\omega_{30}|^2) [M_{11} + |\omega_0|^2 M_{22} + \sigma_n^2 (1 + |\omega_0|^2) + 2 \operatorname{Re}(\omega_0^* M_{12})]. \quad (5)$$

Эффективность работы ППФ характеризуется числом μ , определяющим выигрыш в отношении сигнал/помеха (ОСП) на выходе ППФ по сравнению с максимальным значением ОСП на его входах (под помехой понимается двухлучевая сосредоточенная помеха плюс шум). Используя выражение (5) и вычисляя среднюю мощность двухлучевого сигнала на выходе оптимизированного ППФ, получим

$$\mu = \mu_0 \left\{ \frac{(1 + |\omega_{30}|^2) [1 + 2P_A \operatorname{Re}(\omega_0^* R_{A12}) + |\omega_0|^2 P_A^2]}{L (1 - |\omega_{30}|^2)} + \frac{2 \operatorname{Re}[\omega_{30}^* (R_{A13} + \omega_0 R_{A23} + \omega_0^* R_{A14} + |\omega_0|^2 R_{A24})]}{L (1 - |\omega_{30}|^2)} \right\}, \quad (6)$$

где

$$\mu_0 = \left(\frac{N_{11}}{M_{11}} \right) / \left(\frac{N_{jj}}{M_{jj} + \sigma_n^2} \right)_{\max}, \quad N_{jl} = e' \langle A_j A_l^* \rangle e,$$

$$L = 1 + r_1 (1 + |\omega_0|^2) + 2P_B \operatorname{Re}(\omega_0^* R_{B12}) + |\omega_0|^2 P_B^2.$$

Величины P_A , R_{Ajl} для сигнала имеют смысл, аналогичный величинам P_B , R_{Bjl} для помехи. Таким образом, формула (6) определяет выигрыш в ОСП (по мощности), который может быть получен при использовании ППФ для подавления двухлучевой помехи (при оговоренном выше разделении функций ПоФ1, ПоФ2 и ПрФ). Величина μ зависит от функций P_A , P_B , R_{Ajl} , R_{Bjl} , которые определяются свойствами полей сигнала и помехи. Аналитические выражения для этих функций можно получить, воспользовавшись модельными представлениями частично рассеянных полей. Не вдаваясь в детальный анализ μ , сделаем оценки, показывающие возможности ППФ.

Введем коэффициенты пропускания сигнала q_c и помехи q_n , как отношения средних мощностей на выходе и входе фильтра. Тогда $\mu = q_c/q_n$. Учитывая, что коэффициент пропускания $q_{\text{ППФ}} = q_{\text{ПоФ}} \times q_{\text{ПрФ}}$, эффективность ППФ представим в виде $\mu = \mu_{\text{ПоФ}} \cdot \mu_{\text{ПрФ}}$.

Эффективность ПоФ при подавлении однолучевой помехи [2] в среднем оценивается величиной $\mu'_{\text{ПоФ}} \sim 10^2$. В зависимости от числа K , равного отношению интенсивностей лучей помехи $1 \leq \mu_{\text{ПоФ}} \leq \mu'_{\text{ПоФ}}$.

Выигрыш в ОСП $\mu'_{\text{ПрФ}}$, получаемый при подавлении однолучевой помехи с помощью ПрФ с одной степенью свободы [4, 5], достигает величины $\sim 10^2 - 10^3$ в широком диапазоне углов прихода помехи. При этом $1 \leq \mu_{\text{ПрФ}} \leq \mu'_{\text{ПрФ}}$ в зависимости от K . В частных случаях $K \ll 1$ и $K \gg 1$ (помеха становится однолучевой) μ ППФ определяется эффективностью одного из парциальных фильтров. Несложно показать, что при $K=1$ и некоррелированных лучах помехи $\mu \approx \approx 2\mu'_{\text{ПоФ}} \mu'_{\text{ПрФ}} / (\mu'_{\text{ПоФ}} + \mu'_{\text{ПрФ}})$. Таким образом, следует ожидать весьма высокой ($\geq 10^2$) эффективности работы ППФ при подавлении двухлучевой частично рассеянной помехи. Если с помощью ПоФ подавлять не только первый луч помехи, но и часть поля, определяемую интерференцией лучей (второй вариант работы ППФ), то проведенное рассмотрение и формула (6) остаются в силе, изменяется лишь выражение для ω_0 . Из общих соображений и полученных формул следует, что μ ППФ в каждом случае сложным образом зависит от совокупности свойств векторных полей сигнала и помехи и ее исследование — самостоятельная задача. Анализ возможностей подавления двухлучевой помехи с помощью ППФ показывает, что эта задача может быть решена двумя способами, которые не имеют принципиальных отличий. Однако различие весовых коэффициентов ω_0 при двух вариантах использования ППФ предопределяет, вообще говоря, различие эффективности его работы в этих случаях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Уидроу, Мантей, Гриффитс, Гуд. Адаптивные антенные системы. — ТИИЭР, 1967, 55, № 12, с. 78—95. [2] Березин Ю. В., Гусев В. Д., Смирнов В. И. Экспериментальные исследования подавления одной магнитоионной компоненты при отражении волны от слоя F2. — Геомагнетизм и аэрономия, 1971, 11, № 2, с. 258—262. [3] Канарейкин Д. Б., Павлов Н. Ф., Потехин В. А. Поляризация радиолокационных сигналов. М., 1966, с. 35—36. [4] Гейбриэл Введение в теорию адаптивных антенных решеток. — ТИИЭР, 1976, 64, № 2, с. 55—95. [5] Риглер, Комптон мл. Адаптивная антенная решетка для подавления помех. — ТИИЭР, 1973, 61, № 6, с. 75—86.

Поступила в редакцию
13.02.79

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1981, т. 22, № 2

УДК 539.29;548.4

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ДИСЛОКАЦИЙ ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ВИБРАЦИИ ЩЕЛОЧНО-ГАЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ

Н. А. Тяпунина, А. А. Светашов

(кафедра молекулярной физики)

1. Введение. Как уже сообщалось ранее [1—3], высокочастотная вибрация в щелочно-галлоидных кристаллах вызывает поступательное движение дислокаций. Представляло интерес более детально изучить особенности этого движения дислокаций и влияние на параметры поступательного движения электростатического поля, поскольку дислокации в щелочно-галлоидных кристаллах имеют эффективный электрический заряд.