Э. Г. Мирзабекян

ДИАГРАММНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

В наших статьях [1—3] был описан новый раднометр поляризационный раднометр, —предназначенный для исследования поляризации радиоизлучения трехсантиметрового диапазона длин волн. В случае, когда сечение в Е-плоскости диаграммы направленности антенны этого радиометра отличается от сечения в Н-плоскости, и исследуемый источник радиоизлучения находится в пределах диаграммы направленности антенны, но не на электрической оси ее, примеияемый способ поляризационной модуляции дает новый эффект—эффект так называемой "диаграммной модуляции".

§ 1. ДНАГРАММНАЯ МОДУЛЯЦИЯ В СЛУЧАЕ ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА

Пусть диаграмма направленности нашей антенны в Еплоскости шире, чем в Н-плоскости, т. е. сечения пространственной днаграммы направленности антенны в декартовых и полярных координатах имеют вид, приведенный на рис. 1 и 2.

Пусть теперь точечный источник неполяризованного радноизлучения находится в пределах диаграммы направленности, но не на электрической оси ее.

Обозначим угол между электрической осью антенны и направлением на источник через β, а угол между направлением принимаемой поляризации и плоскостью падения через α (рис. За). Плоскость падения—плоскость, проведенная через электрическую ось антенны и источник радиоизлучения. Угол 3 лежит в плоскости падения и отсчитывается от направления электрической оси, а угол α лежит в плоскости, перпендикулярной электрической оси, и отсчитывается от направления плоскости падения.

Антенна поляризационного раднометра при приеме неполяризованного радноизлучения возбуждает в цилиндрическом волноводе одновременно излучение со всеми направлениями вектора *Е* принимаемой волны. С каждым направлением принимаемой поляризации связана диаграмма направленности антенны вдоль и поперек принимаемого вектора *Е*.



Рис. 1. Сечення диаграммы направленности антенны поляризационного радиометра в *E*- и *H*-плоскостях (в декартовых координатах)

I диаграмма направленности в Е-плоскости. II диаграмма направленности в Н-плоскости.

Хотя радиоизлучение исследуемого источника неполяризовано, т. е. интенсивности излучения для любых направлений поляризаций одинаковы, в цилиндрическом волноводе поляризационного раднометра принимаемое радиоизлучение может оказаться частично поляризованным.

В самом деле, рассмотрим интенсивность двух компонент—поляризованной в направлении плоскости падения и перпендикулярно ей—радиоизлучения, принимаемого от точечного неполяризованного источника, когда источник не находится на электрической оси антенны. Когда принимаем компоненту, поляризованную вдоль плоскости падения, то *Е*-сечение диаграммы направленности антенны также лежит в плоскости падения (*E*-сечением днаграммы направленности мы будем называгь сечение пространственной диаграммы вдоль вектора *E* принимаемой волны). Так как по условню днаграмма направленности в *E*-плоскости шире, чем в *H*-плоскости, то в этом случае диаграмма широкой стороной направлена на источник, и интенсивность принятого излучения в цилиндрическом волноводе будет опреде-

ляться радиусом - вектором OP_1 (рис. 2), проведенным в направлении на источник из центра полярной диаграммы.

Во втором случае, когда принимается компонента, поляризованная перпендикулярно плоскости падения, для определения интенсивности принимаемого излучения данного направления поляризации необходимо повернуть днаграмму так, чтобы *Е* - сечение диаграммы совпало с направлением принимаемой поляризации, т. е. необходимо повернуть днаграмму на 90. В этом



Рис. 2. Сечения полярной диаграммы направленности антенны. I сечение диаграммы направленности в Е-плоскости. II—сечение в Н-плоскости.

случае днаграмма направленности будет уже обращена узкой стороной к источнику, и интенсивность принятого излучения в направлении, перпендикулярном плоскости падения, определится раднусом-вектором OP_2 , проведенным из центра полярной днаграммы в направлении на источник до пересечения с днаграммой. Так как сечения диаграммы направленности в E- и H-плоскостях различны, то ясно, что $OP_1 \neq OP_2$, т. е. интенсивности принимаемого радиоизлучения в двух рассмотренных направлениях различны. Иными словами, в цилиндрическом волноводе действительно при прохождении точечного источника неполяризован-





Рис. 3. К расчету диаграммной модуляции в случае точечного источника радиополучения.

ного излучения через несимметричную диаграмму направленности антенны будет возникать частичная поляризация. Ввиду того, что диаграммы больше всего отличаются друг от друга в двух рассмотренных направлениях, то и разность между длинами векторов OP_1 и OP_3 наибольшая. Для промежуточных направлений длины векторов OP_n лежат в интервале между OP_1 и OP_2 :

$$OP_1 < OP_n < OP_2$$
.

Таким образом, в цилиндрическом волноводе интенсивность принятого в направлении α радиоизлучения при фиксированном значении угла β будет функцией угла α . Вид этой функции определится кривой $P_1 P_2$ (рис. 2) пересечения конуса с вершиной в центре полярной диаграммы и углом раствора, равным 2β , с поверхностью пространственной полярной диаграммы. В случае же выражения диаграммы в декартовых координатах, зависимость интенсивности от угла α будет выражаться кривой $P_1 P_2$ пересечения с поверхностью пространственной декартовой диаграммы кругового цилиндра с осью, совпадающей с осью диаграммы и радиусом, равным β (рис. 3а).

Ясно, что вид кривых $P_1 P_2$ или $P_1 P_2$, определяющих изменения принимаемых интенсивностей от угла α , зависит также от углового расстояния исследуемого источника от осн антенны — от угла β . Ясно также, что если диаграмма направленности антенны в *E*-плоскости шире, чем в *H*плоскости, то интенсивность в цилиндрическом волноводе будет нанбольшей для такого направления принимаемой поляризации, при котором диаграмма широкой стороной обращена к источнику, т. е. в направлении плоскости падения. Иначе говоря, направление частичной поляризации, возникающей при косых падениях ($\beta \neq O$) в цилиндрическом волноводе будет совпадать с направлением плоскости падения.

Определим величину этой частичной поляризации.

Общая мощность, поступающая в волновод при данном фиксированном значении угла 3, равна

$$P = \int_{0}^{1} E^{2}(\alpha,\beta) d\alpha, \qquad (1)$$

где $E(\mathbf{z}, \mathbf{\beta})$ — напряженность электрического поля в цилиндрическом волноводе в направлении z. Величина частичной поляризации равна разности мощностей в направлениях вдоль и перпендикулярно плоскости падения. (Как отмечалось выше, это направления максимальной и минимальной принимаемой интенсивности.)

Выбрав оси X и Y вдоль этих направлений, для этой разности получим

$$P_r = P_x - P_y = \int_0^{\frac{\pi}{2}} E^2(\alpha, \beta_n) \cos^2 \alpha d\alpha - \int_0^{\frac{\pi}{2}} E^2(\alpha, \beta_n) \sin^2 \alpha d\alpha =$$
$$= \int_0^{\frac{\pi}{2}} E^2(\alpha, \beta_n) \cos 2 \alpha d\alpha.$$
(2)

При несимметричной диаграмме направленности и при $\beta_n \neq O$ значение $E^s(\alpha, \beta_n) \neq \text{const}$ и поэтому $P_r \neq O$, т. е. при этих условиях в цилиндрическом волноводе будет возникать частичная поляризация принимаемого неполяризованного излучения. При работе модулятора-вращении пластинки 4 щаться, и вследствие этого в прямоугольном волноводеанализаторе будет происходить амплитудная модуляция принимаемого радиоизлучения. При этом показания выходного прибора радиометра будут пропорциональны величине частичной поляризации-значению интеграла (2). Выходной сигнал, обусловленный днаграммной модудяцией, будет максимальным при установлении оптимальных фазовых соотношений между сигналом и опорным напряжением на синхронном детекторе. (На выходе RC - усилителя имеется синхронный детектор.) Как известно, при синхронном детектировании постоянное напряжение на выходе синхронного детектора в первом приближении равно

 $U_{\rm BMX} \simeq 2 A_c \cos{(\varphi - \Phi)},$

где A_c — амплитуда сигнала; ¢ — фаза опорного напряжения; Ф — фаза модуляции сигнала. Фаза опорного напряжения ф постоянная, фаза же модуляции сигнала Ф — определяется направлением возникающей частичной поляризации.

Как было показано выше, направление частичной поляризации всегда совпадает с направлением плоскости падения и поэтому изменяется только при изменении направления этой плоскости. Так, при изменении направления плоскости падения на угол ψ' направление частичной поляризации изменяется на этот же угол, а фаза модуляции сигнала на величину двойного угла — $2\psi'$. Это удвоение вызвано прохождением сигнала через модулятор — "пластинку $\frac{k}{2}$. В частности, при изменении направления плоскости падения на 90° фаза диаграммной модуляции меняется на 180° что влечет за собой изменение направления постоянного тока на выходе син-

хронного детектора на обратный. Когда же источник неполяризованного излучения перемещается относительно электрической осн так, что плоскость падения не меняет своего направления, фаза диаграммной модуляции остается неизменной.

Так как фаза диаграммной модуляции определяется положением плоскости падения, то можно для каждого положения плоскости падения установить по нашему желанию такое положение фазовращателя - статора мотора, при котором, в зависимости от того, для какого рода измерений работает раднометр, эффект диаграммной модуляции становится либо максимальным, либо этот эффект полностью гасится. Так, скажем, если разность фаз устанавливается равной 90°, поляризационный радиометр становится нечувствительным к диаграммной модуляции при любом таком перемещении источника относительно электрической осн антенны, при котором положение плоскости падения не изменяется. Иными словами, в этом случае диаграммная модуляция полностью "гасится" для любых значений угла 3. Если же эта разность фаз устанавливается равной 0 или 180°, то эффект диаграммной модуляции становится максимальным. При работе же с секцией - "пластинкой $\frac{\lambda}{4}$ " диаграммную модуляцию можно погасить, если установить "пластянку $\frac{\lambda}{4}$ " под углом $\pm 45^{\circ}$ к направлению плоскости падения — направлению частичной поляризации.

Найдем ход кривой показаний выходного прибора при прохождении неполяризованного точечного источника радиоизлучения через диаграмму направленности антенны. Источник перемещается так, что положение плоскости падения остается неизменным. Предположим, что положение фазовращателя установлено так, чтобы разность между фазой опорного напряжения и фазой модуляции сигнала, обусловленного диаграммной модуляцией, была бы равна 0 или 180°.

Для того, чтобы рассчитать кривую днаграммной модуляции, необходимо вычислить значение интеграла (2) как функцию параметра 3. Для вычисления последнего интеграла необходимо знать вид функции E² (а, 3_n). Вид этой функции можно определить графическим способом. Для этого строим проекции кривых пересечения пространственной декартовой диаграммы направленности антенны с плоскостями, проведенными параллельно основанию, через интервалы, равные 0,04 максимальной ординаты. Эти проекции представляют собой эллипсы равной интенсивности. Далее, из центра О пересечения осей эллипсов, представляющего собой точку пересечения электрической оси с плоскостью рисунка, проводим концентрические окружности с раднусами β_n через каждые $\Delta \beta_n = 4'$. (На рис. 3b, проведена только одна окружность.) Каждой точке Мри, взятой на окружности, можно приписать соответствующий коэффициент интенсивности, равный коэффициенту интенсивности эллиптического пояса, на котором лежит данная точка. Этим путем можно определить вид функции E³ (а, β_n) для каждого фиксированного углового растояния β_n . Построенные таким образом кривые зависимости E² от а показывают, что с достаточной степенью точности зависимость эта линейна, т. е.

ДИАГРАММНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

$$E^{2}(\alpha,\beta_{n}) = k(\beta_{n})\alpha + C,$$

где $k(\beta_n)$ — тангенс наклона прямой, выражающей зависимость принимаемой интенсивности от угла α , а C — постоянная, которая потом сокращается. Коэффициент $k(\beta_n)$ равен

$$k(\mathfrak{f}_n) = \frac{E^2(\mathfrak{a}=0,\mathfrak{f}_n) - E^2\left(\mathfrak{a}=\frac{\pi}{2},\mathfrak{f}_n\right)}{\frac{\pi}{.2}}.$$

Таким образом, величина частичной поляризации, как функция параметра 3_n, дается выражением

$$P_r = \int_{0}^{\frac{3}{2}} k(\beta_n) \alpha \cos 2\alpha d\alpha.$$

Подставляя сюда значение $k(\mathfrak{Z}_n)$ и выполнив интегрирование, получим

$$P_{r} = \frac{E^{2}(a = 0, \beta_{n}) - E^{2}\left(a = \frac{\pi}{2}, \beta_{n}\right)}{\pi}$$
(3)

Так как показания выходного прибора пропорциональны интенсивности частичной поляризации, то по формуле (3) можно построить кривую зависимости показаний выходного прибора от угла 3. Иными словами, эта кривая будет кривой изменения показаний выходного прибора раднометра при прохождении неполяризованного точечного источника радноизлучения через диаграмму направленности антенны.

§ 2. ДНАГРАММНАЯ МОДУЛЯЦИЯ В СЛУЧАЕ ПРОТЯЖЕННОГО ИСТОЧНИКА—СОЛНЦА

Зная величину диаграммной модуляции для точечного источника можно рассчитать диаграммную модуляцию для протяженных источников.

Рассчитаем диаграммную модуляцию для Солнца, рассматривая его как совокупность точечных источников.

Каждая элементарная поверхность ΔS_{mu} (рис. 4) Солнца в зависимости от своего расположения относительно



Ψ=180°

Ymn

электрической оси антенны дает диаграммную модуляцию



Рис. 4. К расчету днаграммной модуляции в случае протяженного источника радноизлучения-Солнца.

сигнала диаграммной модуляции определяется положением плоскости падения. Пусть центр Солнца двигается относительно электрической оси антенны в направлении оси У. Пусть при этом фаза установлена оптимальной для сигнала, поляризованного в направлении плоскости падения, т. е. в направлении оси У. Тогда для всех элементарных поверхностей Солнца, лежащих на диаметре, совпадающем с осью У, фаза диаграммной модуляции будет оптимальной, а для всех других элементарных поверхностей, находящихся на

угловом расстоянии это от оси Y, она будет сдвинута на угол 2 это.

Для вычисления днаграммной модуляции от всего Солнца при фиксированном угловом расстоянии β_n его центра от оси антенны вычислим днаграммную модуляцию от каждой S_{mn} полоски Солнца, составленной из элементарных поверхностей ΔS_{mn} , отстоящих на одинаковом угловом расстоянии β_m от электрической оси антенны и затем просуммируем по днску Солнца эффект от каждой такой полоски. Внутри каждой такой полоски β_m постсянно и поэтому эффект диаграммной модуляции от элементарной поверхности диска внутри этой полоски есть функция только угла z_{mn} . Выход радиометра ΔI_{mn} , обусловленный диаграммной модуляцией элементарной поверхности ΔS_{mn} , равен

$$\Delta I_{mn} = I(\mathfrak{Z}_m) \cos 2\,\mathfrak{P}_{mn}\,\Delta S_{mn},\tag{4}$$

где $I(\beta_m)$ — выход, обусловленный диаграммной модуляцией от точечного источника, находящегося на угловом расстоянии β_m от оси антенны в направлении оси *Y*.

Выход же, обусловленный диаграммной модуляцией от всей полоски S_{mn} диска Солнца, равен интегралу выражения (4) по всей площади полоски:

$$I_{mn} = \iint_{S_{mn}} I(\mathfrak{Z}_m) \cos 2 \, \varphi \, d \, S.$$

Очевидно, эффект диаграммной модуляции от половинок полосок S_{mn} , лежащих вправо от оси Y, равен эффекту от левых половинок. Учитывая это и сделав соответствующие преобразования, получим

$$I_{mn} = 2 \iint_{\mathbb{S}} I(\mathfrak{Z}_m) \cos 2 \,\mathfrak{z} \, dS, = 2 \int_{0}^{\mathfrak{Z}_{mn}} \int_{\mathfrak{Z}_m} I(\mathfrak{Z}_m) \cos 2 \,\mathfrak{z} \cdot \mathcal{Z} \, d\mathcal{Z} \, d\mathfrak{z}.$$

Вынося постоянную внутри данной полоски величину *I* (3_{*m*}) из-под знака интеграла и выполнив простое интегрирование, будем иметь

$$I_{mn} = I(\mathfrak{Z}_m) (\mathfrak{Z}_m^2 - \mathfrak{Z}_{m-1}^2) \frac{\sin 2 \mathfrak{Z}_{mn}}{2}.$$

Полставив сюда $\frac{S_{ma}}{z_{ma}} = \beta_m^2 - \beta_{m-1}^2$ получим

$$I_{mn} = I(\mathfrak{Z}_m) \frac{\sin 2\,\mathfrak{Q}_{mn}}{2\mathfrak{Q}_{mn}^2} \cdot S_{mn}.$$

Далее, просуммировав эффект диаграммной модуляции от всех полосок диска Солнца, т. е. взяв сумму вида

$$\sum_{m} I_{mn} = \sum_{m} I(\mathfrak{Z}_{m}) \quad \frac{\sin 2 \, \mathfrak{c}_{mn}}{2 \varphi_{mn}^{*}} \, S_{mn}, \tag{5}$$

получим выход поляризационного раднометра, обусловленный диаграммной модуляцией от всего Солица. чентр которого находится на угловом расстоянии 3_n от электрической оси антенны.



Рис. 5. Расчетная кривая диаграммной модуляции.

Для получения кривой изменения показаний выходного прибора, обусловленного диаграммной модуляцией Солнца при движении его вдоль направления оси У, вычисляем суммы вида (5) для ряда последовательных положений Солнца. По этим вычисленным значениям и строим указанную кривую.

Вид расчетной кривой приведен на рис. 5, где по оси абсцисс отложено угловое расстояние центра диска Солнца

14

диаграммная модуляция

от электрической оси антенны, а по оси ординат-показания выходного прибора в условных единицах.

Как видно из этого рисунка, кривая диаграммной модуляции имеет двугорбый вид: когда электрическая ось антенны направлена на центр диска Солнца, показания выходного прибора падают до нуля, далее, по мере смещения Солнца относительно электрической оси в ту или другую сторону показания вначале растут, достигая максимума при угловом расстоянии между центром диска Солнца и электрической осью антенны, примерно равном 35', а затем они падают при дальнейшем увеличении этого расстояния.

Простые качественные соображения легко объясняют такой ход кривой диаграммной модуляции. Выше было указано, что фазовращатель позволяет установить желаемую разность между фазой днаграммной модуляции и фазой опорного напряжения для любого направления плоскости падения, т. е. для любого направления отклонения Солица от электрической оси антенны. Скажем, мы установили эту разность фаз у равной нулю для плоскости падения, параллельной осн У (рис. 6). Тогда для направления оси х, как это ясно из сказанного выше, 🖞 = 180, а для направлений ll' н kk' v = 90°. При этом обусловленный диаграммной модуляцией постоянный ток от всех элементарных поверхностей Солнца, находящихся в секторах lok и l'ok', будет положительным, а от всех элементарных поверхностей, находящихся в секторах lok' и l'ok, этот ток будет отрицательным, что на схематическом рисунке показано соответственно знаками "+" и "-". Величина же сигнала диаграммной модуляции от той или иной элементарной поверхности определяется ее расположением относительно электрической оси антенны. Когда электрическая ось антенны направляется на центр диска Солнца (рис. 6а), эффекты диаграммной модуляции от равных по площадям и симметрично расположенных "+" и "-" областей Солнца взаимно компенсируют друг друга и поэтому показания выходного прибора падают до нуля. При удалении диска Солнца от электрической оси антенны (рис. 6b) такая компенсация, конечно, нарушается, и показания выходного прибора, обус-

Э. Г. МИРЗАБЕКЯН

ловленные диаграммной модуляцией, растут и достигают максимума, когда весь диск Солнца оказывается в "+" секторе (рис. 6с), а центр его — на угловом расстоянии Зтах от электрической оси антенны. На угловом расстоянии Зтах



Рис. 6. К объяснению вида кривой диаграммной модуляции в случае протяженного источника радиоизлучения.

эффект диаграммной модуляции от точечного источника достигает максимальной величины — на этом расстоянии разница в *E*- и *H*-сечениях диаграммы направленности антенны максимальна. Далее, при дальнейшем движении Солнца, эффект .диаграммной модуляции уменьшается: Солнце постепенно выходит из диаграммы направленности антенны—показания выходного прибора убывают до нуля.

В настоящей статье численный расчет диаграммной модуляции сделан для одного конкретного случая, когда диаграммы направленности антенны в *E*- и *H*-плоскостях имеют вид, приведенный на рис. 1. Конечно, высота максимумов кривой, начерченной на рис. 5, т. е. максимальная величина сигнала диаграммной модуляции, и угловое расстояние источника от элекгрической оси антенны, когда сигнал диаграммной модуляции достигает этой максимальной величины, зависят от степени асимметрии диаграмм направленности в *E*- и *H*-плоскостях.

Имеется ряд способов, позволяющих по нашему желанию, в зависимости от того, для решения какого рода задач предполагается использовать поляризационный радиометр, в той или иной степени менять разницу в ширине диаграмм направленности антенны в *Е*-и *Н*-плоскостях, и тем самым ослаблять или усиливать эффект диаграммной модуляции и уменьшать или увеличивать угловое расстояние от электрической оси, при котором сигнал диаграммной модуляции достигает максимальной величины.

В заключение следует отметить, что описанный в настоящей статье новый эффект—эффект диаграммной модуляции—открывает широкие и интересные возможности использования поляризационного радиометра.

Է. 1. ՄԻՐՉԱՐԵԿՑԱՆ

ԴԻԱԳՐԱՄԱՅԻՆ ՄՈԴՈՒԼՅԱՑԻԱ

Ամփոփում

Հոդվածում նկարադրվում է մի նոր էֆնկա, որն առաջանում է բևեռացման ռադիոմետրի օգնուխյամը չափումներ կատարելիսայսպես կոչված դիագրամային մոդուլյացիայի էֆնկտը։

իֆիկտի էությունը կալանում է հետևլալում. և և բևեռացման ռադիոմնարի անտենայի ուղղվածության դիսպրանները E-և 289-2



Η հարթություններում սիմետրիկ չեն և հետազոտվող ռադիոճառադալթման աղբյուրը չի դոնվում անտենայի էլեկտրական առանցքի վրա, ապա այդ աղբյուրից ընդունվող հղորությունը ալիբամուղում մոդուլյացիայի է ենթարկվում մոդուլյատորի պարաման կրկնակի հաճախականությամբ և հլջում առաջ է դալիս դիագրամային մոդուլյացիայի սիդնալ։

Տեսականորեն ջննարկված է դիադրամային մոդույյացիան, հաշվված է այդ էֆեկտը կնտային և ձդված աղբյուրների դեպթերում։ Այդ հաշվուքնների հիման վրա կառուցված դիադրամային մոդուլյացիայի կորը ունի Թամբի ձև։ Երբ աղբյուրը դանվում է անտենայի էլեկտրական առանցջի վրա դիագրամային մոդուլյացիայի սիդնալը հավասար է զնրոյի։ Այդ առանցջից հեռանայիս սիդնալն աճում է, հասնելով մաջսիմումի E և H հարթություն ներում անտենայի ուղղվածության դիագրաքնների ասիմնարիայի աստիճանով որոշվող անկյունային հեռավորության վրա։ Այնուհետև այն ընկնում է, հասնելով գերոյի, երբ աղբյուրը դուրս է գալիս անտենայի ուղղվածության դիագրամից։ Դուրս է բերված գիագրամային մոդուլյացիայի ֆազայի կապը աղրյուրի էլեկտրական առանցջից ունեցած շեղման ուղղությունը։

Դիադրամալին մոդուլլացիալի էֆեկտը կարող է ուժեղացվել և խուլացվել կախված այն բանից, խև ինչ տիպի չափունևերի համար է օգտադործվում բևեռացման ռադիոմեարը։ Այդ էֆեկտի առկալուխլունը բաց է անում բևեռացման ռադիոմետրի օգտագործման լայն հնարավորություններ։

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Н. Л. Кайдановский, Э. Г. Мирзабекян, С. Э. Хайкин, Труды V совещания по вопросам космогонии, стр. 113, Москва, 1956.
- 2. Э. Г. Мирзабекян, Сообщения Бюраканской обсерватории, вып. XIX, 1956.
- 3. Э. Г. Мирзабекян, Сообщения Бюраканской обсерватории, вып. XX, 1956.

18