

УДК 551.510.535

О ЯВЛЕНИИ ПЕРЕНОСА МОДУЛЯЦИИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ИОНОСФЕРНУЮ ПЛАЗМУ МОЩНЫМ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕМ

В. Л. Фролов

Приведены результаты экспериментального исследования явления переноса модуляции мощного радиоизлучения на зондирующись возмущенную область ионосферы радиоволны и выявлен целый ряд характеризующих его особенностей.

Быстрое изменение амплитуды пробной волны*, вызванное модуляцией мощности излучения волны накачки, наблюдалось уже в первых проведенных в США экспериментах по исследованию воздействия мощным радиоизлучением на ионосферную плазму [1]. В настоящей работе проводится анализ полученных нами экспериментальных результатов исследования этого явления, открывших целый ряд новых его особенностей.

Все обсуждаемые ниже измерения были проведены при нагреве ионосферной плазмы мощным радиоизлучением обычновенной поляризации с амплитудной модуляцией типа «меандра» (АММ) [2]. Частота модуляции несущей волны накачки изменялась в интервале от 0,05 Гц



Рис. 1.

до 25 Гц. Возмущение ионосферной плазмы производилось на частоте 5,75 МГц с эффективной средней мощностью (с учетом КНД антенны) $P_{\text{эфф}} \approx 12 \text{ МВт}$. Диагностика возбуждаемой искусственной ионосферной турбулентности осуществлялась по эффекту самовоздействия мощного радиоизлучения и с помощью вертикального зондирования

* Пробные волны (ПВ) — радиоволны малой мощности, с помощью которых производится зондирование возмущенной области (ВО) ионосферы.

ВО пробными волнами различной поляризации в широком (от 5,3 до 8,2 МГц) диапазоне частот.

На рис. 1 приведен пример регистрации, который иллюстрирует основные особенности явления переноса модуляции мощного радиоизлучения на пробные волны. Запись на верхней дорожке ленты самописца соответствует режиму излучения мощного передатчика (ЭИС) с частотой модуляции $F_{\text{мод}} = 0,5 \text{ Гц}$. На двух других дорожках записаны сигналы ПВ обыкновенной поляризации на частоте 5,65 МГц для первого (O_1) и второго (O_2) отражений от ионосферы.

Проведенные экспериментальные исследования эффекта переноса модуляции выявили следующие характеризующие его свойства.

1) Сопоставление результатов измерений на разных частотах ПВ для различных их поляризаций и кратности отражений от ионосферы приводит к выводу, что перенос модуляции на ПВ происходит в верхней ионосфере вблизи уровня отражения мощного радиоизлучения в отличие от обычных эффектов кросимодуляции, которые наблюдаются в нижней (D -слой) ионосфере.

2) Появление модуляции ПВ часто можно заметить уже на первых импульсах нагрева, но полного своего развития для пробных волн O -поляризации эффект достигает через $3 \div 10 \text{ с}$ для частот, близких ($\pm 100 \text{ кГц}$) к частоте волны накачки. Это время возрастает до $15 \div 20 \text{ с}$ при дальнейшем увеличении отстройки. При развитии модуляции ПВ глубина провалов плавно нарастает.

3) Характерные времена падения и восстановления уровня сигнала ПВ при развитом эффекте переноса модуляции в основном лежали в пределах $0,2 \div 1 \text{ с}$.

В большинстве случаев имело место запаздывание $\sim 0,2 \div 0,5 \text{ с}$ с момента начала уменьшения амплитуды пробной волны и начала ее восстановления относительно времени включения и выключения волны накачки, которое заметно на рис. 1 (дорожка O_1).

В одном сеансе наблюдений, когда $F_{\text{мод}} = 1 \text{ Гц}$, но передатчик нагрева выключался только на короткое время $\sim 120 \text{ мс}$, было зарегистрировано увеличение уровня пробной волны спустя $\sim 0,5 \text{ с}$ после начала нагрева еще при включенном волне накачки (рис. 2).

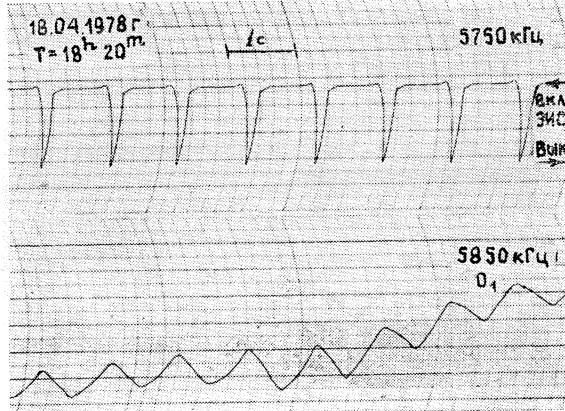


Рис. 2.

4) Измерения показали, что максимальная глубина модуляции, достигающая 70—90%, наблюдается на частотах $F_{\text{мод}} \approx 0,1 \div 0,3 \text{ Гц}$. Для $F_{\text{мод}} > 3 \text{ Гц}$ глубина модуляции, как правило, не превосходит 10—15%, уменьшаясь при дальнейшем росте частоты. Последнее соот-

ветствует результатам измерений [1], которые проводились при частоте модуляции, равной 5 Гц.

5) Перенос модуляции мощного радиоизлучения на ПВ наблюдался только при средней мощности нагрева в режиме АММ $P_{\text{эфф}} > 4 \text{ МВт}$, которая в данной серии экспериментов практически совпадала со значением пороговой мощности эффекта аномального ослабления (АО)*. В то же время развитие эффекта АО приводит к резкому уменьшению амплитуды модуляции (см., например, дорожку O_1 рис. 1). При $F_{\text{мод}} < 1 \text{ Гц}$, когда эффект АО подавлен или совсем не наблюдается, модуляция амплитуды зондирующего радиоизлучения может иметь значительную величину во время всего сеанса нагрева ионосферы.

6) Эффект переноса модуляции имеет место и в случае ПВ необыкновенной поляризации. (Наблюдения на x -компоненте проводились в диапазоне $f_{\text{пр}x} = 5,8 \div 8,3 \text{ МГц}$.) На частотах, близких к частоте волны накачки, времена полного развития амплитуды модуляции сигнала заметно превышают соответствующие времена для волн O -поляризации и имеют значения $\sim 15 \div 30 \text{ с}$. При этом глубина модуляции для волн X -поляризации оказывается в 2–3 раза меньше. С ростом частоты ПВ эти отличия в характеристиках эффекта для разных поляризаций стираются и при $f_{\text{пр}} > 7 \text{ МГц}$ они почти полностью повторяют друг друга. Поэтому естественно указанное различие в первую очередь связывать с положением уровня отражения ПВ различных поляризаций в ионосферной плазме относительно высоты отражения мощного радиоизлучения.

Напомним, что при изучении эффекта аномального ослабления не было обнаружено поглощения пробных волн X -поляризации в ВО ионосферы [3].

7) При исследовании эффекта переноса модуляции не было замечено какой-либо однозначной корреляции между характеристиками эффекта для разной кратности отраженных от ионосферы сигналов, а также для различных частот и поляризаций пробных волн: модуляция могла отсутствовать на втором отражении при хорошем его развитии на первом (как, например, на рис. 1); часто для разной кратности отраженных от ионосферы сигналов имели место заметные различия в характерных временах модуляции амплитуды пробной волны и во временах запаздывания начала ее изменения относительно моментов включения и выключения волны накачки. Такая взаимная фазировка изменений мощного радиоизлучения и амплитуды ПВ часто была также различной для отличающихся по частоте ПВ, одновременно зондирующих ВО, и имели место случаи резкого ее изменения на протяжении одного сеанса нагрева. На рис. 3 приведен пример записи, когда в течение 10 с взаимная фазировка амплитудной модуляции сигналов мощного радиоизлучения и пробной волны дважды изменяется на об-

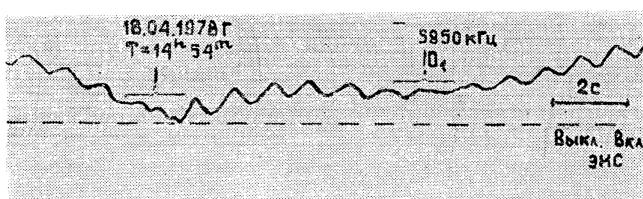


Рис. 3.

* Характеристики эффекта аномального ослабления — значительного поглощения энергии пробных волн обыкновенной поляризации на частотах, близких к частоте волны накачки. — исследовались в работах [2, 3].

ратную. Из рисунка также хорошо видно, что при этом несколько изменяется сама форма модуляции пробной волны.

Все вышеперечисленные свойства могут указывать на локальный характер взаимодействия ПВ с возмущенной ионосферной плазмой. При этом сами параметры возмущения, вероятнее всего, должны испытывать значительные вариации внутри ВО.

Совокупность рассмотренных выше свойств эффекта переноса модуляции со всей очевидностью также показывает, что наблюдаемое явление не является простым следствием эффекта АО зондирующего сигнала и не может быть объяснено на его основе. Основанием для этого вывода служит, в первую очередь, существование переноса модуляции на ПВ X -поляризации, для которых АО принципиально не может иметь места [4]. Его также нельзя связывать с эффектами разогрева плазмы верхней ионосферы во время воздействия на нее импульсом мощного радиоизлучения, как это принималось в [1], поскольку характерные времена процесса модуляции амплитуды пробных волн оказываются существенно меньше характерных времен переноса тепла, не говоря уже о величине и знаке изменения уровня отраженного от ВО сигнала.

Заключительные замечания. При исследовании зависимости АО собственно волны накачки в ВО ионосферы от частоты ее модуляции было получено, что на частотах $F_{\text{мод}} \approx 0,2 \div 1 \text{ Гц}$ наблюдается резкое подавление эффекта АО; эквивалентное уменьшение потерь энергии мощного радиоизлучения в плазме составляло при этом более 10 дБ [2]. Для $F_{\text{мод}} > 3 \text{ Гц}$ величина АО совпадала со случаем нагрева ионосферы непрерывной волной той же средней мощности. Здесь неожиданным результатом явилось обнаружение резкого и значительного уменьшения амплитуды отраженной от ионосферы волны накачки уже во время импульса нагрева, особенно сильно проявляющееся при частотах модуляции $F_{\text{мод}} \approx 0,2 \div 1 \text{ Гц}$. Характерное время падения амплитуды сигнала, как правило, не превышало $0,2 \div 0,5 \text{ с}$. Такое быстрое уменьшение уровня отражения мощной волны на импульсе нагрева, как и в случае переноса модуляции, наблюдается только в отсутствие развитого эффекта АО.

Некоторые особенности наблюдаемых явлений обсуждались в работах [?, 5], где рассматривалась их связь с начальной стадией развития мелкомасштабного расслоения ионосферной плазмы. Однако в настоящее время целый ряд экспериментальных данных еще не имеет своего адекватного объяснения. Исследования в этом направлении как в экспериментальном, так и в теоретическом плане несомненно послужат дальнейшему углублению представлений о взаимодействии мощного радиоизлучения с плазмой.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Utlaut W. F. — J. Geophys Res, 1970, 75, p. 6402.
- 2 Фролов В. Л. Диссертация — Горький, НИРФИ, 1979.
- 3 Беликович В. В. и др. — Изв. вузов — Радиофизика, 1975, 18, № 4, с 516.
- 4 Митяков Н. А., Трахтенгерц В. Ю., Рапопорт В. О. — Изв. вузов — Радиофизика, 1975, 18, № 9, с. 1273.
- 5 Ерухимов Л. М. и др. — В сб: Тепловые нелинейные явления в плазме — Горький. ИПФ АН СССР, 1979, с. 7.

Научно-исследовательский
радиофизический институт

Поступила в редакцию
10 июня 1980 г.

PHONOMENON OF MODULATION TRANSFER UNDER THE ACTION OF A POWERFUL RADIATION ON IONOSPHERE PLASMA

V. L. Frolov

Experimental results of a modulation transfer of a powerful radiation to diagnostic radio waves are given and a number of peculiarities are found out.