

**ACADEMY OF SCIENCES
OF THE USSR**

**SPACE
RESEARCH
INSTITUTE**

**АКАДЕМИЯ НАУК
СССР**

**ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

**PROCEEDINGS OF THE
IVth INTERNATIONAL SEMINAR**

**MANUFACTURING OF SCIENTIFIC
SPACE INSTRUMENTATION**

**INSTRUMENTS FOR STUDYING
SPACE PLASMA AND
COSMIC RAYS**

USSR, Frunze, September 18-24, 1989

**Т Р У Д Ы
V МЕЖДУНАРОДНОГО СЕМИНАРА
НАУЧНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ
ПРИБОРОСТРОЕНИЕ**

**ПРИБОРЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ И
КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ**

СССР, Фрунзе, 18-24 сентября 1989

Edited by V.M. Balebanov

Под редакцией В.М.Балебанова

THE STOCHASTIC MEASUREMENT DEVICE
FOR THE STUDY OF NON-UNIFORMITY OF THE ION FLUX.

V.V.Afonin, N.F.Smirnova

Space Research Institute, Academy of Sciences

K.Kubat, Ja.Shmilauer

Geophysical Institute of Czechoslovak Academy of Sciences

The paper considers a method of stochastic measurements for spectral analysis of plasma ion oscillations measured by retarding potential analyzers (plain ion traps) and describes a device which will be used in the experiment on cold plasma measurements.

The experiment with similar sensors was made on the geophysical rocket "Vertical-10" /1/, which was launched on Dec. 21, 1981 in the Volgograd region to a height of ~ 1500 km. As is shown below these measurements can yield very interesting data on the ionosphere plasma behavior on the wave processes in the ionosphere, obtained from the spectral analysis of the ion trap collector current. These results will be described in more detail elsewhere.

The ion trap (retarding potential analyser or multigrid Faraday cup) measures the ion flux $n \cdot v$ entering the input aperture (n - ion density, v - ion velocity relative to the trap) so the spectral analysis of this value can provide information either on the space distribution of density non-uniformities due to the wave process or on the regular particle velocity variations (with constant density) - i.e., on wave processes.

Fig.1 shows as an example two energy spectra of the thermal plasma measured simultaneously by two oppositely directed (upward and downward) ion traps on the geophysical rocket "Vertical-10", Fig.2 gives the results of spectral analysis of the "tails", i.e., of the ion flux with $E \geq 6$ eV in the frequency range 0..200 Hz. The collector current interrogation rate was equal to 400 s^{-1} , the amplification was made by the direct current amplifier with three automatically switched ranges and a sensitivity of $3.3 \cdot 10^{-13} \text{ A/bit}$. For the spectral analysis 512 points of the i, v -curve were used, acquired during 1 sec. The spectra comprise the isolated peaks at a frequency of 126 Hz, approximately by two orders of magnitude higher than the noise level (of the instrument, TM-channel etc.). Furthermore, during the ascent of the rocket side peaks appear in addition to the isolated peak (the monochromatic wave), and the turbulization of a monochromatic wave is observed - the appearance of the noise bands and a number of 24 Hz frequency harmonics (up to 8 harmonics). During the flight ~ 500 spectra were acquired. To make the picture more spectacular a chronospectrogram was constructed - the averaged spectra with a small shift in the vertical direction (Fig.3).

Therefore the ion trap data can be used to derive qualitatively new data on the wave processes in the ionosphere.

These data can be obtained at a high sampling rate of the current collector. If the process are studied with a maximum frequency F it is necessary, as it is well known, to have a sampling rate not less than $2F$ which calls for the considerable amount of TM data.

This paper proposes to use a method of stochastic measurements aimed to decrease twice the necessary amount of the TM-data (or, what is the same, to expand by a factor of two the frequency range at hand with the same data amount).

The "ACTIVNY" satellite launched on September 28, 1989 carried the experiment KM-6. This experiment comprises the retarding potential analyser which provides the measurements intended for the spectral analysis of RPA saturation current.

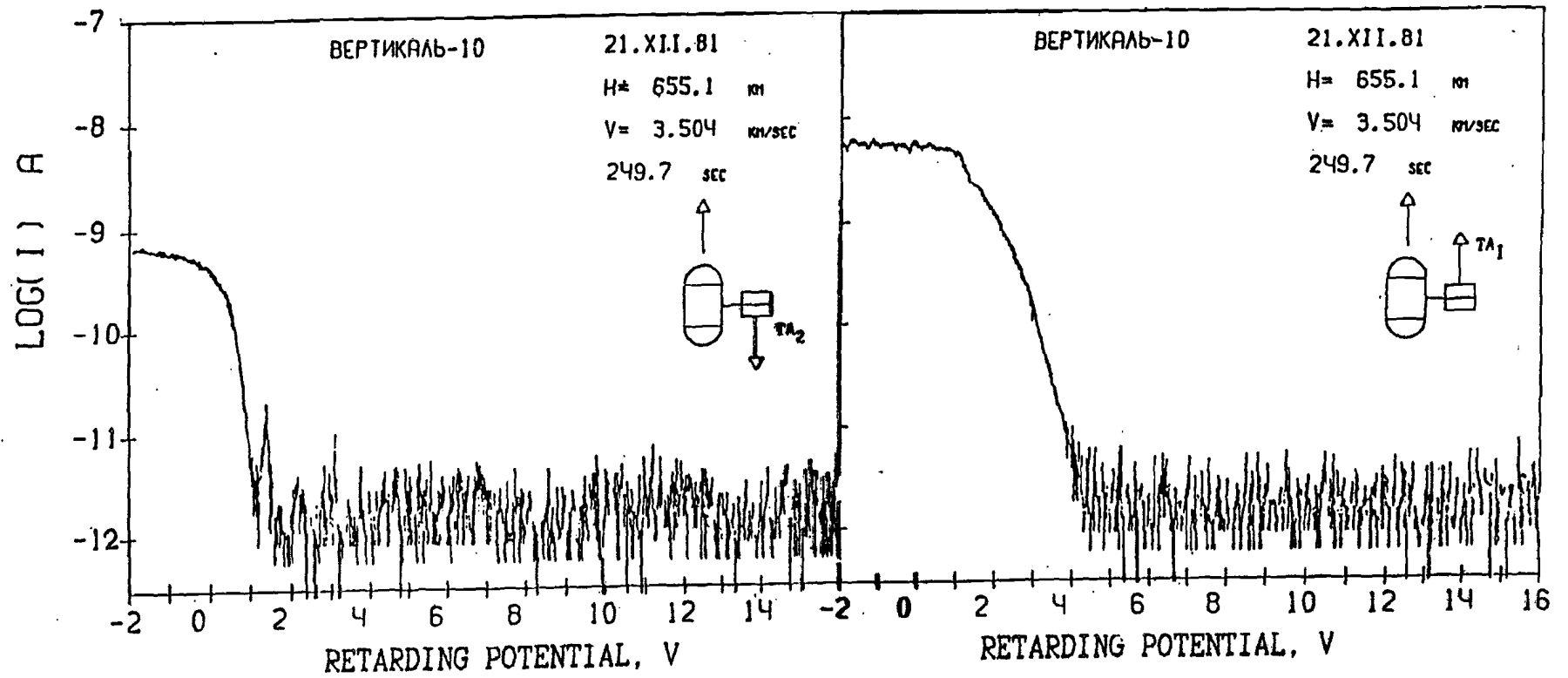


Fig.1 Two energetic spectra of the ionospheric plasma measured simultaneously by two oppositely directed (up and down) retarding potential analysers aboard the geophysical rocket "Vertical-10".

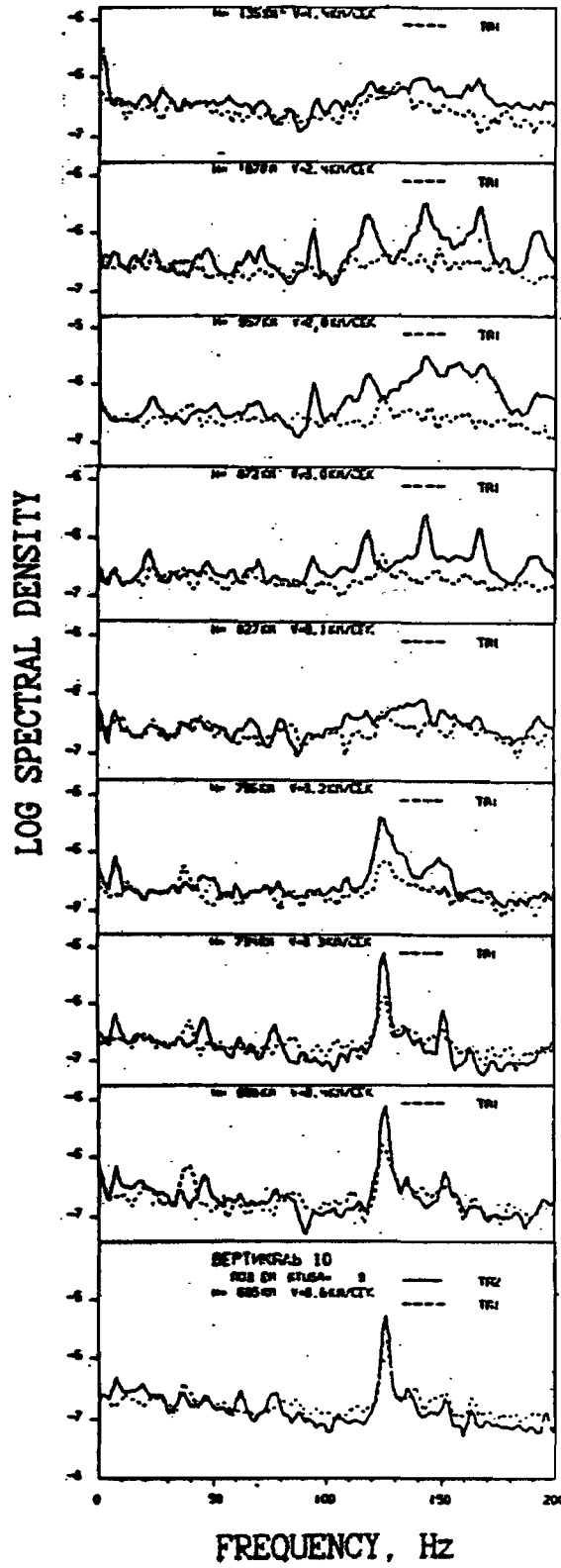


Fig.2 The results of spectral analysis of "tails", i.e., of ion flux with $E \geq 6$ eV in the frequency range 0..200 Hz

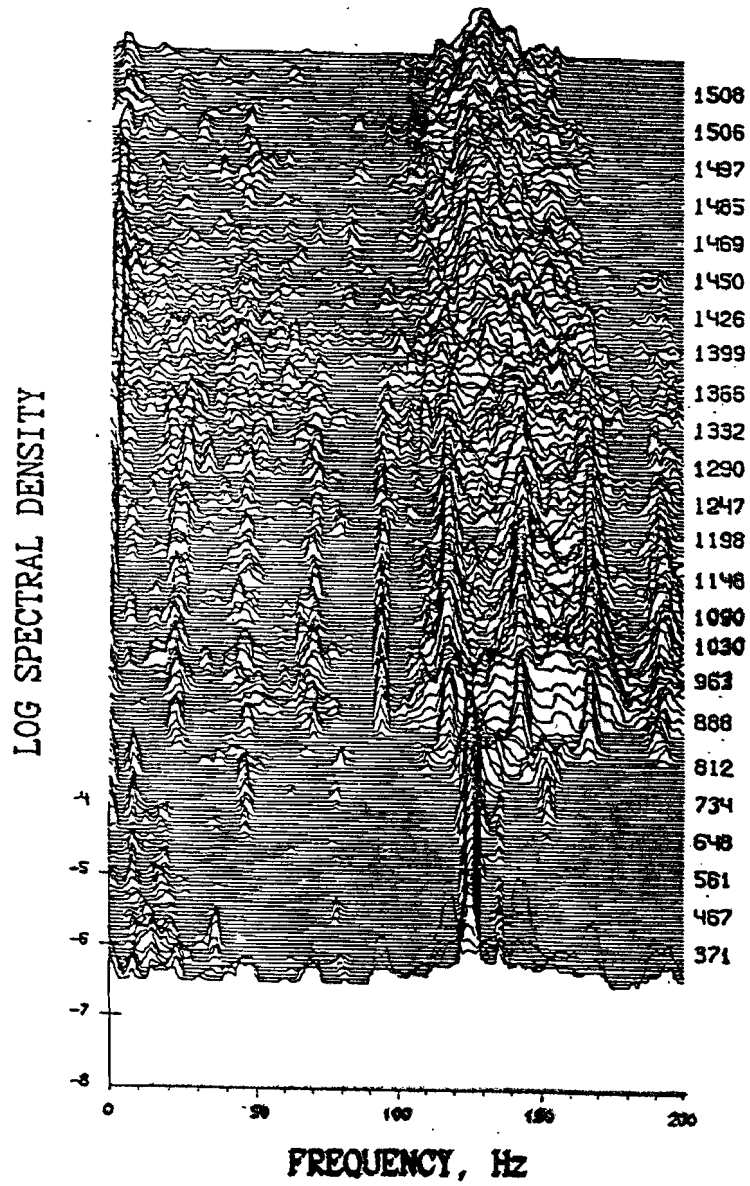


Fig.3 The chronospectrogram - the averaged spectra drawn with the small vertical shift. "Vertical-10", ascent.

2. THE METHOD OF STOCHASTIC MEASUREMENTS

The discretization is the necessary condition of measuring a continuous parameter, i.e. transfer to the sequence of the parameter values samples at definite moments of time. If these moments are equidistantly spaced then we say about periodic or uniform sampling.

If in this case any process is studied with a time step Δt , the spectral analysis does not allow detecting frequencies higher than $1/2\Delta t$ as at least two samplings are necessary for each period. The limited frequency $F_N = 1/2\Delta t$ is called Nyquist frequency. The essential drawback of uniform sampling in case, for example, of spectral analysis, is the so called aliasing effect, when it is impossible to discriminate frequencies F , $2F_{N-}+F$, $4F_{N-}+F$ and so on. It means that if some spectrum has a peculiarity at frequencies $2F_{N-}+F$, $4F_{N-}+F$ and so on then as a result of the spectral analysis this peculiarity will appear at a frequency F in the range $0.. F_{N-}$ studied. So if the necessary discretization frequency is not ensured the aliasing effect significantly distorts the spectrum.

Stochastic discretization intentionally uses random sampling in the process of measurements. In this case the times of continuous signal sampling are spaced by random intervals. Stochastic measurements allow one to eliminate the frequency aliasing effect using a relatively low average sampling rate. The method of stochastic measurements is well described in /2/ with detailed bibliography.

Stochastic measurements use not equal but random time intervals Δt . In /3/ it is recommended to define sampling times according to the following expression: $t_k = t_k + \mu_k$ where μ_k are the independent uniformly distributed random values with the mean value μ , the conditions are given for sampling times sequence (t_k) . In /4/ it is shown that stochastic measurements with the average frequency $1/\mu$ and time quantum γ are equivalent to the uniform sampling with the frequency $f_d = d/\mu$ where $d = \mu/\gamma$, i.e. $f_d = 1/\gamma$. It means that the frequency range is expanded by d times.

An idea of the stochastic measurements method has appeared long ago (20 years old references can be noted) nevertheless this method is used extremely rarely. Partially it is due to the fact that intentional introduction of randomness into measurements can give both positive and negative results if it is formally used. Therefore the stochastic devices should be designed taking into account the characteristics of measured values.

Our paper deals with the method of stochastic measurements used for twofold TM-data reduction. The data are transmitted from the retarding potential analyser for spectral analysis of ion flux oscillations in the ionospheric plasma.

3. TEST OF THE POSSIBILITY OF IMPLEMENTATION OF THE STOCHASTIC MEASUREMENTS. METHOD IN STUDYING THE PLASMA ION OSCILLATION SPECTRUM

This possibility is built around studying of real-time data obtained with the retarding potential analysers aboard the geophysical rocket "Vertical-10".

Fig.4 gives a comparison of the ion current spectral density in the frequency range 0..200 Hz calculated from "Vertical-10" data with the use of all samples (sampling rate 400 s^{-1} , 512 points) and a half of them randomly taken (dotted curve). The spectral density was derived by the FFT (Fast Fourier Transform) method.

In Fig.5 the dotted curve from Fig.4 (256 random samples) is compared with the spectral density calculations when the input data have only a half of samples with a rate of 400 s^{-1} (256 uniform samples). The solid curve shows a spectral density of the measurements when each second sample is omitted, i.e., for uniform sampling with a rate of 200 s^{-1} . These measurements allow for spectral analysis in the frequency range 0..100 Hz. Fig.5 clearly demonstrates a frequency aliasing effect. The peak 126 Hz appeared at a frequency of $74 \text{ Hz} = (200-126)\text{Hz}$. The dotted curve shows the spectral density for measurements with an average frequency of 200 s^{-1} taken not in the uniform but in random way.

In this case the frequency aliasing does not occur.

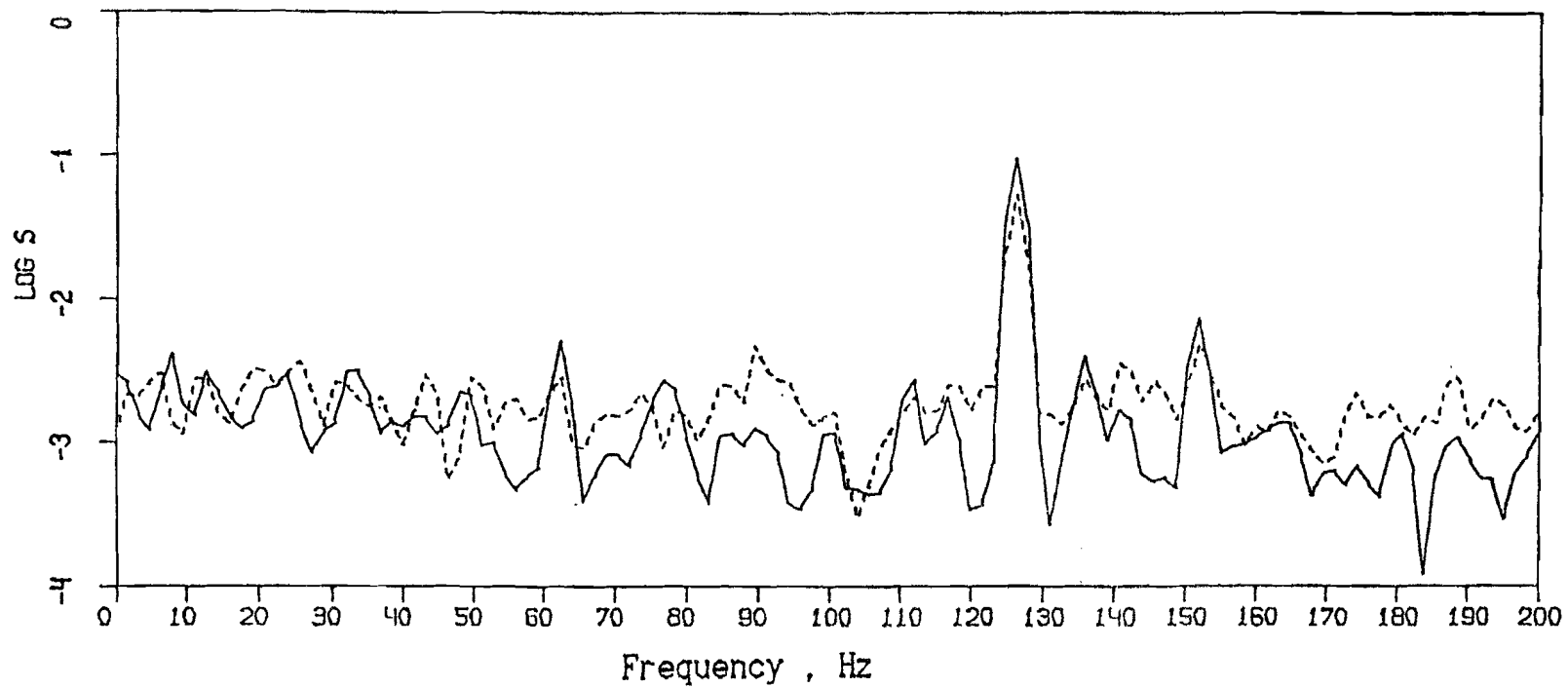


Fig.4 Comparison of the ion current spectral density in the frequency range 0..200 Hz calculated with the use of all data (512 values sampled with at a rate of 400 s^{-1}) and only half of them but with random sampling (dotted curve). The "Vertical-10" data

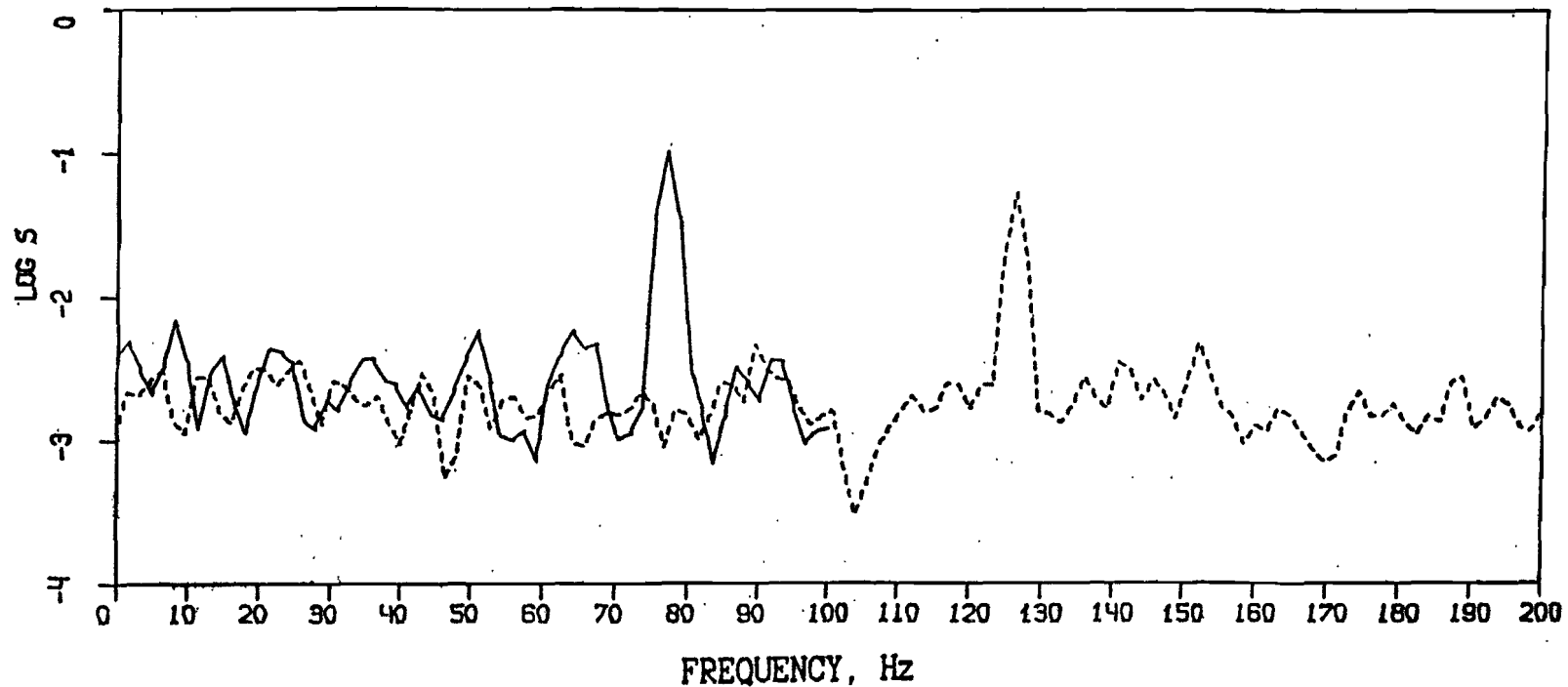


Fig.5 The dotted curve from Fig.4 is compared with spectral density calculation when the input data have only a half of samples with a rate of 400 s^{-1} (256 random samples). The solid curve shows a spectral density when each second sample is omitted, i.e., uniform sampling at a rate of 200 s^{-1} . This Fig. clearly demonstrates the effect of frequency aliasing

These Figures show that the application of the stochastic measurement method yields practically the same result but with two fold reduction of TM-data. The peak height in this case is somewhat less and "noise" is slightly higher than in the original spectrum.

The appearance of "stochastic noise" is clean since the convergence velocity of Fourier series is determined by the function smoothness. The functions with a simple discontinuities and with straight-line segments between them produce the Fourier series whose coefficients fall off as $1/k$. If the function has a continuous first derivative the coefficients fall off as $1/k^2$ (k -length of the series). In general case if the function has a continuous m -th derivative the coefficients fall off as $1/k^{m+1}$ /5/.

For this reason higher than two fold telemetry reduction is not always reasonable.

4. DESCRIPTION OF THE STOCHASTIC MEASUREMENT DEVICE FOR STUDYING THE ION FLUX NON-UNIFORMITY IN THE IONOSPHERE

Given below is the brief description of the device for studying ion flux non-uniformity in the ionosphere using the stochastic measurements.

In this device the measurements aimed for spectral analysis of the plasma ion oscillations are made with the use of the stochastic sampling. The random samplings are made with the use of a sequence of "0" and "1" complying with the requirements of randomness.

The pseudo-random binary sequence should have in each period an equal number of "0" and "1" and the subsequences of the same values should appear uniformly, i.e., a number of the subsequences of length 1 (0 or 1) should be equal $N/2$ and the number of the subsequences of length 2 (00, 01, 10, 11) should be equal $N/4$ and so on, where N is the period length.

The pseudo-random sequence can be made with the use of any generator of random numbers uniformly distributed on $[0,1]$ interval. If the generated value is less than 0.5 then in binary se-

quence the value should be set to 1 if it is more than 0.5 to 0 (or vice versa). If thus formed sequence is long enough, all randomness requirements will be met. The binary sequences exist which comply with these requirements by the method of their construction. They are for example, the so called difference codes (a method of their construction is given in /6,7,8/.

The main feature of the difference code is the long period so the pieces of these sequences can be used to discriminate a large number of elements. In /6/ an example is given in using such code with the length 1023 for meteorological studies near Calcutta (the remote stations were coded by pieces of this code with length 10). The difference codes are used also in the satellite communication systems.

Inasmuch the measurements of the ion flux is a continuous process (the RPA collector current is measured by the DC amplifier) they are made in accordance with a random sequence of "0" (sampled value is not stored) and "1" (sampled value is stored) meeting the requirements of randomness.

The measurements are made in the following way. After amplification by a multirange amplifier the RPA the collector current is sampled at a frequency 2048 Hz and only 1024 of these values are stored in RAM in accordance with the stored in ROM pseudo-random sequence of "0" and "1" of length 2048 comprising only 1024 of "1".

The functional block diagram of the device is shown in Fig.6.

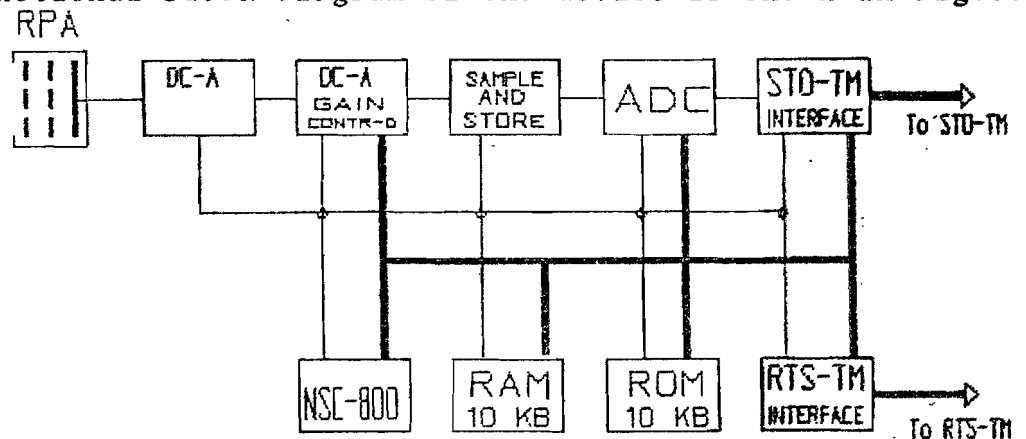


Fig.6 The instrument KM-6 Project ACTIVNY
Functional block-diagram of the ion current
fluctuation measurements

REFERENCES

1. Афонин В.В., Бенце П., Безруких В.В., Грингауз Н.И., Сэмерен И., Смирнова Н.Ф. Наблюдения потоков холодных ионов из плазмы в ионосферу в ночное время на средних широтах. Космические исследования, т. XX11, вып. 6, с. 884-888, 1984.
2. Билинский И.Я., Микельсон А.Н. Стохастическая цифровая обработка непрерывных сигналов. Рига. "Зинатне", 1983, 292с.
3. Микельсон А.Н. Влияние дискретизации и квантования на результат разложения сигнала в базисах прямоугольных функций. В сб. "Методы и средства преобразования информации", Рига, 1984, Т1, с.60-68.
4. Медниекс И.Б. Применение БПФ для обработки стохастически дискретизованных сигналов. В сб. "Методы и средства преобразования информации", Рига. 1984, Т1, с. 54-60.
5. Hamming R.W. "Numerical methods for scientists and engineers", New York, 1962, p. 290-293.
6. Golomb S., ed. "Digital communications with space applications", New Jersey, 1964, 210p.
7. Birkhoff G. and Bartee T. "Modern applied algebra", New York, 1970, 431p.
8. Peterson W.W. "Error-correcting codes", New York - London, 1962, 285p.

СТОХАСТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ
СПЕКТРОВ КОЛЕБАНИЙ ИОНОВ ПЛАЗМЫ

В.В.Афонин, Н.Ф.Смирнова
Институт космических исследований АН СССР

К.Кубат, Я.Шмилауэр
Геофизический институт АН ЧССР

1. ВВЕДЕНИЕ

В этой работе рассматривается применение метода стохастической дискретизации при проведении спектрального анализа колебаний ионов плазмы, измеряемых анализатором с тормозящим потенциалом и описание устройства, которое будет применено в комплексном эксперименте по измерению параметров холодной плазмы.

Эксперимент с аналогичными датчиками был проведен на геофизической ракете "Вертикаль-10" [1], которая была запущена 21 декабря 1981г. в районе г. Волгограда на высоту до ~1500км. Как показано ниже, эти измерения могут дать очень интересную информацию о поведении ионосферной плазмы - информацию о волновых процессах в ионосфере, полученную из спектрального анализа коллекторного тока ловушек. Подробно эти результаты будут описаны в другом месте.

Ионная ловушка (или, иначе, анализатор с тормозящим потенциалом или многосеточный цилиндр Фарадея) измеряет поток ионов $n \cdot v$ попадающих на входное отверстие (n - концентрация ионов, v - скорость ионов относительно ловушки), поэтому спектральный анализ этой величины может дать сведения либо о пространственном распределении неоднородностей концентрации, вызываемых волновыми процессами, либо о закономерных изменениях скорости частиц (при постоянной концентрации), - т.е., о волновых процессах.

В качестве примера на Рис.1 показаны два энергетических спектра тепловой плазмы, зарегистрированные одновременно двумя направленными в противоположные стороны (вверх и вниз) ионными ловушками на геофизической ракете "Вертикаль-10", а на Рис.2 - результаты спектрального анализа тока "хвостов", т.е. потока ионов с $E \geq 6$ эВ в полосе частот 0..200 Гц. Частота опроса коллекторного тока 400с^{-1} , а усиление осуществлялось усилителем постоянного тока с тремя автоматически переключаемыми шкалами и чувствительностью $3.3 \cdot 10^{-13}$ А/бит. Спектральному анализу подвергались 512 точек вольт-амперной характеристики, т.е. информация, полученная за немногим более 1 с. В спектрах ионных потоков имеются изолированные пики на частоте 126 Гц, приблизительно на 2 порядка превышающие уровень шума (прибора, ТМ-канала и т.д.). Кроме того, по мере подъема ракеты, помимо изолированного пика (монохроматической волны), появляются дополнительные (боковые) пики, видна турбулизация монохроматической волны - появление шумовых полос и возникновение на этом фоне ряда гармоник частоты 24 Гц (до 8 гармоник). За время полета было получено ~500 спектров. Для получения более наглядной картины была построена хромоспектрограмма - усредненные спектры с небольшим сдвигом по вертикали, которая показана на Рис.3.

Таким образом, данные ионной ловушки могут быть использованы для получения качественно новой информации - о волновых процессах в ионосфере.

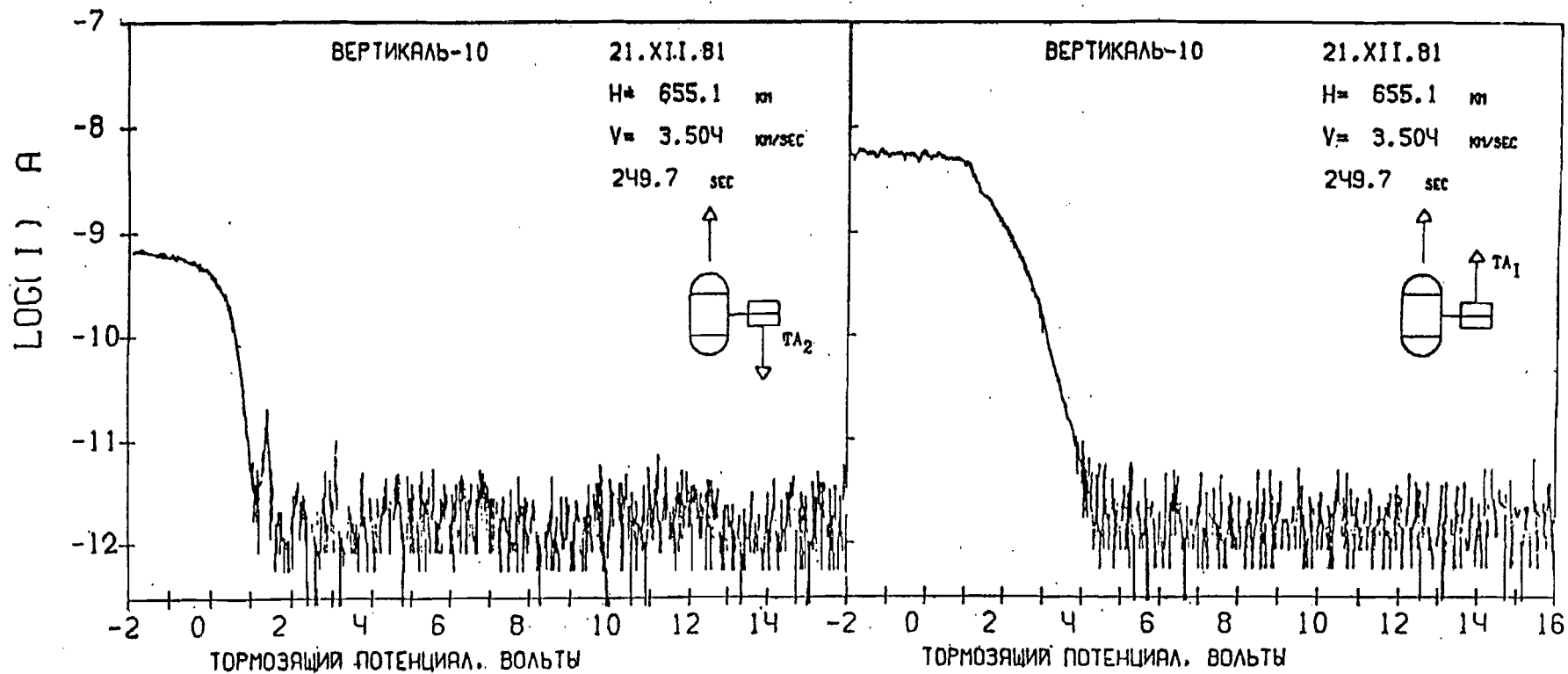


Рис. 1. Два энергетических спектра тепловой плазмы, зарегистрированные одновременно двумя направленными в противоположные стороны (вверх и вниз) ионными ловушками на геофизической ракете "Вертикаль-10".

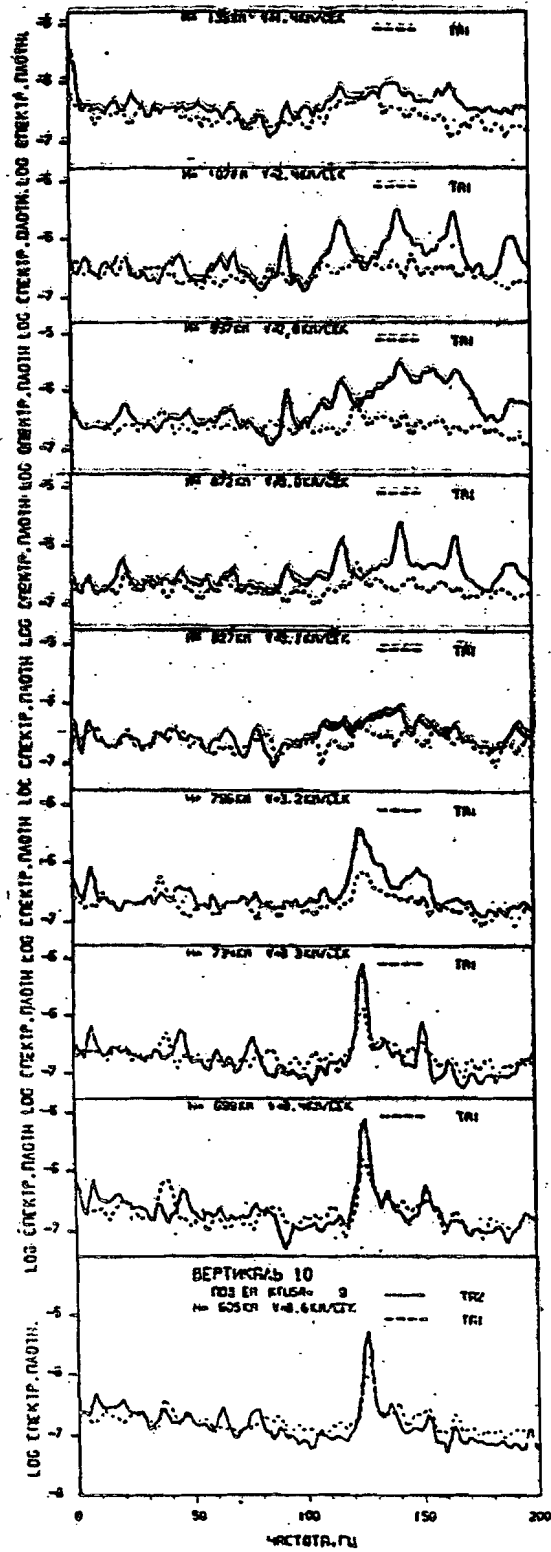


Рис. 2. Результаты спектрального анализа тока "хвостов", т.е., потока ионов с энергиями $E \geq 6$ эВ в полосе частот 0..200 Гц.

ВЕРТИКАЛЬ -10

ТА2

ПОДЪЕМ
порог - 6.3 муск-с
ВЫСОТЫ СЕК
273 - 1509 151 771

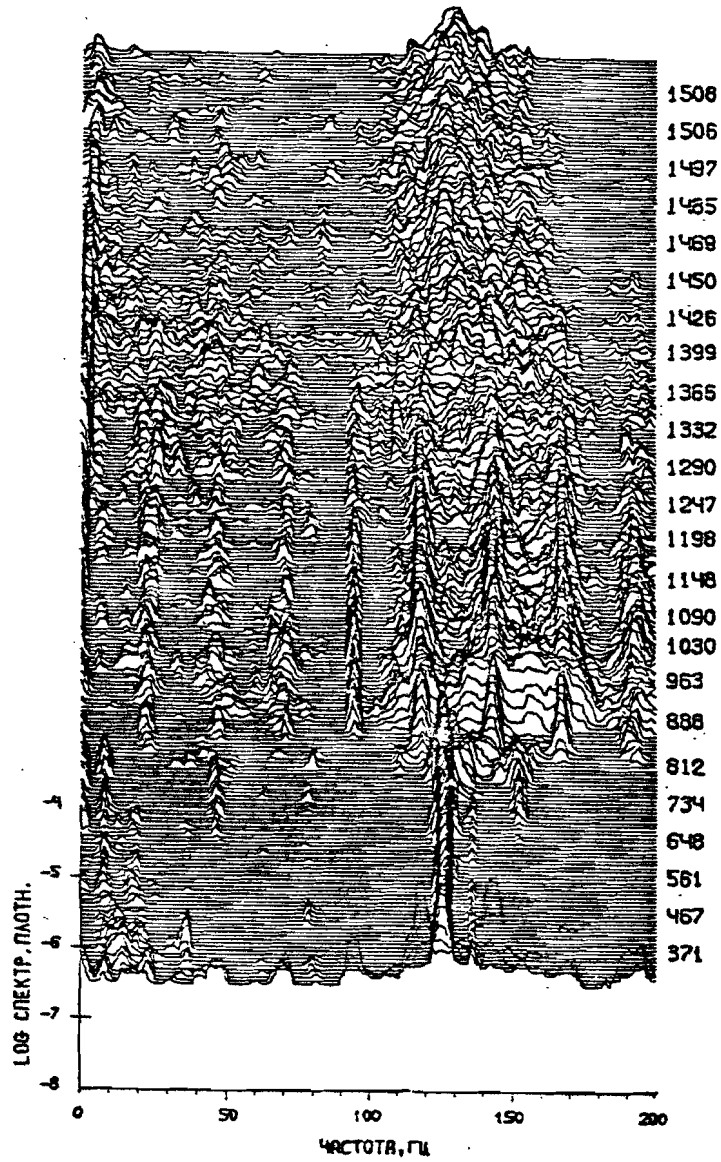


Рис.3. Хроноспектрограмма - усредненные спектры с небольшим сдвигом вертикали. "Вертикаль-10", подъем.

Для получения таких данных необходимо иметь достаточно высокую частоту опроса коллекторного тока. Если мы хотим исследовать процессы с максимальной частотой F , то, как известно, необходимо иметь частоту опроса не менее $2F$, что требует значительного объема ТМ-информации.

В данной работе с целью уменьшения необходимого объема ТМ-информации в 2 раза (или, что то же, расширения полосы исследуемых частот в 2 раза при том же объеме ТМ-информации) предлагается использовать метод стохастической дискретизации, который, как известно авторам, в экспериментальной практике используется крайне редко.

На спутнике "Активный" (запуск 28 сентября 1989г.) проводится эксперимент КМ-Б, в состав которого входит плоская ионная ловушка, для которой предусмотрено в одном из режимов работы прибора возможность измерений для проведения спектрального анализа тока насыщения.

2. СУЩНОСТЬ МЕТОДА СТОХАСТИЧЕСКОЙ ДИСКРЕТИЗАЦИИ

Необходимым условием процесса измерения непрерывной величины является дискретизация, т.е. переход к последовательности ее значений, взятых в дискретные моменты времени. Если эти моменты времени разделены равными промежутками, то имеет место периодическая или детерминированная дискретизация.

Если в этом случае при исследовании какого-либо процесса дискретизация проводится с шагом по времени Δt , то в результате спектрального анализа невозможно обнаружить частоты, большие, чем $1/2\Delta t$, так как необходимо, по крайней мере, два наблюдения на период. Предельная величина $F_N = 1/2\Delta t$ называется частотой Найквиста. Существенным недостатком периодической дискретизации в случае, например, спектрального анализа, является так называемый эффект наложения частот, заключающийся в том, что при проведении спектрального анализа невозможно различить частоты F , $2F_N \pm F$, $4F_N \pm F$ и т.д. Это означает, что если в спектре имеется особенность на частотах $2F_N \pm F$, $4F_N \pm F$ и т.д., то при проведении спектрального анализа она проявится в исследуемом диапазоне частот $0..F_N$ на частоте F . Поэтому, если не удастся обеспечить необходимую частоту дискретизации, то эффект наложения частот значительно искажает спектр.

Стохастическая дискретизация предполагает преднамеренное введение случайности в процесс измерений. При стохастической дискретизации моменты времени, в которых измеряется непрерывный

сигнал, разделены не постоянными, а случайными промежутками времени.

Стохастическая дискретизация позволяет устранить эффект наложения частот при относительно низкой средней частоте дискретизации. Метод стохастической дискретизации хорошо описан в [2], и там же имеется достаточно подробная библиография.

При стохастической дискретизации интервал времени Δt является не постоянной, а случайной величиной. В [3] рекомендуется моменты дискретизации определять по формуле $t_k = t_k + \mu_k$, где μ_k - независимые, одинаково распределенные случайные величины со средним значением μ , и приводятся условия, которым должен удовлетворять поток точек дискретизации $\{t_k\}$. В [4] показано, что стохастическая дискретизация со средней частотой $1/\mu$ и квантом времени ν в пределе эквивалентна равномерной дискретизации с частотой $f_d = d/\mu$, где $d = \mu/\nu$, т.е. $f_d = 1/\nu$. Следовательно, полоса частот расширяется в d раз.

Идея метода стохастической дискретизации возникла достаточно давно (можно указать на работы 20-летней давности), но тем не менее в практике космических исследований этот метод применяется крайне редко. Частично это может быть связано с тем, что преднамеренное введение случайности в измерения может привести как к положительным, так и к резко отрицательным результатам при его формальном использовании. Поэтому стохастические устройства необходимо разрабатывать с учетом характера измеряемых величин.

В данной работе предлагается применить метод стохастической дискретизации с целью экономии ТМ-информации в два раза при передаче данных, полученных при помощи анализатора с тормозящим потенциалом, для проведения спектрального анализа колебаний ионов плазмы.

3. ПРОВЕРКА ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА СТОХАСТИЧЕСКОЙ ДИСКРЕТИЗАЦИИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СПЕКТРОВ КОЛЕБАНИЙ ИОНОВ ПЛАЗМЫ

Возможность реализации этого метода основывается на исследовании реальной информации, полученной при помощи анализаторов с тормозящим потенциалом на геофизической ракете "Вертикаль-10".

На Рис. 4 проведено сравнение результатов вычисления спектральной плотности ионного тока по данным с ракеты "Вертикаль-10" в полосе частот 0..200 Гц с использованием всех измерений (с частотой 400 с^{-1} , 512 измерений) и половины, но взятых случайно (пунктирная кривая). Спектральная плотность определялась методом БПФ.

На Рис. 5 пунктирная кривая с Рис. 4 (256 измерений, случайная выборка) сравнивается с результатами вычисления спектральной

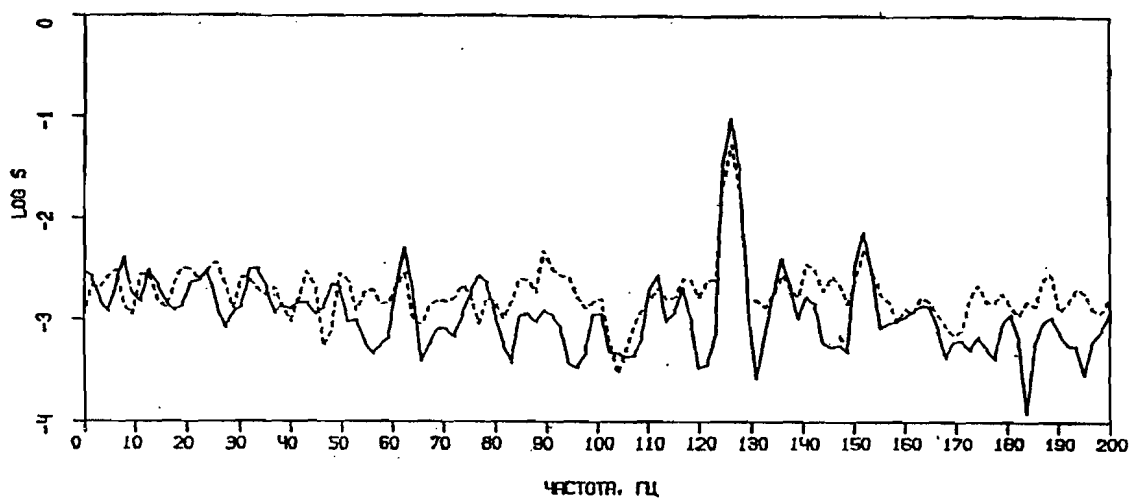


Рис. 4. Сравнение результатов вычисления спектральной плотности ионного тока по данным "Вертикаль-10" в полосе частот 0..200 Гц с использованием всех измерений (с частотой 400 сек^{-1} , 512 измерений) и половины, но взятых случайно (пунктирная кривая)

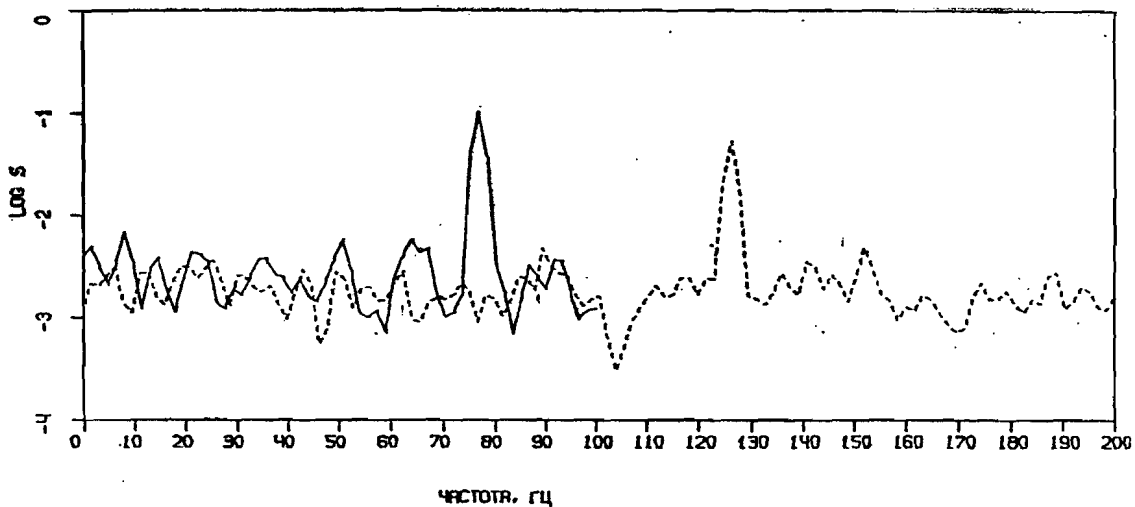


Рис. 5. Пунктирная кривая с Рис.4 - 256 измерений, случайная выборка - сравнивается с результатами вычисления спектральной плотности по такому же количеству измерений с равномерной дискретизацией. Явно виден эффект наложения частот в случае равномерной дискретизации

плотности, когда в данных содержится только половина измерений с частотой 400 с^{-1} (256 измерений, равномерная дискретизация с частотой 200 с^{-1}) - сплошная линия. Такие измерения позволяют провести спектральный анализ в полосе частот $0..100 \text{ Гц}$. На Рис.5 явно демонстрируется эффект наложения частот. Пик 126 Гц попадает на частоту $74 \text{ Гц} = (200 - 126) \text{ Гц}$. Пунктиром обозначена спектральная плотность, когда измерения берутся со средней частотой 200 с^{-1} , но не равномерно, а случайным образом. В этом случае наложения частот в спектре не происходит.

Как видно из этих рисунков, применение метода стохастической дискретизации позволяет получить практически тот же результат, но при меньшем в 2 раза количестве ТМ-информации. При этом высота пика несколько меньше, а "шум" слегка выше, чем в исходном спектре.

Возникновение "стохастического шума" понятно, так как скорость сходимости ряда Фурье определяется гладкостью функции на действительной оси. Функции с простыми разрывами и прямолинейными участками между разрывами дают ряды Фурье с коэффициентами, убывающими как $1/k$, а коэффициенты рядов для непрерывных ломаных убывают как $1/k^2$ (k - длина ряда). В общем случае коэффициенты Фурье убывают как $1/k^{m+1}$ для функций, у которых m -я производная кусочно непрерывна (см. [5]). По этой причине рискованно экономить телеметрию больше, чем в два раза.

4. ОПИСАНИЕ СТОХАСТИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ Потока ИОНОВ В ИОНОСФЕРЕ

Приведем очень краткое описание устройства для изучения неоднородностей потока ионов в ионосфере с использованием стохастической дискретизации:

В этом устройстве измерения, предназначенные для проведения спектрального анализа колебаний ионов плазмы, кодируются с использованием стохастической дискретизации.

Для получения случайной выборки измерений используется последовательность из нулей и единиц, удовлетворяющая критериям случайности.

Псевдослучайная двоичная последовательность должна содержать в каждом периоде половину нулей и единиц, причем последовательности из одинаковых цифр (серий) должны встречаться равномерно, т.е. количество серий длины 1 (0 или 1) должно быть $N/2$, количество

серий длины 2 (00, 01, 10, 11) должно быть $N/4$ и т.д., где N - длина периода последовательности.

Псевдослучайную двоичную последовательность можно образовать с помощью любого генератора случайных чисел, равномерно распределенных на отрезке $[0,1]$. Если генерируется случайное число, меньшее 0,5, то в двоичной последовательности надо написать 1, а если большее 0,5, то 0 (или наоборот). Если последовательность, образованная таким образом, достаточно длинная, то для нее будут выполняться все критерии случайности. Существуют двоичные последовательности, которые удовлетворяют критериям случайности по построению. Например, разностные коды, способ построения которых изложен в [6,7,8].

Основное свойство разностного кода - длинный период, поэтому кусочки таких последовательностей могут служить кодом отличия для большого числа объектов. В [6] приводится пример применения последовательности длины 1023 для изучения количества осадков в окрестности Калькутты (отдаленные метеостанции были закодированы отрезками последовательности длины 10). Разностные коды используются также в системах связи со спутниками.

Поскольку процесс измерения потока ионов является непрерывным процессом (измерение коллекторного тока при помощи усилителя постоянного тока), измерения проводятся в соответствии со случайной последовательностью из нулей (регистрация не производится) и единиц (ток регистрируется), удовлетворяющей критериям случайности.

Измерения проводятся следующим образом. Коллекторный ток ионной ловушки после усиления многошкальным усилителем опрашивается с частотой 2048 Гц, а регистрируются (помещаются в ПЗУ) только 1024 отсчета в соответствии с записанной в ПЗУ псевдослучайной последовательностью из нулей и единиц длиной 2048 и содержащей ровно 1024 единицы.

Функциональная блок-схема этого устройства показана на Рис. 6.

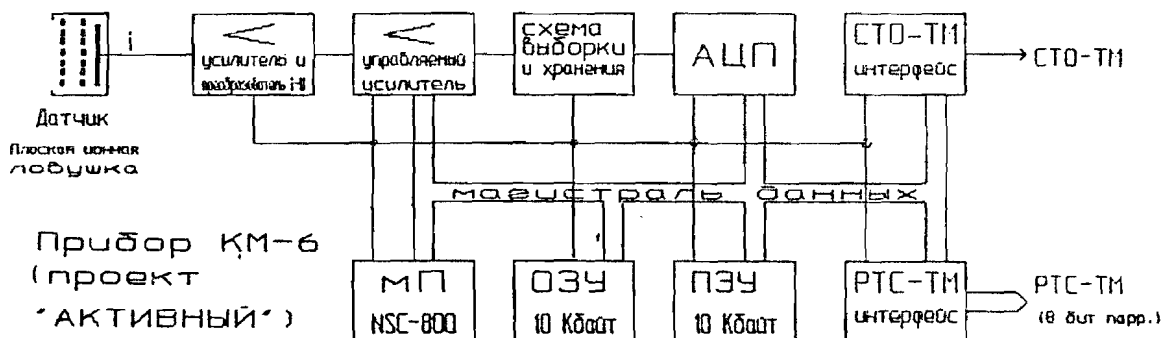


Рис. 6. Упрощенная блок-схема измерения флуктуаций ионного тока

Л и т е р а т у р а

1. Афонин В. В., Бенце П., Безруких В. В., Грингауз К. И., Сэмерей И., Смирнова Н. Ф. Наблюдения потоков холодных ионов из плазмосферы в ионосферу в ночное время на средних широтах.- Космич. исслед., т. XXII, вып. 6, с. 884-888, 1984.
2. Билинский И. Я., Микельсон А. К. Стохастическая цифровая обработка непрерывных сигналов.- Рига, "Зинатне", 1983, 292с.
3. Микельсон А. К. Влияние дискретизации и квантования на результат разложения сигнала в базисах прямоугольных функций. - В сб. "Методы и средства преобразования информации", Рига, 1984, N1, с. 60-68.
4. Медникс И. Б. Применение БПФ для обработки стохастически дискретизованных сигналов.- В сб. "Методы и средства преобразования информации", Рига, 1984, N1, с. 54-60.
5. Хемминг Р. В. Численные методы. Москва, "Наука", 1968, с. 294-299.
6. Голомб С. Б., ред. Цифровые методы в космической связи. Москва, "Связь", 1969, 271с.
7. Биркгоф Г., Барти Т. Современная прикладная алгебра. Москва, "Мир", 1976, с. 349-368.
8. Питерсон У. Коды, исправляющие ошибки.- Москва, "Мир", 1964, 338с.