

РАДИОАСТРОНОМИЯ

Г. М. Товмасян

О повышении чувствительности радиотелескопов

Сообщение I.

(Представлено В. А. Амбарцумяном 1.VI.1957)

В целях повышения чувствительности и направленности радиотелескопов, что имеет существенное значение для радиоастрономических исследований, было разработано несколько специальных методов наблюдений (1-4).

В настоящей работе рассматривается возможность еще большего повышения чувствительности радиотелескопов посредством накопления принимаемого слабого радиоизлучения аналогично тому, как астроном увеличением экспозиции добивается получения изображения более слабого объекта. Такая задача решена в Бюраканской астрофизической обсерватории В. А. Санамяном (5). Здесь та же цель осуществляется иначе и приводит к довольно интересным результатам.

В основе работы положена идея С. Э. Хайкина о применении явления резонанса для накопления принимаемого радиоизлучения. Суть метода заключается в следующем.

Выход интерференционного радиотелескопа с фазовым переключением подается на резонансную колебательную систему с собственной частотой, равной частоте лепестков интерференционной картины, получаемой в результате прохождения точечного источника радиоизлучения через диаграммы направленности антенн. Благодаря явлению резонанса колебательная система раскачивается в такт воздействующим колебаниям и не реагирует на воздействия хаотических сигналов. В результате становится возможной запись слабых источников радиоизлучения, которые с тем же радиотелескопом, но при применении обычных методов наблюдения не могут быть обнаружены.

Таким образом, задача сводится к созданию колебательной системы, резонирующей с колебаниями напряжения на выходе интерферометра, возникающими при прохождении источника радиоизлучения через лепестки диаграммы направленности телескопа. Для этого первым делом необходимо определение периода лепестков интерференционной картины.

Было намечено проводить наблюдения на радиотелескопах Бюраканской обсерватории на длине волн 4,2 и 1,5 м. Для первой ус-

тазовки угловая величина центрального лепестка интерференционной картины равна приблизительно 1° ($6'$), а для второй около $45'$. В зависимости от склонения, на которое направлены антенны, время прохождения источника через эти лепестки будет различно. Если $\Delta\varphi$ —угловая величина лепестка интерференционной картины, x —часовой угол прохождения источника через лепесток и δ —склонение источника (рис. 1), то

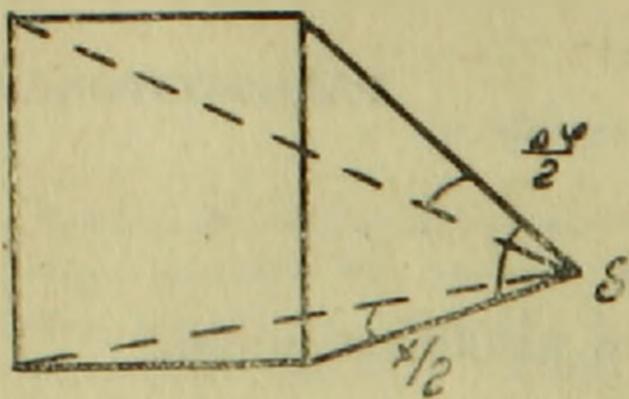


Рис. 1.

Отсюда время прохождения источника со склонением δ через центральный лепесток будет равно

$$\operatorname{tg} \frac{x}{2} = \frac{\operatorname{tg} \frac{\Delta\varphi}{2}}{\cos \delta}.$$

Отсюда время прохождения источника со склонением δ через центральный лепесток будет равно

$$t = \frac{2}{15} \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left[\frac{\operatorname{tg} \frac{\Delta\varphi}{2}}{\cos \delta} \right].$$

Для установки на $4,2 \text{ м}$ этот период равен $3^{\text{м}}45^{\text{с}}$ на экваторе и $7^{\text{м}}30^{\text{с}}$ на склонении в 60° . Для установки на $1,5 \text{ м}$ эти величины соответственно немного меньше.

Это время будет постепенно увеличиваться по мере перехода к крайним лепесткам. Для лепестка, удаленного от меридиана на угол α , это время будет равно:

$$t = \frac{2}{15} \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left[\frac{\operatorname{tg} \frac{\Delta\varphi}{2}}{\cos \delta} \right] \cdot \frac{1}{\cos \alpha}.$$

При $\alpha = 6^\circ$ (раствор диаграммы направленности радиотелескопа на длине волны $4,2 \text{ м}$ приблизительно равен 12°) разница в периодах между центральным и крайним лепестками будет составлять $0,5\%$ от периода центрального лепестка. При добротности колебательной системы порядка 100 (что справедливо для нашего случая) полоса пропускания системы равна в среднем $0,3 \text{ гц}$, так что при прохождении источника радиоизлучения через диаграммы антенн частота воздействующего на колебательную систему сигнала остается в пределах полосы пропускания системы.

Таким образом, необходимая для осуществления метода колебательная система должна иметь собственную частоту, изменяемую от $1/225$ до $1/450 \text{ гц}$ и ниже. Колебательную систему на таких низких частотах можно сделать как механическую, так и электрическую. Для большего удобства работы выбор был остановлен на электрической колебательной системе.

В качестве таковой был использован трехзвенный RC —генератор в недовозбужденном режиме. Схема приведена на рис. 2. При коэффициенте усиления $K > 29$ такая схема генерирует с частотой ($7-8$)

$$f = \frac{1}{2 \pi \sqrt{6} RC}.$$

При меньшем коэффициенте усиления схема не генерирует и является колебательной системой на ту же частоту.

Эта схема, хотя и не способна к самовозбуждению, однако при каком-либо внешнем электрическом толчке выходит из состояния равновесия и возвращается в это состояние с затуханием, определяемым параметрами системы. При воздействии же периодического сигнала с частотой, равной собственной частоте системы, должно иметь место явление резонанса. При воздействии периодического сигнала с частотой, отличающейся от собственной частоты системы, будут иметь место биения с разностной частотой. Все эти свойства будут тем более ярко выражены, чем выше будет добротность колебательной системы. В нашем случае добротность, которая измерялась по величине затухания колебаний, — порядка 100.

Изменение собственной частоты колебательной системы регулировалось подключением в трехзвенный RC -фильтр дополнительных цепочек сопротивлений и конденсаторов. Наличием достаточного числа таких цепочек достигались довольно равномерные переходы от одной частоты к другой. Сопротивления изменялись от 2,0 мгом до 2,2 мгом через каждые

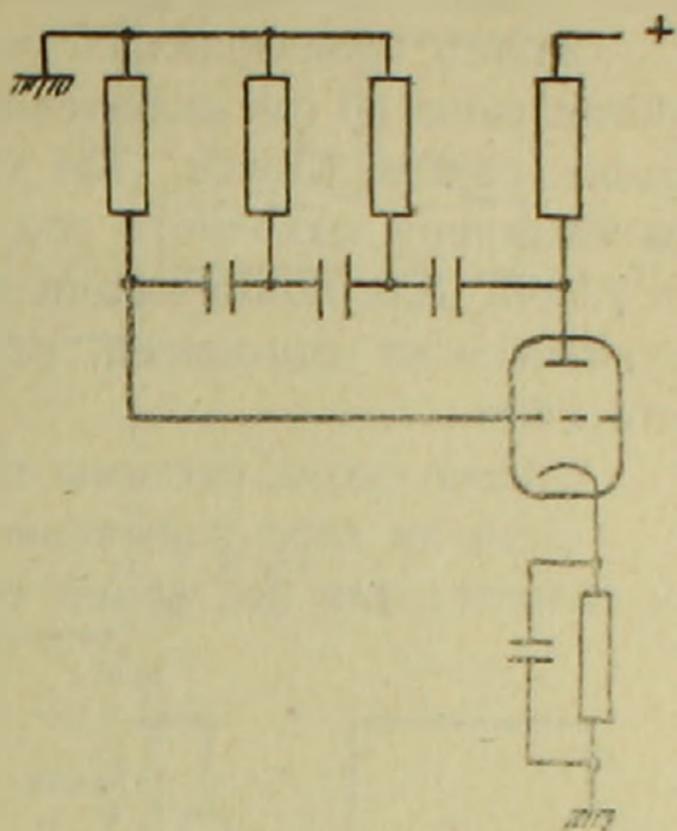


Рис. 2.

30 ком, а конденсаторы от 4,0 μF до 11,75 μF через каждые 0,25 μF . Переменное напряжение на систему подавалось от выхода синхронного детектора. Осуществлялось это следующим образом (рис. 3). Выходное сопротивление синхронного детектора, включенное между катодами двойного диода, включалось последовательно с одним из сопротивлений цепочки, включенным между сеткой лампы и корпусом колебательной системы с тем, чтобы величина

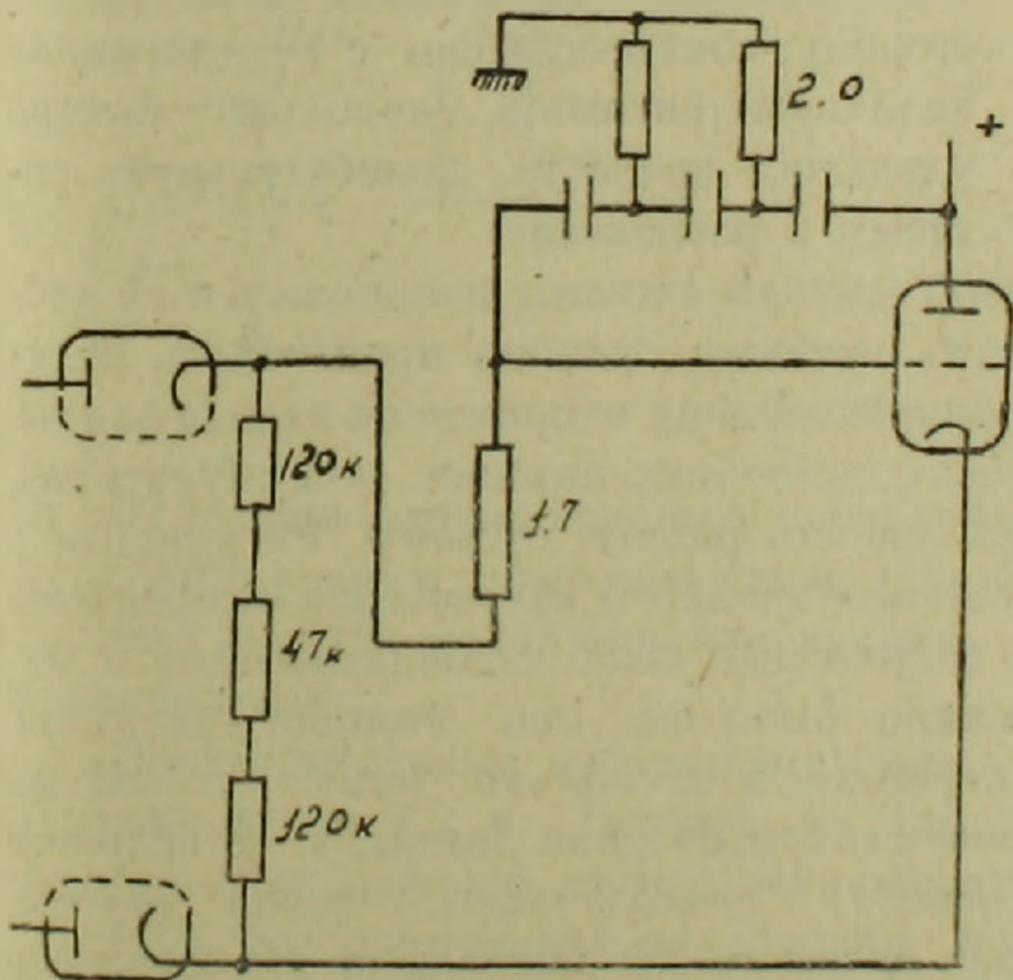


Рис. 3.

общего сопротивления была равна сопротивлению R трехзвенного фильтра.

Постоянное смещение на сетку подавалось от отдельного стабилизированного источника, ибо на такую низкую частоту невозможно было поставить блокировочный конденсатор в катодное смещение. Смещение подбиралось так, чтобы рабочая точка находилась на середине прямолинейного участка характеристики лампы.

Запись производилась самописцем ЭПП-09, подключенным к сопротивлению в 1 ом , включенному последовательно с анодной нагрузкой лампы, равной 15 ком . Для увеличения чувствительности выхода схемы величину выходного сопротивления можно было плавно менять до 25 ом . Для компенсации величины постоянного напряжения, поступающего на самописец, включена цепь компенсации от отдельной батарейки.

Общая схема системы приведена на рис. 5.

Само по себе включение анодного питания колебательной системы является для нее самой толчком. И при имеющейся добротности

необходимо было бы ждать очень долго — несколько часов — затухания собственных колебаний системы, чтобы возможно было начать наблюдения.

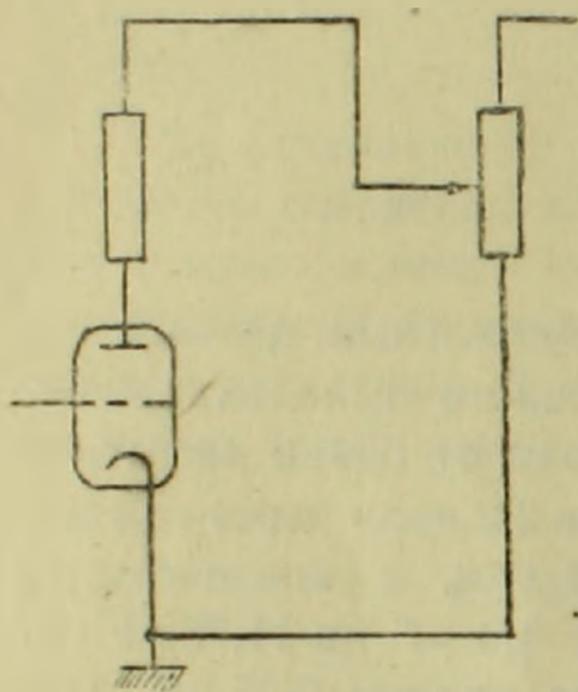


Рис. 4.

Чтобы избежать этого, в схему был включен специальный гашитель собственных колебаний. Для этого на сетку лампы подавался сигнал в сторону, обратную направлению собственного колебания. Повторением в несколько раз таких сигналов то в одну, то в другую сторону, соответственно с регулировкой величины сигналов, довольно быстро удавалось привести колебательную систему в равновесие.

При изменении собственной частоты системы изменялась и ее добротность. Опыты показали, что наиболее удобно производить регулировку добротности при помощи величины напряжения накала лампы, которое подавалось от отдельного источника питания (аккумулятора), чем достигалась большая стабильность работы системы. Регулировать добротность при помощи изменения анодного напряжения не представлялось возможным. Анодное напряжение было стабилизировано и менять величину напряжения можно было бы при помощи делителя. Однако при колебаниях с периодом в несколько минут с такой же частотой меняется и внутреннее сопротивление лампы, т. е. величина нижней половины делителя (рис. 4). Следовательно, с такой же частотой будет меняться величина анодного напряжения, а это представляет собой нежелательную положительную обратную связь. Для предотвращения такой же обратной связи в качестве анодной нагрузки было использовано мощное остеклованное сопротивление, поскольку при таких медленных колебаниях анодного тока температура, а

следовательно и сопротивление анодной нагрузки при сопротивлении обычного типа успевает изменяться. Регулировать добротность изменением величины катодного сопротивления было трудно, поскольку

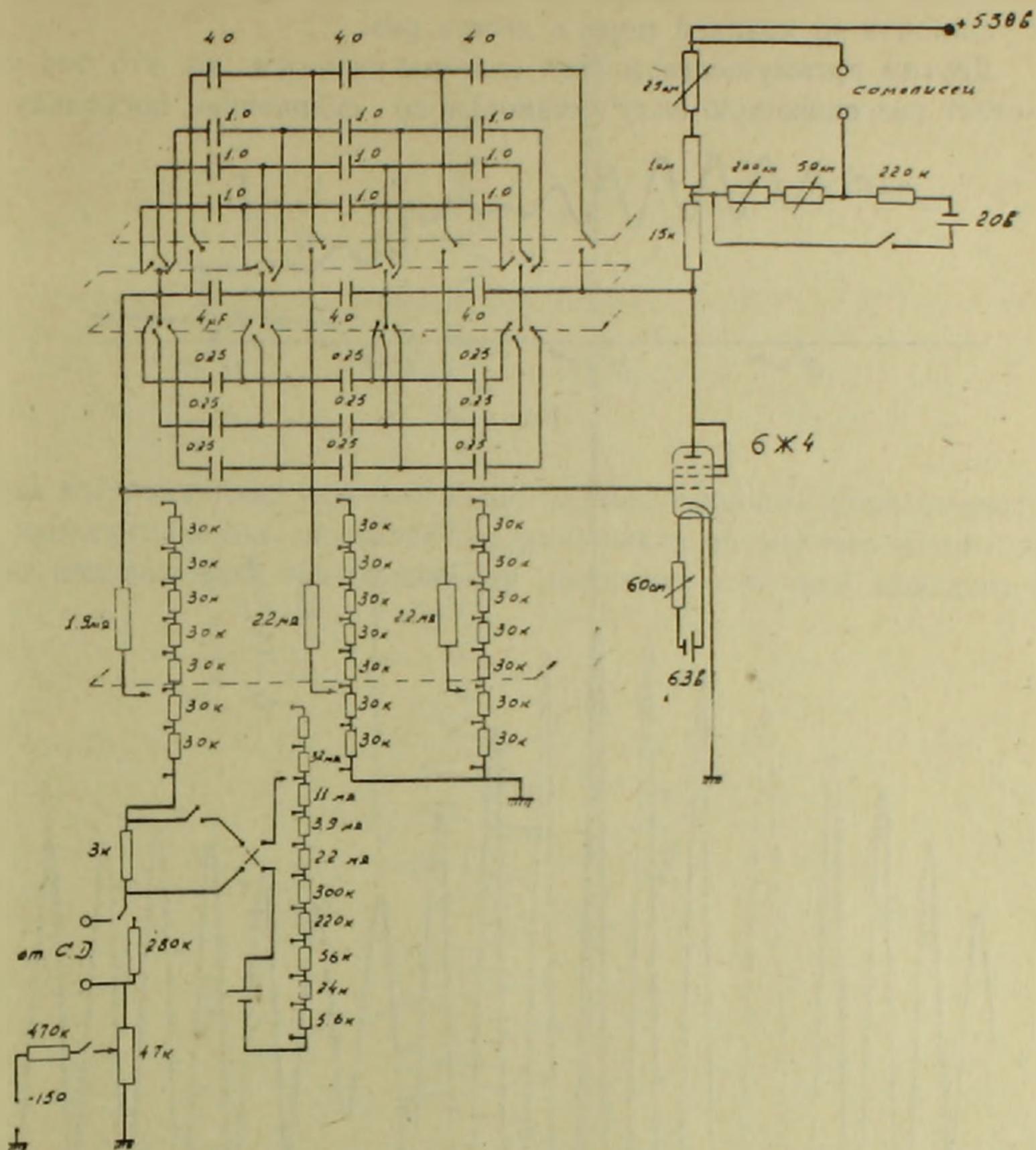


Рис. 5.

при отсутствии блокировочного конденсатора это сопротивление вводит отрицательную обратную связь и добротность становится очень чувствительной к малейшим изменениям (в 2—3 ом) величины этого сопротивления.

Предварительные наблюдения были проведены на радиотелескопе на длине волны 4,2 м. Первые же наблюдения показали очевидные преимущества данного метода наблюдения.

Если без применения накопления пределом для установки были источники с интенсивностью в $4,2 - 4,5 \cdot 10^{-24} \text{ вт м}^{-2} \text{ мггц}^{-1}$, то приведенная на рис. 6 запись источника № 1066⁽⁹⁾ в созвездии Canis Venatici с интенсивностью в $0,75 \cdot 10^{-24} \text{ вт м}^{-2} \text{ мггц}^{-1}$ на частоте в 81,5 мггц показывает, что такая интенсивность еще не является пределом

для установки. Нужно заметить, что запись велась на минимальной чувствительности выхода. Этот источник наблюдался дважды. Отсюда мы заключаем, что предлагаемый метод дает повышение чувствительности установки по крайней мере в десять раз.

Другим преимуществом этой системы является то, что она увеличивает разрешающую силу установки по склонению, поскольку на

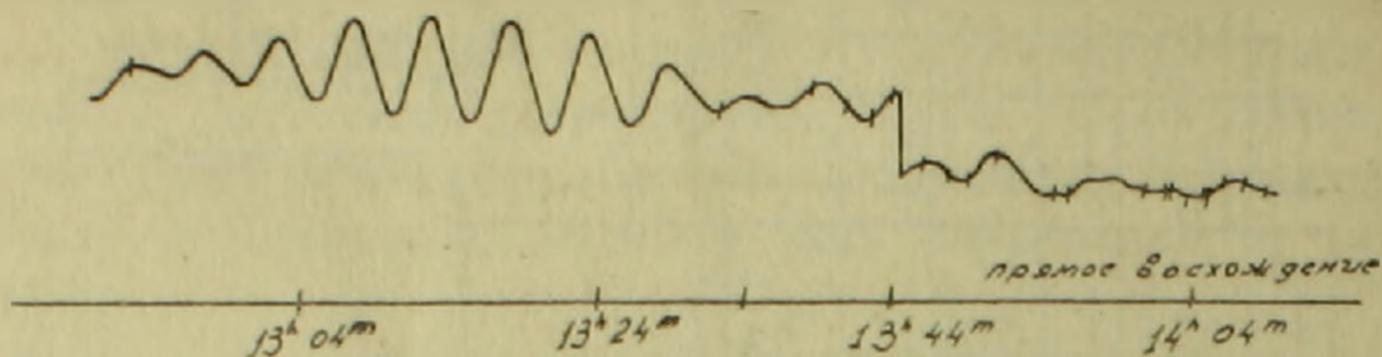


Рис. 6.

диаграмму направленности антенны по склонению накладывается избирательность системы по отношению к частотам воздействующих на нее сигналов. При этом очевидно, что повышение разрешающей силы

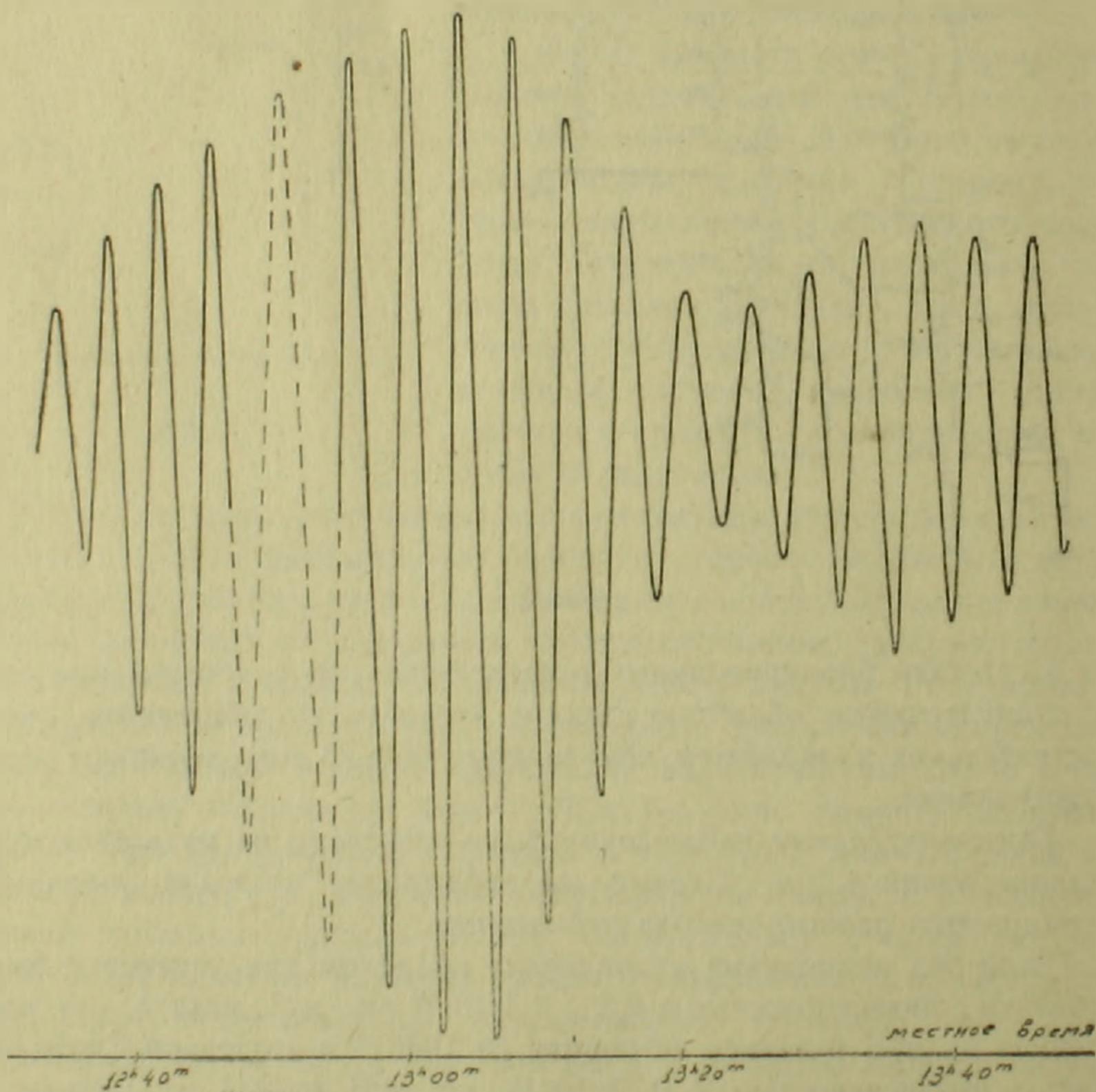


Рис. 7.

N 379
P = 14
 $\delta = +38$

N 404
P = 40 10^{-22}
 $\delta = +30$

N 440
P = 175 10^{-24}
 $\delta = +38$

Телец - Я
P = 18 10^{-24}
 $\delta = +22$

N 537
P = 4.7 10^{-24}
 $\delta = +23$

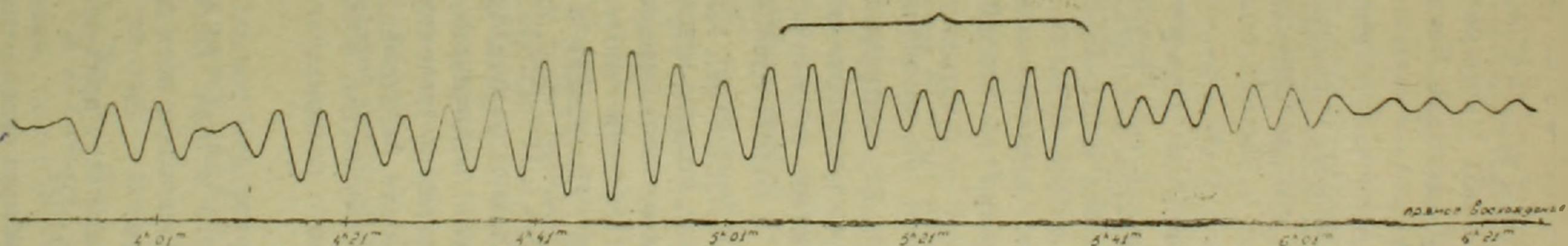
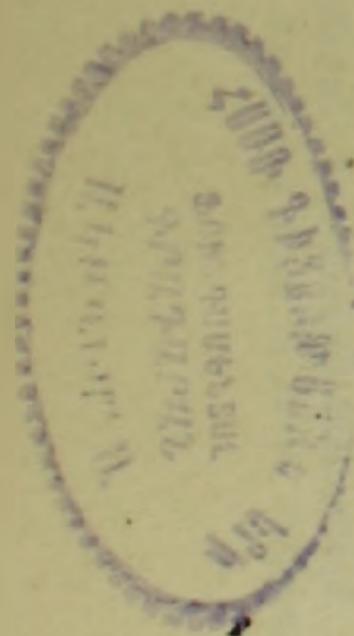


Рис . 8

по склонению будет сильнее для больших склонений. На рис. 7 приведен пример записи радиоизлучения Солнца с колебательной системой, настроенной на период колебаний в $4^m 20^s$, отличной от периода лепестков интерференционной картины записи Солнца, равной $3^m 45^s$ в данный период наблюдения. В результате такого расхождения в периодах произошли биения с разностной частотой. Такие же биения получены от источника Телец-А (рис. 8).

При меньшем расхождении частот, период биений будет велик и биения не будут видны на записи, поскольку источник успеет за это время выйти из диаграммы направленности антенн. Однако в этом случае амплитуда возникших в системе колебаний будет меньше, чем при одинаковости частот.

Третьей важной особенностью данного метода наблюдения является повышение разрешающей силы радиотелескопа также и по прямому восхождению. Когда два близко расположенных точечных источника радиоизлучения отделены друг от друга по прямому восхождению на время, не кратное периоду лепестков интерференционной картины для данного склонения, то воздействия этих источников на колебательную систему будут отличаться по фазе. И тогда, если источники не сильно отличаются по интенсивности, при определенном положении обеих источников на диаграмме направленности антенн, когда величины сигналов, поступающих от них в приемник, станут равными друг другу, воздействие второго источника начнет сильнее гасить колебания, возникшие в колебательной системе от воздействия первого источника. Затем система будет колебаться под воздействием уже преобладающего по силе второго источника. Пример записи близко расположенных по прямому восхождению источников радиоизлучения приведен на рис. 8. При этом наблюдении система была настроена на склонение $s = 38^\circ$. Нумерация и интенсивности источников приведены по списку Райля (⁹). Без применения этой системы такие близко расположенные источники радиоизлучения установкой не разделялись. А конкретно из этих источников раньше наблюдался только один, № 404, ибо остальные по интенсивности находились ниже предела обнаружения установки (исключая, конечно, еще Телец-А).

Вот в основном те преимущества, которые дает применение метода накопления принимаемого радиоизлучения при помощи резонансной системы.

В настоящей статье приведены только некоторые качественные особенности рассматриваемого метода. Несомненно, требуется тщательное количественное исследование всех затрагиваемых вопросов, что будет сделано в дальнейшем.

В заключение автор выражает признательность С. Э. Хайкину за руководство настоящей работой.

Бюраканская астрофизическая обсерватория
Академии наук Армянской ССР

Ռադիոհեռագրիտակների զգայնության բարձրացման մասին

Ներկա աշխատանքում բննարկվում է ընդունվող թույլ սադիոճառագայթման երկարատև կուտակման միջոցով սադիոհեռագրիտակների զգայնության բարձրացման ննտրափորությունը:

Այդ նպատակն իրագործելու համար սպտագործված է սեղոնանսի երևույթը: Փաղային փոխանջատիչով սադիոինտերֆերոմետրի ելքը միացվում է սեղոնանսային տատանողական սխտեմի մուտքին: Տատանողական սխտեմի սեփական պարբերությունն ընտրվում է հավասար տվյալ հակմանը համապատասխանող ինտերֆերենցիոն պատկերի թերթիկների պարբերությանը: Շնորհիվ սեղոնանսի, տատանողական սխտեմն սկսում է տատանվել հետզհետե աճող ամպլիտուդայով, այն ժամանակ, երբ պատահական ազդանշանները չեն ազդում սխտեմի վրա:

Այսպիսով, այս մեթոդը հնարավորություն է տալիս զիտելու սադիոճառագայթման այնպիսի թույլ ազդուրներ, որոնց զիտումը միևնույն սադիոհեռագրիտակով զիտման սովորական մեթոդներով հնարավոր չէ:

Բյուրականի աստղագրիտարանի 1.2 մ. ալիքում աշխատող սադիոինտերֆերոմետրի 0-ից մինչև 60 հակմանը համապատասխանող ինտերֆերենցիոն պատկերների թերթիկների պարբերությունները գտնվում են 3,5—7,5 բոպեի սահմաններում:

Որպես այդպիսի սեփական պարբերություն ունեցող տատանողական սխտեմ օգտագործված է եռօղակ RC-դենեբրատոր, որն աշխատում է այնպիսի ռեժիմում, երբ գեներացիան հնարավոր չէ:

Նախնական զիտումները ցույց են տալիս զիտման այս մեթոդի հետևյալ առավելությունները.

1. Աննվազն տասն անգամ ավելանում է սադիոհեռագրիտակի զգայնությունը:
2. Մեծանում է սադիոհեռագրիտակի լուծող ուժն ըստ հակման, քանի որ տատանողական սխտեմի վրա ազդում են միայն նրա սեփական պարբերությանը հավասար պարբերություն ունեցող ազդանշանները, այսինքն միայն որոշակի հակման վրա գտնվող սադիոճառագայթման ազդուրները:
3. Որոշ գեպքերում լուծող ուժը մեծանում է նաև ըստ ուղղակի ծագման: Այն գեպքերում, երբ իրար մոտ գտնվող սադիոճառագայթման երկու ազդուրների անկյունային հեռավորությունն ըստ ուղղակի ծագման ինտերֆերենցիոն պատկերի թերթիկների պարբերության բազմապատիկը չէ, այս նրանց ինտերֆերենցիոն պատկերները տարբերվում են իրենց ֆազերով: Եվ երբ այդ ազդուրները գտնվում են անտենայի դիագրամայի այնպիսի կետերում, որ նրանց ազդեցությունները սադիոընդունիչի վրա հավասարվում են, այս երկրորդ ազդուրն սկսում է ավելի ուժեղ մարել տատանողական սխտեմի մեջ առաջին ազդուրի առաջացրած տատանումները: Հետո արդեն սխտեմը տատանվում է երկրորդ ազդուրի ազդեցության տակ: Այսպիսով, հնարավոր է դառնում իրարից դատել բավականաչափ մոտ գտնվող երկու ազդուրներ, որը առանց սեղոնանսային տատանողական սխտեմի կիրառման չէր կարելի անել: Հոգվածում բերված են առաջարկվող մեթոդի միայն որակական առավելությունները: Քանակական հաշվումները կկատարվեն հետագայում:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ Дайк, Res. Sc. inst. 17, 263, 1946. ² Мачин, Райль и Вонберг, Proc. JEE. 99, III, № 59, 1952. ³ Райль, Proc. Roy. Soc. 211 A, 351, 1952. ⁴ Б. Милл и А. Литтл, Aust. J. Sci. Res. A6, 272, 1953. ⁵ В. А. Санамян, Сообщения Бюраканской обсерватории, XXII, 1957. ⁶ В. А. Санамян, Сообщения Бюраканской обсерватории, XIV, 1954. ⁷ Б. П. Асеев, Фазовые соотношения в радиотехнике, М, 1951. ⁸ И. М. Капчинский, Методы теории колебаний в радиотехнике, М.-Л., 1954. ⁹ Дж. Шейкшефт, М. Райль, Дж. Болдвин, Б. Элмор и Дж. Томсон, Memoirs of R. A. S. 67, 106, 1955.