

Структура и параметры новой системы антенного усиления радиотелескопа УТР-2

Э. П. Абринин, Ю.М. Брук, В. В. Захаренко, А. А. Коноваленко

*Радиоастрономический институт Национальной Академии Наук Украины
Украина, 310002, Харьков, ул. Краснознаменная, 4*

Статья поступила в редакцию 7 марта 1997 г., после переработки 14 апреля 1997 г.

В статье приведены структура, основные параметры и характеристики новой широкополосной высоколинейной и высокочувствительной системы антенного усиления (САУ) для радиотелескопа УТР-2 и проведено сравнение с предшествующей САУ. Новая система имеет динамический диапазон 107 дБ/мкВ на низких и >90 дБ/мкВ на верхних частотах по интермодуляциям третьего порядка. Шумы САУ до частоты 30 МГц ниже, чем внешние шумы. Частотный диапазон телескопа с новой САУ составляет 8÷38 МГц, тогда как прежде он был разбит на 6 полос пропускания с 10% шириной каждой из полос.

У статті подано структуру, основні параметри і характеристики нової широкосмугової високолінійної і високочутливої системи антенного підсилення (САП) для радіотелескопа УТР-2 та проведено порівняння з попередньою САП. Нова система має динамічний діапазон 107 дБ/мкВ на низьких та >90 дБ/мкВ на високих частотах по інтермодуляціях третього порядку. Шуми САП до частоти 30 МГц нижче, ніж зовнішні шуми. Частотний діапазон телескопа з новою САП складає 8÷38 МГц, тоді як раніше він був розподілений на 6 смуг пропускання з 10% шириною кожної із смуг.

1. Введение

Системы усиления многоэлементных антенн радиотелескопов, центров радиосвязи и т.д. являются одним из важнейших элементов, определяющих параметры инструментов в целом. Задача повышения чувствительности тесно связана с обеспечением надежной работы в условиях воздействия помех как естественного, так и искусственного происхождения.

Естественный фон имеет более или менее стабильный спектр, изменяющийся с частотой, и определяет нижнюю границу чувствительности инструментов. Помехи же искусственного происхождения имеют крайне неравномерное распределение по частоте, и их возникновение или исчезновение носит в известной мере случайный характер.

Как мощность искусственного радиоизлучения, так и заселенность эфира постоянно возрастают, что требует непрерывного совершенствования высокочувствительных средств радиоастрономического исследования и может становиться причиной неработоспособности успешно эксплуатировавшихся годами инструментов с недостаточной помехоустойчивостью.

Радиоприемные устройства в реальных условиях могут испытывать воздействие помех в 10^{14} раз выше пороговой регистрируемой мощности. Опасность при этом представляет возникновение комбинационных составляющих на элементах с нелинейной передаточной характеристикой (транзисторы, диоды, ферриты и т.п.) и блокирование радиоприемника сигналом мощной помехи, попавшей в полосу приема. При наличии на входе сигналов помех с частотами f_1, f_2, f_3 и т.д. на выходе нелинейного элемента возникают интермодуляционные искажения (ИМИ) с частотами $kf_1 \pm mf_2 \pm nf_3 \pm \dots$, где k, m, n - целые числа.

Из-за того, что интермодуляции нечетных порядков располагаются в непосредственной близости от порождающих их помех, необходимость обеспечения помехоустойчивости важна для любой САУ, каким бы узким ни был ее частотный диапазон. Еще более остро стоят подобные проблемы в широкополосных приемных системах, где мощность ИМИ прямо пропорциональна полосе приема.

Повышение помехоустойчивости и чувствительности при расширении полосы приема и являлось основным требованием при разработке но-

вой системы антенного усиления для крупнейшего декаметрового радиотелескопа УТР-2. Решение этой задачи охватывает целый ряд мер, начиная от разработки новой структуры всей системы усиления для обеспечения ее максимальной чувствительности и линейности.

2. Теоретические основы расчета и конструирования оптимальных модульных широкополосных САУ

Создание усилительной системы предполагает наличие сведений о помеховой и шумовой обстановке в месте расположения приемной антенны, а также данных о структуре системы фазирования и потерях в ней. Традиционно принято большее внимание уделять шумфактору и амплитудно-частотным характеристикам системы усиления. В системе, которая работает в условиях сильных внешних помех, основным параметром является динамический диапазон свободный от комбинаций, который обозначим Df .

Динамический диапазон D является характеристикой помехоустойчивости системы. Если выразить напряжение помех в относительных единицах к некоторому уровню U_c , то D равен такому уровню помех U_n , который вызывает ИМИ равные по уровню U_c (принято значение 1 мкВ):

$$D = 20 \log \frac{U_n}{U_c}. \quad (1)$$

Для определения значения Df достаточно заменить в (1) U_c на шумовое напряжение приемника, приведенное ко входу, в некоторой стандартной полосе. Первое определение удобно при сравнении линейности разных устройств, второе — при разработке сложных трактов приема (например, радиоприемников).

Динамический диапазон по третьему порядку является определяющим фактором линейности системы по следующим причинам. САУ для больших фазированных антенн редко обходится без применения многополосных схем. Эти схемы делят частотный диапазон либо на субоктавные полосы, либо на ряд узких. И то и другое приводит к эффективному подавлению комбинаций четного порядка. С другой стороны, компенсационные принципы позволяют эффективно бороться с ИМИ всех четных порядков. Следовательно, если использовать субоктавные фильтры и двухтактные усилители, четные гармоники и интермодуляции второго и четвертого порядков подавля-

ются и компенсируются на 30-60 дБ. Что касается комбинаций пятого порядка, то, в соответствии с [1], их влияние существенно только тогда, когда абсолютные величины динамических диапазонов по третьему и пятому порядкам отличаются менее, чем на 10 дБ и являются невысокими (≈ 60 дБ). В дополнение к этому, при разработке высокоэффективных САУ требуется использовать все известные методы максимизации линейности, чувствительности и т.д. Разбиение широкой полосы приема на парциальные полосы и компенсация используются совместно с линейризацией усилителей другими схемотехническими и структурными методами. Одним из эффективнейших среди них является распределение (каскадирование) усиления.

Рассмотрим влияние каскадирования на динамический диапазон. Согласно [2] динамический диапазон усилительного модуля с усилением G и отрицательной обратной связью без потерь можно записать следующим образом:

$$D_i = D_{io} - 20 \log G, \quad (2)$$

где D_{io} — постоянная, зависящая от порядка интермодуляции i и передаточной функции усилительного элемента. Выражение для динамического диапазона m -каскадного усилителя получим, учитывая, что напряжение интермодуляции на выходе системы, порожденное j -м элементом, $u_{i,j \text{ out}}$ при входном напряжении u_{in} равно

$$u_{i,j \text{ out}} = k_i (G_1 \cdot G_2 \cdot \dots \cdot G_{j-1} \cdot u_{in})^i \cdot G_j \cdot \dots \cdot G_m, \quad (3)$$

где k_i — множитель, определяющий нелинейность i -го порядка, приведенную ко входу; G_j — коэффициент усиления j -го элемента.

Суммарное напряжение на выходе системы U_{out} составляет

$$U_{out} = u_{in}^i \sum_{j=1}^m \left(10^{12 - \frac{i D_{i,j}}{20}} \prod_{j=1}^m G_j \prod_{l=1}^{j-1} G_l^{i-l} \right), \quad (4)$$

где D_{ij} — динамический диапазон i -го порядка j -го элемента.

Исходя из (3), (4) и определения динамического диапазона (1), суммарный динамический диапазон, приведенный ко входу, равен

$$D_i = 120 - (20 \log(U_{out}/U_C) - G_{\Sigma, dB}) i^{-1}, \quad (5)$$

где $G_{\Sigma, dB}$ - суммарный коэффициент передачи в дБ многокаскадной системы. Тогда для усилителя, составленного из m одинаковых каскадов из (2) - (5) следует

$$D_i = D_{i0} - 20 \log \left\{ G \left[\frac{G^{m(i-1)} - 1}{G^{i-1} - 1} \right]^{\frac{1}{i}} \right\}, \quad (6)$$

дополнительный член равен сумме геометрической прогрессии со знаменателем G^{i-1} . Здесь и далее $G^m = G_{\Sigma} = const$ — заданный коэффициент усиления m -каскадного усилителя.

Из соотношения $dD_i/dG=0$, согласно [2], находим, что D_i имеет максимум при

$$G_{opt} = i^{i-1}.$$

Для $i=2$, $G_{opt}=2$; для $i=3$, $G_{opt}=\sqrt{3}$.

Определим оптимальное значение G для максимизации диапазона свободного от комбинаций. Примем стандартное значение полосы $\Delta f=3$ кГц и ограничимся тепловым шумом. Тогда Df составит

$$Df_i = D_i + \frac{i-1}{i} (Const - N_{dB}),$$

где N_{dB} — шумфактор системы в дБ, а $Const = 30,4$ дБ для выбранной полосы и волнового сопротивления 75 Ом. Шумфактор N системы из m каскадов равен

$$N = 1 + \sum_{j=1}^m \frac{n_j - 1}{G_1 \cdot G_2 \cdot \dots \cdot G_{j-1}}, \quad (7)$$

где n_j — шумфактор j -го каскада; G_j — коэффициент усиления j -го элемента. Тогда, учитывая рост шума (7) в m -каскадном усилителе, получим (для одинаковых каскадов) подобно (6)

$$D_i = D_{i0} - 20 \log \left\{ G \left[\frac{G^{m(i-1)} - 1}{G^{i-1} - 1} \right]^{\frac{1}{i}} \times \left[\left(\frac{1 - G^{-2m}}{1 - G^{-2}} \right)^{\frac{i-1}{2i}} (n-1) + 1 \right] \right\}. \quad (8)$$

Величину G_{opt} находим из (8) в предположении, что

$$\left(\frac{1 - G^{-2m}}{1 - G^{-2}} \right)^{\frac{i-1}{2i}} (n-1) \gg 1. \quad (9)$$

Например, для $i=3$, $G_{opt} = \sqrt{5}$.

Рассмотрим теперь систему с аттенюаторами A между ярусами. Если представить усилительную систему как многокаскадный усилитель с последовательным включением одинаковых пар "усилитель-аттенюатор", то неопределенным остается значение затухания на участке тракта от вибраторов до первого усилительного элемента. Поскольку ИМИ убывает пропорционально кубу затухания при расположении аттенюатора до входа нелинейного элемента и только первой степени затухания при расположении аттенюатора после него, то этот элемент может являться важным звеном для повышения помехозащищенности всей системы. В то же время, его можно не учитывать при расчетах многокаскадного усилителя, так как он лишь смещает верхнюю и нижнюю границу динамического диапазона, свободного от комбинаций.

Подобно формуле (8) получим при $A > 1$

$$D_i = D_{i0} - 20 \log \left\{ G \left[\frac{(G/A)^{m(i-1)} - 1}{(G/A)^{i-1} - 1} \right]^{\frac{1}{i}} \times \left[\left(\frac{1 - (G/A)^{-2m}}{1 - (G/A)^{-2}} \right)^{\frac{i-1}{2i}} (n-1) + 1 \right] \right\}. \quad (10)$$

Рассчитаем оптимальные значения усиления отдельной ячейки и аттенюации между ячейками. Приравнявая производную выражения (10) по G нулю, получим оптимальное усиление при фиксированном ослаблении между ярусами. Для ИМИ третьего порядка $G_{opt} = A_{opt} = 2/3 \lg(e)$ (соответствует 5,79 дБ). Для случая, когда шумы ячеек пренебрежимо малы, что соответствует формуле (6), $G_{opt} = A_{opt} = 1/3 \lg(e)$.

Рассчитаем оптимальное количество одинаковых ярусов из условия равенства внешних (в основном порождаемых галактическим фоном) и внутренних шумов. Шумы САУ определяются формулой (7) при одинаковых шумфакторах n всех каскадов

$$N_{opt} = 1 + (n - 1)m. \quad (11)$$

Запишем условие равенства шумов как

$$\frac{A_{\Sigma}}{N_G} = \frac{G_{opt}^m}{N_{opt}}, \quad (12)$$

где A_{Σ} — суммарное затухание; N_G — галактический шум; G_{opt} — усиление яруса оптимальной системы; N_{opt} — шумы оптимальной системы. Тогда, из (11) и (12) оптимальное количество ярусов (при введении частотной зависимости потерь и галактического фона) составляет

$$m = \left(\frac{A_{\Sigma}(f)(1 + (n - 1)m)}{N_G(f)} \right)^{\frac{1}{G_{opt}}}, \quad (13)$$

где $A_{\Sigma}(f)$ — суммарное затухание, зависящее от частоты; $N_G(f)$ — частотно-зависимый галактический фон. Если опять воспользоваться условием (9), то приближенно количество ярусов равно

$$m = \left(\frac{A_{\Sigma}(f)(1 + (n - 1)m)}{N_G(f)} \right)^{\frac{1}{G_{opt}}}. \quad (14)$$

Эти решения для каждого значения m будут определять оптимальные частоты стыковки полос многополосной системы.

Для получения численных оценок достижимого динамического диапазона возьмем измеренные

значения шумфактора и динамического диапазона усилительных модулей с автотрансформаторной обратной связью: $n=3$, $D_3=104$ дБ. Шумы САУ приравняем внешним шумам и суммарный коэффициент передачи возьмем близким к параметрам телескопа УТР-2. Рассчитанные значения Df , N и G изображены на рис. 1. Из рисунка видно, что на стыках полос с малым количеством усилительных каскадов заметны скачки как динамического диапазона (кривая 1), так и суммарного усиления (кривая 3). При больших m эти скачки сглаживаются. Функция же шумфактора (кривая 2), по которой, собственно, и проводилась оптимизация, остается гладкой.

$G, N, Df, \text{дБ}$

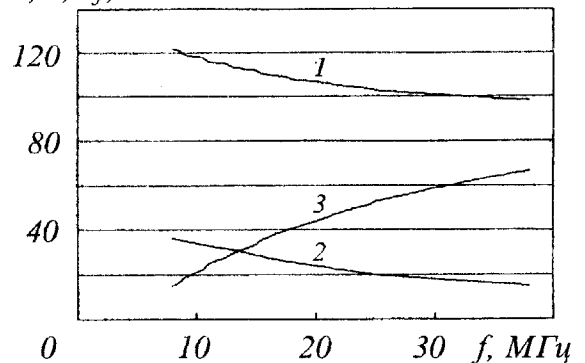


Рис. 1. Рассчитанные значения динамического диапазона, свободное от интермодуляций (кривая 1), шумфактора (кривая 2) и суммарного усиления (кривая 3) оптимальной системы усиления для модельного радиотракта.

Естественно, точное построение оптимальной системы практически трудно выполнимо из-за неоправданной технической сложности САУ, связанной с большим количеством ярусов и частотно-разделительных устройств, разрывов тракта для включения усилителей и т.п.

3. Структура и основные параметры САУ

Опираясь на вышеприведенные расчеты, а также учитывая требования экономичности и простоты САУ, взаимозаменяемости модулей усилителей и частотно-разделительных устройств, объединения усилителей разных полос в многокаскадные многополосные усилители, мы выбрали трехполосную четырехярусную систему с распределением усиления, изображенным на рис. 2 [3, 4]. На рисунке показаны значения усиления в ярусах и суммарное усиление для каждой из полос. Схематично расположение блоков САУ в тракте

УТР-2 изображено на рис. 3. Римскими цифрами указано расположение блоков разработанной ранее двухъярусной САУ [5], а арабскими — заменяющей ее новой четырехъярусной. Также на рисунке схематично показаны элементы системы фазирования радиотелескопа [6, 7]. Видно, что повышение чувствительности достигается более близким ко входу расположением первого яруса усиления, чем в прежней системе (приведены коэффициенты передачи фазовращателей и усилителей на 25 МГц). Такая структура позволяет оптимизировать все параметры радиотелескопа. Усиление автотрансформаторных усилительных модулей [8, 9] выбрано близким к оптимальному

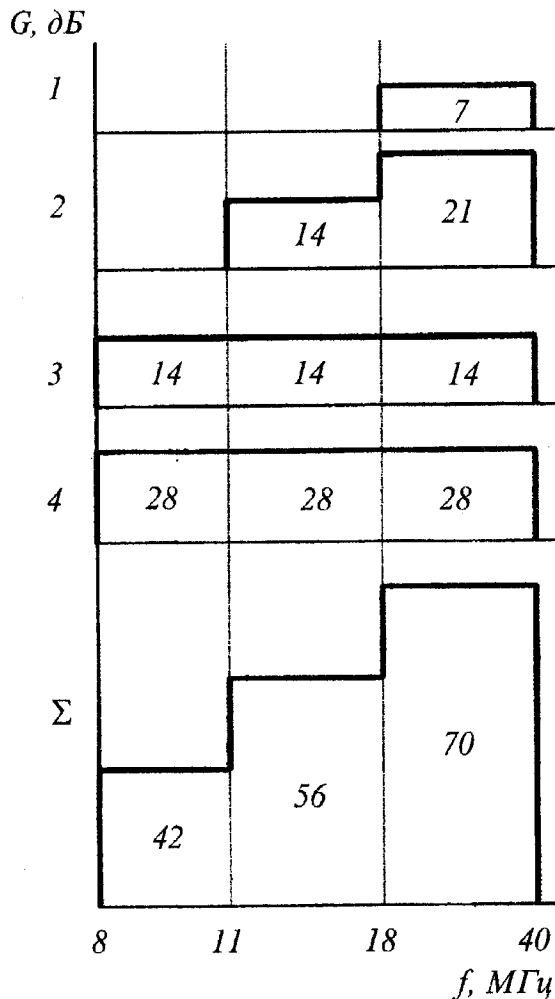


Рис 2. Распределение усиления в новой трехполосной четырехъярусной системе усиления УТР-2 для антенн "Север-Юг" (N-S) и "Запад-Восток" (E-W).

(7 дБ). Устройства разделения и суммирования спектра на основе восьмиполосных схем с использо-

ванием антисимметричных фильтров четного порядка, все входы которого согласованы во всей полосе [10, 11], позволяют максимально упростить полосные усилители [12, 13]. Распределение усиления оптимизировано как в отдельном ярусе [14], так и в системе в целом [15]. Кроме того, в системе усиления применены все известные способы для повышения линейности усилительных модулей и многополосных усилительных блоков [14]. Рассчитанные параметры САУ по приведенным формулам показаны на рис. 4. Для сравнения на том же рисунке приведены характеристики старой САУ.

Четырехъярусная структура САУ из независимых блоков позволила произвести поэтапную — начиная с 1989 г. — модернизацию УТР-2 без остановки работы радиотелескопа. Так, второй и четвертый ярус заменили первый и второй ярусы прежней (двухъярусной) САУ, а первый ярус новой САУ оказался выдвинутым ближе к излучателям. Это позволило существенно понизить ее шумфактор на высоких частотах. Третий ярус, расположенный между вторым и четвертым, позволил оптимально распределить усиление и поднять динамический диапазон.

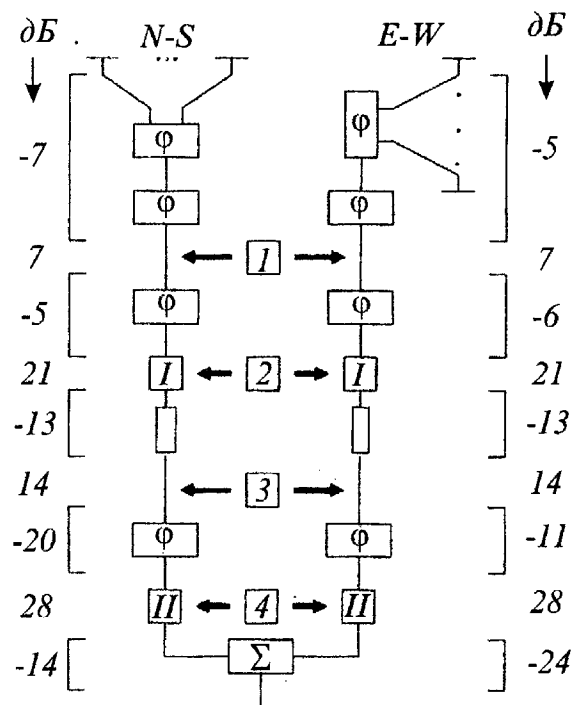


Рис 3. Расположение блоков новой и старой САУ в тракте УТР-2. Блоки новой САУ обозначены арабскими цифрами, блоки старой — римскими, Φ - обобщенное обозначение для блоков системы фазирования. Приведены коэффициенты передачи для частоты 25 МГц.

4. Методика и результаты измерений характеристик САУ

Измерения итоговых параметров САУ и радиотелескопа в целом проводились по методике, изложенной ниже. Так как калибровкой охвачены только три яруса новой системы, то измерения проводились на отдельной секции, в усилители первого яруса которой по дополнительному кабелю был подан калибровочный сигнал. Для определения динамического диапазона по интермодуляциям 3-го порядка таким сигналом служил двухчастотный сигнал с разнесом частот 10 кГц , характеристика снималась через $0,5\text{ МГц}$. Поскольку D в соответствии с расчетом оказался выше D измерительного приемника, а разнос тестовых частот весьма мал, то были применены устройства для измерения малых нелинейностей, описанные в [16]. Измерения проводились для 3-х конфигураций САУ: новая система усиления в штатном режиме работы УТР-2, новая САУ при исключенных диодных коммутаторах (позволяющих в штатном режиме проводить калибровку) и, для сравнения, старая САУ в штатном режиме.

Коэффициент передачи измерялся с помощью штатной системы калибровки, в которой неохваченный калибровкой ярус усиления компенсируется идентичным калибровочным блоком.

В качестве критерия чувствительности было выбрано превышение суммы внешних шумов и шумов САУ над собственно шумами САУ. Это отношение измерялось для одной секции антенны Север-Юг при направлении на полюс Галактики. Такая методика определения чувствительности связана с тем, что использование естественного генератора шума вполне оправдано для сравнительных измерений, хотя измерение шумовой температуры неба представляет собой отдельную задачу.

Измерение параметров амплитудного и фазового разброса проводилось отдельно для каждого яруса системы антенного усиления. Специальная аппаратура, разработанная для настройки модулей усилителей и фильтров по эталону, имеет точность измерения ошибок в комплексном коэффициенте передачи выше, чем -40 дБ , (при этом фазовый сдвиг между эталонным и исследуемым сигналами не превышает $0,2^\circ$).

Все измерения для старой системы проводились в ее полосах пропускания (10-процентных полосах с центральными частотами $10; 12,6; 14,6; 16,7; 20$ и 25 МГц).

$D, N, \text{ дБ}$

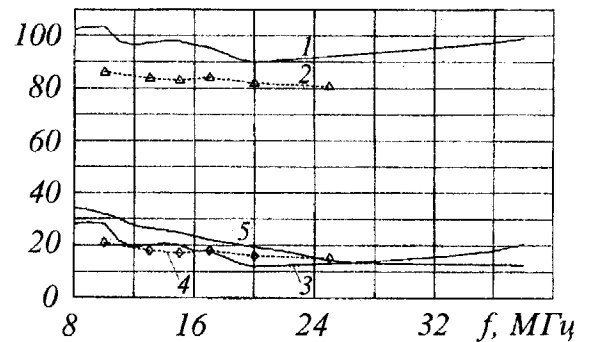


Рис. 4. Рассчитанные параметры новой САУ и предыдущей шестиполосной САУ (штриховые линии с точками): 1 и 2 — D новой и старой САУ; 3 и 4 — шумфактор новой и старой САУ соответственно; 5 — внешние шумы в дБ по отношению к 300 К .

$D, \text{ дБ}$

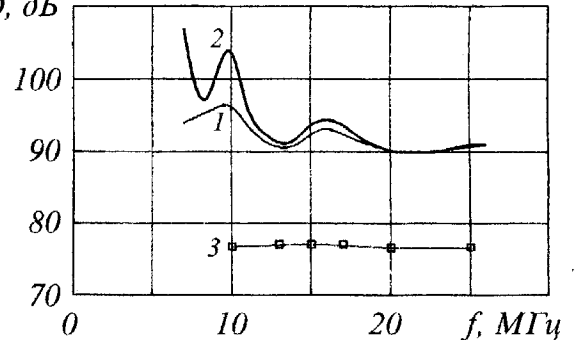


Рис. 5. Частотная зависимость динамического диапазона по интермодуляциям 3-го порядка от частоты: 1 — D новой системы усиления при включенных диодных коммутаторах (штатный режим); 2 — то же при исключенных диодных коммутаторах; 3 — D старой САУ.

На рис. 5 приведены следующие зависимости динамического диапазона по интермодуляциям 3-го порядка от частоты: 1 — D новой системы усиления при включенных диодных коммутаторах (штатный режим); 2 — то же при исключенных диодных коммутаторах; 3 — динамический диапазон старой САУ. Как видно из рисунка, D новой системы на $14...20\text{ дБ}$ превышает соответствующий показатель старой САУ. Это соответствует кубическому снижению реальных помех 3-го порядка, т.е. уменьшению их до $42...60\text{ дБ}$. Еще большее подавление интермодуляций (до 90 дБ) получено в случае отсутствия коммутаторов. Таким образом, мы видим, что динамический диапазон телескопа ограничивается не активными элементами САУ, а слабонелинейными, но многочисленными устройствами коммутации в системе контроля. Очевидно, что для старой САУ исклю-

чение коммутаторов не даст никакого результата, т.к. динамический диапазон коммутаторов значительно выше, чем D старой САУ.

Измерения суммарного коэффициента передачи системы усиления и тракта радиотелескопа показывают, что выбранная кусочно-линейная аппроксимация затухания от частоты приводит к некоторой неравномерности в полном частотном диапазоне. Однако максимальная неравномерность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) не превышает 8 дБ/МГц на частоте 9,7 МГц, где из-за влияния большого количества станционных помех рабочие полосы равны нескольким килогерцам, а выше 20 МГц производная от АЧХ крайне незначительна (0,4...1,3 дБ/МГц).

Сравнительные характеристики чувствительности приведены на рис. 6. Превышение суммарного шума (внешний+внутренний) над шумами САУ для новой САУ показано на кривой, кривая 2 описывает старую систему. Как видно из рисунка, превышение суммарных шумов над собственными, равное 3 дБ, у новой системы примерно на 5 МГц выше, чем у старой (около 30 МГц). Это практически равно верхней рабочей частоте антенны и радиометров (< 32 МГц).

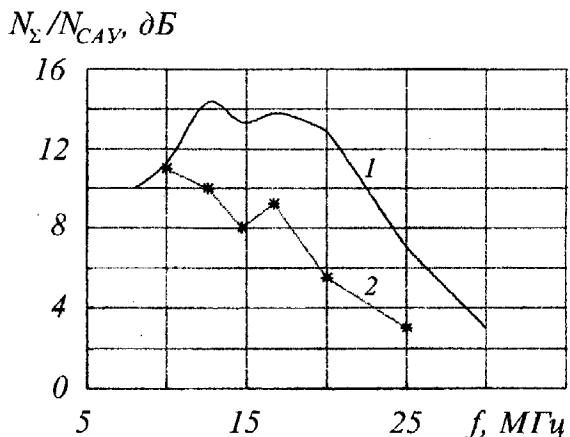


Рис. 6. Сравнительные характеристики чувствительности двух САУ: 1 — превышение суммарного шума над шумами новой САУ; 2 — то же для старой САУ.

Важным параметром блоков САУ является разброс фаз, амплитуд, входных и выходных сопротивлений по полю антенны, что искажает амплитудный и фазовый рельеф. Данные измерений показывают, что максимальные отличия комплексного коэффициента передачи блоков каждого яруса не превышает 7° и 0,4 дБ. Среднеквадратичные ошибки во всех ярусах на всех частотах

не превосходят 3° и 0,2 дБ. Таким образом, можно утверждать, что новая САУ, также как и старая, не искажает диаграммы антенны и распределения токов.

5. Некоторые результаты радиоастрономических наблюдений

Высокая эффективность новой САУ, которая вводилась в строй поэтапно, была подтверждена в ходе радиоастрономических экспериментов последних лет. Повышенная чувствительность выше 20 МГц проявляла себя при исследованиях Солнца, вспыхивающих звезд, пульсаров. Возможность работы на частотах выше 25 МГц обеспечила проведение синхронных с ФИ АН России исследований пульсара 0809+74 в диапазоне от 16 до 100 МГц, Солнца, совместных украинско-австрийско-французских экспериментов по исследованию декаметрового радиоизлучения Юпитера и влияния на него кометы Шумейкера-Леви. Однако в наибольшей мере положительные особенности новой системы проявились в программе декаметровой спектроскопии. Около 15 лет назад на УТР-2 был обнаружен экзотический феномен — предельно низкочастотные радиолинии углерода с рекордно высоким главным квантовым числом превышающим 600. Эти возбужденные ридберговские атомы стали эффективным средством диагностики межзвездной среды, дающим информацию, недоступную другим методам астрофизических исследований. На УТР-2 был впервые получены линии C 629+, C 630+, C 633+ (частоты 26,375; 26,250; 25,879 МГц) и 813α с частотой около 12 МГц. Приведенные результаты иллюстрируют высокий динамический диапазон новой САУ и отсутствие комбинационных помех с уровнем выше -40 дБ по отношению к галактическому фону. Причем значительная часть экспериментов проводилась в дневное время, когда уровень помех особенно высок. В ходе экспериментов подтвердилась также высокая стабильность амплитудно- и фазо-частотных характеристик и их независимость от времени, температуры и других факторов.

6. Выводы

Всесторонняя проверка важнейших характеристик САУ показывает ее полное соответствие высоким требованиям, которые могут быть предъявлены к такому уникальному инструменту, как УТР-2. Расширение частотного диапазона, принимаемого телескопом, сразу сказалось на количестве решаемых радиоастрономических и радио-

локационных задач. Качество получаемых результатов резко возросло из-за расширения динамического диапазона, свободного от комбинаций как за счет повышения чувствительности на высоких частотах, так и из-за повышения помехоустойчивости в нижней части частотного диапазона УТР-2. Последнее позволяет проводить большое количество наблюдений и днем, когда помеховая обстановка особенно неблагоприятна.

Модернизация радиотелескопа УТР-2 осуществлялась в рамках программы научных исследований по теме 1.20 Национальной Академии Наук Украины и грантов 22/100 и 23/547 Государственного фонда фундаментальных исследований ГКНТ Украины а также грантов: ESO A-01-041, ISF U9W000, INTAS 94-3097 и 94-4010. В.В. Захаренко благодарит также Американское Астрономическое Общество за персональную поддержку. Всем этим организациям авторы выражают свою искреннюю признательность.

Литература

1. Побережский Е.С., Соколовский М.Н. Радиотехника. 1992, №9 с. 54-60.
2. Брук Ю.М., Захаренко В.В. Радиотехника. 1990, № 5, с. 99-100.
3. Абрагин Э.П., Брук Ю.М., Захаренко В.В. и др. В сб. Тезисы докл. XXI Всесоюзной конференции. Радиоастрономическая аппаратура. Ереван, 1989, с. 27-28.
4. Abranin E.P., Bruk Y.M., Konovalenko A.A., Zakharenko V.V. Proc.of the 1992 Symp. IEEE on Electromagnetic Compatibility. TEL-AVIV, ISRAEL, 1992.
5. Мень А.В., Бовкун В.П. Помехоустойчивые широкополосные антенные усилители.- В кн. Антенны Под ред. Пистолькорса, М.: Связь, 1978, вып. 26, с.75-91.
6. А.В.Мень, Л.Г.Содин, Н.К.Шарыкин и др. Принципы построения и характеристики антенн радиотелескопа УТР-2.- В кн. Антенны под ред. Пистолькорса, М.: Связь, 1978, вып. 26, с.75-91.
7. Антенны. Под ред. Пистолькорса. Москва, Связь, 1978, вып. 26, с. 75-91.
8. Абрагин Э.П., Брук Ю.М. Радиотехника. т. 42, с. 31-32.
9. Абрагин Э.П., Брук Ю.М., Захаренко В.В. В сб. Тезисы докл. XXI Всесоюзной конференции. Радиоастрономическая аппаратура, Ереван, 1989.-с.31-32.
10. Брук Ю.М., Гордиенко П.А., Ермаков В.Ю. и др. Препринт ИРЭ АН УССР. Харьков, 1979, №131, 52с.
11. Брук Ю.М., Радиотехника. 1980, № 10, с. 40-42.
12. Abranin E.P., Bruk Y.M., Konovalenko A.A., Int. J. of Electronics. 1990, v. 69, No.3, pp. 245-357.
13. А.с.1679601 (СССР) Э.П.Абрагин, Ю.М.Брук, В.В.Захаренко и др. Оpubл. в БИ, 1989, № 35.
14. Абрагин Э.П., Брук Ю.М., Захаренко В.В. и др. Модернизация аппаратного комплекса радиотелескопа УТР-2.-Тезисы XXV Радиоастрономической конференции, Пушино, 1993.- с.179.
15. Zakharenko V.V. Abstracts XXII YERAC. Kharkov, 1989, p. 51.
16. Брук Ю.М., Захаренко В.В. Приборы и техника эксперимента. 1993, № 4, с. 92-98.

Structure and Parameters of New System of Antenna Amplification of Radio Telescope UTR-2

E.P. Abranin, Yu.M. Bruk, V.V. Zakharenko and A.A. Konovalenko

The article adduces the structure, main parameters and characteristics of the new broadband high-linearity and high-sensitivity antenna amplification system (AAS) for radio telescope UTR-2 and the comparison with previous AAS is carried out. The new system has the dynamic range $107 \text{ dB}/\mu\text{V}$ at low frequencies and $>90 \text{ dB}/\mu\text{V}$ at high frequencies over the third order intermodulations. The AAS noise magnitude is below than galactic noise up to 30 MHz. The frequency range of the telescope with new AAS consists $8 \div 38 \text{ MHz}$, while before it was divided in 6 passbands with 10%-width of each band.