



АКАДЕМИЯ НАУК СССР СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

препринт 190

Н.С.Бабенко, А.Н.Сударкин

Широкополосный синхронный детектор

Новосибирск
1968

Н.С.Бабенко, А.Н.Сударкин

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ СИНХРОННЫЙ ДЕТЕКТОР

А Н Н О Т А Ц И Я

Предлагается схема и конструкция двухтактного синхронного детектора на полупроводниковых диодах типа Д11, работающего в диапазоне $30 \div 100$ мгц с линейной амплитудной характеристикой при входных сигналах от 1 мв до 0,5 в. СД обладает избирательностью по частоте: полоса пропускания устройства $2\Delta F \sim 25$ мгц.

Маршрут Новосибирск
от абонента
4/VIII Ф. Крайнев

В в е д е н и е

При решении ряда радиотехнических задач необходим линейный детектор амплитудно-модулированных радиосигналов с большим динамическим диапазоном $\sim 50 \div 60$ дБ при минимальном уровне порядка 1 мВ. Реализовать его с помощью обычного амплитудного детектора не позволяет нелинейность вольтамперной характеристики диодов на начальном участке. Как правило, в этих случаях применяется синхронный детектор (СД), который не только имеет линейную амплитудную характеристику в указанном диапазоне сигналов, но и с фильтром низкой частоты на выходе обладает хорошей избирательностью по частоте. В последние годы наибольшее распространение получили СД на полупроводниковых триодах и диодах, обладающих хорошими ключевыми свойствами.

Авторами предлагается схема и конструкция СД с полосой пропускания $2 \Delta F \sim 25$ мГц, который позволяет работать в диапазоне частот от 30 мГц до 100 мГц. Рассмотрим особенности предлагаемого СД.

Представленная на рис. 1 схема последовательного двухтактного СД на диодах выбрана из соображений получения малого нулевого сигнала, максимального коэффициента передачи и наименьшей инерционности схемы. Наличие двух плеч СД и возможность подстройки с помощью резисторов R_3, R_4 позволяют довольно точно установить нуль каждого плеча и в дальнейшем скорректировать его до $U_0 \leq 1$ мВ. В опытном образце уход нуля не превышал 1 мВ в течение 8 часов работы и изме-

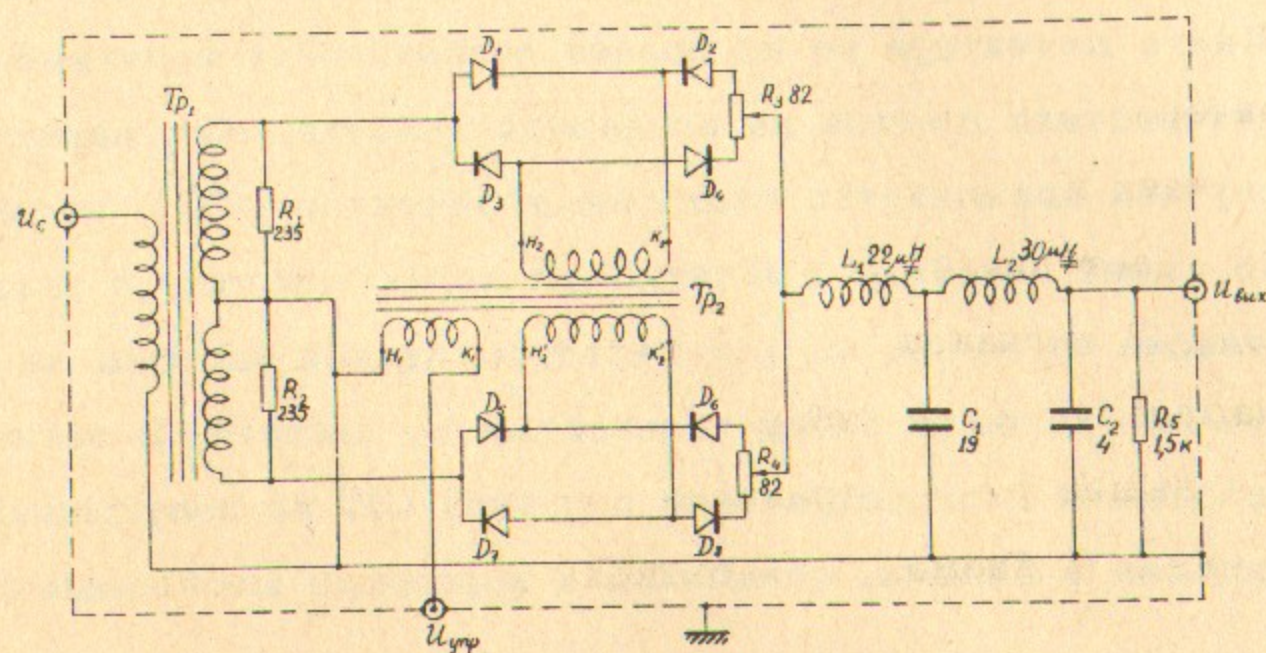


Рис.1. Принципиальная схема СД.

нении температуры от 15°С до 45°С.

Двухтактная схема последовательного СД позволяет при гармонических напряжениях получить близкий к 1 коэффициент передачи, определяемый, в первом приближении, соотношением:

$$K_n = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{эф}}} = \frac{R_n}{R_i + R_n} \cdot \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \cos \varphi \quad (1).$$

где

φ - угол сдвига фаз между напряжением управления и сигнала, $U_{\text{эф}}$ - эффективное напряжение на первичной обмотке сигнального трансформатора (тр.1), R_i - внутреннее сопротивление цепи сигнала. В частности при $R_n \gg R_i$ и $\varphi = 0$ $K_n \approx 0,9$.

В предлагаемой схеме СД в качестве ключевых элементов выбраны высокочастотные точечные полупроводниковые диоды типа Д11 с крутой вольтамперной характеристикой. По цепи управления диоды работают в режиме малых инжекций и поэтому безинерционны в прямом направлении до частот порядка 10^9 гц [1]. У точечных диодов обратный ток благодаря полусферической форме перехода на порядок меньше, чем у плоскостного, и ключевые свойства сохраняются до более высоких частот при прочих равных условиях [1, 2, 3].

Конструкция и параметры

Основными узлами СД, обеспечивающими широкополосность схемы, являются трансформаторы сигнала и управления Тр.1 и Тр.2. Конструктивно Тр.1 и Тр.2 (рис.2), выполнены однотипно, в соответствии с рекомендациями автора работы [4]. Первичная и вторичная обмотки трансформаторов намотаны на отдельных ферритовых кольцах (1) марки Ф-600 К21 x 11 x 5 и содержат по 9 витков, равномерно размещенных по периметру сердечника. Вторичная обмотка для лучшей симметрии плеч намотана в два провода. Связь между обмотками трансформатора обеспечивается за

счет короткозамкнутого объемного витка, охватывающего ферритовые кольца и состоящего из кожуха трансформатора (2) и фасонной разборной оси (3). Конфигурация фасонной оси обусловлена получением минимальной индуктивности рассеяния. Вместе с посеребренным медным экраном (5) она обеспечивает малую межобмоточную ёмкость. Разборная конструкция трансформатора позволяет быстро изменять число витков обмоток и симметрировать выходные напряжения. Трансформатор рассчитан на внутреннее сопротивление источника 75 ом и среднюю частоту 30 мгц. Для выравнивания частотной характеристики сигнального трансформатора параллельно каждой половине вторичной обмотки и подклю-

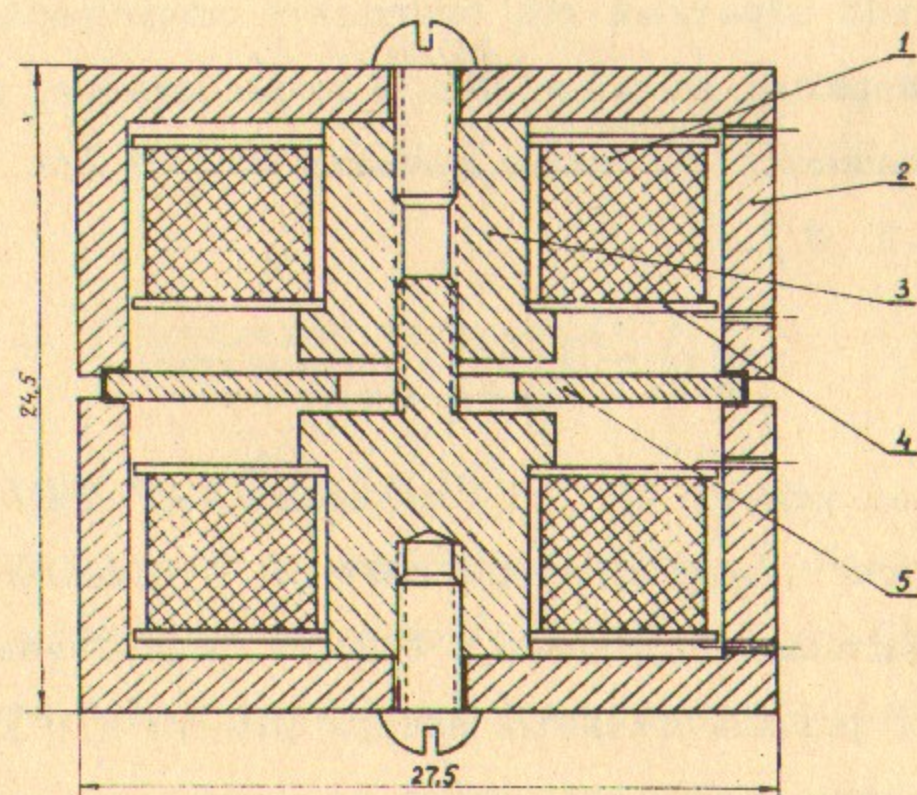


Рис.2. Конструкция широкополосного трансформатора.

1 - ферритовые кольца с обмотками, 2 - кожух трансформатора, 3 - фасонная разборная ось, 4 - слюдяные щечки.

чены демпфирующие резисторы R_1, R_2 . Результирующая частотная характеристика сигнального трансформатора Тр.1, снятая при генераторе напряжения на входе, приведена на рис.3 (кривая 1). Коэффициент трансформации остается постоянным в диапазоне частот 1 мгц ÷ 35 мгц и монотонно спадает с повышением частоты до уровня порядка 6 дб на 100 мгц. Входное сопро-

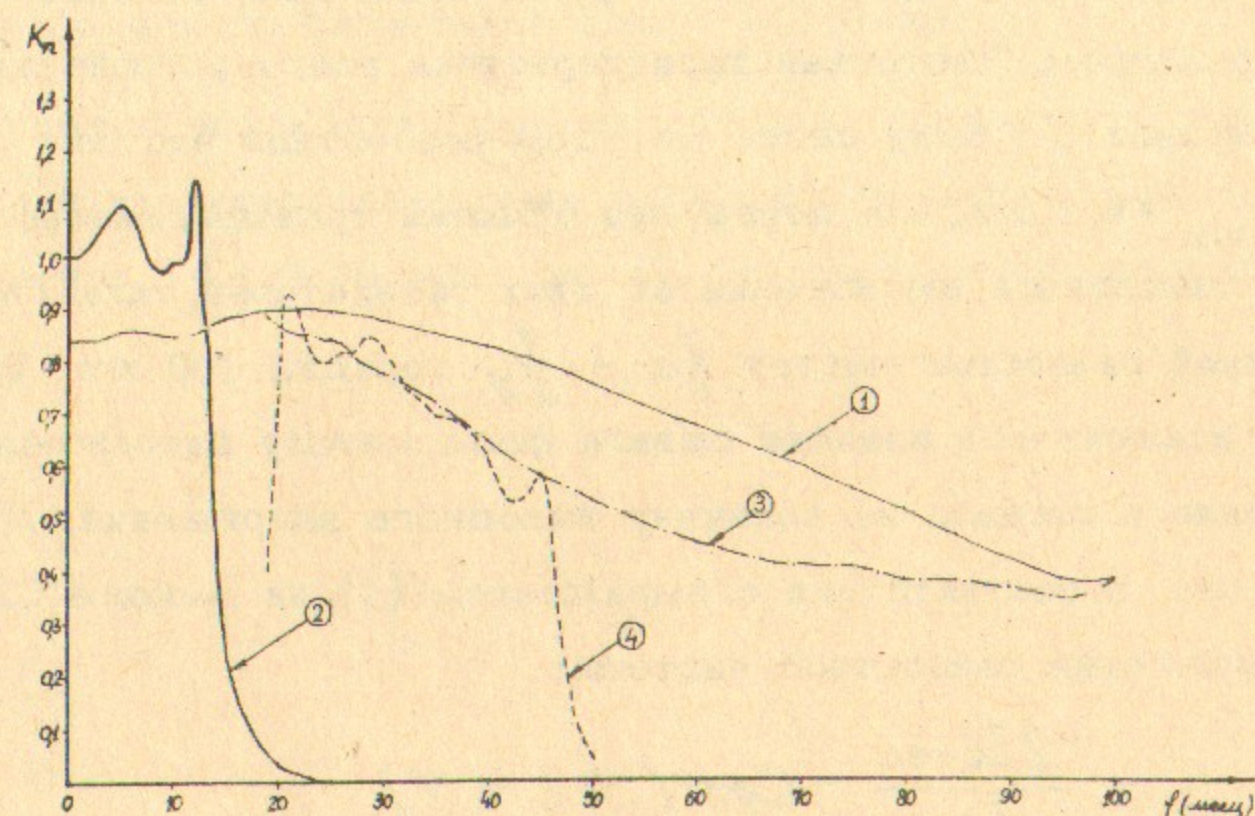


Рис.3. Частотная характеристика СД.

- (1) - частотная характеристика сигнального трансформатора
- (2) - частотная характеристика фильтра
- (3) - общая частотная характеристика СД.
- (4) - полоса пропускания СД при частоте управления $f_y = 33$ мгц.

тивление трансформатора на частотах 2,30 и 70 мгц равно соответственно 87, 100 и 345 ом. На выходе СД включен фильтр низких частот [5], рассчитанный на граничную частоту $f_c \sim 10$ мгц и неравномерность сопротивления передачи Z_{21} порядка 15%.

Его частотная характеристика показана на рис.3 (кривая 2). Затухание на частоте 30 мгц не менее 50 дб.

Все элементы схемы помещены в медный экран с тремя отдельными отсеками: для цепи управления, цепи сигнала и диодов с фильтром. Частотная характеристика всего устройства, рис.3 (кривая 3), была снята методом разностной частоты при $U_{упр.эф.} \sim 1,5$ в. На первичные обмотки трансформаторов Тр.1 и Тр.2 подавалось напряжение от двух генераторов типа Г4-7А с постоянной разностью частот $f_c - f_y$ порядка 100 кгц. В этом случае исключалось влияние сдвига фазы между напряжениями управления и сигнала на величину выходного напряжения. Действительно, в соответствии с выражением (1) на выходе СД будет напряжение разностной частоты:

$$U_{вых нч} = \frac{2U_{mc}}{R} \cdot \cos(\Omega t + \varphi),$$

где

$$\Omega = \omega_c - \omega_y.$$

Из сравнения графиков (1) и (3) рис.3 видно, что данная схема позволяет осуществлять синхронное детектирование до частот порядка 100 мгц. Полоса пропускания, снятая при аналогичной методике и постоянной частоте управляющего напряжения 33 мгц, приведена на рис.3 (кривая 4). Расчетная величина коэффициента

передачи СД с учетом внутреннего сопротивления диодов, коэффициента передачи трансформатора и балансирующих резисторов R_3, R_4 отличалась от измеренной менее чем на 10%. Неравномерность коэффициента передачи СД в полосе пропускания обусловлена фильтром низких частот и трансформатором сигнала. На частоте управления коэффициент передачи численно равен 0,75. Ослабление на второй гармонике частоты управления - 43 дб, на третьей гармонике - 23 дб. Входной импеданс устройства на частоте 33 мгц по сигнальной цепи ~ 110 ом.

С целью исключения нулевого сигнала постоянного тока амплитудная характеристика была также снята методом разностной частоты при $f_c \sim 30$ мгц (рис.4). На графике по оси абсцисс

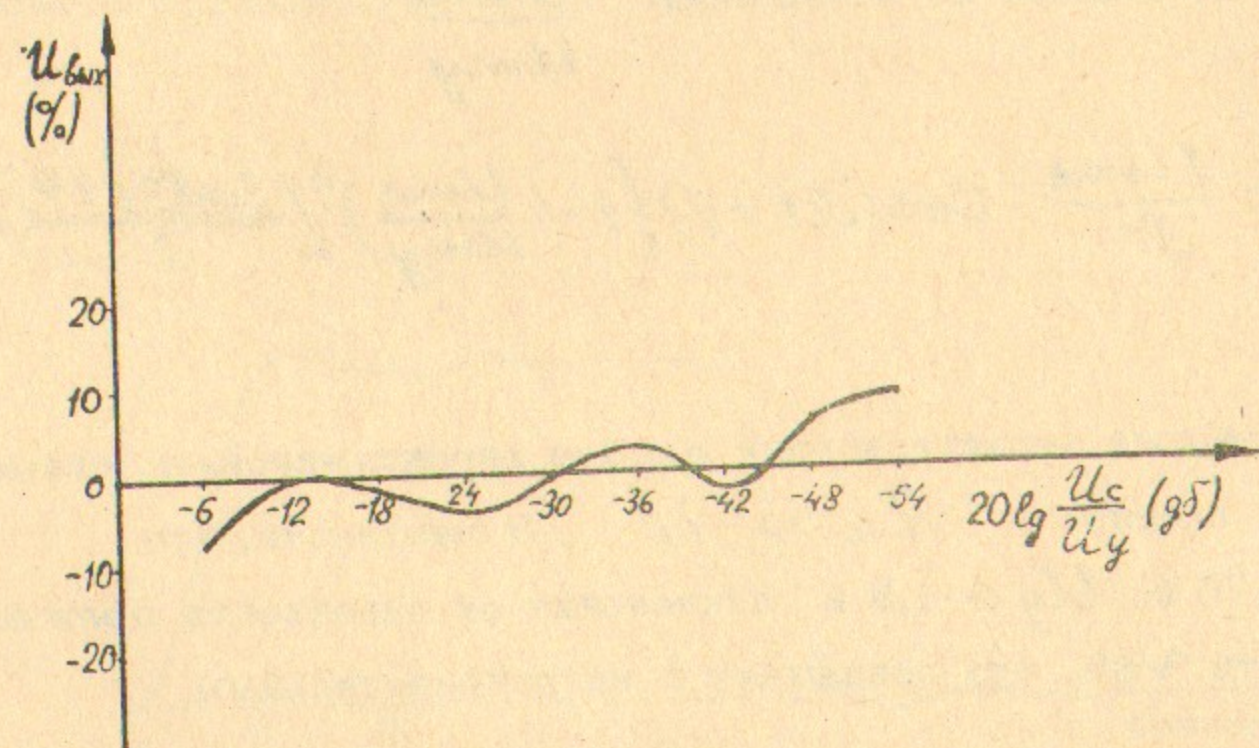


Рис.4. Амплитудная характеристика СД при $U_y = 1,5$ в.

отложен уровень сигнала относительно напряжения управления в дБ. В качестве аттенюатора в эксперименте применялся Д0-8, а для контроля выходного напряжения вольтметр типа УР03-2. По оси ординат отложено отклонение выходного напряжения от линейности $\delta U_{\text{вых}}$ в %. За опорное принято напряжение выхода на уровне -30 дБ. Как следует из графика, отклонение от линейности амплитудной характеристики СД в динамическом диапазоне -10;-48 дБ находится в пределах погрешности измерений. Увеличение погрешности на малых уровнях обусловлено прохождением нулевого сигнала (при -110 дБ он составлял величину порядка 1,5 мВ). При большом входном сигнале нелинейность объясняется тем, что при синусоидальной форме напряжений управления и сигнала выходное напряжение, при более строгом рассмотрении, зависит от отношения $\frac{U_{mc}}{U_{my}}$

$$U_{nr} = \frac{2U_{mc}}{\pi} \cdot \cos(\Omega t + \varphi) \left\{ 1 - \left(\frac{U_{mc}}{U_{my}} \right)^2 \left[\frac{\sin^2(\Omega t + \varphi)}{2} + \dots \right] \right\}$$

Вольтамперные характеристики диодов аппроксимированы прямой линией и принято $R_n \gg R_i$. В частности, при $U_c = 0,75$ в. $U_y = 1,5$ в отклонение от линейности должно составлять $\sim 8\%$, что совпадает с экспериментальным.

В заключение была снята переходная характеристика СД на частоте 33 мгц. Напряжение сигнала порядка 0,5в прерывалась ртутным реле, обеспечивающим длительность фронта поряд-

ка 10 нсек. Огибающая радиоимпульса после детектора и фильтра с нагрузки R_5 через катодный повторитель подавалась на вход осциллографа типа С1-8. Форма огибающей представлена на рис.5. Выброс переходной характеристики устройства не превышает $\sim 4\%$ и обусловлен фазовой и частотной характеристикой фильтра.

Выводы

1. Предлагаемый синхронный детектор позволяет осуществлять линейное синхронное детектирование в динамическом диапазоне амплитуд от 1 мВ до 0,5в и частотном диапазоне несущих 30 ÷ 100 мгц.
2. Схема обладает большой избирательностью за пределами полосы пропускания, (не менее 50 дБ).

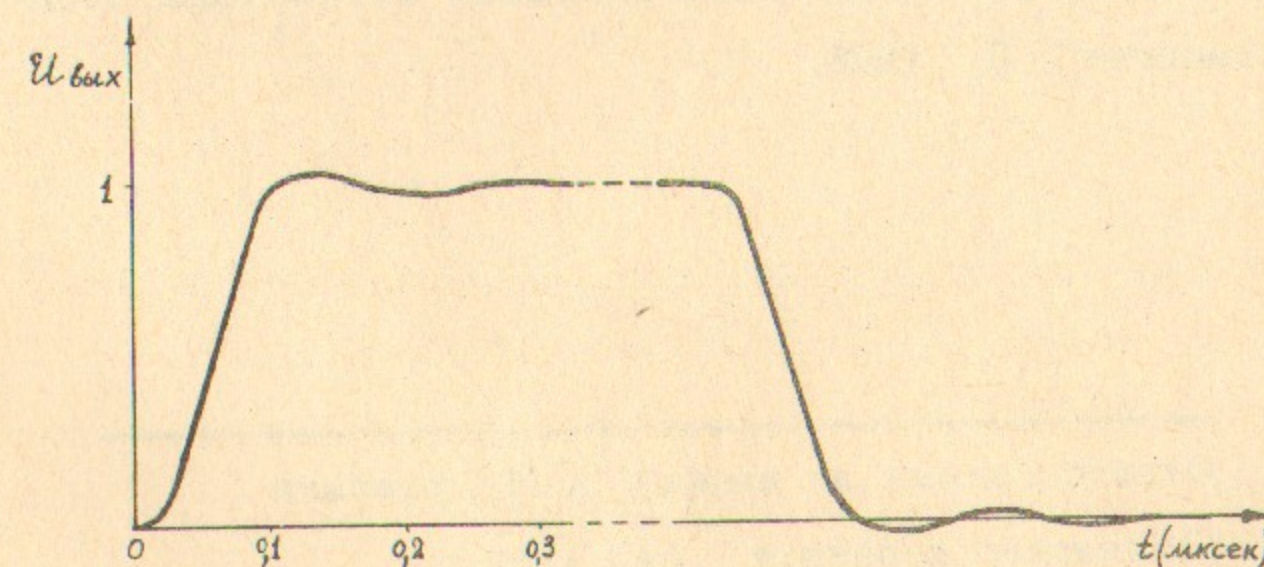


Рис.5. Переходная характеристика СД.

Л и т е р а т у р а

- [1] Ю.Р.Носов. Полупроводниковые импульсные диоды.
Изд-во "Сов.радио", М., 1965.
- [2] А.Я.Федотов. Основы физики полупроводниковых приборов.
Изд-во "Сов.радио", М., 1963.
- [3] С.А.Ерёмин и др. Полупроводниковые диоды с накопле-
нием заряда и их применение. Изд-во "Сов.радио", М.,
1966.
- [4] Ю.М.Лебедев-Красин. Радиотехника, т.12, № 9, 1957.
- [5] М.Е.Альбац. Справочник по расчёту фильтров и линий за-
держки. Госэнергоиздат, М.-Л., 1963.
- [6] Ю.В.Попов. ПТЭ, № 3, 1960, 77.
- [7] В.К.Захаров. Электронные элементы автоматики. Изд-во
"Энергия", Л., 1967.

Ответственный за выпуск А.Н.Сударкин

Подписано к печати 1.Ш.1968 г.

Усл. 0,4 печ.л., тираж 150 экз. Бесплатно.

Заказ № 190.

Отпечатано на ротапинтере в ИЯФ СО АН СССР