

На правах рукопису

СИМОНОВ Олексій Юрійович

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ  
ДЕТЕКТОРНИХ КАСКАДІВ  
РАДІОПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ**

Спеціальність 05.12.13 — Пристрої радіотехніки та засобів  
телекомунікацій

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук



ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

---

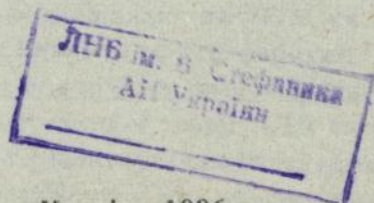
На правах рукопису

Сімонов Олексій Юрійович

УДОСКОНАЛЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ДЕТЕКТОРНИХ  
КАСКАДІВ РАДІОПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

Спеціальність 05.12.13 - Пристрої радіотехніки та засобів  
телекомунікацій

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук



Харків 1996

Дисертацією є рукопис

АВ 36.649

Робота виконана на кафедрі *Харківський національний університет залізничного транспорту ім. В. Гоголя* ЛННБ України ім. В. Стефаніка та авторсько-фідерних пристроїв *Харківський національний університет залізничного транспорту ім. В. Гоголя* вчених-дослідників ВПС України



00760849 (Y)

621.39  
621.37

Науковий керівник - кандидат технічних наук, доцент  
Бєлоусов Володимир Басильович

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор  
Шмаалій Юрій Семенович

- кандидат технічних наук  
Абрамов Клавдій Давидович

Провідна організація - ДНВО "Метрологія", м. Харків

Захист відбудеться "19" лютого 1997 р. о 10 годині  
на засіданні спеціалізованої ради Д 02.15.04 у Харківській  
державній академії залізничного транспорту  
(310030, м. Харків, майд. Фейєрбаха, 7)

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці  
Харківської державної академії залізничного транспорту

Автореферат розісланий "20" грудня 1996 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Клишова І.П.

Актуальність досліджень. Амплітудний діодний детектор (АДД) - важливий і розповсюджений елемент радіотехнічних та вимірювальних пристроїв, у багатьох випадках визначає їх технічні характеристики.

Теорія і методики інженерного проектування АДД, які були обґрунтовані у 20-50-і рр., у наш час недостатні: умови вибору мінімального й максимального вхідних напруг не пов'язані з коефіцієнтом гармонік та інтермодуляційних спотворень і з похибкою відповідно до лінійного та квадратичного режимів; недостатні умови вибору номіналів резистора і конденсатора АДД; відсутні рекомендації щодо оптимізації квадратичного АДД; важливим є пошук ВАХ діода, який забезпечить квадратичне детектування свавільних амплітуд вхідних напруг; не у повній мірі розроблені питання підвищення чутливості АДД.

Вирішення перелічених та інших питань становить актуальну проблему, яка має народногосподарське значення.

Предметом дослідження є амплітудний діодний детектор.

Мета та основні завдання. Метою роботи є розвиток узагальненої теорії АДД і вирішення на її основі зазначених вище питань. Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити такі наукові завдання: розвинути й уточнити асимптотичну теорію АДД; розробити на її основі методики оптимізації та оцінки якості лінійного і квадратичного режимів на діоді з експоненційною ВАХ; одержати рівняння ВАХ квадратичного діода.

Методи досліджень. При виконанні роботи використані методи аналізу лінійних, параметричних і нелінійних електричних кіл, числення моделювання на ЕОМ та експериментальні дослідження.

Наукова новизна та значимість дисертаційної роботи полягає у розвитку асимптотичної теорії АДД та умов застосування цієї теорії; у розробці методик інженерного проектування лінійних і квадратичних АДД, які задовольняють су-

часним вимогам; в отриманні рівнянь ВАХ діодів для квадратичного детектування.

Положення, які вносяться на захист.

1. Моделі й формули імічних показників АДД.
2. Методики кількісної оцінки лінійності і квадратичності та рекомендації щодо їх оптимізації.
3. Уточнені умови вибору резистора й конденсатора АДД.
4. Режим повного узгодження та зворотне детектування.
5. Класифікація діодів за ступенем їх придатності до квадратичного детектування.
6. Рівняння ВАХ квазіквадратичного та квадратичного діодів.

Достовірність результатів забезпечується застосуванням загальноприйнятої моделі напівпровідникового діода, коректною постановкою завдань аналізу й синтезу, порівнянням експериментальних результатів з теоретичними розрахунками, практичним підтвердженням наукових положень і висновків.

Практична цінність роботи полягає у створенні узагальненої моделі АДД, придатної до будь-яких детекторних діодів, методик інженерного проектування лінійних та квадратичних АДД, задовольняючих сучасним вимогам.

Реалізація результатів роботи. Запропоновані методи розрахунку та оптимізації АДД були використані:

- у НВО "Радиоприбор" (м. Москва) у проектуванні контрольно-перевірочного комплексу системи ДК-734 (акт використання),

- у віз 00000 у підготовці ескізних проектів на вимірвальні комплекси спеціалістом і з написання звітів про НДР "Белак", "Треление" та "Треление-2", у зразках вимірвальної й діагностичної апаратури (акт використання);

- у навчальному процесі ХВУ, ХІЛ, ХАІ.

Дисертація роботи. Результати дисертації доповідались та обговорювались на ІІІ ІТК ХВВАУРЕ (Харків, жовтень 1987).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 16 друкованих робіт, результати відбиті у 4 звітах про НДР, є 1 теза доповіді.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновку та містить 117 сторінок друкованого тексту, 25 малюнків, перелік використаної літератури із 55 назв та 6 додатків.

## II. ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, описана структура дисертації, подані відомості про її використання.

У першому розділі розглянуті варіанти схем АДД, у тому числі запропонована автором [12]; виконаний аналіз джерел вхідної напруги АДД; узагальнені відомості про детекторні діоди, розглянуто стан теорії АДД.

У другому розділі розвинуто узагальнену теорію АДД (така назва одержана завдяки припущенню необмеженої ємності конденсатора навантаження діода). Її нерозвиненість зумовлена громіздкими співвідношеннями для детекторної характеристики (ДХ) та вхідної провідності АДД

$$U_0 = \frac{R}{1 + S^{(1)} R} \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{r=0}^k \frac{(-1)^{k+r} S^{(k)} U_0^{k-r}}{(k-r)! \left[ \left( \frac{r}{2} \right)! \right]^2} \left( \frac{U_m}{2} \right)^r; \quad (1)$$

$$G_0 = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{r=0}^k \frac{(-1)^{k+r} S^{(k)} U_0^{k-r}}{(k-r)! \left( \frac{r+1}{2} \right)! \left( \frac{r-1}{2} \right)!} \left( \frac{U_m}{2} \right)^{r-1}, \quad (2)$$

де  $S^{(k)} = \frac{d^k i}{dU^k}$  - похідні ВАХ діода у точці розкладання у ряд

Тейлора за ступенями напруги на ньому  $i = U_m \cos \omega t - U_0$ ;  $U_m$ ,  $U_0$  - амплітуда вхідної напруги та вихідна напруга; у (1)  $r$  - парні, у (2)  $r$  - непарні.

Узагальнена теорія ґрунтується на поданні крутизни ВАХ діода як періодичної функції напруги на ньому і має ви-

глад ряду Фур'є  $S(t) = S_0 + \sum_{n=1}^{\infty} S_n \cos n\omega t$ , що дозволило при аналізі диференціалу струму діода  $di = S(t)de$  одержати математичні та електричні моделі АДД (мал.1,5,в,г):

загальна модель:

$$di_0 = \left( S_0 + \frac{S_2}{2} \right) dU_m - S_1 dU_0; \quad di_0 = \frac{S_1}{2} dU_m - S_0 dU_0; \quad (3)$$

моделі для несучої та огинаючої у режимі лінійного детектування:

$$I_0 = \left( S_0 + \frac{S_2}{2} \right) U_m - S_1 U_0; \quad I_{0\Omega} = I_{0,0} = \left( S_0 + \frac{S_2}{2} \right) m \frac{U_m}{2} - S_1 U_0; \quad (4)$$

$$I_c = \frac{S_1}{2} U_m - S_0 U_0; \quad I_{c\Omega} = \frac{S_1}{2} m U_m - S_0 U_0. \quad (5)$$

Тут  $I_0$ ,  $I_{c\Omega}$ ,  $I_{0,0}$ ,  $I_0$  - амплітуди струмів першої гармоніси несучої та модулюючої частот  $\omega$  і  $\Omega$ , бічних складових з  $\omega \pm \Omega$  і середнє значення струму діода;  $m$ ,  $U_m$ , - коефіцієнт модуляції та амплітуда несучої.

З (3)...(5) витікає, що процес детектування визначається лише середнім значенням крутизни  $S_0$  та амплітудами  $\Pi$  першої  $S_1$  і другої  $S_2$  гармонік, що істотно спрощує формування узагальненої теорії АДД. З мал. 1,б,в,г (де  $R_n$   $S_n$  - вхідні опір та ємність ПЗЧ,  $C_r$  - розподілювальний конденсатор) одержані загальні формули якісних показників АДД, які подані в таблиці 1.

Режим лінійного детектування. У випадку гармонійної вхідної напруги режим АДД вважається лінійним, якщо  $K_0$  не залежить (у припущених межах) від  $U_m$ , а для АНД напруги - коли розміри коефіцієнтів гармонік  $K_2$  та інтермодуляційних викривлень  $K_3$  не перевищують припущених значень.

До роботи автора [9] була відсутня придатна до інженерних розрахунків оцінка  $K_2$  та  $K_3$ . Для їх визначення було одержано загальну формулу для амплітуд  $k$ -их гармонік вихідної напруги

$$U_{k0} = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{S_1^{k+2n-2}}{(n-1)!(k+n-1)!} \left( \frac{mU_{m0}}{2} \right)^{k+2n-2} \quad (6)$$

$$\text{де } S_{\frac{D}{I}}^{[k]} = \frac{d^k U_0}{dU_m^k} \Big|_{U_m=U_{m0}} = \frac{R}{1+KS_0} \left[ \frac{S_1^{n-1}}{2} - \sum_{l=1}^{k-1} \frac{(n-l)! S_0^{n-l} S_1^l}{(l-1)!(n-l)!} \right] \quad (7)$$

- похідні ДХ (таблиця 1).

Таблиця 1

Показники		У режимі лінійного детектування	
якісні	загальні	$u_1 = U_m \cos \omega t$	$u_1 = U_m (1 + m \cos \Omega t) \cos \omega t$
Детекторні характеристики $U_0, U_D$	$\frac{1}{2} \int_0^{U_m} \frac{S_1 R}{1 + S_0 R} dU_m$	$\frac{0,5 S_1 R}{1 + S_0 R} U_m$	$\frac{0,5 S_1 R}{1 + RS_0 + \frac{R}{R_c}} m U_{m0}$
Коефіцієнт передивання $K_0, K_D$	-----	$\frac{0,5 S_1 R}{1 + S_0 R}$	$\frac{0,5 S_1 R}{1 + RS_0 + \frac{R}{R_c}}$
Вхідні провідності $G_m, G_{mD}$	$\frac{1}{U_m} \int_0^{U_m} (S_0 + 0,5 S_1 - S_1 K_0) dU_m$	$S_0 + 0,5 S_1 - S_1 K_0$	$S_0 + 0,5 S_1 - S_1 K_0$
Вихідні провідності $G_0, G_D$	$\frac{1}{U_0} \int_0^{U_0} \left( R_c - \frac{0,5 S_1^2}{S_0 + 0,5 S_1 + \frac{1}{R_c}} \right) dU_0$	$S_0 - \frac{S_1}{S_0 + \frac{S_1}{2} + \frac{1}{R_c}}$	$S_0 - \frac{S_1}{S_0 + \frac{S_1}{2} - \frac{1}{R_c}}$

Примітка. Для АМ напруги значення  $K_D$  приведено до зони середніх частот.

Було встановлено, що із збільшенням опору резистора  $R$  (мал.1,а) розмір  $K_r$  зменшується, асимптотично прагнучи до межі, якій відповідають похідні ДХ:

$$S_{\frac{D}{I}}^{[k]} = \lim_{R \rightarrow \infty} S_{\frac{D}{I}}^{[k]} = \frac{S_1^{n-1}}{2S_0} \frac{1}{S_0} \sum_{l=1}^{n-1} \frac{(n-l)! S_0^{n-l} S_1^l}{(l-1)!(n-l)!} \quad (8)$$

Формули (6), (7), (8) та інші (у дисертації) дозволяють розрахувати  $K_r$  та  $K_I$  (ГОСТ 9783-79). Оцінка впливу

автотрішнього опору джерела сигналу  $R_c$  на  $K_1$  і  $K_2$  показала, що із збільшенням  $R_c$  значення  $K_1$  і  $K_2$  зменшуються.

При виборі номіналів  $R$  та  $C$  (маєл. 1, г) з відомих (з 30-х рр.) умов відсутності нелінійних спотворень

$$R \leq R_n \frac{1-m}{K_2 : m - 1}, \quad C \leq \frac{\sqrt{1-m^2}}{\pi \Omega R} - C_n, \quad \text{як показали експерименти}$$

автора [3, 10, 11], часто в АДД виникають нелінійні спотворення, рівень яких може перевершувати сучасні вимоги до  $K_1$ . Уточнені умови мають вигляд

$$R \leq \frac{R_n}{K_2 \frac{U_{mc}}{U_{ml}} - 1} \quad \text{та} \quad C \leq \frac{2\pi}{\omega R \ln \Psi_M}, \quad (9)$$

де 
$$\Psi_M = 1 + \frac{2m \sin \pi \frac{\Omega}{\omega}}{\sqrt{1-m^2 \cos^2 \pi \frac{\Omega}{\omega}} - m \sin \pi \frac{\Omega}{\omega}}$$

Були запропоновані компенсаційні засоби зрушення цих спотворень. Одні з них показаний на мал. 1, д.

**Квадратичний режим.** Режим АДД вважається квадратичним, якщо його передавальна характеристика (ПХ) при  $U_{mc} \ll \omega C \ll U_0$

$$A = A_0 + \Delta A = \frac{U_0}{U_m^2} = \frac{R}{2\pi U_m^2} \int_0^{2\pi} f(u) du \quad (10)$$

не залежить (у припущених межах) від  $U_m$ . Тут  $f(u) = f(u)$  - рішення ВАХ діода:  $A_0$ ,  $\Delta A$  - складові ПХ: незалежна та залежна похибки режиму від  $U_m$ . З (1) одержані

$$A_0 = \frac{2S^{(n)}}{K(1+K)^{(n)}}, \quad \Delta A = A_0 \left[ 2 \frac{U_0^2}{U_m^2} + \frac{1}{S^{(n)}} \sum_{k=3}^n \sum_{r=0}^k \frac{(-1)^{k-r} S^{(n)} U_0^{k-r} \left(\frac{U_0}{U_m}\right)^{r-2}}{(k-r)! \left[\left(\frac{r}{2}\right)!\right]} \right] \quad (11)$$

Режим АДД вважається квадратичним, якщо  $U_0 = A_0 U_m^2$ . При цьому відносна похибка

$$\Delta = \frac{\Delta A}{A_0} = 2 \frac{U_0^2}{U_m^2} + \frac{1}{S^{1/2}} \sum_{k=3}^{\infty} \sum_{r=0}^k \frac{(-1)^{k-r} S^{1/2} U_0^{k-r} \left(\frac{U_m}{2}\right)^{r-2}}{(k-r)! \left[\left(\frac{r}{2}\right)!\right]} = \sum_{q=3}^{\infty} B_q U_m^{2(q-1)} \quad (12)$$

де  $B_q$  - убуючі знакозмінені багаточлени

$$B_q = 4 \frac{A_0}{S^{1/2}} \sum_{k=q}^{2q} \frac{(-1)^k S^{1/2} A_0^{2q-k}}{2^{2(k-q-1)} (2q-k)! [(k-q)!]^2} \quad (13)$$

Запропонована схемна оптимізація АДД за рахунок вибору  $R$ . Впровадженя класифікація діодів за ступенем їх придатності до квадратичних АДД: діоди, які не дозволяють реалізувати схемну оптимізацію (усі  $B_q \neq 0$ ), віднесені до першої групи; діоди, які дозволяють реалізувати тільки схемну оптимізацію ( $B_1=0$ ), - до другої групи; діоди, які забезпечують  $B_1=B_2=0$ , - до третьої групи. Діоди, у яких всі  $B_q=0$ , називають квадратичними. Пошук ВАХ таких діодів виконано у четвертому розділі.

Для підвищення чутливості квадратичних АДД запропоновані режим повного узгодження з джерелом сигналу і з навантаженням [1] та зворотне детектування; останнє припускає використання крім енергії першої гармоніки, також енергію другої гармоніки струму діода, при цьому виграв у коефіцієнті передавання складає 20%. Були також уточнені формули для струмової чутливості діода та її граничної частоти.

Оцінка галузі застосування асимптотичної теорії виконана для кусково-лінійної моделі ВАХ діода. У результаті вирішення рівнянь АДД для відкритого й закритого діода розраховані графіки залежностей  $K_0$  і  $G_0$  від  $SR$  та параметру  $\Upsilon_r = \omega RC$  (мал. 2, а, б). Як критерій застосування асимптотичної теорії прийняте не більш ніж 10% зменшення  $K_0$ , знайденого з формул таблиці 1 у порівнянні з його значенням, яке має неасимптотична теорія (з графіка мал. 2, а). Умова застосування асимптотичної теорії має вигляд

$$C, \text{ пФ} \geq \frac{3300}{f, \text{ МГц}, R, \text{ КОм}} \quad (14)$$

Третій розділ присвячено застосуванню положень та висновків розвинутої узгальненої теорії до АДД на діоді з експоненційною ВАХ, яка одержала у наш час виняткове застосування, а також вирішенню актуальних прикладних завдань з оптимізації АДД на такому діоді для лінійного та квадратичного режимів.

Була розроблена програма розрахунку  $K_r$  і  $K_i$ . На мал. 2,в показаний графік залежності  $K_r$  від  $V_m$  і параметру  $\gamma = a_1 i_3 R e^{a_1 E}$  ( $a_1, i_3$  - параметри апроксимації експоненційної ВАХ), який дозволяє одержати за заданим  $K_r$  мінімальну амплітуду несучої  $U_{\text{нс}} = V_m / a$  та визначити напругу, яка відповідає межі лінійної й нелінійної ділянок ДХ  $U_{\text{нл}} = U_{\text{нс}}(1 - m)$ . Оцінені потужнісні можливості лінеаризації режиму (мал. 2,в при  $\gamma \rightarrow \infty$ ) та розроблені програми розрахунку  $K_r$  для  $m = 0,3; 0,5; 0,7; 0,9$  (мал. 2,г). Показано, що вони практично реалізуються при  $R = \frac{20 \dots 50}{a i_3}$ , а у випадку обмеження опорю  $R$ , на-

приклад, умовою (9), підведенням до діоду прямого зміщення  $E = \frac{1}{a} \ln \frac{20 \dots 50}{a i_3 R}$ . При цьому для зменшення  $U_{\text{нс}} \text{ доцільно використовувати діоди з бар'єром Шотткі (ДБШ).}$

Було встановлено, що діод з експоненційною ВАХ відноситься до другої групи за ступенем придатності для квадратичних АДД ( $B_1 = 0$ ). Схема оптимізації квадратичного

АДД досягається при  $R = \frac{\sqrt{2} - 1}{a i_3}$ , а при фіксованому  $R$  при прямому зміщенні  $E_{\text{опт}} = \frac{1}{a} \ln \frac{\sqrt{2} - 1}{a i_3 R}$ . Оцінка відносис похибки квадратичного режиму (мал. 3,а, крива 1)

$$\Delta = \sum_{q=3}^{\infty} \left(\frac{V_m}{2}\right)^{2(q-1)} \sum_{k=q}^{2q} \frac{(-1)^k \left(\frac{\sqrt{2}-1}{\sqrt{2}}\right)^{2q-k}}{(2q-k) [(k-q)!]^2} \quad (15)$$

та вплив на неї внутрішнього опору джерела вхідної напруги. Оцінена струмова чутливість експоненційного діода.

Четвертий розділ присвячено відшукуванню рівняння ВАХ квадратичного діода. При реалізації схемної оптимізації ( $V_1=0$ ) наступний (за величиною) характеристичний поліном (13)

$$V_3 = \frac{a^3 A [(2-\varphi)^2 (3\varphi-2)] (2\sqrt{1-0,5\varphi} \pm 1)}{9|\varphi-1|} \quad (16)$$

Бачимо, що  $V_3=0$  лише для трьох значень параметра  $\varphi = \frac{S^{[2]}S^{[4]}}{(S^{[3]})^2}$ :  $\varphi_1 = \frac{2}{3}$ ,  $\varphi_2 = \frac{3}{2}$  та  $\varphi_3 = 2$ , тобто при певному співвідношенні похідних ВАХ. У результаті інтегрування рішення нелінійного диференційного рівняння (таблиця)

$$\varphi = \frac{d^2 i}{du^2} \cdot \frac{d^4 i}{du^4} / \left( \frac{d^3 i}{du^3} \right)^2$$

одержані рівняння ВАХ (мал. 3,6) та їх похідних:

$$i = \frac{1}{ic} = \begin{cases} \frac{1}{20} [(1+V)^5 - 1] & , \varphi = \frac{1}{3} , \text{ крива 1,} \\ e^V - 1 & , \varphi = 1 , \text{ крива 2,} \\ \ln \frac{1}{1-V} & , \varphi = \frac{3}{2} , \text{ крива 3,} \\ V + (1-V) \ln(1-V) & , \varphi = 2 , \text{ крива 4,} \end{cases} \quad (17)$$

$$S^{[k]} \Big|_{u=0} = a^k i_k \begin{cases} \frac{1}{20} \prod_{l=1}^5 [5 - (k-l)] & , \varphi = \frac{1}{3}, \\ 1 & , \varphi = 1, \\ (k-1)! & , \varphi = \frac{3}{2}, \\ (k-2)! & , \varphi = 2. \end{cases}$$

Видно, що діод з  $\varphi = \frac{2}{3}$  відноситься до третьої групи ( $V_1 = V_2 = 0$ ). Застосування такого діода дозволяє майже вдвічі підвищити ПХ і максимальну амплітуду вхідної напруги квадратичного АДД у порівнянні з експоненціальним діодом при однаковій заданій  $\Delta$  (маєл. 3, а, крива 2)

$$\Delta = \frac{V_m^2}{2^{\frac{1}{\varphi}}} (3 - \sqrt{6})^{\frac{1}{\varphi}} \left[ 1 + \sqrt{6} + \frac{V_m^2}{20} (3 - \sqrt{6}) \right]. \quad (18)$$

Діод з  $\varphi = \frac{3}{2}$  названий квазіквадратичним (всі  $V_n = 0$  при  $\gamma = \infty$ ). Різниця ДХ, вхідної провідності та відносно похибки квадратичного АДД на такому діоді

$$1 + e^{\frac{1}{\varphi}} \left( \frac{V_m}{2} \right)^{\frac{1}{\varphi}} = e^{\frac{1}{\varphi}} (1 + V_0); \quad RG_0 = \frac{\gamma}{1 + V_0 + \sqrt{(1 + V_0)^2 - V_m^2}}$$

$$\Delta = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{V_m^{2(k-1)}}{2} \sum_{l=0}^{\infty} \frac{(-1)^k (k-1)! \left( \frac{\gamma}{1+\gamma} \right)^{2k-l}}{(2q-k)! (k-q)!^2} \quad (19)$$

Графіки залежностей  $V_0$  і  $\Delta$  від  $V_m$  та параметра  $\gamma$  маєл. 3, б показані на маєл. 3, в, г. Підвищення  $\gamma$  веде до зменшення  $\Delta$ , що дозволяє одержати максимальну амплітуду вхідної напруги на порядок і більше вищою в порівнянні з експоненціальним діодом. Струмоза чутливість цього діода така ж, як і в експоненціального. З маєл. 3, б видно, що ВАХ діодів з  $\varphi = \frac{2}{3}$  та  $\varphi = \frac{3}{2}$  порівняно мало відрізняється від ВАХ експоненціального діода, що залишає надію на синтез діодів з такими ВАХ.

Діод з  $\varphi=2$  названий квадратичним (всі  $V_q=0$ ,  $\Delta=0$  для будь-яких  $V_m$ ), однак наявність ділянки падіння ВАХ (крива 4) ускладнює розробку такого діода.

У результаті експериментального пошуку встановлено: при вибірці з 110 діодів 22 типів квадратичного діода знайти не вдалося. Максимальна амплітуда  $U_{m0}$ , за якої зберігався квадратичний режим, складала 50...150 мВ (у схемній оптимізації). Виявлено чотири зномальних кремнієвих діода, які забезпечують квадратичне детектування до таких  $U_{m0}$ : Д102-200 мВ; Д103-240 мВ; КД407-280 мВ; КД409А-310 мВ.

### III. ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

1. Виконано огляд стану теорії АДД, з'ясовані причини відсутності узагальненої теорії.

2. Розглянуто джерела вхідної напруги АДД, показано, що при аналізі детектора у випадку широкосмугового резонансного підсилювача необхідно враховувати його внутрішній опір.

3. Розвинута й уточнена узагальнена хвильотитична теорія АДД з обґрунтуванням моделей детектора та виводом загальних формул для його висхідних показників. Розроблені загальні методики кількісної оцінки лінійності детектування АМ напруги, які дозволяють розрахувати коефіцієнти гармонік та інтермодуляційних спотворень з будь-якою наперед заданою точністю, визначити поточні й можливі лінійні режими.

4. Уточнені умови відсутності нелінійних спотворень, обумовлених впливом пасивних елементів АДД.

5. Запропонована кількісна оцінка квадратичності режиму детектування за розміром відносної похибки. Запроваджена класифікація діодів за ступенем їх придатності до

квадратичних детекторів і визначені шляхи оптимізації режиму.

6. З метою підвищення чутливості квадратичного детектора до слабких сигналів запропоновано режим його повного узгодження з джерелом сигналу та з навантаженням, а також зворотне детектування.

7. Оцінені межі застосування узагальненої асимптотичної теорії АДД.

8. Показана справедливість узагальненої асимптотичної теорії шляхом її застосування до АДД на експоненційному діоді. Розроблені методики інженерного розрахунку коефіцієнта гармонік для режиму лінійного детектування й відносної похибки квадратичного режиму дозволили одержати програми їх розрахунку й відповідний графічний матеріал, оцінити потенційні можливості лінеаризації та умов їх досягнення.

9. Запропонована схема оптимізації квадратичного АДД та діоді з експоненційною ВАХ шляхом відповідного вибору опору резистора навантаження детектора та розміру прямого зміщення, яке подається на діод. Вона дозволила при одному і тому ж розмірі відносної похибки режиму майже на порядок підвищити максимальну амплітуду вхідної напруги.

10. Оцінено вплив внутрішнього опору й паразитних параметрів діода з експоненційною ВАХ на передавальну характеристику квадратичного АДД та його струмову чутливість.

11. Виконано пошук рівняння ВАХ діода, який забезпечує квадратичне детектування свавільних (реальних) амплітуд вхідної напруги, одержано рівняння ВАХ діода, яке дозволяє при схемній оптимізації підвищити вдвічі максимальну амплітуду вхідної напруги та розмір передавальної характеристики у порівнянні з експоненційною ВАХ при одному і тому ж розмірі відносної похибки.

12. Знайдено рівняння ВАХ квазіквадратичного діода, який дозволяє істотно знизити відносну похибку квадратич-

лого режиму і на 1...2 порядку підвищити максимальну амплітуду вхідної напруги.

13. Одержано рівняння ВАХ квадратичного діода, який дозволяє зробити відносну похибку, дорівнює нулю, однак його реалізація ускладнена ділянкою падіння ВАХ.

Основні положення роботи відбиті у таких публікаціях:

1. Симонов А.Ю. Анализ установившегося режима линейного диодного детектора непрерывных АМ сигналов // Радиотехника. - 1980. - Т.35. - №8.
2. Симонов А.Ю. Теория установившегося режима амплитудного диодного детектора // Известия ВУЗов СССР. Радиоэлектроника. - 1982. - Т.21. - №1.
3. Симонов А.Ю. О взаимосвязи условий отсутствия нелинейных искажений в диодном детекторе // Радиотехника. - 1980. - Т.35. - №11.
4. Симонов А.Ю. Условие отсутствия нелинейных искажений в линейном диодном детекторе АМ сигналов, обусловленных инерционностью нагрузки // Известия ВУЗов СССР. Радиоэлектроника. - 1981. - Т.24. - №8.
5. Симонов А.Ю. О выборе крутизны диодов детекторов АМ сигналов аппаратуры радиосвязи // Электросвязь. - 1981. - №10.
6. Симонов А.Ю. Взаимосвязь коэффициентов Тейлора и Фурье для тока и дифференциальной проводимости резистивного двухполюсника // Известия ВУЗов СССР. Радиоэлектроника. - 1981. - Т.35. - №7.
7. Симонов А.Ю. К расчету нагрузки амплитудного диодного детектора аппаратуры радиосвязи // Электросвязь. - 1982. - №11.
8. Симонов А.Ю. О взаимосвязи параметров включения амплитудного диодного детектора с усилителем радиочастоты // Известия ВУЗов СССР. Радиоэлектроника. - 1983. - №11.
9. Симонов А.Ю. Потенциальные возможности линейризации режима экспоненциального амплитудного диодного детектора // Радиотехника. - 1982. - №12.

10. Симонов А.Ю. Уточнение вывода условия отсутствия нелинейных искажений в диодном амплитудном детекторе, обусловленных инерционностью нагрузки // Радиотехника. - 1983. - №5.

11. Симонов А.Ю. Условия отсутствия нелинейных искажений в параллельном амплитудном диодном детекторе, обусловленных инерционностью нагрузки // Радиотехника. - 1981. - №12.

12. Симонов А.Ю., Симонов Ю.Л., Жмуров В.В. Расчет амплитудного детектора на изолированном по постоянному напряжению диоде // Радиотехника. - 1986. - №2.

13. Симонов А.Ю., Симонов Ю.Л., Жмуров В.В. Расчет квадратичного амплитудного диодного детектора // Электросвязь. - 1987. - №6.

14. Симонов А.Ю., Симонов Ю.Л., Жмуров В.В. Оптимизация режима квадратичного детектора на экспоненциальном диоде // Электросвязь. - 1990. - №11.

15. Симонов А.Ю. К расчету амплитудных диодных детекторов // Сборник научных материалов. Вып. III. - ХВВАУС, 1983.

16. Симонов А.Ю. К расчету параллельного амплитудного диодного детектора // Сборник научных материалов. Вып. IV. - ХВВАУРЭ, 1984.

17. Симонов А.Ю. Пути увеличения динамического диапазона амплитуд входных напряжений в квадратичном амплитудном детекторе // Тезисы доклада на III научно-технической конференции. Ч. II. - ХВВАУРЭ, 1987.

## АННОТАЦИЯ

Симонов А.Ю. Совершенствование и оптимизация детекторных каскадов радиоприемных устройств:

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.12.13 - устройства радиотехники и способов тел.коммуникаций. - Харьковская государственная железнодорожная академия, 1996.

Защищаемая работа содержит 17 научных работ, в которых развита обобщенная теория амплитудного диодного детектора с получением его моделей и соотношений для качественных показателей, методик количественной оценки линейности и квадратичности режимов и их потенциальных возможностей, уточненных условий выбора пассивных элементов; предложены режимы полного согласования и возвратного детектирования, введена классификация диодов по степени их пригодности для квадратичных детекторов. Рассмотрено приложение обобщенной теории к детектору на диоде с экспоненциальной ВАХ и условия его оптимизации для линейного и квадратичного режимов. Найдено уравнение ВАХ диода, позволяющее существенно снизить относительную погрешность квадратичного режима и на 1...2 порядка увеличить наименьшую амплитуду входного напряжения квадратичного детектора по сравнению с экспоненциальным диодом.

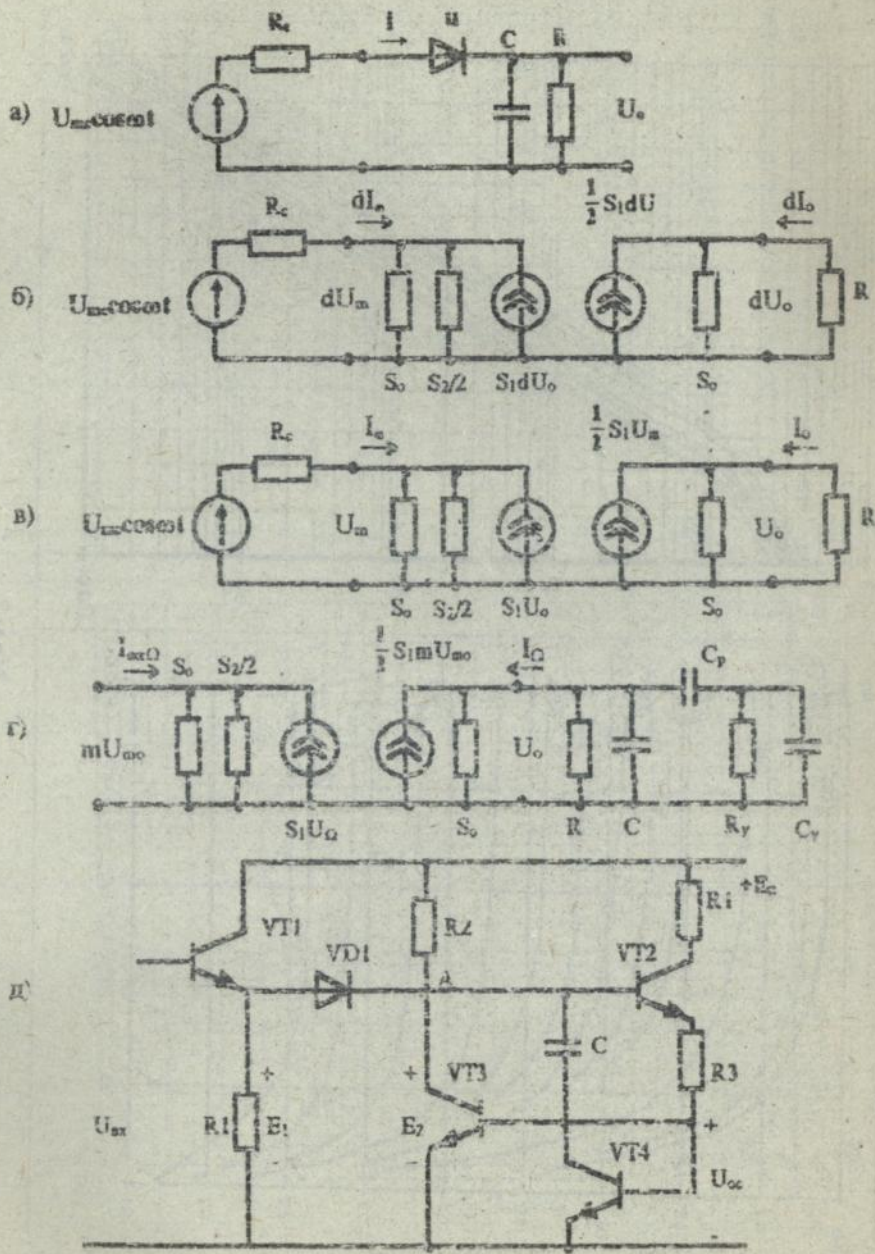
## SUMMARY

Simonov A.Y. The improvement and optimization of detector cascades of radio receivers.

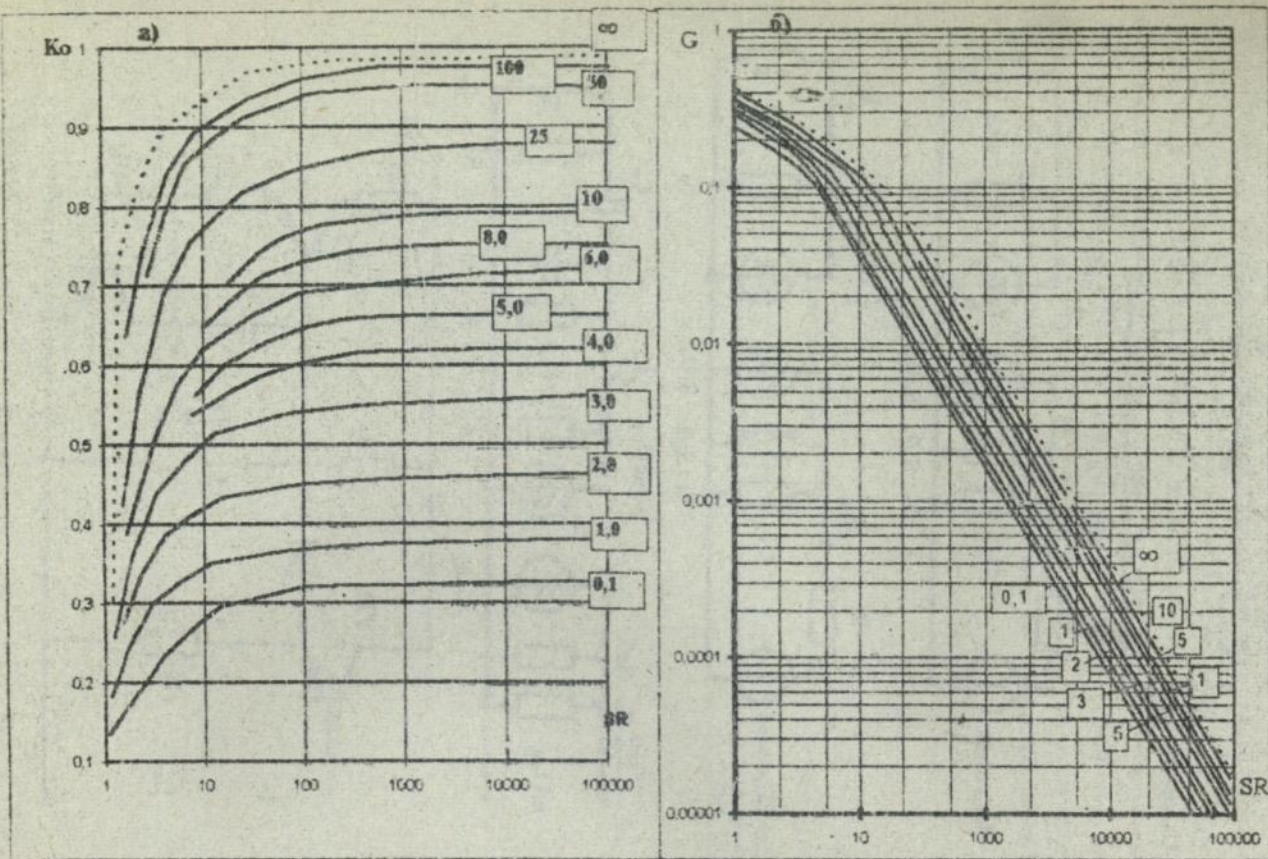
The thesis for a degree of candidate of technical sciences on speciality 05.12.13 - radioengineering appliances and methods of the telecommunication. Kharkov State Railway Academy, Kharkov, 1996.

The thesis defends 17 scientific research works, where a united theory of an amplitude diode detector is developed. This theory allows to give models of such a detector and formulas of its qualitative proves, methodics of quantitative evaluation of lineary and quadratuary regimes and their potential possibilities.

more precise conditions choice of passive elements. Regimes of full agreement and return detection are proposed, classification of suitability diodes for quadratuary detectors is introduced. Applications of the united theory to a detector on exponential diode and conditions of their optimization to lineary and quadratuary regimes are considered. An Equation of diode volt-ampere characteristic is discovered, which allows vitally decrease relatively error of quadratuary regime and increase maximal input voltage amplitude to 1...2 orders in comparison with exponential diode.

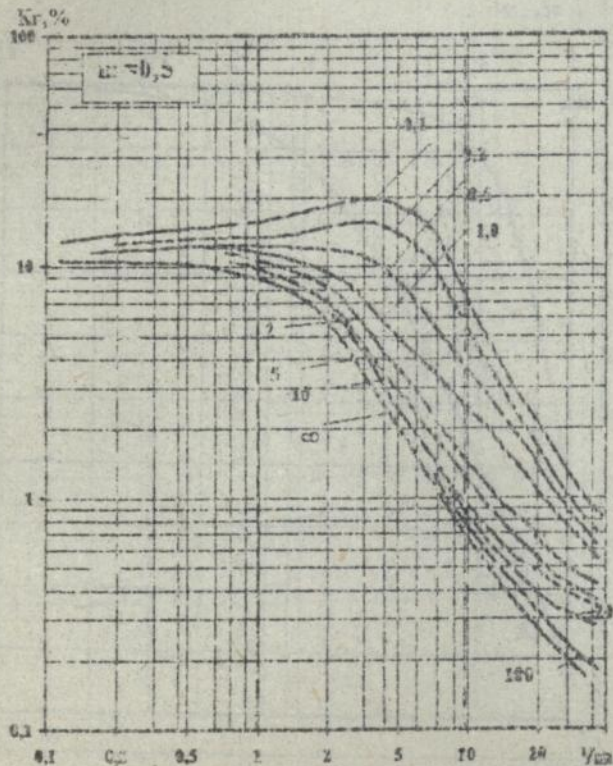


Мал 1

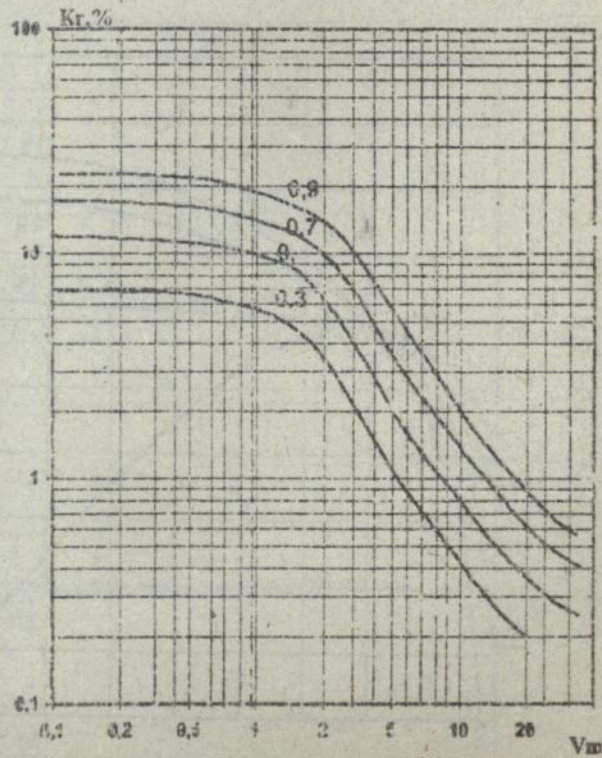


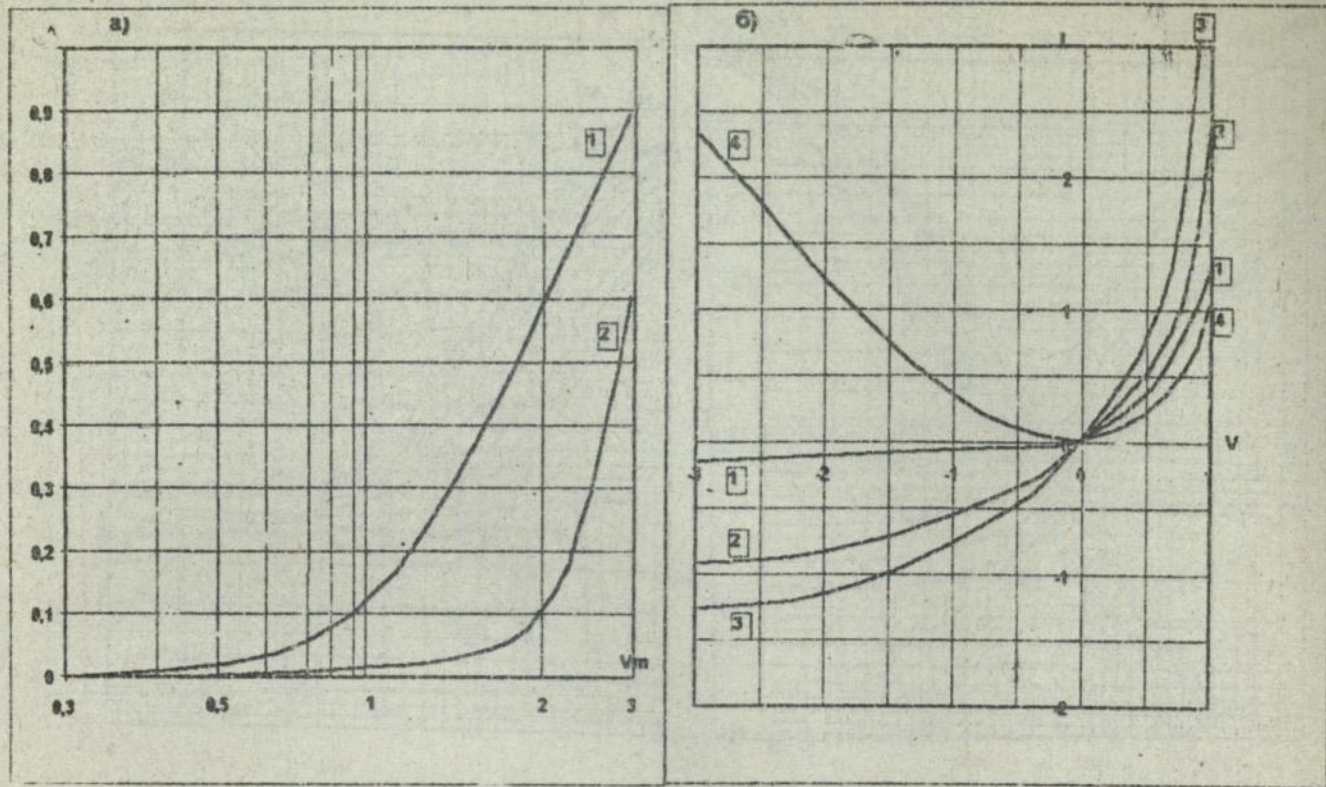
Mat. 2

h)

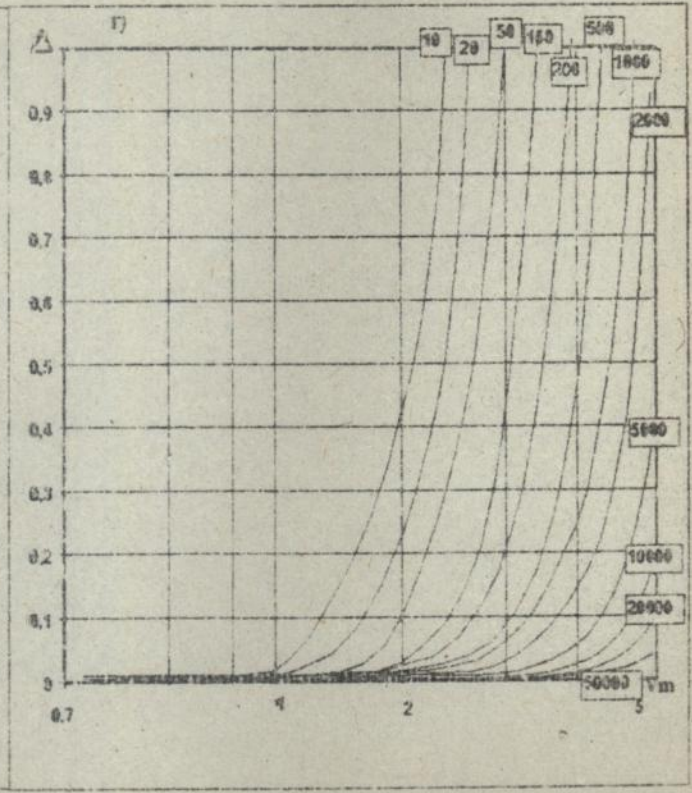
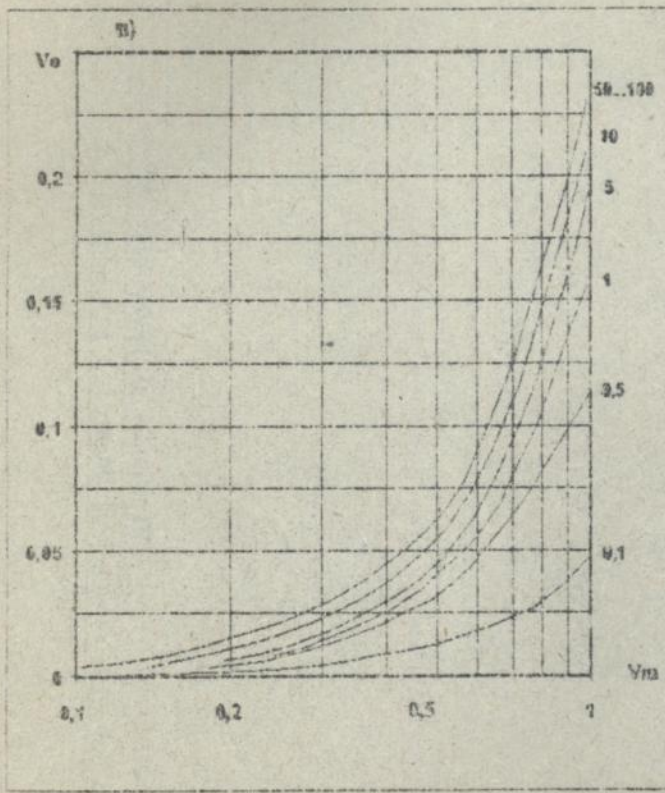


r)





Мал. 3



Мил. 3

11/10/17  
23

Шітисано до друку 2.12.96

\* Друк паперу 60x34 1/16 Обсяг 1,5 п.я. Зам. 2017

1000000

AB 36.649