

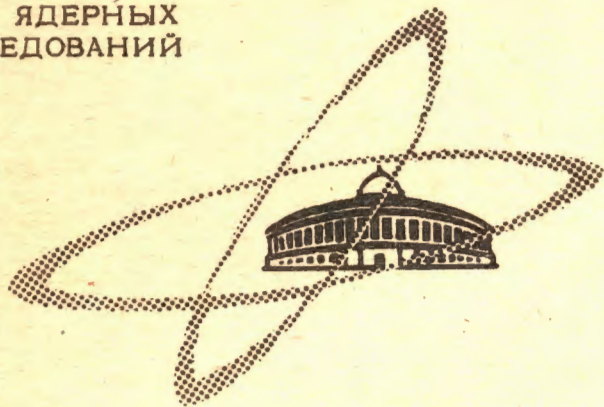
Г-524

*Nucleotika, 1967, T. 12, N 7/8,
с. 515-536*

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P - 2732-1



А.А. Глазов, Е. Схвабе

ПРОГРАММИРОВАНИЕ АМПЛИТУДЫ
УСКОРЯЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ
НА МОДЕЛИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СИСТЕМЫ
КОЛЬЦЕВОГО ПРОТОННОГО ФАЗОТРОНА

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

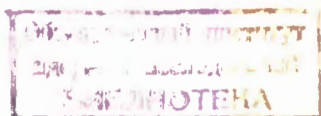
1966

P - 2732-1

А.А. Глазов, Е. Схабе

ПРОГРАММИРОВАНИЕ АМПЛИТУДЫ
УСКОРЯЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ
НА МОДЕЛИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СИСТЕМЫ
КОЛЬЦЕВОГО ПРОТОННОГО ФАЗОТРОНА

Направлено в "Нуклеоник"



4337/2 m

1. Введение

Фазовые условия ускорения в кольцевом фазотроне определяются характером изменения частоты и амплитуды ускоряющего высокочастотного поля в процессе ускорения:

$$\cos \phi_s = - \frac{2 \pi E}{e V_0 \omega^2 K} \left(\frac{d}{dt} \omega \right), \quad (1)$$

где $e V_0$ - максимальный набор энергии за оборот;

$$K = 1 - \frac{\bar{n}}{(1 - \bar{n}) \beta^2}; \quad \beta - \text{относительная скорость частицы};$$

ω - угловая частота обращения; \bar{n} - средний показатель магнитного поля;

E - энергия частицы.

Значительный интерес представляет экспериментальное исследование области фазовой устойчивости на различных этапах ускорения. Как видно из уравнения (1), изменение $\cos \phi_s$ может быть осуществлено (при заданном магнитном поле) путем изменения зависимости от времени частоты или амплитуды ускоряющего напряжения. В рассматриваемом случае зависимость частоты ускоряющего напряжения от времени задается формой пластин вариатора^{/2/}, и для изменения фазовых условий ускорения необходимо изменять амплитуду ускоряющего напряжения. Напряжение это должно изменяться во времени по заданному закону, причем изменение напряжения может начинаться в любом моменте цикла ускорения. Схема программирования должна обеспечивать также возможность общего повышения ускоряющего напряжения до 30%.

II. Выбор способа программирования амплитуды ускоряющего напряжения

Решить задачу программирования амплитуды ускоряющего напряжения можно просто всего путем анодной модуляции амплитуды высокочастотного генератора, питающего ускоряющие электроды. При этом анодную модуляцию можно осуществить либо по обычной схеме с помощью мощного анодного модулятора, либо с помощью автомодуляции^{/3/}, используя для этой цели мощность генераторной лампы, которая в первом случае полностью не используется.

В первом случае схема значительно сложнее, дороже и труднее в обслуживании. Для нее необходимы мощные широкополосные усилители, импульсные трансформаторы, дополнительные источники питания.

При автоанодной модуляции (ААМ) не нужны мощные усилители и импульсные трансформаторы. Повышается КПД по сравнению с анодной модуляцией.

На основании вышесказанного для осциллятора кольцевого фазотрона была разработана схема ААМ, результаты расчета и исследования которой приводятся ниже.

III. Принципиальная схема ААМ

Автоанодная модуляция имеет характер анодной модуляции с той особенностью, что модулирующая мощность подается в цепь сетки лампы автогенератора и поэтому она существенно меньше, чем в случае анодной модуляции. Изменение напряжения на аноде лампы получается при этом благодаря наличию дросселя (L_d) в цепи анода (рис. 1). При достаточно большой индуктивности L_d ток I_{a0} за период модуляции остается практически неизменным, суммарное же напряжение на аноде изменяется по закону:

$$E_a = E_{a\Omega} + E_{a\omega} = I_{a0} R_{a\omega}(\Omega), \quad (2)$$

где $R_{a\omega}(\Omega)$ - сопротивление лампы постоянному току, Ω - неская модуляционная частота. Если при этом коэффициент использования лампы остается постоянным, то изменение E_a приводит к соответствующему изменению амплитуды высокочастотного напряжения на аноде лампы

$$U_a = \xi E_a(\Omega) = U_a(\Omega), \quad (3)$$

$$I_{a1} = U_{a1}(\Omega)/R_d = I_{a1}(\Omega), \quad (4)$$

R_d - динамическое сопротивление анодного контура.

Таким образом, при ААМ $\langle I_{a0} \rangle = \text{CONST}$, $I_{a1} = I_{a1}(\Omega)$, т.е. модуляция достигается изменением формы импульса тока.

Для обеспечения условий ААМ при изменении глубины модуляции (m) постоянная составляющая анодного тока должна иметь падающий характер в зависимости от

и .

Сохранение $\xi = \text{CONST}$ и эффективное изменение соотношения $I_{a1}/I_{a0} = F(\Omega)$ при изменении формы импульса достигается при работе осциллятора в сильно перенапряженном режиме ($\xi > 1$).

IV. Анализ линейности модуляции

Из рассмотрения эквивалентной схемы рис. 1 следует, что в простейшем случае линейность модуляционной характеристики будет иметь место, если являются линейными зависимости:

$$\begin{aligned}
 1. \quad I_{a0} &= I_{a0}(E_q), \\
 2. \quad E_a &= E_a(I_{a0}), \\
 3. \quad I_{a1} &= I_{a1}(E_a).
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Рассмотрим по отдельности эти выражения.

1. $I_{a1} = f(E_a, E - \text{CONST.})$

Зависимость первой гармоники тока от напряжения определяется выражением:

$$\begin{aligned}
 I_{a1} &= \Xi' E_a = \Xi' \frac{1}{\xi} U_a = f(m), \\
 I_{a1} &\stackrel{\Xi}{=} \left(\frac{\Lambda'}{\Gamma'} \Phi' \right) E_a, \\
 \Xi' &= \left(\frac{\Lambda'}{\Gamma} \Phi' \right),
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

где

$$\Lambda = \left(1 - \frac{k\xi}{\mu_q} \cos \Theta_a \right) \approx \left(1 - \frac{k}{\mu_q} \cos \Theta_a \right) = \Lambda', \quad k = \frac{U_q}{U_a};$$

$$\Phi = \frac{1}{\cos \Theta_q} \left(\frac{\beta_{1a}^{\Theta} - \beta_{1g}^{\Theta}}{\beta_{1a}^{\Theta} - \beta_{11}^{\Theta}} \right) \approx \frac{1}{\cos \Theta_q} \left(1 - \frac{\beta_{1g}^{\Theta}}{\beta_{1a}^{\Theta}} \right) = \Phi';$$

$$\Gamma = \frac{1}{S(D - \mu_q)} \frac{1}{(\beta_{1a}^{\Theta} - \beta_{11}^{\Theta})} + R_d \approx \frac{1}{S \mu_q \beta_{1a}^{\Theta}} + R_d = \Gamma';$$

$$\beta_{m n}^{\Theta} = \alpha_m (1 - \cos \Theta_n) = \frac{I_m}{I_{m \max}} (1 - \cos \Theta_n), \quad n = a, g, 2, \\
 m = 0, 1, 2, 3 \dots;$$

S, D, μ_q - параметры лампы.

Функция $\Xi'(\Theta_a, \Theta_q)$ в диапазоне углов $120^\circ < \Theta_a < 180^\circ$; $35^\circ < \Theta_q < 50^\circ$ отличается от $\Xi(\Theta_a, \Theta_q, \Theta_2)$ где $0 < \Theta_2 < 30^\circ$ не более чем на 5% и может быть использована в расчетах для случая $\Theta_2 \neq 0$.

Функция Ξ' в зависимости от Θ_q при различных Θ_a для $k = 0,1; 0,15; 0,2; 0,25$ приведена на графиках рис. 2 - 5. Из графиков видно, что для некоторых углов Θ_a существует такая область изменения $\Xi'(\Theta_q)$, где функции $\Xi'(\Theta_a, \Theta_q)$ пересекаются. В случае $k = 0,1$, что близко к действительному значению, это соответствует углам:

$$\Theta_a = 100^\circ - 160^\circ, \quad \Theta_g = 30^\circ - 50^\circ.$$

Если при модуляции углы отсечки будут изменяться в указанном диапазоне, изменение Ξ (м) будет минимальным.

Рассмотрим количественно изменение Ξ в процессе модуляции с помощью графика рис. 5 для углов отсечки, изменяющихся в указанных выше пределах.

Точка Т: $\Theta_a = 160^\circ, \quad \Theta_g = 46^\circ (E_a = 2280 \text{ в}), \quad \Xi' = 0,57 \cdot 10^{-3}$.

Точка М: $\Theta_a = 120^\circ, \quad \Theta_g = 39^\circ (E_a = 3400 \text{ в}), \quad \Xi' = 0,55 \cdot 10^{-3}$.

Изменение Ξ' в процессе модуляции составляет всего 3,6%. Таким образом, зависимость I_{a1} от E_a в этом случае является практически линейной.

2. $I_{a0} = I_{a0}(E_g, \text{CONST.})$

Постоянная составляющая анодного тока определяется выражением

$$I_{a0} = \frac{(E_g - E_{g0}) \chi(k-D) \Delta \beta_0^{\Theta_a} - \Delta \beta_0^{\Theta_g} (k - \mu_g)}{D \left(\frac{1}{\xi} - \cos \Theta_a \right) \left(\frac{1}{G'D} + 1 \right)}. \quad (7)$$

Здесь

$$\Delta \beta_0^{\Theta_a} = \beta_0^{\Theta_a} - \beta_0^{\Theta_2}; \quad k = -\frac{U_a}{U_g} = \frac{I}{G'};$$

$$\Delta \beta_0^{\Theta_g} = \beta_0^{\Theta_g} - \beta_0^{\Theta_2}; \quad D, E_{g0}, \mu_g \text{ - параметры лампы.}$$

I_{a0} будет линейно зависеть от E_g , если отношение функций:

$$\Delta \beta_0^{\Theta_a} (k-d) - \Delta \beta_0^{\Theta_g} (k-\mu_g) = f_1(m),$$

$$D \left(\frac{1}{\xi} - \cos \Theta_a \right) \left(\frac{1}{G'D} + 1 \right) = f_2(m)$$

остаётся постоянным в процессе модуляции. При выбранных углах отсечки и следующих параметрах схемы: $k = 0,1; \quad D = 0,0125; \quad \mu_g = -1; \quad \xi = 1,1 (\Theta_2 = 25^\circ)$ при переходе от Т к М отношение $f_1(m)/f_2(m)$ изменится от $(f_1(m)/f_2(m))_T = 1,42$ до $(f_1(m)/f_2(m))_M = 1,45$, т.е. всего на 2%.

Таким образом, при выбранном режиме работы осциллятора постоянная составляющая анодного тока линейно зависит от напряжения на сетке,

3. $E_a = E_a(I_{a0}, \text{CONST.})$

Эквивалентная схема низкочастотных модуляционных процессов приведена на рис. 1.

$$R_0(m) = R_{0T} U_{\sigma}(\Omega t) = R_{0T}(1 + m' \epsilon(\Omega t)). \quad (8)$$

Уравнение цепи рис. 1 имеет вид:

$$L_d \frac{di_{a0}}{dt} + R_0(t) i_{a0} = E_{a0}, \quad (9)$$

Переходя к безразмерным величинам:

$$\frac{i_{a0}}{I_{a0}} = Y; \quad a = \frac{R_0}{\Omega L_d}; \quad I_{a0} = \frac{E_{a0}}{R_{0T}}; \quad \Omega t = x$$

и считая $\epsilon(t) = \sin \Omega t = \sin x$, получим:

$$\frac{dY}{dx} + a(1 + m' \sin x)Y = a. \quad (10)$$

Уравнение вида (10) проанализировано в работе /4/. В связи с этим, опуская промежуточные выкладки, рассмотрим только окончательные результаты применительно к случаю ААМ.

Решение уравнения (10) имеет вид: $Y = Y_1 + Y_2$,

$$\text{где } Y_1 = Y_0 + \sum_{k=0}^{\infty} M_k \cos(kx + \Psi_k) -$$

установившийся режим;

$$M_k = \sqrt{A_k^2 + B_k^2}; \quad \Psi_k = \arctg \frac{B_k}{A_k}. \quad (11)$$

$$Y_2 = -(Y_0 - y_0 + \sum_k A_k) e^{-am'(1-\cos x)} e^{-ax};$$

$$(y_0 = Y_1(0) + Y_2(0), \quad k = 1, 2, 3 \dots) \quad (12)$$

переходный процесс.

Из (11) следует, что решением уравнения (10) является периодическая функция с периодом $2\pi/\Omega$. При этом величина отклонения от гармонического закона, по которому изменяется коэффициент при Y в (10), определяется величиной высших членов разложения в (11). Функция $y_k = M_k/M_1$, $k = 2, 3, \dots$, а Y_0 в зависимости от m' приведены на рис. 8. В уравнении (12) член $e^{-am'(1-\cos x)}$ периодически изменяется с частотой (Ω), а член e^{-ax} характеризует экспоненциальное затухание пере-

ходного процесса. Если принять, что переходный процесс кончается, когда $e^{-ax} = 0,1$, то во время переходного процесса будет

$$t = 2,3/a\Omega$$

За это время происходит $n = 2,3/2\pi a$ колебаний. Для аperiodического затухания переходного процесса необходимо, чтобы

$$a > 2,3/2\pi = 0,367.$$

Уравнение (10) может быть решено графическим методом. Этот метод подробно изложен в работе /5/.

Полученные результаты можно использовать при выборе L_d . К величине L_d предъявляются противоречивые требования: с одной стороны, для обеспечения условия $\langle I_{a0} \rangle_T = \text{CONST.}$ и линейности модуляции его индуктивность должна быть большой, с другой стороны, для уменьшения времени переходных процессов она должна быть малой. В работе величина L_d выбрана равной 5Н. При этом $a = 0,29$; $\gamma_2 = 0,055$; $\gamma_3 = 0,0023$. Процесс установления колебаний для двух начальных условий $y_0 = 0$ и $y_0 = 1$ показан на рис. 7. Время переходного процесса $t_0 = 12,4 \cdot 10^{-3}$ сек.

V Расчет осциллятора, работающего в режиме ААМ

При расчете осциллятора, работающего в режиме ААМ, необходимо учитывать следующее:

1. Лампа работает в точке Т в сильно перенапряженном режиме. Это же имеет место в точке М, хотя Θ_g и Θ_a при этом значительно уменьшаются.

2. Постоянная составляющая импульса анодного тока I_{a0} в точке Т больше, чем в точке М. Задача заключается в том, чтобы по известным U_{a1} , R_d , m , Θ_a при выбранной лампе осциллятора найти коэффициент обратной связи и ξ такие, чтобы обеспечивались условия автовозбуждения, получение максимальной мощности в режиме модуляции и $\xi_T = \xi_M$, что связано с требованиями линейности.

Форма импульса анодного тока и обозначение его параметров, принятое в расчетах, приведены на рис. 8(а).

На рис. 8(б) приведены линеаризованные характеристики лампы ГУ-5Б. Там же показаны динамические характеристики для точек Т и М при $\Theta_a = 120^\circ$ для точки М и 180° для точки Т.

Расчет проводится по следующей схеме.

Напряжение на сетке лампы определяется из выражения

$$U_q = \frac{0,9 I_a}{S(1 - \cos \Theta_a)} + DU_{a1}, \quad (13)$$

где принято $i_{a \max} = 0,9 I_a$, I_a - ток эмиссии, $\Theta_a = 120^\circ$. По U_q , найденному из (13), определяется $k = 1/g' = U_q/U_a$, а с помощью графика функции $\xi'(k, \Theta_a, \Theta_q)$ определяется Θ_q ,

$$\cos \Theta_2 = 1/\xi.$$

Коэффициент использования анодного напряжения ξ находится из приближенного выражения

$$\xi \approx \Lambda' \Phi' \approx \frac{I}{\cos \Theta_q} \left(1 - \frac{\beta_1}{\beta_1 \Theta_a} \right) \left(1 - \frac{k}{\mu_q} \cos \Theta_a \right). \quad (14)$$

В результате подстановки численных значений определяются:

$$(\Theta_2)_T = (\Theta_2)_M = 25^\circ; \quad \xi = 1,1; \quad (\Theta_q)_T = 46^\circ; \quad (\Theta_q)_M = 11^\circ.$$

Проверка показывает, что при этом $(k)_M = (k)_T$ и условия автовозбуждения выполняются, а также $(I_{a0})_T > (I_{a0})_M > 0$, что необходимо для ААМ.

VI. Модулятор

Модулятор должен обеспечивать следующие режимы работы высокочастотного ЧМ генератора:

А. Импульсное программирование амплитуды ускоряющего напряжения с возможностью плавной регулировки длительности импульса в пределах $0,5 \div 10$ мсек при частоте повторения $50 \div 100$ гц.

В. Программирование амплитуды ВЧ генератора по специальному закону (экспоненциальному, логарифмическому, линейному).

У импульсов должны плавно изменяться длительность ($1 \div 10$ мсек), момент включения (задержка относительно начала цикла ЧМ на $1 \div 5$ мсек) и форма. Модулятор должен быть жестко синхронизован с началом рабочего цикла изменения частоты ускоряющего АМ ЧМ осциллятора.

Ввиду большого различия методов решения проблемы импульсной манипуляции и программирования амплитуды ВЧ генератора в схеме модулятора применены отдельные каналы программирования и манипуляции. Блок-схема модулятора показана на рис. 9. Пунктиром выделена схема программатора.

Синхронизация модулятора с рабочим циклом ЧМ генератора осуществляется с

помощью индукционного датчика, связанного с вариатором генератора. Импульс с индукционного датчика поступает на схему формирования запускающих импульсов, которые идут по четырем каналам: на манипулятор (импульсатор), на схему задержки манипулятора, на схему задержки программатора и на схему питания ионного источника. Для предотвращения запуска ускорителя от импульсных помех в схеме формирования применена схема Шмидта с регулируемым порогом срабатывания. Схема задержки манипулятора имеет две регулировки: предварительную ($\tau = 1 \div 10$ мсек) и точную ($\tau = 0,5 \div 1,7$ мсек). Каскады задержки выполнены на спусковых схемах с катодной связью ^{/6/}. Задержанный импульс поступает на вход манипулятора, который представляет собой спусковую схему с двумя устойчивыми состояниями, собранную на тиратронах и управляемую блокинг-генератором. Переброс схемы из одного устойчивого состояния в другое происходит в момент прихода импульса со схемы формирования запускающих импульсов, а возвращение в первоначальное состояние - в момент прихода импульса со схемы задержки. В промежуток времени между этими импульсами генератор должен быть отперт, после чего следует пауза до прихода следующего запускающего импульса. Принципиальная схема манипулятора и способ его подключения к осциллятору показаны на рис. 10.

Программатор состоит из схемы задержки, аналогичной схеме задержки манипулятора, схемы формирования и усилителя мощности. Задержанные на $1 \div 5$ мсек импульсы поступают на схему формирования, где формируются программирующие импульсы. Схема формирования представляет собой видоизмененную схему генератора линейно растущего напряжения, объединенного со схемой Миллера ^{/7/} (рис. 11). Связь L_1 с L_3 (рис. 12) осуществляется через усилитель L_2 . При этом

$$e(t) = \frac{1}{C} \int_0^t \frac{E + e(G' - 1)}{R} dt = E \left(\frac{t}{RC} - \frac{(1-G')t^2}{2R^2C^2} + (1-G')^2 t^3 / 3! R^3 C^3 \dots \right), \quad (15)$$

где G' - коэффициент усиления схемы по напряжению. Как видно из (15), форма выходного напряжения будет зависеть от величины G' и иметь характер линейный ($G' = 1$), логарифмический ($G' < 1$) или параболический ($G' > 1$). Импульс со схемы формирования поступает на усилитель мощности, который программирует по сетке работу осциллятора.

Прямоугольные импульсы со специального выхода схемы задержки могут подаваться также непосредственно на усилитель мощности. В разработанной схеме принята трансформаторная связь программатора с генератором. При этом сеточный трансформатор с железом играет роль сеточного дросселя ААМ и стабилизирует режим генератора при перестройке частоты. Для целей эксперимента было удобно вручную устанавливать длительность импульсов, вырабатываемых схемой модулятора, привязывая к рабочему циклу изменения частоты только запуск импульсных устройств. В рабочем варианте схемы целесообразно установить на роторе вариатора второй датчик, вырабатывающий отключающий импульс в конце рабочего хода изменения емкости. В этом случае при изменении

скорости вращения вариатора длительность импульсов, управляющих генератором, будут устанавливаться автоматически.

VII. Экспериментальное исследование осциллятора, работающего в режиме амплитудной и частотной модуляции

Детальное исследование работы осциллятора преследовало цель получения максимальных режимов по мощности и глубине модуляции в диапазоне работы, а также сравнение экспериментальных данных с теоретическими. Схема осциллятора с программируемыми устройствами приведена на рис. 12.

Были исследованы следующие режимы работы:

1. Импульсная модуляция (манипуляция) со скважностью, равной двум, осуществляемая с помощью манипулятора в статическом ($f = \text{CONST}$) и динамическом ($8 \text{ Мгц} < f < 26 \text{ Мгц}$) режимах работы.
2. Автоаводная модуляция импульсами специальной формы.
3. Манипуляция (ИМ) совместно с ААМ.
4. ИМ совместно с ААМ и частотной модуляцией (ЧМ).

1. ИМ. Был проведен ряд измерений, имеющих целью сравнить расчет с экспериментом и определить максимальную мощность в импульсном режиме работы. Осциллятор был запрограммирован манипулятором. Длительность импульсов изменялась от 5 до 10 мсек, частота повторения — от 100 до 80 гц, $f = 10 \text{ Мгц}$.

Результаты для трех режимов работы приведены в таблице.

В первом случае наблюдается большое отличие экспериментально полученной глубины модуляции от расчетной. Желаемая модуляция не была получена т.к. при $m > 15\% ((I_{a0})_M > (I_{a0})_T)$, т.е. нарушается условие ААМ.

Во втором случае при изменении m до 20% получено хорошее согласие теории с экспериментом.

Третий случай посвящен получению максимальных значений m и P_{imp} . Из измерений следует, что была получена глубина модуляции 82% при $\Sigma P = 2,7 \text{ квт}$.

После получения и исследования импульсного режима работы при $f = \text{CONST}$. основным вопросом было определение мощности, которая может быть получена при варьировании частоты.

Экспериментальные данные приведены на рис. 13. Из графиков рис. 13, зная коэффициент трансформации напряжения от анода к ускоряющим электродам, можно определить мощность в импульсе:

Таблица 1

| | | e_a | | | θ | | | i_a | | | | u_g | | | m | k |
|-----------|---|-------|-------|-------|------------|------------|------------|------------|-----------|----------|----------|-------|-----------|-------|----|-------|
| | | E_a | U_a | ξ | θ_a | θ_g | θ_2 | I_Σ | $I_{амх}$ | I_{a1} | I_{a0} | U_g | $U_{гмх}$ | E_g | | |
| | | кВ | кВ | В/В | 0 | 0 | 0 | А | А | А | А | В | В | В | | |
| I изм. | Т | 2,33 | 2,5 | 1,07 | 99 | 38 | 21 | 6,5 | 5,3 | 1,25 | 1,17 | 4,08 | 461 | 43,3 | - | 0,163 |
| | М | 3,15 | 3,28 | 1,02 | 69 | 35 | 18 | 10,0 | 7,5 | 1,64 | 1,10 | 1100 | 687 | -41,3 | 31 | 0,33 |
| | М | 2,7 | 2,85 | 1,07 | 90 | 34 | 18 | 6,5 | 5,3 | 1,44 | 1,1 | 475 | 477 | -22 | 15 | 0,160 |
| 2 изм. | Т | 2,5 | 2,5 | 1,0 | 100 | 25 | 0 | 3,5 | 3,26 | 1,25 | 1,10 | 200 | 266,5 | 66,5 | - | 0,08 |
| | М | 3,0 | 3,0 | 1,0 | 90 | 24 | 0 | 4,2 | 4,0 | 1,5 | 1,0 | 3,07 | 278 | -25 | 20 | 0,01 |
| | М | 3,0 | 3,04 | 1,01 | 98 | 18 | 0 | 4,0 | 3,8 | 1,52 | 1,0 | 285 | 2,65 | -20 | 20 | 0,095 |
| 3 изм. | Т | 2,25 | 2,50 | 1,1 | 120 | 46 | 25 | 8,4 | 7,1 | 1,25 | 2,42 | 322 | 582 | 260 | - | 0,127 |
| | М | 3,4 | 3,75 | 1,09 | 160 | 39 | 25 | 9,6 | 7,9 | 1,88 | 2,08 | 462 | 539 | 177 | 50 | 0,125 |

1. $U_{aT} = 2500$ в , $P_{imp} = 3,1$ квт; $U_{aM} = 3750$ в , $P_{imp} = 7,0$ квт.
2. $U_{aT} = 3500$ в , $P_{imp} = 6,2$ квт; $U_{aM} = 4300$ в , $P_{imp} = 9,2$ квт.

2. ААМ, Высокочастотный генератор, работающий в непрерывном режиме при постоянной частоте $f = 10$ Мгц, был модулирован импульсами специальной формы из программатора. Амплитуда программирующего напряжения составляла $80 \div 100$ вольт. Высокочастотное напряжение с ускоряющих электродов через делитель подавалось на пластины осциллографа. Анализ работы осуществлялся по фотографиям импульсов с экрана осциллографа.

Были выполнены измерения, целью которых было определение линейности модуляционной характеристики для различных уровней несущей и разных глубин модуляции.

Экспериментальные данные и анализ полученных результатов представлены на фотографиях и графиках рис. 14, 15, 16. На фотографиях рис. 14(а), 15(а), 16(а) модулирующий и высокочастотный импульсы совмещены. На графиках рис. 14(б), 15(б) и 16(б) импульсы ВЧ и модулирующий сопряжены по максимуму. Коэффициент нелинейных искажений определялся по обычной формуле $\frac{1}{8}$. Данные, характеризующие работу осциллятора, приведены в подписях к рисункам.

Из анализа следует, что при невысоких уровнях несущей можно получить очень большую глубину модуляции при незначительных нелинейных искажениях.

3. ИМ + ААМ. Осциллятор был запрограммирован импульсами манипулятора, на которые были наложены импульсы программатора. Длительность манипулирующих импульсов - $7 \div 12$ мсек, амплитуда - 28 в. Амплитуда импульсов программатора - около 130 в, скважность - 2. В этой серии измерений выяснились следующие вопросы:

1. Каким может быть коэффициент модуляции при импульсной работе. Существующие ограничения процессов ААМ при $U_{aM} \approx 4000$ в.

2. Какую мощность можно получить при ИМ АМ работе.

Совмещенные импульсы модуляции и ВЧ приведены на фотографиях и графиках Рис. 17, 18 и 19. Из рис. 17 следует, что, как и предсказывает расчет, искажения нарастают по мере приближения к точке ограничения ААМ.

4. ИМ+ААМ+ЧМ. Модуляция схемы осуществлялась манипулятором (34 в) и программатором (120 в), запуск которых осуществлялся от магнитного датчика, укрепленного на роторе вариатора. Частота повторения импульсов $F = 50 \div 25$ гц, длительность - $10 \div 20$ мсек. В связи с тем, что при ЧМ изменяется коэффициент трансформации линий передачи и режим работы осциллятора, точного воспроизведения модулирующих импульсов теоретически не может быть.

Результаты измерений приведены на рис. 20 (а,б,в). Из измерений следует, что наиболее трудно получить модуляцию на частотах $20 \div 22$ Мгц. В этом диапазоне коэффициент трансформации напряжения от дрейфовых трубок к аноду достигает максимальных значений, и для получения больших m схема работает с перегрузкой. Реально необходимо считаться с уменьшением модулированного напряжения в этом районе на 16-18%.

VIII. Выводы

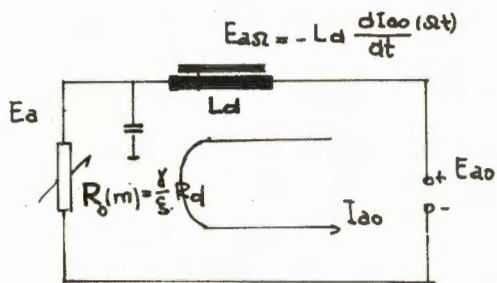
Разработанные осциллятор и программирующие устройства позволяют, как показали эксперименты, получать на ускоряющих электродах ВЧ ЧМ напряжение, изменяющееся по заданной программе и обеспечивающее необходимый набор энергии ускоряемыми протонами.

Расчетный режим ААМ при $f = \text{CONST.}$ достаточно хорошо совпал с полученным экспериментально. Нарушение линейности процессов модуляции (провал амплитуды на 15 \div 20%) на частотах $20 \div 22$ Мгц связано с принципиальной особенностью высокочастотной системы осциллятора.

Л и т е р а т у р а

1. Yu.N.Denisov, V.P.Dmitrievsky, V.P.Dzheleпов, A.A.Glazov, V.V.Kolga, A.A.Kropin, M.Kuzmink, L.M.Onischenko, V.S.Rybalko, L.A.Sarkisyan, J.Schwabe, D.P.Vasilevskaya, B.I.Zamolodchikov. Nucl. Instr., 21, 85-88 (1963).
2. А.А. Глазов, Е. Швабе, В.А. Кочкин. Nukleonika, том. VII, 455 (1962).
3. Н.Г. Круглов. Радиотехника, т. 4, № 2, 7 (1949).
4. Я.З. Цыпкин. Электричество, № 8, 62 (1946).
5. Н.Г. Круглов. Радиотехника, т. 9, № 4, 3 (1964).
6. Л.А. Меерровиц, Л.Г. Зеличенко. Импульсная техника. Сов. Радио, 1953.
7. H.W.Bode. Network Analysis and Feedback Amplifier Design. New-York, 1946.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 мая 1966 г.



$$E_a = E_{a0} + E_{a\Omega} = I_{a0} \cdot R_0(\Omega)$$

$$R_0 = f(U_q(\Omega t))$$

Рис. 1

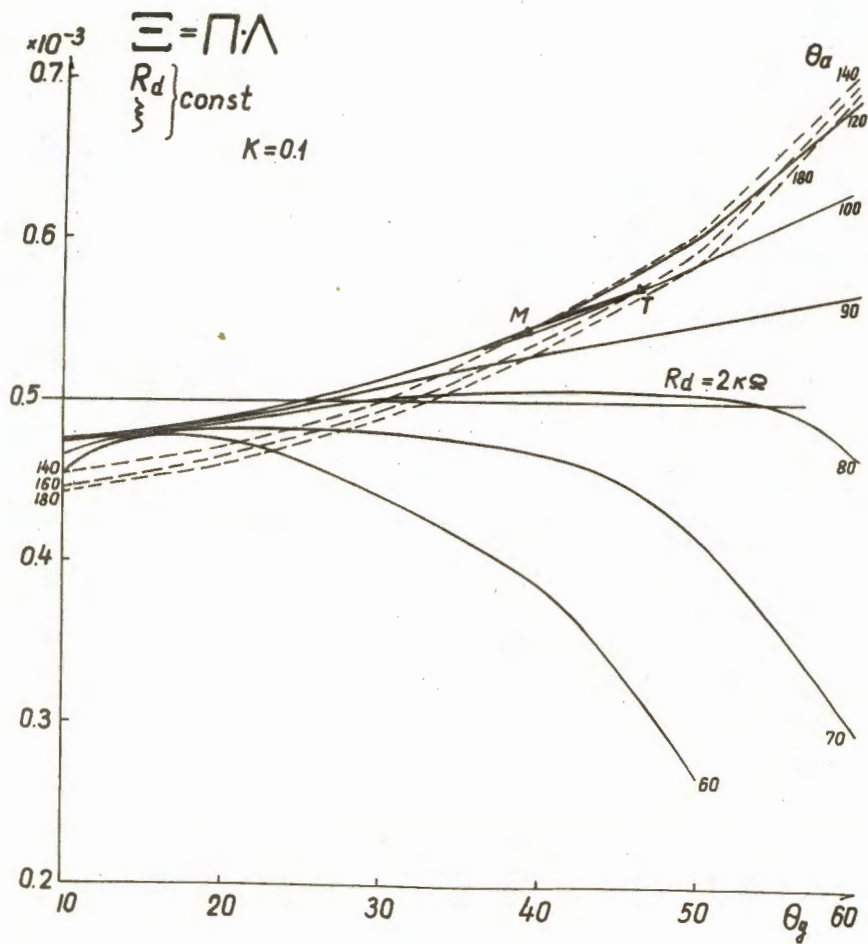


Рис. 2

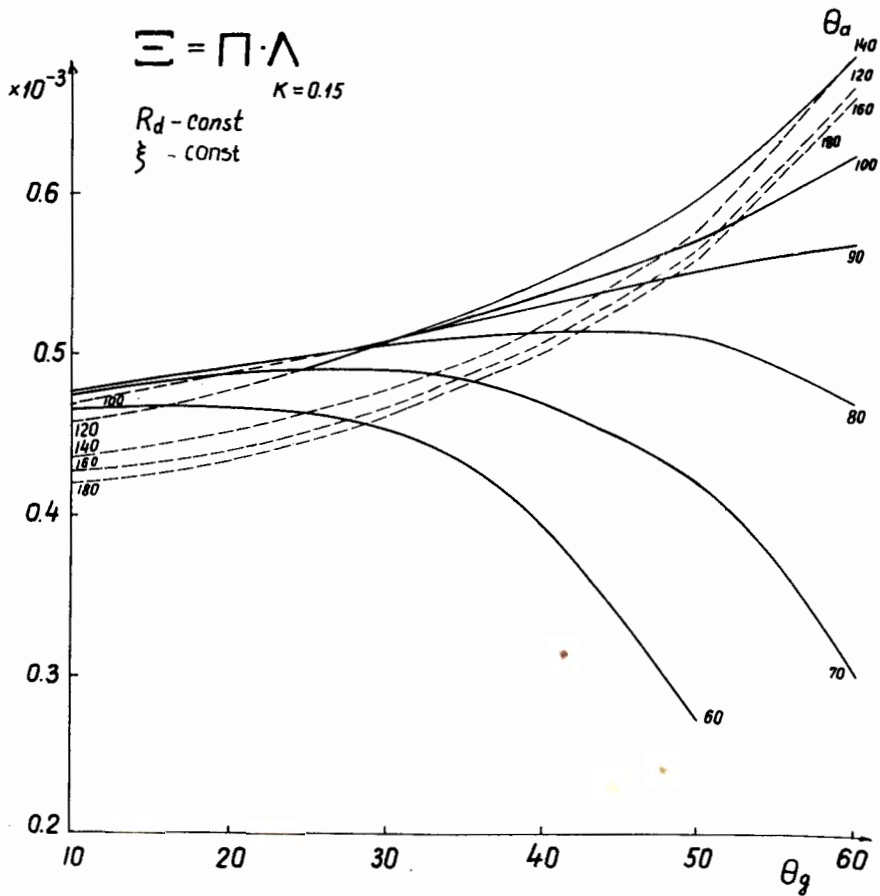


Рис. 3

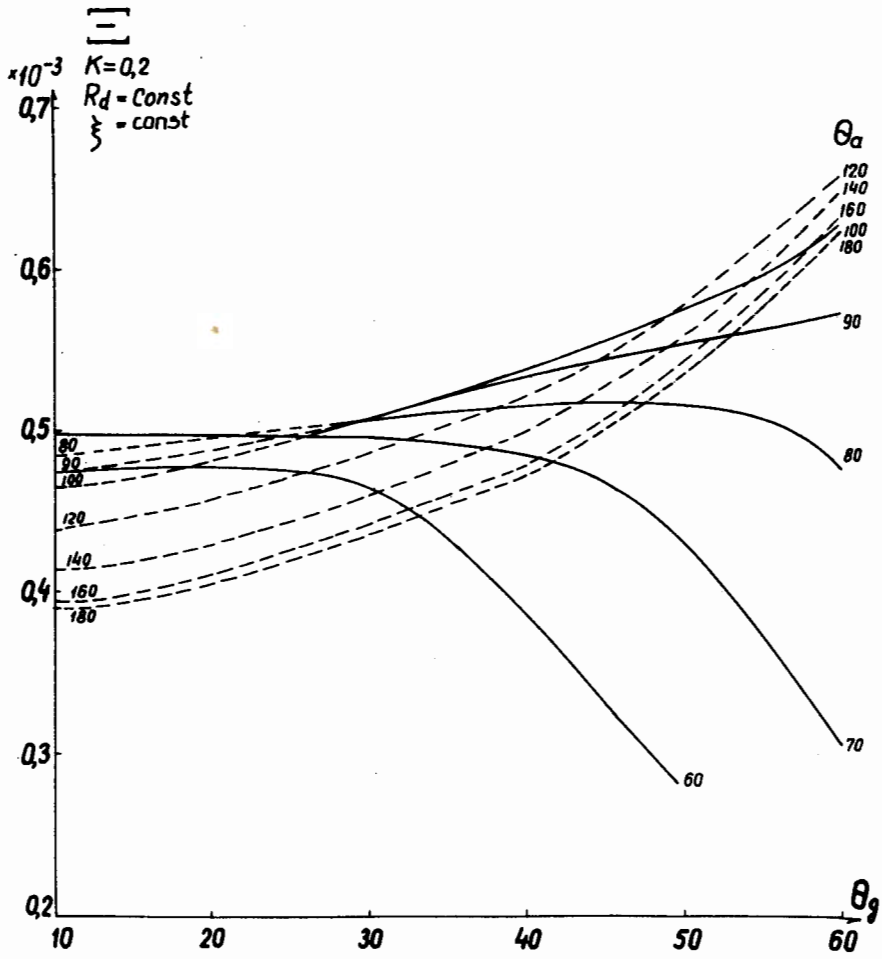


Рис. 4

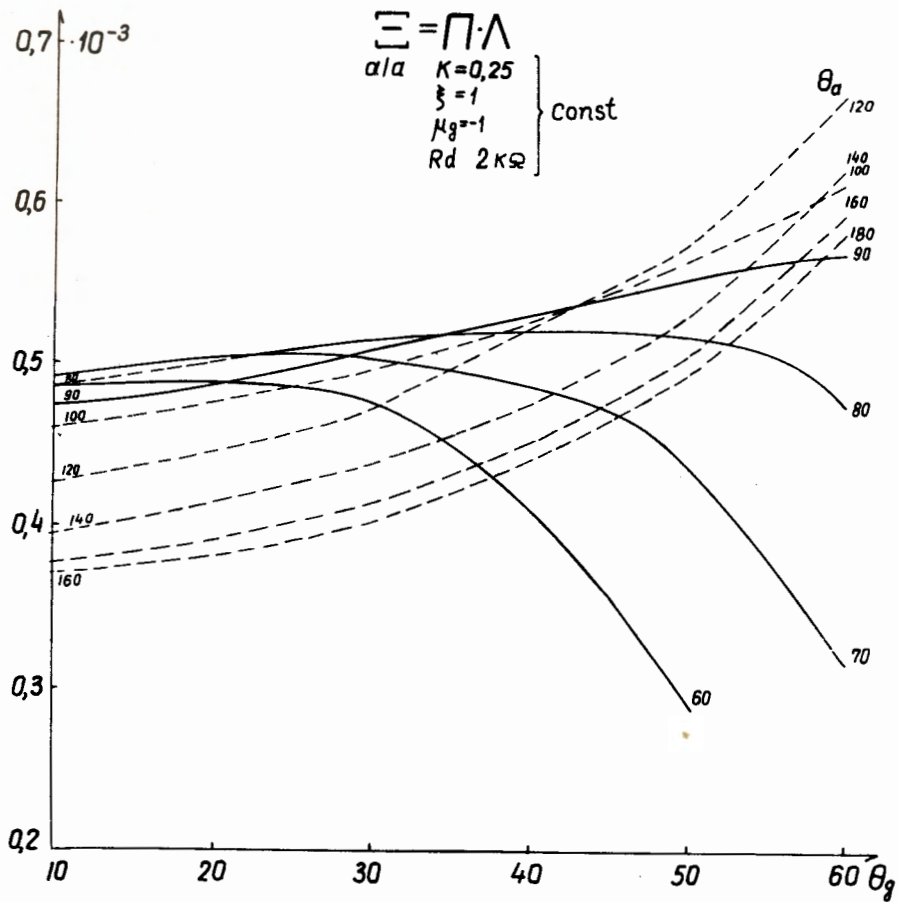


Рис. 5

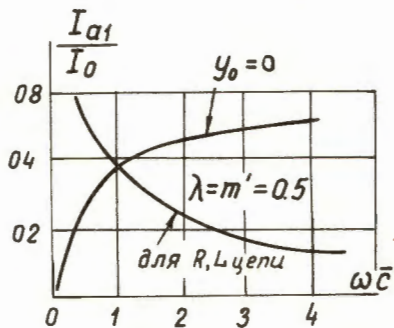
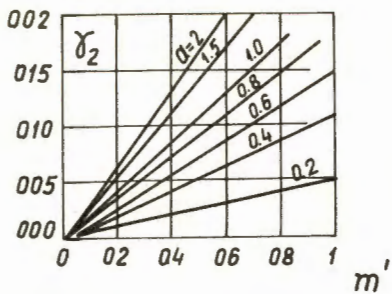
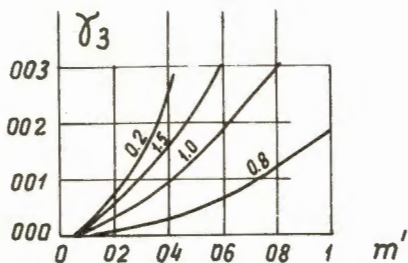
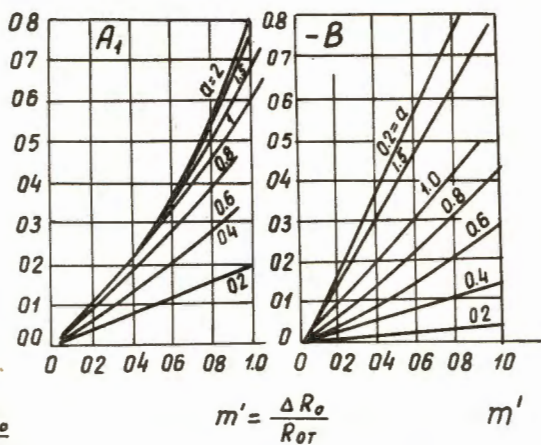
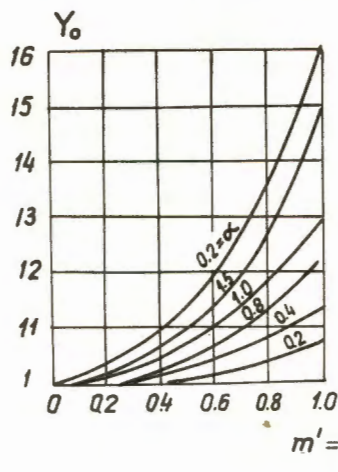


Рис. 8

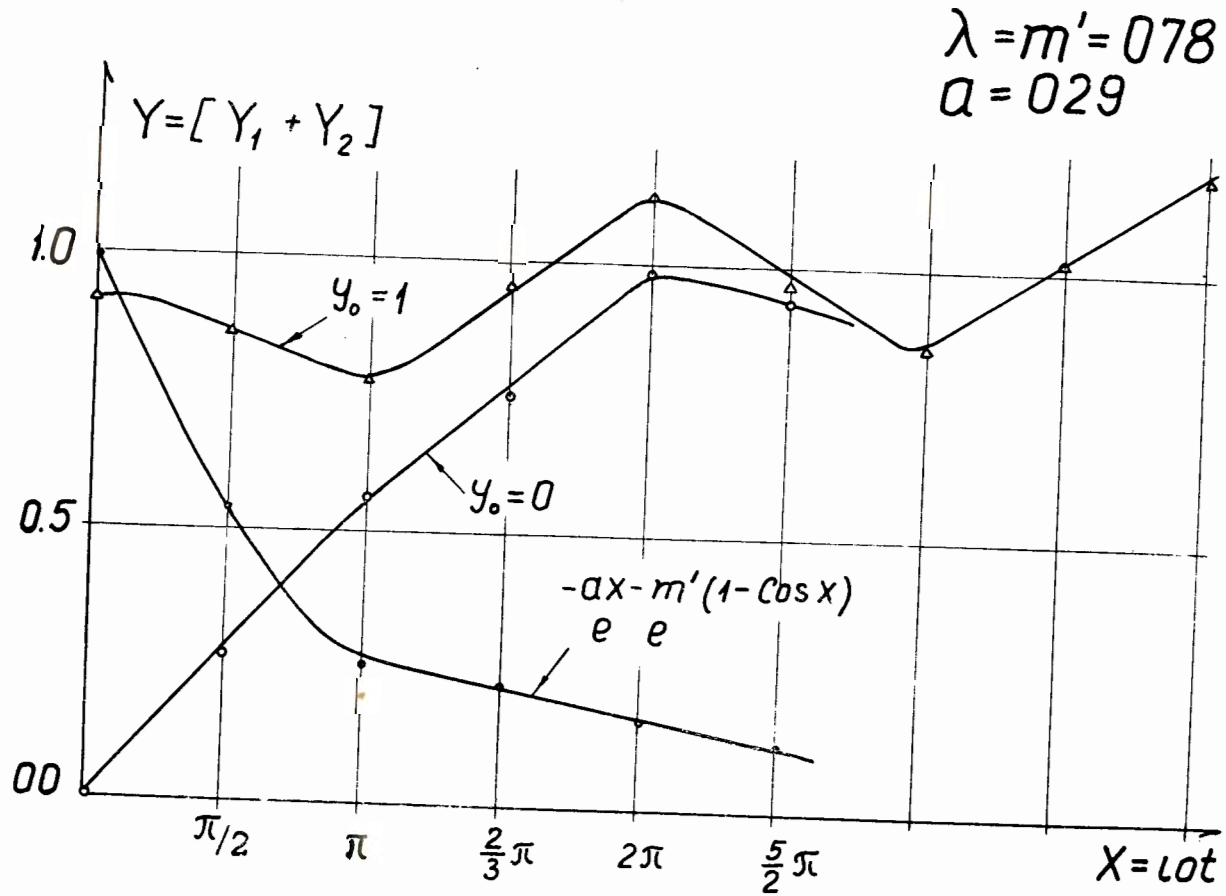


FIG. 7

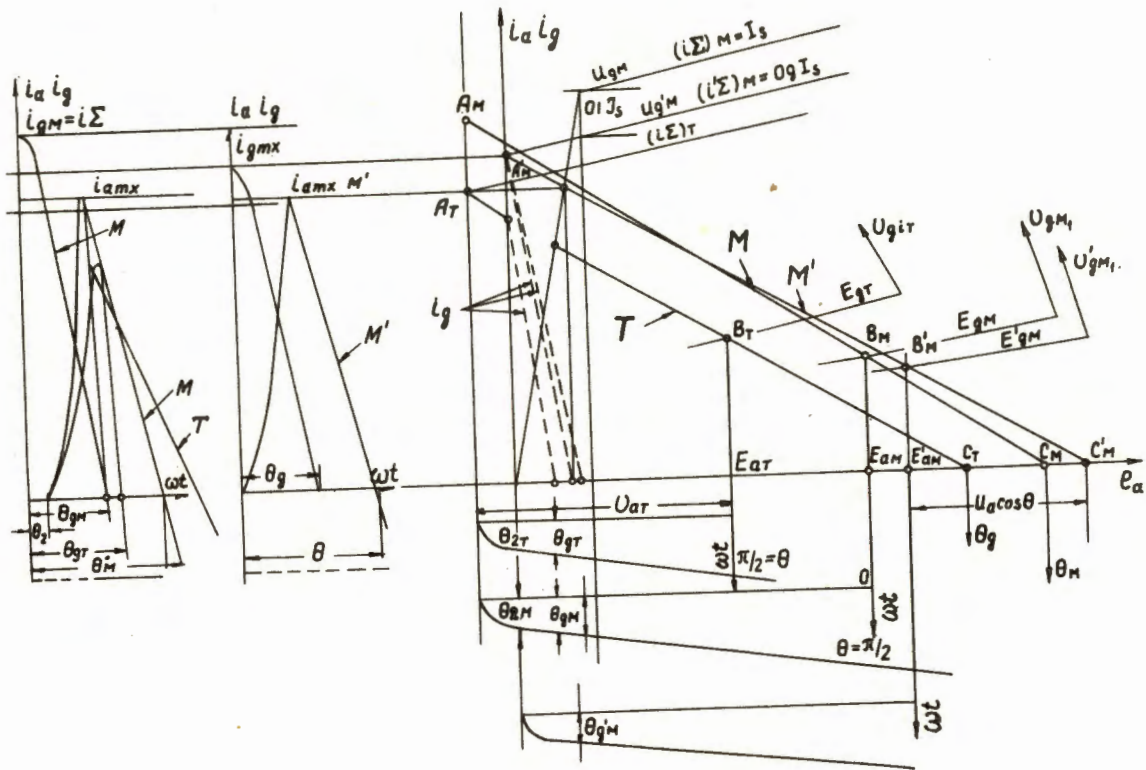


Рис. 8(а)

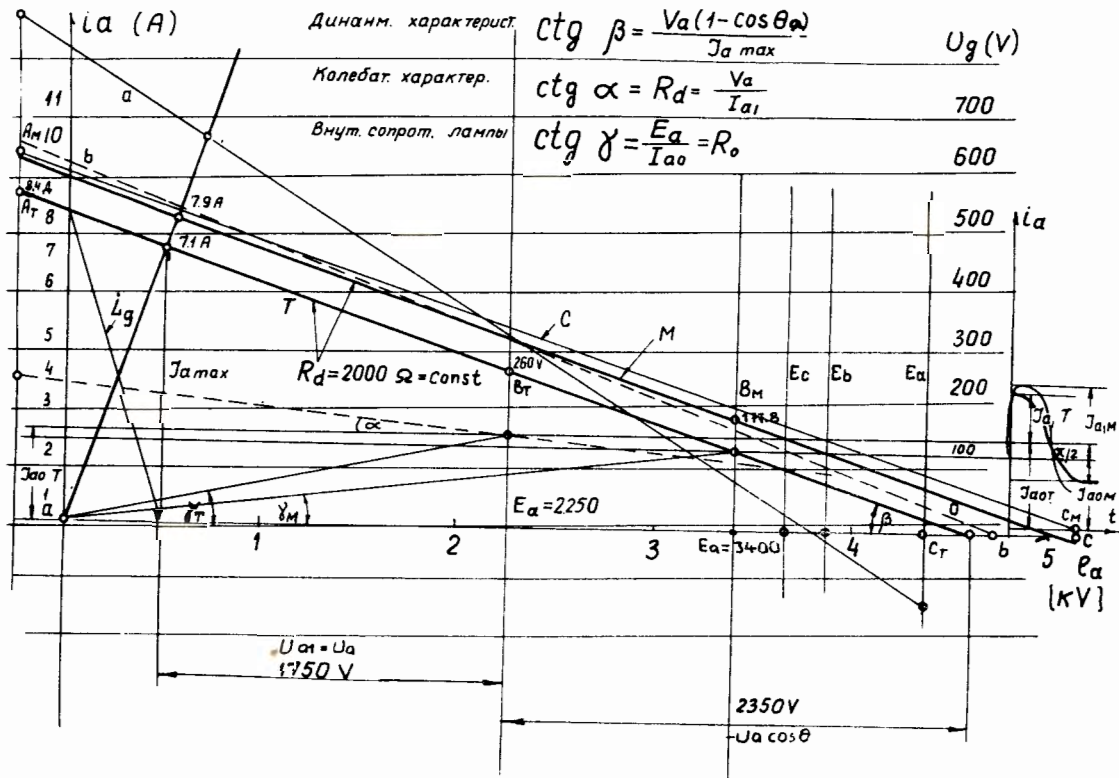


Рис. 8(б).

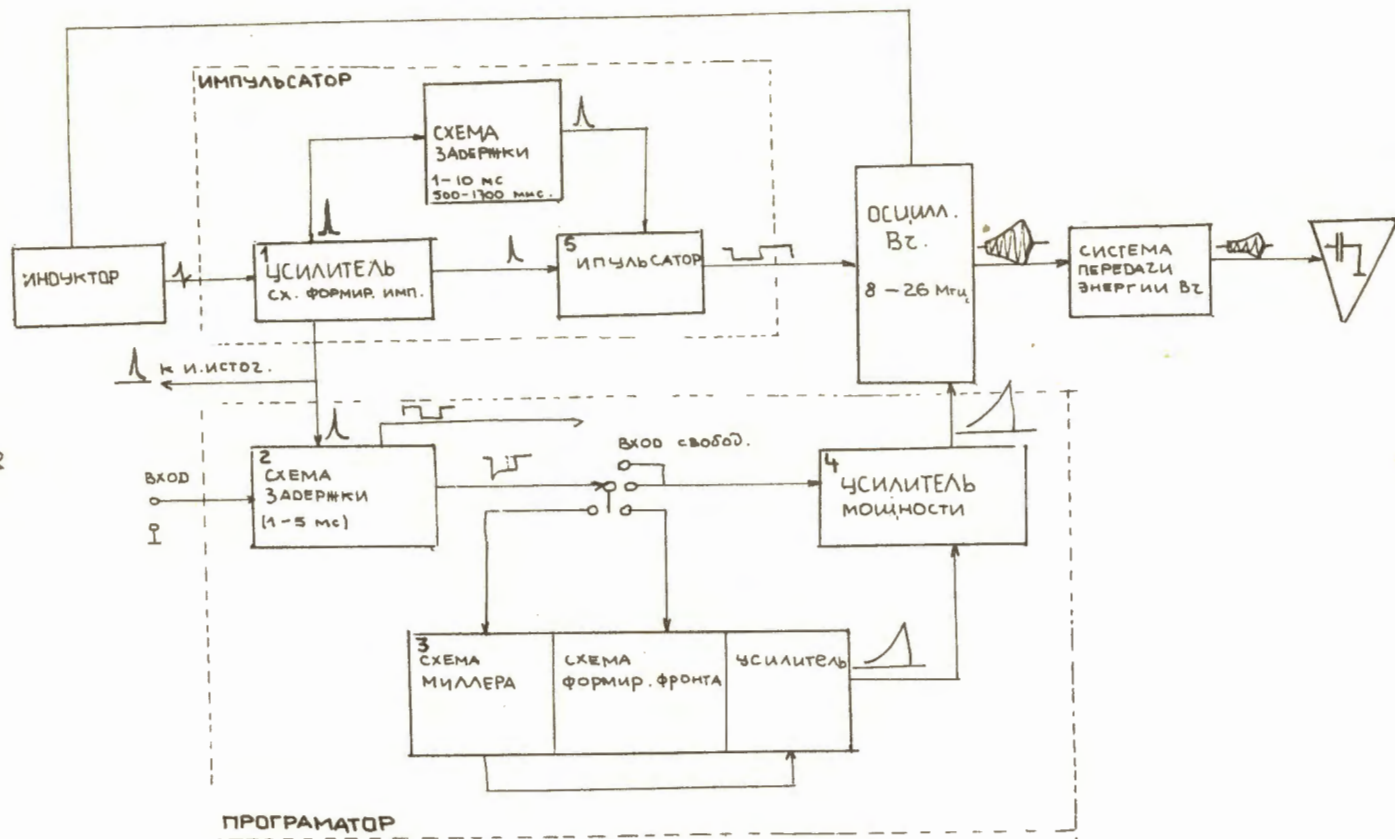


Рис. 8. Блок-схема модулятора.

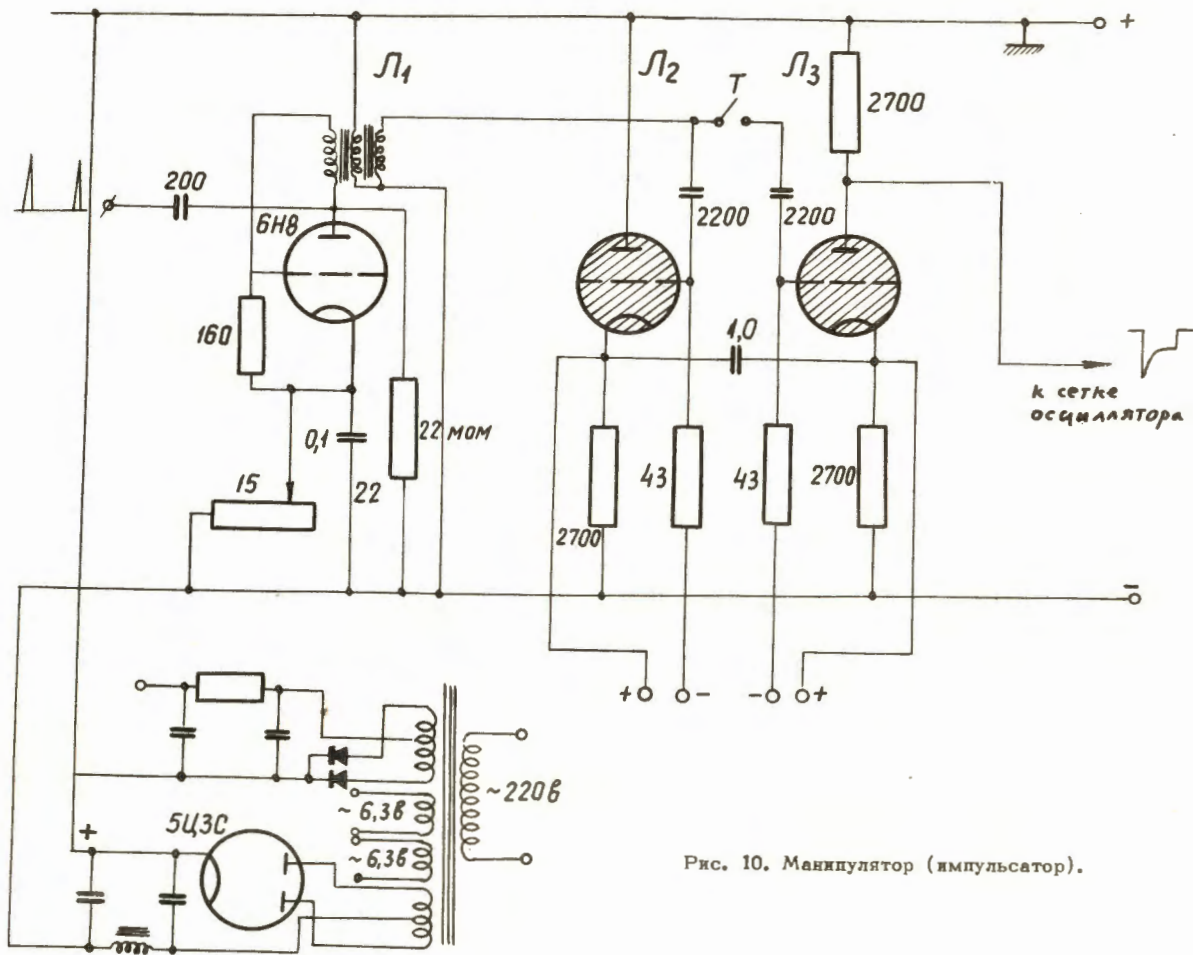


Рис. 10. Манипулятор (импульсатор).

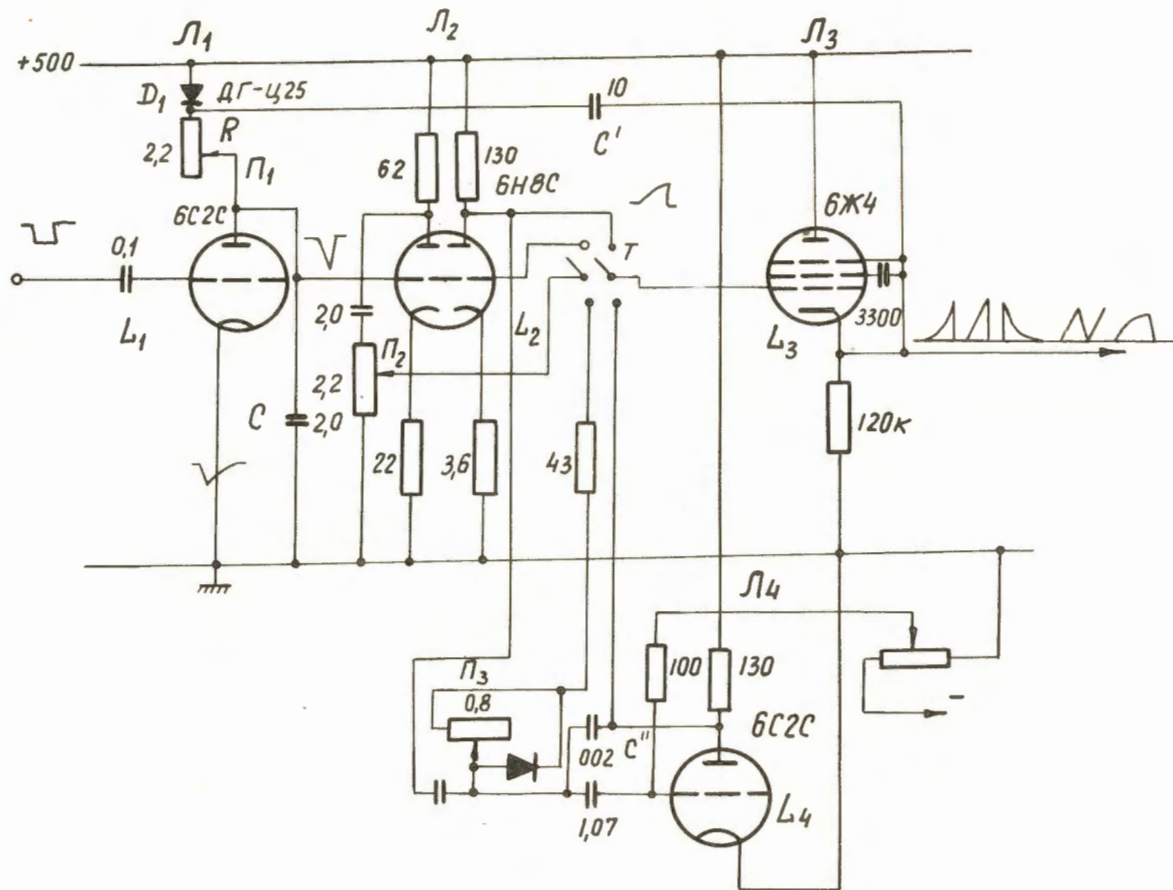


Рис. 11. Схема формирования программирующих импульсов.

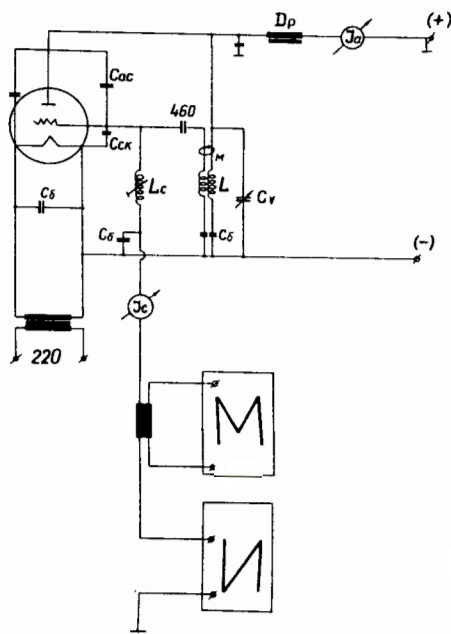
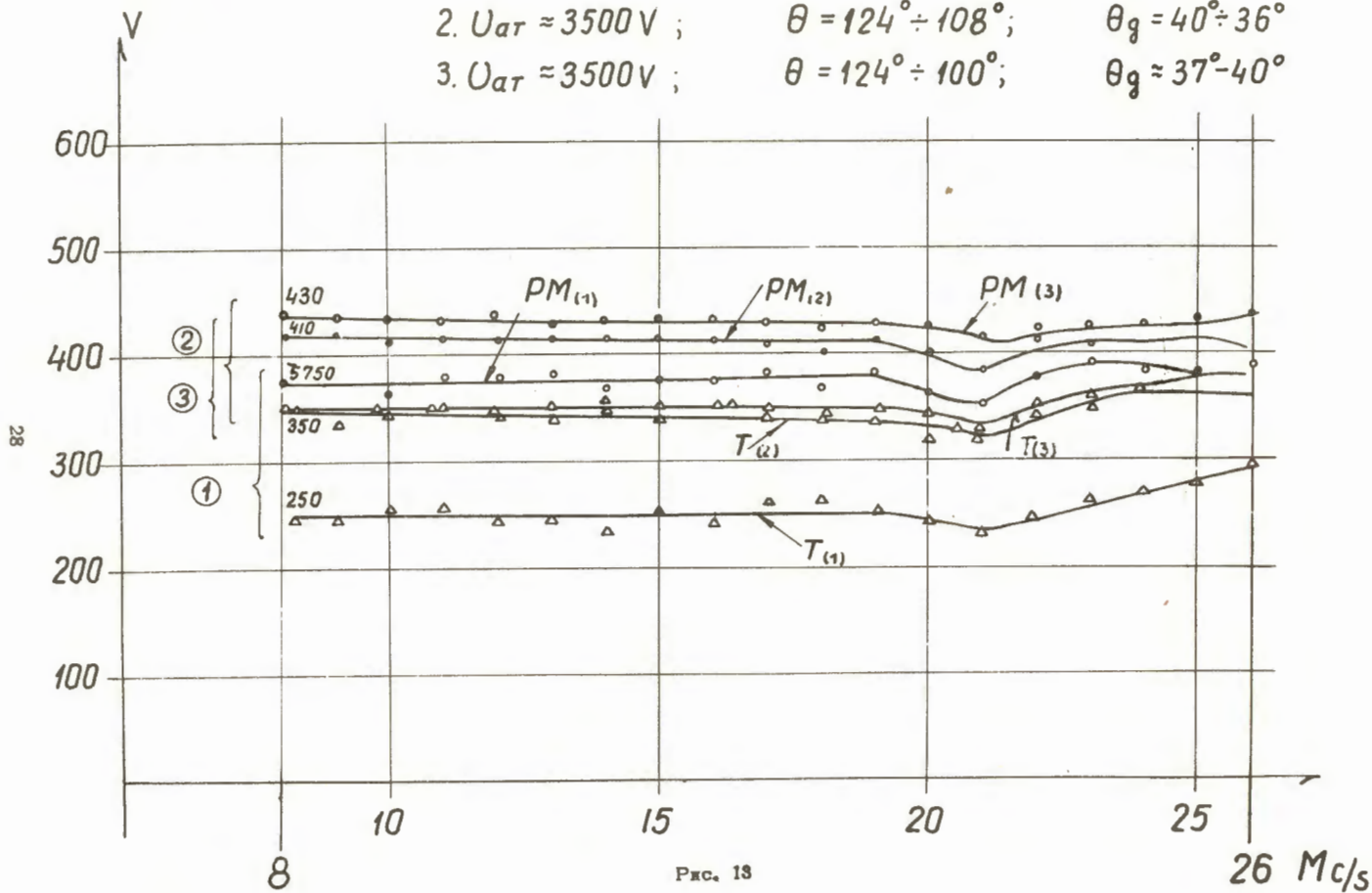


Рис. 12. Осциллятор с программирующими устройствами.

$UK = f(m)$

- | | | |
|--------------------------------------|--|--|
| 1. $U_{aT} \approx 2500 \text{ V}$; | $\theta' = 160^\circ \div 120^\circ$; | $\theta_g = 46^\circ \div 36^\circ$ |
| 2. $U_{aT} \approx 3500 \text{ V}$; | $\theta = 124^\circ \div 108^\circ$; | $\theta_g = 40^\circ \div 36^\circ$ |
| 3. $U_{aT} \approx 3500 \text{ V}$; | $\theta = 124^\circ \div 100^\circ$; | $\theta_g \approx 37^\circ - 40^\circ$ |



a)

(AM) $f=10 \text{ Mc/s}$ 1 mil. = 24.0V, $U_{kN}=510 \text{ V}$, $U_{aM}=3100 \text{ V}$, $U_{kM}=580 \text{ V}$, $U_{aM}=3520 \text{ V}$, $\tau=3 \text{ ms.}$, $F=160 \text{ c/s}$ $E_g=75 \text{ V}$, $m' \approx 12.5 \%$

б)

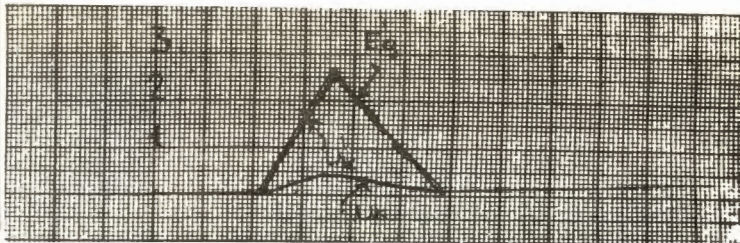
(AM) $f=10 \text{ Mc/s}$ $\beta_1=0.00$, $\beta_2=0.002$ E_g^* - модуляционное напряжение, U_k - напряжение на ускоряющих электродах, U_k^* - трансформированное напряжение, U_{kN} - напряжение несущей частоты на уск. электродах, U_{aM} - напряжение несущей частоты на аноде осциллятора, U_{kM} - напряжение в.ч. в пике модуляции на уск. электр., U_{aM} - напряжение в.ч. в пике модуляции на аноде лампы осциллятора.

Рис. 14(а),(б)

a)

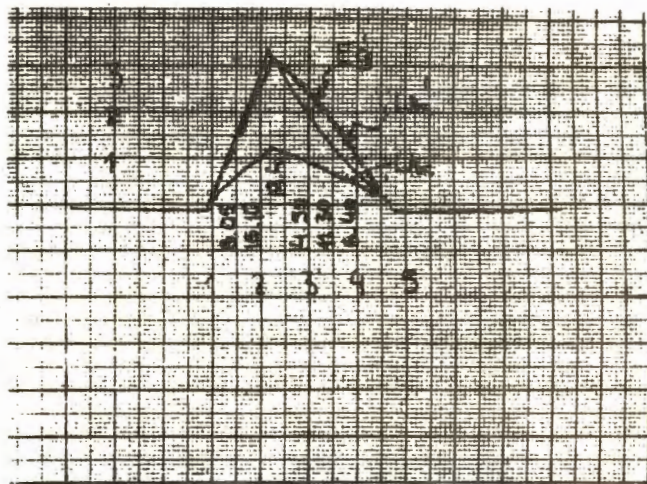
 $f = 10 \text{ Mc/s}$

1 mil. = 25.0 V, $U_{kH} = 310 \text{ V}$, $U_{aH} = 1850 \text{ V}$,

$U_{kM} = 584 \text{ V}$, $U_{aM} = 3500 \text{ V}$, $m' \approx 88.5 \%$, $\bar{c} = 3 \text{ ms.}$,

$F = 160 \text{ c/s}$, $E'_G = 75 \text{ V}$,

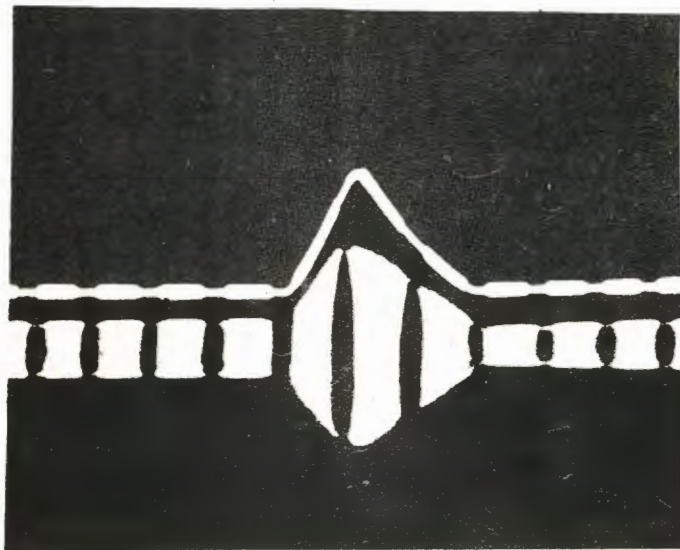
б)

 $(\Delta M) \quad f = 10 \text{ Mc/s}$

$\beta_1 = 0.34$, $\beta_2 = 0.4$, $\Delta\beta = 0.17$

Рис. 18(a), (б)

a)

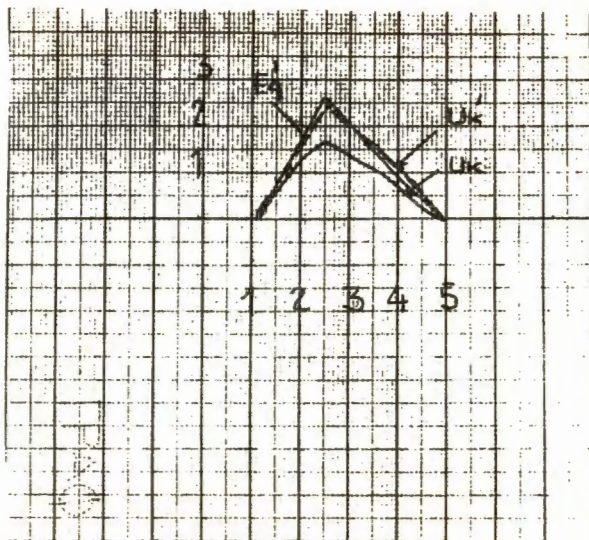


(AM) $f = 10 \text{ Mc/s}$

1 mil. = 24.0 V, $U_{kN} = 145 \text{ V}$, $U_{aN} = 870 \text{ V}$, $U_{kM} = 465 \text{ V}$,

$U_{aM} = 2800 \text{ V}$, $\bar{c} = 3 \text{ ms.}$, $F = 160 \text{ c/s}$, $E'_g = 75 \text{ V}$, $m' \approx 220 \%$

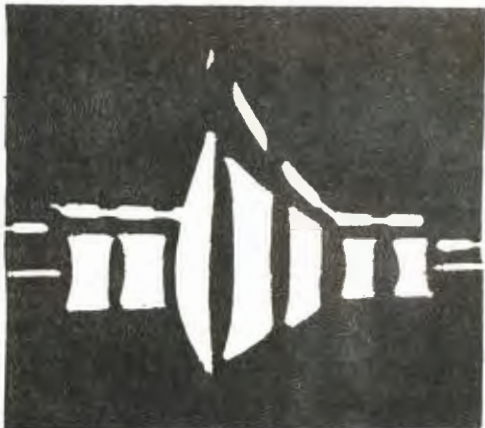
б)



(AM) $f = 10 \text{ Mc/s}$

Рис. 18(a),(б)

a)

(FM+AM) $f = 10 \text{ Mc/s}$

$1 \text{ mil.} = 30.2 \text{ V}, U_{kN} = 220 \text{ V}, U_{aN} = 1600 \text{ V},$
 $U_{aM} = 4100 \text{ V}, m' \approx 210 \%, \beta_1 = 0.4, \beta_2 = 0.2$
 $E'_g = 168 \text{ V}, \tau = 3 \text{ ms.}, F = 50 \text{ c/s}, \tau = 8 \text{ ms.}$
МДВ ИМ.

б)

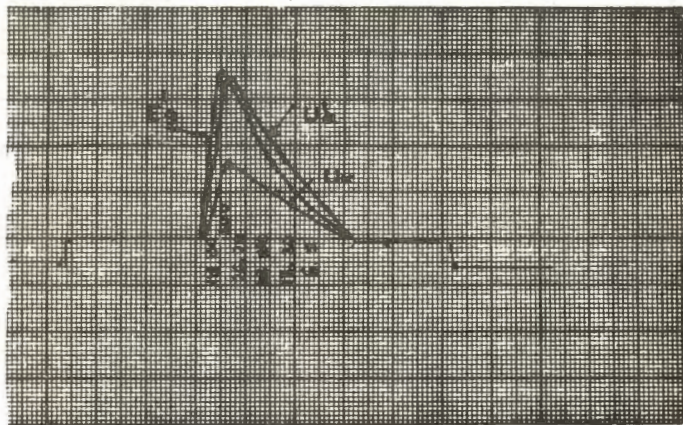
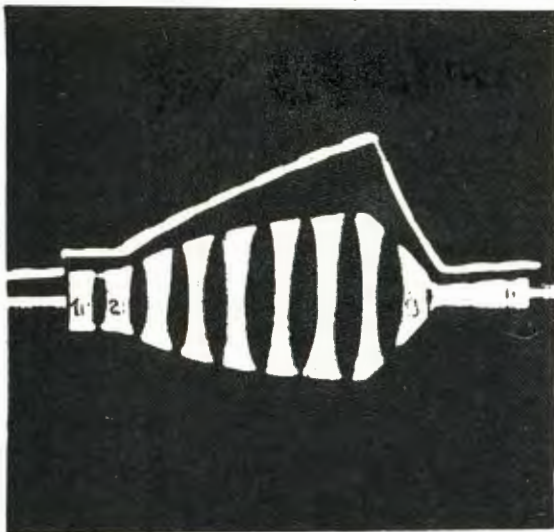
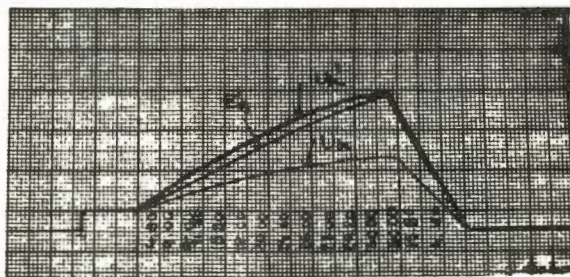

 $\beta_2 = 0.1, \beta_1' = 0.4, \beta_2' = 0.2, \beta_1 = 0.0.$

Рис. 17(a),(б)

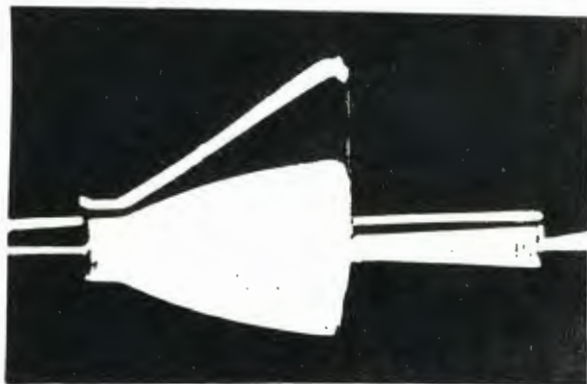
a)

(PM+AM) $f = 10 \text{ Mc/s}$ 1 mil. = 43.2 V, $U_{kN} = 250 \text{ V}$, $U_{aN} = 1500 \text{ V}$, $U_{kM} = 655 \text{ V}$, $U_{aM} = 3940 \text{ V}$, $m' \approx 164 \%$, $\tau_{UM} = 12 \text{ ms}$. $F_{imp.} = 42 \text{ c/s}$, $\bar{c} = 7 \text{ ms}$.

б)

(PM+AM) $f = 10 \text{ Mc/s}$ $\beta_1 = 0,02$; $\beta_2 = 0,025$ $\Delta\beta / \beta_1 = 0.25$

a)

(PM+AM) $f = 10 \text{ Mc/s}$

$1 \text{ mil.} = 43.2 \text{ V}, U_{kN} = 250 \text{ V}, U_{aN} = 1500 \text{ V},$
 $U_{kM} = 690 \text{ V}, U_{aM} = 4150 \text{ V}, m' \approx 176 \%, P_{aM} = 5.11 \text{ KW.}$
 $E_g' = 150, (20+130), \tau = 5 \text{ ms.}, F = 100 \text{ c/s.}$

б)

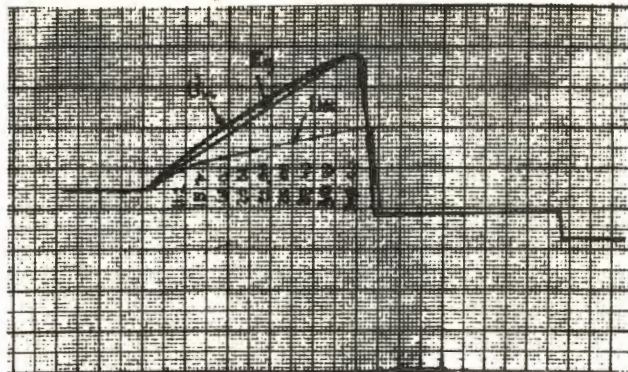
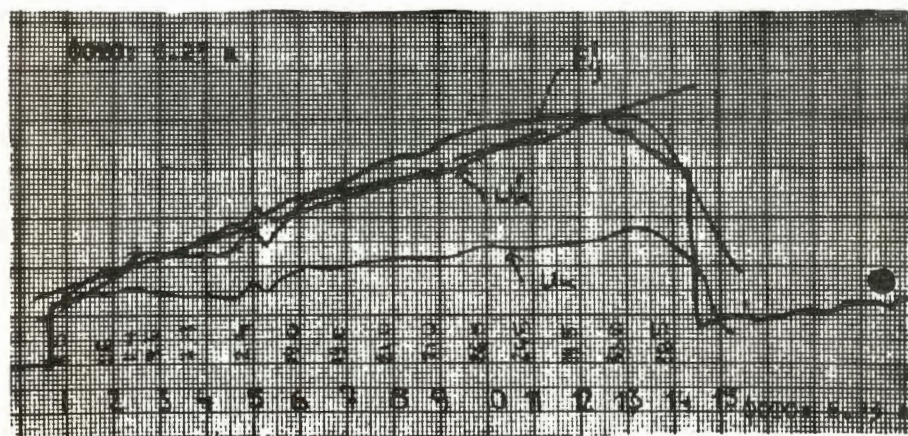
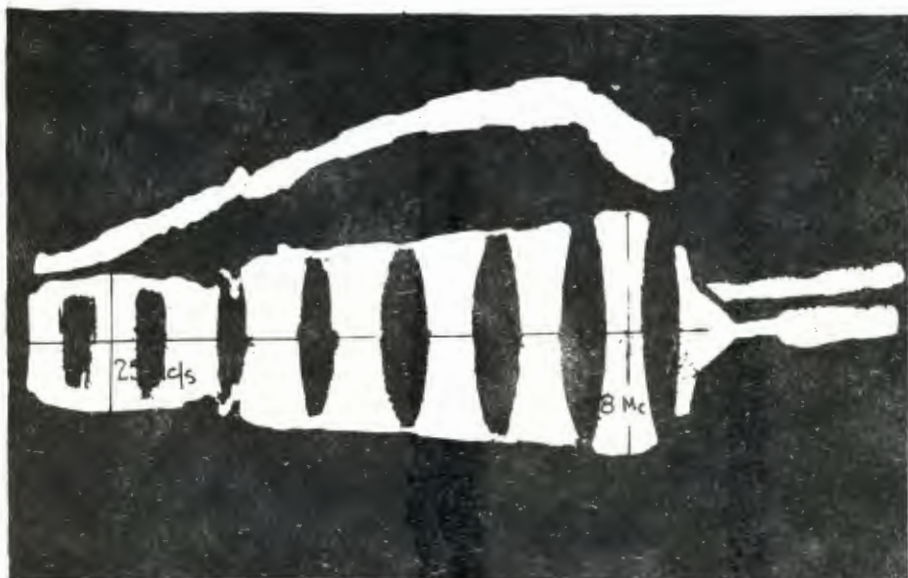
(AM+PM) $f = 10 \text{ Mc/s}$
 $\beta_1 = 0.00, \beta_2 = 0.03$

Рис. 19(a),(б)

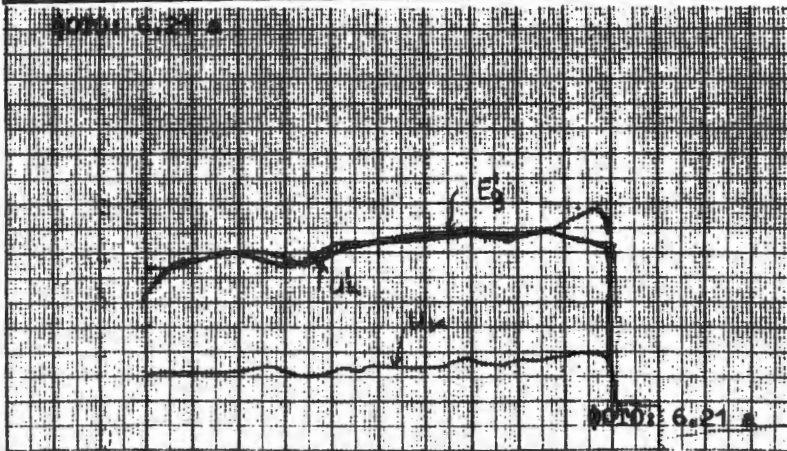
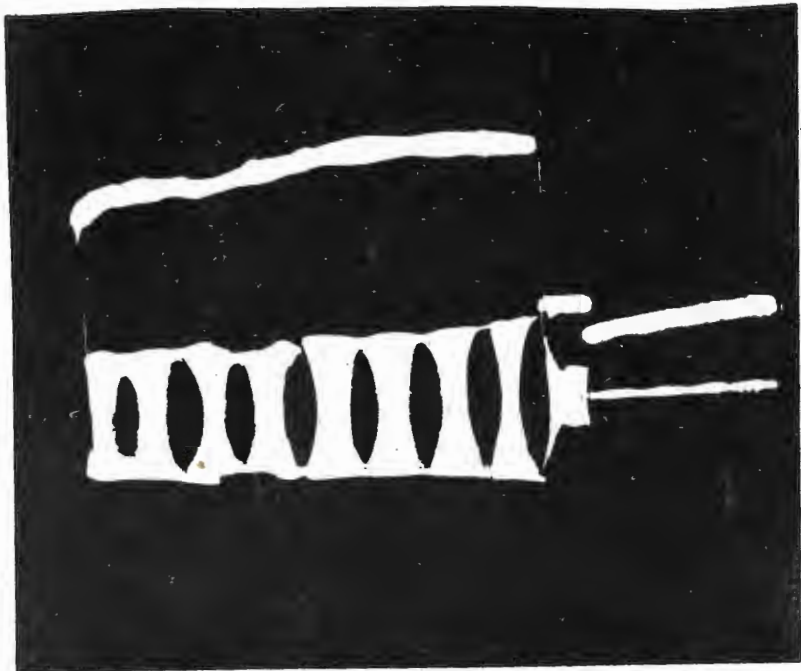


(PM+AM+FM)

$f=8.0-25 \text{ Mc/s}$

1 mil. = 35.2 V, $U_{\text{kM}} 21 \text{ Mc/s} = 314 \text{ V}$, $U_{\text{kM}} 10 \text{ Mc/s} = 655 \text{ V}$, $U_{\text{kN}} 25 \text{ Mc/s} = 250 \text{ V}$,
 $m' \approx 164 \%$, $E'_8 = 100 \text{ V}$, (45+55).

Рис. 20(а)



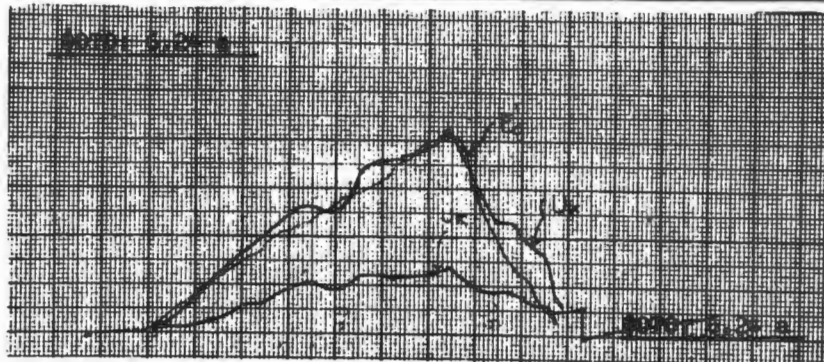
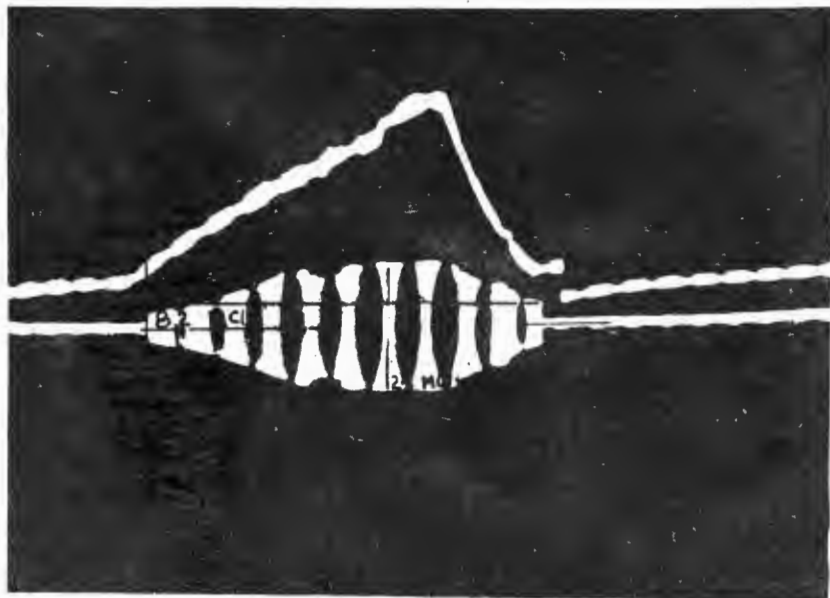
(PM+AM+PM)

$f=8.0-25 \text{ Mc/s}$

1 mil. = 33.2 V, $U_{kM} = 385 \text{ V}$, $U_{kN} = 200 \text{ V}$, $m' = 92$, $\tau = 10 \text{ ms.}$, $F = 50 \text{ C/s}$,

$E'_g = 100 (80+20)$.

Рис. 20(6)



(PM+AM+FM) $f=8.0-25$ Mc/s.

1 mil.=30.2 V, $U_{kM} 25$ Mc/s=350 V, $U_{kN} 8.0$ Mc/s=140 V, $m'=150$,
 $\tau=12$ ms., $F_{imp.}=42$ c/s.

Рис. 20(в)