

A.19

4

**И Н С Т И Т У Т
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН СССР**

препринт 277

Авербух И.И., Авербух С.И., Карлинер М.М.

ГЕНЕРАТОР ПИЛООБРАЗНОГО ТОКА

НОВОСИБИРСК

1969

Авербух И.И., Авербух С.И., Карлинер М.М.

ГЕНЕРАТОР ПИЛООБРАЗНОГО ТОКА

АННОТАЦИЯ

Описаны принципы и некоторые практические схемы формирования пилообразного тока для питания отклоняющей катушки в электронном ускорителе ЭлТ-1,5.

БИБЛИОТЕКА
Института ядерной
физики СО АН СССР
ИНВ. № _____

Для решения ряда задач экспериментальной и прикладной физики необходимы мощные генераторы пилообразного тока. Как правило, такие генераторы работают на нагрузку индуктивного характера, что позволяет использовать эту индуктивность в качестве элемента цепи формирования тока.

Ниже рассмотрены некоторые схемы генераторов пилообразного тока, нашедших применение в промышленных ускорителях электронов типа ЭлТ-1,5 /1/ для развертки электронного пучка.

Принцип формирования пилообразного тока

в индуктивной нагрузке

Работа генератора пилообразного тока иллюстрируется упрощенной схемой рис. 1, где L - индуктивность нагрузки, K_1, K_2, K_3 и K_4 - ключи.

При замыкании ключей K_1 и K_2 ток в индуктивности линейно нарастает. В момент времени t_1 , когда ток достигает величины $I_{\text{макс}}$ (рис.2), ключи K_1 и K_2 размыкаются. Одновременно замыкаются K_3 и K_4 и напряжение на индуктивности меняет знак. Ток, линейно убывая, меняет направление и достигает в момент t_2 величины $-I_{\text{макс}}$. В дальнейшем цикл переключений повторяется.

В разработанных генераторах пилообразного тока в качестве ключей применяются транзисторы типа П210А и КТ-802А. Параллельно каждому транзистору подключается диод, пропускающий ток в обратном направлении (рис. 3).

Схема, изображенная на рис. 3, работает следующим образом. В промежуток времени $0 < t < t_1$ (рис.4в) включены транзисторы T_1 и T_2 и ток в индуктивности нарастает до $I_{\text{макс}}$ (рис. 4а). При $t = t_1$ транзисторы T_1 и T_2 запираются и индуктивность подключается к источнику питания диодами D_3 и D_4 (рис.4г), напряжение на индуктивности меняет знак (рис.4б) и ток, протекая в том же направлении, спадает до нуля к моменту t_2 . При $t = t_2$ или немного раньше включаются транзисторы T_3 и T_4 (рис. 4д) и формируется отрицательная чет

верть волны тока. При $t = t_3$ ток достигает величины $-i_{\text{макс}}$, транзисторы T_3, T_4 запираются и индуктивность подключается к источнику диодами D_1 и D_2 (рис.4е), напряжение на индуктивности меняет знак и ток изменяется от $-i_{\text{макс}}$ до нуля. При $t = t_4$ заканчивается полный цикл формирования пилообразного тока. В дальнейшем цикл повторяется.

На рис.3 нагрузка представлена в виде индуктивности L , активного сопротивления R , а батарея E заменена выпрямителем с фильтром из L_{gp} и C на выходе. Величины R и C при заданной индуктивности нагрузки влияют на линейность пилообразного тока.

Выражение для тока в нагрузке для $0 < t < \frac{T}{4}$ (рис.4а) можно записать как

$$i = \frac{E}{\omega_0 L} e^{-\alpha t} \sin \omega_0 t, \quad (1)$$

где $\alpha = \frac{R}{2L}; \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$.

Коэффициент нелинейности β определяется, как отношение разности скоростей нарастания тока при $t=0$ и $t=\frac{T}{4}$ к их сумме (рис. 4а)

$$\beta = \frac{\left(\frac{\partial i}{\partial t}\right)_{t=0} - \left(\frac{\partial i}{\partial t}\right)_{t=\frac{T}{4}}}{\left(\frac{\partial i}{\partial t}\right)_{t=0} + \left(\frac{\partial i}{\partial t}\right)_{t=\frac{T}{4}}} \quad (2)$$

После подстановки значений $\frac{\partial i}{\partial t}$ и преобразований получаем

$$\beta \approx \frac{1}{64} (\omega_0^2 T^2 + 8\alpha T) \quad (3)$$

В рассмотренной схеме формирование больших амплитуд тока ограничивается мощностью потерь в транзисторе. Мощность потерь складывается из потерь в транзисторе в режиме насыщения и во время коммутации. Для низкочастотных транзисторов типа П210 потери во время коммутации превышают потери режима насыщения. Уменьшение коммутационных потерь связано с уменьшением времени запираания транзисторов. На рис.5 показаны ток через нагрузку i_n , ток транзистора i_T и напряжение U на транзисторе, а также время коммутации: время задержки t_3 , время выхода в режим насыщения t_0 , время рассасывания t_p

и восстановления t_6 . Как следует из рис.5б, в течение времени t_p через транзистор течет полный ток и к нему приложено полное напряжение источника питания (рис.5в). Уменьшить это время можно, подавая в базу транзистора в момент запираания импульс напряжения положительной полярности U_6 , как показано на рис. 5г.

Вопросы применения и расчета транзисторов в ключевых схемах, а также коммутационные процессы подробно рассмотрены в [2, 3, 4].

Схемы генераторов пилообразного тока

Блок-схема генератора пилообразного тока на низкочастотных транзисторах изображена на рис. 6.

Задающий генератор 1 вырабатывает прямоугольное напряжение частотой 2000 гц и скважностью 2. Положительный импульс поступает в схему формирования и усиления управляющих импульсов 1-й группы ключей 2. Отрицательный импульс поступает в схему формирования и усиления управляющих импульсов 2-й группы ключей 3. Ключевая схема 4 формирует в нагрузке 5 пилообразный ток.

Принципиальная схема изображена на рис. 7. Задающий генератор по схеме L -генератора [5] выполнен на транзисторах T_1, T_2 типа П416 и трансформаторе Tr_1 .

Прямоугольное напряжение со вторичной обмотки Tr_1 поступает на цепочки из насыщающихся индуктивностей и туннельных диодов $L_1 - D_1, L_2 - D_2$ для формирования управляющих импульсов первого и второго каналов в соответствии с рис. 4в,д. Длительность формируемых импульсов составляет около четверти периода развертки - 130 - 150 мксек - и точно устанавливается при настройке изменением сопротивлений R_3, R_5 и R_4, R_6 . Напряжение с туннельного диода D_1 поступает на усилители T_3, T_5, T_7 , а с D_2 на T_4, T_6, T_8 .

Выходной каскад каждого усилителя T_7 или T_8 представляет собой ключевую схему с трансформаторным выходом. В момент запираания транзистора на коллекторе создается выброс напряжения, амплитуда которого ограничивается цепочкой D_3, D_4 . Во вторичной обмотке трансформатора этот выброс создает необ-

ходимый положительный импульс для уменьшения времени рассеивания и восстановления транзисторов ключевой схемы.

Питание T_7 и T_8 осуществляется от напряжения питания ключевой схемы. Это необходимо для поддержания постоянного режима насыщения транзисторов ключевой схемы при регулировании амплитуды тока.

Ключевая схема формирования пилообразного тока выполнена на транзисторах Т9-12 типа П210А и диодах $D_7 - 10$ типа Д231А.

Нагрузкой генератора пилообразного тока является отклоняющая катушка электронного ускорителя ЭлТ-1,5. Индуктивность катушки 23 мкГн, активное сопротивление 0,02 ома. Нагрузка подключается через понижающий трансформатор Tr_4 с коэффициентом трансформации 6 : 1.

Регулировка амплитуды пилообразного тока производится изменением напряжения питания Е ключевой схемы. Наибольшая амплитуда тока в нагрузке составляет 30 а. Нелинейность тока порядка 10%. Реактивная мощность в нагрузке 150 ва. Потери в каждом транзисторе около 10 вт.

При необходимости получения больших амплитуд пилообразного тока каждый ключ в схеме рис. 3 может быть составлен из нескольких параллельно включенных транзисторов и диодов. Была разработана схема, в которой каждый ключ состоит из 4-х параллельно включенных транзисторов типа П210А и двух диодов Д231А. Схема обеспечивает в нагрузке с индуктивностью 145 мкГн и активным сопротивлением 0,1 ома амплитуду тока 40а. Частота изменения тока 2000 гц. Реактивная мощность в нагрузке 1800 ва. Нелинейность тока 10%. Потери в одном ключе 50 вт.

Применение высокочастотных транзисторов типа КТ-802А или аналогичных в генераторах пилообразного тока позволяет существенно упростить схему, т.к. отпадает необходимость в дополнительном формировании управляющих импульсов и уменьшить общую потребляемую мощность. Эти упрощения и высокий КПД связаны с малым временем коммутации таких транзисторов. Принципиальная схема генератора пилообразного тока на высокочастотных транзисторах изображена на рис. 8.

Задающий генератор по схеме L-генератора и ключевая схема выполнены на транзисторах T_1, T_2, T_3, T_4 типа КТ-802А.

Роль диодов в ключевой схеме выполняют переходы база-коллектор транзисторов T_3 и T_4 .

Транзисторы T_3 и T_4 поочередно включаются и выключаются импульсами задающего генератора. Нагрузка подключается через выходной трансформатор Tr_2 .

Мощность потерь в одном ключе - 10 вт. Реактивная мощность в нагрузке - 150 ва.

Схема автоматического слежения поля в отклоняющем промежутке за уровнем энергии ускорителя

Как указывалось выше, генераторы пилообразного тока нашли применение для развертки электронного пучка ускорителя ЭлТ-1,5.

Для стабилизации угла отклонения пучка электронов при изменении энергии была разработана система автоматического слежения отклоняющего поля за уровнем энергии. Блок-схема изображена на рис. 9.

При изменении напряжения на ускорительной трубке меняется сигнал с датчика 1 и функционального преобразователя 2. Схема 3 сравнивает напряжение на источнике 4 с напряжением на выходе функционального преобразователя. Сигнал ошибки используется для управления напряжением источника питания. Ключевая схема 5 формирует пилообразный ток, амплитуда которого пропорциональна напряжению источника питания.

Эта схема обеспечила точность стабилизации угла отклонения электронного пучка в диапазоне изменения энергии от 0,3 до 1,5 Мэв не хуже 5%.

Л и т е р а т у р а

1. Е.А.Абрамян и др. "Системы автоматики и управления промышленного ускорителя электронов ЭЛТ-1,5". Труды У1 Международной конференции по электронным ускорителям, (г.Томск, 1966г., стр. 377, изд. "Энергия", 1968г.).
2. Я.Будинский. "Транзисторные переключающие схемы", изд. "Связь", 1965 г.
3. Т.М.Агаханян. "Электронные ключи и нелинейные импульсные усилители", изд. "Советское Радио", 1966 г.
4. Т.А.Глазенко "Импульсные полупроводниковые усилители в электроприводах", изд. "Энергия", 1965 г.
5. В.Т.Фролкин. "Импульсные устройства", изд. "Машиностроение", 1966 г.

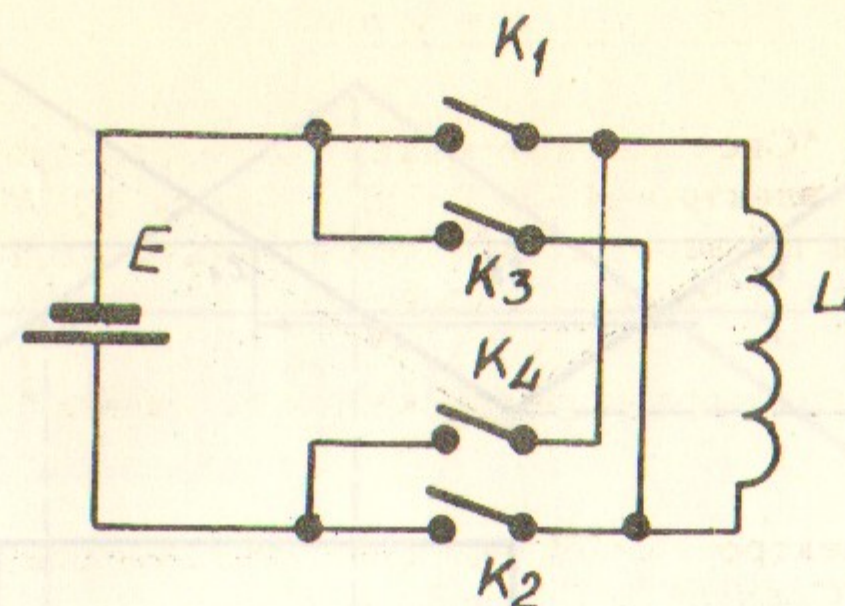


Рис.1. Упрощенная схема генератора пилообразного тока

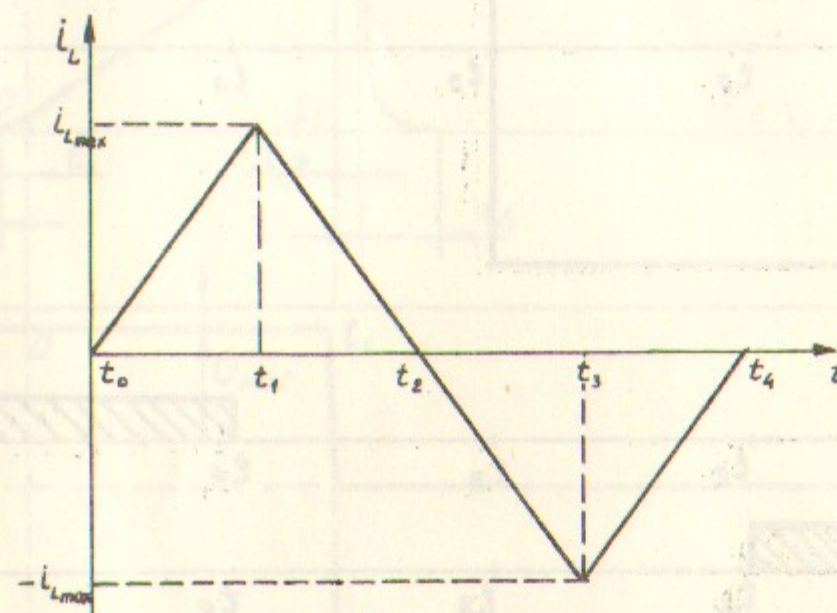


Рис. 2. Осциллограмма тока в индуктивности

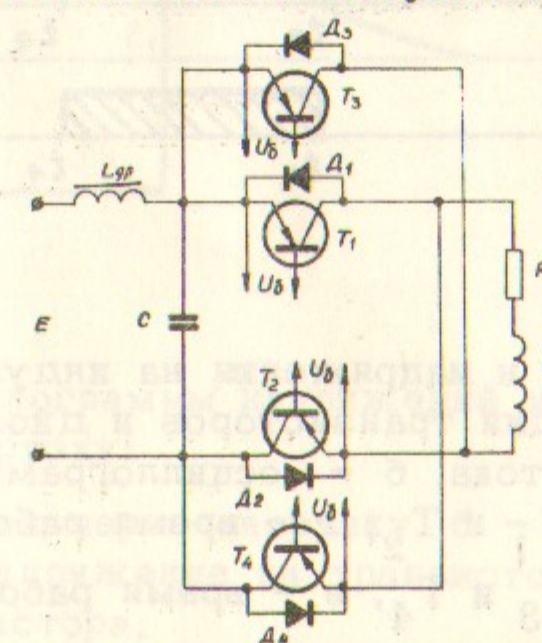


Рис. 3. Схема формирования пилообразного тока

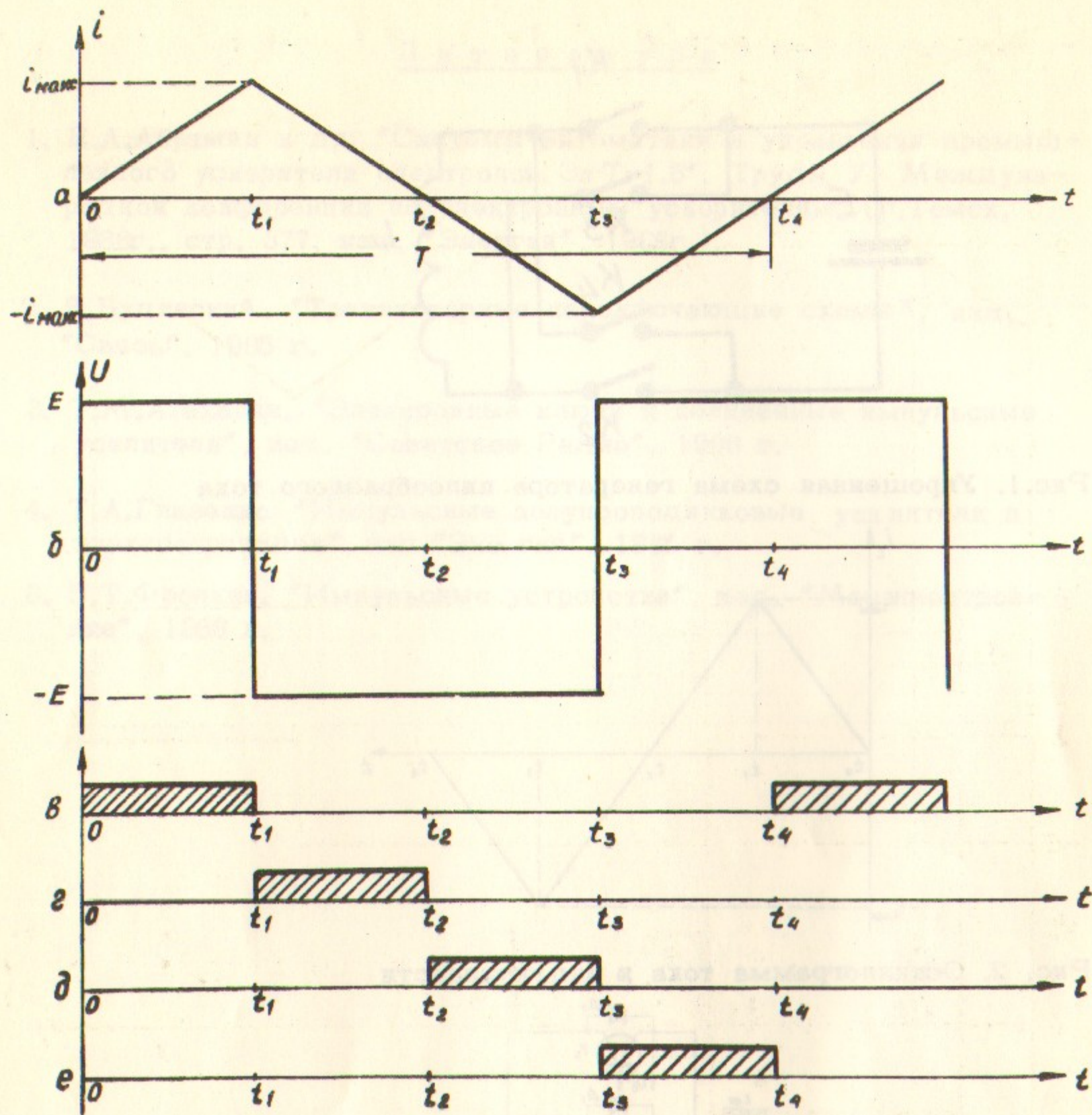


Рис.4. Осциллограммы тока и напряжения на индуктивности и диаграммы коммутации транзисторов и диодов:
 а - осциллограмма тока, б - осциллограмма напряжения,
 в - время работы T_1 и T_2 , г - время работы D_3 и D_4 ,
 д - время работы T_3 и T_4 , е - время работы D_1 и D_2 .

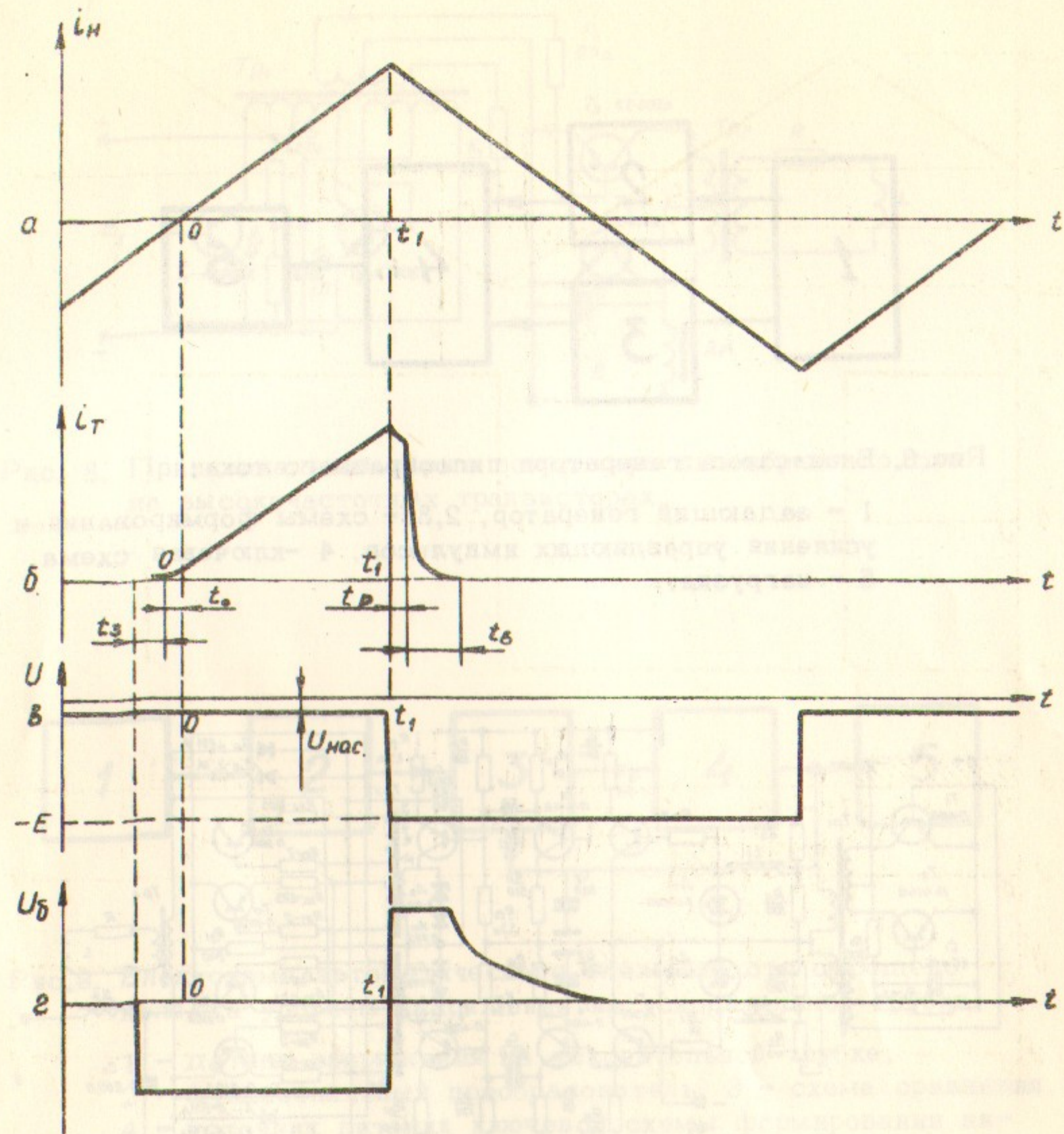


Рис.5. Осциллограммы напряжений и тока через транзистор и нагрузку:
 а - ток через нагрузку, б - ток транзистора,
 в - напряжение на транзисторе, г - напряжение в базе транзистора.

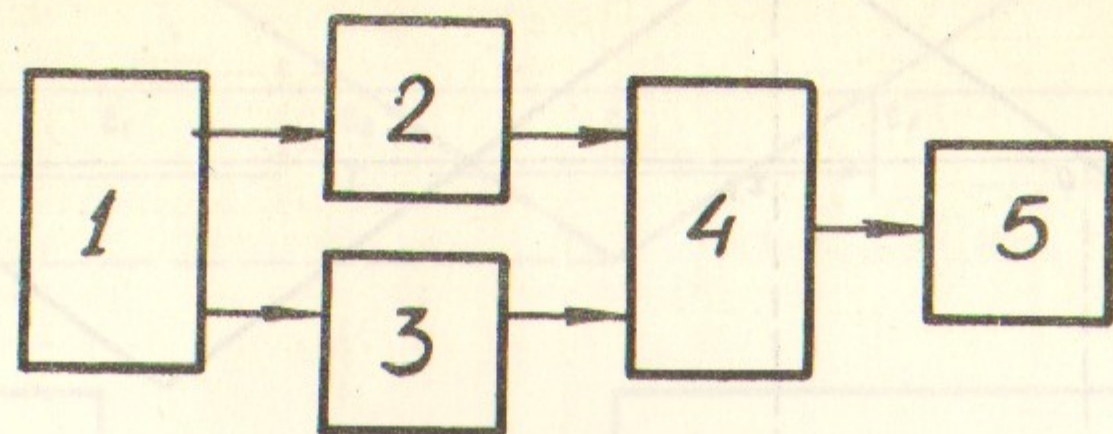


Рис.6. Блок-схема генератора пилообразного тока:

1 - задающий генератор, 2,3 - схемы формирования и усиления управляющих импульсов, 4 - ключевая схема, 5 - нагрузка.

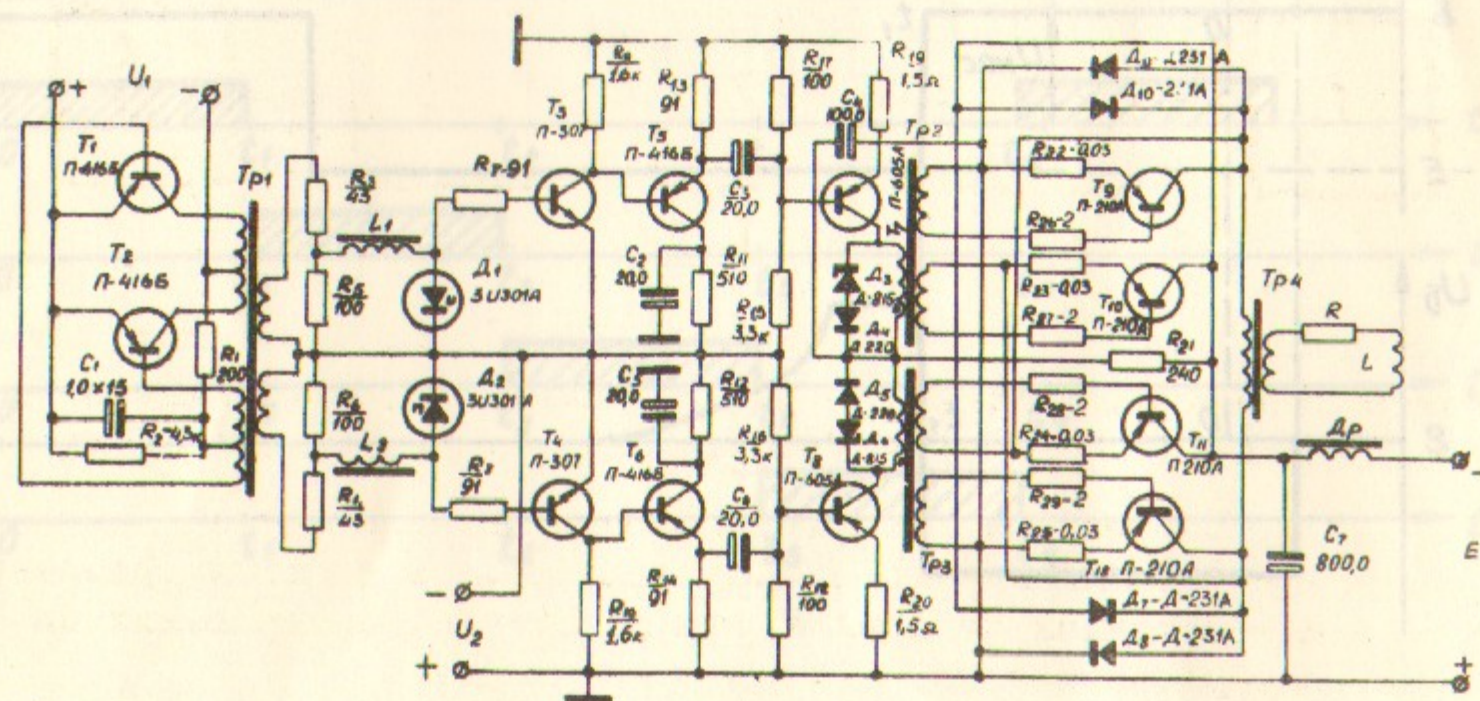


Рис.7 Принципиальная схема генератора пилообразного тока на низкочастотных транзисторах.

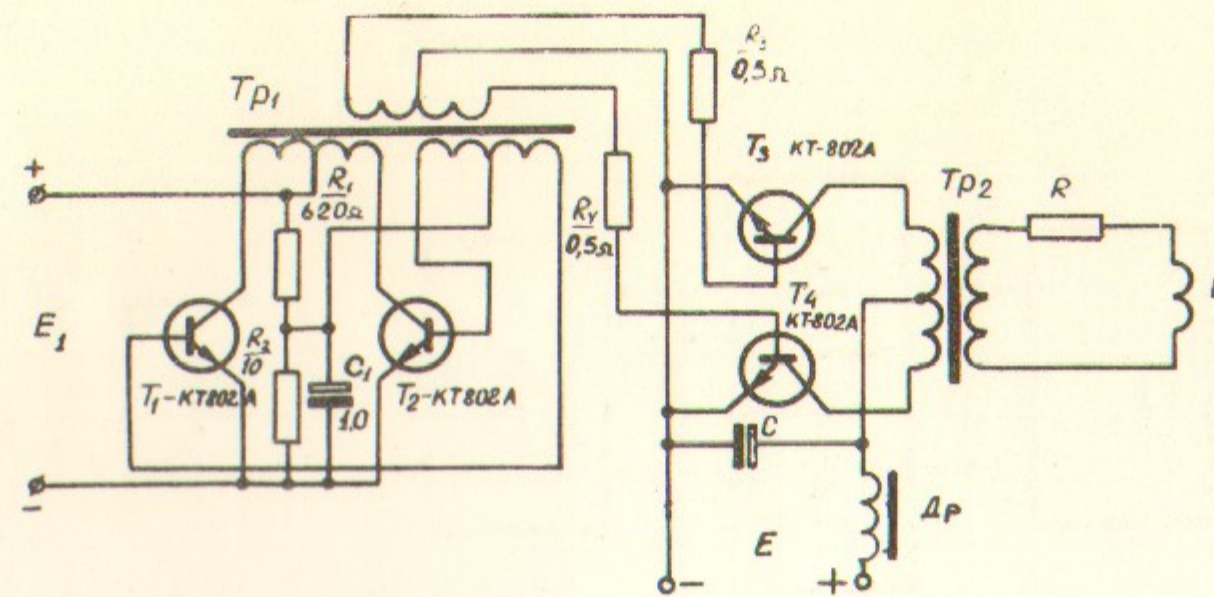


Рис. 8. Принципиальная схема генератора пилообразного тока на высокочастотных транзисторах.

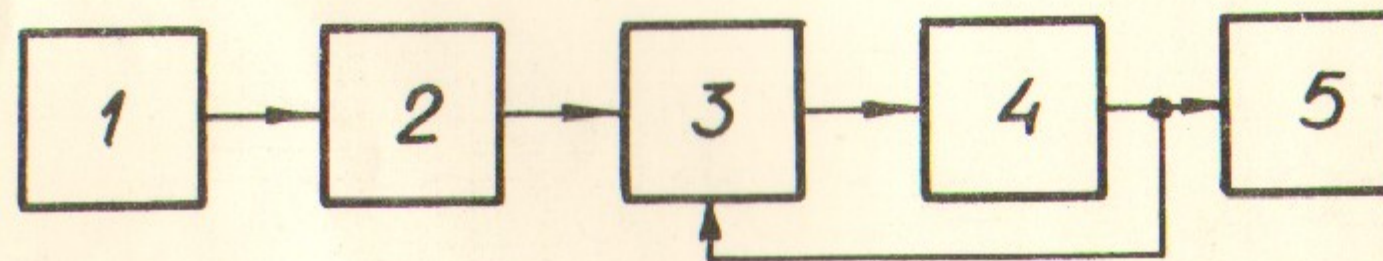


Рис.9. Блок-схема автоматического слежения отклоняющего поля за уровнем напряжения на ускорительной трубке:

1 - датчик напряжения на ускорительной трубке, 2 - функциональный преобразователь, 3 - схема сравнения, 4 - источник питания ключевой схемы формирования пилообразного тока, 5 - ключевая схема.

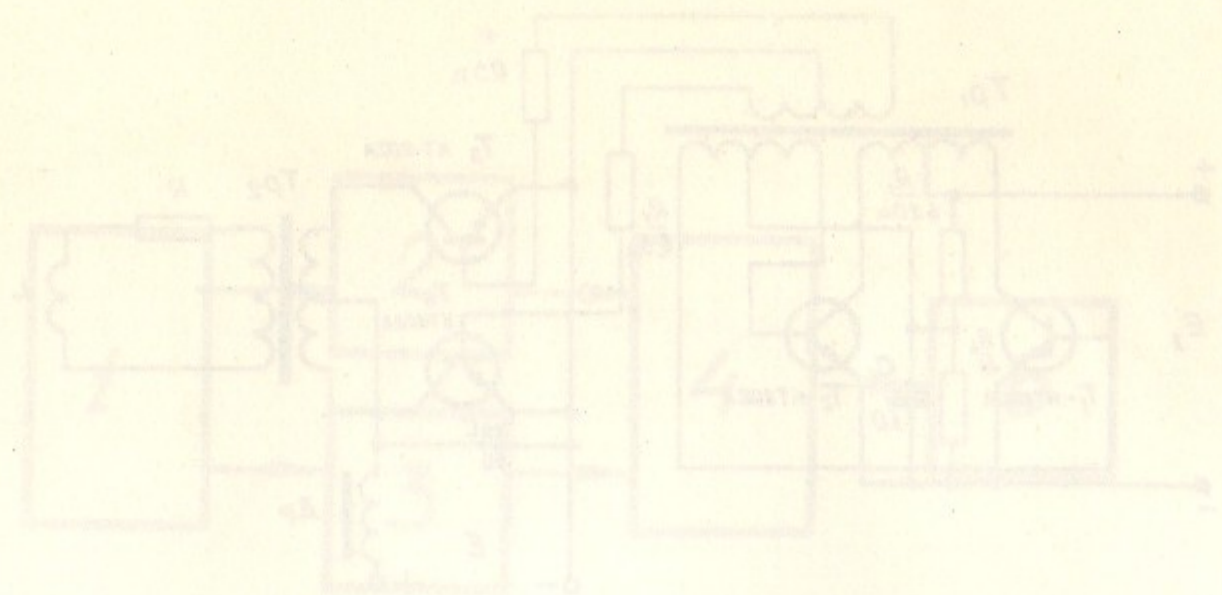


Рис. 8. Принципиальная схема устройства для исследования на высокочастотных резонансах в цепи лампы. 1 - лампа, 2 - конденсатор, 3 - катушка индуктивности, 4 - источник питания, 5 - нагрузка.



Ответственный за выпуск И.И.АВЕРБУХ

Подписано к печати 11.11.1969г., заказ № 277

0,7 печ.л., тираж 150 экз, бесплатно

Отпечатано на ротаприфте в ИЯФ СО АН СССР, вг