

# ГЕНЕРАТОР МОЩНЫХ ИМПУЛЬСОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

А. А. ЕГОРОВ, В. С. ПАНАСЮК, Л. И. ЮДИН, Г. Н. ОСТРЕЙКО

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

(Получено 6 ноября 1965 г.)

Описан многоячейковый тиратронный генератор электрических импульсов сложной формы. Каждый из участков импульса можно автономно регулировать как по форме, так и по амплитуде. Принцип построения генератора обусловлен задачей получения импульсов с амплитудой тока в сотни и тысячи ампер миллисекундной длительности. Наиболее целесообразно применение генератора для создания в различного рода обмотках импульсов тока больших амплитуд заранее заданной формы. В большинстве практических случаев генератор позволяет воспроизводить заданный закон изменения тока.

## 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В ускорительной технике и в сильноточной импульсной технике нередко возникает задача генерирования импульсов тока амплитудой в сотни и тысячи ампер миллисекундной длительности с заранее заданной сложной формой (например, в обмотках электромагнита быстродействующей автоматической системы, в обмотке магнитного вариатора частоты, магнита ускорителя, магнита плазменной ловушки и т. п.).

Эта задача может быть разрешена несколькими путями. Прямой путь — формирование импульса при помощи функционального преобразователя на уровне низкого напряжения с последующим усилением до уровня выходной мощности — при амплитуде тока в сотни и тысячи ампер становится нецелесообразным из-за громоздкости усилителя. Вакуумная лампа, как известно, не приспособлена для коммутации токов таких величин в миллисекундном диапазоне, и поэтому требуется параллельное соединение большого количества ламп.

В литературе описан другой путь решения такой задачи. В [1] предложено устройство, аналогичное функциональному преобразователю, формирующее импульс непосредственно на уровне выходной мощности. Устройство содержит множество обычных искусственных линий, которые заряжаются от своих собственных регулируемых выпрямителей, а затем разряжаются через тиратроны во времени последовательно друг за другом на общую нагрузку. В результате напряжение изменяется мелкими ступеньками, и такой формой аппроксимируется заданный закон изменения сигнала. При соответствующем интегрирующем действии нагрузки (например, индуктивности обмотки) ступеньки сглаживаются, и ток приобретает форму, близкую к заданной. Чем больше точность приближения, тем большее количество искусственных линий должен иметь генератор. В конце концов это может привести к нерациональному возрастанию габаритов установки. Тем не менее, такой генератор может успешно конкурировать с усилителем мощности, так как тиратроны не требуют мощных предварительных каскадов и в принципе коммутируют токи больше, чем вакуумные лампы.

Если импульс сложной формы расчленим на участки, внутри каждого из которых за-

кон изменения сигнала может быть выражен аналитически как сумма конечного числа функций типа синусоид, экспонент, единичных перепадов и т. п., то рационально каждый из этих участков формировать при помощи лишь одной искусственной линии, в разрядную цепь которой включается соответствующим образом подобранный пассивный RLC-двухполюсник, деформирующий прямоугольную волну тока линии так, чтобы приблизить форму импульса к заданной. Если нельзя составить двухполюсник, который деформирует импульс линии точно до заданного закона, форму импульса, даваемую несовершенным двухполюсником, следует считать первым приближением. На тех же участках, где имеется отклонение, следует скорректировать неточный закон активной корректирующей ячейкой (тоже тиратрон с соответствующим накопителем и разрядной цепью), ток которой, складываясь или вычитаясь из основного тока, создает приближение второго порядка. Таким образом, не снижая точность воспроизведения, можно резко сократить число коммутирующих элементов по сравнению с [1], упростить схему и уменьшить габариты. Этот способ использован в данной работе. Поскольку в большинстве практических случаев закон изменения тока возможно выразить аналитически так, как указывалось выше, то рассматриваемая ниже схема может найти широкое применение.

## 2. СХЕМА ГЕНЕРАТОРА

Обобщенная принципиальная схема генератора приведена на рис. 1.

Каждая из ячеек генератора построена на основании схемы, предложенной в [2],

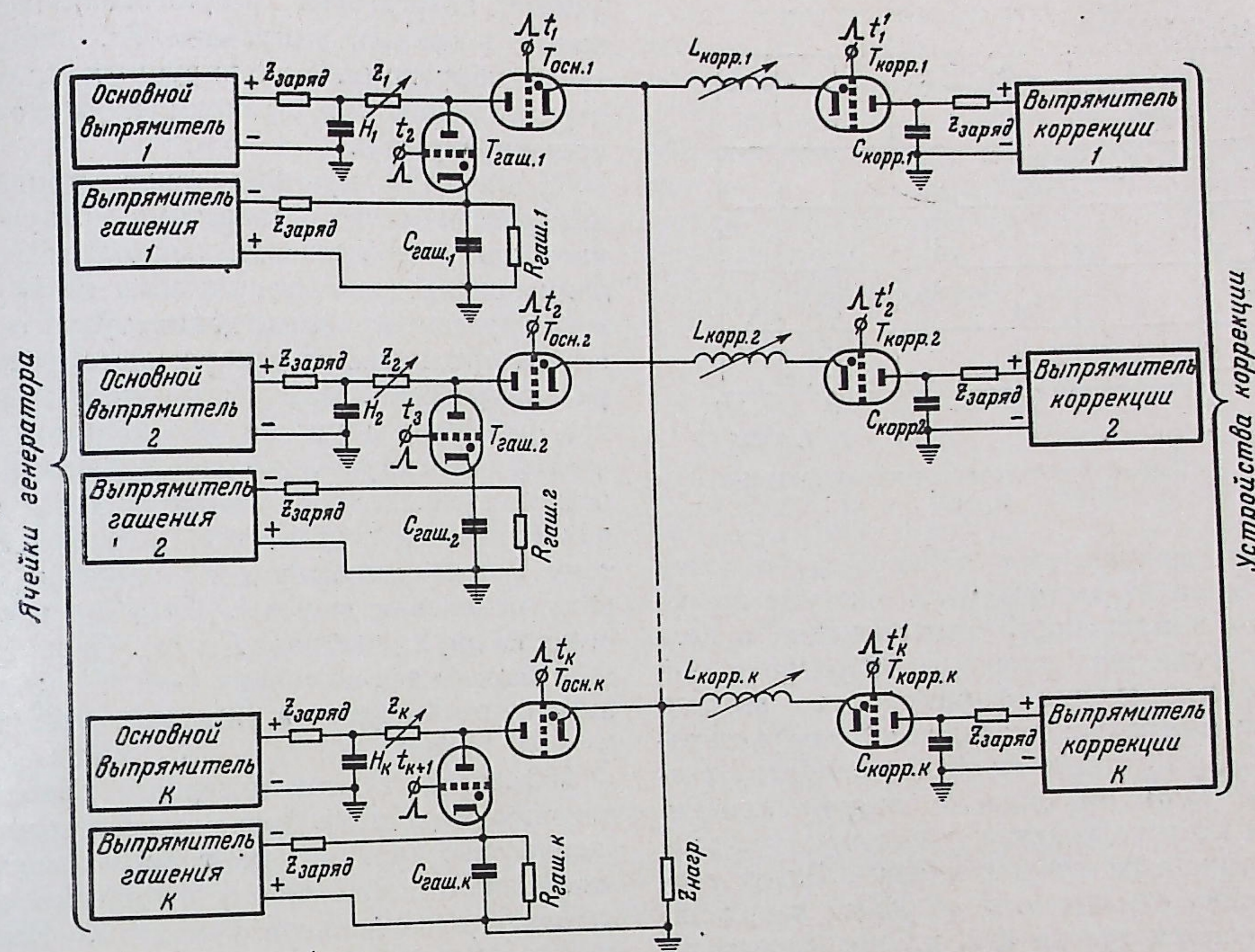


Рис. 1. Обобщенная схема генератора

в которой используется гашение ключевого тиратрона  $T_{осн}$  по аноду посредством подключения к аноду через гасящий тиратрон  $T_{гаш}$  отрицательно заряженной емкости  $C_{гаш}$ . Эта схема может работать как с чисто емкостным накопителем, так и с формирующей линией.

Рассмотрим работу схемы. В начале импульса поджигается тиратрон  $T_{осн1}$ . Предварительно заряженный накопитель  $H_1$  разряжается через двухполюсник  $Z_1$ , тиратрон  $T_{осн1}$  и общую нагрузку  $Z_{нагр}$ . Генерируется первый участок импульса. Двухполюсник  $Z_1$  (и все остальные  $Z_2, \dots, Z_k$ ) имеют регулируемые элементы, что позволяет оперативно управлять формой импульса на данном участке. В соответствующий момент внутри участка запускается тиратрон устройства коррекции первой ячейки. Ток его, протекая через общую нагрузку, корректирует первое приближение до заданного закона. Поскольку корректирующий ток составляет малую долю основного, то процесс коррекции практически не влияет на режим основ-

ной разрядной цепи. Тиратрон цепи коррекции  $T_{корр1}$  поставлен в режим самогашения. Он гасится, когда корректирующий ток через него становится равным нулю, а затем деионизируется. В конце первого участка поджигается тиратрон цепи гашения  $T_{гаш1}$  первой ячейки и одновременно основной тиратрон  $T_{осн2}$  второй ячейки. Проводящий тиратрон  $T_{гаш1}$  подключает к аноду  $T_{осн1}$  отрицательно заряженную емкость  $C_{гаш1}$ . В силу вентильных свойств  $T_{осн1}$  перестает проводить. Накопитель первой ячейки, таким образом, отключается от общей нагрузки. Ток накопителя теперь проходит через  $T_{гаш1}$  и заряжает емкость  $C_{гаш1}$ . Постоянная времени (величина емкости) заряда  $C_{гаш1}$  выбирается такой, чтобы отрицательное напряжение на аноде  $T_{осн1}$  поддерживалось в течение времени, необходимого для деионизации последнего (для водородных тиратронов это время  $\sim 25$  мксек, для ртутных —  $100 \div 200$  мксек). Когда емкость  $C_{гаш1}$  зарядится до потенциала накопителя, ток через  $T_{гаш1}$  прекращается, и он гасится. В пау-

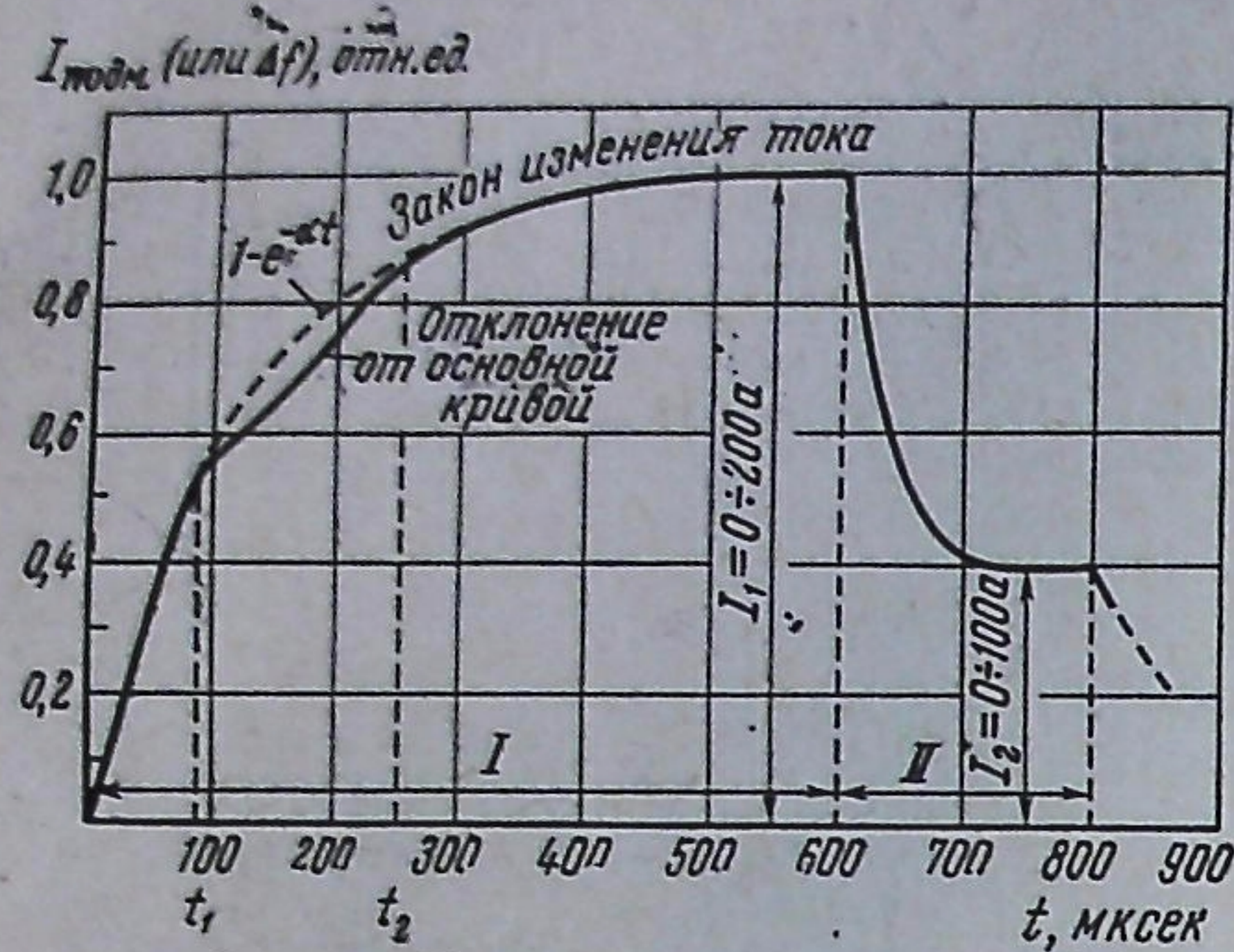


Рис. 2. Закон изменения подмагничивающего тока

зе  $C_{гаш1}$  разряжается через  $R_{гаш1}$  и затем заряжается от выпрямителя гашения до исходного напряжения. Одновременно с процессом гашения основного тиратрона 1-й ячейки происходит формирование второго участка импульса: проводящий теперь тиратрон  $T_{осн2}$  замыкает на общую нагрузку разрядную цепь накопителя второй ячейки. Внутри второго участка срабатывает устройство коррекции второй ячейки. Затем вторая ячейка отключается от общей нагрузки, подключается третья и т. д., последовательно друг за другом. В результате срабатывания всех ячеек и устройств коррекции формируется импульс в целом.

Нетрудно видеть, что схема отличается большой оперативностью в управлении формой, амплитудой и длительностью любого

участка посредством регулирования напряжения основных выпрямителей, выпрямителей коррекции, варьлируемых элементов двухполюсников и времени поджига гасящих тиратронов.

В качестве примера ниже приводится конкретная схема генератора, разработанного для формирования закона изменения подмагничивающего тока в обмотке ферритового вариатора частоты дециметрового ч. м. генератора питания ускоряющего резонатора синхротрона. Для обеспечения нормальной работы ускорителя необходимо, чтобы частота изменялась по закону, изображенному на рис. 2. Приращение частоты в данном случае зависит от тока линейно, и поэтому форма импульса тока аналогична закону изменения частоты. Импульс тока состоит из двух участков (I и II). Первый участок изменяется по закону  $1 - e^{-at}$  с отклонением от этой кривой в интервале времени от  $t_1 = 90$  мксек до  $t_2 = 250$  мксек ( $\Delta t = 160$  мксек). В этом интервале кривая изменения тока идет ниже соответствующей экспоненты, причем, расчет показывает, что отклонение с достаточной точностью выражается синусоидальной функцией. Начальная часть участка II изменяется по экспоненциальному закону. Участок II заканчивается ровной полочкой длительностью  $\sim 100$  мксек.

Схема генератора дана на рис. 3. Накопителями в ячейках служат искусственные линии. Во второй ячейке нет гасящей цепи,

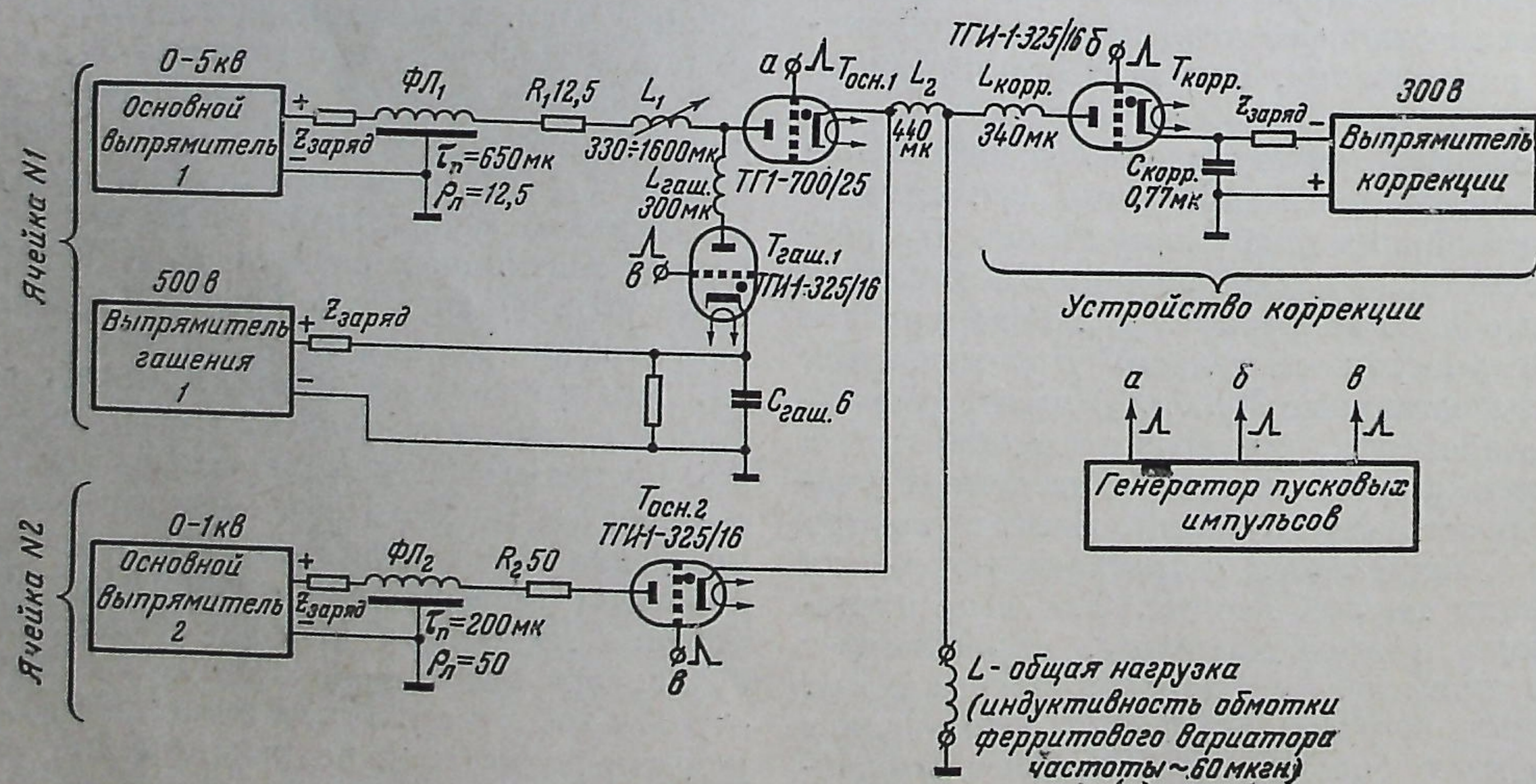


Рис. 3. Принципиальная схема генератора подмагничивающего тока

так как длительность линии этой ячейки используется полностью. В цепи гашения первой ячейки включена индуктивность для затягивания фронта гасящего напряжения, иначе при быстром нарастании обратного напряжения возможен пробой тиратрона  $T_{осн1}$ . При тех параметрах, которые указаны на схеме, амплитуда тока на I участке достигает 200 а, на II — 100 а. Длительность фронта I участка изменяется регулировкой индуктивности  $L_1$ , выполненной в виде вариометра; корректирующее устройство содержит тиратрон  $T_{корр}$ , емкость  $C_{корр} = 0,77$  мкф и индуктивность  $L_{корр} = 3400$  мкгн. Устройство коррекции включается в момент  $t_1 = 90$  мксек. Отрицательная полу-

волна тока длительностью 160 мксек вычитается из основного тока и корректирует сигнал согласно заданному закону.

В заключение отметим, что в случае применения многоячейковой схемы, предложенной в [1], для воспроизведения заданного закона лишь на участке фронта с точностью  $\pm 2\%$  потребовалось бы, по меньшей мере 50 тиратронных ячеек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Herbert S. H a y n e s, Патент США, № 3051/906 по кл. 328—14.
2. В. Н. Р ы б и н, Патент СССР, № 149830 по классу НОЗв 21d<sup>3</sup> 302.

УДК 621.373.53

ГЕНЕРАТОР ПЕРИОДИЧЕСКИХ ГРУПП ИМПУЛЬСОВ НА ТРАНЗИСТОРАХ

А. Д. СЕРОВ

Институт физики высоких энергий ГКАЭ, Серпухов

(Получено 16 ноября 1965 г.)

При испытании различных узлов аппаратуры, использующей элементы дискретной вычислительной техники, и при определении нагрузочных свойств спектрометрических усилителей [1] возникает необходимость в применении генераторов периодических групп импульсов. Предлагаемый для этих целей генератор [2] отличается простотой и надежностью. Новыми техническими решениями в нем являются конструкция импульсного трансформатора и схема формирования

Генератор (рис. 1) состоит из двух транзисторных блокинг-генераторов, имеющих общий импульсный трансформатор (И. Т.). Первый блокинг-генератор  $T_1$  собран по схеме с коллекторно-базовой обратной связью; коллекторная обмотка  $L_1$ , базовая —  $L_3$ . Скорость развития блокинг-процесса определяется времязадающим конденсатором  $C_1$ , включенным в цепь эмиттера  $T_1$ , что повышает температурную стабильность схемы [3]. Зарядный ток конденсатора  $C_1$  регулируется сопротивлением  $R_2$ . Особенность первого блокинг-генератора — наличие транзистора  $T_2$ , связанного с общей цепью обмоткой  $L_2$ . Этот транзистор необходим

для увеличения зарядного тока конденсатора  $C_1$  в момент формирования импульса и позволяет при помощи сопротивления  $R_2$  изменять в широких пределах длительность импульса и период колебаний первого блокинг-генератора.

Второй блокинг-генератор  $T_3$  также имеет коллекторно-базовую положительную обратную связь; коллекторная обмотка  $L_4$ , базовая —  $L_5$ , нагрузочная —  $L_6$ . Времязадающий конденсатор отсутствует; его роль выполняет суммарная емкость перехода  $T_3$  и собственная емкость обмоток ИТ. Сопротивления  $R_1, R_3$  ограничивают максимальные токи транзисторов схемы, а цепочка