

Д-183

Не верно

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2136



ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

В.И.Данилов, И.Б.Енчевич, Е.И.Розанов,
Т.Н.Томилина, А.В.Шестов

УПРАВЛЕНИЕ СИНХРОЦИКЛОТРОНОМ
НА 680 МЭВ И СИНХРОНИЗАЦИЯ С
НИМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК

1965

2136

3273/2 чф

В.И.Данилов, И.Б.Енчевич, Е.И.Розанов,
Т.Н.Томилина, А.В.Шестов

УПРАВЛЕНИЕ СИНХРОЦИКЛОТРОНОМ
НА 680 МЭВ И СИНХРОНИЗАЦИЯ С
НИМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Направлено в ПТЭ

Общественный институт
спецназ Академии
СНХРОТРОНА

В в е д е н и е

Как известно, в синхротронном циклотроне сгустки ускоренных частиц следуют один за другим с частотой модуляции ускоряющего напряжения. Для ускорения используется только та часть периода модуляции, в которой частота ускоряющего напряжения изменяется от высокой к низкой. Поэтому в непрерывном режиме ускорения с целью уменьшения расхода энергии и снижения температуры нагрева отдельных узлов ускорителя используется манипулятор, который запирает высокочастотный генератор на ту часть периода модуляции, где частота изменяется от низкой к высокой.

В синхротронном циклотроне применяется осцилляционный коаксиальный источник открытого типа, плазменный столб которого оказывает существенное влияние как на начальные условия ускорения, так и на весь процесс ускорения при непрерывном действии источника в течение всего цикла модуляции из-за того, что на поддержание разряда затрачивается часть мощности, подводимой к дуэantu. Вследствие этого по истечении времени захвата частиц в ускорение необходимо импульсами гасить разряд в источнике.

Для проведения физических экспериментов с детекторами, обладающими большим мертвым временем (типа камеры Вильсона, пузырьковой камеры и т.п.), а также в некоторых других случаях необходим режим работы ускорителя, при котором ускоритель выдает один или несколько сгустков ускоренных частиц и после этого выключается на более или менее продолжительное время.

Все устройства, используемые при проведении физических экспериментов в этих условиях, должны быть жестко синхронизованы с ускорителем так же, как и аппарата, управляющая его работой (такая, как манипулятор, импульсное питание коаксиального источника, магнитная растяжка пучка и т.п.).

В синхротронном циклотроне ОИЯИ время захвата частиц в цикл ускорения составляет 80-130 мксек, а сгусток частиц на предельном радиусе ускорения по уровню интенсивности 0,5 обычно имеет длительность во времени порядка 800 мксек. Однако при проведении на ускорителе некоторых экспериментов, в частности при работе со схемами

совпадений, желательнее иметь импульсы пучков максимально возможной продолжительности при сохранении неизменным их интегрального потока. Для увеличения длительности импульсов пучков частиц (растяжка пучка) в ОИЯИ предложен метод ^{/11/}, основанный на возбуждении вынужденных радиальных колебаний пучка локальным, переменным во времени возмущением магнитного поля, благодаря которому длительность импульса по уровню интенсивности 0,5 достигает примерно 2500 мксек. Эти параметры ускорителя следует учитывать при выборе способа синхронизации так же, как и необходимой точности синхронизации.

В качестве базы для синхронизации может быть использовано мгновенное значение частоты в.ч. генератора. Этот способ с применением термостатирования электронных схем может дать точность привязки порядка сотых долей микросекунды.

Однако при заданных точностях после отказа от электростатического дефлектора для вывода пучка ускоренных протонов и применения для этой цели системы возбуждителя и регенератора с магнитным каналом стал возможен и более простой способ, в котором в качестве базы для синхронизации принято положение лопаток ротора вариватора, фиксируемое световым лучом, тем более, что и в первой схеме ^{/1,2/} эта же система использовалась для начального включения в.ч. генератора. Точность синхронизации в этом случае определяется механической точностью изготовления лопаток ротора (т.к. электронные схемы могут дать точность более высокого порядка). Для синхротрона ОИЯИ эта величина равна $\pm 0,2$ мм и составляет 0,12% периода модуляции (что для частоты модуляции 100 Гц составляет ≈ 12 мксек).

Исходя из требований, предъявляемых экспериментальными установками и определяемых параметрами ускорителя, было отдано предпочтение второму способу синхронизации, т.к. он позволяет осуществлять необходимую точность привязки при более простой и надежной электронной схеме, что очень важно при круглосуточной работе ускорителя.

Общие принципы построения схемы синхронизации

Управление синхротроном построено таким образом, что любым режимом ускорения можно управлять как при помощи внутренних импульсов, вырабатываемых самой системой, так и при помощи внешних, поступающих с экспериментальной установки. При этом возможно осуществлять следующие режимы работ:

1. Непрерывный, при котором циклы ускорения следуют друг за другом с частотой модуляции. Включение в.ч. генератора происходит в каждом периоде модуляции.

2. Одноразовый, при котором циклы ускорения следуют с частотой запускающих импульсов. Импульс на включение в.ч. генератора формируется из внутреннего или внешнего запускающего импульса, приходящего в "случайный" момент времени и вклю-

чает генератор в первый цикл ускорения, следующий за этим "случайным" моментом. Отключающие импульсы, как и в непрерывном режиме, идут каждый цикл ускорения.

3. Одноразовый с торможением. Такой режим работы оказался необходимым при проведении экспериментов с эмульсионной камерой, помещенной в зазор импульсной катушки. Поле в зазоре катушки при каждом прохождении частиц должно быть определенной величины. Катушка питается током разряда конденсаторной батареи, который течет через игнитроны.

После подготовки всей аппаратуры к работе дается импульс запуска на игнитроны и на ускоритель. Если не загорится хотя бы один игнитрон, поле в зазоре импульсной катушки не сможет достичь требуемой величины, поэтому необходимо прекратить ускорение частиц раньше, чем они попадут в эмульсионную камеру. В этом случае с экспериментальной установки на управляющую систему поступает тормозящий импульс.

При работе в этом режиме включение ускорителя происходит так же, как и в обычном одноразовом режиме. На отключение же с экспериментальной установки подается тормозящий импульс в "случайный" момент времени, который должен отключить в.ч. генератор в тот же цикл ускорения, но в тот момент, когда на выходе ускорителя еще нет частиц.

Нормальный одноразовый цикл ускорения может произойти только в том случае, если в следующем за внешним включающим импульсом периоде модуляции будет пропущен тормозящий импульс. Тогда отключение произойдет, как в обычном одноразовом режиме.

Практически схема выполнена таким образом, что в каждый цикл на схему управления поступают импульсы, имитирующие тормозящие, и только в цикле, следующем после запускающего импульса, подается или не подается (в зависимости от числа загоревшихся игнитронов) настоящий тормозящий импульс. Подача имитирующих импульсов вызвана тем, что таким образом проводимый эксперимент предохраняется от фона частиц в случае ложного срабатывания запуска, т.е. ускорение будет прекращено на промежуточном радиусе.

4. Накопительный режим позволяет осуществлять различные варианты захвата и накопления частиц на промежуточном радиусе с последующим доведением их до предельного радиуса ускорения. Такой режим работы представляет интерес как для изучения работы ускорителя, так и для проведения ряда экспериментов, например, с детекторами, имеющими большое мертвое время, для получения максимального числа частиц в одном сгустке.

Одним из вариантов накопительного режима является периодический накопительный режим, при котором включающие импульсы на манипулятор поступают с частотой моду-

лячки, а отключающие идут с частотой в 2,4 или 8 раз меньше частоты модуляции. При этом частицы доводятся до предельного радиуса соответственно с частотой в 2,4 или 8 раз меньшей, в остальные циклы происходит накопление частиц на промежуточном радиусе.

Другим вариантом может быть одноразовый накопительный режим, при котором происходит многократный захват и ускорение частиц до промежуточного радиуса и только в последнем цикле - доведение их до предельного радиуса ускорения.

5. Режим управления системой растяжки пучка. В этом режиме требуемая локальная неоднородность магнитного поля создается парой токовых катушек, помещенных в ускорительную камеру.

При работе в режиме растяжки в.ч. ускоряющее напряжение выключается, как только пучок достигает радиуса размещения катушек. Дальнейшее радиальное продвижение пучка происходит благодаря раскачке радиальных колебаний вследствие неоднородности магнитного поля.

Катушки питаются током разряда конденсаторной батареи через управляемый вентиль - тиратрон - синхронно с циклом ускорения. Максимальная длительность импульса пучка определяется временем нарастания тока в катушках. Длительность импульса пучка составляет примерно половину периода модуляции для случая синусоидальной зависимости разрядного тока от времени, так как время разряда не должно превышать периода модуляции. Использование шести последовательно включаемых разрядных ячеек (конденсаторов и тиратронов) повышает надежность работы системы, уменьшает пиковые значения зарядного тока и приводит к относительному удлинению времени нарастания зарядного тока.

Поджигающий импульс на тиратрон подается с блока управления (рис. 1, блок 2) с задержкой 0,5 - 1,0 сек от момента начала ускорения.

6. Режим управления импульсным питанием ионного источника. Генератор импульсного питания ионного источника предназначен для обеспечения работы источника в интервале времени захвата, что позволяет снизить расход газа и уменьшить потери частиц на рассеивание.

В ионном источнике синхротрона разряд поддерживается высокочастотным полем дуанта в течение всего цикла ускорения, а при импульсном питании источника - только в течение времени захвата. Вследствие этого, помимо поджигающего импульса, к ионному источнику по окончании времени захвата должен подаваться гасящий импульс.

Блок управления импульсным питанием ионного источника (блок 9) запускается синхронимпульсом с блока 2 (рис. 1).

Блок-схема и принцип работы системы управления

Блок-схема системы управления и синхронизации синхронизатора изображена на рис. 1.

Импульсы фотодатчика (имп.ф.д.), вырабатываемые фотооптической системой (блок 1), используются для синхронизации и имеют П-образную форму, и передний фронт их несколько опережает момент достижения в.ч. генератором верхней частоты (3 - 5% периода модуляции). Эти импульсы подаются на два блока - блок формирования управляющих импульсов для манипулятора (блок 2) и блок синхронимпульсов для физических установок (блок 5).

Блок 5 состоит из четырех катодных повторителей с параллельными входами и четырьмя выходами, что позволяет синхронизовать с ускорителем одновременно четыре экспериментальных физических установки.

Блок 2 (рис. 2) представляет собой устройство, позволяющее осуществлять все режимы работы ускорителя и управляющее манипулятором по различной временной программе для каждого режима.

Например, при работе ускорителя в непрерывном режиме синхронимпульсы, соответствующие переднему фронту имп.ф.д., разводятся на два канала. В одном из них формируются включающие импульсы, которые без временной задержки поступают на выходную лампу ГУ-50 и затем через трансформатор - на манипулятор. В другом канале формируются отключающие импульсы, которые при помощи фантастропа задерживаются примерно на 5 мсек и попадают на вторую выходную лампу ГУ-50, а затем на манипулятор. Во всех режимах ускорения канал формирования отключающих импульсов работает одинаково.

Различие состоит в формировании включающих импульсов, а также тормозящих или накопительных. Так, при работе в однократном режиме синхронимпульс прежде чем попасть в канал формирования включающих импульсов должен пройти через схему совпадений, которая пропустит его только в том случае, если до его прихода на сетку лампы каскада совпадений пришел П-образный положительный импульс, передний фронт которого совпадает с импульсом запуска. Таким образом, достигается жесткая синхронизация запускающего импульса, пришедшего в "случайный" момент с включающим импульсом, следующим в строго определенный момент времени.

Частота следования "случайных" импульсов запуска определяется условиями проведения эксперимента и может лежать в пределах от одного в период модуляции до одного в несколько минут. Если частота следования запускающих импульсов может быть кратной частоте модуляции, то специальных запускающих импульсов для осуществления

такого режима не требуется. Для этого импульсы синхронизации с блока 2 (рис. 2) проходят через пересеченную схему и с выхода пересчетной схемы используются в качестве запускающих. Таким способом может быть в некоторых случаях понижена интенсивность.

Аналогичная схема используется и для формирования тормозящего импульса (рис. 3 и 4) при работе в одноразовом режиме с торможением, в этом случае синхронимпульс, прежде чем поступить на схему совпадений на лампе 6Ж9П (L_{10}), задерживается при помощи фантастронной схемы (L_1, L_2) на 3-4 мсек. Схема совпадений работает, как и в предыдущем случае, и пропускает задержанный синхронимпульс в канал формирования ($1/2 L_3, L_{11}$) только после прихода на сетку 6Ж9П П-образного импульса положительной полярности, передний фронт которого совпадает с тормозящим импульсом. Этот задержанный синхронимпульс, прошедший схему совпадений, далее поступает на выходную лампу ГУ-50 канала формирования отключающих импульсов и запирает генератор в.ч. несколько ранее обычного отключающего импульса. При работе в накопительном режиме формирование накопительного импульса ничем не отличается от формирования тормозящего импульса. Особенность заключается в том, что для осуществления накопления необходимо несколько (например, n) следующих друг за другом включающих импульсов (n не один, как в одноразовом режиме) и $(n-1)$ накопительных импульсов. Поэтому для создания периодического накопительного режима используется пересчетная схема и схема антисовпадений для получения накопительных импульсов на один меньше, чем включающих. А в одноразовом накопительном режиме используется еще и схема совпадений, причем в отличие от обычного одноразового режима, где задний фронт положительного П-образного импульса схемы совпадений определяется первым прошедшим через схему синхронимпульсом, здесь задний фронт определяется импульсом с выхода пересчетной схемы, так что через схему совпадений может пройти не один, а 2,4 или 8 синхронимпульсов. что соответствует 2,4 или 8 включающим импульсам и 1,3 или 7 накопительным. Доведение частиц до предельного радиуса ускорения будет происходить во втором, четвертом или в восьмом циклах ускорения.

Для синхронизации устройства магнитной растяжки сгустка ускоренных частиц была создана схема управления (блок 9), которая запускается запирающими импульсами с блока управления. Эти импульсы задерживаются фантастронным каскадом, за которым следует каскад формирования - усиления. Сформированные импульсы подаются на вход двух последовательно связанных триггеров Тр1 и Тр2 (рис. 5). Благодаря введению обратной связи между триггерами, входные импульсы пересчитываются на три и подаются на вход трех триггеров Тр3, Тр4, Тр5, осуществляющих пересчет на два со сдвигом на три периода модуляции на каждом выходе.

Такая схема содержит на один триггер меньше по сравнению с кольцевой схемой

с шестью выходами. Выходные каскады собраны на лампах ГУ-50, с них поджигающие импульсы подаются на сеточные трансформаторы разрядных тиратронов.

Для осуществления импульсного питания конного источника была разработана специальная аппаратура, блок-схема и диаграмма импульсов которой представлены на рис. 6 и 7. В схеме имеются устройство регулируемой временной задержки импульсов и два генератора поджигающих и гасящих импульсов.

Импульсы синхронизации с блока 2 (рис. 1) поступают на вход схемы управления источником ионов (рис. 8).

Плавная задержка во времени, регулируемая в пределах 2 мсек, осуществляется при помощи фантастроны.

Задержанный импульс запускает генератор поджигающих импульсов, который выдает на нагрузку импульсы отрицательной полярности с регулировкой длительности от 50 до 600 мсек и регулировкой амплитуды до 600 в.

Импульс запуска генератора гасящего напряжения формируется из заднего фронта поджигающего импульса. Генератор позволяет регулировать длительность гасящего импульса в пределах от 200 до 500 мсек и амплитуду - до 3 кв. Полярность гасящего импульса - положительная.

З а к л ю ч е н и е

Работающая система управления и синхронизации обеспечивает синхронизацию с работой ускорителя различных камер (Вильсона, пузырьковых и т.п.), позволяет создавать различные режимы работы ускорителя (однократный, непрерывный и т.п.), управляет специальными устройствами (системой растяжки пучка, импульсным питанием источника ионов и т.п.), дает возможность включать и отключать ускоритель импульсами от экспериментальных установок. Она включает в себя два взаимозаменяемых комплекта аппаратуры, что обеспечивает бесперебойную работу ускорителя в любом режиме в течение 150 часов в неделю. Благодаря 100%-ному резервированию, простои ускорителя из-за неполадок системы управления составляют незначительный процент рабочего времени (не больше 0,1%).

В заключении авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность В.И.Иванову, Ю.В.Максимову и Н.П.Сеченову за участие в изготовлении и настройке всей аппаратуры.

Л и т е р а т у р а

1. Д.В.Ефремов, М.Г.Мещеряков, А.Л.Мяц и др. Шестиметровый синхротрон института ядерных проблем АН СССР. Атомная энергия, №4, стр. 5-12, 1958.

2. А.Л.Минц, И.Х.Невяжский, Б.И.Поляков. Некоторые особенности и основные данные высокочастотной системы шестиметрового синхротрона. Радиотехника и электроника . №7, стр. 3-12, 1956.
3. Т.Н.Томилина, М.Ф.Шульга. Новый режим работы синхротрона. Приборы и техника эксперимента. №3, стр. 16-17, 1956.
4. CERN Symposium, V.1, p.148-152, 1956.
5. Я.С.Ишхоки. Импульсные устройства. Советское радио, М., 1959.
6. M.M.C.Bergamaschi, J.C.Brun. Le Synchro-cyclotron de 157 MeV. Le Journal de Physique et le Radium, 21, 5, 1960.
7. Д.Райдер. Техническая электроника. Судпромгиз, Л., 1961.
8. Т.Н.Томилина. Реконструкция системы управления синхротроном. ОИЯИ, Б1-1986, Дубна, 1958.
9. Т.Н.Томилина, А.В.Шестов. Система управления синхротроном и синхронизация экспериментальных установок с его работой. Препринт ОИЯИ, 1837, Дубна, 1984.
10. Е.И.Розанов, В.Г.Тестов. Генератор импульсного питания конного источника. Препринт ОИЯИ, 1710, Дубна, 1984.
11. В.И.Данялов, И.Б.Енчевич, Б.И.Замолотчиков, Э.А.Полферов, Е.И.Розанов, В.И.Смирнов, В.Г.Тестов. Увеличение длительности импульсов пучков частиц синхротрона ОИЯИ на 880 Мэв. Препринт ОИЯИ, Р-1985, Дубна, 1985.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 апреля 1985 г.

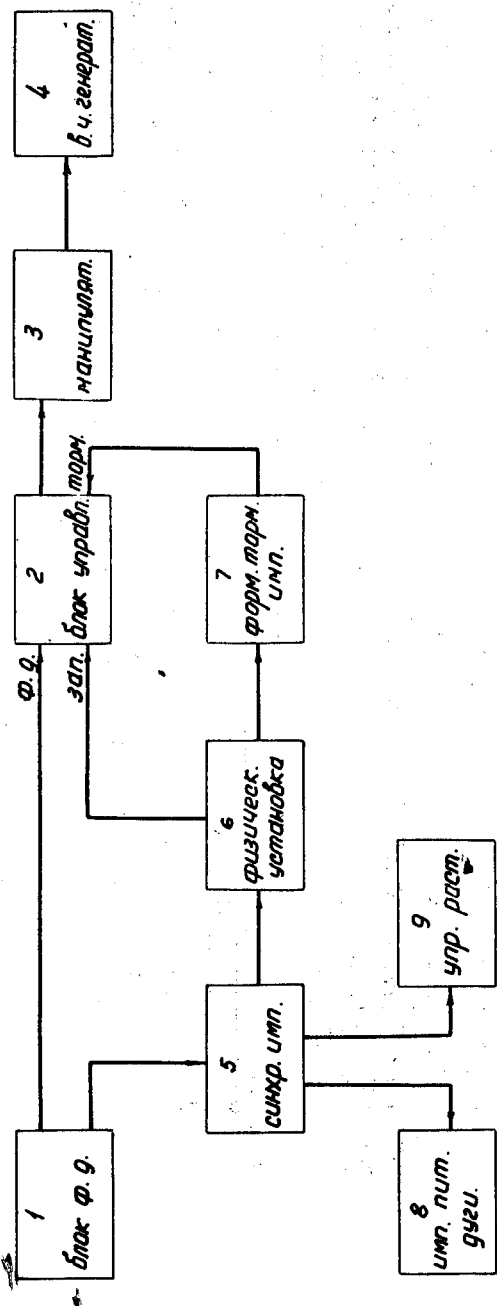


Рис. 1. Блок-схема синхронизирующего устройства с различными устройствами.

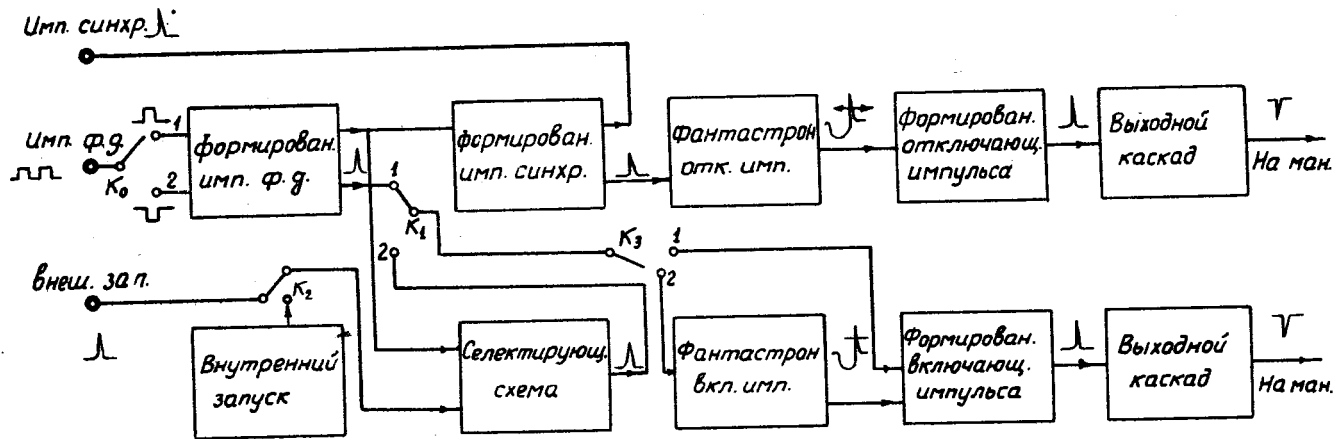


Рис. 2. Схема блока формирования управляющих импульсов.

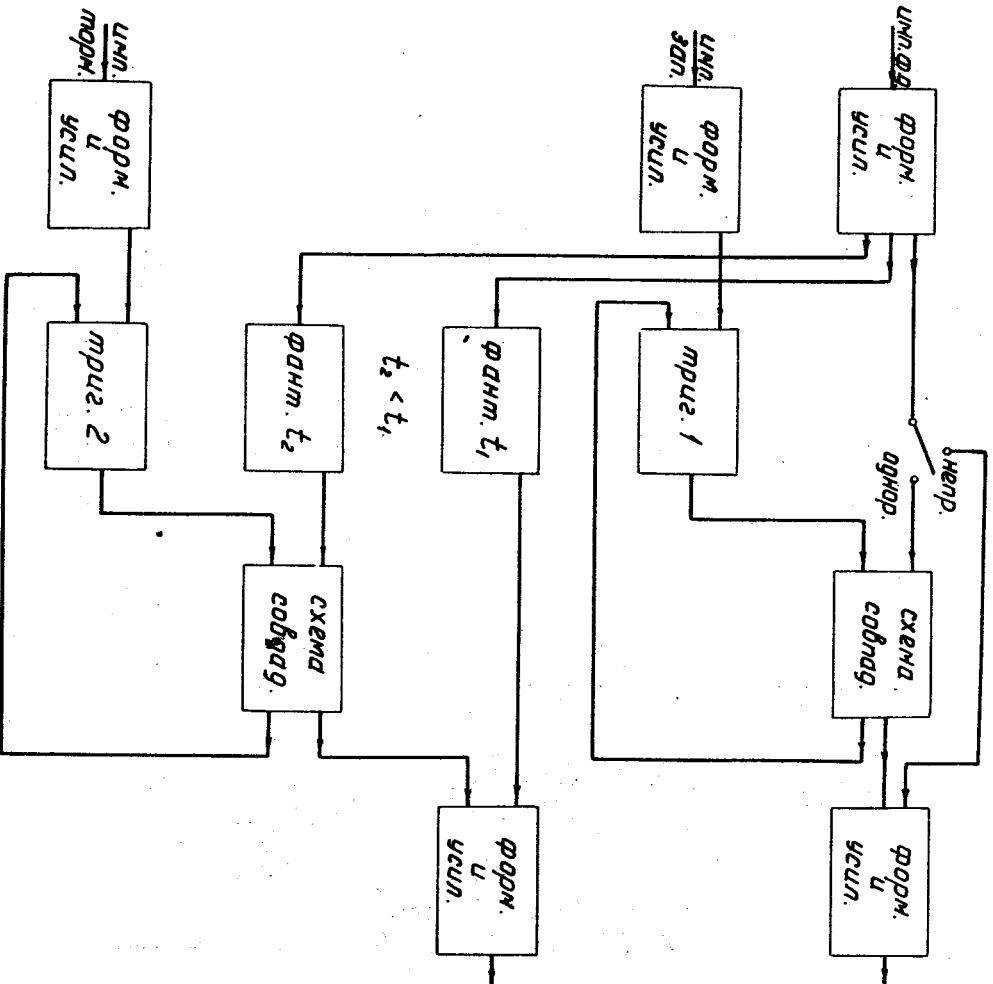


Рис. 3

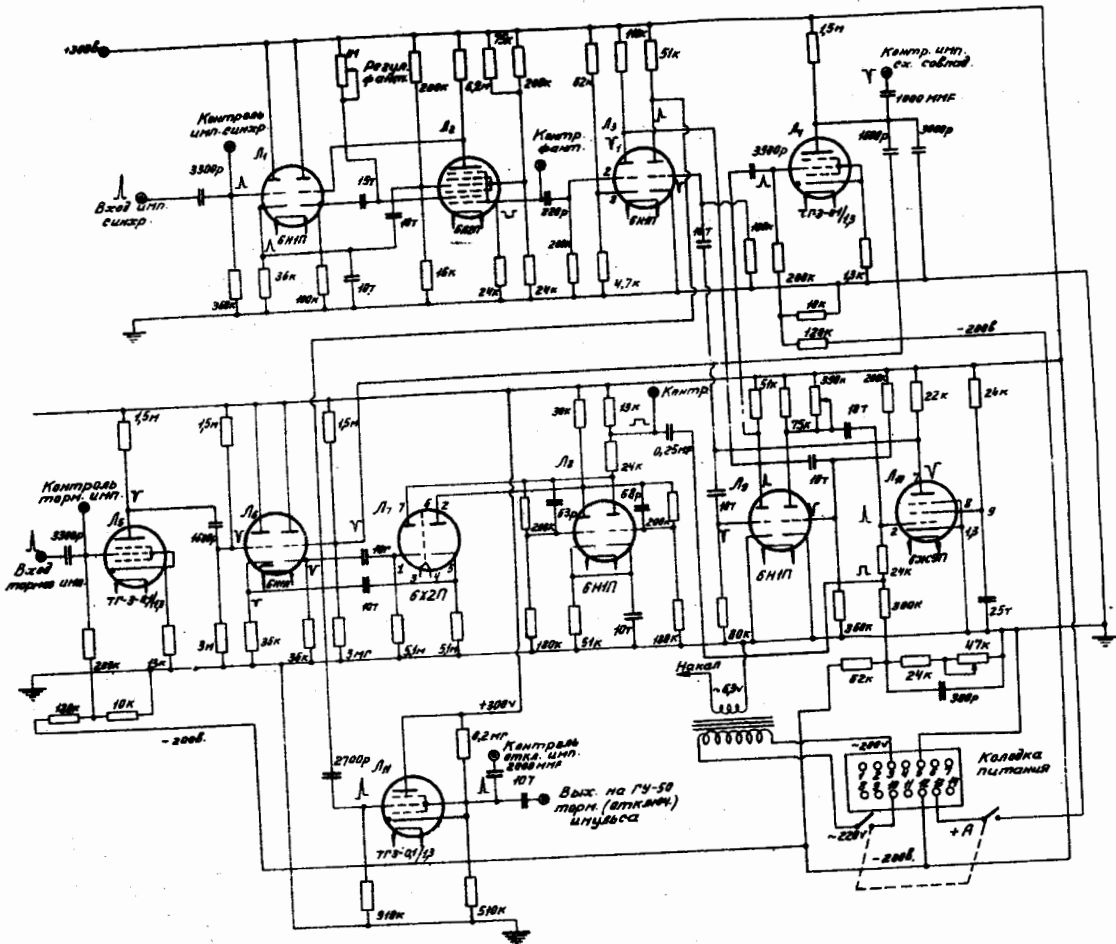


Рис. 4

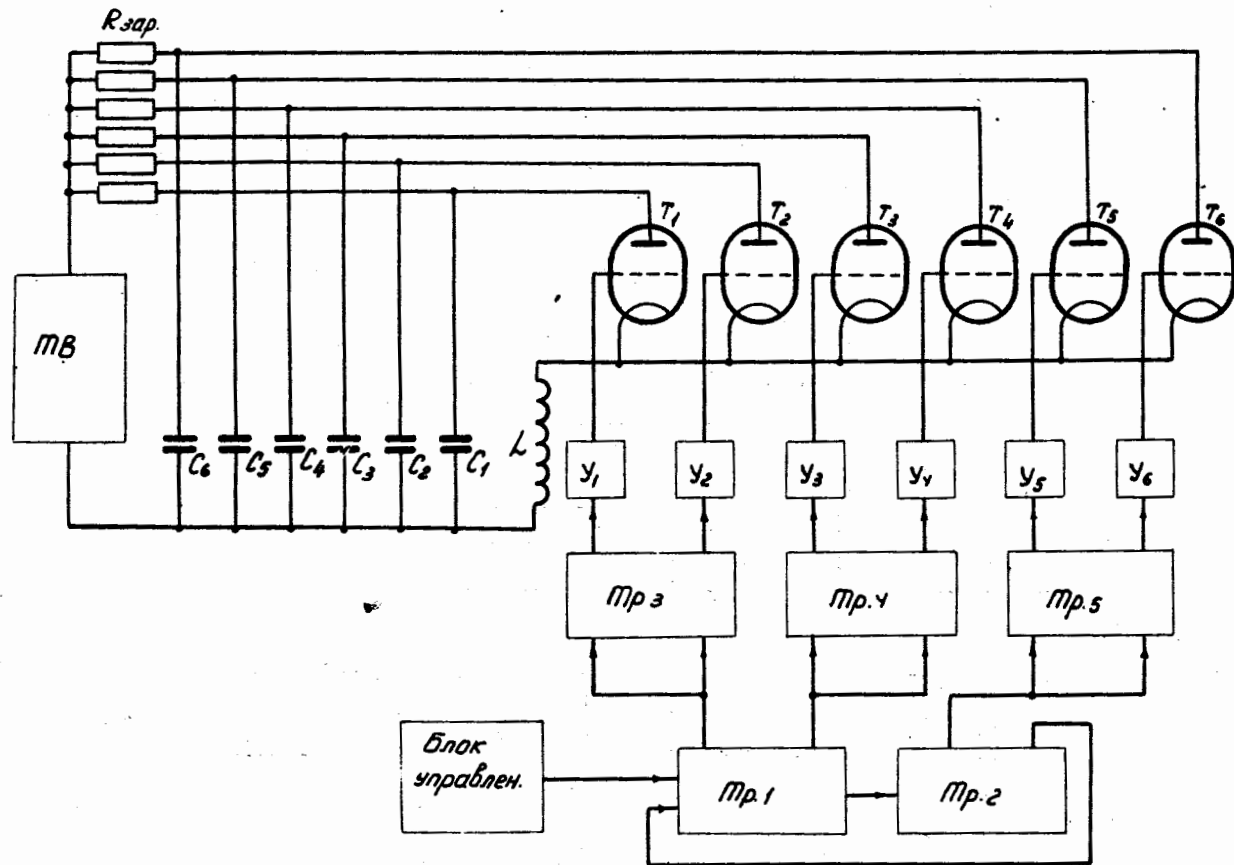


Рис. 5

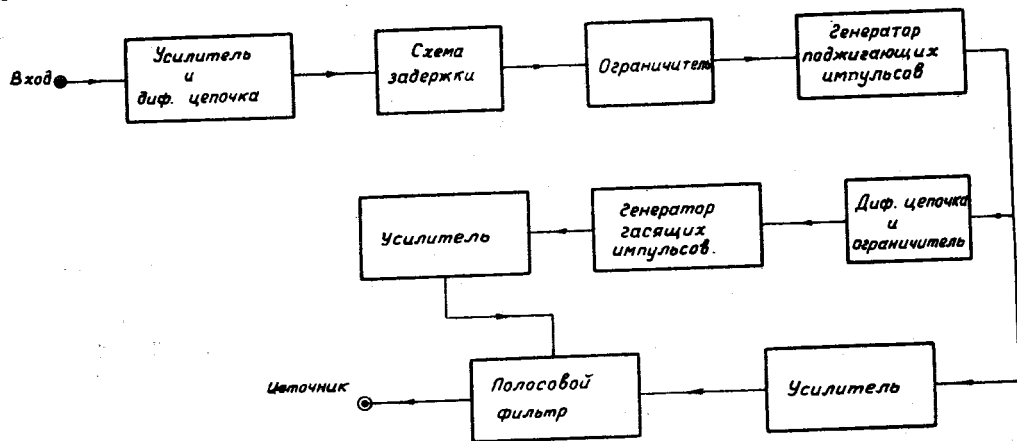


Рис. 6. Блок-схема генератора импульсного питания источника конов.