

С 345.2

F-564

18/1-64.



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

Т.Н. Томлина, А.В. Шестов

1637

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СИНХРОЦИКЛОТРОНОМ
И СИНХРОНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК
С ЕГО РАБОТОЙ**

Дубна 1984

Т.Н. Томиллина, А.В. Шестов

1837

С 345

T-564

2443 / 1 мр.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СИНХРОЦИКЛОТРОНОМ
И СИНХРОНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК
С ЕГО РАБОТОЙ

ОБЪЕКТОВЫЙ КНИЖЕЧЕК
МАШИНОК ВЕСАГОС-1000
ВНЕШНЕГО

Дубна 1984

В в е д е н и е

Как известно, в синхротронном сгустке 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.

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 работой ускорителя так же, как и аппаратура, управляющая работой ускорителя (такая, как манипулятор, импульсное питание дуги, магнитная растяжка пучка и т.п.).

В синхротронном ОИЯИ время захвата частиц в цикл ускорения составляет 80 - 130 мксек, а сгусток частиц на предельном радиусе ускорения по уровню 0,5 имеет длительность во времени порядка 600 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 возможен и более простой способ, в котором в качестве базы для синхронизации принято положение лопаток ротора вариатора, фиксируемое световым лучом. 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 осуществить необходимую точность привязки при более простой и надежной электронной схеме, что очень важно при круглосуточной работе ускорителя.

Общие принципы построения схемы синхронизации

Система управления и синхронизации построена таким образом, что имеется возможность управлять любым режимом ускорения - как внутренними импульсами, вырабатываемыми самой системой управления, так и внешними, поступающими от экспериментальных установок. Она позволяет осуществлять следующие режимы работ:

1. Непрерывный, при котором циклы ускорения следуют друг за другом с частотой модуляции. Включение и отключение 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 включает 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 необходим 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 установки 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. Этот импульс должен отключить в.ч. генератор в том же цикле ускорения и 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 не будет подан тормозящий импульс. Тогда отключение произойдет, как в обычном однократном режиме.

Практически схема выполнена таким образом, что каждый цикл на схему управления поступает импульс, имитирующий тормозящий, и только в цикле, следующем после запускающего импульса, подается или не подается /в зависимости от числа загоревшихся инертронов/ настоящий тормозящий импульс. Имитирующие импульсы подаются для того, чтобы предохранить проводимый эксперимент от фона частиц в случае ложного включения ускорителя, т.к., благодаря подаче этих импульсов, ускорение прекратится 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 модуляции, а отключающие идут с частотой в 2,4 или 8 раз меньше. При этом частицы доводятся до предельного радиуса соответственно с частотой в 2,4 или 8 раз меньшей частоты модуляции, в остальные циклы происходит накопление частиц на промежуточном радиусе.

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

Блок-схема и принцип работы системы управления

Блок-схема системы управления и синхронизации синхроциклотрона изображена на рис. 1, временная диаграмма импульсов различных блоков - на рис. 2.

Импульсы синхронизации /имп. ф.д./, вырабатываемые фотооптической системой /блок 1/, 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 синхроимпульсов для физических установок /блок 5/.

Блок 5 /принципиальная схема - на рис. 5/ состоит из четырех катодных пов-
торителей с параллельными входами и четырьмя выходами, что позволяет синхронизировать с ускорителем одновременно четыре экспериментальных физических установки.

Блок 2 /принципиальная схема - на рис. 3/ 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 синхроимпульсы, 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 /Л₂₄/ и затем через трансформатор - на манипулятор. В другом канале формируются отключающие импульсы, которые при помощи фантастрона /Л₂₅, Л₂₆/ задерживаются примерно на 5 мсек и попадают на вторую выходную лампу ГУ-50 /Л₃₀/, 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 одноразовом режиме синхроимпульс прежде чем попасть в канал формирования включающих импульсов должен пройти через схему совпадений на лампе 6Ж7/Л₁₄/, которая пропустит его только в том случае, если до его прихода на сетку лампы 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.

Аналогичная схема используется и для формирования тормозящего импульса /рис. 4 и рис. 6/ при работе в одноразовом режиме с торможением, только в этом случае синхроимпульс прежде чем поступить на схему совпадений на лампе 6Ж8П /Л₁₀/ задерживается при помощи фантастронной схемы /Л₁, Л₂/ на 3 - 4 мсек. Схема совпадений работает, как и в предыдущем случае, и пропускает задержанный синхроимпульс в канал формирования /1/2 Л₃, Л₁₁/ только после прихода на сетку 6Ж8П П-образного импульса положительной полярности, передний фронт которого совпадает с тормозящим импульсом. Этот задержанный синхроимпульс, прошедший схему совпадений, далее поступает на выходную лампу ГУ-50 /Л₃₀/ канала формирования отключающих импульсов /рис. 3/ 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 /а не один, как в одноразовом режиме/ и $n-1$ / накопительных импульсов. Поэтому для создания периодического накопительного режима используются пересчетная

схема и схема антисовпадений для получения накопительных импульсов на один меньше, чем включающих. А в одиоразовом накопительном режиме используется еще и схема совпадений, причем в отличие от одиоразового режима, где задний фронт положительного П-образного импульса схемы совпадений определяется первым, прошедшим через схему синхримпульсом, здесь задний фронт определяется импульсом с выхода пересчетной схемы, так что через схему совпадений может пройти не один, а 2,4 или 8 синхримпульсов, 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.

Как правило, проведение эксперимента в одиоразовом режиме требует защиты его от случайных переходов ускорителя в непрерывный режим. Такая защита может быть осуществлена различными способами. На синхроциклотроне ОИЯИ используются два из них:

1. Электромеханический, при котором снятие ускоряющего напряжения допускается через десятки миллисекунд. В этом случае при переходе в непрерывный режим промежуточное реле срабатывает от возросшего среднего значения катодного тока в.ч. генератора и, в свою очередь, воздействует на коммутационную аппаратуру, отключающую анодное напряжение в.ч. генератора.

2. Электронный, при котором ускоряющее напряжение должно быть снято после первого включения. Необходимость одиоразового включения обусловлена малым сечением исследуемых процессов и недопустимой погрешностью, вносимой фоном при ложном включении ускорителя в экспериментах с фотоэмульсиями. Блок-схема электронной защиты изображена на рис. 7, временная диаграмма - на рис. 8.

При работе в одиоразовом режиме с включенной схемой защиты синхримпульсы прежде чем попасть на схему совпадений должны пройти через каскад антисовпадений. Этот каскад не пропускает те синхримпульсы, которые придут на его сетку после окончания первого цикла ускорения и до прихода следующего импульса запуска.

Такая последовательная работа каскада антисовпадений и совпадений должна предохранить манипулятор от возникновения ложных включающих импульсов, которые чаще всего появляются при колебаниях напряжения сети или перед выходом из строя ламп формирования синхримпульсов, или схемы совпадений. Принципиальная схема электронной защиты изображена на рис. 8.

На вход схемы поступают в.ч. импульсы, из которых формируются импульсы для запуска триггера, на вторую половину триггера подаются запускающие импульсы. П-образные импульсы триггера вместе с импульсами синхронизации идут на разные сетки каскада антисовпадений, а импульсы, прошедшие через каскад анти-

совпадений, идут на схему совпадений. После схемы совпадений формирование включающих импульсов происходит описанным выше способом.

Для синхронизации устройства магнитной растяжки ступка ускоренных частиц была создана схема управления, которая производит поджигание тиратронов по круговой перестановке с частотой, в три или шесть раз меньшей частоты модуляции.

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 /одноразовый, непрерывный и т.п./, управляет специальными устройствами /системой растяжки пучка, импульсным питанием дуги и т.п./, дает возможность включать и отключать ускоритель импульсами от экспериментальных установок. Она включает в себя два взаимозаменяемых комплекса аппаратуры, что обеспечивает бесперебойную работу ускорителя в любом режиме в течение 150 часов в неделю. Благодаря 100% резервированию, простоя ускорителя из-за неполадок системы управления составляют незначительную часть рабочего времени, не превышающую 0,1%.

В дальнейшем схемы управления, по-видимому, следует перевести на транзисторы. Перевод схем управления на полупроводники должен повысить надежность их работы. Желательно также, чтобы отключающий импульс получался вслед за включающим с задержкой, составляющей определенный процент периода модуляции, а не с постоянной задержкой, как это сделано в данном варианте, так как при изменении оборотов варьатора сейчас приходится регулировать вручную время задержки.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность В.И. Иванову и Ю.В. Максиму за участие в изготовлении и настройке всех схем управления и синхронизации.

Л и т е р а т у р а

1. Д.В. Ефремов, М.Г. Мещеряков, А.Л. Минц и др. Шестиметровый синхротриотрон института ядерных проблем АН СССР. Атомная энергия, № 4, стр. 5-12 /1956/.
2. А.Л. Минц, И.Х. Неважский, Б.И. Поляков. Некоторые особенности и основные данные высокочастотной системы шестиметрового синхротриотрона. Радиотехника и электроника, № 7, стр. 3-12 /1956/.
3. Т.Н. Томялина, М.Ф. Шульга. Новый режим работы синхротриотрона. ПТЭ, № 3, 16-17 /1956/.

4. CERN Symposium. 1956, v. 1, p. 148-152.
5. Я.С. Ицхоки. Импульсные устройства. Сов. радио, М., 1959.
6. M.M.C. Bergamaschi, J.C. Brun. LeSynchro-cyclotron de 157 MeV.
Le Journal de Physique et le Radium. 21, 5 (1960).
7. Д. Райдер. Техническая электроника, Судпромгиз., Л., 1961.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 апреля 1964 г.

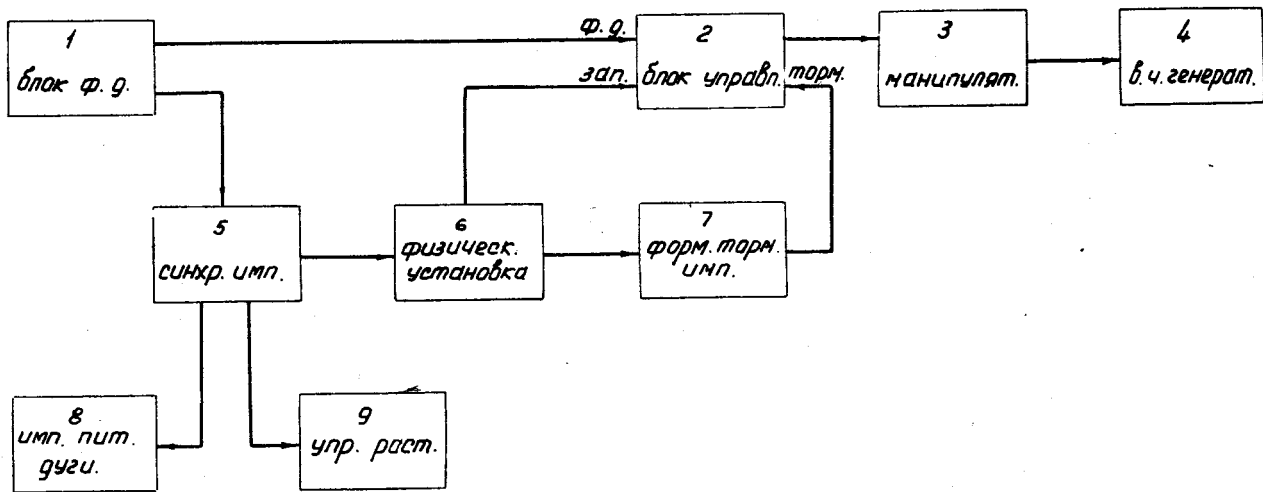


Рис. 1. *Блок-схема синхронизации ускорителя с различными устройствами*

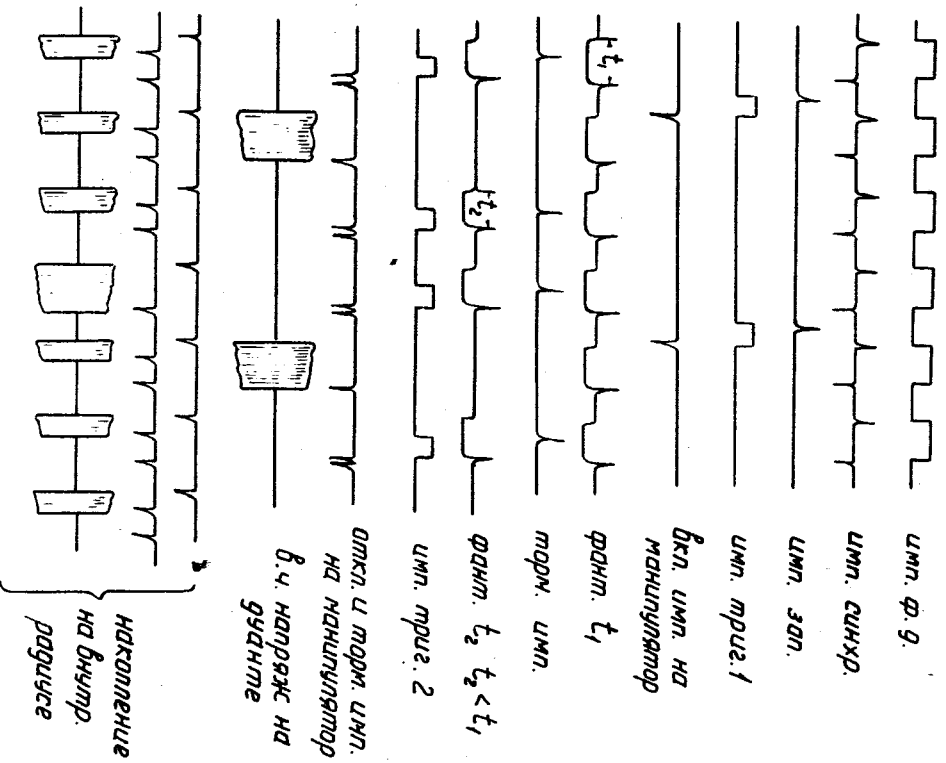


Рис. 2.

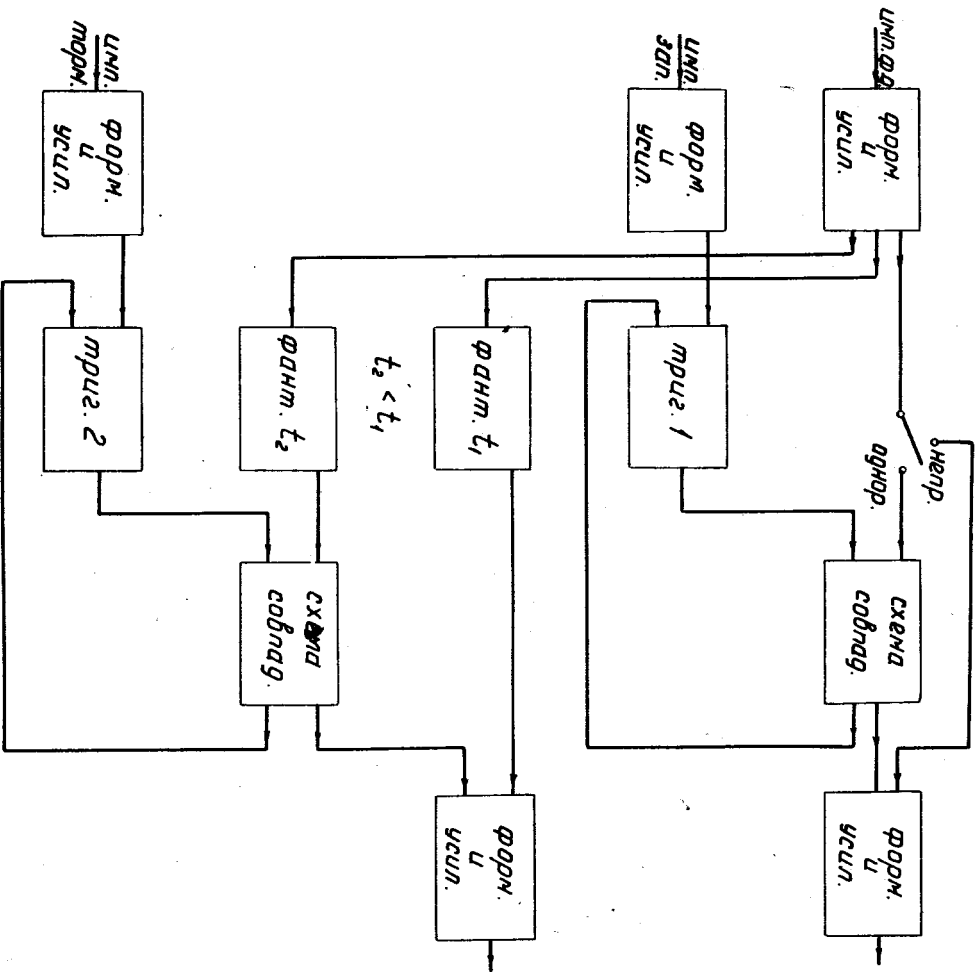


Рис. 4.

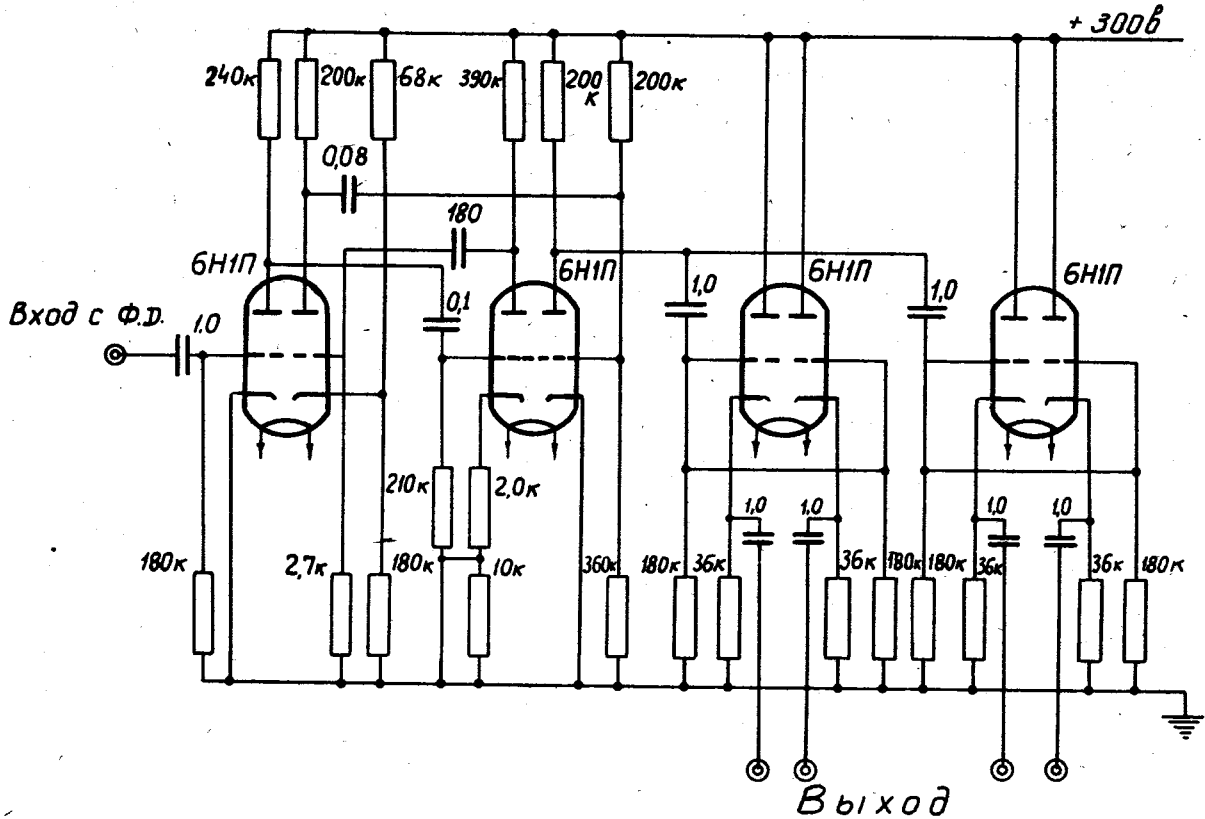


Рис. 5.

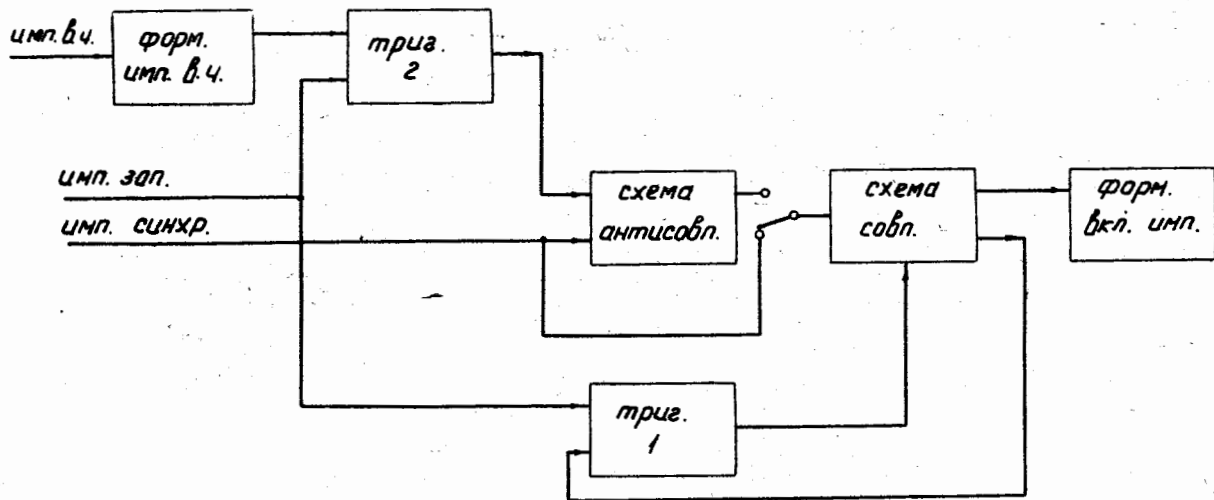


Рис. 7. Блок-схема электронной защиты от повторного включения в.ч.

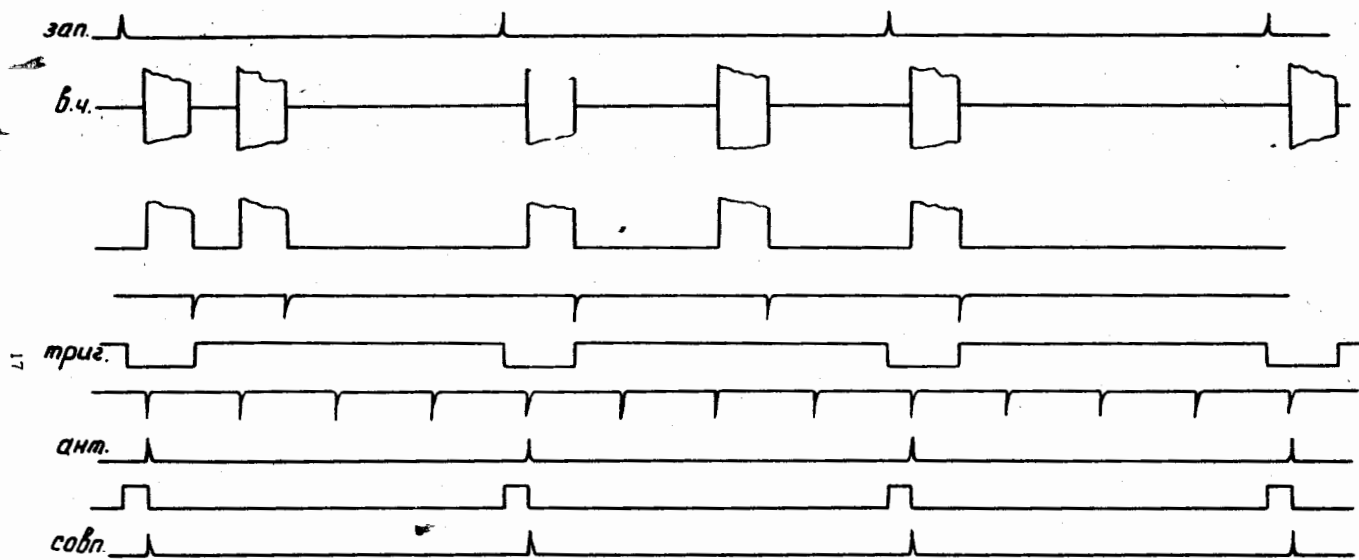


Рис. 8.

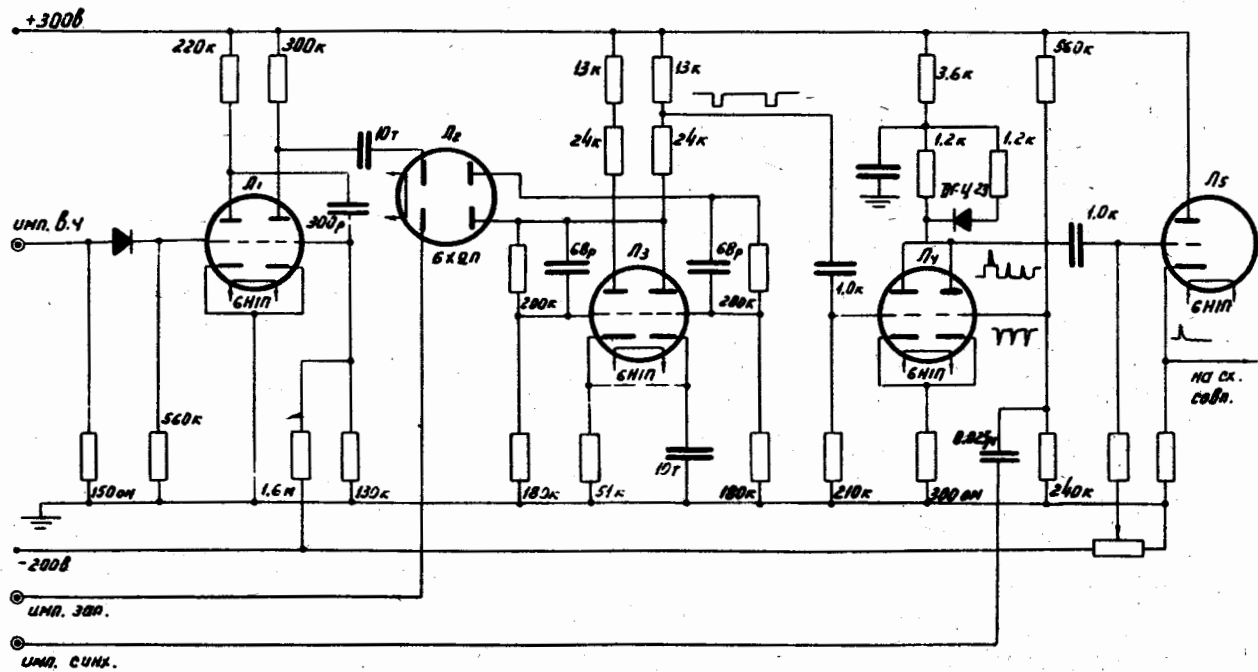


Рис. 8.