

1235 / 2-78

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



13/III-78  
9 - 11128

Б-399

Ю.Д.Безногих, М.А.Воеводин, Ш.З.Сайфулин

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР  
УПРАВЛЯЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ  
МОДУЛЯТОРА ЭНЕРГИИ ЛУ-20

**1977**

9 - 11128

Ю.Д.Безногих, М.А.Воеводин, Ш.З.Сайфулин

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР  
УПРАВЛЯЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ  
МОДУЛЯТОРА ЭНЕРГИИ ЛУ-20

*Направлено в ПТЭ*



Безногих Ю.Д., Воеводин М.А., Сайфулин Ш.З. 9 - 11128

Функциональный генератор управляющего напряжения  
модулятора энергии ЛУ-20

Описан функциональный генератор, используемый для формирования управляющего напряжения модулятора энергии инжектора синхροфазотрона. Генератор формирует импульсы любой формы длительностью 300-700 мкс, амплитудой до 10 В. В генераторе используется принцип линейно-кусочной аппроксимации. Число аппроксимирующих элементов - 8. Исключение из схемы полупроводниковых диодов, используемых обычно при создании функциональных генераторов, позволило повысить точность и стабильность воспроизведения функции.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

© 1977 Объединенный институт ядерных исследований Дубна

В слабофокусирующих кольцевых ускорителях заряженных частиц используется многооборотная инжекция. Если заполнение камеры ускорителя частицами происходит при соблюдении условия

$$\frac{[W_i (W_i + 2E_0)]^{1/2}}{qB_i} = \text{const}, \quad /1/$$

где  $W_i, E_0, q$  - энергия инжекции, энергия покоя и заряд ускоряемой частицы,  $B_i$  - магнитное поле ускорителя во время инжекции, то начальная мгновенная равновесная орбита для всех инжектируемых частиц будет одна и та же<sup>1</sup>.

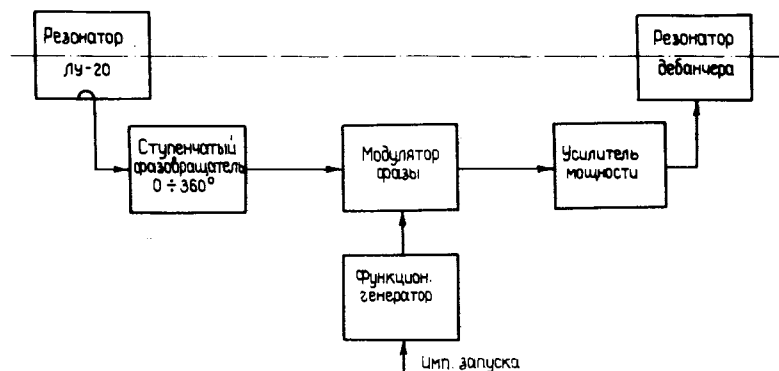
Выполнение этого условия в течение всего времени инжекции обеспечит накопление частиц в камере ускорителя с малыми амплитудами бетатронных колебаний. Кроме того, произойдет более равномерное заполнение частицами области сепаратрисы, что приведет к уменьшению модуляции частиц по плотности при радиально-фазовых колебаниях. Таким образом, соблюдение условия /1/ приводит к увеличению коэффициента захвата частиц в синхротронный режим<sup>2,3/</sup>. Инжекция в кольцевых ускорителях происходит при нарастающем магнитном поле ( $B_i$ ). Поэтому выполнение условия постоянства орбиты инжектируемых частиц в синхροфазотроне требует увеличения энергии частиц ( $W_i$ ) по квадратичному закону.

Модулятором энергии инжектора синхροфазотрона служит однозачерный высокочастотный /в.ч./ резонатор, установленный на участке ионопровода после линейного ускорителя ЛУ-20<sup>4/</sup>. Изменение энергии инжектируемых частиц зависит от величины фазы в.ч. электрического поля в момент прохождения частицей зазора резонатора.

При изменении фазы в.ч. поля резонатора каждый предшествующий сгусток заряженных частиц проходит зазор резонатора при меньшем электрическом поле, чем каждый последующий. В результате средняя скорость сгустков частиц в течение импульса инжекции /400-600 мкс/ возрастает. Блок-схема управления фазой в.ч. поля резонатора модулятора энергии синхрофазотрона приведена на *рис. 1*. Ручная ступенчатая регулировка необходима для установки начальной фазы.

Непрерывная регулировка фазы происходит за счет изменения емкости р-п переходов диодов, входящих в линию задержки. Изменение емкости р-п переходов осуществляется с помощью управляющего напряжения. Использование линейно нарастающего напряжения в качестве управляющего, как это было сделано раньше<sup>/4/</sup>, снижало эффективность работы модулятора, так как при этом не удается осуществить необходимую квадратичную зависимость увеличения энергии частиц от линейного роста ведущего магнитного поля ускорителя.

Кроме того, если учесть, что существует нелинейная зависимость изменения фазы в.ч. поля от величины управляющего напряжения и нелинейная зависимость приращения энергии частиц при прохождении ими зазора резонатора от величины фазы в.ч. напряжения, то станет



*Рис. 1*

очевидной необходимостью использовать в качестве источника управляющего напряжения функционального генератора нарастающее напряжение программируемой формы. Немаловажным является и то обстоятельство, что энергия линейного ускорителя за время инжекции может изменяться. Компенсацию изменения энергии ЛУ-20 удается осуществить модулятором энергии за счет соответствующего выбора формы управляющего напряжения.

### ОПИСАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА

Обычно функциональный генератор состоит из операционного усилителя, в контур обратной связи которого включена нелинейная цепь<sup>/5/</sup>. Общим способом формирования функций является кусочно-линейная аппроксимация. Точность воспроизведения функции зависит от числа аппроксимирующих прямолинейных отрезков. В известных функциональных преобразователях в качестве нелинейных элементов используются полупроводниковые диоды.

Вольт-амперная характеристика диода зависит от температуры, и это приводит к изменению в положении точек излома на аппроксимированной кривой. Кроме того, в каждой точке излома кривой начальный уровень и угловой коэффициент следующего отрезка необходимо определить заново.

Описываемый функциональный генератор лишен недостатков, свойственных известным схемам, и полностью удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям.

Структурная и принципиальная схемы генератора приведены на *рис. 2* и *3*. Условно можно принять, что генератор состоит из двух частей: схемы управления и схемы мультиплексора.

Генератор работает следующим образом.

Синхроимпульс поступает на входные формирователи I и II. Формирователь I состоит из инвертора /Д1.1/ и триггера Шмитта /Д1.2 и Д1.3/<sup>/6/</sup> и является основным формирователем; формирователь II, состоящий из инвертора /Д1.4/ и одновибратора /Д2.3 и Д2.4/<sup>/7/</sup>, служит для контроля.

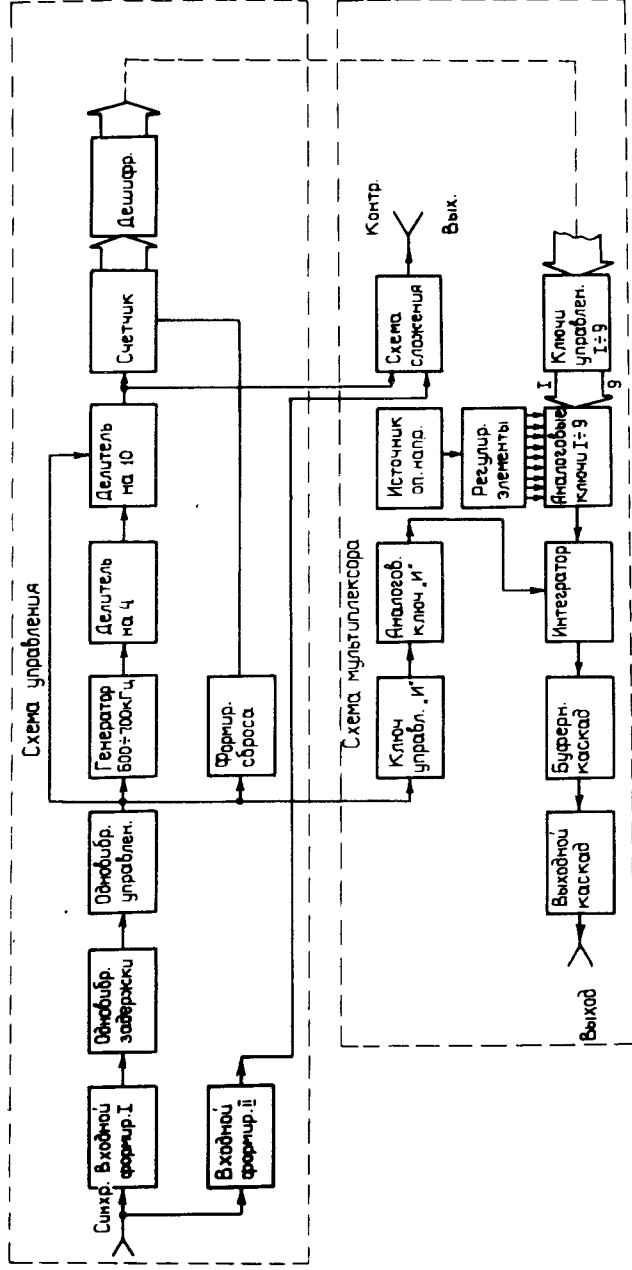


Рис. 2

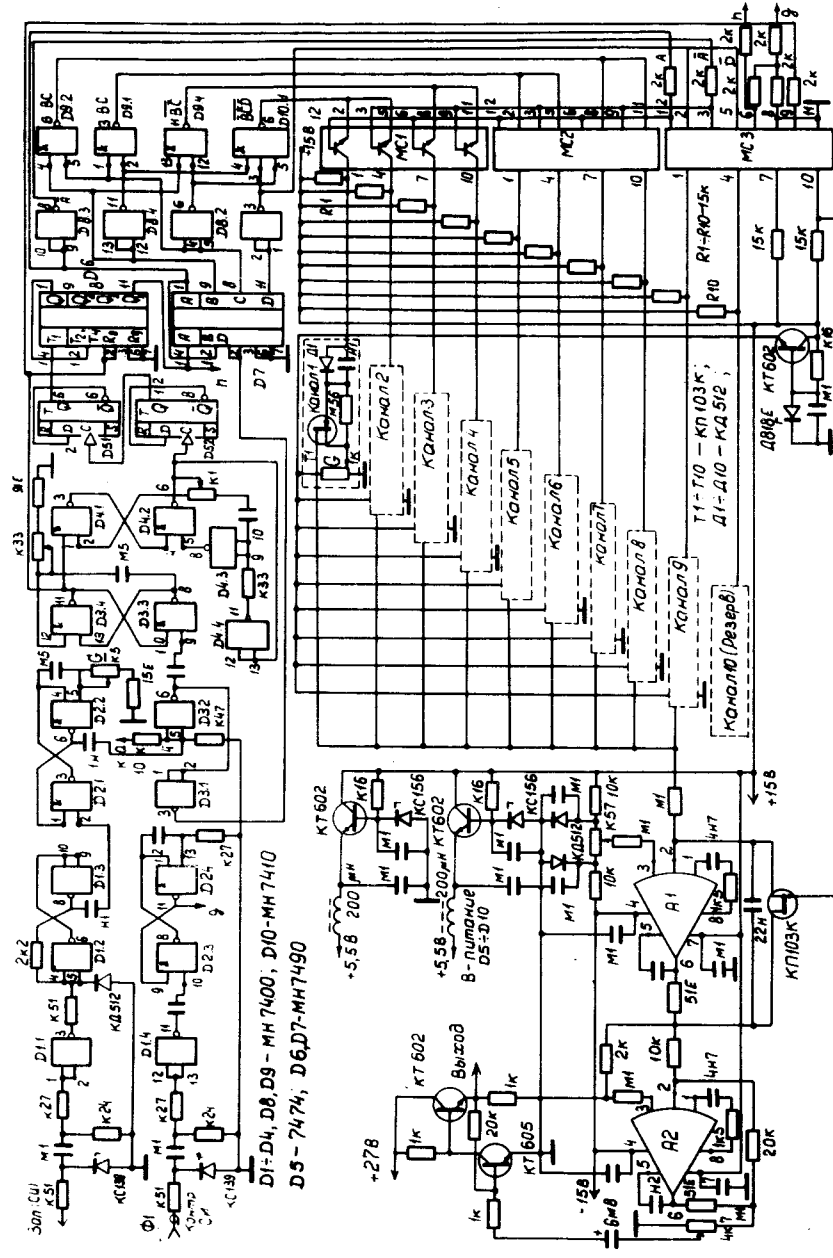


Рис. 3

Импульс, сформированный триггером Шмитта, запускает одновибратор задержки /Д2.1 и Д2.2/, длительность импульса с которого регулируется гелипотом в пределах от 10 до 1000 мкс. Задний фронт этого импульса через формирователь /Д3.2/ запускает одновибратор управления /Д3.3 и Д3.4/, длительность импульса на выходе которого составляет от 500 до 600 мкс и равна длительности инжекционного импульса. Импульс с одновибратора управления дает разрешение на включение генератора счетных импульсов /Д4/<sup>7/</sup>, на выходе которого появляется цуг импульсов с частотой, регулируемой в пределах от 600 до 700 кГц. Этот цуг импульсов поступает на делители частоты Д5 и Д6 /соответственно на 4 и 10/. Одновременно импульс с одновибратора дает разрешение для работы делителя частоты на Д6 и кроме того поступает на 2-ю плату - схему мультиплексора, где управляет интегратором.

С выхода Д6 9 импульсов поступают на счетчик Д7 и на 2-ю плату /мультиплексора/ для контроля. С выхода счетчика Д7 импульсы поступают на предварительный дешифратор /Д8-Д10/<sup>6/</sup>. Для сброса содержимого счетчика Д7 используется сигнал с формирователя сброса Д3.1.

Схема управления выполнена на элементах ТТЛ /74-ой или 155-ой серий/. Для стабильной работы схемы управления питание формирователей одновибраторов и генератора /Д1÷ Д4/ осуществляется отдельно /точка а, рис. 3/ от делителей частоты, счетчика и дешифратора /точка в, рис. 3/. В мультиплексоре происходит формирование необходимой функции.

Как видно из рис. 2 и 3, с платы управления на плату мультиплексора поступает после дешифрации 7 сигналов на ключи управления 1÷9 /10-й - резервный/, которые осуществляют окончательную их дешифрацию путем парного объединения по эмиттерам и разделения по четности и нечетности<sup>6/</sup>. Кроме того, с платы управления на мультиплексор поступают еще 3 сигнала: 2 сигнала /точки g и h / идут на схему аналогового сложения /1 транзистор МС3/ для контроля, и один сигнал подается на ключ "И" /1 транзистор МС3/, управляющий аналоговым ключом интегратора.

Мультиплексор работает следующим образом. При поступлении сигнала управления ключ "И" закрывает аналоговый ключ на полевом транзисторе Т11 /КП103К/, тем самым создается возможность для работы микросхемы А1 /МАО 501/ в интегрирующем режиме<sup>8,9/</sup>. Одновременно импульсы с ключей управления один за другим поступают на затворы полевых транзисторов, выполняющих роль аналоговых ключей /Т1÷ Т9/<sup>8/</sup>, которые, в свою очередь, подают напряжение с регулирующих элементов /гелипоты Т1÷ Т9/ на вход интегратора. Необходимая форма выходного напряжения устанавливается регулирующими элементами. Выходное напряжение интегратора усиливается буферным усилителем А2 /МАО501/ и через выходной усилитель /транзисторы КТ605 и КТ602/ поступает на выход.

Источник опорного напряжения выполнен на транзисторе КТ602, работающем в режиме эмиттерного повторителя.

Использование выходного напряжения функционального генератора в качестве управляющего модулятором энергии позволило улучшить качество работы последнего и обеспечило режим инжекции с малыми амплитудами колебаний пучка при большой длительности инжекции.

#### ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕНЕРАТОРА

1. Генерирование любой функции отрицательной полярности с положительной производной.
2. Длительность генерируемой функции - 300÷700 мкс
3. Число аппроксимирующих звеньев - 9
4. Максимальная амплитуда выходного напряжения - -10 В
5. Диапазон регулирования задержки относительно синхронимпульса - 10÷1000 мкс
6. Запуск генератора происходит синхронимпульсом положительной полярности, амплитудой 3-10 В, длительностью 5÷10 мкс.

В заключение авторы считают приятным долгом выразить благодарность В.А.Попову за полезные обсуждения, а также П.Н.Буйлову, А.А.Анашину, В.Л.Смирнову за изготовление и настройку отдельных узлов генератора.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Рабинович М.С. Труды ФИАН СССР, Изд-во АН СССР, М., 1958, т.Х, с.23.
2. Гольдин Л.Л., Зенкевич П.Р. Труды Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, т.1, ВИНТИ, М., 1970, с.39.
3. Кузнецов А.Б. ОИЯИ, Р-2268, Дубна, 1965.
4. Безногих Ю.Д. и др. ОИЯИ, Р9-5956, Дубна, 1971.
5. Корн Г., Корн Т. Электронные аналоговые и аналого-цифровые вычислительные машины, часть I. Перевод с английского. "Мир", М., 1967.
6. Шабашов М.Ф., Яник Р. ОИЯИ, 11-7564, Дубна, 1973.
7. Куценко А.В., Полосьянец Б.А., Широченков В.А. Импульсные устройства на монолитных интегральных схемах /обзор/. ПТЭ, 1973, №4.
8. Шило В. Линейные интегральные схемы в радиоэлектронной аппаратуре. "Советское радио", М., 1974.
9. Проектирование и применение операционных усилителей. Перевод с английского. "Мир", М., 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел  
5 декабря 1977 года.