

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



С345e5

24/IV-78

A-398

9 - 11224

В.А.Аккуратов, А.А.Глазов, М.М.Семенов, Н.Г.Шакун,  
Юн Хо Зин

1826/2-78

ИМПУЛЬСНОЕ ПИТАНИЕ СТЕНДА

ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК

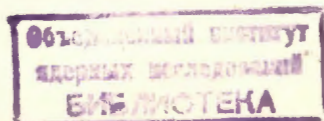
ИОННОГО ИСТОЧНИКА УСТАНОВКИ "Ф"

**1978**

9 - 11224

В.А.Аккуратов, А.А.Глазов, М.М.Семенов, Н.Г.Шакун,  
Юн Хо Зин

ИМПУЛЬСНОЕ ПИТАНИЕ СТЕНДА  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК  
ИОННОГО ИСТОЧНИКА УСТАНОВКИ "Ф"



## Импульсное питание стенда для исследования характеристик ионного источника установки "Ф"

Описывается система импульсного питания стенда для исследования ионного источника. Система включает в себя два мощных модулятора - дуги и отсоса, собранных на лампах ГМИ-32Б. Предусмотрена широкая возможность регулирования параметров импульсов. В системе контроля широко используются преобразователи в виде пояса Роговского с интеграторами, позволяющие наблюдать импульсы в цепях, находящихся под потенциалом отсоса 50 кВ.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

## Pulse Power Supplies System for Studying Ion Sources

The system of the pulse power supplies for studying ion sources is described. It consists of two pulse amplitude modulators for the arc current and the beam extraction. Vacuum tetrades are used in modulators. A wide possibility is provided for varying pulse parameters. In the control system inductive pick-ups with integrators for measuring pulses of the current under high voltage there are used.

The investigation has been at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

Проблема реконструкции синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в сильноточный фазотрон (установку "Ф") обусловила необходимость разработки высокоэффективной системы генерации ионов, а также системы отсоса и формирования геометрических и фазовых характеристик пучка ионов на первых оборотах. Было найдено, что в связи с высоким значением амплитуды ускоряющего напряжения в установке "Ф" целесообразно использовать ионный источник (ИИ) с закрытым столбом разряда и отсасывающий электрод-пуллер, установленный на дуанте.

В синхроциклотроне (фазотроне) средний ток ускоренных частиц при отсутствии потерь в процессе ускорения связан с током, захватываемым в ускорение, следующим соотношением:

$$I = I_{\text{отс}} \tau_3 F \Delta\phi' / 360, \quad (1)$$

где  $\delta\phi'$  - фазовая протяженность пучка,  $F$  - частота модуляции,  $\tau_3$  - время захвата частиц в режим ускорения.

В установке "Ф" при  $\Delta\phi = 30^\circ$ ,  $F = 600$  Гц,  $\tau_3 = 10$  мкс для получения среднего тока в 50 мкА ионный источник должен генерировать ток более 100 мА.

Эксперименты, проведенные в ЦЕРНе на модели центральной области синхроциклотрона, показали, что для получения токов порядка 100 мА в геометрии, аналогичной принятой для установки "Ф", токи разряда могут достигать 30 А.

Амплитуда ускоряющего напряжения в установке "Ф" будет составлять 50 кВ. Получение напряжения такой величины на отсасывающем электроде стенда для исследования ИИ в непрерывном режиме сопряжено с целым рядом трудностей, и поэтому для экспериментальной установки целесообразно использовать импульсное напряжение отсоса с длительностью импульса, равной времени захвата, и амплитудой 50 кВ.

Блок-схема систем импульсного питания дуги и отсоса ИИ представлена на рис.1. Поскольку стенд предназначен для исследовательских целей, в системах питания предусмотрены широкие возможности регулирования параметров импульсов, однако частота модуляции ограничена 200 герцами для снижения средней мощности систем питания и в связи с ограниченной возможностью рассеяния мощности отсасывающим электродом и измерительными пробниками. Исходя из вышеизложенного параметры источников импульсного питания ИИ выбраны следующими:

1. Амплитуда напряжения импульса  $U_{отс} = (0 \div 50) \text{ кВ}$ .
2. Длительность импульса отсоса  $\tau_{отс} = (20 \div 100) \text{ мкс}$ .
3. Амплитуда напряжения импульса дуги  $U_{д} = (0 \div 3) \text{ кВ}$ .
4. Амплитуда тока дуги  $I_{д} = (0 \div 30) \text{ А}$ .
5. Длительность импульса дуги  $\tau_{д} = (20 \div 150) \text{ мкс}$ .

Для получения указанных параметров используются следующие системы:

1. Модуляторы дуги и отсоса с подмодуляторами.
2. Задающий генератор импульсов с  $F_{мод} = (1 \div 200) \text{ Гц}$ , синхронизированный с внешней и промышленной частотой, с возможностью плавного изменения фазы импульсов отсоса относительно импульсов дуги.
3. Измерительные схемы токов разряда и отсоса.

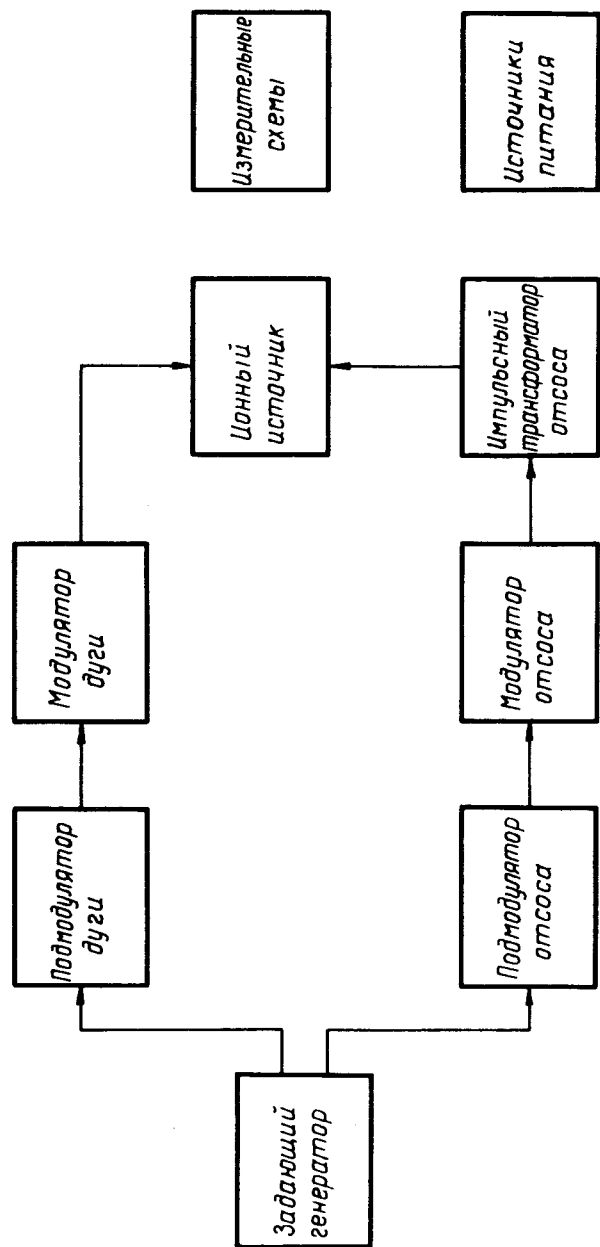


Рис.1. Блок-схема систем импульсного питания дуги и отсоса ионного источника.

# 1. МОДУЛЯТОРЫ И ПОДМОДУЛЯТОРЫ

Для обеспечения независимости характеристик модулятора от сопротивления нагрузки оконечные каскады выполнены на жестких лампах по схеме с частичным разрядом емкости (рис.2), а вся система построена таким образом, что при увеличении мощности источников питания она способна обеспечить требуемые параметры импульсов при рабочей частоте модуляции установки "Ф" (600 Гц). Для удобства эксплуатации электрические схемы трактов дуги и отсоса сделаны идентичными. Модулятор дуги работает непосредственно на кабель, связанный с разрядным промежутком источника. Согласующее (оно же и балластное) сопротивление установлено в модуляторе. Модулятор отсоса работает на повышающий импульсный трансформатор 1/5. Оконечные каскады модуляторов выполнены на модуляторных тетрадах ГМИ-32Б.

Подмодуляторы дуги и отсоса идентичны (рис.3) и представляют собой тиристорные модуляторы с частичным разрядом накопительной емкости и полным разрядом искусственной длинной линии (ИДЛ). При разряде накопительной емкости формируются передний фронт и вершина импульса, а при разряде ИДЛ - задний фронт. Амплитуда импульса - порядка 800 В, тиристоры типа КУ-202Н соединены последовательно.

Высоковольтные стабилизированные источники питания подмодуляторов и модуляторов выполнены на электронных лампах 1/1.

Нагрузкой модулятора служит входное сопротивление лампы ГМИ-32Б, которое при максимальном возбуждении приближается к  $R_H = 80 \text{ Ом}$ .

В использованной схеме нагрузкой ИДЛ является цепочка LR, а не R, как в <sup>1/2</sup>. Действительно, из энергетических соображений следует, что при малых длительностях импульса сопротивление нагрузки  $R_H$  должно стремиться к волновому сопротивлению линии:

$$R_{H \text{ опт}} = |\rho| = \rho \sqrt{k\tau_o / (\tau_H + k\tau_o)}, \tag{2}$$

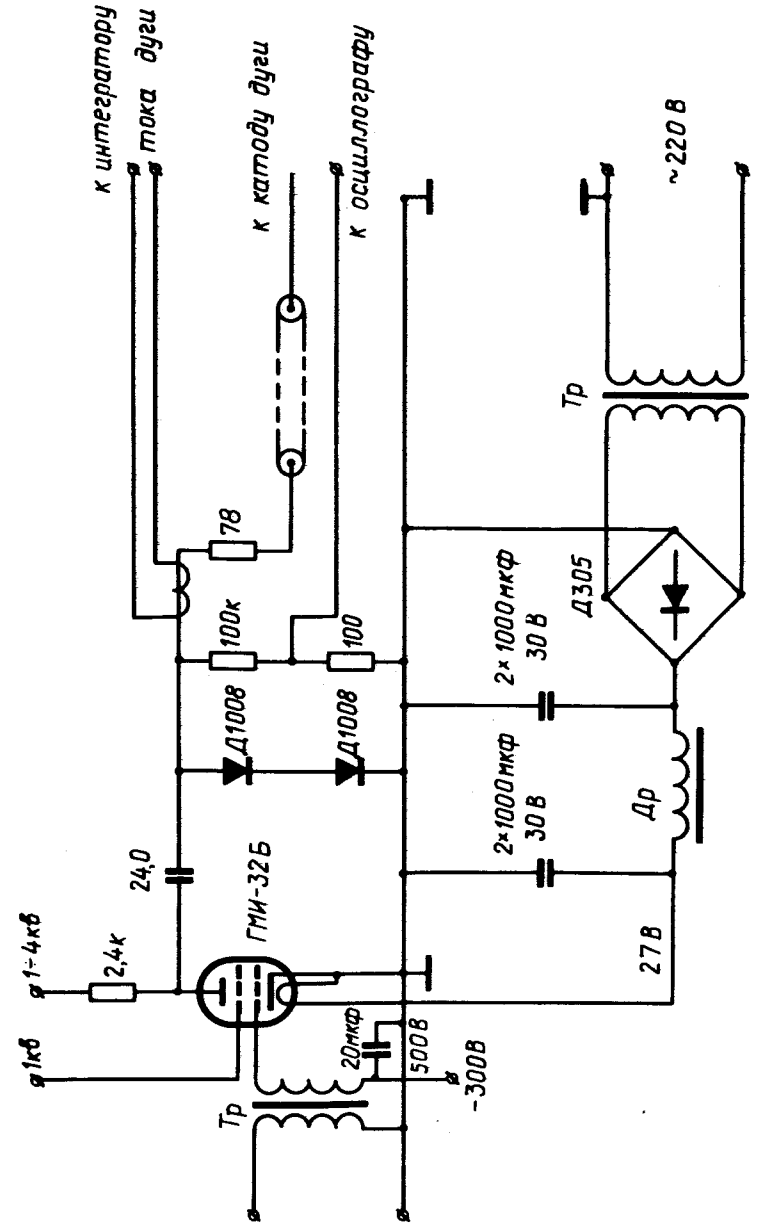


Рис.2. Оконечный каскад модулятора.

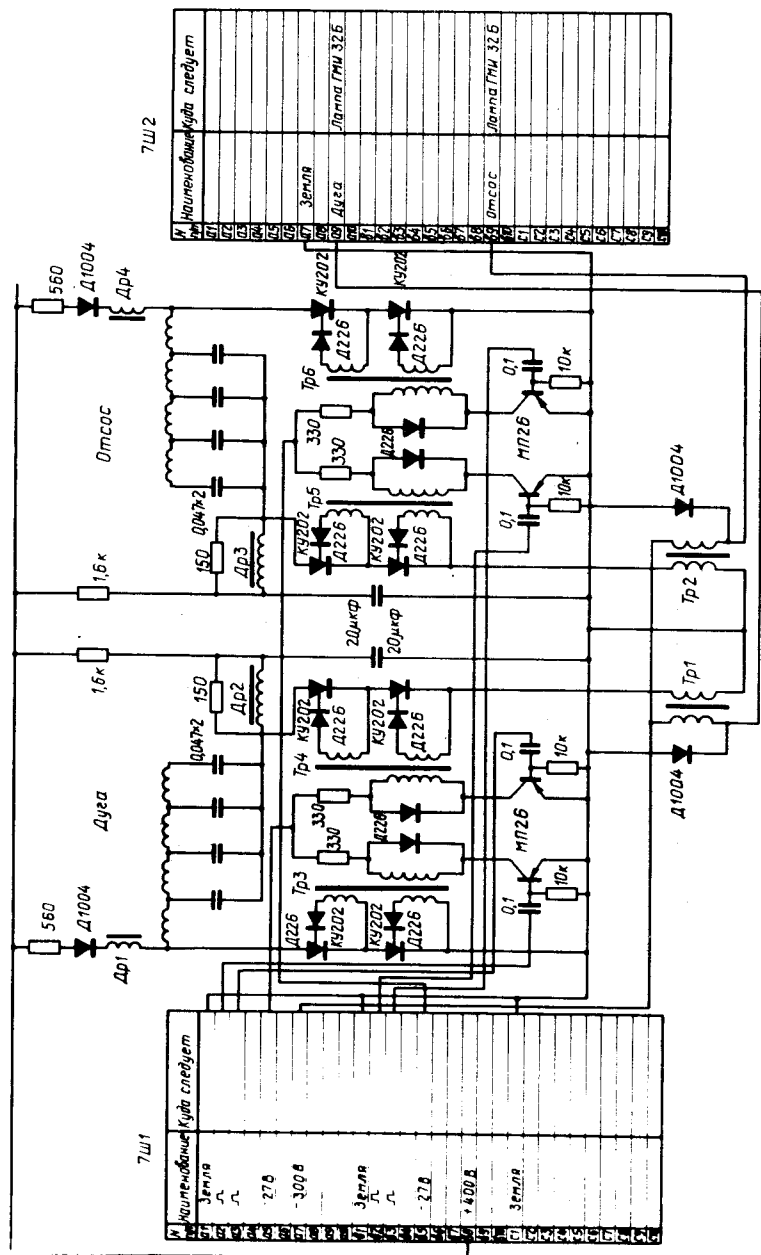


Рис.3. Подмодулятор.

где  $k = (1,2 \div 1,4)$  - коэффициент надежности гашения тиристоров,  $\tau_0 \leq 150$  мкс - время восстановления тиристоров. Это приводит к снижению амплитуды напряжения на  $R_H$  примерно в 2 раза, а с повышением частоты модуляции ( $F_{\text{мод}} > 100$  Гц) работа модулятора становится неустойчивой. При использовании параллельной цепочки LR схема работает следующим образом. В момент открытия тиристора разряда накопительной емкости разрядный ток протекает через  $R \approx 3r$ , т.к.  $\omega L$  велико.

На плоской части импульса  $\omega \rightarrow 0$  и ток начинает течь через индуктивность. Подбором  $R$  и  $L$  можно получить потери амплитуды напряжения на  $R$  равными спаду напряжения на накопительной емкости за время разряда, а амплитуда импульса на нагрузке становится близкой к напряжению на накопительной емкости. ИДЛ в начальный момент разряжается через  $R = 3r$ , поэтому отрицательное напряжение гашения возрастает примерно в 1,5 раза, причем напряжение гашения остается неизменным до  $F_{\text{мод}} = 500 \div 600$  Гц, что приводит к надежному запираению тиристоров рабочего тока. Сказанное наглядно представлено на рис.4.

## 2. ЗАДАЮЩИЙ ГЕНЕРАТОР

Из рассмотрения работы подмодуляторов дуги и отсоса следует, что выходной импульс формируется двумя запускающими импульсами (их передними фронтами), а время между ними определяет его длительность. Блок-схема задающего генератора представлена на рис.5.

Из блок-схемы видно, что запуск установки можно осуществить четырьмя методами: разовым, от внешнего или внутреннего генератора, и, наконец, от генератора, синхронизированного с напряжением питающей сети. Частота импульсов может устанавливаться равной 1,2,10,25,50, 100,200 Гц. Семиразрядный счетчик импульсов обеспечивает контроль либо частоты посылок (имп/с), либо суммарного числа импульсов в течение эксперимента.

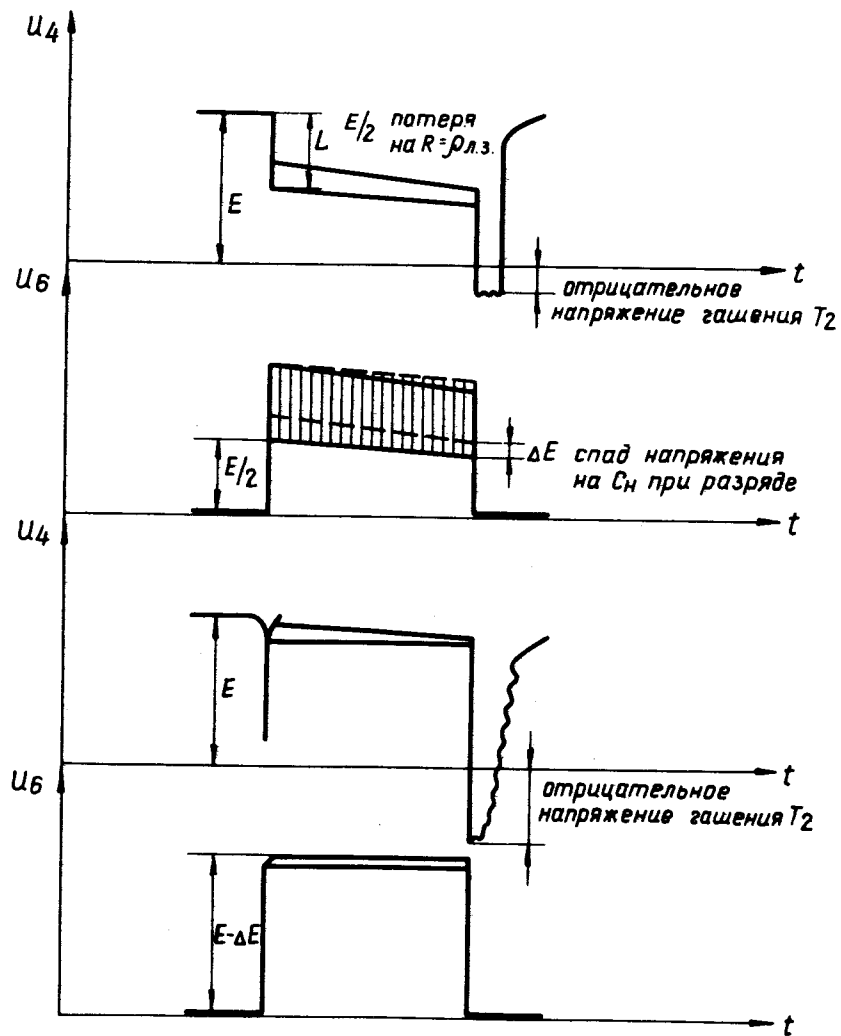


Рис. 4. Эпюры напряжений на элементах модулятора.

Время, равное 1 с, в течение которого набирается информация, определяется частотой 1 Гц, синхронизированной с напряжением сети. Декадные счетчики, селекторы и отдельные триггеры выполнены на интегральных схемах типа 2ТК171Б по типовым схемам.

Во время исследований важно определить оптимальное положение отсоса по отношению к импульсу дуги. Для этих целей импульс отсоса имеет регулируемую относительно импульса дуги задержку. Для удобства наблюдений синхроимпульс запуска осциллографа опережает импульс дуги и отсоса, причем время задержки может регулироваться. Все схемы задержки выполнены на интегральных схемах типа 2ТК171Б, представляющих собой задержанные мультивибраторы.

Формирователи фронтов импульсов дуги и отсоса представляют из себя трансформаторные импульсные усилители мощности, выполненные на транзисторах с трансформаторами на ферритовых кольцах под рабочее напряжение до 3 кВ. Длительность усиливаемых импульсов  $\tau_{и} = 10$  мкс,  $U_{имп.} = 5$  В,  $I_{имп.} = 200$  мА.

Генератор внутреннего запуска, не синхронизированный с напряжением сети, выполнен на микросхеме типа 2ЛБ015. Грубая регулировка частоты производится переключением емкости, плавная - изменением напряжения питания базы транзисторов микросхемы.

### 3. ИЗМЕРЕНИЕ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ ИМПУЛЬСОВ ДУГИ И ОТСОСА

Сигналы с контрольных точек выведены на разъемы, установленные на измерительной панели стойки, для наблюдения с помощью осциллографа. В качестве датчиков напряжения используются активные делители. Для измерения импульсных токов пробников, находящихся под потенциалом экстракции, применяется бесконтактная система, основанная на использовании пояса Роговского <sup>/3/</sup>. Измерительные катушки намотаны на ферритовые кольцевые сердечники. Наведенный двупольный сигнал усиливается и интегрируется микросхемами

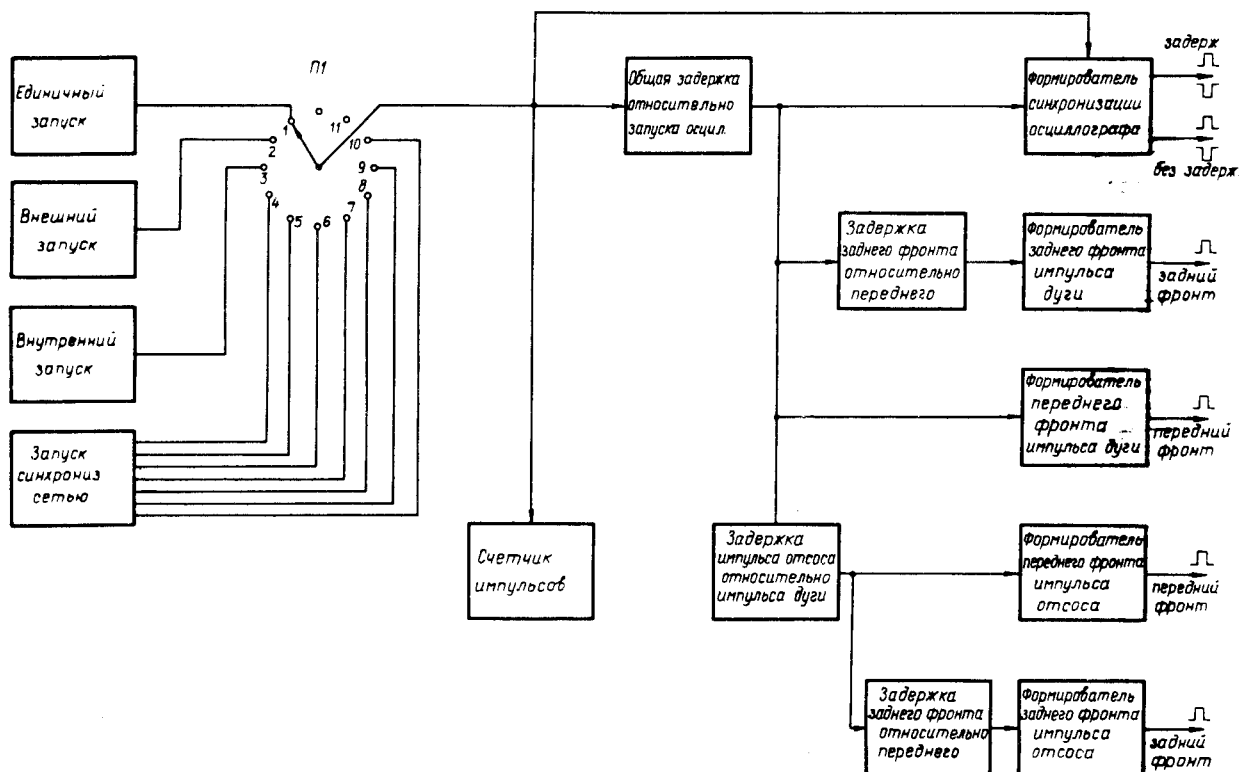


Рис.5. Блок-схема задающего генератора.

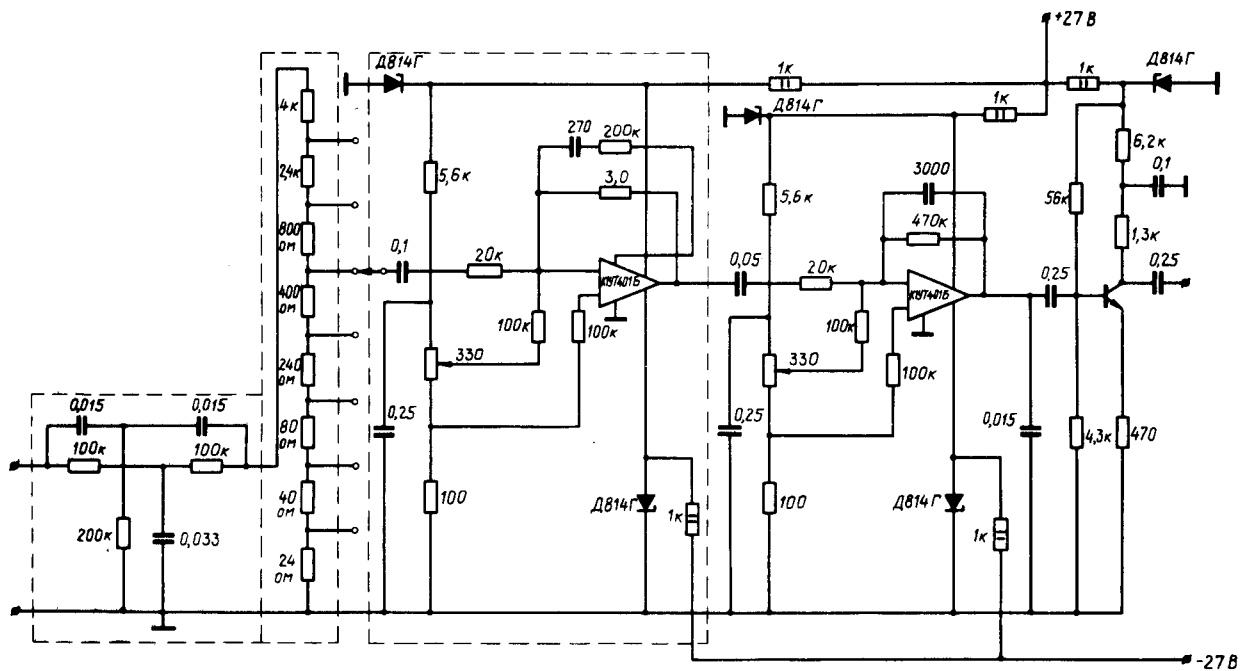


Рис.6. Схема интегратора.



К1УТ401Б (рис.6). Ввиду недостаточно высокого входного сопротивления микросхемы плоская часть воспроизводимых импульсов имеет значительный спад ( $\Delta U = 20\%$ ). Для устранения этого недостатка поставлен каскад усиления на транзисторе с низкочастотной коррекцией. Измерительные датчики и схема усиления и интегрирования связаны экранированными проводами длиной до 30 метров. Для устранения наводки напряжения 50 Гц при малых измеряемых токах на входе поставлен узкополосный фильтр.

Все схемы источников импульсного питания ИИ размещены в двух стойках типа "Вишня".

Результаты практических исследований на стенде подтвердили широкие экспериментальные возможности установки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Глазов А.А., Семенов М.М. ПТЭ, 1967, № 3, 117.
2. Табачник Ф.С. ПТЭ, 1973, № 4, 120.
3. Глазов А.А., Онищенко Л.М. ПТЭ, 1964, № 2, 100.

Рукопись поступила в издательский отдел  
3 января 1978 года