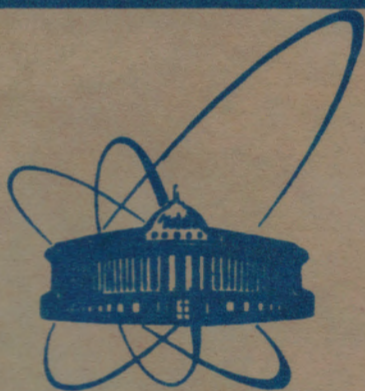


82-95



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

ЭКЗ ЧИТ ЗАДА 13-82-95

И.А.Голутвин, А.А.Попов, В.С.Хабаров

ИСТОЧНИКИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ
ДЛЯ ПИТАНИЯ
МНОГОПРОВОЛОЧНЫХ КООРДИНАТНЫХ
ДЕТЕКТОРОВ

1982

Эффективность работы многопроводочных координатных детекторов /пропорциональные и дрейфовые камеры/ во многом определяется источниками высоковольтного питания, а надежность их работы и долговременная эксплуатация зависят от средств защиты как камер, так и самих источников при перегрузках и аварийных ситуациях. В данном случае необходимо помнить, что большие камеры - достаточно дорогостоящие и трудновосстанавливаемые устройства.

Важным моментом с точки зрения надежности является медленная скорость нарастания напряжения на камерах после включения источника, которая должна устранять динамические удары на проводочки, позволять более быстродействующим защитным элементам отключать высокое напряжение с камер до возникновения в них необратимых нарушений. При этом необходимо иметь возможность задания в источнике порогов срабатывания защиты по его выходным параметрам /току и напряжению/ во всем диапазоне их изменения. Все это позволит просто и надежно осуществлять автоматический режим "тренировки" камер после изготовления, а в условиях эксперимента надежно защитить камеры и источники при перегрузках. При построении больших экспериментальных установок, содержащих десятки и сотни камер, необходимо иметь возможность управлять выходным напряжением источника от ЭВМ, а также использовать выходные сигналы для визуального и автоматического контроля за состоянием средств защиты и выходных параметров, что позволит оперативно обнаруживать неисправности в установках в процессе эксплуатации.

Промышленные источники высоковольтного питания не обеспечивают требуемой стабильности высокого напряжения, не имеют необходимых средств защиты, обладают достаточно большими размерами и массой. В связи с этим авторами было разработано несколько вариантов источников высоковольтного питания, удовлетворяющих приведенным выше требованиям. Блок высоковольтного питания^{1/} долгое время использовался в исследованиях и серийных испытаниях больших /1,5x3 м²/ пропорциональных камер. В данной работе предлагаются новые, более универсальные источники высоковольтного питания, разработка которых проведена с целью уменьшения размеров, увеличения выходного тока, получения на выходе напряжения любой полярности с автоматическим медленным нарастанием до заданного уровня.

ОИ И
ЗИБЛИО, КА

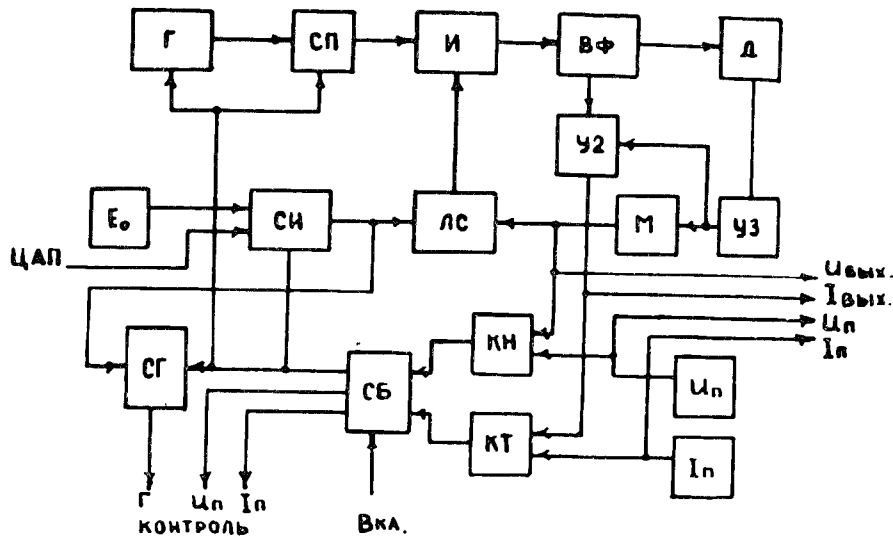


Рис.1. Структурная схема высоковольтного источника.

На рис.1 показана структурная схема разработанных устройств. Задающий генератор /Г/ через схему пропускания /СП/ управляет инвертором /И/, который питается от линейного стабилизатора /ЛС/. Выпрямленное напряжение с выходного выпрямителя и фильтра /ВФ/ подается на делитель /Д/ и через согласующий усилитель /У3/ и схему модуля /М/ сигнала обратной связи поступает на схему сравнения в линейном стабилизаторе. Задание выходного напряжения осуществляется от внутреннего опорного напряжения /Е₀/ или от цифроаналогового преобразователя через схему задания скорости нарастания /СН/, выходное напряжение которой сравнивается с выходным уровнем в ЛС. Сигналы, соответствующие выходному току /У2/ и напряжению /М/, поступают соответственно на компараторы /КТ,КН/, где сравниваются с заданными пороговыми значениями /I_п, U_п/. В случае перегрузок сигналы с компараторов подаются в схему блокировки /СБ/, которая блокирует работу СП, сбрасывает опорное напряжение, поступающее в ЛС, а через схему определения готовности /СГ/ вырабатывает сигналы, свидетельствующие о неисправности /контроль Г/. Сама СБ вырабатывает сигналы о причине происшедшего сбоя /контроль U_п, I_п/. Выходные уровни с U_п, I_п выводятся на переднюю панель и разъем для измерения внешними устройствами.

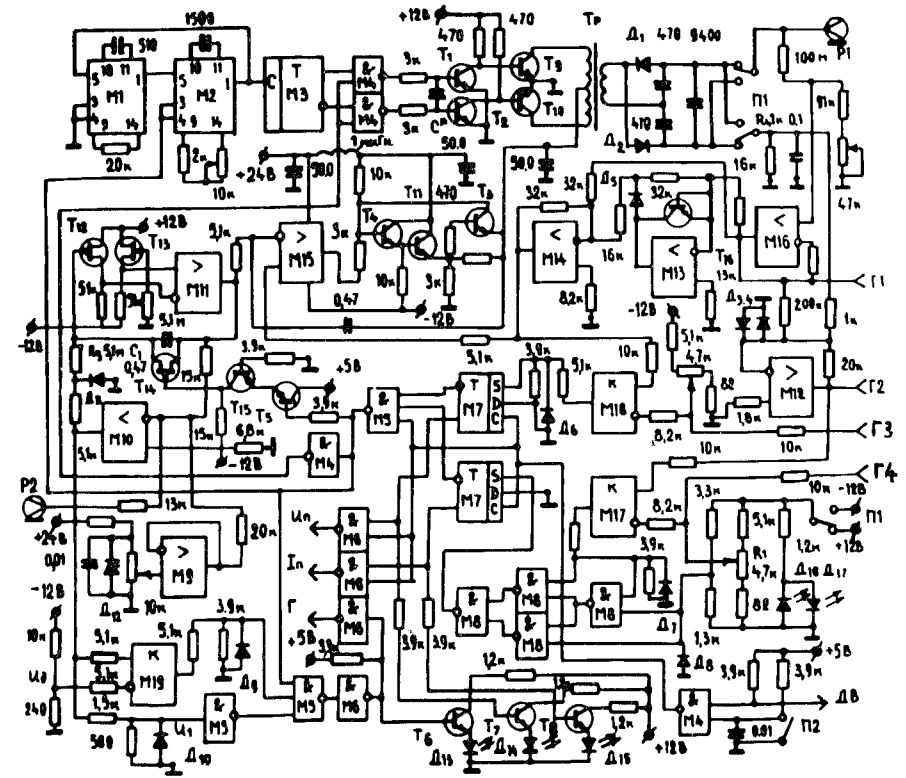


Рис.2. Принципиальная схема высоковольтного источника. М1,М2 - К155АГ1; М3 - К155ТВ1; М4,М8 - К155ЛА3; М5 - К155ЛА4; М6 - К155ЛА8; М7 - К155ТМ2; М9÷М15 - МАА741; М16 - К140УД8А; М17÷М19 - К140УД1Б; Т1÷Т8 - КТ315Г; Т9÷Т11 - КТ807Б; Т12÷Т14 - КП303Д; Т15 - КТ326Б; Т16 - КТ342А; Д1,Д2 - КЦ106Г; Д3÷Д5 - КД522А, Д6÷Д11 - Д9Л; Д12 - Д818Е; Д13÷Д17 - АЛ307А.

Основные элементы принципиальной схемы источника показаны на рис.2. Отличительной особенностью схемы стабилизации высоковольтного напряжения является использование в ней двухтактного инвертора, работающего в режиме вынужденного резонанса на частоте контура, который образован из индуктивности рассеяния и собственной емкости вторичной обмотки повышающего трансформатора /Тр, рис.2/. Выбор параметров и элементов инвертора определялся экспериментально снятыми зависимостями требуемых диапазонов тока и напряжения линейного стабилизатора. Все при-

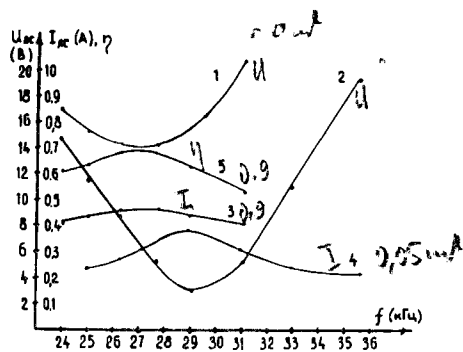


Рис. 3. Зависимости $U_{ЛС} = \psi(f)$ (1,2); $I_{ЛС} = \phi(f)$ (3,4); $\eta_H = \theta(f)$ (5) для $I_H = 0,05$ мА (2,4); $I_H = 0,9$ мА (1,3,5) и $U_{ВЫХ} = 5$ кВ.

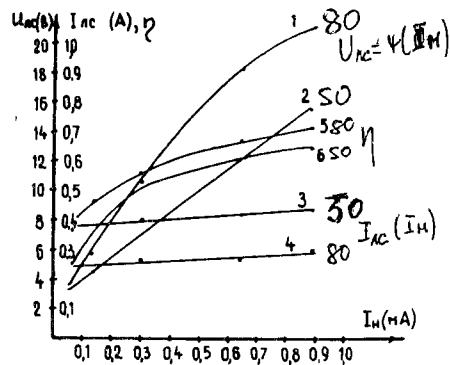


Рис. 4. Зависимости $U_{ЛС} = \psi(I_H)$ (1,2); $I_{ЛС} = \phi(I_H)$ (3,4); $\eta_H = \theta(I_H)$ (5,6) для $n_1 = 80$ (1,4,5); $n_2 = 50$ (2,3,6) и $U_{ВЫХ} = 5$ кВ.

водимые характеристики сняты для трансформатора с магнитопроводом П110 с числом витков вторичной обмотки $n_2 = 2400$ при напряжении на высоковольтном выходе $U_{ВЫХ} = 5$ кВ.

На рис. 3 представлены зависимости выходного напряжения $U_{ЛС} = \psi(f)$, тока $I_{ЛС} = \phi(f)$ ЛС и к.п.д. инвертора $\eta_H = \theta(f)$ от частоты в области резонанса, которые показывают, что передача энергии из первичной обмотки на выход высоковольтного источника происходит достаточно эффективно ($\eta_H \approx 0,7$ при $I_H \approx 900$ мкА) на частотах переключения инвертора 24–30 кГц, а коэффициент передачи напряжения в этом случае значительно больше /в 20 раз при $I_H = 50$ мкА, в 4 раза при $I_H = 900$ мкА/, чем в обычных импульсных инверторах.

Область регулировки напряжения высоковольтного выхода будет определяться максимальным напряжением на выходе линейного стабилизатора.

На рис. 4 показаны зависимости $U_{ЛС}$, $I_{ЛС}$, η_H от тока нагрузки высоковольтного выхода для двух значений числа витков первичной обмотки высоковольтного трансформатора ($n_1 = 50$, $n_1' = 80$). Данные зависимости практически показывают, что, варьируя число витков первичной обмотки, можно подобрать необходимый диапазон выходного напряжения линейного стабилизатора и выбрать по максимальному рабочему току транзисторы инвертора и ЛС. Увеличение к.п.д. объясняется при увеличении числа витков первичной обмотки уменьшением рассеиваемой мощности в первичных цепях трансформатора.

Из анализа приведенных характеристик можно сделать вывод, что двухтактный резонансный инвертор обладает рядом достоинств при его применении в схемах высоковольтного питания:

- он имеет достаточно высокий к.п.д.;
- не требует больших коэффициентов трансформации для получения необходимого высокого напряжения;
- работает на частотах в десятки кГц, что значительно уменьшает габариты и объем трансформатора и фильтра для получения требуемого уровня пульсаций выходного напряжения;

- представляет собой схему высоковольтного источника, самозащищенного от перегрузок и короткого замыкания на выходе, в связи с тем, что передача мощности из первичной обмотки трансформатора ограничивается выходным напряжением ЛС, а добротность и резонансная частота инвертора уменьшаются при увеличении тока нагрузки источника.

В разработанной схеме /рис. 2/ используется трансформатор /Тр/ с магнитопроводом типа ПК12х17 с числом витков обмоток $n_1 = 80$, $n_2 = 3000$, а переменное напряжение выпрямляется на выходе схемой удвоения /Д₁, Д₂/. Другой особенностью схемы стабилизации является применение в цепи обратной связи модуля, который реализован на интегральных операционных усилителях /М13, М14/. Это вызвано тем, что при переключении полярности выходного напряжения необходимо одновременно переключать полярность опорного напряжения /Д₁₂/, входные контакты схемы сравнения ЛС /М15/ и компаратора /М18/, что требует многопозиционного переключателя со свойствами высоковольтного. Схема модуля сигнала обратной связи позволяет сократить до минимума количество переключаемых точек, увеличивает надежность работы высоковольтного источника. В разработанном источнике /рис. 2/ переключение осуществляется в инверторе /П1/, в цепи питания двух светодиодов /Д₁₆, Д₁₇/ для визуального контроля полярности выходного напряжения и двух делителей, один из которых задает порог срабатывания защиты по току (R₁), а другой реализует с инвертором М8 модуль логического числа с компаратора выходного тока /М17/.

Генератор, задающий режим работы инвертора /Т₉, Т₁₀/, выполнен на двух интегральных одновибраторах /М1, М2/ типа 155АГ1, а триггер /М3/ при делении частоты генератора на два формирует скважность периода, равную 0,5.

Источник задающего опорного напряжения выполнен на высокостабильном стабилитроне /Д₁₂/ и многооборотном потенциометре (R₂), сигнал с которого, проходя через согласующий усилитель /М9/, поступает на схему задания скорости нарастания /СН/ выходного напряжения источника, на которую подается и задающее напряжение от ЦАП через разъем на передней панели Р₂. СН построена на двух интегральных операционных усилителях /М10, М11/.

Выходной усилитель с истоковыми повторителями /Т12,Т13/ на входе работает в режиме интегратора с времязадающими элементами (R_3, C_1), которые вместе со смещением на диоде /Д11/ задают время выхода на максимальное значение выходного напряжения источника $t \approx 60$ с. Одновременно с этим СН работает как двухкаскадный операционный усилитель, который согласует диапазоны опорных напряжений с М9 или ЦАП для сравнения с выходным напряжением источника в схеме сравнения /М15/ ЛС. ЛС разработан на транзисторах /Т4, Т5/ и операционном усилителе /М15/. Транзистор Т3 служит для ограничения выходного тока ЛС.

Датчиком выходного тока высоковольтного выхода является резистор R_4 , напряжение с которого поступает на операционный усилитель /М12/. Этот усилитель выполняет одновременно две операции: усиления сигнала датчика тока и вычитания из него напряжения, соответствующего току высоковольтного делителя, которое поступает с согласующего повторителя на операционном усилителе /М16/. Выходные уровни со схемы модуля /М14/ и усилителя /М12/, соответствующие выходному напряжению и току, подаются на переднюю панель /гнезда Г1-Г4/ и сравниваются на операционных усилителях /М17,М18/, работающих в режиме компаратора, с заданными пороговыми значениями выходных параметров. Логические сигналы с компараторов поступают в схему блокировки /СБ/, которая собрана на двух Д-триггерах /М7/ и логических элементах 155 серии. Логическая схема М5 реализует функцию конъюнкции для рабочего состояния источника: $F = (U_{\text{ВЫХ}} < U_{\text{П}}) \cdot (I_{\text{ВЫХ}} < I_{\text{П}}) \cdot X$, где X – операция включения /П2 – дистанционное включение ДВ/. В случае перегрузок, аварийных ситуаций сигнал с инверторов М4, М5 блокирует схему пропуска и работу генератора, управляющего работой инвертора /Т3, Т4/, разряжает через транзисторы Т5,Т14,Т15 времязадающую емкость С1 в схеме СН, сбрасывая таким образом опорное напряжение. Одновременно с этим триггеры /М7/ СБ управляют работой светодиодов /Т7,Т8,Д14,Д15/ и вырабатывают логические сигналы /М6/ на внешний разъем, которые свидетельствуют о причине срабатывания защиты.

Схема, вырабатывающая сигнал готовности, выполнена на операционном усилителе /М19/, работающем в режиме компаратора, и логических схемах М5,М6. Логический сигнал готовности, который управляет световой индикацией, вырабатывается при выполнении условия $-U_{\text{д}} < U_{\text{СН}} < U_1$ /рис.2/, где: $U_{\text{СН}}$ – выходное напряжение, снимаемое с первого операционного усилителя схемы СН. При этом сигнал готовности в случае срабатывания элементов защиты блокируется сигналом со схемы СБ. Таким образом, по сигналу готовности можно контролировать не только момент выхода высокого напряжения на заданный уровень, но и состояние защитных элементов, а также исправность схем опорного напряжения и СН.

Как видно из рис.2, основными элементами, на которых построена схема, являются операционные усилители. Поэтому, чтобы снизить трудоемкость при настройке изготовленных источников, выбраны интегральные усилители со встроенной внутренней коррекцией типа МАА741 /140УД7/ и К140УД8. В качестве компараторов используется операционный усилитель 1УТ401Б.

Разработка схемы источника с использованием современных интегральных аналоговых и логических схем в сочетании с резонансным инвертором позволила создать достаточно компактное устройство и разместить два таких источника в станции стандарта КАМАК с шириной передней панели 3М /51 мм/.

Характеристики источника питания:

| | |
|--|--|
| Диапазон выходного напряжения / $U_{\text{ВЫХ}}$ / | - $+0,1 \div 6$ кВ. |
| Максимальный выходной ток / $I_{\text{ВЫХ}}$ / | - $0,6$ мА. |
| Нестабильность $U_{\text{ВЫХ}}$ | - $\pm 0,01\%$./ $^{\circ}\text{C}$. |
| Точность установки $U_{\text{ВЫХ}}$ | - $\pm 0,1\%$. |
| Амплитуда пульсаций $U_{\text{ВЫХ}}$ | - < 1 В. |
| Задание порога по $U_{\text{ВЫХ}}$ | - $+0,1 \div 6,5$ кВ. |
| Задание порога по $I_{\text{ВЫХ}}$ | - $0 \div 0,65$ мА. |
| Масштабный коэффициент для измерений $U_{\text{ВЫХ}}$ и $U_{\text{П}}$ | - 1 кВ/В. |
| Масштабный коэффициент для измерений $I_{\text{ВЫХ}}$ и $I_{\text{П}}$ | - $0,1$ мА/В. |

Разработанный блок предназначен для питания пропорциональных камер, а также и дрейфовых с малыми промежутками между сигнальными проволочками. Дрейфовые камеры с большими дрейфовыми промежутками /до 25 см/ требуют для своего питания высокого напряжения – до 12 кВ. Такой источник напряжения может быть просто изготовлен по той же принципиальной схеме /рис.2/ и по тому же принципу замены элементов и параметров резонансного инвертора согласно схеме, приведенной на рис.5. В данной схеме используют-

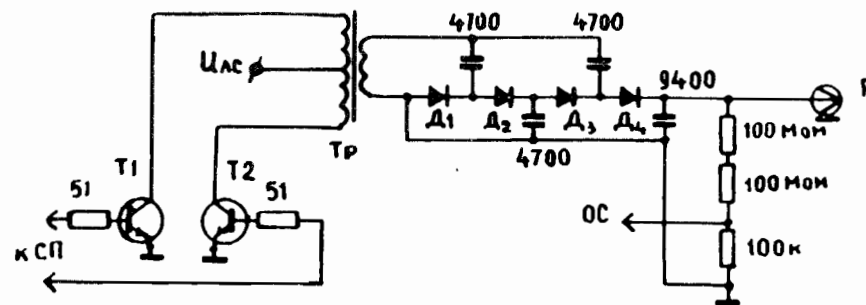


Рис.5. Принципиальная схема высоковольтной части источника до 12 кВ. Т1,Т2 – КТ315Г; Д1÷Д4 – КЦ0БГ.

ся транзисторы типа КТ814Б, трансформатор с магнитопроводом ПК40х16 с числом витков обмоток $n_1 = 60$, $n_2 = 4600$. Переменное выходное напряжение инвертора выпрямляется схемой удвоения, что, конечно, снижает к.п.д. устройства. Проверка опытного образца источника показала следующие его основные характеристики:

| | |
|--|-------------------------|
| Диапазон выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ | - $\pm 0,1 \div 12$ кВ. |
| Нестабильность $U_{\text{вых}}$ | - $0,01\%$ /°С. |
| Частота переключения | - 12 кГц. |
| Максимальный выходной ток | - 0,450 мА. |

Приведенные в работе высоковольтные источники напряжения достаточно хорошо согласуются с рабочими токами многопроволочных детекторов, показали себя удобными и надежными в исследованиях больших дрейфовых камер, разрабатываемых для нейтринного детектора.

В заключение авторы выражают благодарность Н.Я.Калинину за квалифицированный монтаж блоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голутвин И.А. и др. ОИЯИ, 13-14810, Дубна, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 февраля 1982 года.

Голутвин И.А., Попов А.А., Хабаров В.С.

13-82-95

Источники высокого напряжения

для питания многопроволочных координатных детекторов

Сформулированы основные требования к источникам высоковольтного питания координатных детекторов, приведено описание разработанных схем, которые построены на основе резонансного инвертора. Разработанные устройства выполнены в стандарте КАМАК. Ширина их передней панели - 3М, выходное напряжение $U_{\text{вых}} = 0,1 \div 6$ кВ / $0,2 \div 12$ кВ/, рабочий ток - до 600 мкА и нестабильность выходного напряжения $< 10^{-2}\%$ /°С. Схемы источников оборудованы защитными устройствами от перегрузок по выходным параметрам.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Golutvin I.A., Popov A.A., Khabarov V.S.

13-82-95

High Voltage Power Supplies for Multiwire Coordinate Detectors

The main requirements for high voltage power supplies of coordinate detectors are formulated, circuits constructed by using resonance inverter, are described. The designed devices are mounted in three-width CAMAC module and have $U_{\text{out}} = 0.1 \div 6$ kV ($0.2 \div 12$ kV) with load currents upto 600 μ A and instability of output voltage $< 10^{-2}\%$ /°C. Circuitry of power supplies have devices for protection from overload over output parameters.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.