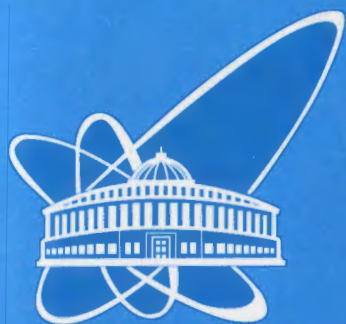


18(2)+



СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

67050

161-03

344.141+344.1к1

P13-2003-161

Т. В. Беспалова, Н. Н. Евдокимов, Н. М. Лустов,  
Д. А. Смолин

ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА  
ОТДЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ  
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КАТОДНО-СТРИПОВЫХ  
КАМЕР И МНОГОЖИЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ  
ДЛЯ МЮОННОЙ СТАНЦИИ ME1/1 CMS

2003

## Введение

В Лаборатории физики частиц ОИЯИ, по программе создания компактного мюонного соленоида (CMS), LHC, ЦЕРН [1], разработаны и серийно изготавливаются катодные стриповые камеры CSC [2].

Камеры CSC представляют собой многопроволочные пропорциональные камеры с катодно-стриповой конфигурацией.

Панели катодной плоскости камеры имеют трапецеидальную форму (рис.1), изготавливаются из материала с сотовой структурой, покрытого с двух сторон медной фольгой. На одной из сторон панели фрезеруются радиальные стрипы. В радиальном направлении фольга панели разделена на две части. Число стрипов, нарезаемых в верхней части панели, – 64, в нижней – 48. Разрыв между стрипами равен 0,35мм. Такая конструкция панелей камеры CSC позволяет получать две координаты физического события с одной детекторной плоскости.

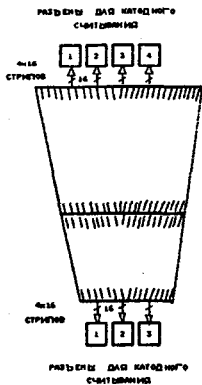


Рис.1

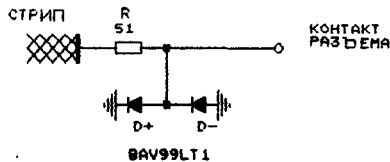


Рис.2

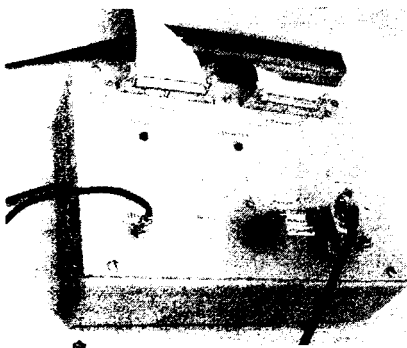
Для более точного определения местоположения физического события камеры CSC мюонной станции ME1/1 собираются в виде пакета из шести катодных плоскостей, перемежающихся анодными проволочными электродами.

Всего в лаборатории для станции ME1/1 будет изготовлено 76 камер CSC, то есть 456 катодных плоскостей.

Итак, на рис.1 показано, что все стрипы на торцах панели катодной плоскости распаиваются на разъемы (тип 3М No.3414). Для обеспечения передачи сигналов по скрученным парам проводов, стрипы распаиваются на 16 нечетных контактов разъема четные контакты разъема соединяются с землей камеры. Вблизи разъема на каждый стрип распаиваются по два защитных диода типа BAV99LT1 и ограничительное сопротивление 510 Ом, рис.2.

Высокие требования к надежности камер в условиях массового производства вызвали необходимость создания устройств для контроля качества готовых компонентов камер.

В данной работе описываются два прибора, созданные для обнаружения технологических ошибок и неисправностей в ходе производства катодно-стриповых камер. Один – блок проверки катодных плоскостей (БПП-а), второй – блок проверки многожильных кабелей (БПК-б). Оба прибора полностью статичны, не требуют подачи управляющих сигналов и снабжены автономными источниками питания. Приборы размещены в защитных кожухах, верхняя панель которых служит для размещения на ней разъемов связи и средств визуального контроля (см. фото на рис.3).



а)



б)

Рис.3

# 1 Блок проверки катодных плоскостей – БПП

Созданный прибор выполняет следующие проверочные функции:

- проверка наличия и исправности защитных диодов  $D^+$ ;
- проверка наличия и исправности защитных диодов  $D^-$ ;
- проверка наличия соединения стрипов с выходными разъемами катодной плоскости;
- обнаружение возможных замыканий между стрипами по всей поверхности катодной плоскости;

Основным критерием выбора методов проверки было условие работы с готовыми катодными плоскостями, то есть при выполнении любой проверочной операции прибору доступны только выходные разъемы плоскости.

Блок – схема прибора БПП представлена на рис.4.

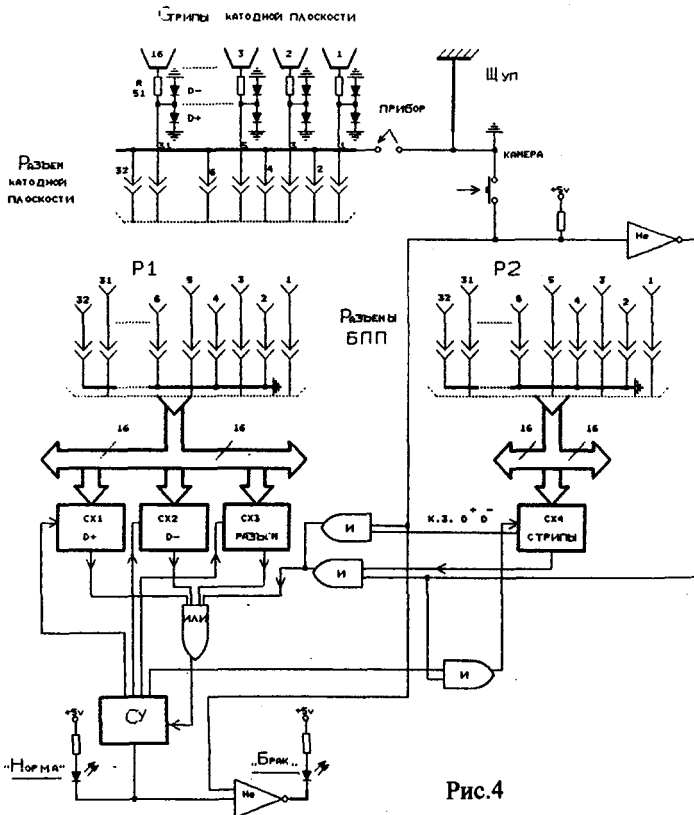


Рис.4

Схема организована таким образом, что для выполнения каждой из четырех операций используются самостоятельные электронные схемы СХ1, СХ2, СХ3, СХ4, включаемые только на момент выполнения собственной операции. Для связи прибора с проверяемой плоскостью на передней панели предусмотрены два 34-контактных разъема Р1 и Р2 типа ЗМ No. 3414.

Разъем Р1 используется при проверке наличия и исправности защитных диодов обеих полярностей  $D^+$  и  $D^-$ , а также наличия соединения стрипов с выходными разъемами катодной плоскости. Разъем Р2 используется для обнаружения возможных замыканий между стрипами. Для проверки качества контактов с разъемами используется дополнительное оборудование в виде подключаемого к прибору щупа, который осуществляет контактную связь с поверхностью проверяемой катодной плоскости. Манипуляции со щупом логически встроены в работу схемы управления прибором. Результаты проверки отображаются двумя светодиодами «Норма» и «Брак». Для обнаружения неисправностей в многоканальных системах обычно используется метод исключения, позволяющий идентифицировать ошибку, если неисправен хотя бы один из проверяемой группы каналов. Этот метод использован при разработке всех схем прибора БПП.

### 1.1. Схема проверки наличия и исправности диодов $D^+$

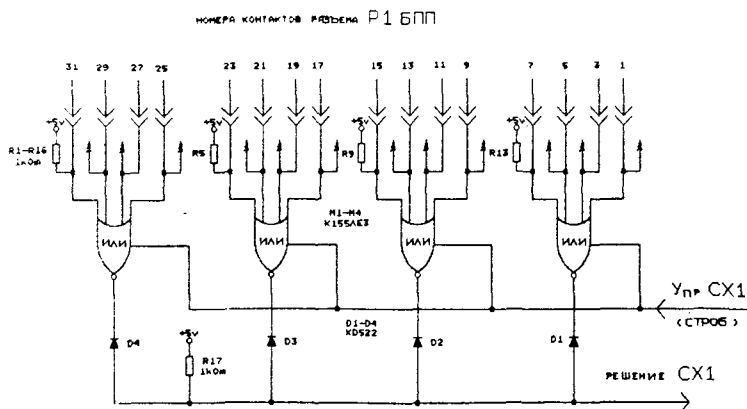


Рис.5

Схема проверки одновременно 16 защитных диодов  $D^+$ , подключенных к разъему P1 БПП представлена на рис.5. Для выполнения операции применена схема положительного ИЛИ, использующая микросхемы К155ЛЕ3 (M1 – M4) и диоды КД522 (D1 – D4). При подключении к прибору защитные диоды  $D^+$  открываются за счет токов, задаваемых сопротивлениями 1кОм, подключенными к источнику питания +5В. Если на всех 16 проверяемых стрипах защитные диоды  $D^+$  исправны, на входах схемы ИЛИ удерживается потенциал открытых диодов 0,6 – 0,7В. Этого напряжения недостаточно для срабатывания схемы ИЛИ и на панели прибора загорается индикатор «Норма». Если хотя бы один из проверяемых диодов  $D^+$  отсутствует или пробит на разрыв, на соответствующем входе M1 – M4 остается высокий потенциал, схема ИЛИ срабатывает и прибор индицирует состояние «Брак».

## 1.2. Схема проверки наличия и исправности диодов $D^+$

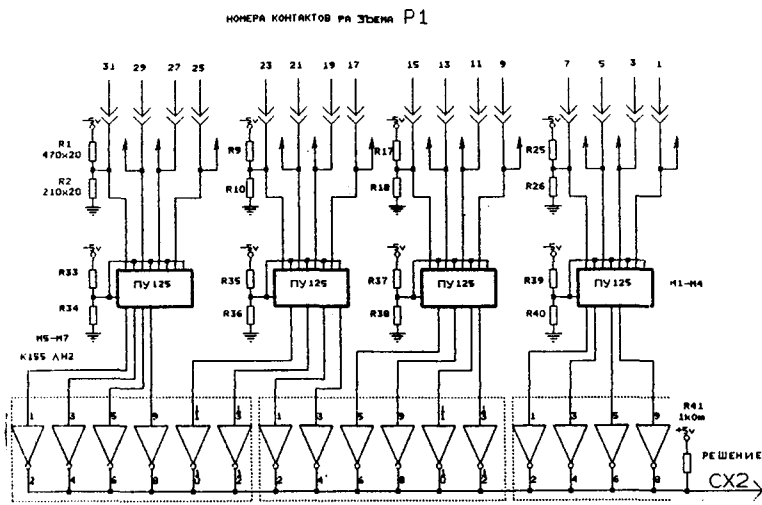


Рис.6

Схема, позволяющая обнаружить неисправности в цепях защитных диодов  $D^+$ , представлена на рис.6. Для выполнения этой операции использованы

микросхемы М1-М4 серии ЭСЛ с отрицательной логикой (ПУ125), представляющие собой преобразователи уровней ЭСЛ в уровни ТТЛ. Микросхемы М1 – М4 совместно с М5 – М7 (К155ЛН2) образуют схему ИЛИ. На неинвертируемых входах ПУ125 включено постоянно напряжение  $-1,6В$ , а на инвертируемых входах напряжение будет зависеть от состояния проверяемых диодов Д. При наличии и исправности диодов Д они остаются в открытом состоянии, то есть удерживают на входах ПУ125 отрицательный потенциал  $0,6 - 0,7В$ . При этом схема ИЛИ не срабатывает и на панели БПП высвечивается результат проверки «Норма». В случае, если хотя бы один диод Д отсутствует или пробит на разрыв, потенциал на соответствующем входе ПУ125 остается низким ( $-1,6В$ ) и схема ИЛИ вырабатывает результат «Брак».

### 1.3. Схема проверки наличия соединения стрипов с разъемами

Выполнение этой операции реализуется с помощью схемы, представленной на рис.7.

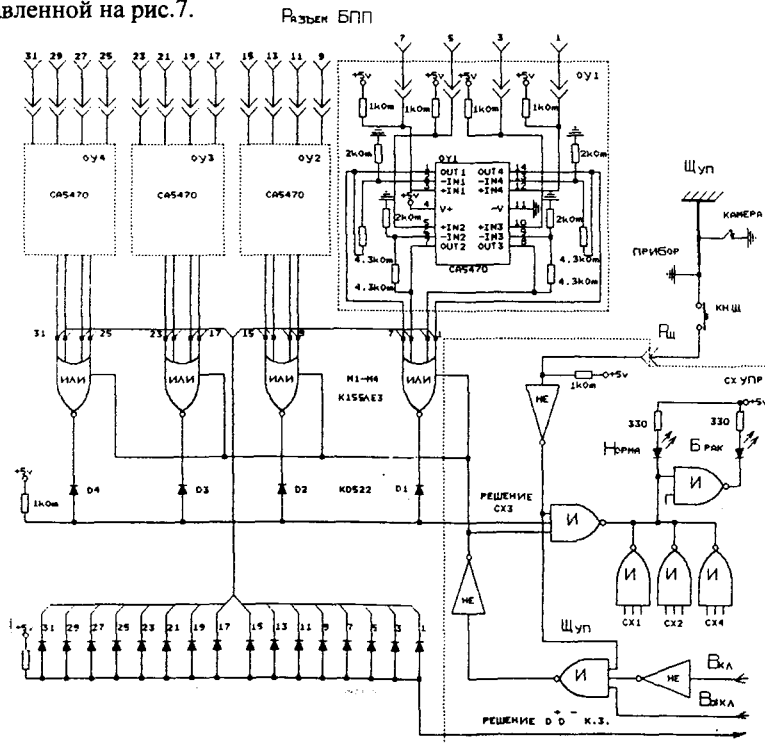


Рис.7

При проверке используется дополнительное оборудование в виде внешнего щупа, позволяющего осуществлять контактную связь со всей поверхностью проверяемой катодной плоскости. Контактная часть щупа заземляется. Подключение щупа к прибору осуществляется с помощью разъема Р<sub>щ</sub>. В рабочее состояние щуп приводится переключателем Кн<sub>щ</sub>.

Из рисунка видно, что 16 проверяемых стрипов подключаются к неинвертируемым входам операционных усилителей ОУ1 – ОУ4 (микросхемы СА5470), выходы которых поступают на микросхемы М1-М4 (К155ЛЕ3). Микросхемы М1-М4 вместе с диодами Д1-Д4 (КТ522) образуют схему положительного ИЛИ. До начала манипуляций со щупом схема ИЛИ заблокирована. Все неинвертируемые входы операционных усилителей подключены к источнику питания +5В, и на них удерживается потенциал открытых защитных диодов Д<sup>+</sup>. Коэффициент усиления операционных усилителей выбран таким, что этого напряжения достаточно для срабатывания схемы ИЛИ. При выполнении операции, щуп соединяет с землей все проверяемые в данный момент 16 стрипов. Включением Кн<sub>щ</sub> снимается блокировка со схемы ИЛИ и включается электроника щупа. В результате заземления стрипов на неинвертируемых входах операционных усилителей потенциал падает до 0,18 – 0,2В. Этого напряжения, при заданном коэффициенте усиления ОУ недостаточно для срабатывания схемы ИЛИ, сигнал ошибки не вырабатывается и прибор индицирует состояние «Норма». В случае, если хотя бы один стрип не соединен с выходным разъемом катодной плоскости, на соответствующем входе ОУ остается высокий потенциал и схема ИЛИ выработает сигнал «Брак».

При необходимости описанная схема может быть использована для обнаружения короткозамкнутых диодов Д<sup>+</sup>, Д. Применяемые в схеме операционные усилители способны отличить потенциал открытого диода от короткозамкнутого диода. Операция выполняется при выключенной электронике щупа (Кн<sub>щ</sub> разомкнут) и полной изоляции щупа от проверяемых стрипов. Если в цепях проверяемых стрипов имеются короткозамкнутые диоды, дополнительная



схема ИЛИ (Д5-Д20) выработает сигнал «Брак». Если короткозамкнутые диоды отсутствуют – сигнал «Норма».

#### 1.4. Схема обнаружения замыканий между стрипами

Схема проверки представлена на рис.8

Проверяемые в данный момент 16 стрипов в схеме проверки разбиваются на четные и нечетные. Через токозадающие сопротивления 1кОм восемь нечетных стрипов подключаются к источнику питания -5В, а восемь четных – к источнику +5В и подаются на неинвертируемые входы операционных усилителей ОУ1 и ОУ2 (СА5470). При отсутствии замыканий между стрипами на неинвертируемых входах операционных усилителей удерживается потенциал открытых диодов Д<sup>+</sup>. Коэффициент усиления ОУ выбирается таким, чтобы напряжения на выходах СА было достаточно для срабатывания последующих схем М1-М8 (КТ155ТЛ2). В результате на всех выходах М1-М8 появляется низкий потенциал и схема ИЛИ М9-М16 (К155ЛН2) не выработывает сигнала ошибки. Прибор показывает состояние «Норма».

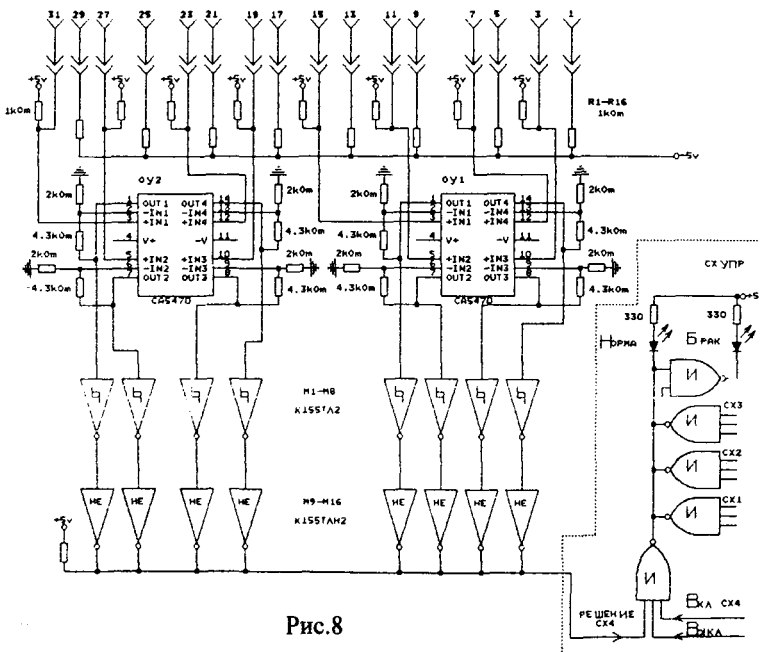


Рис.8

При наличии замыканий между стрипами на соответствующем входе ОУ образуется цепь из дополнительно соединенных элементов, рис.9.

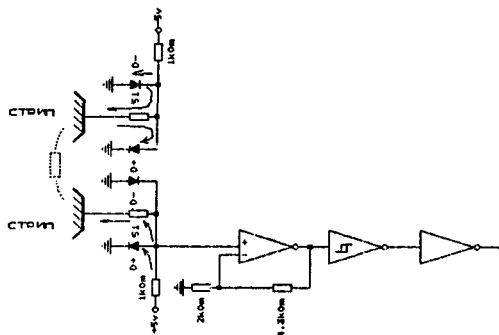


Рис.9

Эффект наличия замыкания проявится в том, что потенциал на этом входе ОУ снизится до минус 0,18-0,2В за счет включения в эту цепь потенциала открытого диода Д. Этого напряжения недостаточно для преодоления порога триггера Шмита на входах микросхем М1-М8. Потенциал на выходе инвертора по цепи замкнутого стрипа станет высоким и последующая схема ИЛИ (М9-М16) выработает сигнал ошибки «Брак». Поскольку, по разным причинам, сопротивление замыкания стрипов может отличаться от нуля, в ходе настройки прибора была измерена величина максимально допустимого сопротивления, при котором БПП воспринимает ситуацию, как замкнутые стрипы. Величина этого сопротивления составила около 1,5кОм.

### 1.5. Схема управления работой БПП

Из рис.10 видно, что все функции управления прибором реализуются переключателем ПК Упр. и связанной с ним электроникой. Последовательным переключением ПК Упр. схемы СХ1-СХ4 поочередно подключаются к источникам питания, и снимается блокировка их работы. В результате манипуляций переключателем схемы проверки получают требуемые управляющие сигналы, а полученные в этих схемах решения индицируются в схеме управления либо состоянием «Норма», либо состоянием «Брак».

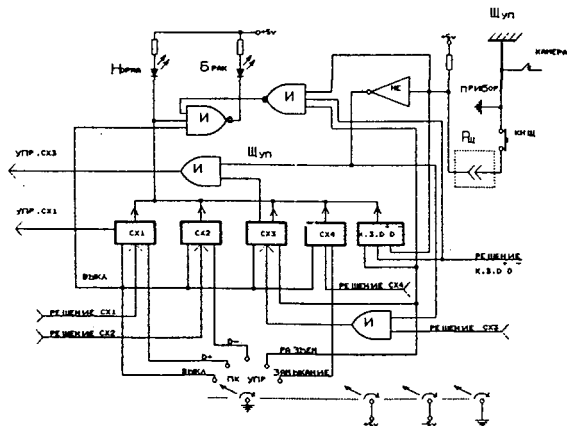


Рис.10

## 2 Блок проверки качества многожильных кабелей - БПК

При сборке многопроволочных катодных стриповых камер широко используются многожильные соединительные кабели, изготовление которых организовано на производственных площадях отделения III ЛФЧ ОИЯИ. В качестве исходного материала используется плоский 34 или 40-жильный кабель, разделанный по концам на соединительные разъемы типа 3М No. 3414 и 3М No. 3417 соответственно. Основная часть кабелей защищена круглой экранирующей оплеткой. В условиях массового производства (порядка 6000 кабелей) возникла необходимость создания прибора для контроля качества изготавливаемых кабелей, БПК.

Блок-схема прибора представлена на рис.11.

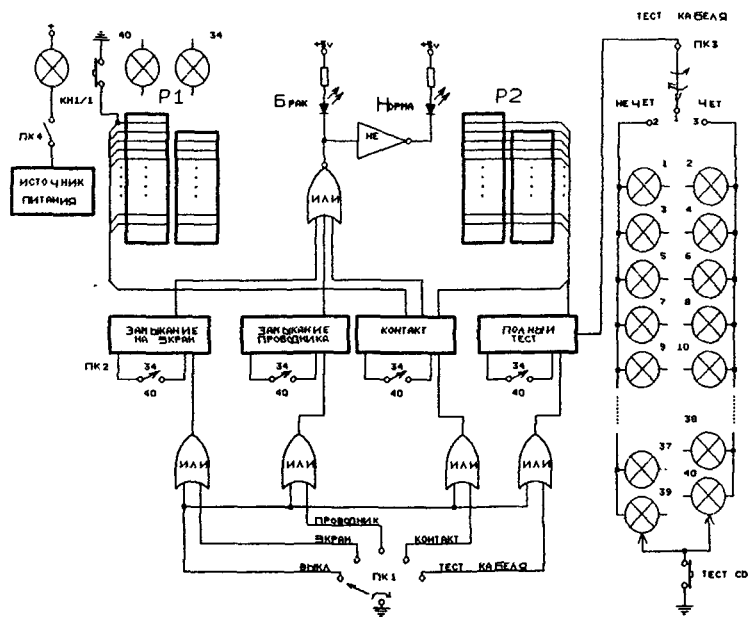


Рис.11

Блок проверки кабелей позволяет выполнять следующие контрольные операции:

- обнаружение замыканий проводников кабеля на заземленную экранирующую оплетку;
- обнаружение замыканий между соседними проводниками плоского кабеля;
- проверка наличия контактов проводников кабеля с соединительными разъемами кабеля.

Результаты проверки индицируются двумя светодиодами на передней панели БПК, обозначенными как «Норма» или «Брак». В случае получения результата «Брак» предусмотрена возможность полного тестирования кабеля, позволяющего точно локализовать место и вид неисправности. Подключение проверяемого кабеля к прибору осуществляется через разъемы, обозначенные на схеме как P1 и P2. При выполнении операций по обнаружению замыканий на экран или замыканий между проводниками проверяемый кабель подключается одним

концом только к разъему P1. При проверке наличия контактов и полном тестировании кабеля его второй конец включается в разъем P2 прибора.. Манипуляции по выбору вида проверки осуществляются переключателем ПК1. Переход от проверки 40-жильных кабелей к проверке 34-жильных осуществляется многоконтактным переключателем ПК2.

## 2.1. Схема обнаружения замыканий в кабеле

Схема, позволяющая обнаруживать замыкания проводников кабеля на экран и замыкания между проводниками кабеля, представлена на рис.12.

Для обнаружения замыканий проводников кабеля на заземленную экранирующую оплетку все проводники проверяемого кабеля через разъем P1 подключаются на входы микросхем M1–M6 (K155ЛИ2) (рис.12). В исходном состоянии входы M1–M6 имеют высокие потенциалы за счет сопротивлений 1кОм, подключенных к источнику питания +5В, а их выходы образуют схему проводного ИЛИ. Причем группа микросхем с нечетными проводниками кабеля на входах образует схему ИЛИ-1, а с четными - схему ИЛИ-2.

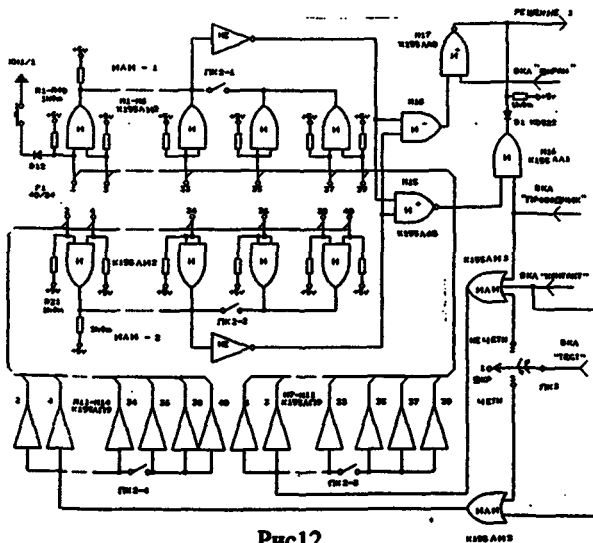


Рис.12

Если замыкания проводников кабеля на экранирующую оплетку отсутствуют, то на выходах ИЛИ-1 и ИЛИ-2 сохраняются высокие потенциалы,

которые после инверсии поступают на входы микросхемы М16 (К155ЛЛ1) и далее через М17(К155ЛА8) на выход «Решение1», вызывая срабатывание светодиода «Норма». Если хотя бы один проводник кабеля оказывается замкнутым на экранирующую оплетку, то на соответствующем этому проводнику выходе схемы ИЛИ вырабатывается низкий потенциал, который через те же М16, М17 вызывает срабатывание светодиода «Брак».

Для обнаружения замыканий между проводниками кабеля переключателем ПК1 одновременно на все нечетные проводники через микросхемы М7–М11 (К155ЛП9) подается низкий потенциал, а потенциал четных проводников, за счет токозадающих сопротивлений, остается высоким. Если замыкания между проводниками кабеля отсутствуют, то потенциал на выходе ИЛИ-2 остается высоким, загорается «Норма». Если в проверяемом кабеле имеет место замыкание проводников, то низкий потенциал с нечетного проводника попадет на замкнутый с ним четный и на выход схемы ИЛИ-2. В этом случае результатом работы приведенной схемы будет горящий светодиод «Брак».

На рис.12 показано также, как с помощью многоконтактного переключателя ПК2 решена проблема перехода из режима проверки 34-жильных кабелей в режим проверки 40-жильных кабелей, а также как с помощью кнопки Кн1/1 проверяется соответствие первого контакта разъема Р1 первому контакту разъема Р2. При нажатии Кн1/1 должен загореться светодиод СД1. Если загорится СД34(СД40) – кабель перевернут.

## 2.2. Схема проверки соединений проводников кабеля с выходными разъемами

На рис.13 представлена схема, с помощью которой реализуется проверка надежности соединений проводников кабеля с разъемами.

Для выполнения этой операции второй конец проверяемого кабеля подключается к разъему Р2 прибора. Контакты Р2 распаяны на входы микросхем М1–М11 (К155ЛЕ3), выходы которых с помощью диодов Д1–Д11 (КД522) образуют схему положительного ИЛИ (на рис.12 ИЛИ-3). Все входы микросхем М1–М11 через сопротивления 1кОм соединены с источником питания +5В. До включения режима «Контакт» схема ИЛИ-3 заблокирована по линии «Строб».

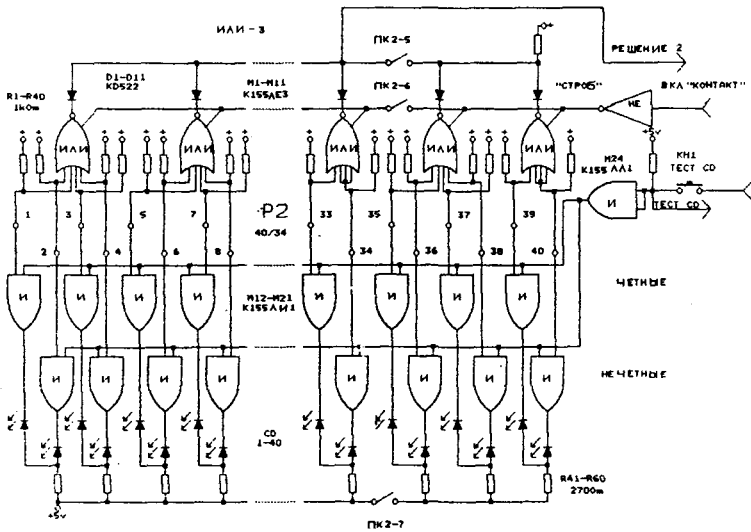


Рис.13

При выполнении операции проверки снимается блокировка со съемы ИЛИ-3 и одновременно по всем проводникам проверяемого многожильного кабеля от разъема P1 к разъему P2 передается низкий потенциал. Если все контакты в проверяемом кабеле надежны, то низкий потенциал по проводникам кабеля поступает на входы схемы ИЛИ-3, удерживая на ее выходе «Решение 2» высокий потенциал, что приводит к срабатыванию светодиода «Норма» (рис.14).

Если хотя бы по одному проводнику кабеля нарушены соединительные контакты, то на соответствующем этому дефекту входе схемы ИЛИ-3 остается высокий потенциал. Схема положительного ИЛИ вырабатывает сигнал «Брак». Изменение числа проводников многожильного кабеля осуществляется тем же многоконтактным переключателем ПК2.

Если результат проверки идентифицируется как «Брак», то проводится полное тестирование кабеля, позволяющего локализовать место неисправности с точностью до номера проводника кабеля, (контакта разъема). Для этой цели в приборе БПК используются 40 светодиодов, расположенных на панели прибора в два ряда, соответствующих четным и нечетным проводникам кабеля (рис.11,13).

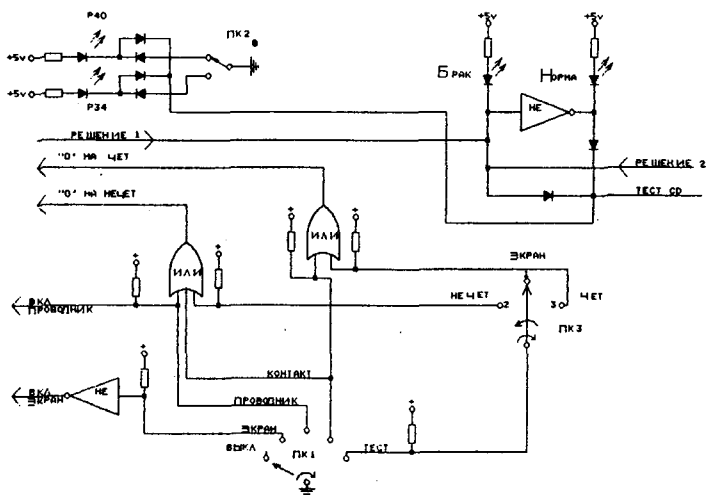


Рис.14

Проверяемый кабель остается в разъемах P1 и P2, а переключатель ПК1 устанавливается в положение «Тест». При этом все предыдущие режимы проверки блокируются, а средняя точка трехпозиционного переключателя ПК3 подключается к земле (рис.14). Переключатель ПК3 в режиме «Тест» управляет уровнем потенциалов на контактах разъема P1 (рис.12).

В среднем положении переключателя ПК3 все контакты разъема P1 сохраняют высокий потенциал, который по испытуемому кабелю передается на входы схем M12–M21 (K155ЛИ1) рис13. Эти микросхемы обеспечивают работу светодиодов СД1–СД40 (АЛС310). Если в проверяемом кабеле нет замыканий на заземленную экранирующую оплетку, то ни один из светодиодов не горит. Если в кабеле имеются проводники, замкнутые на экран, то загорается светодиод, соответствующий номеру замкнутого на экран проводника.

Переключением ПК3 в положение «Нечетные» на все нечетные контакты разъема P1 (рис.12) подается низкий потенциал, который по проверяемому кабелю поступает на нечетные контакты P2, а с них на нечетные светодиоды. В результате при исправном кабеле все нечетные светодиоды горят и при отсутствии замыканий между проводниками четные светодиоды не горят. Если



имеет место нарушение контактов, то соответствующий этому дефекту нечетный светодиод не горит. При наличии замыканий между проводниками кабеля, помимо нечетных, загорается соответствующий четный светодиод.

Для исключения неоднозначности, то есть уточнения, каким именно нечетным проводником замкнут четный, переводим ПК3 в положение «Четные». При этом низкий потенциал поступает на четные контакты P2, а с них на входы четных светодиодов и, если кабель исправен, то загораются все четные светодиоды и соответствующий замыканию нечетный.

В приборе предусмотрена проверка исправности всех светодиодов при помощи кнопки Кн1 (рис.10,12). Рис.14 ясно показывает все управляющие манипуляции, реализуемые с помощью переключателя ПК1 и способы представления результатов проверочных операций.

### 3 Источники питания

Для обеспечения работы приборов БПП и БПК разработаны и изготовлены источники питания в автономном исполнении, удобном для их переноски вместе

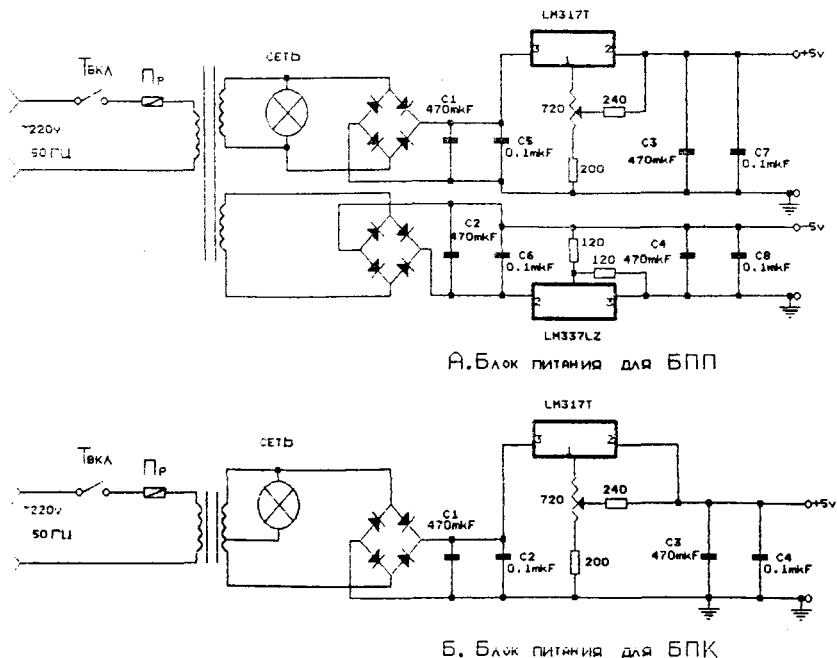


Рис.15

с приборами. Функционально источники питания выполнены по схеме, содержащей сетевой понижающий трансформатор, выпрямительные диоды, сглаживающие фильтры и стабилизирующие элементы, рис15.

Все детали источников питания размещены в кожухах ППН (прибор постоянного напряжения), используемых в качестве конструктивной основы при изготовлении источников питания.

Основные технические характеристики источника питания для прибора БПП( рис.14,а):

- напряжение сети 220В, 50Гц
- выходное напряжение +5В с допустимым током нагрузки до 1А;
- выходное напряжение – 5В с током нагрузки до 250 мА;
- уровень пульсаций ниже 1%.

Основные характеристики источника питания для прибора БПК( рис.14,б):

- Напряжение сети 220В, 50Гц;
- Выходное напряжение +5В с током нагрузки до1,5А;
- Уровень пульсаций ниже 1%.

## **Заключение**

В настоящее время созданные приборы используются на производственных участках отделения III Лаборатории физики частиц. На сегодня проверено свыше 400 катодных плоскостей и более 4000 кабелей различной модификации. Работа с приборами показала, что все заложенные в приборах возможности проверки оказались востребованы. При проверке катодных плоскостей наиболее частые неисправности связаны с технологическими дефектами и с некачественной пайкой, реже с неисправными компонентами. При проверке кабелей наиболее частые дефекты связаны с разделкой соединительных разъемов.

Не исключается использование функциональных возможностей созданных приборов для проверки качества другого оборудования физических установок, имеющего подобные конструктивные компоненты.

В заключение авторы выражают благодарность В.С.Хабарову за содействие при выполнении работ, В.С.Царькову, и Н.Ф.Бахметову за помощь по изготовлению приборов, Н.С.Головой и О.А. Севериновой за помощь в оформлении публикации.

## **Список литературы**

1. CMS, The Compact Muon Solenoid, Technical Proposal CERN/LHCC 94-38,1994.
2. CMS, Muon Project Technical Design Report, CERN/LHCC 97-32, 1997.

Получено 14 августа 2003 г.