

Г-788

20/I-69

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



10 - 4173

А.Г.Грачев, П.И.Филиппов

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

САМОГАШЕНИЕ ИСКРЫ И ЗАПИСЬ ИНФОРМАЦИИ  
В МАТРИЦЫ ПАМЯТИ ПРОВОЛОЧНЫХ  
ИСКРОВЫХ КАМЕР

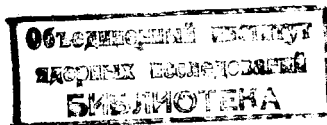
1968

10 - 4173

А.Г.Грачев, П.И.Филиппов

САМОГАШЕНИЕ ИСКРЫ И ЗАПИСЬ ИНФОРМАЦИИ  
В МАТРИЦЫ ПАМЯТИ ПРОВОЛОЧНЫХ  
ИСКРОВЫХ КАМЕР

Направлено в ПТЭ



## *В в е д е н и е*

Проволочная искровая камера с ферритовой памятью к настоящему времени стала широко распространенным автоматическим прибором ядерной физики. Все основные задачи, связанные с надежностью, экономичностью и скоростью работы систем ферритовых камер уже решены. Однако имеется ряд вопросов, требующих дополнительного внимания. Так, например, при некоторых условиях ток искры имеет колебательный характер, проявляющийся в основном в виде выброса тока обратной полярности, следующего за задним его фронтом. Иногда эти выбросы возвращают ферритовые кольца в исходное состояние, стирая при этом информацию и снижая эффективность регистрации камер. Помимо этого наличие выбросов тока обратной полярности является препятствием на пути дальнейшего увеличения скорости вывода данных с ферритовых камер. Настоящая работа посвящена вопросу компенсации емкостных токов, препятствующих записи данных в групповые ферритовые кольца камер, и поиску метода гашения выбросов тока в искре. Одновременно рассмотрен вопрос выбора ферритовых сердечников для матриц памяти камеры.

### *1. Выбор ферритовых сердечников для матриц памяти искровых камер*

По назначению ферритовые сердечники подразделяются на два типа. Одни из них изготавливаются для переключающих устройств (ПУ), ра-

ботающих в режиме переключения полными токами, а другие - для запоминающих устройств (ЗУ), работающих в режимах совпадения частей тока, большей частью двух полутоков. В проволочных искровых камерах они работают в режиме переключающих устройств. Однако сердечники, выпускаемые промышленностью для ПУ, имеют внешний диаметр 2 мм и более. Поэтому в искровых камерах используют ферритовые сердечники ЗУ, имеющие меньшие размеры, хотя они имеют большие потери на гистерезис и времена переключения. Т. к. по принципу работы ферритовые сердечники являются пороговыми токовыми элементами, переключающимися при определенном соотношении между амплитудой тока и ее длительностью, то необходимо выяснить, какие из них лучше подходят для работы в условиях тока искры проволочных искровых камер.

Длительность тока искры проволочных искровых камер определяется временем разряда собственной статистической емкости искровой камеры через сопротивление искры или длительностью импульса в/в питания и равна  $50 \pm 150$  нсек. При этом амплитуда тока в искре колеблется от единиц до сотни ампер. Поэтому ферритовые кольца камер должны иметь время переключения от тока искры камеры меньше, чем 50 нсек. Кроме этого шаг проволочек в камере (1 мм) требует, чтобы внешний диаметр ферритовых колечек был меньше 3-х мм. Этим условиям могут удовлетворить ферритовые кольца памяти типа 0,16 ВТ, 0,7 ВТ, 1,3 ВТ, 2 ВТ и 4 ВТ, выпускаемые промышленностью. Временные характеристики этих колец в зависимости от величины переключающего магнитного поля приведены на рис. 1. Экстраполяцией кривых этого рисунка нетрудно показать, что многие из рассматриваемых колец при токах, меньших 5 а, могут переключаться за  $15 \pm 50$  нсек. Это подтверждается и экспериментальной проверкой. Таким образом, приведенные выше типы ферритовых сердечников имеют удовлетворительные времена переключения и геометрические размеры, подходящие для использования в проволочных искровых камерах. Дополнительно необходимо знать возможности последовательного соединения выходных обмоток матриц памяти камер и передачи их сигналов по кабелю на расстояния 60 и более м, так как последовательное соединение выходных обмоток и возможность транспортировки выходных сигналов на большие расстояния позволят значительно сок-

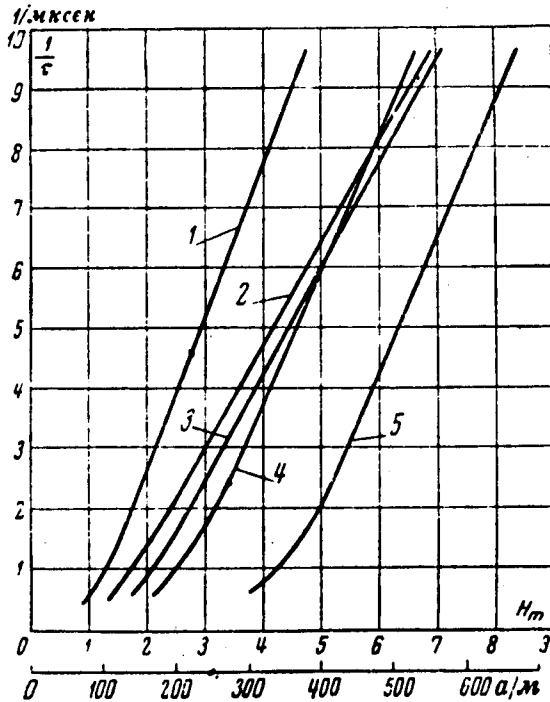


Рис.1. Кривые  $\frac{1}{Q} = \frac{1}{r} (H_m)$  ферритовых сердечников. 1 - марки 0,16ВТ ( $D = 3$  мм,  $d = 2$  мм); 2 - марки 0,7ВТ ( $D = 3$  мм,  $d = 2$  мм); 3 - марки 1,3ВТ ( $D = 2$  мм,  $d = 1,4$  мм); 4 - марки 2ВТ ( $D = 1,4$  мм,  $d = 1$  мм); 5 - марки 4ВТ ( $D = 1,4$  мм,  $d = 1$  мм).

ратить потребность в общем количестве полупроводниковых усилителей в системах проволочных искровых камер.

Для того чтобы выяснить эти возможности, был проведен расчет полезных выходных сигналов  $E_o$ , сигналов помех  $E_{\Pi}$ , отношения  $E_o/E_{\Pi}$  для двух значений тока считывания (1а и 2а) и подсчитаны импульсные выходные мощности при токе считывания 2 а для всех типов рассматриваемых сердечников. Расчетные формулы и графики для определения значений  $\tau$  (рис. 1) заимствованы из работы /1/. Данные для расчета и его результаты сведены в таблицу.

Амплитуды полезного выходного сигнала определялись по формуле:

$$E_o = |H_m - H_0| \frac{2w_2 Q V_r}{S K_{\phi}}$$

где  $H_m$  - максимальное значение переключающего магнитного поля;  $H_0$  - магнитное поле старта;  $w_2$  - число вторичных витков сердечника;  $Q$  - сечение сердечника в  $m^2$ ;  $V_r$  - значение остаточной магнитной индукции;  $S$  - коэффициент переключения;  $K_{\phi}$  - коэффициент формы кривой.

Сигнал помехи рассчитан по формуле:

$$E_{\Pi} = \frac{w_2 Q \cdot \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot H_m}{\tau K_{\phi_0}}$$

где  $\mu_0$  - магнитная проницаемость вакуума;  $\mu_1$  - проницаемость сердечника при изменении магнитного потока от  $V_r$  до максимального его значения  $V_m$ ;  $\tau_{\phi}$  - длительность переднего фронта импульсов перемагничивания  $H_m$ ;  $K_{\phi_0}$  - коэффициент формы выходного напряжения помехи. Остальные значения те же, что и в формуле для  $E_o$ .

Выходная мощность, получающаяся при переключении ферритового кольца из состояния "1" в состояние "0", рассчитывалась по формуле

$$P = \frac{A_1 - A_{\Gamma}}{1,25 \tau} = \frac{[H_m (V_m + V_r) - 2V_r H_0] Q \cdot \ell}{1,25 \tau}$$

где  $H_0$  - коэрцитивная сила сердечника,  $\ell$  - длина средней линии магнитного потока,  $\tau$  - время переключения ферритового кольца при данном токе считывания;  $A_1$  - полная работа при переключении кольца из

Таблица

Параметр	Марка феррита					
	0,16 ВТ	0,7 ВТ	1,3 ВТ	2 ВТ	4 ВТ	0,7 ВТ
Размеры (D,d,h)	3x2x1,3	3x2x1,3	2x1,4x0,6	1,4x1x0,6	1,4x1x0,6	2x1,4x0,9
$H_0$ амп/м	71	95	127	183	326	95
$H_c$ амп/м	13	56	103	160	320	56
$s$ мк.к./м. $10^{-6}$	32	47	45	37	36	47
$Q$ м <sup>2</sup> . $10^{-6}$	0,65	0,65	0,27	0,12	0,12	0,27
$\mu_0$ $10^{-7}$	4	4	4	4	4	4
$\mu_1$	170	42	31	15	14	42
$B_2$ тл	0,205	0,255	0,24	0,185	0,18	0,255
$k\Phi = k\Phi_0$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$\tau_{\Phi}$ (при $J_a = I_a$ ) мксек	0,5	1,25	1,0	0,5	-	1,00
$\tau_{\Phi}$ (при $J_{oc}$ $= 2a$ ) мксек	0,17	0,3	0,2	0,1	0,18	0,2
$H_m$ (при $J_{oc}$ $= I_a$ ) а/м	127	127	158	265	265	-
$H_m$ (при $J_{oc} = 2a$ ) а/м	254	254	316	530	530	316
$E_{св}$ (при $J_{oc} = I_a$ )	0,80	0,375	0,155	0,164	-	-
$E_{пв}$ (при $J_{oc} = I_a$ )	0,058	0,006	0,003	0,002	-	-
$E_c/E_{п}$	13,8	62,0	53	82	-	-
$E_{сМв}$ (при $J_{oc} = 2a$ )	1,58	1,90	0,92	0,694	0,408	1,08
$E_{пв}$ (при $J_{oc}$ $= 2a$ )	0,345	0,058	0,110	0,036	0,007	0,034
$E_c/E_{п}$	4,55	32,8	8,70	19,3	58	30,6
$P_u$ МВТ	-	1420	607	590	-	-

"1" в "0";  $A_{\Gamma}$  - потери на гистерезис при переключении кольца из "1" в "0".

По данным таблицы видно, что большие амплитуды выходных сигналов при хорошем соотношении сигнала к помехе ( $> 8$ ), получаются у ферритов 0,7 ВТ; 1,3 ВТ и 2 ВТ. Следовательно, на них и следует остановить выбор. Сравнивая выходные сигналы от этих колец, мы видим, что наилучшими из них являются ферритовые сердечники марки 0,7 ВТ.

Но как отмечалось выше, сердечники этой марки не выпускаются диаметром меньшим 2 мм, хотя меньшие их размеры более предпочтительны в многотрековых камерах с малыми мертвыми временами, т.к. они позволят вести регистрацию при меньших токах искры.

## 2. Ослабление сигналов кабелем

Ослабление импульсов в кабеле <sup>/2/</sup> происходит за счет потерь энергии в металле кабеля  $\beta_R$  и в диэлектрике  $\beta_D$ . Общий коэффициент потерь  $\beta$  равен сумме этих потерь и определяется выражением

$$\beta = \beta_R + \beta_D = 21,6 \cdot 10^{-6} \frac{\sqrt{I_0 \epsilon}}{D} + 9,08 \cdot 10^{-8} \sqrt{\epsilon} f \operatorname{tg} \delta,$$

где  $\epsilon$  - диэлектрическая постоянная в/ч изоляции;  $f$  - рабочая частота;  $D$  - внешний диаметр в/ч изоляции кабеля;  $\delta$  - угол диэлектрических потерь в диэлектрике.

В работе <sup>/2/</sup> для кабеля РК-119 находим:  $D = 2,4$  мм;  $\epsilon = 2,28$ ;  $\operatorname{tg} \delta = 4 \cdot 10^{-4}$ . Расчетное значение  $f$  определим по времени переключения ферритовых сердечников  $\tau$  для выбранного значения тока считывания 2 ампера. При этом токе считывания у рассматриваемых сердечников  $\tau$  порядка 0,1 мксек, поэтому приближенное расчетное значение рабочей частоты можно принять равным

$$f \geq \frac{1}{\tau} = \frac{1}{0,1 \cdot 10^{-6}} = 10 \text{ мгц.}$$



Подставляя принятые значения в формулу для  $\beta$ , получим

$$\beta = 21,6 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{10 \cdot 10^6 \cdot 2,28}{2,4} + 9,08 \cdot 10^{-8} \cdot 2,28 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^{-4} =$$

$$\beta = 43,506 \cdot 10^{-3} \text{ дБ/м} \approx 5 \text{ непер/м.}$$

Ослабление импульсов напряжения определим по формуле:

$$U = U_0 e^{-\beta l},$$

где  $U_0$  - амплитуда импульса напряжения в начале кабеля;  $U$  - амплитуда импульса напряжения на конце кабеля;  $l$  - длина кабеля в км;

$\beta$  - коэффициент затухания в неперах.

Для 50 и 100 м кабеля РК-119 соответственно получим:

$$U_{50} = U_0 e^{-5 \cdot 0,05} = 0,77 U_0.$$

$$U_{100} = U_0 e^{-5 \cdot 0,1} = 0,666 U_0.$$

На конце стометрового кабеля РК-119 для сигналов от ферритовых сердечников 0,7 ВТ; 1,3 ВТ; 2 ВТ при токе считывания в 2 а соответственно получим следующие значения импульсов выходного напряжения

$$U = 1,270; 0,608; 0,535 \text{ в.}$$

Полученные значения сигналов легко усилить до стандартных рабочих величин, принятых в импульсной полупроводниковой технике, с помощью одного каскада усиления.

Практические испытания ферритовых колец типа 0,7 ВТ (3 x 2 x 1,3) и 1,3 ВТ (2 x 1,4 x 0,9) при работе на кабель РК-119 длиной 50 м. при токе считывания 1,8 а показали, что расчетные значения получились несколько завышенными. Это произошло, видимо, из-за неточного определения расчетного значения частоты для определения  $\beta$ . Однако, как показали расчет и практическая проверка, последовательное сое-

динение выходных обмоток камер возможно на базе до 100 м. При этом наиболее выгодно использовать ферритовые сердечники марки 0,7ВТ (3x2x1,3).

Дополнительно к сказанному выше следует заметить, что сигналы помех при последовательном соединении выходных обмоток матриц с помощью кабелей ослабляются значительно сильнее полезного сигнала, так как их длительность в 3-4 раза короче длительности полезного сигнала.

### 3. Предварительная индикация строк ферритовых матриц

Предварительная индикация строк, на которые пробивается искра, вводится для сокращения времени обращения к матрицам памяти ферритовых искровых камер /3,4,5/. Эта индикация осуществляется с помощью группового кольца, общего для каждой строки матрицы памяти (рис.2).

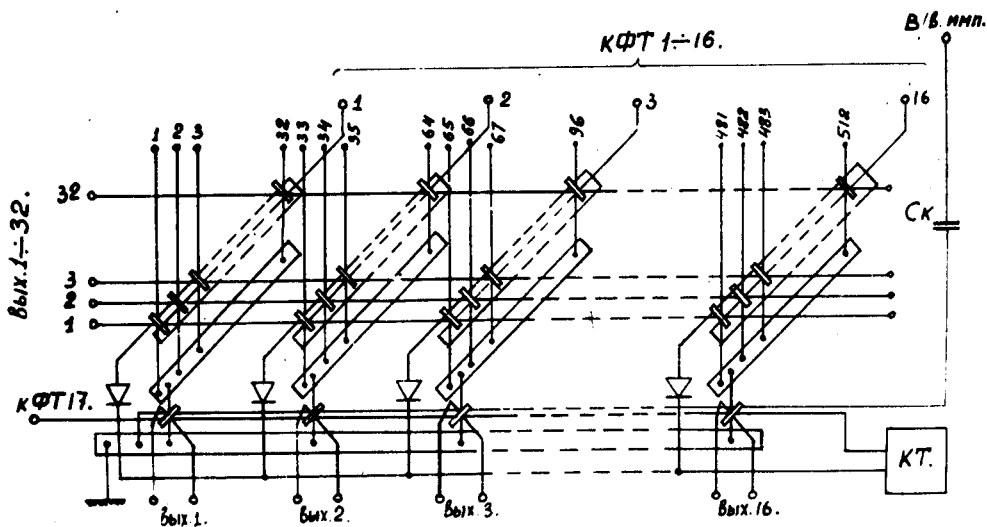


Рис.2. Матрица памяти искровых камер с групповыми ферритовыми сердечниками.

Условия работы групповых колец отличаются от условий работы колец матрицы. Это отличие связано со значительным емкостным током, обусловленным собственной емкостью той части камеры, которую занимают проволочки одной группы ферритовых колец. В нашем эксперименте собственная емкость всей камеры составляла  $\approx 180$  пф. Для группы из 32 проволочек она равнялась 23 пф. При подаче в/в импульса через эту емкость протекает ток полярности, совпадающий с последующим током искры в камере. Величина этого тока зависит от амплитуды и длительности переднего фронта в/в импульса питания камеры и достигает значений, превышающих ток опрокидывания группового ферритового кольца. Так как емкостный ток камеры протекает, как правило, раньше тока искры, то его можно компенсировать током компенсирующей емкости  $C_k$  (рис. 2), по величине равной или большей собственной емкости группы. Эту компенсацию можно проводить или от в/в импульса питания камеры или от специального импульсного источника, если увеличение собственной емкости камеры нежелательно. Нами было проведено измерение емкостных токов и проверена надежность работы групповых колец. На рис. 3 а, б, в, г и д приведены осциллограммы емкостных токов группы из 64 проволочек 256-проволочной искровой камеры, соответствующие напряжениям питания 4, 5, 6, 7 и 8 кв, и тока компенсирующей емкости  $C_k$  рис. 3 е, равной 27 пф. Все осциллограммы токов снимались с измерительного сопротивления в 3 ом осциллографом типа С1-10 с чувствительностью по вертикали 4 в/мм. Для целей измерения в начале развертки засняты три темные метки с шагом 0,5 см. Так сделано и на всех последующих осциллограммах. Кадры начинали снимать от напряжения 4 кв, т.к. от емкостного тока этого напряжения начиналась запись в групповое кольцо матрицы памяти.

Матрица камеры была изготовлена из колец марки 1,3 ВТ (2x1,4x0,9). По импульсу (рис. 3а) нетрудно определить, что ферритовое кольцо типа 1,3 ВТ переключается от амплитуды емкостного тока 2,3 ампера длительностью 50 нсек. Аналогичные измерения были проведены с одномиллиметровыми ферритовыми кольцами. Измерения показали, что миллиметровое кольцо переключается 12-наносекундными импульсами при токе 2,7 а и 20-наносекундными импульсами при токе 2,5 а. По данным

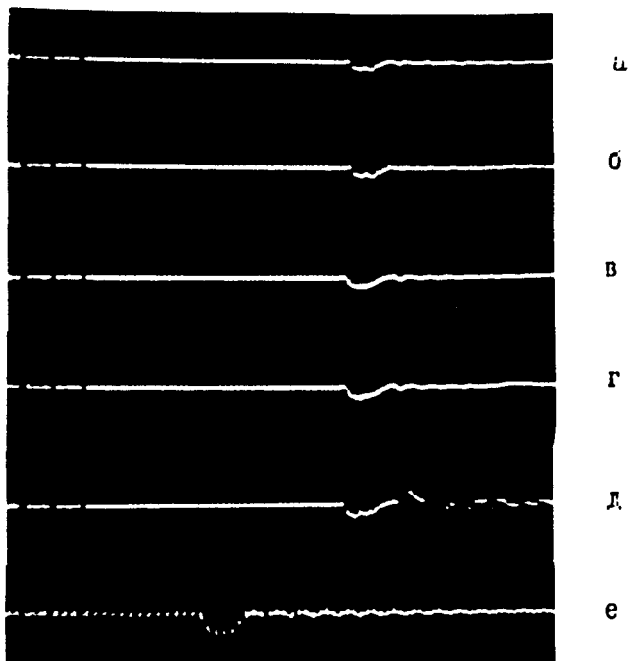


Рис.3. Осциллограммы емкостных токов через групповое ферритовое кольцо искровой камеры: в,б,в,г и д - формы импульсов тока от паразитной емкости 64 проволочек камеры при импульсах напряжения, соответствующих 4,5,6,7 и 8 кв; е - форма импульса тока компенсации от емкости  $C_K$  при амплитуде импульса напряжения в 4 кв. Цена меток 10 нсек.

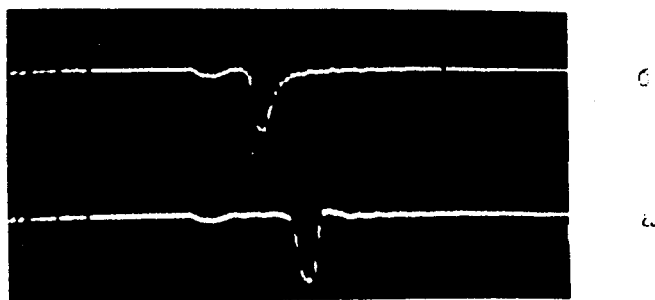


Рис.4. Осциллограммы тока разряда емкости камеры: а - при продувке камеры смесью 24% неона и 76% гелия, б - при продувке неон-гелиевой смесью через спирт при 0°C. Цена меток 10 нсек.

осциллограмм ( рис. 2 а, б, в, г, д) построен график зависимости емкостного тока от импульсного напряжения питания (рис. 10).

Сама по себе принципиальная схема компенсации паразитного емкостного тока групповых колец не требовала практической проверки. Однако при работе первой системы /3,4/ иногда наблюдалось стирание данных в кольцах матрицы и в групповых кольцах. Именно этим и было вызвано дополнительное изучение условий работы ферритовых сердечников в ферритовых искровых камерах.

Проверка показала, что стирание информации ферритовых сердечников искровых камер связано с условиями гашения искры газовой смесью, которой продуваются камеры. В связи с тем, что в этой работе невозможно подробно осветить вопросы развития искрового разряда и его гашения в газах, ниже лишь коротко перечисляются функции благородных газов в газовом разряде, основные процессы газового разряда и его гашения и рассматривается их влияние на форму тока искры проволочных искровых камер. Подробно теория газового разряда изложена в работах /6,7,8,9/.

#### *4. Влияние благородных газов на искровой разряд*

Из теории развития разряда в различных газоразрядных счетчиках /6,7,8/ и искровых камерах /9/ известно, что процесс искрового разряда в газах зависит от основного газового наполнения и его примесей. В качестве основных наполнителей газоразрядных приборов используются благородные газы: аргон, неон, гелий и их смеси. Выбор на эти газы выпал потому, что они имеют хорошую прозрачность для ультрафиолетового излучения. В этих газах подвижность электронов и ионов выше, чем в других. Благодаря этому и ряду других причин (рассмотрение которых выходит за рамки этой работы) счетчики с этими газами имеют большую скорость развития разряда, малое значение пробивного рабочего напряжения, малые временные флюктуации начала развития разряда, лучшую в сравнении с другими газами эффективность регистрации частиц. В смеси с другими газами аргон, неон и гелий позволяют получить хорошие счетные характеристики с шириной рабочего плато до 4 кв, необходимые значения мертвого времени и времени памяти счетчиков.

Наряду с положительными качествами приборы с наполнением благородными газами имеют и недостатки. Так, у них нет стабильного значения пробивного напряжения, они дают ложные срабатывания, в них легко высвечивается газовый объем и слабо локализуется искра по треку частицы (в счетчиках в этом необходимости нет).

### *5. Механизм искрового разряда*

Искровой разряд в газе при нормальных рабочих напряжениях газоразрядного прибора может начаться при наличии в нем свободных заряженных частиц — электронов и ионов. При регистрации заряженных частиц свободные электроны и ионы возникают по пути движения заряженной частицы. В условиях внешних электрических полей электроны в газе получают скорости, достаточные для ударной ионизации и возбуждения молекул газа. В искровом разряде ударная ионизация имеет лавинный характер. Ионизированные и возбужденные атомы искрового разряда при этом восстанавливаются, рекомбинируют и дают ультрафиолетовое излучение. Ультрафиолетовое излучение, в свою очередь, может производить ионизацию и возбуждение молекул газа и выбивать с материала катода электроны, поддерживающие разряд. Этот процесс называют фотоэффектом.

Вырывание электронов, поддерживающих искровой разряд, могут вызвать и ускоренные ионы, если длительности импульсов напряжения питания  $\geq 10^{-5}$  сек. Ионы при этом участвуют также в процессах ударной ионизации и возбуждения.

При малых длительностях импульсов питания (меньших  $10^{-7}$  сек) искровой разряд вызван в основном ударной электронной ионизацией и фотоэффектом.

### *6. Самогашение разряда*

Для автоматического гашения разряда в самогасящихся газоразрядных счетчиках к наполнителям из благородных газов добавляют мно-

гоатомные гасящие добавки. Гасящими свойствами обладают пары ацетона, фрона, пропана, трехфтористого бора, амилацетата, метана и спирта. Многоатомные молекулы этих паров под действием электронов и ультрафиолетового излучения легко диссоциируют на составляющие. При этом воздействие электронов и гамма-квантов на искровой разряд нейтрализуется.

Время распада молекул очень мало и имеет порядок  $10^{-12}$  -  $10^{-13}$  сек. Сами же составляющие многоатомных молекул остаются тяжелыми и неспособными приобрести скорости, достаточные для поддержания разряда. Дополнительно к этому тяжелые ионы окружают нитевой катод и снимают там большие градиенты электрических полей, обеспечивающие ударную ионизацию и окончательно гасят разряд в счетчике.

#### *7. Дополнительные функции многоатомных добавок*

Помимо гашения разряда многоатомные добавки несколько увеличивают и стабилизируют значение начального пробивного напряжения благородных газов, позволяют значительно расширить область рабочих напряжений или плато счетчиков, устраняют свечение в объеме газа, обеспечивают условия для локализации пробоя искры по ионизационному следу ядерных частиц и позволяют воздействовать на время памяти счетчиков.

#### *8. Явление гашения разряда в ферритовых искровых камерах*

В искровых камерах и в том числе в ферритовых искровых камерах, работающих от импульсов в/в питания длительностью порядка  $10^{-7}$  сек, искровой разряд по ионизационному следу частиц развивается в основном за счет ударной электронной и фотоионизации <sup>17/</sup>. Рабочий объем искровых камер в отличие от объема газоразрядных счетчиков не наполняется рабочей газовой смесью, а продувается, поэтому в них отсутствует старение газа, вызываемое в счетчиках делением молекул многоатомных примесей. Обычно камеры продуваются смесью из 24% неона и 76% <sup>11/</sup> гелия без примесей, но чаще всего неон-гелиевой смесью

через спирт при  $0^{\circ}\text{C}$ . В основном пары спирта в искровых камерах так же, как и в счетчиках предназначены для устранения свечения газа, ложных пробоев, для стабилизации начального пробивного напряжения, расширения рабочего плато по напряжению (для увеличения эффективности регистрации частиц и получения хороших условий для локализации искры). Однако достаточно сравнить форму импульса тока искры при продуве камеры только неон-гелиевой смесью (рис.4а) и при продуве ее неон-гелиевой смесью через спирт (рис. 4б), чтобы заметить, что в последнем случае значительно расширяется задний фронт импульса. Дополнительно к этому в первом случае в зависимости от места пробоя искры в камере и амплитуды импульсного напряжения питания в импульсе тока искры наблюдаются выбросы обратной полярности различной амплитуды (рис.5). Эти выбросы полностью исчезают при продуве камеры неон-гелиевой смесью, пропускаемой через спирт при  $0^{\circ}\text{C}$  и выше во всем диапазоне рабочих напряжений ферритовой искровой камеры и независимо от места прохождения искры в камере (рис.7).

Фотографии сделаны с 256-проволочной искровой камеры с шагом намотки 1 мм и расстоянием между плоскостями проволочек 8 мм. Питание камеры осуществлялось в/в импульсами напряжения длительностью 80 нсек от лампового импульсного источника /11/, оконечный каскад которого приведен на рис. 8.

Нетрудно догадаться, что расширение заднего фронта импульса тока искры и устранение после него выбросов обратной полярности происходит за счет явления самогашения разряда парами спирта в условиях падающего напряжения искрового промежутка. Гашение разряда вызвано очевидно, в основном поглощением парами спирта ультрафиолетового излучения и поглощением энергии части электронов. Этот процесс усиливается по мере падения напряжения на собственной емкости камеры в процессе окончания искрового разряда. На нижней осциллограмме рис. 6, демонстрирующей разброс тока в искре при постоянном импульсном напряжении питания, видно, что процесс гашения разряда в начале спада импульса тока почти отсутствует, а затем, начиная с некоторого его значения, возникает и ведет спад тока до нуля по экспоненте. Усиленный экспо-



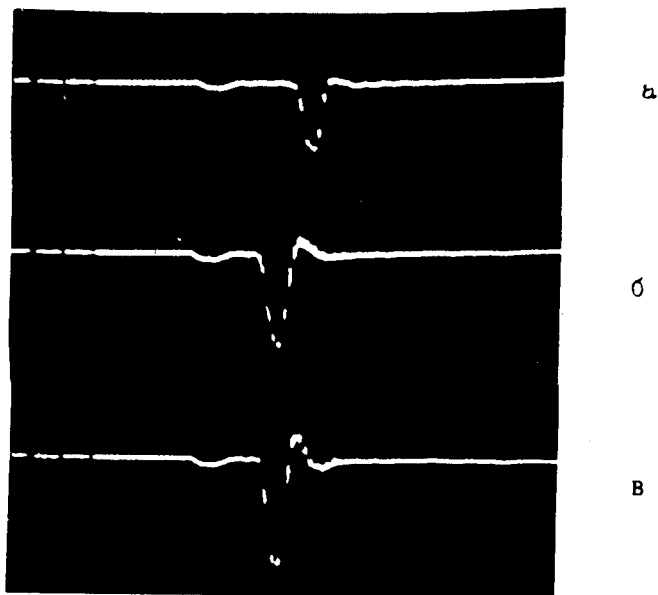


Рис.5. Осциллограммы токов искры через ферритовые кольца искровой камеры, продуваемой неон-гелиевой смесью; а, б, в - формы импульсов тока, соответствующих импульсам напряжения питания 4, 5, 6 кв. Цена меток 10 нсек.

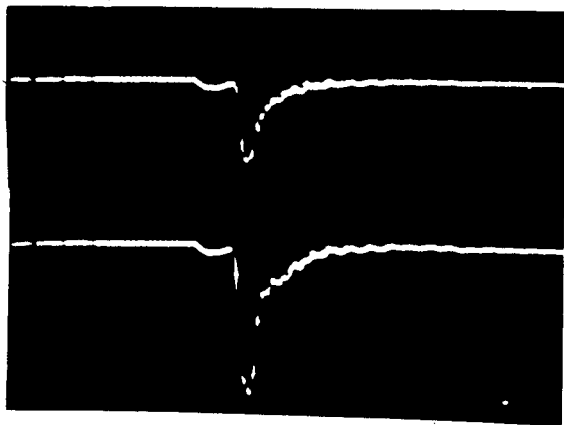


Рис.6. Осциллограмма разброса тока разряда камеры по амплитуде при импульсном питании 8 кв. Цена меток 10 нсек.

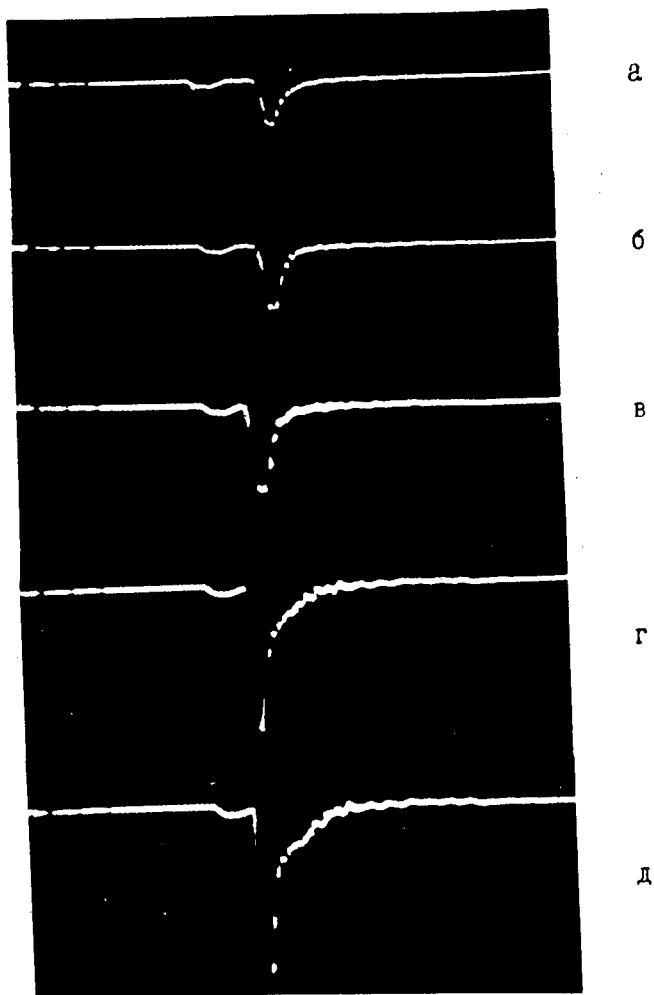


Рис.7. Осциллограммы токов искры через ферритовые кольца искровой камеры, продуваемой неон-гелиевой смесью через спирт при 0°С, а,б,в,г и д - формы импульсов при напряжении питания 4,5,6,7 и 8 кв. Цена меток 10 нсек.

ЛГГИ-17

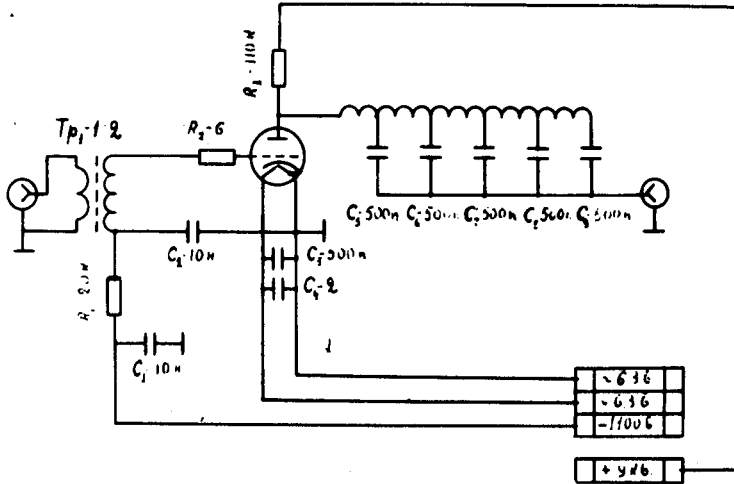


Рис.8. Оконечный каскад импульсного источника питания камеры /9/.

ненциальный спад тока получается за счет увеличения сопротивления искрового пробоя, вызванного механизмом гашения искры молекулами.

Наличие и отсутствие выбросов в токе искры легко объяснить по эквивалентной схеме разряда собственной емкости камеры  $C_K$  на сопротивление искрового разряда  $R_p$  и индуктивности проволочек в цепи разряда  $L_{II}$  (рис. 9). Как известно /10/, ток разряда  $i$  емкости в приведенной схеме определяется выражением:

$$i = \frac{U_{ок}}{\beta \cdot L_{II}} \cdot e^{-\alpha t} \operatorname{sh} \beta t,$$

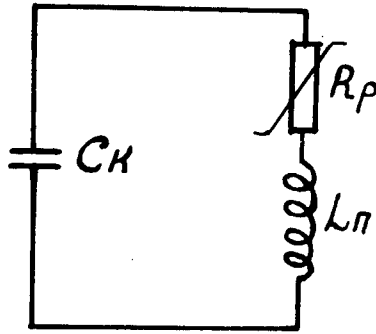


Рис.9. Эквивалентная схема разряда собственной емкости камеры через искру.

где

$$\alpha = \frac{R_p}{2L_{\Pi}} \quad \beta = \sqrt{a^2 - \frac{1}{L_{\Pi}C_k}}$$

$U_{ок}$  - начальное напряжение на емкости  $C_k$ . При  $a \gg \beta$  колебания в схеме носят сильно затухающий характер.

По фотографиям импульсов тока для случая искрового разряда через неон-гелиевую смесь (рис. 5) видно, что эти колебания вызывают выброс тока обратной полярности, а в случае добавки к неон-гелиевой смеси паров спирта рис. 7 они полностью отсутствуют.

Нетрудно видеть, что обратный выброс тока в этой схеме может иметь место в случае, когда постоянная времени разряда емкости  $R_p \cdot C_k$  меньше постоянной времени разряда паразитной индуктивности  $L_{\Pi} / R_p$ . Во втором случае  $R_p \cdot C_k \gg L_{\Pi} / R_p$ , поэтому разряд индуктивности успевает следовать за разрядом емкости и схема ведет себя как простая RC цепочка.

По средней длительности спада экспоненты (рис. 7) можно определить приближенное значение сопротивления искры при разряде, приравняв время спада  $(3+4) R_p \cdot C_k$ . Для импульса (рис. 7г) имеем

$$90 \text{ нсек} = 3,5 R_p \cdot C_k = 3,5 \cdot R_p \cdot 180 \cdot 10^{-12},$$

откуда

$$R_p = \frac{90 \cdot 10^{-9}}{3,5 \cdot 180 \cdot 10^{-12}} = 150 \text{ ом.}$$

В неон-гелиевом разряде это сопротивление почти на порядок меньше.

Увеличение сопротивления в искровом разряде за счет самогашения его парами спирта существенно для работы ферритовых искровых камер, так как оно предотвращает стирание информации с ферритовых сердечников камеры. Дополнительно к этому процесс гашения искры в искровых камерах способствует равномерному распределению искры между треками в многотрековых случаях. Этому же способствует и индуктивное сопротивление ферритовых колец при переключении их из нулевого состояния в единичное.

В случае больших камер и в случае выноса матриц памяти от камер на значительные расстояния возможно значительное увеличение индуктивности проволок  $L_{II}$  и восстановление выбросов  $x$ ). Сравнительной оценкой постоянных времени  $R_p \cdot C_k$  и  $L_{II} / R_p$  можно подчитать допустимое значение  $L_{II}$ , при котором выбросы будут отсутствовать. В качестве дополнительных мер для гашения выбросов тока можно использовать включение в цепь тока искры объемных сопротивлений изготовленных на основе паст или обычных активных сопротивлений.

х) В этих условиях и в условиях значительных токов искровых камер с большими зазорами более целесообразным может оказаться использование обратного выброса тока в качестве рабочего импульса записи в ферритовые сердечники. При этом следует ожидать локализации искры только на одну проволочку и записи только в одно ферритовое кольцо, т.к. напряжение и ток записи проходят через нуль и имеют значения меньше первоначальных.

При эксплуатации камер следует учесть, что загрязнения спирта также приводят к обратным выбросам тока, снижая эффект гашения искры.

Для наглядности оценки порядка величин токов в ферритовой искровой камере по данным рассмотренных выше осциллограмм на рис. 10 и 11 построены кривые зависимости тока искры  $i_i$  и  $i_o$ , тока обратных выбросов  $i_b$  и емкостного тока  $i_c$  камеры в зависимости от импульсного напряжения питания.

В заключение можно сделать следующие выводы:

1. Для регистрации координат в проволочных искровых камерах пригодны несколько типов ферритовых сердечников как переключающих, так и запоминающих устройств. Однако более желательны сердечники из материала 0,7 ВТ.

2. Ток специальной компенсирующей емкости эффективно компенсирует емкостные помехи записи в групповые кольца матриц памяти и обеспечивает им надежные условия работы.

3. Для матриц камер характерен режим переключающих ЗУ, в котором выходные сигналы матриц имеют величины, позволяющие передавать их по кабелю без предварительного усиления на расстояния 60 и более метров.

4. Время переключения ферритовых сердечников от тока искры в 3 а меньше 50 нсек, а при считывании оно может быть равно 100 нсек. Поэтому ферритовые сердечники не могут ограничивать скорость регистрации в искровых камерах.

5. Возможности пространственного разрешения и одновременной регистрации большого числа треков проволочных искровых камер с ферритовыми сердечниками значительно больше, чем с магнитострикционными линиями, имеющими минимальный ток регистрации искры 10+15 а.

6. Пары спирта в проволочных искровых камерах с ферритовой памятью необходимы не только для устранения в них свечения, ложных пробоев, получения условий для хорошей локализации искры и стабилизации их рабочих характеристик, но и для устранения выбросов тока обратной полярности за счет эффекта самогашения искры. Это устраняет возможности стирания (потерь) информации в матрицах памяти проволочных искровых камер.

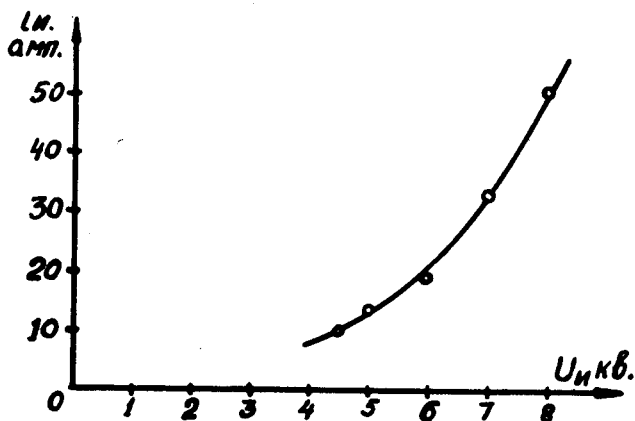


Рис.10. Зависимость тока искры в камере от импульсного напряжения питания.

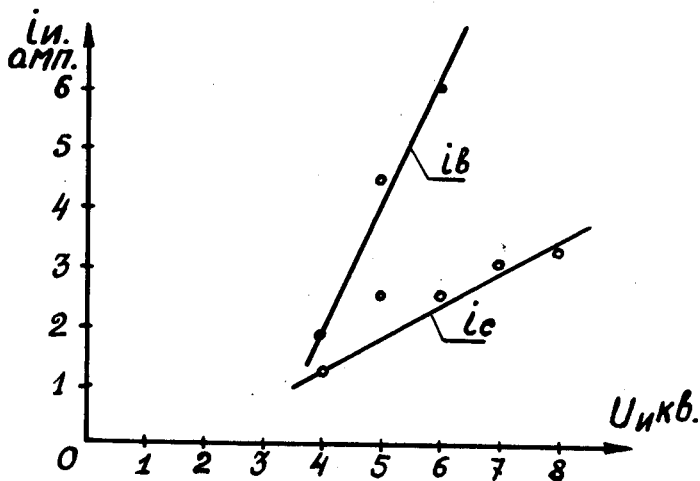


Рис.11. Зависимость емкостного тока  $i_c$  и тока обратных выбросов  $i_b$  в камере от импульсного напряжения питания.

7. Эффект самогашения искры парами спирта ослабевает при наличии загрязнения в газовой смеси. Следует отметить, что спирт является средством очищения смеси.

8. В проволочных искровых камерах больших размеров с вынесенными матрицами памяти, с большими зазорами между плоскостями проволочек более целесообразным может оказаться использование обратного выброса тока искры в качестве рабочего импульса записи ферритовых сердечников.

### Л и т е р а т у р а

1. В.В. Бардиж. Магнитные элементы цифровых вычислительных машин. Изд. Энергия, Москва, 1967.
2. Н.И. Белорусов, И.И. Гроднев. Радиочастичные кабели. Госэнергоиздат, 1959 г. Ленинград.
3. А.Г. Грачев. Препринт ОИЯИ, №Б1-10-3883, 1966.
4. Л.С. Барабаш, А.Г. Грачев. Препринт ОИЯИ, №2660, 1966.
5. А.Г. Грачев. Препринт ОИЯИ, №10-4072, 1968.
6. В.И. Векслер, Л. Грошев, Б. Исаев. Ионизационные методы исследования излучений, 1960 г. Москва.
7. С. Корф. Счетчики электронов и ядерных частиц. ИЛ, Москва, 1947.
8. В.И. Калашникова, М.С. Козодаев. Детекторы элементарных частиц Изд. Наука, Москва, 1966.
9. М.И. Дайон и др. Искровая камера. Атомиздат, 1967, Москва.
10. М.И. Конторович. Операционные вычисления и нестационарные явления в электрических цепях. Москва, 1953.
11. П.И. Филиппов. Препринт ОИЯИ, №13-3958, 1968.

Рукопись поступила в издательский отдел

29 ноября 1968 года.