



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 97–30
ОЭФ

С.В. Ерин

**ВЛИЯНИЕ ГАСЯЩИХ ДОБАВОК
И МАТЕРИАЛА КАТОДА
НА РАБОТУ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ ТРУБОК**

Направлено в *ПТЭ*

Протвино 1997

Аннотация

Ерин С.В. Влияние гасящих добавок и материала катода на работу пропорциональных трубок: Препринт ИФВЭ 97–30. – Протвино, 1997. – 9 с., 7 рис., библиогр.: 7.

В работе представлены результаты исследования влияния концентрации гасителя и материала катода на работу пропорциональных проволочных трубок и на распространение сигнала в счётчике.

Abstract

Erin S.V. Straw Tubes with Various Quencher's Concentration and Cathode Materials: IHEP Preprint 97–30. – Protvino, 1997. – p. 9, figs. 7, refs.: 7.

Results of the study of the straw operation with various quencher's concentration and cathode's material are presented.

Введение

Мы ещё раз являемся свидетелями того, что строительство новых суперколлайдеров стимулирует поиск и развитие не только новых типов детекторов частиц, но и возрождение старых — на новой технологической основе. Примером тому служит огромный интерес к “старым добрым” цилиндрическим пропорциональным счётчикам “straw chambers”. Камеры из цилиндрических пропорциональных счётчиков обладают несомненными достоинствами по сравнению с традиционными пропорциональными и дрейфовыми камерами, а именно: лучшая однородность коэффициента газового усиления по длине проволоки (при одинаковых точностях изготовления), лучшее энергетическое разрешение $\sim 18\%$ и т.д.

Эти достоинства дают основания рассматривать “straw chambers” как регистрирующий элемент детектора переходного излучения [1]. Данная работа была выполнена в рамках исследований, направленных на создание детектора переходного излучения установки “Нептун” на УНК [2]. Цель работы: изучение влияния концентрации гасящих добавок в газовой смеси и материала катодов с различной резистивностью на работу пропорциональных трубок.

1. Аппаратура

Исследовались счётчики из алюминизированного лавсана толщиной 14 мкм с поверхностным сопротивлением 0,3 Ом/квадрат, графитированного лавсана, толщиной 30 мкм с поверхностным сопротивлением 400 Ом/квадрат, а также из плёнки толщиной 50 мкм с сопротивлением 330 кОм/квадрат. Толщина проводящего покрытия соответственно 0,1; 5; 10 мкм.

Каждая трубка состояла из двух спирально намотанных слоёв ленты, склеенных между собой клеем “Вилат 7к”. Причём верхний слой сдвинут относительно нижнего на полшага. Длина счётчика составляла 25 см, диаметр 10 мм, диаметр анодной проволоки 50 мкм. Использовался линейный усилитель с чувствительностью

400 мВ/рС. Работа трубок исследовалась на газовых смесях: $\text{Ar}+5\%\text{CO}_2$, $20\%\text{CO}_2$, $50\%\text{CO}_2$. Зарядовые характеристики снимались с источником Fe^{55} , а счётные — с Ru^{106} .

Была также изучена возможность считывания сигналов с внешних стрипов для определения второй координаты. Стрипы были изготовлены в виде полосок из медной фольги шириной 5 мм, наклеенных на образец из пенопласта толщиной 25 мм, причём один конец полоски заземлялся через ёмкость 200 пФ (направление стрипа перпендикулярно оси счётчика). Положение источника Fe^{55} фиксировалось в центре счётчика, а относительно него менялось положение стрипов (вдоль трубки).

1.1. Результаты

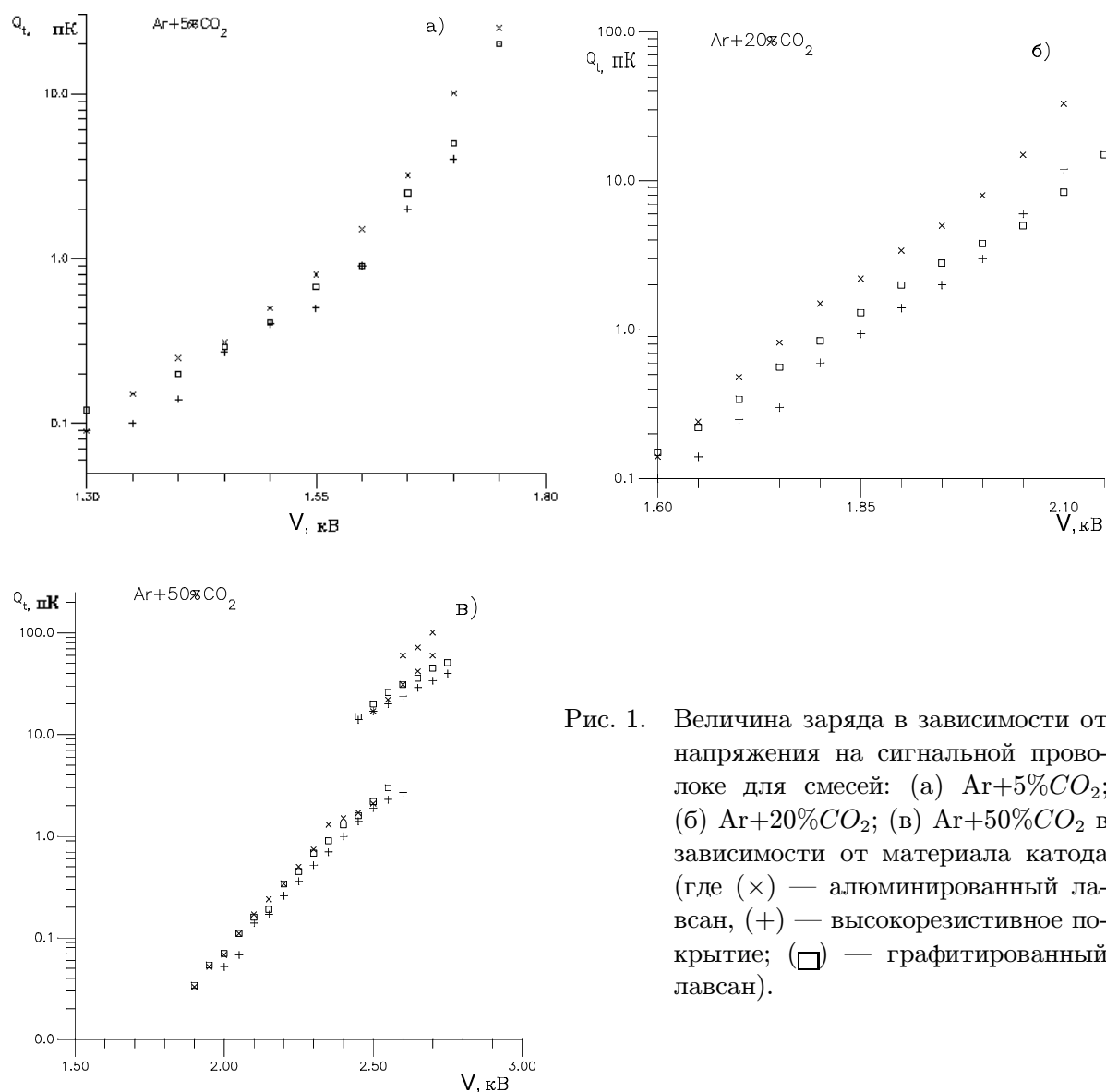
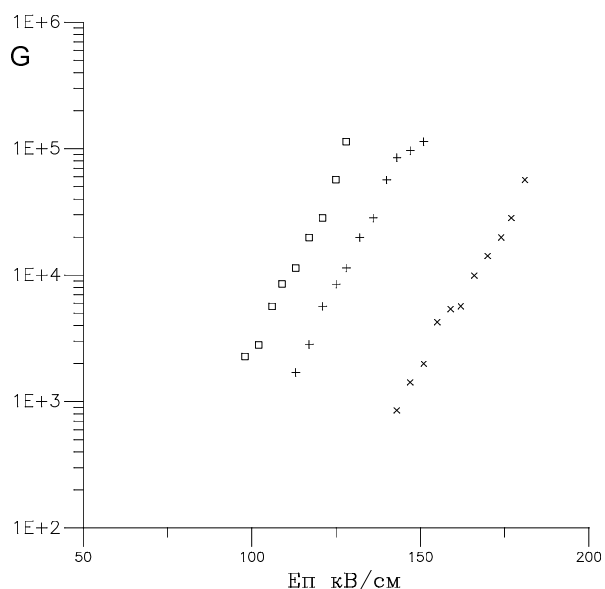


Рис. 1. Величина заряда в зависимости от напряжения на сигнальной проволоке для смесей: (а) $\text{Ar}+5\%\text{CO}_2$; (б) $\text{Ar}+20\%\text{CO}_2$; (в) $\text{Ar}+50\%\text{CO}_2$ в зависимости от материала катода (где (x) — алюминированный лавсан, (+) — высокорезистивное покрытие; (□) — графитированный лавсан).

Из рис.1, где представлены зарядовые характеристики исследованных смесей, можно видеть, что переход в режим ограниченной пропорциональности и различие в работе выхода катодов начинает сказываться при коэффициенте газового усиления $\sim 5 \cdot 10^4$. Различие в работе выхода катодов особенно хорошо видно для смеси $\text{Ar}+5\%\text{CO}_2$, где небольшое количество гасителя, в то время как в смесях $\text{Ar}+20\%\text{CO}_2$, $\text{Ar}+50\%\text{CO}_2$ этот эффект “замазан”. Для смеси $\text{Ar}+50\%\text{CO}_2$ характерен переход в СГС–режим. Причём для всех катодов он наблюдается при одном и том же напряжении, что лишний раз подтверждает основную роль фотонного механизма при образовании стримеров. Хотя для катодов из алюминированного лавсана существует и вторая ветвь, которая указывает на влияние катода при образовании вторичных стримеров.

На рис. 2 представлена зависимость коэффициента газового усиления от напряжённости на поверхности анода для катода из алюминированного лавсана при различных концентрациях гасителя. Отсюда можно видеть, что для смеси $\text{Ar}+5\%\text{CO}_2$ при усилении $G \sim 5 \cdot 10^4$ начинает сказываться влияние катода, тогда как для смеси $\text{Ar}+20\%\text{CO}_2$ при $G \sim 5 \cdot 10^4$ мы видим влияние объёмного заряда. Для смеси $\text{Ar}+50\%\text{CO}_2$ поведение зарядовой характеристики обусловлено тем, что начинается переход в СГС–режим.

Рис. 2. Зависимость коэффициента газового усиления от напряжённости на поверхности анода для катода из алюминированного лавсана (где ($\square$) — $5\%\text{CO}_2$; (+) — $20\%\text{CO}_2$; ($\times$) — $50\%\text{CO}_2$).



Влияние концентрации гасителя на линейность отклика для “straw” с разными катодами в зависимости от заряда в лавине представлено на рис.3. Измерялось отношение пика вылета к К-пику в зависимости от заряда на проволоке. Для смеси $\text{Ar}+20\%\text{CO}_2$ наблюдается более слабая зависимость отношения от заряда на проволоке для всех исследованных катодов, чем для остальных смесей. Это можно объяснить тем, что счётчик с этой смесью работает в режиме ограниченной пропорциональности — нет перехода в другой режим, и влияние вторичных процессов на катоде еще мало.

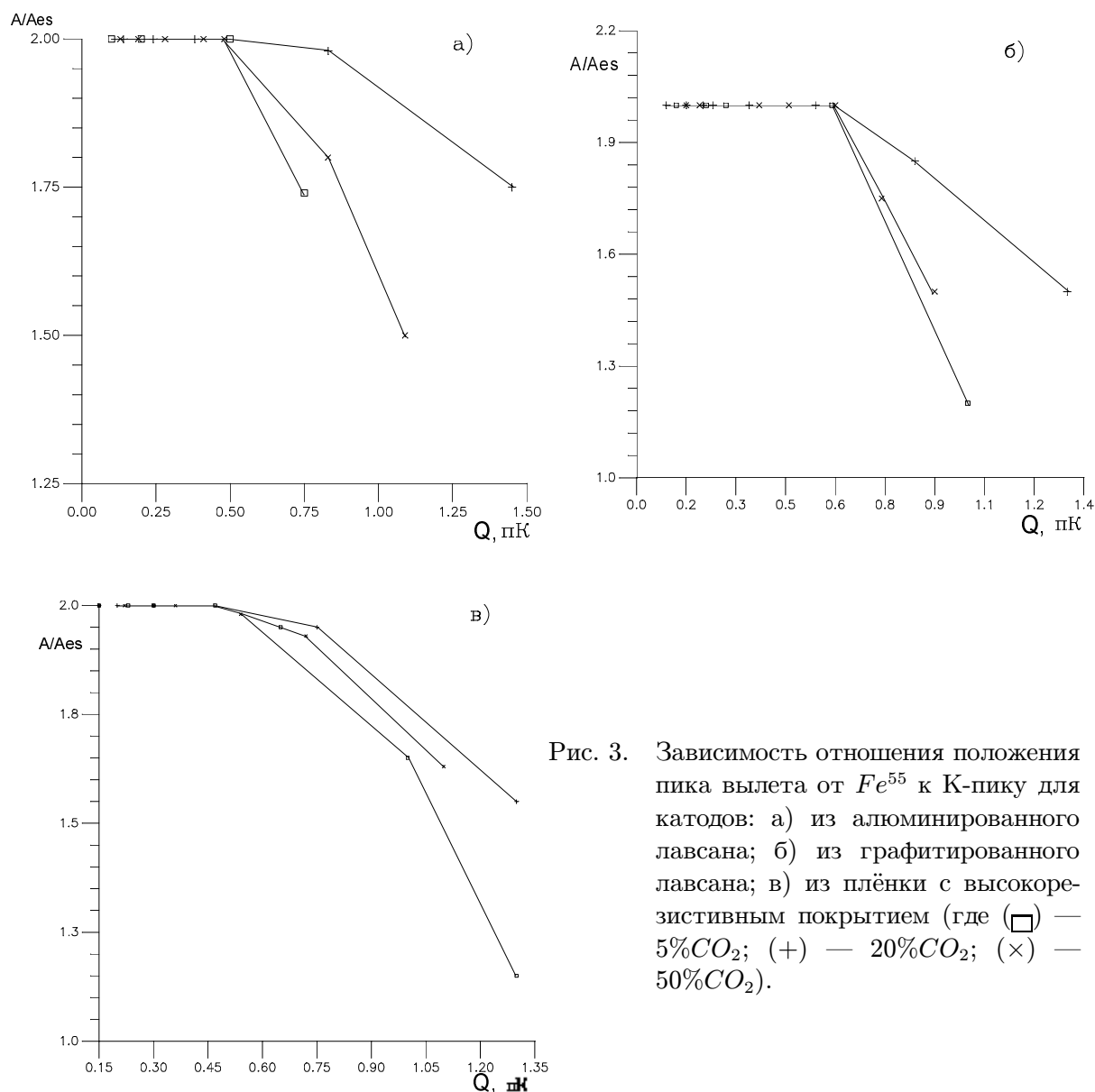
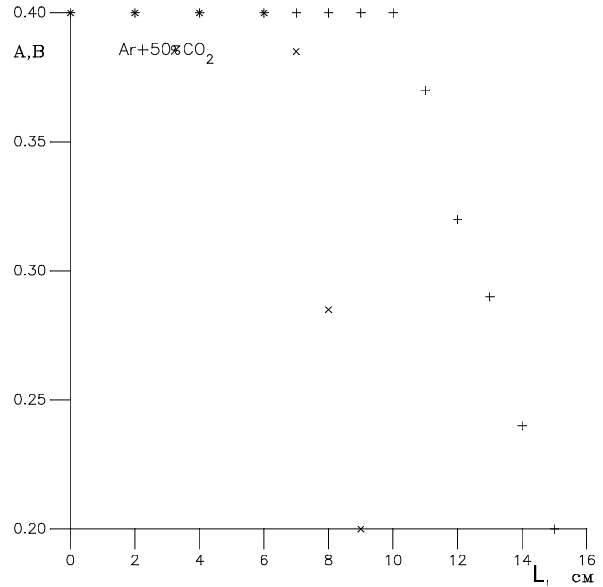


Рис. 3. Зависимость отношения положения пика вылета от Fe^{55} к К-пику для катодов: а) из анодированного лавсана; б) из графитированного лавсана; в) из плёнки с высокорезистивным покрытием (где ($\square$) — 5% CO_2 ; ($+$) — 20% CO_2 ; ($\times$) — 50% CO_2).

Была также изучена возможность считывания сигналов с внешних стрипов для определения второй координаты. Счётчик работал в СГС-режиме, и общий заряд, наведённый на проволоке, составлял 20 рС. Плато на рис. 4 соответствует насыщению усилителя. Выход из насыщения происходил, когда заряд, снимаемый со стрипа, становился меньше 1рС. Ширина распределения для высокоомного покрытия меньше, чем для графитового, всего в 0,6 раза, несмотря на большое различие в поверхностном сопротивлении. Поэтому представляется разумным выбрать поверхностное сопротивление порядка 1кОм/ $\square$. Тем более, что было замечено влияние внешних (по отношению к счётчику) металлических тел на амплитуду сигнала для катода из высокорезистивного материала. Было также замечено, что при облучении вблизи от заземления переход в самостоятельный разряд происходил для катодов

с высокоомным и графитовым покрытием раньше (по высокому напряжению), чем для дальнего конца. Для катода из алюминированного лавсана разницы замечено не было.

Рис. 4. Зависимость амплитуды сигнала, наведённого на стрипе, от расстояния до р/а источника Fe^{55} для катодов с графитовым (+) и высоко-резистивным (×) покрытиями.



2. Эквивалентная схема и распространение сигнала в счётчике

Влияние материала катода на работу счётчиков можно видеть на рис. 1–3. Видно, что собранный заряд зависит от материала катода. Оценка относительного изменения коэффициента газового усиления (G) счётчика от эксцентриситета анодной нити даёт $\approx 11\%$ (рассматривается счётчик с нашими параметрами при (G) 10^4 и эксцентриситетом $l = 500 \mu m$). Измерения, проведенные в [3], дают $\frac{\Delta G}{G} \approx 14\%$.

Мы видим, что вклад в изменение (G) даже при таком эксцентриситете составляет всего $\approx 11\%$, тогда как заряд, собранный со счётчика, изменяется в пределах $30 \div 50\%$ в зависимости от материала катода. Подобное поведение можно объяснить влиянием электрических параметров счётчика (коэффициент распространения сигнала). Посмотрим, как электрические параметры влияют на коэффициент распространения сигнала в счётчике.

Согласно [4] γ (коэффициент распространения сигнала) выглядит следующим образом:

$$\gamma = \left[i\omega\mu_a(\sigma + i\omega\varepsilon_a) + \frac{(\sigma + i\omega\varepsilon_a) \cdot \left(\frac{Z_a}{r_a} + \frac{Z_b}{r_b} \right)}{\ln\left(\frac{r_b}{r_a}\right)} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (2)$$

Поскольку $r_b > r_a$ в 10^3 , то для того, чтобы вклад поверхностного сопротивления катода Z_b был сравним с поверхностным сопротивлением анода Z_a , необходимо,

чтобы $Z_b \geq 10k\Omega$. Поверхностное сопротивление катода Z_b (с учётом того, из какого материала сделан — проводник это или слой металл + диэлектрик) увеличится от 30 до 100% в диапазоне частот $1 \div 200$ МГц. Поэтому для катода из алюминированного лавсана мы можем пренебречь вкладом Z_b в γ по сравнению с вкладом от анода.

Амплитуда сигнала со счётчика зависит от γ , импеданса усилителя и источника сигнала, т.е. насколько хорошо согласована линия. Рассмотрим токовый усилитель с входным импедансом

$$Z_{in} = \frac{R_{in}}{\left(1 + \frac{i\omega}{2\pi f_t}\right)},$$

где f_t — граничная частота транзистора, а $R_{in} = \frac{kT}{qI_e}$. Тогда величина затухания сигнала для счётчика длиной l определится по следующей формуле [5]:

$$a_p = \alpha l + \ln \left| \frac{(Z_0 + Z_6)}{2\sqrt{Z_0 Z_6}} \right| + \ln \left| \frac{(Z_l + Z_6)}{2\sqrt{Z_l Z_6}} \right| + \ln |1 - p_1 p_2 \exp(-2\gamma l)|,$$

где $p_1 = \frac{Z_0 - Z_b}{Z_0 + Z_b}$; $p_2 = \frac{Z_l - Z_b}{Z_l + Z_b}$; Z_0 — выходной импеданс счётчика; Z_l — входной импеданс усилителя; Z_6 — волновое сопротивление счётчика.

Зависимость a_p от частоты для различной ёмкостной нагрузки для счётчика длиной 2 м представлена на рис. 5. Видно, что рабочее затухание на разных частотах в зависимости от согласующей ёмкостной нагрузки может достигать $\approx 2,5$ нп. Мы видим, что величина заряда, собранного со счётчика, зависит от согласованности линии и коэффициента распространения сигнала.

Поскольку волновое сопротивление счётчика носит комплексный характер, то его достаточно трудно согласовать с входным импедансом усилителя. Поэтому необходимо тщательное моделирование канала регистрирующей электроники, учитывающее электрические параметры счётчика. Таким образом, встаёт вопрос о модели и об эквивалентной схеме счётчика. Следуя [6], счётчик можно представить как цепь из П- или Т-звеньев с сосредоточенными параметрами.

Посмотрим, как зависит погрешность замены модели счётчика (коаксиальный кабель) на цепь из N П-звеньев в частотном диапазоне $1 \div 200$ МГц. Пусть длина счётчика 2 м, $r_b = 5$ мм, $r_a = 25$ μ м. Согласно [7] будем исходить из следующих условий: $A \approx \frac{\alpha l}{N}$; $B \approx \frac{\beta l}{N}$ и $Z_u^* \approx 1$, где A , α ; B ; β — коэффициенты затухания и фазы для эквивалентной схемы и для счётчика соответственно. $Z_u^* = \frac{Z_u}{Z_b}$, где Z_u — характеристическое сопротивление П-звена. Тогда имеем следующее уравнение:

$$N \approx \frac{|\gamma l|}{2 \left[\cosh \left(\frac{\alpha l}{N} \right) - \cos \left(\frac{\beta l}{N} \right) \right]} = f(N).$$

Правая и левая части уравнения приближаются только асимптотически. Задавая N , можно определить $f(N)$ и оценить точность приближения.

На рис. 6 представлена зависимость погрешности замены от количества элементов эквивалентной схемы счетчика. На рис. 7 представлена частотная характеристика эквивалентной схемы для количества элементов $N=1; 5; 15; 25$, полученная моделированием PSPICE. Видно, что увеличение количества звеньев от 15 до 25 не даёт существенного увеличения точности в частотном диапазоне до 100 МГц. Таким образом, правильный учёт точности приближения позволяет сократить время моделирования распространения сигнала в счётчике.

Рис. 5. Зависимость затухания сигнала в счётчике от частоты для различных согласующих ёмкостных нагрузок на дальнем конце от усилителя для счётчика длиной 2 м.

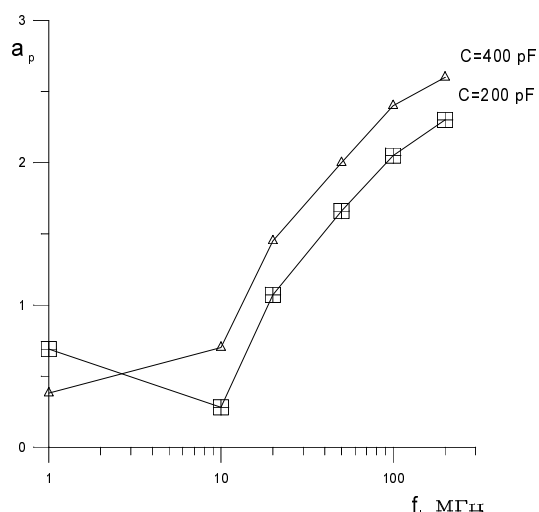
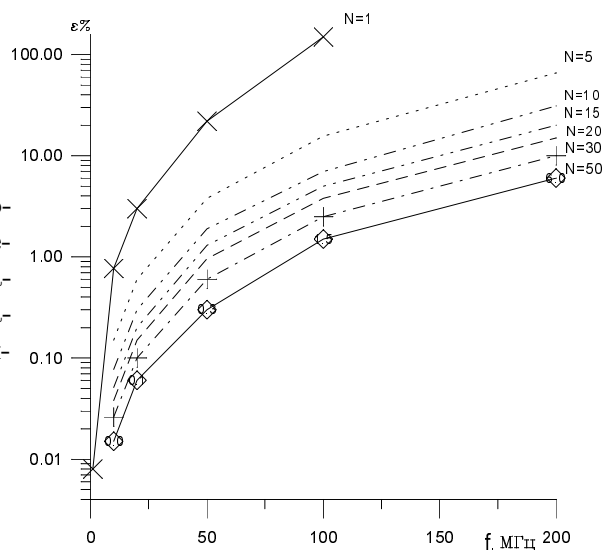


Рис. 6. Погрешность замены счётчика (модель — коаксиальный кабель) цепью из П-образных элементов в частотном диапазоне 1–200 МГц в зависимости от количества элементов в цепи.



EQVIV.DETEC.CIRCUIT, EQVIV.DETEC.CIRCUIT.15, EQVIV.DETEC.CIRCUIT5, EQVIV.DETE...
 Date/Time run: 02/09/97 11:47:28
 Temperature: 30.0

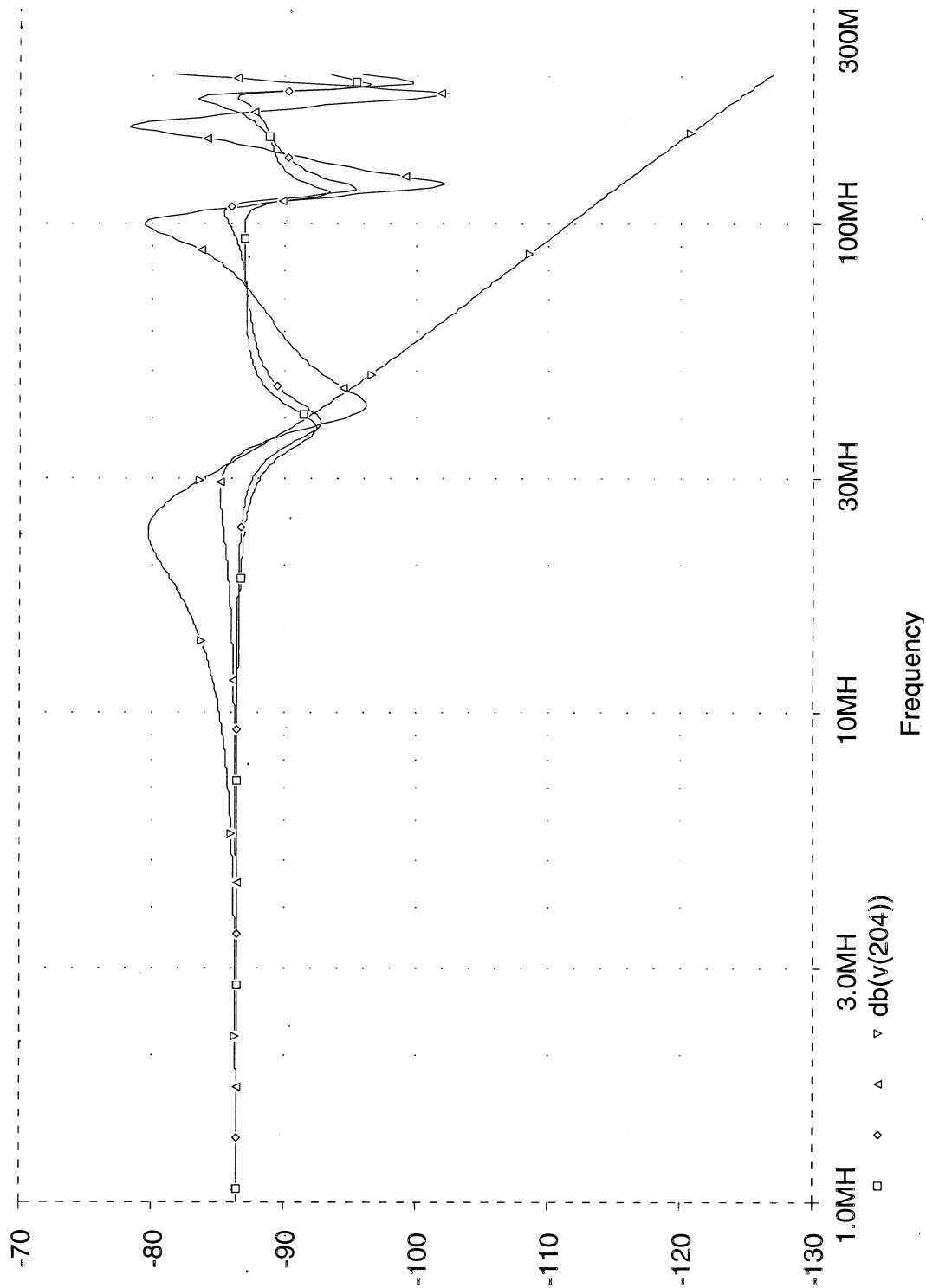


Рис. 7. Частотная характеристика эквивалентной схемы счётчика из 1; 5; 15; 25 П-образных звеньев. (∇) $N=1$; ($\triangle$) $N=5$; ($\diamond$) $N=15$; ($\square$) $N=25$.

Заключение

По результатам данной работы можно сделать следующие выводы:

1. Для смеси $\text{Ar}+20\%\text{CO}_2$ при переходе в режим ограниченной пропорциональности наблюдается более слабая зависимость отклика счётчика от величины заряда, выделившегося в счётчике (по сравнению со смесями, содержащими $5\%\text{CO}_2$, $50\%\text{CO}_2$).

2. На распространение сигнала влияют электрические параметры счётчика и согласованность линии с входным импедансом усилителя. Причём волновое сопротивление счётчика комплексно в рассматриваемом нами частотном диапазоне, что затрудняет согласование линии. В случае использования в качестве катода резистивной плёнки с целью считывания второй координаты с регистрирующего элемента, поверхностное сопротивление можно выбрать $\sim 1\text{k}\Omega/\square$. Причём необходимо тщательно экранировать счётчики друг от друга из-за их электромагнитной прозрачности и взаимного влияния на амплитуду сигнала.

3. При проектировании регистрирующей электроники счётчик можно представить эквивалентной схемой из цепочки П- или Т-образных элементов со сосредоточенными параметрами. Причём число элементов, соответствующее заданному уровню погрешности, возрастает как

$$N_2/N_1 \approx \sqrt{\omega_2/\omega_1}.$$

Правильный учёт погрешности замены счётчика его эквивалентной схемой позволяет уменьшить время моделирования распространения сигнала в счётчике.

В заключение хотелось бы поблагодарить Н.Г. Минаева и В.В. Тихонова за полезные обсуждения вопросов, затронутых в этой статье.

Список литературы

- [1] Dolgoshein B. et al. // Nucl.Instr. and Meth. 1990. A**294**, p.386.
- [2] Study of Spin Effects with Jet Target on the UNK Internal Beam Facility at 0.4 - 3.0 TeV/c (Proposal NEPTUN). – In: Proc. of the Workshop on the Experimental Program at UNK, Protvino (September 14-19, 1987). – Serpukhov, 1988.
- [3] Åkesson T. et al. // Nucl.Instr. and Meth. 1995, A**361**, p.440.
- [4] Гальперович Д.Я., Павлов А.А., Хренков Н.Н. Радиочастотные кабели. – М: Энергоиздат, 1990.
- [5] Гроднев И.И., Верник С.М. Линии связи. – М: Радио и связь, 1988, с.544.
- [6] Sneider F. CERN82-06 yellow preprint. Geneva, 1982.
- [7] Каганов З.Г. Электрические цепи с распределёнными параметрами и цепные схемы. – М: Энергоатомиздат, 1990, с.248.

Рукопись поступила 28 апреля 1997 г.

С.В. Ерин.

Влияние гасящих добавок и материала катода на работу пропорциональных трубок.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы $\text{\LaTeX}$.

Редактор Н.В.Ежела.

Технический редактор Н.В.Орлова.

Подписано к печати 12.05.97. Формат $60 \times 84/8$. Офсетная печать.
Печ.л. 1,12. Уч.-изд.л. 0,86. Тираж 220. Заказ 1078. Индекс 3649.
ЛР №020498 17.04.97.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий
142284, Протвино Московской обл.

