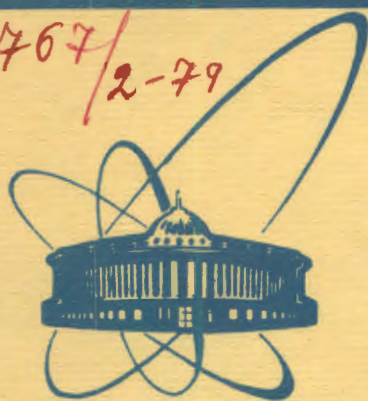


2767/2-79



**объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна**

3-996

13 - 12244

Ф.Е.Зязюля, С.М.Коренченко, К.Г.Некрасов

**ИЗМЕРИТЕЛЬ НАТЯЖЕНИЙ НИТЕЙ
МНОГОПРОВОЛОЧНЫХ КАМЕР**

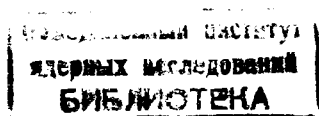
1979

13 - 12244

Ф.Е.Зязюля, С.М.Коренченко, К.Г.Некрасов

ИЗМЕРИТЕЛЬ НАТЯЖЕНИЙ НИТЕЙ
МНОГОПРОВОЛОЧНЫХ КАМЕР

Направлено в ПТЭ



Зязюля Ф.Е., Коренченко С.М., Некрасов К.Г.

13 - 12244

Измеритель натяжений нитей многопроволочных камер

Описаны принцип действия и блок-схема прибора для измерений с точностью 1-5% натяжения нитей многопроволочных пропорциональных камер, изготовленного в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Для измерений не требуется механического доступа к нитям - достаточно лишь электрического контакта с их выводами. Определение натяжений происходит автоматически, предусмотрен также ручной режим. Принцип действия основан на возбуждении и регистрации механических колебаний нитей электронным способом и определении резонанса.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1979

Zyazyulya F.E., Korenchenko S.M., Nekrasov K.G. 13 - 12244

Tensiometer for Multiwire Chamber Wires

Principle of operation and block-diagram of a device for measuring the mechanical tension in wires of multiwire chambers with the 1-5 percent accuracy is described. For measurements only one electrical contact with wire outlets is required. Tension determining goes automatically, manual mode of operation is also provided for. The principle of operation is based on the excitation and detection of mechanical oscillations of wires by the electronic way and by determining a resonance.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

Проблемы, связанные с натяжением нитей, хорошо известны экспериментаторам, работающим с проволочными искровыми и пропорциональными камерами. Выход из строя даже одной нити представляет угрозу работоспособности камер. Более подробно вопросы натяжения нитей обсуждаются в работе^{/1/}.

Измерение натяжений нитей многопроволочных камер является насущной необходимостью в особенности для таких устройств, как АРЕС /анализатор редких событий^{/2/} /, где более 15 тысяч 20-микронных золоченых вольфрамовых нитей размещены в объеме менее 0,5 м³. Необходим контроль не только в процессе изготовления цилиндрических камер АРЕСа, но и при эксплуатации, когда камера помещена в закрытый объем, источник магнитного поля и т.д.

Очевидно, что способы контроля натяжения, основанные на измерении стрелы прогиба, или другие, требующие хотя бы визуального доступа к системам нитей, здесь принципиально непригодны. Кроме того, из-за большого количества нитей время и количество ручных манипуляций, требуемых для измерения каждой нити, должны быть минимальными.

В данной работе описывается прибор, измеряющий натяжения нитей с точностью $\pm 5\%$ за время 3 с и с точностью $\pm 2\%$ за время менее 9 с. Для измерений требуется только электрический контакт с выводами нитей. Измерения происходят автоматически, предусмотрен также ручной режим. Точность в ручном режиме - не хуже 1% и определяется в основном добротностью нитей.

ОСНОВА СПОСОБА-ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ РЕЗОНАНСА

Способ измерения основан на известной и часто используемой для подобных измерений /см., например,^{/3,4/} / зави-

симости частоты $f_{рез}$ собственных механических колебаний натянутой струны, нити от силы натяжения

$$f_{рез} = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{N}{\epsilon}}$$

где l - длина нити, ϵ - погонная плотность. Здесь и далее под $f_{рез}$ подразумевается собственная частота механических колебаний нити. Следовательно, для нити известной длины, материала и диаметра сила натяжений однозначно связана с $f_{рез}$:

$$N = \epsilon l^2 f_{рез}^2$$

где ϵ - коэффициент, зависящий от параметров нити, который нетрудно рассчитать, а лучше - установить экспериментально.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПРИБОРА

Прибор определяет частоту собственных механических колебаний нити. Принцип действия поясняется рис. 1. Расположенные рядом нити 1,2,3 принадлежат поверхности одного и того же слоя нитей /остальные нити не показаны/. Механические колебания нити 2 возбуждаются с помощью высоковольтного генератора низкой частоты, с выхода которого на нить 1 подается переменное напряжение с частотой $f_{возб}$.

Нить 2 "заземлена" дросселем по низкой частоте $f_{возб}$. Электростатическое притяжение нитей 1 и 2 вызывает их коле-

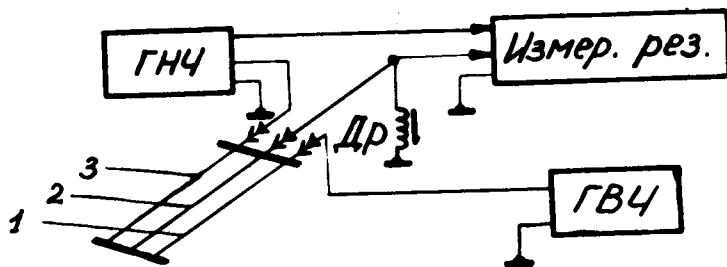


Рис. 1. Схема, поясняющая принцип работы прибора. ГНЧ - высоковольтный генератор низкой частоты, ГВЧ - генератор высокой частоты, Др - дроссель, Измер. резонанса - часть схемы, определяющая частоту резонанса, 1,2,3 - нити камеры.

бания с частотой $f_{возб}$, причем при совпадении этой частоты с $f_{рез}$ амплитуда механических колебаний будет максимальной.

Для определения амплитуды колебаний нити 2 используется изменение ее емкости относительно нити 3, для чего на нить 3 подается вспомогательное высокочастотное напряжение. Если нить 2 колеблется, снимаемое с дросселя высокочастотное напряжение промодулировано соответствующим изменением емкостного сопротивления нить 2 - нить 3. При резонансе амплитуда механических колебаний нити 2 и изменение ее емкости максимальны, следовательно, максимальна и глубина модуляции.

Определив максимум модуляции в.ч. напряжения, прибор измеряет частоту $f_{возб}$, которая является, как уже отмечалось, аналогом величины натяжения. /Из дальнейшего станет ясно, что на самом деле измеряется не сама частота, а напряжение, управляющее частотой ГНЧ/.

БЛОК-СХЕМА И РАБОТА ПРИБОРА

Реальная блок-схема представлена на рис. 2. Названия блоков расшифровываются в подписи к рисунку.

Прибор работает в двух режимах: ручном и автоматическом. Блоки ГПН, СК, ДЗП и ОВ предназначены для обеспечения автоматического режима и в ручном режиме не работают.

Ручной режим. Выходное напряжение ГНЧ амплитудой до 2 кВ подается на нить 1. Такого напряжения достаточно для раскачки практически всех встречающихся нитей. Частота ГНЧ $f_{возб}$ зависит от напряжения, поданного на его управляющий вход. В ручном режиме частота изменяется с помощью гелипота R_2 . Амплитуда регулируется потенциометром R_3 .

С ГВЧ на нить 3 поступает сигнал амплитудой около 15 В с частотой 15 МГц. Промодулированное в.ч. напряжение, снимаемое с измеряемой нити 2, усиливается резонансным УВЧ, настроенным также на частоту 15 МГц.

После выделения огибающей на детекторе и ее дополнительного усиления УНЧ напряжение огибающей /пропорциональное

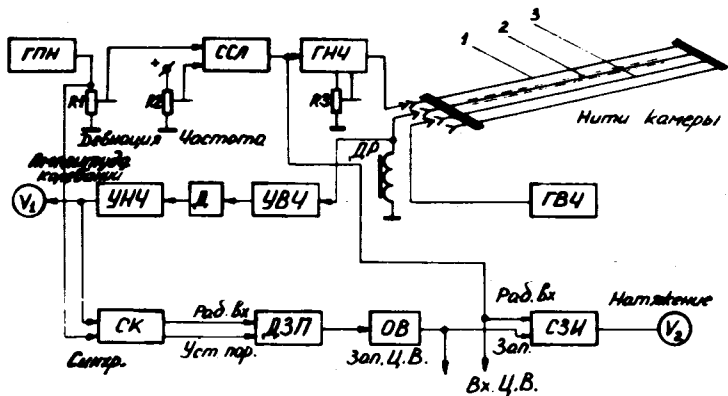


Рис. 2. Блок-схема прибора. ГПН - генератор пилообразного напряжения; ССЛ - схема сложения; ГНЧ - высоковольтный генератор н.ч., управляемый напряжением; УВЧ - резонансный усилитель в.ч.; Д - диодный детектор; УНЧ - усилитель н.ч.; V_1, V_2 - стрелочные индикаторы; СК - схема коммутации; ДЗП - дискриминатор с запоминанием порога; ОВ - одновибратор; СЗИ - схема запоминания и индикации; ГВЧ - генератор в.ч.; 1, 2, 3 - нити камеры; нить 2 - измеряемая.

глубине модуляции/ подается на индикатор V_1 . Его показания, следовательно, пропорциональны амплитуде механических колебаний нити 2.

В ручном режиме СЗИ служит лишь в качестве добавочного сопротивления для V_2 . Таким образом, индикатор V_2 постоянно показывает напряжение на управляющем входе ГНЧ, т.е. аналог частоты колебаний нити 2. При резонансе, который определяется по индикатору V_1 , показания индикатора V_2 соответствуют $f_{рез}$. Кроме того, показания можно считывать непосредственно со шкалы гелипота R_2 .

При работе в ручном режиме для определения натяжения нити нужно, вращая ручку гелипота R_2 "Частота", следить за показаниями индикатора V_1 . Максимальное значение, которое обычно находится без труда, соответствует резонансу. Остается считать показания индикатора V_2 , шкала которого может быть проградуирована в граммах, ньютонах и др. Для повышения точности предусмотрено подключение цифрового вольтметра типа Щ1312.

Резонанс выражен четко, т.к. механическая добротность нитей камер обычно велика /до 200-300/.

Автоматический режим. Работа прибора в автоматическом режиме поясняется диаграммами, приведенными на рис. 3.

Принцип возбуждения механических колебаний отличается лишь тем, что вместо вращения ручки гелипота для изменения частоты $f_{возб}$ на вход ГНЧ подается напряжение от ГПН.

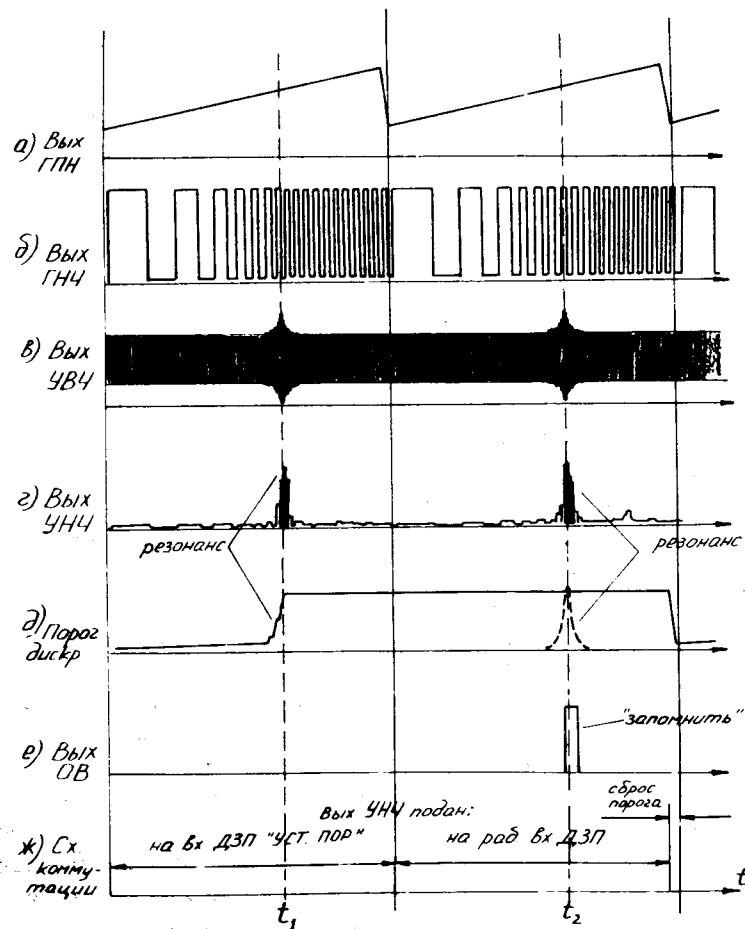


Рис. 3. Временные диаграммы в различных точках схемы измерителя натяжений.

ГПН вырабатывает пилообразное напряжение с амплитудой около 8 В с периодом 1 с /или 3 с/.

Через схему сложения С.Сл. на управляющий вход ГНЧ подается периодический управляющий сигнал /рис. 3а/, пьедестал и амплитуда которого устанавливаются с помощью R_2 и R_1 соответственно. Тем самым задается исследуемый диапазон частот /и натяжений/.

Следуя за управляющим напряжением, $f_{\text{возб}}$ плавно изменяется в заранее выбранных пределах с каждым ходом пилы /рис. 3б/. В моменты времени t_1, t_2 и т.д., соответствующие резонансу, возникнут достаточно большие колебания нити /для нормальной работы прибора достаточна амплитуда 0,2-0,5 мм/.

Сигнал на выходе УВЧ в этот момент максимально модулирован /рис. 3в/. Сигнал на выходе УНЧ также имеет максимальное значение /рис. 3г/.

С выхода УНЧ сигнал подается на индикатор V_1 и схему коммутации. Стрелка индикатора V_1 в момент резонанса совершает максимальный скачок. В сомнительных случаях /обрыв или короткое замыкание, плохой контакт/ отклонения стрелки не наблюдается, что является сигналом неисправности.

Автоматическое определение частоты производится за два хода пилы. Сначала находится наибольшее значение выходного напряжения УНЧ за весь первый ход пилы. Это напряжение соответствует резонансным колебаниям нити в момент t_1 . Во время второго хода пилы СЗИ запоминает и индицирует напряжение на управляющем входе ГВЧ в момент повторного наступления резонанса t_2 . Это напряжение, как уже отмечалось, является аналогом натяжения.

Для этих операций служат СК, ДЗП, ОВ, а также СЗИ, которая работает в управляемом режиме.

Схему коммутации можно уподобить переключателю на два положения, изменяющему свое положение с каждым скачком пилы. Для переключений служит вход "синхронизация", на который подан сигнал от ГПН. В течение первого хода пилы СК подает сигнал на вход ДЗП "установка порога" /рис. 3ж/.

Особенностью ДЗП является то, что его порог срабатывания регулируется автоматически. Он устанавливается почти равным /на ~ 0,2 В меньше/ максимальной амплитуде, поступившей на его вход "установка порога" в течение любого промежутка времени. Если на вход "установка порога" не поступит сиг-

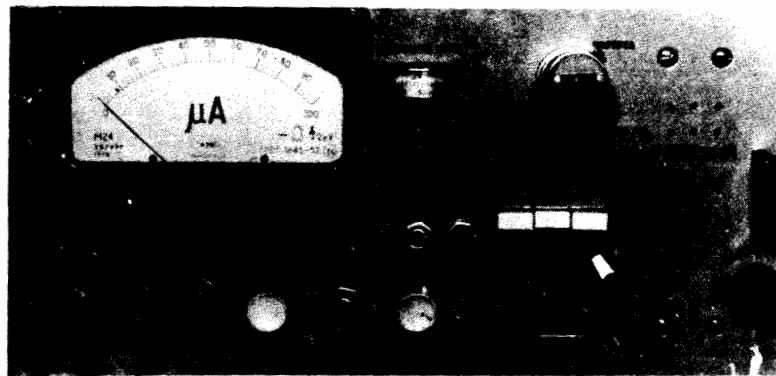


Рис. 4. Внешний вид прибора.

нала большей амплитуды, чем в какой-то момент времени / t_1 на рис. 3/, это пороговое напряжение поддерживается достаточно долго / $\tau_{\text{спада}} \geq 500$ с/, определяя порог срабатывания ДЗП по рабочему входу. Таким образом, за время первого хода пилы в ДЗП установится напряжение порога срабатывания, почти равное напряжению на выходе УНЧ в момент резонанса t_1 .

Во время второго хода пилы, когда СК подает напряжение с выхода УНЧ уже на рабочий вход ДЗП, последний сработает в момент, когда напряжение на рабочем входе превысит пороговое. А это произойдет в момент резонанса t_1 .

Далее сигнал формируется одновибратором и подается на вход "запуск" схемы индикации и запоминания /рис. 3з/.

В автоматическом режиме работы СЗИ запоминает напряжение на рабочем входе лишь в момент, когда на вход "запуск" подан сигнал "запомнить". В этот момент напряжение на рабочем входе запоминается и индицируется индикатором V_2 "натяжение".

Поскольку на рабочий вход СЗИ постоянно подано напряжение, управляющее частотой ГНЧ, а сигнал "запомнить" подается в момент t_2 , соответствующий резонансу, то показания V_2 соответствуют $f_{\text{рез}}$ нити и, следовательно, натяжению.

СК выполняет еще одну функцию: после окончания второго хода пилы производит сброс порога ДЗП до нуля, и цикл измерения начинается заново. После второго, третьего и т.д. циклов измерения одной и той же нити показания V_2 могут несколько колебаться около среднего значения в пределах точности измерений.

Такая несколько усложненная схема прибора является результатом стремления к максимальной помехоустойчивости и достоверности измерений.

Работа с прибором. Внешний вид прибора показан на рис. 4. Практически работа с прибором происходит следующим образом.

Из трех диапазонов натяжений нажатием клавиши на лицевой панели выбирается нужный. При этом происходит переключение "окна" напряжений, измеряемых индикатором V_2 .

С помощью R_1 и R_2 по показаниям индикатора V_2 устанавливается соответствующее напряжение пилы. При этом переключатель режима работы находится в положении "ручн.", а стрелка индикатора V_2 непрерывно движется в такт с пилой вдоль всей шкалы.

В зависимости от требуемой точности устанавливается время хода пилы 1 с или 3 с. Затем по показаниям индикатора V_1 устанавливается амплитуда высоковольтного возбуждающего напряжения, достаточного для раскочки нитей данной камеры.

Эти процедуры занимают не более 2-3 минут. Затем переключатель режима устанавливается в положение "автомат.", и прибор готов к работе.

Остается присоединить трехконтактный разъем к выбранной тройке нитей и, выждав 2-3 г /т.е. не менее 3 или 9 с/, считать показания V_2 . После этого можно переходить к измерению следующей нити и т.д. Никаких манипуляций в ходе измерений, кроме подключений к выводам нужных нитей и считывания показаний V_2 , больше не требуется. Как следует из принципа работы, не требуется и механического или визуального доступа. Достаточно электрического контакта с выводами нитей.

Для достижения максимальной точности и удобства предусмотрено подключение цифрового вольтметра Щ1312 с цифровой печатью. При ручной работе цифровой вольтметр работает в ре-

жиме непрерывного измерения, а при автоматической - запускается сигналом ОВ.

СХЕМНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Прибор собран на транзисторах и интегральных схемах. Особых требований к температурным или амплитудным характеристикам блоков не предъявляется. Это не относится, однако, к СЗИ и ГНЧ.

СЗИ должна обладать достаточной температурной и долговременной стабильностью /не хуже 0,3-0,5% во всем рабочем диапазоне температур и напряжений/. Такой же стабильностью должен обладать ГНЧ относительно преобразования $U_{\text{упр}} \rightarrow f_{\text{возб}}$. Эти требования не очень жестки.

Кроме того, прибор должен быть безопасен в работе /имеется высоковольтный выход/ и не бояться коротких замыканий на трехконтактном щупе в любых случаях. Для этого приняты специальные меры /например, высокое напряжение подается через резистор сопротивлением 4 МОм, что ограничивает мощность до безопасной; защита УВЧ по входу и ГВЧ по выводу/.

Для запоминания напряжений в ДЗП и СЗИ используется аналоговая память на полевых транзисторах 2П303Г и конденсаторах /конденсаторы - типа КЛС: у них оказались наименьшие токи утечек среди многих конденсаторов широкого применения/. Это позволяет получать $\tau_{\text{снада}} \geq 500$ с. Коммутация запоминающих цепей производится на реле типа РЭС-15 для получения малых токов утечки.

УНЧ имеет порог, который введен для обрезания шумов. ГНЧ собран на двух полевых транзисторах различной проводимости, а также биполярных, высоковольтный каскад представляет собой составной транзистор /КТ 605Бх10 шт./.

Систематические ошибки, возникающие по разным причинам, устраняются при окончательной калибровке прибора по тарированным нитям.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Прибор выполнен в четырех станциях "Вишня". Источник питания - 15 В /БСУ/, ток - 0,4 А. Диапазоны измерений 20-микронных нитей

длиной 60 см: $1 \div 200$ г, $10 \div 80$ г,

длиной 40 см: $0,5 \div 80$ г, $25 \div 60$ г.

Погрешность определения натяжения в автоматическом режиме:

для нитей с $Q \geq 100$ $\pm 2\%$ /время измерения - 3.3 с/,
и $\pm 5\%$ /время измерения - 3.1 с/;

в ручном режиме не хуже $\pm 1\%$.

Нестабильность

в диапазоне

температур 15-35 °С 1%.

В заключение авторы выражают благодарность за полезные обсуждения В.Г.Зинову, Н.А.Кучинскому, Г.В.Мицельмахеру, В.С.Смирнову, А.И.Филиппову, а также П.Г.Евтуховичу и Д.А.Мжавия за работы по калибровке прибора.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Tripple T. Minimum Tension Requirement for Charpak Chamber Wires, CERN-NP YAT 69-18.*
2. *Коренченко С.М., Мицельмахер Г.В., Некрасов К.Г. Спектрометр АРЕС. ОИЯИ, P13-9542, Дубна, 1976.*
3. *Chase R.L. Nucl. Instr. and Meth., 1973, 113, p.359-399.*
4. *Nurimaker Th.A., Turner D.B. Nucl. Instr. and Meth., 1973, 113, p.445-451.*

Рукопись поступила в издательский отдел
15 февраля 1979 года.