

ИЗМЕРИТЕЛЬ ПЛОТНОСТИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ЗАРЯДА НА ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТАХ

Б.К. СУШКО

(Башкирский государственный университет)

Проблема электризации синтетических волокон актуальна во всех отраслях текстильной промышленности. Высокая электризуемость волокон и нитей способствует накоплению на их поверхности пыли и микроорганизмов, что приводит к быстрому загрязнению последних и значительному снижению механических свойств. В результате сваливается пряжа, возникают утолщения и неровности, растет доля отходов и ухудшается внешний вид изделий [1, 2].

Значение заряда, возникшего на нити в процессе электризации, часто рассчитывают по результатам измерения напряженности E поля, создаваемого зарядом, равномерно распределенным по нити. Линейная плотность τ электростатического заряда, характеризующая электростатические

свойства исследуемого материала, связана с напряженностью E поля [3] выражением

$$\tau = \pi \epsilon_0 E N = \frac{\pi \epsilon_0 U h N}{r(N-r) \ln \frac{H+h}{r}}, \quad (1)$$

где U – величина потенциала на заряженной нити; r – радиус нити; H – расстояние от приемного электрода прибора до нити; ϵ_0 – диэлектрическая постоянная;

$$h = \sqrt{H^2 - r^2}.$$

Из (1) видно, что измерение плотности электростатического заряда при такой методике является косвенным измерением, при этом его точность связана с точностью геометрических измерений расстояния H и радиуса нити. Еще значительно на ре-

зультат измерения влияет наличие в непосредственной близости от измерителя заземленных и заряженных предметов, искажающих исследуемое поле. Линейная плотность электростатического заряда в этом случае определяется как

$$\tau = E_{\text{изм}} \cdot \epsilon_0 H(1 + H/d), \quad (2)$$

где $E_{\text{изм}}$ – измеренное значение напряженности электростатического поля; d – расстояние между наэлектризованной нитью и ближайшим заземленным элементом оборудования.

Суммарная относительная погрешность в случае неблагоприятных условий измерения по этой методике может достигать 100% и более.

В ряде случаев для измерения заряда нити применяется устройство типа цилиндрическая мельница [4], состоящее из модуляционного датчика, преобразующего квазипостоянный полезный сигнал в сигнал переменного тока. При работе прибора в условиях больших высокочастотных помех (наводки от сетей питания, паразитные сигналы от технологического оборудования) входные цепи усилителя, даже помещенные в экран, воспринимают эти помехи. Поскольку вход прибора несимметричен, сигнал помехи усиливается вместе с полезным сигналом, ограничивая чувствительность измерителя.

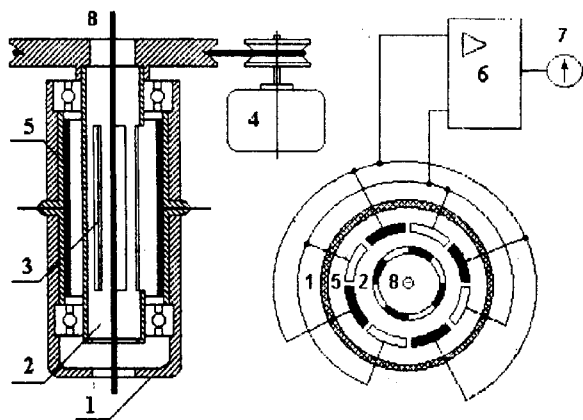


Рис. 1

С целью устранения ряда указанных недостатков нами разработано чувствительное и малоинерционное устройство для измерения электростатических зарядов на движущихся диэлектрических нитях (рис. 1).

Датчик устройства содержит цилиндрический корпус 1, в котором размещен модулятор 2, выполненный в виде цилиндра с прорезями 3, приводимый во вращение электродвигателем 4. Модулятор размещается внутри корпуса коаксиально с ним. По внутреннему периметру корпуса равномерно расположены приемные электроды 5, подключенные к измерительному блоку.

При вращении модулятора 2 происходит периодическое прерывание силовых линий электростатического поля заряженной нити у цилиндрической поверхности, образованной основными и дополнительными приемными электродами, при этом экранирование основных и дополнительных электродов происходит в противофазе. Входные емкости основных электродов C_1 и дополнительных C_2 относительно земли также изменяются в противофазе. Если $C_1(t) = C_0(1 + m \cos \omega t)$, то $C_2(t) = C_0(1 - m \cos \omega t)$, где m – коэффициент преобразования; C_0 – среднее значение емкости. Суммарное значение емкости входа дифференциального усилителя остается неизменным и равным $C_1(t) + C_2(t) = 2C_0$, поэтому косвенные шумы входных цепей не модулируются и не присутствуют на выходе измерителя.

Первичный преобразователь прибора имеет симметричную конфигурацию, а у используемого усилителя есть дифференциальный вход; оба входных проводника в каждый момент времени воспринимают одинаковый сигнал помехи, который вычитается аппаратным способом, поэтому не усиливается и не присутствует на выходе измерителя.

Две группы приемных электродов установлены друг относительно друга таким образом, что при вращении модулятора 2 обеспечивается их противофазное периодическое экранирование от поля заряженной нити. Противофазные полезные сигнала

ты, снимаемые с приемных электродов, усиливаются балансным электрометрическим усилителем 6 и регистрируются измерительным прибором 7, шкала которого эткалибрована в единицах линейной плотности заряда нити 8.

Первичный преобразователь прибора обладает высоким коэффициентом преобразования полезного сигнала и низким уровнем шумов, что позволяет повысить чувствительность прибора. Достоинством прибора является то обстоятельство, что колебания, возникающие при протягивании нити, не влияют на результаты измерения, так как показания прибора мало зависят от положения нити в канале первичного преобразователя.

Использование в устройстве метода модуляции потенциала заряженной нити позволило создать малоинерционный прибор, работающий в частотном диапазоне, свободном от шумов вида $1/f$.

ненный на микросхеме DD3, является интегральным повторителем с единичным коэффициентом усиления полезного сигнала. Такое схемное решение позволяет подавлять сильные синфазные помехи. Резисторы R1 и R2 выполняют функцию отвода входных токов со входа усилителя, а R3 служит для регулировки чувствительности прибора.

Применение прибора [5] разрешает повысить точность измерения электростатического заряда на движущейся нити и снизить трудоемкость оценки эффективности обработки нитей антистатическими препаратами.

Предлагаемый прибор имеет следующие технические характеристики: диапазон измерения линейной плотности электростатического заряда $5 \cdot 10^{-11} \div 10^{-6}$ Кл/м; напряжение питания переменного тока 220 В, 50 Гц; потребляемая мощность 30 Вт; размеры измерительного блока 260x200x160 мм; размеры первичного преобразователя 100x120x80 мм; длина измерительного канала 100 мм; масса прибора 3,5 кг.

Результаты исследования электризуемости волокон в лабораторных условиях дают возможность прогнозировать электризацию изделий в технологическом процессе и в процессе их эксплуатации.

Согласно стандарту [6] считается, что текстильные материалы электризуются слабо, если заряженный образец создает напряженность поля от 0 до 3 кВ/см. Средней считается такая электризация, при которой возникает напряженность поля от 3 до 10 кВ/см. И, наконец, сильно наэлектризованные текстильные материалы создают напряженность электростатического поля свыше 10 кВ/см. В пересчете на линейную плотность электростатического заряда согласно (1) при значении $H=1$ см эти граничные значения для нитей будут выглядеть так: слабая электризация нитей $0 \div 7,5 \cdot 10^{-8}$ Кл/м; средняя электризация $7,5 \cdot 10^{-8} \div 2,8 \cdot 10^{-7}$ Кл/м; сильная электризация свыше $2,8 \cdot 10^{-7}$ Кл/м.

Для проведения равномерной зарядки образцов, исследуемых на электризацию, широко используется коронный электри-

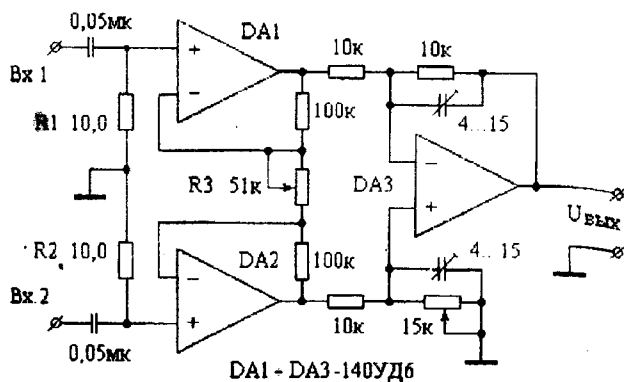


Рис. 2

На рис. 2 представлена схема дифференциального предварительного усилителя используемого в измерителе линейной плотности электростатического заряда. Усилитель собран на трех микросхемах К140УД6, входной каскад выполнен на операционных усилителях DD1 и DD2. Он обеспечивает большой коэффициент усиления для полезного сигнала и единичный коэффициент усиления для синфазной помехи. Второй каскад усилителя, выпол-

ческий разряд. Для таких испытаний разрабатываются специальные коронаторы, наиболее подходящие к условиям эксперимента и геометрии материала. Использование коронного разряда позволяет переключением полярности источника высокого напряжения легко изменять знак заряда, наносимого на материал, что не так просто осуществить при трибоэлектрическом способе зарядки.

На рис. 3 приведена блок-схема стенда для проведения лабораторных испытаний текстильных нитей на склонность к электризации.

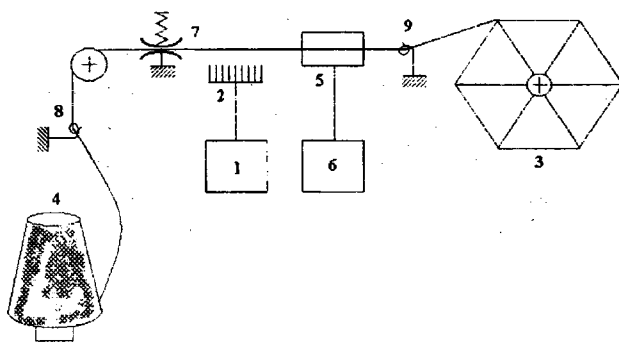


Рис. 3

Высокое напряжение ($3+10$ кВ) от высоковольтного источника 1 (типа ВС-23) через ограничивающее сопротивление подается на коронатор 2. Коронатор представляет собой гребенку из швейных игл, расположенных на расстоянии 1,5 см одна от другой и закрепленных в диэлектрической оправке. Концы игл размещаются параллельно нити на расстоянии 1 см от нее.

Коронный разряд, возникающий в результате протекания процессов ионизации молекул воздуха вблизи игл, заряжает нить. При помощи мотовила 3 нить сматывается с бобины 4, при этом заряженный участок нити подается в датчик 5 измерителя заряда 6. Нитепроводники 7 и 8 препятствуют возникновению чрезмерных колебаний нити при ее движении.

Экранированная конструкция датчика измерителя заряда позволяет размещать его в непосредственной близости от коронатора, при этом потенциал высокого напряжения, подаваемый на коронатор, не наводит сигнала помехи на датчике.

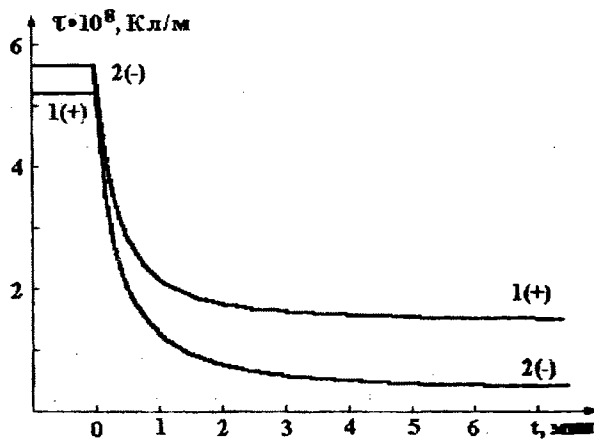


Рис. 4

Использование прибора проиллюстрировано (рис.4) временными зависимостями спада сигнала линейной плотности электростатического заряда, снятыми с его помощью, для текстильных нитей из волокна Лола (эти нити используются для приготовления трикотажной сетки ПТО-41). Удельное объемное сопротивление нитей $\rho_v = 1,9 \cdot 10^{11}$ Ом·см, а их удельное поверхностное сопротивление $\rho_s = 1,8 \cdot 10^{12}$ Ом.

Нити заряжались на стенде (рис.3) в поле коронного разряда при напряжении на коронаторе 7 кВ. Из графиков видно, что нанесенный на нить отрицательный заряд спадает примерно в два раза быстрее (кривая 2), чем положительный (кривая 1). Времена полуспада максимального заряда для этих процессов соответственно 15 и 32 с. Остаточный положительный заряд держится на материале длительное время (десятки минут).

Установка позволяет проводить испытания нитей и на склонность к электризации трением. Для этого нить с усилием протягивается через узел 7 (рис. 3), представляющий подпружиненное зажимное приспособление, содержащее сменный вкладыш из второго исследуемого материала. Этот материал вместе с материалом нити составляют трибоэлектрическую пару. Подбор материалов пар производится так, чтобы наиболее полно имитировать процессы электризации трением в условиях эксплуатации.

Описанный измеритель электростатических зарядов текстильных нитей предназначен для измерения степени электризации движущихся диэлектрических нитей, волокон, пряжи, лент и т.д. в процессе изготовления и переработки.

Прибор можно использовать для оценки эффективности обработки синтетических волокон различными антистатическими препаратами. Он рекомендуется также для применения на предприятиях по производству химического волокна; в легкой, текстильной и хлопкопрядильной промышленности для оценки электростатических свойств сырья и готовых изделий.

Применение динамического индукционного электрометра со специально сконструированным датчиком с целью исследований склонности нитей к электризации позволяет с большей точностью (чем это делалось ранее) измерять значения линейной плотности электростатического заряда на нитях, а также регистрировать динамику процесса спада заряда, что делает эти исследования более информативными.

Приборы контроля за уровнем зарядов и электростатических полей в пространстве и на поверхности заряженных объектов в настоящее время должны обеспечиваться методиками и средствами измерения и проверки.

В целях проведения градуировки или проверки точности показаний прибора в его рабочем канале вместо нити размещается закрепленная на внешних изоляторах металлическая проволока по возможности того же диаметра, что и исследуемая нить.

На проволоку подается потенциал с выхода стабилизированного источника постоянного напряжения (например, блока питания ВС-23). Уровень потенциала контролируется вольтметром или киловольтметром (например, киловольтметром марки С-96). Предел допустимой основной относительной погрешности измерений при такой градуировке находится на уровне не более 5%. Потенциал поля длинной заряженной нити связан с линейной плотностью τ электростатического заряда на ней [7] формулой

$$\tau = \frac{2\pi\epsilon_0\varphi}{\ln(r/r_0)}. \quad (3)$$

Здесь φ – потенциал на поверхности нити радиусом r_0 ; r – радиус эквипотенциальной цилиндрической поверхности, на которой расположены приемные электроды прибора. Ось этой поверхности совпадает с осью заряженной нити. На основе этой формулы могут быть рассчитаны и построены таблицы и графики для перевода результатов измерений, полученных в единицах потенциала, в значения линейной плотности электростатического заряда на поверхности нити. Измерения плотности заряда в этом случае являются косвенными, поэтому оценка погрешности измерений должна осуществляться в соответствии с [8].

Кроме зарядов, возникающих на нитях из высокоомных синтетических материалов, с помощью описанного прибора можно измерять заряды, наводимые на тонких жестких диэлектрических стержнях, что используется при испытаниях новых материалов на электризуемость.

Прибор позволяет также измерять напряженности полей, создаваемых тонкой металлической проволокой. При фиксированном напряжении на ней величина поля зависит от диаметра проволоки, что позволяет использовать такую систему для оперативного контроля качества проволоки [9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Полоник П.А. Борьба со статическим электричеством в текстильной и легкой промышленности. – М.: Легкая индустрия, 1966.

2. Penzel E., Jansen G. // Melliand Textilberichte. – 1975. В. 56, № 7. S. 520...526.

3. Лабораторный практикум по текстильному материаловедению / Учебн. пособие: – М.: Легкая индустрия, 1974.

4. Статическое электричество при переработке химических волокон / Под ред. И.П. Генца, – М.: Легкая индустрия, 1966.

5. А.С. 966626 СССР, G 01R 29/24. Измеритель поверхностной плотности заряда диэлектриков /

Б.К. Сушко, Р.З. Бахтизин, С.С.Гон. – Оpubл. 1982. Бюл. № 38.

6. CSN 80 0059: Urceni elektrostatickych vlastnosti textilli a antistaticke celnnosti uprav (navrh).

7. Говорков В.А. Электрические и магнитные поля. – М.: Энергия, 1968.

8. МИ 2083-90 ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей.

9. Бахтаев Ш.А. Коронный разряд на проводах. – Алма-Ата: Наука, 1984.

Рекомендована кафедрой физической электроники. Поступила 23.04.01.