電 気 式 水 分 計*

(昭和39年 3 月14日受理) 会 員 三 浦 義 人**

〃 斉 藤 洋

〃 中 条 芳 之 介

→ 摘 要 ←

目 的

仕上工程中の相当ぬれた状態にある織物の高含水率を計測するための電気式水分計を試作し、その作動状況を確認する。

成 果

試作水分計として交流方式と直流方式の2種を設計したが、交流方式では位相検波を付加する要があり回路が複雑化するので、直流方式を採用した。検出器入力抵抗、標準抵抗、感度を適当に選ぶことにより、綿、スフ、ナイロン、テトロン織物の含水率の測定が可能となり、しぼりマングルを通過する走行布について試験した結果、計器は正確に作動し実用できることが実証された。

1. 結 言

織物整理仕上工程においては、水、染液、樹脂液などによる給湿と乾燥の繰返しが多く、適正含水率を維持することは以後の工程、品質管理および熱経済上からもきわめて大切である。したがって適正含水率の計測管理が不可欠である。このため現在種々の電気式水分計^{1,2)}が製作されて迅速簡便な水分率測定に使用されているが、これらの多くは低水分率計測のためのものである。そのため相当ぬれた状態にある高水分率の布に適用する場合、温湿度、不純物（電解質）の多少、接触条件などが測定値におよぼす影響などについては充分解明されていないようである。またマングルなどを用いて浸漬布をしぼる場合のように、布が連続して移動するときの高水分率の布の各部における含湿率の測定はまだ行なわれていない。

そこで高水分率測定のための電気抵抗を採用した水分計2種を試作し、その使用方法について考察し、またこれを実際にマングルしぼり後の水分率測定に応用した。

2. 電気式水分計の試作

Hearle³⁾ はブリッジの一種ともいえる補償回路によ

(第1図) 測定原理図

て吸湿による繊維の電気抵抗変化を測定したが、われわれはその原理に基き水分計を試作した。

第1図において、標準抵抗 r_s 、試料の抵抗 r_x 、検出器入力抵抗 r 、 r_s に流れる電流 i_s 、 r_x に流れる電流 i_x 、 r にかかる電圧 v とすれば

$$\left. \begin{aligned} v &= (i_s + i_x) r \\ i_s &= \frac{v_s - v}{r_s} \\ i_x &= \frac{v_x - v}{r_x} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

これを解いて

$$v = \frac{(r_s v_x + r_x v_s) r}{(r_s + r_x) r + r_s r_x} \dots\dots\dots (2)$$

* Moisture Content Meter of Electric Resistance Type Meter.

** Y. Miura, H. Saito and Y. Nakajyo, Members. 京都工芸繊維大学工学部

ここで

$$v_s = -v_x = v_0 \dots\dots\dots (3)$$

とすれば (第2図参照), $r \ll \frac{r_s r_x}{r_s + r_x}$ に選んであるから

直流式 交流式
(第2図) 実際測定方式

$$v = \frac{(r_s - r_x) r}{r_s r_x} v_0 \dots\dots\dots (4)$$

すなわち試料の水分に応じて抵抗が変化すると、 v の変化としてメータに指示される。試料および標準抵抗にかかる電圧は、直流および交流の2種が考えられる。本文ではこれらをそれぞれ直流方式および交流方式と呼ぶ。条件(3)を実現するためには直流方式では極性を逆にし、交流方式では位相を逆にすればよい。(4)でわかるように $r_s = r_x$ で印加電圧や入力抵抗に関係なく $v = 0$ となり、しかも試料にはほとんど一定の電位差が加えられることが特長である。しかし感度の高い検出器を使えば、検知電位差は両抵抗の差にほぼ一致した関連となり、水分計のごとく非オーム性の抵抗値を測定するには都合がよい。標準抵抗は適当な水分率を与えた同一の試料布とすることも考えられる。さらに工程管理に使用する場合、検出電圧 v が小さくなるよう v_x にネガティブフィードバックすれば、以上の特長を生かすだけでなく安定な動作が期待される。

われわれは工程管理用水分計の基礎研究として基本回路の試作を行なった。その配線図を第2図(交流方式)および第4図(直流方式)に示す。交流方式においては便宜上検出点において整流してから直流真空管電圧計に導いているので、 $r_x = r_s$ を除く $|v| \neq 0$ なる状態で、

(第3図) 交流方式電気水分計配線図

(第4図) 直流方式電気水分計配線図

試料の抵抗値が異なっても同じメータ指示値を生ずる場合が2つ存在し、水分計測上不便であるので、ここでは $r_x \geq r_s$, $r_x \leq r_s$ 領域のいずれか一方で使用することとした。現在位相検波を付加して、この欠点を除いた両領域を同時に計測できる装置を研究中である。以下主として直流方式の水分計についてのべる。

また使用上の便を考え水分率の多いときメータも大きく振れる方が、一層直観的であるため $r_x \leq r_s$ として指示の極性をえらんだ。

直流方式水分計は交流方式とほぼ同様であるが、検出器入力抵抗および感度の切替え、記録計ターミナルが付加され、水分率の測定範囲に応じて適宜選択ができる。感度は交流方式は可変抵抗(5kΩ—B型)を使用して連続調整であるが、直流方式では切替えスイッチを使用して感度呼称1~10の5段階に限った。感度10のときメータ指示値が100であるとすれば、同一水分率に対する各感度でのメータ指示値は第1表のとおりである。

(第1表) 感度とメータ指示の関係

感 度 呼 称	1	2	3	5	10
メータ指示比	10	20	30	50	100

3. 試作水分計の特性実験

(1) 試料布の準備

長さ 10.5 cm, 幅 5.5 cm の試料をとり周囲をミシン

(第2表) 試 料 布

試 料	織 密 度		織 度
	た て (end/cm)	よ こ (pick/cm)	
綿 ブロード 平織	50	48	50 s
ス フ モ ス	26	25	40 s
ナイロン布	62	31	50 d
テロン布	58	40	50 d

でかがり縫いし、マルセル石けん 0.25 %、無水炭酸ソーダ 0.25 % のアルカリ溶液 (浴比 1 : 50, 100°C) 中に 10 min 浸し、その後充分水洗する。使用した布の構成を第 2 表に示す。

(2) 交流方式水分計の特性実験

水分率および抵抗測定はつぎのように行なわれる。

まず測定すべき試料をあらかじめ乾燥させ赤外線迅速水分計により、その絶乾質量 m_0 を測定する。測定器の 0 点調整を行なったのち、水道水に浸した試料を第 5 図

(第 5 図) 試料固定法

のごとく試料台にのせ、その一端を固定し他端に一定の張力 25 g/cm (これは後述のマングルを用い走行する布を絞搾する場合の布張力に等しくした) をクリップと重錘によってかける。この場合試料はできる限り不純物の付着せぬように注意する。電極軸間距離は 10.5 cm である。つぎに計器の感度を上げつつ標準抵抗を変化させメータ指示値がもっとも小さくなるような標準抵抗 r_s と指示値 v を求める。その後直ちに試料を計量びんに入れ直してんびん (計量 100 g, 感度 1 mg) で質量 m を測定する。

以上の操作を繰返し行なう。要すればわずかな乾燥操作をそう入する。

各繰返しごとに水分百分率 $\frac{m-m_0}{m_0} \times 100\%$ と標準抵抗 r_s , 指示値 v との関係を求める。

第 6 図に実験例を示す。試料はスフモス、綿ブロードをとり標準抵抗は 10 kΩ である。図において○は試料右端, ⊙ は中央, ⊗ は左端の測定値である。スフモスの場合水分率 90~130 %, 綿の場合 60~150 % の範囲の変化は、ほぼ直線的にメータ指示値にあらわれると見なしてよい。

第 7 図は以上の結果にナイロン、テトロンを加え、あらかじめ行なった指示値—電気抵抗の較正実験から、水分率—電気抵抗の関係を求めたものである。

(第 6 図) 水分率とメータ指示値との関係 (交流式)

(第 7 図) 試料の電気抵抗—水分率曲線

(3) 直流方式水分計の特性実験

前項では水分率と電気抵抗を切り離して測定したが、第 8 図の方法で試料布を自然乾燥させつつ計量と指示値の読取りを行えば連続的に両者の関係が求められる。この場合水分計の回路条件、すなわち標準抵抗、入力抵抗および指示値との関係もしらべる。

測定結果の一例を第 9 図に示す。図において綿布とスフモスの場合、水分率 50% 以下では指示値は非直線の変化を示すが、80~150% にかけて指示値は直線的に増加し、もっとも適当な回路条件である。ナイロン、テ

ロン布では 30~40 % では指示値は急激に増大し、40 % 付近からはあまり変化しない。

同様な実験を $r=50, 100, 200\text{ k}\Omega$ と変化させて行なった。

以上、入力抵抗、標準抵抗、感度を変えて水分率と指示値との関係をまとめて第 3 表に示す。

これを要約すればつぎのとおりである。

(a) 感度を下げ標準抵抗を大にすると広い範囲の水

① 上皿てんびん ⑦ きわめて細い導線
② 吊 線 (セレクト①に至る)
③ ⑤ クリップ ⑧ 机
④ 試 料 ⑨ 分 銅
⑥ 導線 (電源に至る)

(第 8 図) 水分率—電気抵抗の同時測定

■——■ 綿 ▲——▲ ナイロン
○……○ スフモス △——△ テトロソ

(第 9 図) 各試料の水分率とメーター指示値との関係 (直流式 $r=10\text{ k}\Omega$)

(第 3 表) 水分計の回路条件と使用状態

回 路 条 件					使 用 状 態			
検出器入力抵抗 r (k Ω)	標準抵抗 r_s (k Ω)	感度呼称	入力電圧 [*] (V)	計算抵抗範囲 ^{**} (k Ω)	試 料	水分率範囲 ^{***} (%)	指示範囲	比 ^{****}
10	70×10^3	3	P 20	25~70 000	綿	26~167	0~91	0.65
〃	15×10^3	3	〃	25~10 000	スフモス	46~215	0~100	0.59
50	2×10^3	2	S 25	100~2 000	綿	66~139	0~84	1.15
〃	2.5×10^3	2	〃	100~2 500	スフモス	69~192	0~100	0.81
〃	70×10^3	3	P 20	125~70 000	ナイロン	39~67	0~75	2.68
〃	70×10^3	3	〃	125~70 000	テトロソ	32~50	0~90	5.00
100	1.2×10^3	1	S 25	170~1 200	綿	75~157	0~99	1.21
〃	2×10^3	2	S 25	180~2 000	〃	68~96	0~95	3.93
〃	2.5×10^3	3	P 20	250~2 500	〃	52~71	0~94	4.95
〃	1.5×10^3	5	P 10	375~1 500	〃	97~114	0~85	5.00
〃	5×10^3	3	P 20	250~5 000	スフモス	58~70	0~100	8.33
〃	5×10^3	10	P 4.5	900~5 000	ナイロン	27~60	0~95	2.88
〃	6×10^3	10	P 4.5	950~6 000	テトロソ	42~58	0~92	5.75
200	1.5×10^3	3	P 20	375~1 500	綿	75~84	10~98	9.78
〃	2×10^3	〃	〃	400~2 000	〃	56~62	10~92	13.67
〃	2.2×10^3	〃	〃	400~2 200	スフモス	96~118	0~100	4.55
〃	2.6×10^3	〃	〃	400~2 600	〃	79~95	10~90	5.00
〃	6×10^3	〃	〃	500~6 000	〃	43~52	10~92	9.11
〃	7×10^3	〃	〃	500~7 000	ナイロン	31~42	0~100	11.11
〃	6×10^3	〃	〃	500~6 000	テトロソ	48~61	10~90	6.15

* 指示値と比例関係にある入力電圧 (P と略記), 指示値が飽和すれば飽和値の 90 % に対する入力電圧 (S と略記)

** 4. 考察の項参照

*** 飽和値の 90 % を指示範囲, 指示範囲と対応する水分率を水分率範囲とする

**** 上記範囲内の指示値変化/水分率変化

分率が測定でき、逆に感度を上げ標準抵抗を小にするとせまい範囲の水分率を精密に測定できる。

(b) 入力抵抗を上げ標準抵抗を小さくすれば、水分率と試料の電気抵抗間の関係は直線形に近づくが、水分率測定範囲が相当せまくなる。しかし感度を適当に選ぶことによって、この測定範囲を平行移動することができる。

(c) ナイロン、テトロン疎水性繊維に対しては、入力抵抗、標準抵抗、感度の選び方により水分率 50% 以下で試料抵抗が不安定になることがある。

4. 考 察

直流方式、交流方式を通じて試料が親水性であるか疎水性であるかによって、水分率—指示値の関係は異なった傾向を示す。親水性繊維においては繊維表面に水分は均一な厚さに吸着または付着し、連続した水膜を形成するに対し、疎水性繊維では表面に付着した水分は島状に分離し重なりが小さく不安定であって、電導に寄与しないことによると考えられる。また 100% 以上の水分率では付着水分は重力による偏在が大きく、指示値に大きく作用しない。これらのことは回路に原因を帰すべきではなからう。

測定中に電極界面は分極する。分極は 電流×時間＝電気量 に関係し、ある程度交流の周波数を上げれば認められないので、測定時間（加電時間）の影響すなわち試料の移動速度による誤差が無視でき、工程管理の目的には交流方式が適していよう。しかし直流および低い周波数の交流を用いると、低抵抗（高水分率）の試料ではこの逆起電力はかなり大きい。

また検出電極を第 10 図のように分割し、セレクトによって区分測定を可能にしたが、このままでは区分が明

⑦ 加電極 (ステンレス鋼 10φ)
①～⑤ 検出電極 (ステンレス鋼 10φ)
⑥ 接地電極 (同 上)

(第 10 図) 電 極 配 置

確でなく中央の有効幅は端のそれよりも大きくなる。第 5 図はこれを示している。したがって検出電極相互には何らかのシールドが加えられなければならない。しかし中央部分での接触圧が大きくなることもありうると思われる。

試作した水分計の特性実験は室温 $20^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$ (試料温度は露点温度 9.5°C にほぼ等しい)、湿度 $50\pm 5\%$ において調べたものである。したがってこれらの条件の異なった場合は、それに応じて計器の指示と水分率の関係をあらかじめ補正しておく必要があると考えられる。このような場合標準抵抗はすでに触れたように、一定水分率を与えた試料と同種で同温度に保たれた布片によって置きかえるのが望ましい。しかし直流方式では分極によって r_s が時間の経過とともに増加するので採用できない。

つぎに第 3 表の結果について考察する。いま (4) 式において $r_x = n r_s$ とすれば

$$v = \left(\frac{1}{n} - 1 \right) \frac{r}{r_s} v_0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

であるから $1/n$ と v との関係は第 11 図の AA' であらわされる。しかし $1/n$ が大、すなわち r_x が小さくなると電源の内部抵抗のために $v_s - v_x = 2v_0$ が下って AA'' となる。さらにこれが正負に飽和のある検出器に加えられると、その指示値は BB' であらわされる。ここで水分率の大きいほど布の抵抗値は下ることを考えるとよこ軸の $1/n$ は水分率に置きかえても曲線の傾向は変わらない。

検出器の飽和値を v_+ および v_- とすると

(第 11 図) 試料抵抗値と検出電圧の関係

$\frac{r_s}{1 + \frac{v+r_s}{v_0 r}} \sim \frac{r_s}{1 + \frac{v-r_s}{v_0 r}}$ の r_x が測定可能となる。本器においては 0~25 V に比例関係があり、負方向は検出できないから $r_s \sim \frac{r_s}{1 + \frac{v+r_s}{v_0 r}}$ がその測定範囲である。

本報の交流方式では $r_x \geq r_s$ の領域を指示させるに対し、直流方式では $r_x \leq r_s$ の領域を指示させている。検出点での飽和入力電圧はそれぞれ v_{ac} , v_{dc} , 印加電圧はそれぞれ v_{oac} , v_{odc} であるから入力抵抗 r , 標準抵抗 r_s の回路条件でそれぞれ $r_s \sim \frac{r_s}{1 + \frac{v_{ac} r_s}{v_{oac} r}}$ および

$\frac{r_s}{1 + \frac{v_{dc} r_s}{v_{odc} r}} \sim r_s$ が使用範囲となることがわかる。第 3

表は後者についての具体例である。

5. 水分計を用いた実測例

試作した直流方式電気水分計をマングルのしぼり率の測定に使用して、その作動状況を確認した。実験装置を第 12 図に示す。実験条件はつぎのとおりである。

(第 12 図) しぼりマングル実験装置

(a) しぼりゴムロールは上下一対の同型ロールで、ロール幅 30.5 cm, 直径 8.5 cm, ゴム被覆の厚さ 1.1 cm, 硬度 92 (島津製ゴム用 J I S ハードネス テスタによる) である。

(b) ロール加圧はフレーム左右のねじを締めて行なわれる。荷重は印画紙感光法で検出した 1.70, 0.50, 0.20 kg/cm の 3 種が選ばれる。

(c) 試料布の幅は 28 cm とし電極を水分計のセクタで切り替えて、布幅の方向で両端と中央の 3 カ所を測定対象とする。(第 10 図参照)

(d) 試料布速度は変速機により 1.2~4.4 m/min の範囲で適当に変えられる。

(e) 試料布はスフモスリンを用い、これを 5°C の水道水に 10 min 浸漬後マングルでしぼり、電極を通ったのち消極的に巻きとられる。

(第 13 図) しぼり荷重—水分率曲線

(第 14 図) 荷重—しぼり率曲線

(第 15 図) 布速と水分率の関係
(荷重 0.50 kg/cm)

(第16図) ローラ中央部と端部のしぼり率の差
(荷重 0.50 kg/cm)

水分計に記録計を接続してえられたデータを第13, 15, 16図に示す。

第13図は運転中に荷重を変えた場合の水分率変化曲線である。第13図から各荷重での水分率を読み取り、マンダルに入る前の含水率215%（直してんびんで測定）を考慮し、荷重—しぼり率曲線として第14図をうる。ここにマンダルのしぼり率は、マンダルに入る直前の布の水分量 A 、マンダル通過後の布の水分量 B として次式であらわされる。

$$\text{マンダルしぼり率} = \frac{B}{A} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (6)$$

第15図は布速を変えた場合の曲線であるが差はあまりあらわれていない。これは変速範囲が 1.2~4.0 m/min という極めて低速であって、この程度の変速ではし

ぼり率に大きく影響しないためと考えられる。

第16図はセクタを切替えて測定したものでロール幅の両端部と中央部のしぼり率の差があらわれている。しかし電極間の幾何学的因子に基く電気力線分布の変化もこれと重なっているため、マンダルによるしぼり率の差のみがあらわれたものと断定はできない。

以上の結果から試作した水分計は、一応マンダル工程でのしぼり率測定に実用しうるといえる。

6. 結 論

Hearle の補償回路を応用して電気式水分計を試作した。その特性をしらべた結果をまとめるとつぎのとおりである。

- (1) 交流方式には位相検波を付加しないと、メータ指示値に対して水分率が判断できない場合が生ずる。
- (2) 直流方式ではその欠点が除かれる。回路条件（入力抵抗、標準抵抗、感度）を変えて水分率測定範囲の選択ができる。
- (3) 標準抵抗より試料抵抗の小さいとき、水分率増加とともに指示値が増し水分計としては直観的となる。
- (4) 直流方式水分計は工場でのしぼり工程管理に実用できる。

終わりに、熱心の実験に協力された大西喜三郎、高井功両君に感謝する。

参考文献

- 1) 繊維工業専門委員会；電気学会技術報告，No 43，17~29 (1960)
- 2) 星合正治編；“電気式水分計”，日刊工業 (1960)
- 3) Hearle, J. W. S.: J. Text. Inst., 44, T 177 (1953)
- 4) 三浦義人：繊維学会誌，15, 824 (1959)