

可用于自动补偿环节的 电导率传感器的研究

唐永炎

(自动化系)

一、前言

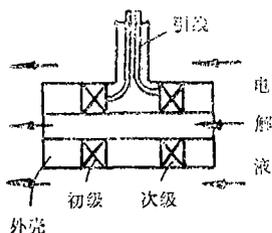
所研制的电导率传感器不同于常规的接触式的电导池，它是基于变压器的工作原理，因之可能作成与电解质不直接接触的方式下工作(参看图2)，而广泛地被采用。特别宜作电解液或其它流体如海水、硬水净化时对电导率的连续监测，可以用作某些自控系统中作电导率的自动补偿环节。例如，在电解加工工艺中，可用作电导率由于浓度、温度变化时的自动补偿，以维持恒间隙加工。再如，在原子能放射性电解质液体中，可用于电导率的自动监测。此外，在发电厂等其它工业部门中，可作电渗析净化水等自控系统中的补偿环节。这种类型的电导率传感器还可广泛用于科学研究部门。

本文介绍该电导率传感器的工作原理，阐明利用一般性能的国产坡莫合金得到优良性能传感器的设计方法，推导出参数选择的近似公式；介绍一些实用的调试方法和初步结论。

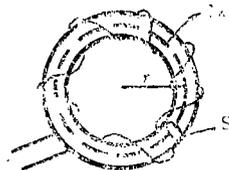
二、电导率传感器的工作原理

该传感器的结构示意图、线圈绕制方式、工作原理如图1(a)、(b)、(c)所示。图2(a)、(b)示出传感器在管道内的安装方式。

传感的工作原理：电解液包围初、次级线圈通路，可看成为一匝线圈，某等效电阻为 R 。 R 值大小即反映实际电解液电导率的大小。



(a)



(b)

本文1985年1月16日收到。

$\mu_2\varepsilon$ —次级铁芯材料相对导磁率

E_{1m} —初级电源电压峰值(伏)

R —电解液等效电阻(欧)

0.22~0.24—系数。在 N_3 较大时取下限

四、初级、次级参数影响的探讨

由式(1)的推导过程可知(参见附录一), E_3 为下列形式:

$$E_3(mv) \propto f \cdot \frac{N_3}{N_1} \cdot \frac{S_2}{r_2} \cdot \mu_2\varepsilon \cdot \frac{E_{1m}}{R} \quad (1)'$$

作者经过大量实验,证明了以上关系。但必须说明,上述关系只适合于初级磁路非饱和情况。所谓非饱和,是指 $H_1(I_1)$ 不在饱和区。

经推导得:

$$H_1 \propto \frac{1}{\mu_1\varepsilon \cdot S_1} \cdot \frac{E_{1m}}{f \cdot N_1} \quad (2)$$

由式(2),初次级参数应作如下考虑:

1) 设计中,初、次级参数选择应结合式(2)、式(1)'考虑。首先应考虑式(2)要求,使初级工作在非饱和区,即要求 H_1 不致过大(参见图 3),则 E_{1m} 、 f 均有限制。经试制过程中实测的输出~频率特性,如图 4 所示。由图 4 可看出,选择 400c/s 频率是适宜的。

对于 E_1 的选择,在频率固定下,增大 E_1 虽可得到最大输出,但仍应确保工作不在饱和区。所以对某具体材料的传感器, E_1 应有合理的选择。对所研制的传感器,在电源频率为

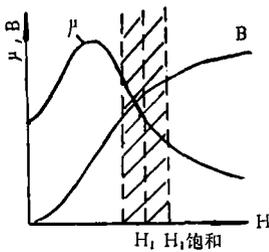


图 3 $\mu-H$, $B-H$ 曲线

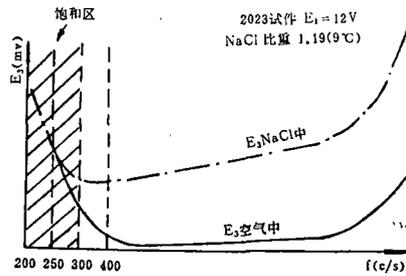


图 4 $E_3 \sim f$ 关系曲线

400c/s 下, E_1 在 14 伏时已临近饱和。可取 E_1 为 12 伏等。

2) 由式(1)'可知,在非饱和区工作的前提下,欲提高输出灵敏度,可提高 E_1 、 S_2 及 N_3 。作者曾以较低 μ 值的国产 79HM 材料,利用绕制 N_3 为 3600 匝,得到与国外某同类高 μ 材料传感器相当的输出水平。

3) 由式(1)'可知,输出 E_3 与电解液等效电阻 R 反比(即与电导率成正比)。 R 值反映电解液浓度及温度。即对一定成份的电解液,在一定温度下,可间接测定浓度变化;或在一定浓度下,间接测定温度变化,部分实测结果可参见附录二。结果表明,在电解液浓度不变,温度在某一定范围内变化时, $E_3 \propto t$, 具有较好的线性。其输出灵敏度远比一般低温热电偶为大。因此,这类传感器还可兼作电导率变动不大的电解液的温度监测。

必须注意, R 与变换器尺寸和电解液浓度、温度有关。试验表明,在外径、长度一定下

的圆柱形传感器,增大中心通道面积,其电解液等效电阻值相应减小。因此,欲提高传感器输出绝对值,可适当增大传感器中心通道尺寸。

五、采用国产79HM坡莫合金试制的传感器静态特性

作者利用79HM材料作了不同尺寸的该种传感器的研制,并验证了 $E_3 \sim f$ 、 $E_3 \sim E_1$ 、 $E_3 \sim C$ (浓度)以及 $E_3 \sim t$ 特性等。部分数据列入附录二中。此外,亦验证了传感器中心通道尺寸对输出 E_3 的影响。这些都表明此推导的近似设计公式是正确的。

以下列出所试制的代表性试件的输出灵敏度实测结果。测试条件为 $E_1 = 8.0$ 伏(有效值),电源频率 400c/s ,NaCl溶液比重1.11(8.5°C 下)。并用阴射线示波器法证明在初级 N_1 、 E_1 、 f 及 $\mu_1\varepsilon$ 和 S_1 下,初级工作在非饱和区。

例1: 2025试件

已知: $r_2 = 0.0175$ 米

$S_2 = 0.525 \times 10^{-4}$ 米²

$r_1 = 0.0175$ 米

$S_1 = 0.35 \times 10^{-4}$ 米²

$N_3 = 3600$ 匝

$N_1 = 280$ 匝

$\mu_2\varepsilon = 0.96 \times 10^4$ (实测)

$R = 17\Omega$ (实测)

实测 $E_3 = 54$ mv

由近似公式(1)计算,因式中系数已修正,故所得结果相同,即

$$E_3(\text{mv}) = 0.22 \times \frac{3600}{280} \times \frac{0.525 \times 10^{-4}}{0.0175} \times 0.96 \times 10^4 \times \frac{\sqrt{2} \cdot 8.0}{17.0} = 54$$

例2: 2023试件。条件同上例,其它参数为:

$r_2 = 0.0135$ 米

$S_2 = 0.30 \times 10^{-4}$ 米²

$N_3 = 480$ 匝

$N_1 = 230$ 匝

$\mu_2\varepsilon = 1.71 \times 10^4$

$R = 45\Omega$

r_1 、 S_1 同上例

实测 $E_3 = 4.5\text{mv}$ 、式(1)系数应改为0.24。

六、结 论

1) 传感器原理和近似公式已被大量实验所证实,设计时可用式(1)粗略估算,但应参照(2)式确证初级不致饱和。

2) 初级材料的导磁率只间接对输出有影响,主要是高的导磁率会有较小的匝数 N_1 面不饱和(间接提高了输出 E_3),如果材料导磁率不够理想,可增加 N_1 使之不致饱和。输出值

大小可从次级入手解决。

3) 次级参数对输出的影响主要是 N_3 和 $\mu_2\varepsilon$ 。导磁率小的材料可以适当增加 N_3 , 选择合适的 S_2 和传感器中心通道尺寸等, 得到较大输出, 达到实用要求。

4) 关于试制方法, 可根据输出灵敏度要求用式(1)估算, 对一定尺寸的传感器, 可在空气中利用串接等效电阻代替电解液线圈进行模拟调试, 再在电解液中正式测试其特性。实践表明, 在空气中调试的传感器, 与在电解液中的实际性能基本一致。

附录一、设计近似公式的推导

参见图 1。将传感器看成为两个变压器。令传感器的初级线圈为线圈 1, 次级为线圈 3, 而电解液的等效线圈为线圈 2。

1) 近似地利用变压器空载公式于第一、第二变压器时, 相继有:

$$E_2 = 4.44 \cdot f \cdot N_2 \cdot \phi_{m1} \quad (\text{伏})(\text{有效值}) \quad (a)$$

$$E_3 = 4.44 \cdot f \cdot N_3 \phi_{m2} \quad (\text{伏})(\text{有效值}) \quad (b)$$

式中

f —电源频率

N_2, N_3 —电解液线圈和传感器次级线圈匝数

ϕ_{m1}, ϕ_{m2} —传感器初、次级中的磁通, (韦)

2) ϕ_{m1}, ϕ_{m2} 的确定

参看图 1(b)、故

$$\phi_{m1} = \mu_1 - H_1 S_1 = \mu_1 \frac{N_1 \cdot I_{1m}}{l_{x1}} \cdot S_1 \quad (\text{韦}) \quad (c)$$

式中

$$\mu_1 = 4\pi \times 10^{-7} \times \mu_1\varepsilon \quad (\text{亨/米})$$

$\mu_1\varepsilon$ 相对导磁率

N_1 , (匝); I_{1m} , (安); l_{x1} , (米); S_1 , (米²)。

同理可得 ϕ_{m2} 。

3) 若忽略电解液等效线圈 2 的感抗, 则该等效线圈上的电流有效值为:

$$I_2 = \frac{E_2}{R} \quad (\text{安}), \quad \text{即}$$

$$I_{2m} = \sqrt{2} E_2 / R \quad (\text{安})$$

将(c)式代入(a)式, 再代入上式, 可得:

$$I_{2m} = \frac{\sqrt{2} \cdot 4.44 \cdot f \cdot N_2 \cdot \mu_1\varepsilon \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot N_1 \cdot I_{1m} \cdot S_1}{l_{x1} \cdot R} \quad (\text{安}) \quad (d)$$

4) 将(a)(b)(c)(d)等式合并, 得

$$E_3 = \frac{(4.44)^2 \cdot (4\pi \cdot 10^{-7})^2 \cdot \sqrt{2} \cdot f^2 \cdot N_3 \cdot N_2^2 \cdot N_1 \cdot \mu_2\varepsilon \cdot \mu_1\varepsilon \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot I_{1m}}{(2\pi)^2 \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot R} \quad (\text{伏}) \quad (e)$$

式中 $\mu_2\varepsilon, \mu_1\varepsilon$ 各为对应于峰值电流 I_{2m}, I_{1m} 下的两铁芯的相对导磁率。

I_{1m}, I_{2m} 均可实测或按下式计算:

$$I_{1m} = \frac{E_{1m} \cdot r_1}{f \cdot N_1^2 \cdot \mu_1\varepsilon \cdot S_1 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}} \quad (\text{安}) \quad (f)$$

(5) 将式(f)代入(e)式得:

$$E_3 = \frac{(4.44)^2 \cdot (4\pi \cdot 10^{-7}) \cdot \sqrt{2} \cdot f \cdot N_3 \cdot N_2^2 \cdot \mu_2 \varepsilon \cdot S_2 \cdot E_1}{(2\pi)^2 \cdot r_2 \cdot N_1 \cdot R} \text{ (伏) (有效值)} \quad (g)$$

式中, N_2 为电解液等效电阻匝数, 取 N_2 等于 1, 并设定 $f = 400c/s$, 经化简得:

$$E_3 (mv) = 0.35 \cdot \frac{N_3}{N_1} \cdot \frac{S_2}{r_2} \cdot \mu_2 \varepsilon \cdot \frac{E_{1m}}{R} \text{ (伏)} \quad (h)$$

由于未计入漏感等影响, 故将式中系数 0.35 改为 0.22~0.24, 对 N_3 较大者取下限, 则上式成为式(1)的近似设计经验公式。

附录二、部份实测数据举例*

2023 试件

频率特性 $E_1 = 12$ 伏, NaCl 比重 1.19(9°C)

f (c/s)	200	250	300	400	1K	2K	20K
E_{3NaCl} (mv)	27.0	15.0	7.5	10.0	14.2	18.2	75
E_3 空气 (mv)	27.0	15.0	4.2	0.8	0.4	0.4	42

输入特性 $f = 400c/s$, NaCl 比重 1.19(9°C)

E_1 (v)	2.0	4.0	8.0	10.0	11.0	12.0	14.0
E_{3NaCl} (mv)	2.0	3.5	6.8	8.6	9.3	10.0	11.8
E_3 空气 (mv)	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.2

浓度特性 $E_1 = 11v$, $f = 400c/s$, NaCl 溶液温度 9.0°C

比 重	1.05	1.09	1.11	1.14
E_3 (mv)	4.4	6.6	7.7	9.0

温度特性

NaCl 比重 1.11(8.8°C时),

$E_1 = 11$ 伏, $f = 400c/s$

t °C	8.8	10.5	11.0	12.0	12.5	15.0
E_3 (mv)	7.7	8.0	8.1	8.3	8.5	8.7

t °C	17.0	19.0	20.5	21.5	27.0	28.0
E_3 (mv)	9.1	9.5	9.8	10.0	11.0	11.2

* 使用音频信号发生器及真空管毫伏表和水银温度表与比重计测定

参 考 文 献

[1] 美国专利, 专利号 3054946, 1962。

[2] 德国专利, 专利号 1129232, 1960。

85012

可用于自动补偿环节的电导率传感器的研制 《无锡轻工业学院学报》1985年 第4卷 第2期

关键词: 传感器研制

内容简介 本文讨论一种电导率测定的方法、原理。该传感器暂定为变压器型电导率传感器。其优点是: 结构简单; 使用方便; 工作可靠以及可用于电导率的补偿环节。

作者: 唐永炎

85013

714MHz. 卫星电视接收系统中简易混频组件的研制 《无锡轻工业学院学报》1985年, 第4卷, 第2期

关键词 卫星接收混频

摘要 本文分析了一般的混频原理和讨论了分米波混频器的特点, 提出了用已经大量生产的高频调谐器改制成用于714兆卫星电视接收系统中的混频组件的方法。对获得的实验结果进行了讨论。实验表明, 方案切实可行, 混频组件具有性能稳定可靠, 价格低廉, 便于普及等优点。

作者: 周宝田

85014

试析织布机微机分级检测系统 《无锡轻工业学院学报》1985年, 第4卷, 第2期

关键词 轻纺微机检测系统。

摘要: 从分析织工艺着手, 根据配有几十至上百台织机车间的生产情况, 应用微型计算机系统对该生产过程开环监测所涉及的硬、软件进行实例分析, 作出评价, 最后附上机通过的汇编语言程序。

作者: 谢志刚, 赵曾貽

85015

圈条原理分析 《无锡轻工业学院学报》1985年, 第4卷, 第2期
关键词 圈条器, 圈条轨迹, 圈条, 大圈条, 小圈条, 圈条速率。

摘要 本文对圈存速度、圈条长度以及圈条轨迹作了理论分析。指出当工艺要求圈存速度保持恒值时, 则圈条半径必须略有波动。文中导出了计算圈条长度公式, 其精度高于已有的公式。同时利用作图法绘制了圈条轨迹曲线, 并得出: 当圈条盘与条筒反向转动, 曲线为 $(i+1)$ 支, 如二者同向转动, 则曲线为 $(i-1)$ 支。为了提高条筒容量, 建议采用反向转动方式圈存棉条, 如欲提高圈存容量, 则可以使用同向转动工艺比较优越。

作者: 刘国涛

85014

THE ANALYSIS OF SAMPLES for MICRO-COMPUTER DISTRIBUTIVE MONITOR SYSTEM for the LOOM «Journal of the Wuxi Institute of Light Industry», Vol.4, No.2, 1985

KEYWORDS Loom Micro-computer Monitor System.

ABSTRACT This article began with the analysis of loom technology, on the basis of workshops with tens of looms or up to more than a hundred. By employing micro-computer distributive system, the practical samples of the micro-computer's hardware and software with open loop monitor for production process were studied, analyzed and evaluated finally, a Z-80 language program for the micro-computer(ZSS) was enclosed.

Author: Xie Zhihong Zhao Zengyi

85012

A RESEARCH for SPECIFIC CONDUCTANCE TRANSDUCER «Journal of the Wuxi Institute of Light Industry», Vol.4, No.2, 1985

KEYWORDS The Reseach for Transducer.

ABSTRACT This paper introduced a new principle and technique for the specific Conductance measurements. The transducer was thus named trans-former-type specific Conductance transducer. The advantage of the transducer were, Simplicity of construction, convenience of application, reliability of operation and adaptability for specific conductance autocompensation elements. Accordingly. It might see wide usages in industry and research departments.

Author: Tang Yongyan

85015

THE PRINCIPLES and ANALYSIS of COILING «Journal of the Wuxi Institute of Light Industry», Vol.4, No.2, 1985

KEYWORDS Coiler, Coiling locus, Coiling, Over-center coiling, Around-center coiling, Coiling speed.

ABSTRACT This paper discussed briefly the coiling-speed, Coiling-length and coiling-locus. If the coiling speed was to be maintained a constant the coiling radius would be a slightly variable value. Through mathematical calculations of coiling lengths, equation (23) was obtained which had a better accuracy than others. When the coiler wheel turned clockwise and the can anti-clockwise (In fig.4), or the reverse, the curves of coiling were equal to the coiling speed rate $(i+1)$ (assuming $i=4$), then, the capacity of the can would increase. Generally, if the coiler wheel and the can were in the same direction (In fig.5), the curves of coiling were equal to the coiling speed $(i-1)$. But the quality of coiling was better than that mentioned earlier. Besides, For maximum capacity, the center hole should be at least 30 per cent of the can diameter D , there should be also a slight gap between the coils and the inner wall of the cans, so the sliver could be drawn from the can without undue friction at the next operation.

Author: Liu Guotao

85013

the SIMPLE CONVERTER COMBINATORY UNIT DEVELOPMENT in a 714 MHz SATELLITE TELEVISION RECEIVING SYSTEM «Journal of the Wuxi Institute of Light Industry», Vol.4, No.2, 1985

KEYWORDS Satellite Receiver Converter Development

ABSTRACT One of the key factors of satellite television receiving technology is to develop a combinatory Unit of converter, which can operate can operate stably, reliably and also can be produced economically.

This paper first reviewed the general principle of frequency mixing and discussed the characteristics of decimeter band converter in detail. Then a plan was proposed that mass-produced converter in ordinary Tvsets could be converted into converter combinatory units good for 714 MHz satellite television receiving system. The results obtained through experiments were also theoretically analysed. Experiments showed the scheme to be practical and feasible, the simple converter combinatory unit also reliable, stable, economical and easily popularized.

Author: Zhou Baotian