

高等学校試用教科書

鑄造生產自動化

下 冊

哈爾濱工業大學機械系鑄工教研室編譯

只限學校內部使用



中國工業出版社

高等学校試用教科書



鑄造生產自動化

下 冊

哈爾濱工業大學機械系鑄工教研室 編譯

中國工業出版社

本書是根据苏联專家 H. T. 薩洛夫 1956 年在北京清华大学对鑄造專業教师及研究生講授“鑄造生产自动化”課程所用教材編譯的，并結合了几年来对学生講授此課程的教学实践，在内容上作了适当的增減。

本書为下冊，主要叙述鑄造生产自动檢查及鑄造生产自动調节部分。

本書可作为高等学校鑄造專業的試用教科書，也可作为鑄造技術人員的参考書。

鑄造生产自动化

下 冊

哈爾濱工業大学机械系鑄工教研室 編譯

*

中国工業出版社出版（北京佟麟閣路丙10号）

（北京市書刊出版事業許可証出字第110号）

北京市印刷一厂印刷

新华書店科技發行所發行·各地新华書店經售

*

开本 787×1092 1/16·印張 8 $\frac{1}{2}$ ·字数 185,000

1961年9月北京第一版·1961年9月北京第一次印刷

印数 0001—3,037·定价(10—6) 1.00 元

統一書号: 15165·400 (一机-69)

前 言

本書是根据苏联專家 H. T. 薩洛夫 1956 年在北京清华大学对鑄造專業教师及研究生講授“鑄造生产自动化”課程所編教材編譯的，并結合几年来对学生講授此課程的教学实践，在內容和章节編排上做了适当的增减和变动。

全書分为上、下兩冊。上冊为鑄造生产自动控制部分，由清华大学鑄工教研組編譯；下冊为鑄造生产自动檢查及鑄造生产自动調节部分，由哈尔滨工業大学鑄工教研室編譯。

鑄造生产自动控制部分，对原編教材的某些控制实例做了适当的刪减。在自动檢查部分中加入了測量电路的簡單計算原理、电子自动檢查裝置的几种組件和几种參量的測量裝置。自动調节部分中增加了自动調节系統的基本要求和調节質量指标，以及調节器类型的選擇原則，刪减了目前用得不多的几种类型調节器。

由于編譯時間倉促以及水平的限制，对原編教材的增减定有不当之处，如結合我国鑄造生产实际不够，編譯文字及名詞的选用也不尽妥善，希望讀者提出寶貴意見。

目 次

前言	3
----------	---

第二篇 自动检查

引言	6
----------	---

第三章 参量变换器

§ 3-1 变阻器式变换器	8
§ 3-2 电感变换器	13
§ 3-3 电容变换器	16
1. 作用原理	16
2. 类型	17
3. 电容变换器的电路	19
§ 3-4 电阻丝变换器	21
§ 3-5 热电阻变换器	22
1. 概述	22
2. 热电阻的应用	23
§ 3-6 光电变换器	25
1. 光电变换器的型式	25
2. 光电元件接入测量线路的方式	26
3. 差接光电变换器	27
§ 3-7 热电变换器	28
1. 一般介绍	28
2. 热电偶自由端温度变化所引起的 误差	30
3. 导线、热电偶和测量器温度变化 所引起的误差	32

第四章 电子自动测量装置的

测量电路

§ 4-1 自动平衡电桥的测量电路	33
1. 桥式电路的不平衡电流和电压	33
2. 自动平衡电桥的原理	34
3. 工业用自动平衡电桥的测量电路	35
§ 4-2 自动电位计的测量电路	36
1. 补偿电路的工作原理	36
2. 工业用自动电位计的测量电路	38
§ 4-3 电压放大器的工作原理及其 电路	39
§ 4-4 平衡电机及功率放大器的电路	40
1. 单极式电动机的运行	40

2. 功率放大器的电路	41
-------------------	----

§ 4-5 电子自动测量装置

1. 电子平衡电桥和电位计的型式和 用途	42
2. 电子平衡电桥的工作原理及典型 电路	43
3. 电子电位计的工作原理及典型 电路	45

第五章 铸造生产过程的自动检查

§ 5-1 一般概述	46
§ 5-2 测量温度的电气仪器	46
1. 电阻温度计	46
2. 电阻温度计的测量电路、温度 误差	47
3. 光学高温计	48
4. 全辐射高温计	49
§ 5-3 测量压力的电气仪器	50
1. 概述	50
2. 压磁测力计和压力计	50
3. 电容测力计和压力计	51
4. 电感测力计和压力计	52
§ 5-4 测量真空的电气仪器(真空计)	54
1. 概述	54
2. 具有热电阻的真空计(BT-2型和 BC-1型)	54
3. BH-3型游离真空计	55
§ 5-5 测量液体蒸汽和气体流量 的仪器	56
1. 速度式流量计	56
2. 容积式流量计	57
§ 5-6 测量湿度的仪器	58
1. 鼓风空气湿度的测量	58
2. 测量固体及松散体材料湿度的电 式仪器(湿度计)	61
§ 5-7 测量液体和颗粒体水平面的 电气仪器(水位计)	64
1. 变阻器式水位计	64
2. 电感式水位计	65

3. 电容水位計	67
§ 5-8 帶有电子放大器的气体分析器	68
1. 工作原理和紅內綫型气体分析器	68
2. 工作于热傳导变化原理的气体 分析器	70
§ 5-9 电式 pH 計	71
1. 銻电极 pH 計	71
2. 玻璃电极 pH 計	73

第三篇 自动調节

第六章 自动調节系統的基本概念	75
§ 6-1 自动調节的定义、任务及意义	75
1. 自动調节的定义和任务	75
2. 自动調节的意义	76
§ 6-2 自动調节系統的分类	76
§ 6-3 自动調节系統的結構及名詞 解釋	78
§ 6-4 自动調节系統的基本要求及 調节質量指标	79
1. 对自动調节系統有以下几点基本 要求	79
2. 自动調节系統的質量指标	80
§ 6-5 調节質量的影响因素	81
1. 外界扰动性質对調节質量的影响	81
2. 調节对象特性对調节質量的影响	82
§ 6-6 調节器的分类和特点	86
1. 按調节方法分类	86
2. 按被調参数分类	87
3. 按作用方法分类	87
4. 按調节特性分类	88
§ 6-7 調节器及其調节規律	88
1. 位置調节器	88
2. 無定位調节器	89
3. 靜定調节器	90

4. 再調調节器	91
5. 具有导数的再調調节器	93
§ 6-8 調节器类型的選擇原則	93
1. 液体或气体压力和液面高度調节器的 選擇	94
2. 液体和气体流耗量調节器的選擇	94
3. 溫度調节器的選擇	94

第七章 工業調节器的結構及其

工作原理	95
§ 7-1 液动調节器	95
§ 7-2 气动調节器	98
§ 7-3 电动調节器	100
1. ЭРМ-47 型位置調节器	100
2. 电动靜定調节器	103
3. ИР-130 型再調調节器	104
4. ВТИ 系統的調节器	109
§ 7-4 組合調节器	113
1. 电子气动調节器	113
2. 电子液动調节器	115

第八章 鑄造生产过程的自动調节

§ 8-1 冲天爐鼓風量的自动調节	116
1. 按重量調节風量	118
2. 按容积調节風量	118
3. 采用空气天平調节冲天爐的鼓風量	120
4. 按燃燒产物中 CO_2 的含量調节 鼓風量	124
§ 8-2 冲天爐出鉄槽中鉄水溫度自 动調节	125
§ 8-3 液体合金軋压中的自动調节	125
§ 8-4 料斗中造型混合料料面高度 的自动調节	127
§ 8-5 烘干爐溫度自动調节	129
参考文献	130

第二篇 自动检查

引言

1. 自动检查的任务及意义

检查或测量就是用实验的方法对任何现象任何规律性在质和量两方面达到认识的过程，它所具有的可能性（关于准确度、灵敏度、以及测量范围）在颇大程度上决定了科学的发展水平，它的水平越高，则科学成就越加深广；而在另一方面，科学的发展又为测量技术的发展创立了新的前提，新的途径和新的可能性。

除上述价值以外，有些过程不用仪表来检查，过程的进行是很难掌握的。正确地安排测量工作，可以保证生产过程的可靠性，经济性和广泛采用自动化的可能性。如無自动检查水份的仪器，就不可能实现混砂过程加水量自动调节；因此也就不可能使型砂质量稳定和获得高质量的型砂。

自动检查的任务乃是连续地或间断地测量过程中的某参数或某几个参数值的大小，然后把测得的数值以仪器的指针、图上的曲线或信号（达到极限时）的方式传给操作者，当测量仪器所测的值与要求值不符时，便由操作者改变过程的进行。

因此，检查仪器只能使人们有可能进行测量，亦即只有可能知道过程中一定参数值的大小，而完全不能对这些被测量参数的变化发生任何影响，因而也不影响过程的进行。

诚然，人们的感官器官是最方便的检查工具，但是它们最不准确，也最易疲劳。

在很早以前，人们就开始利用机械作用的检查仪器了，如盘秤、日规、砂漏等等。当人们掌握水力和压缩空气能以后，便出现了液动和气动检查仪器，如液体温度计、压力计等。

随着电工学和电子学的发展，现在已开始大量采用电子仪器和各种组合式仪器（如气动电子仪器，液动电子仪器等）进行检查了；并且也已开始利用原子内部能量进行检查了。

2. 自动检查系统的一般介绍

经受检查或测量的参数，称为被测参数，而包括它们的对象称为被测系统。

在近代技术中，被测参数的数量十分庞大，如重量、容积、压力、温度、耗量、电流、电压、照度、化学成份等等。即使对于一种被测参数，其检查仪器的数量，无论按作用原理、所用能量的形式，或按构造特点而言，也是十分庞大的。例如，单对温度一项来说，就可以用液体温度计、各种构造的热电偶、光学高温计、辐射高温计、热电温度计等等。显然，制造这样庞大数量的各种检查仪器，研究它们的工作情况以及安装和使用的问题，是愈来愈困难了；并且要有大量的专门工厂来制造。这种情况，使人们想到，尽可能地建立一种能测量大量参数的统一方法——“万能”的检查仪器。关于它的可能性在下面将再论述。

自动测量仪器的分类。测量仪器可按以下特征分类：

(1) 按使用能量自动测量仪器可分为：

机械作用的、气动的、液动的、电动的、电子仪器等。

(2) 按被测参数自动测量仪器可分为（在鑄造生产中下列测量仪器用得最多）：

温度自动测量仪器，压力及负压自动测量仪器、液体及气体流量自动测量仪器、液面高度自动测量仪器、湿度自动测量仪器以及气体成份自动分析仪等。

(3) 按测量方法可分为：

連續测量的和斷續测量的。

(4) 按作用方法可分为：

直接作用的和間接作用的。在直接作用的仪器中，被测参数的指示或記錄是由被测系統本身的能量来进行，测量仪器沒有輔助能源，如液体溫度計、彈簧秤等。在間接作用的仪器中，被测参数的指示或記錄是利用輔助能源的能量来进行的，如自动电位計等。間接作用的仪器較直接作用的仪器具有更高的准确度、灵敏度和更广的适用范围。

由上可知，連續間接作用的檢查仪器是最有發展前途。

普遍采用电式测量仪器来測定包括非电量在內的一切物理量，是現代测量技术發展上的特点。这是因为电式仪器具有一系列优点：連續测量和記錄被测参数的可能性，实现远距离测量以及与控制生产过程的执行機構相联系（通过繼电器）的可能性，测量的高度准确性和灵敏性，無論被测数量的数值甚大或甚小时，测量范围都很广泛。

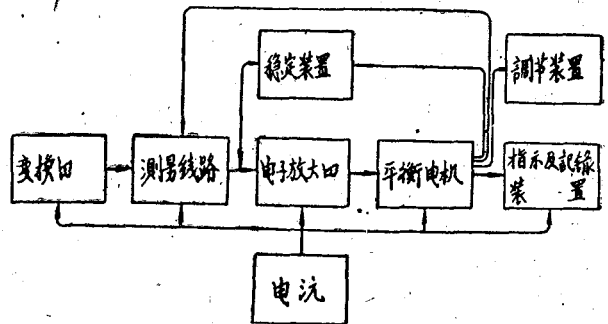
当使用电式仪器测量非电量时，必須首先將非电量变换为电量。在测量裝置里完成这种变换作用的元件，称为电变换器或簡称之为变换器。

这类变换器是利用固体、液体或气体的某种电参量与被测参数間的依賴关系而完成其职能的，如电阻与溫度間的关系。

將电量通过变换器变成与之成比例的电量，然后再利用电式仪器进行测量，就有可能使测量仪器标准化，并在相当程度上將测量仪器和自动調节器的动作原理“万能化”。这一情况具有十分重大的意义。事实上，如果能將各种不同参数变成正比于它們的电流之大小，便可以采用統一的仪器——电流計作为测量仪器，而把其余形式的仪器取消。

目前我国工業出产着大量的各种类型的自动电子仪器。这些自动仪器的作用原理基本是相同的，其結構圖如下：

一般情况下，自动电子仪器由以下部分组成：变换器、测量电路、电子放大器、平衡电机、稳定裝置、指示和記錄裝置及电源。根据用途和仪器类型之不同，各組件的具体电路和構造可能不同，但是



帶有調节裝置的自动电子仪器的結構圖

整个仪器的結構圖仍是一致的。在某些仪器中，結構圖中所示的个别組件可能沒有。例如，有的仪器本身不帶調节裝置，而是做为仪器的輔件。变换器直接放在被测对象中，它与測量电路通过导線联接。

变换器將非电量变成电量、測量电路反映出此电量的大小和方向，并將它加到放大器輸入端，經放大后使平衡电机轉动，而后者則帶动指示和記錄裝置工作。同时，平衡电机也帶动測量电路中的滑动部分（如滑綫电阻之滑块）使它在新的状态下达达到平衡。稳定裝置可使仪器具有較好的动特性。

本篇的第一章將对上述結構圖中各个組件的工作原理分別予以介紹；之后，在第二章中再介紹鑄造生产中常用的自动仪器的工作原理及其使用情况。

第三章 参量变换器

§ 3-1 变阻器式变换器

这种变换器亦叫电阻式变换器。

利用位移的变化，通过机械結構使电阻器的电阻值改变，因而引起电压或电流的变化。利用变化的电压或电流来进行測量或反饋到輸入端作为控制之用。

常用的电阻式位移变换器有变阻器式和电解式，前者用的較多。因此下面只着重介紹一下这种变换器。

变换器工作原理如圖 3-1 所示，当位移 x 有变化因而移动滑臂时， R_2 就有变化，間接改变了輸出量 u_2 ，可見

$$u_2 = f(x)$$

u_2 就可以代表 x 。

变阻器的一般形式如圖 3-2 所示， A 为支架，多用陶瓷、塑料等絕緣材料或外附絕緣層的金屬作成。后者的散热性較好，可允許較大的負載。支架形状为环状、柱状或盤状。

制造电阻絲所最常用的材料是錳銅或康銅；也采用高阻合金（鉄鉻鋁）。在特殊重要

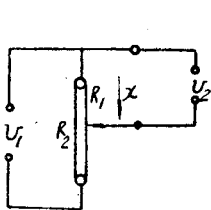
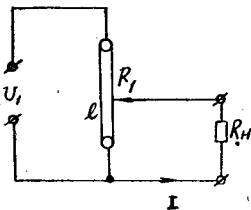
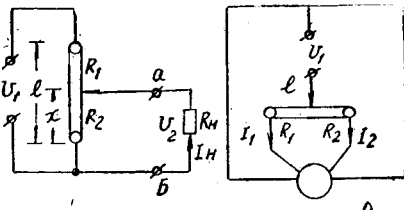


圖 3-1



(a)



(b)

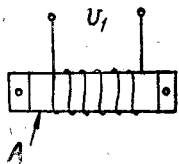
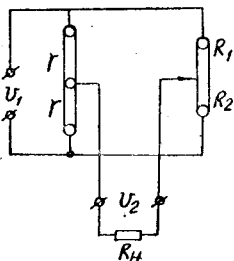


圖 3-2



(c)

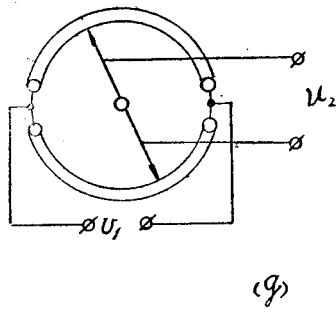


圖 3-3

的場合下，例如对接触表面的耐磨度有特別高的要求，或接触压力很小时，則采用鉑鈱合金（90% Pt+10% Ir）或采用鉑和鈹、銦、釷、钨的合金。

导体和支架的热膨胀系数应近似，不然，在溫度升高时要伤及导体。

在纏繞时对导体所加拉力要加以計算，使热时或冷时导体不致松散或折断。

变阻器式变换器的接綫方法如圖 3-3 所示，在圖 (a) 中电流 $I = \frac{U_1}{R_1 + R_H}$ ，即 $I = f_1(R_1) = f_2(l)$ ，但由公式可以看出 $I-R_1$ 間关系不是綫性，所以在自动系統上 不常应用。圖 (b) 是一个电位計，利用等效發电机定理可以求出：

$$I_H = \frac{U_{a6}}{R_H + R_i},$$

式中 R_i 为 $a6$ 处等效电阻： $R_i = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ ；

U_{a6} 为 $a6$ 开路时的电压： $U_{a6} = \frac{U_1}{R_1 + R_2} R_2$ 。

所以 $I_H = \frac{U_1}{(R_1 + R_2)(R_H + R_i)} R_2$ 。

式中 $(R_1 + R_2)$ 为常数，如 $(R_H + R_i)$ 亦是常数， I_H 就正比于 R_2 ，其关系是綫性的。但实际上 $R_i \propto x$ ，因此 I_H 和 R_2 的关系如圖 3-4 中实綫所示。

如 $R_H \gg R_i$ ，上式可簡化为：

$$I_H = \frac{U_1}{(R_1 + R_2) R_H} R_2 = f_1(R_2) = f_2(x),$$

就变为綫性关系，如圖 3-4 中虚綫所示。但实际应用上常常 R_i 不能忽略，因此就需考虑它的誤差。

設 K = 变阻器單位長度的电阻，

所以 $R_1 + R_2 = R = Kl$ ，

$$R_2 = Kx,$$

$$R_1 = K(l - x).$$

代入上式

$$\begin{aligned} I_H &= \frac{U_1 R_2}{(R_1 + R_2)(R_H + R_i)} = \frac{U_1 R_2}{R \left(R_H + \frac{R_1 R_2}{R} \right)} \\ &= \frac{U_1 Kx}{Kl \left[R_H + \frac{K(l-x)Kx}{Kl} \right]} \\ &= \frac{U_1}{R_H} \cdot \frac{x}{l} \cdot \frac{1}{1 + \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l} \right) \frac{R}{R_H}} \end{aligned}$$

当 $R_H \gg R_i$ 时，

$$\begin{aligned} I_{H0} &= \frac{U_1 R_2}{R R_H} = \frac{U_1 Kx}{Kl R_H} \\ &= \frac{U_1}{R_H} \cdot \frac{x}{l} \end{aligned}$$

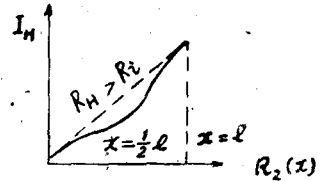


圖 3-4

兩情况比較：电流誤差絕對值为：

$$I_{H0} - I_H = \Delta I_H = \frac{U_1}{R_H} \cdot \frac{x}{l} \left[1 - \frac{1}{1 + \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l} \right) \frac{R}{R_H}} \right]$$

$$= \frac{U_1}{R_H} \times \frac{x}{l} \left[\frac{\frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l} \right) \frac{R}{R_H}}{1 + \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l} \right) \frac{R}{R_H}} \right]$$

誤差相对值为：

$$\frac{\Delta I_H}{I_{H0}} = \frac{\frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l} \right) \frac{R}{R_H}}{1 + \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l} \right) \frac{R}{R_H}}$$

$$= \frac{1}{1 + \frac{l^2}{x(l-x)} \frac{R_H}{R}}$$

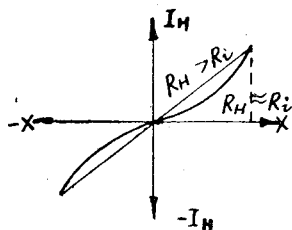


圖 3-5

由圖 3-4 可以看出：

当 $x = \frac{l}{2}$ 时，誤差最大。

$$\text{所以最大誤差} \left(\frac{\Delta I_H}{I_{H0}} \right)_{\max} = \frac{1}{1 + 4 \frac{R_H}{R}}$$

由以上二式亦可得上述相同結論，即 R_H 越大，誤差越

小。
在圖3-5中，电路接成桥式，触点在正中时， $I_H = 0$ ，触点离开正中， $I_H \neq 0$ ，且有正負，是一种有方向性的，自动系統上常为应用。

变阻器的計算

A. 导綫的計算：

設 R = 已知的变阻器电阻值，

則

$$R = \frac{\rho l w}{A},$$

式中 ρ —— 电阻系数；

l —— 每匝平均长度；

w —— 匝数 = $\frac{L}{df}$ ；

L —— 繞組長度；

d —— 导体直徑；

f —— 系数 = $(1.05 \sim 1.10) = \frac{d_1}{d}$ ；

d_1 —— 导綫外徑(計入絕緣層)；

$$A \text{——导体面积} = \frac{\pi d^2}{4}.$$

所以

$$R = \frac{4\rho l}{\pi d^2} \times \frac{L}{f \cdot d},$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{4\rho l L}{\pi f R}}.$$

按允許溫升核驗直徑:

導線的抗張強度 P :

$$P = EA(\alpha_K - \alpha_{np})(\theta_1 - \theta_2),$$

式中 E ——導線材料的彈性模數;

α_K ——支架的綫膨脹係數;

α_{np} ——導體的綫膨脹係數;

θ_1 ——在周圍溫度最高時, 支架發熱溫度的上限;

θ_2 ——在周圍溫度最低時, 支架發熱溫度的下限。

抗張應力

$$p = \frac{P}{A} = E \cdot (\alpha_K - \alpha_{np})(\theta_1 - \theta_2).$$

要求

$$p \leq \text{彈性限度 } \alpha_y,$$

所以, 根據導體的機械強度決定的導體最大溫升為:

$$\alpha_y \geq E(\alpha_K - \alpha_{np})(\theta_1 - \theta_2),$$

$$\theta_1 \leq \frac{\alpha_y}{E(\alpha_K - \alpha_{np})} + \theta_2.$$

設 θ_{om} 代表周圍介質的最高溫度,

則因電流發熱的允許溫升為:

$$\Delta\theta = \theta_1 - \theta_{om}.$$

在允許溫升下每匝導體發散的热量 H 為:

$$H = \mu S \Delta\theta.$$

式中 μ ——散熱係數 卡/厘米²秒°C;

S ——導線表面積 = $K\pi dl$;

K ——係數 (因為導線有一部分不與空氣接觸而與繞綫架接觸, 因而減低有效散熱面積)。

一般

$$K = 1 \sim \frac{1}{2};$$

$$\mu = 0.24 \times (1 \sim 1.4) \times 10^{-3}.$$

μ 隨溫度依下式變化:

$$\mu = 0.24[1.2 + 0.008(\theta_1 - 35^\circ\text{C})] \times 10^{-3},$$

$$\therefore H = \mu K \pi dl \Delta\theta.$$

在允許溫升限制下, 所通過的最大電流為 I 。由此電流在每匝導體中產生的热量:

$$H' = 0.24p = 0.24 I^2 R = 0.24 I^2 \frac{\rho l}{\frac{\pi d^2}{4}}.$$

应維持 $H' \leq H$, 即

$$\frac{0.24 I^2 \rho l}{\pi d^2} \leq \mu K \pi d l \Delta \theta,$$

$$I \leq \sqrt{\frac{\mu K \pi^2 d^3}{0.96 \rho} \Delta \theta} = I_{\text{н.п.}}$$

求出 d 后, 可根据上式求出允許电流 $I_{\text{н.п.}}$, 依此 $I_{\text{н.п.}}$ 值核驗实际电流大小。

6. 非綫性关系

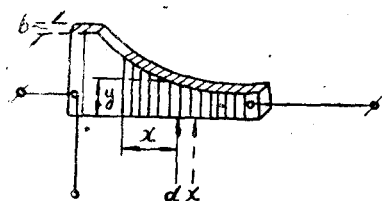


圖 3-6

有时因为控制的需要, 被控制电路內电流变化的規律要求是非綫性的, 上面的变阻器就不能达到要求。

在此情况下, 可以采用下列几种方法:

A) 曲綫的繞綫架 (圖 3-6)

設已知被控制电路电流变化規律所要求的电阻 R 变化規律为:

$$R_x = f(x)$$

設 B = 繞綫架包角半徑 = $(2 \sim 10)d$.

則:

$$b_0 = b - 2B;$$

$$y_0 = y - 2B.$$

設在滑臂移动 dx 距离, 电阻的变化为 dR_x ,

$$W_0 = \text{單位長度內繞綫匝數} = \frac{1}{fd};$$

S = 导綫截面。

所以:

$$dR_x = 2(b_0 + y_0 + \pi B) \rho \frac{w_0}{S} dx.$$

$$= 2(b - 2B + y - 2B + \pi B) \rho \frac{w_0}{S} dx$$

$$= 2(b + y - 0.86B) \rho \frac{w_0}{S} dx.$$

$$R_x = \int_0^x dR_x = 2(b - 0.86B) \rho \frac{w_0}{S} x + 2 \rho \frac{w_0}{S} \int_0^x y dx = f(x).$$

$$\int_0^x y dx = \frac{S f(x)}{2 \rho w_0} - 2(b - 0.86B)x.$$

由上式微分而得:

$$y = \frac{S}{2 \rho w_0} \frac{df(x)}{dx} - 2(b - 0.86B).$$

这个公式表示在一定的 $R_x = f(x)$ 变化規律下, y 的变化。

这种裝置可以在很广的範圍內变化 (負載电流和 x 之間的关系), 但有时如变阻器側面曲綫过于陡峭, 繞綫难以堅牢固定, 就不能采用此方法, 而用下列方法代替。

B) 分段繞綫 (圖 3-7)

这种方法是以前折线代替平滑特性曲线 $R_x = f(x)$ ，将整段电阻分为数段，每段绕线的高度 h 不变。所以接头在此段间滑动时，电阻 R_x 的变化是线性的。这段的长度 l 大小是根据限制的 ΔR_0 值决定，亦即应保持 $\Delta R < \Delta R_0$ 。

如选定了 ΔR 值以后就可根据上式确定此段的高度 h 。

$$h = \frac{\frac{\Delta R}{l} S}{2 \rho w_0} - 2(b - 0.86B).$$

这种方法的缺点是绕线架较复杂。

另外还可以用下列四种方法达到分段的目的：

- a) 各段采用不同的绕线间隔，则 W_0 不同；
- b) 不同段上用不同截面的导线，则 S 不同；
- c) 不同段上用不同材料的导线，则 ρ 不同；
- d) 不同段上接入不同电阻。

B) 分段接入电阻方法

如图3-8所示，设第 n 段的基本电阻增值为 ΔR_{n0} ，并串联电阻 r_n 后的电阻增值为 ΔR_n ，则：

$$\Delta R_n = \frac{\Delta R_{n0} r_n}{\Delta R_{n0} + r_n}, \quad r_n = \frac{\Delta R_{n0} \Delta R_n}{\Delta R_{n0} - \Delta R_n}.$$

Γ) 输出和输入有三角函数关系的

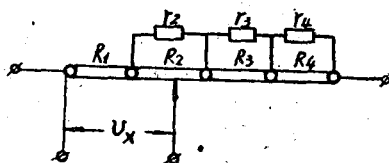


图 3-8

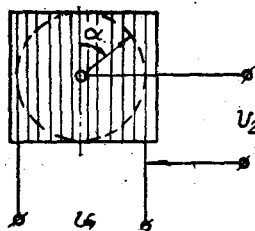


图 3-9

如图3-9所示，输出电压 U_2 和输入电压 U_1 的关系如下：

$$U_2 = \pm \frac{U_1}{2} \sin \alpha.$$

§ 3-2 电感变换器

在图3-10a中示出了使用最广泛的变换器，它有一个小空气隙 δ 。 δ 的长度随被测量的机械量 P （集中力、压力、线位移）而变。因为气隙的变化，磁阻也有了变化，因而，引起接在交流电路中且绕在铁芯上的线圈的电感的变化。电感的变化引起了线圈阻抗 Z 的相应变化。因此，就产生了被测量的机械量 P 和变换器阻抗 Z 之间的函数关系：

$$Z = f(P) \text{ 和 } \Delta Z = f(\Delta P).$$

另一种电感变换器如图3-10b所示，它是一种有开磁路的电感变换器。变换器是一个线圈1，它的内部有铁芯2。所以，铁芯的位置以及电感的变化都是被测量的机械量的函数。当铁芯有很大位移的情况下，这种变换器特别宜于使用。

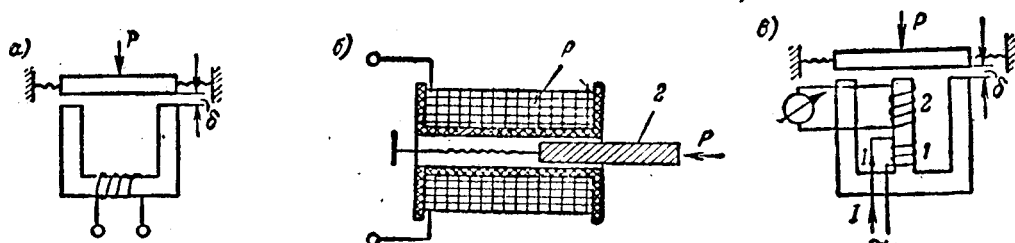


圖 3-10 电感变换器

在圖 3-10a 中表示了变压器式电感变换器的構造原理。綫圈 1 接于交流电源。副綫圈接以伏特計或示波器的振子。在被測量 P 的作用下，銜鉄的位移引起空气隙的变化，改变鏈貫两个綫圈的磁通 ϕ 的磁阻抗，所以，磁通 ϕ 的大小也就跟着变化（假定磁势保持恒定，即电流 I 保持恒定）。因此，磁通 ϕ 和副綫圈中的感应电势 E_2 是空气隙長度的函数，即 P 的函数：

$$E_2 = f(P).$$

这种变换器的任一个綫圈的阻抗可用下式决定：

$$Z = R + j\omega \frac{W^2}{Z_M}, \quad (3-1)$$

式中 R ——綫圈的直流电阻；

W ——匝数；

Z_M ——磁路的磁阻抗。

如果（初步近似不計）不考虑漏磁通的阻抗，那末可将 Z_M 分为两个組成：

$$Z_M = Z_{MCT} + R_{M\delta}, \quad (3-2)$$

式中 Z_{MCT} ——磁路的鉄芯部分的磁阻抗；

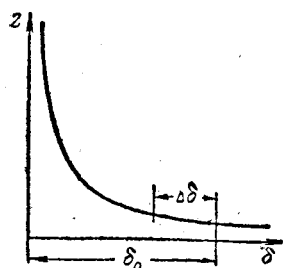
$R_{M\delta}$ ——气隙部分的磁阻。

因为

$$R_{M\delta} = \frac{\delta}{\mu_0 S},$$

式中 S ——空气隙截面积，所以綫圈的全阻抗 Z ，

$$Z = R + j\omega \frac{W^2}{Z_{MCT} + \frac{\delta}{\mu_0 S}}.$$

圖 3-11 綫圈阻抗对于空气隙長度 δ 的关系

和空气隙長度 δ 成双曲綫关系（圖 3-11），而气隙的初始值 δ_0 已經限制了曲綫上的直綫段，使它的長度 $\Delta\delta$ 在 $0.1 \sim 0.15 \delta_0$ 左右。

对于所有的变压器式变换器，在位移和磁通 ϕ 之間也都存在着这种类似的关系。

使用差接式的变换器（圖 3-12）可以增加特性曲綫的直綫部分，通常是把它的一对綫圈接在电桥的相鄰兩臂上。

当 $P=0$ 时，銜鉄位于一对鉄芯（或者圖 3-12a 中的一对綫圈）的中心，使两个綫圈上磁通的磁阻抗是相同的。在被測

量 P 的作用下, 二磁阻抗的变化符号相反而数量相同。

我們知道, 电桥对角线上的电流 I_r 可近似地表示为 (詳見[3] § 22-2):

$$I_r = k(Z_1 Z_4 - Z_2 Z_3).$$

式中 k ——常数乘数 (伏/欧姆²);

Z_1 和 Z_2 ——变换器的阻抗。

因为在被测的非电量的初始值时电桥是平衡的 ($Z_1 = Z_2$), 而且在使用对称电桥的时候 $Z_3 = Z_4$, 所以在被测量的作用下有:

$$I_r = R_1(Z_1 - Z_2).$$

应用到圖 3-12 a 的变换器的函数 $Z_1 = f_1(\delta)$, $Z_2 = f_2(\delta)$ 和 $(Z_1 - Z_2) = f_3(\delta)$ 如圖 3-13 所示, 从这里可以看到变换器的特性曲线的綫性部分比起單式变换器要寬得多, 銜鉄的工作位移 $\Delta\delta$ 可以增大到 $0.3 \sim 0.4 \delta_0$ 。

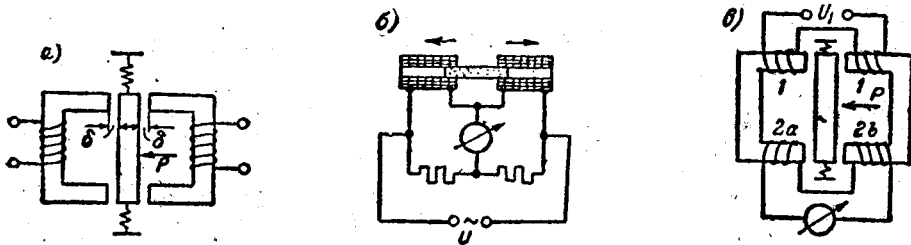


圖 3-12 差接式电感变换器的几种型式

对于圖 3-12 b 可以做出类似的圖形。

至于差接式变压器型变换器 (圖 3-12 c) 則由于副綫圈的对接, 而得到了 $(Z_{2a} - Z_{2b})$ 的差:

$$\begin{aligned} E_2 &= E_{2a} - E_{2b} = \omega \phi_a w_2 - \omega \phi_b w_2 \\ &= \omega w_2 (\phi_a - \phi_b) = \omega w_2 \left(\frac{F_1}{Z_{Mz}} - \frac{F_1}{Z_{Mb}} \right) \\ &= \frac{\omega w_2 F_1}{Z_{Mz} Z_{Mb}} (Z_{Mb} - Z_{Ma}). \end{aligned}$$

研究了方程式 (3-1) 和 (3-2), 可以看到, E_2 是被阻抗之差 ($Z_a - Z_b$) 所决定的。而如果合于前面所說的条件, 就可以加寬变换器特性曲线的直綫部分。

实际上所应用的电感变换器几乎都只用差接式的变换器, 这不仅是从特性曲线的綫性部分考虑要这样做, 而且更重要的是可以减少变换器的誤差。

电感变换器的优点是:

a) 可以得到較大的变换器功率 (达到 1~5 伏安), 就有可能利用比較不灵敏的测量仪器接到测量电路輸出端, 而且在需要記錄时, 就可以直接接到示波器振子电路而無需前置放大器, 然而对于小型的变换器, 通常必須在测量电路和振子之間加放大器;

б) 構造簡單, 沒有滑动触点, 工作可靠; 又可以在工頻下工作。

它的缺点是, 輸出量大小与电源电压的頻率有密切关系。

为反映極性, 可以选用圖 3-14 的接法。

当 $u_{\sim}$ 的極性如圖示时, u'_2 及 u''_2 極性如圖, 电流經兩对角綫的整流器成通路。

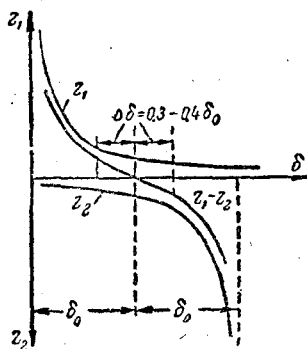


圖 3-13 差接式电感变换器一对线圈的 $Z_1=f_1(\delta)$, $Z_2=f_2(\delta)$ 和 $(Z_1-Z_2)=f_3(\delta)$ 的关系曲线

如铁心在上, 则 $u'_2 > u''_2$, u_2 的极性如图示。

下半週, u'_2 及 u''_2 的极性相反, 但电流是经 1、2 两整流器成通路, 所以改为 $u''_2 > u'_2$, u_2 极性不变。

但如 $u_{\sim}$ 的极性相反, 或活动铁心位移的方向相反, u_2 的极性就反, 其特性可以反映极性。

取消 3、4 两整流器亦可以达到反映极性要求, 但变为半波整流, 灵敏度要差一半。

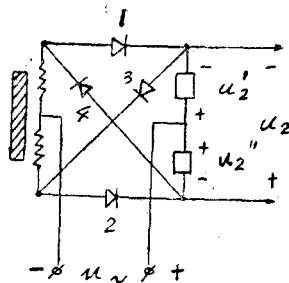


圖 3-14

§ 3-3 电容变换器

1. 作用原理

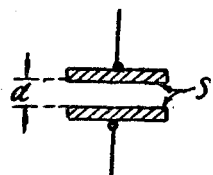


圖 3-15

用最简单的结构——平行板电容器作例 (圖 3-15) 来加以说明。设两板的距离为 d , 相互遮盖面积为 S , 两板间介质的介电常数为 ϵ , 则两板间电容 C 的实用单位值为:

$$C = \frac{\epsilon \cdot S}{4\pi \times 9 \times 10^{11} d} \text{ (法)}$$

$$= \frac{\epsilon \cdot S}{3.6 \pi d} \text{ (微微法)}.$$

由上式可见, 当 ϵ 、 S 或 d 改变时, 全可以改变 C , 因而改变 x_c , 使输入电压或电流变化。

S 和 d 的变化可以反映角或线位移, ϵ 的变化反映高度; 三者之中以改变 S 的方法最常用。

但这种变换器有它的缺点, 因此在应用上不如前述两种普遍, 其缺点为:

- a) 设备较复杂, 信号必须加以放大;
- b) 一般电容本身不大, 所以产生电容和外电场的影响较为显著, 要求严密的隔离;
- b) 要在高频下使用, 就要有高频电源发生。设备在工业频率下, $x_c = \frac{1}{2\pi f c}$ 值很大, 产生漏电现象, 影响测量, 最高频率有时可达 1 兆赫。

此种变换器也有它的优点: