

第 6 号

中国科学院大连化学物理研究所

研究报告与资料

低电压施密特报警继电器

苍 永 武



一九八〇年十二月

一、引 言

在生产或科研工作中，有时要对图1所示对象进行监视和报警。显然用常规的电动单元组合仪表报警器是无法实现的。这是因为：（1）各单电压是串联的，无公共“地”；（2）单电压数量多。

本文所介绍的低电压施密特报警继电器（以下简称S·继电器），不仅隔离作用强，而且具有结构简单、使用方便、小信号报警、报警点可调等特点。

二、工 作 原 理

靠输入电平之高低来推动的触发器叫作施密特（Scmite）电路（图2）。严格地说，一只普通继电器就是一个施密特电路。其吸合电压相当于施密特电路的比较电平。但是，它是不可调的，并且其数值都在1伏以上。因此，当报警点“<1伏”时，普通继电器是无能为力的。

图3是S·继电器的原理图。在继电器铁芯上分别引入绕组 L_1 、 L_2 ，其匝数分别为 $W_{原}$ 、 $W_{报}$ ， $V_{原}$ 为 L_2 的供电电压，它是由外界直流电源供给，称为原电压。 $V_{报}$ 是报警电压，即被监视电压。 $W_{报}$ 、 $W_{原}$ 产生的磁场分别为 B_1 、 B_2 ，二者方向相反， $B_2 > B_1$ ，铁芯总磁场 $B = B_2 - B_1$ 。

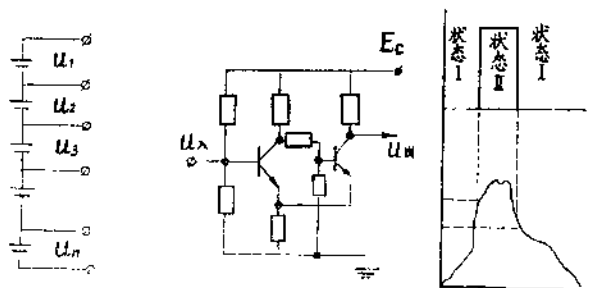


图 1

图 2

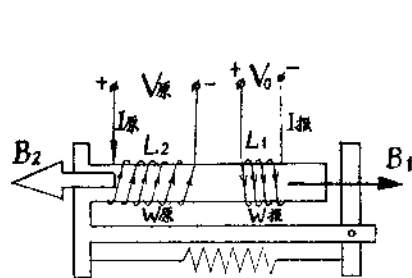


图 3

根据麦克斯威尔公式，继电器吸力为：

$$F = \frac{B^2 S}{2\mu_0} \quad (\text{焦耳/厘米}) \quad (1)$$

其中： F ——继电器吸力（焦耳/厘米）

B ——继电器铁芯内磁场（韦伯/厘米²）

S ——继电器铁芯的截面积（厘米²）

μ_0 ——导磁系数（ $=1.25 \times 10^{-8}$ 亨/厘米）

一定结构的继电器，吸合力 F_{ox} 是一定的，即所需磁场 B_{ox} 是一定的。

依公式（1），图3所示继电器吸力为：

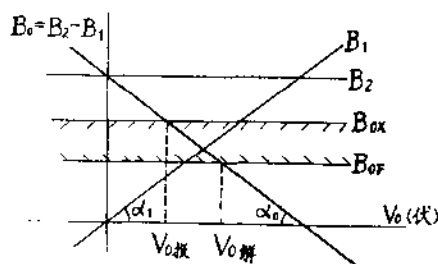


图 4

$V_{0吸}$ 报警点 $V_{0解}$ 一解警点

$$F = (B_2 - B_1)^2 S / 2\mu_0 \quad (2)$$

在公式(2)中: $F \propto (B_2 - B_1)^2$

吸合时:

$$B_2 - B_1 = B_{0x} \quad (2)'$$

因此, 不论 $V_{0吸}(B_1)$ 多么小, 只要 $V_{0解}(B_2)$ 足够大, (2)式总可满足, 即继电器总可以吸合。因此图 3 所示的继电器可对小信号报警。

公式(2)' 是继电器吸合时 B_1 、 B_2 、 B_{0x} 间相互关

系的表达式。可见:

$$B_1 = B_2 - B_{0x}$$

改变 $V_{0解}$ 即改变 B_2 , 也即改变了报警电压。因此报警点是可调的。

图 4 示出 B_1 、 B_2 、 B_0 间的相互关系 (其中 B_{0x} 、 B_{0r} 分别为吸合和释放时铁芯内的等效磁场)。当 $V_0 \leq V_{0吸}$ 时, $B_0 \geq B_{0x}$, 继电器吸合。 V_0 上升后, 直至 $V_0 > V_{0解}$ 时, 则 $B_0 < B_{0r}$, 继电器释放。

由上可见, 图 2 所示的 S ·继电器基本上满足低电压 (小信号) 可调式自动报警的要求。

三、回 环

$\Delta V_0 = V_{0解} - V_{0吸}$ 称为 S ·继电器的回环, 由图 4 看到, 当被监视电压 V_0 从 $< V_{0吸}$ 增至 $V_{0吸}$ 时, S ·继电器并不释放, 这是我们不希望的。一般 $\Delta V_0 = (80\% - 100\%) V_{0吸}$, 这将使 S ·继电器不能及时解警, 因此希望 ΔV_0 尽量小。

由图 4 可见, 欲减小 ΔV_0 , 则

1. 提高 $\tan \alpha_0$ 值

$$\therefore \tan \alpha_0 = \tan \alpha_1 = \frac{dB_1}{dV_0} \quad (3)$$

$\therefore$ 提高 $\frac{dB_1}{dV_0}$, 可减少 ΔV_0 。

$$\text{又} \quad B_1 \propto W_{吸} \frac{V_0}{R_{吸}} \quad (4)$$

$$\therefore \frac{dB_1}{dV_0} \propto \frac{W_{吸}}{R_{吸}} \quad (5)$$

由(5)式可知, 欲提高 $\frac{dB_1}{dV_0}$, 必须: (1) $W_{吸} \uparrow$, (2) $R_{吸} \downarrow$, 即加粗导线线经和增多

匝数。但这将使 S ·继电器体积增大, 漏磁增加, 对提高 $\frac{dB_1}{dV_0}$ 并无好处。

2. 在图 3 基础上, 增加一绕组 L_3 (以下简称环绕组), 接成图五形式, 使之产生的磁场 B_3 与 B_1 方向相同, 并与 S ·继电器触点 K 串联。图六是引入 L_3 后, B_0 、 B_1 、 B_2 、 B_3 与

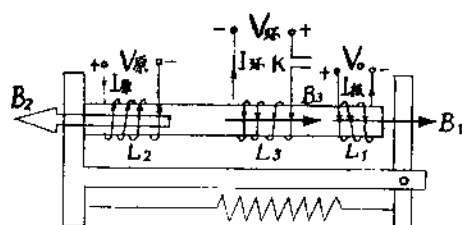


图 5

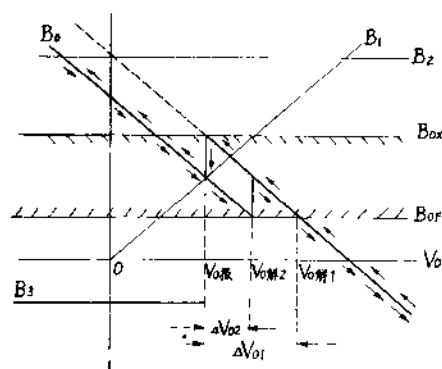


图 6

V_0 的关系曲线。

(i) S ·继电器吸合前, $B_3=0$, 所以 L_3 的引入并不影响报警点。

(ii) S ·继电器吸合后, B_3 出现, $B_0=B_2-B_1-B_3$,

且 $B_{0F} < B_0 < B_{0X}$, 此时回环 $\Delta V_0 = \Delta V_{02} < \Delta V_{01}$, 显然, 回环比原来减少了。改变 V 环即可改变 ΔV_0 。

表 1 说明了在 V_0 变化过程中, B_0 的变化以及 S ·继电器的工作状态。

表 1 不同 V_0 下 B_0 的变化及 S ·继电器工作状态 (参看图 6)

V_0	V_0 从 大 变 小			
	$>V_{0报}$	$=V_{0报}$	$<V_{0报}$	≤ 0
B_0	$<B_{0X}$	$B_{0F} < B_0 < B_{0X}$	$B_0 \uparrow$ 可 $>B_{0X}$	$>B_{0X}$
S ·继电器状态	释 放	吸 合	吸 合	吸 合
V_0	V_0 从 小 变 大			
	$V_{0报} > V_{0解1} > 0$	$V_{0解2} > V_0 > V_{0报}$	$=V_{0解2}$	$<V_{0解2}$
B_0	$>V_{0F}$	$B_{0F} < B_0 < B_{0X}$	$=B_{0F}$	$<B_{0F}$
S ·继电器状态	吸 合	吸 合	释 放	释 放

四、继电器的结构与参数

S ·继电器的结构见图 7。将 JAG-2 型干簧继电器的一根干簧管装入 $l=36\text{mm}$ 、 6×0.5 的铝管内, 管外分别绕上 L_1 、 L_2 、 L_3 , 然后用环氧树脂封装在铁壳内。

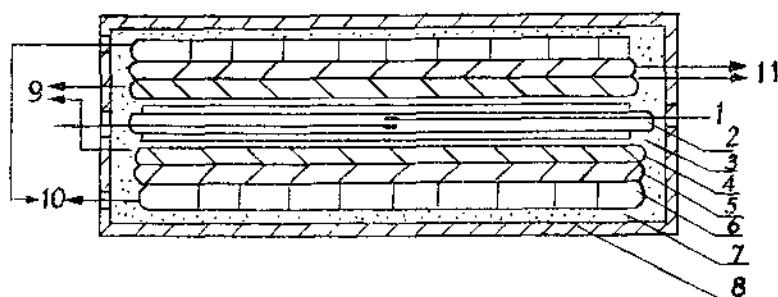


图 7

1—簧管触点 2—簧管玻璃外壳 3— 6×0.5 铝管 4—报警绕组 L_1 5—环绕绕组 L_2 6—原绕组 L_2 7—环氧树脂填料 8—继电器铁壳 9— L_1 引出线 10— L_2 引出线 11— L_3 引出线

五、报警电压和灵敏度

S ·继电器吸合时

$$B_0 = B_2 - B_1 = B_{0x} \quad (6)$$

即

$$I_{原} W_{原} - I_{报} W_{报} = (IW)_{0x} \quad (7)$$

其中: $I_{原} W_{原}$ —— L_2 的安匝数

$I_{报} W_{报}$ —— L_1 的安匝数

$(IW)_{0x}$ —— S ·继电器吸合时所需的安匝数。

如果 $I_{报} = 0$, 吸合时则:

$$I_{原} W_{原} = (IW)_{0x}$$

其中 $I_{原} = V'_{原} / R_{原}$

$$\therefore (IW)_{0x} = \frac{V'_{原}}{R_{原}} W_{原} \quad (8)$$

其中: $V'_{原}$ —— $I_{报} = 0$ 时, 继电器吸合所需要的电压。

$R_{原}$ ——原绕组 L_2 的直流电阻。

由(7)、(8)得:

$$I_{原} W_{原} = I_{报} W_{报} + \frac{V'_{原}}{R_{原}} W_{原} \quad (9)$$

又:

$$I_{原} = V_{原} / R_{原} \quad (10)$$

$$I_{报} = V_0 / R_{报} \quad (11)$$

由(9)、(10)、(11)得:

$$V_0 = (V_{原} - V'_{原}) \frac{W_{原} R_{报}}{W_{报} R_{原}} \quad (12)$$

公式(12)就是报警电压的计算公式。对一定结构的继电器 $W_{原}$ 、 $W_{报}$ 、 $R_{原}$ 、 $R_{报}$ 、 $V'_{原}$ 均为常数, 所以 V_0 是 $V_{原}$ 的一次函数 (图 8)。

根据公式(12):

$$\frac{V_{\text{原}} - V'_{\text{原}}}{V_0} = \frac{W_{\text{报}} \cdot R_{\text{原}}}{W_{\text{原}} \cdot R_{\text{报}}} \quad (13)$$

式(13)的意义是单位报警电压所对应的 $(V_{\text{原}} - V'_{\text{原}})$, 此值称为 S ·继电器的灵敏度(以下用 θ 表示)。显然

$$\theta = \frac{d(V_{\text{原}} - V'_{\text{原}})}{dV_0} \quad (14)$$

根据公式(13)可知, 欲提高 θ 值, 必须:

(1) $R_{\text{原}} \uparrow, R_{\text{报}} \downarrow$, 为此:

(a) 用粗线绕制 L_1 , 用细线绕制 L_2 。

(b) L_1 绕在内层, L_2 绕在外层。

(2) 适当提高 $W_{\text{报}}$, 适当降低 $W_{\text{原}}$ 。但二者均不宜过多, 否则体积增大, 漏磁增加, 灵敏度下降。

【例】: 有一只 S ·继电器, $V'_{\text{原}} = 5.2$ 伏, $W_{\text{报}} = 3700$ 匝

$W_{\text{原}} = 3000$ 匝, $R_{\text{报}} = 112 \Omega, R_{\text{原}} = 328 \Omega$, 依公式(14):

$$\theta = \frac{3700 \cdot 328}{3000 \cdot 112} = 3.6$$

这就是说, 如果要在 0.5 伏报警, 则 $V_{\text{原}} - V'_{\text{原}} = 3.6 \times 0.5 = 1.8$ (伏)。因此, $V_{\text{原}} = V'_{\text{原}} + V_0 \theta = 5.2 + 1.8 = 7.0$ (伏)

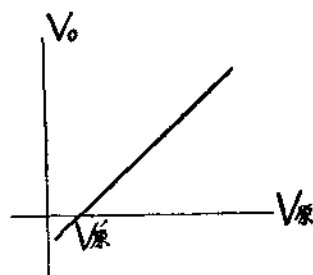


图 8

六、 S ·继电器的性能

我们先后共试制了200多只 S ·继电器, 抽出一部分测试, 结果如下:

(1) 报警点 V_0 。在0—2伏内可以任意调节。

(2) 短时漂移(10分钟) $\leq 10\text{mV}$, 长时漂移(2天) $\leq 40\text{mV}$ 。

(3) ΔV_0 约 0.05—0.1 伏。

表2给出了在不同原电压 $V_{\text{原}}$ 下 V_0 的实验值, 曲线画在图9上。其中1为理论曲线【由公式(12)得】, 2为实验曲线。可见, 它们较好的重合, 且 V_0 与 $V_{\text{原}}$ 成良好的线性关系。

表 2

$V_{\text{原}}$ (伏)	5.2	6	7	8	9
V_0 (伏)	0	0.22	0.48	0.77	1.04

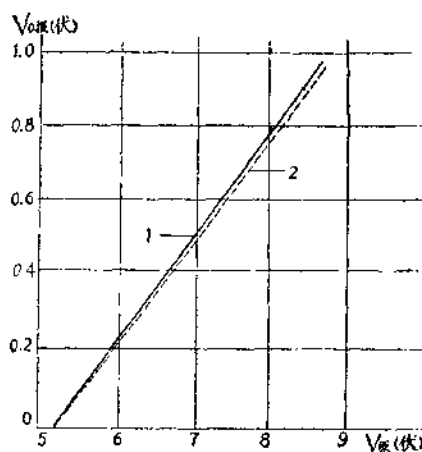


图 9

七、影响报警电压的因素

(1) 原电压的影响

由公式(12)得:

$$\frac{dV_0}{dV_{\text{原}}} = \frac{W_{\text{原}}}{W_{\text{报}}} \cdot \frac{R_{\text{报}}}{R_{\text{原}}} = \frac{1}{\theta} \quad (15)$$

这就是原电压 $V_{\text{原}}$ 对报警电压 V_0 影响的计算公式。

如前例:

$$\frac{dV_0}{dV_{\text{原}}} = \frac{3000 \times 112}{3700 \times 328} = 0.277$$

这就是说, 原电压漂移 1 伏, 将使报警点漂移 0.277 伏, 如果要求时漂 $\Delta V_0 \leq 10\text{mV}$, 则 $\Delta V_{\text{原}} \leq 36\text{mV}$

(2) 温度的影响

$S \cdot$ 继电器长期工作后, 绕组发热, 电阻增加, 因此报警电压 V_0 也要发生变化。

在公式(12)中, 当温升为 $t^\circ\text{C}$ 时

$$V'_{\text{原}} \rightarrow V'_{\text{原}}(1 + \beta t)$$

$$R_{\text{报}} \rightarrow R_{\text{报}}(1 + \beta t)$$

$$R_{\text{原}} \rightarrow R_{\text{原}}(1 + \beta t)$$

这里 β 为铜导线的温度系数, 并假设各绕组的温升相同。

此时公式(12)变成:

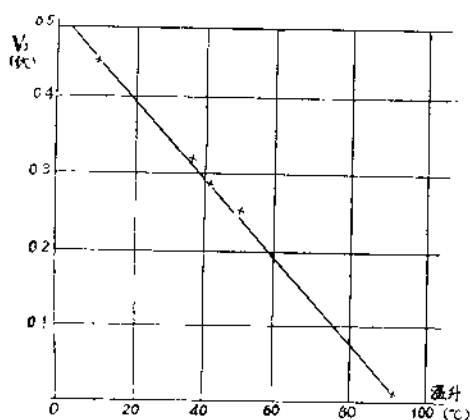


图10 报警电压 V_0 的温度曲线 ($V'_{\text{原}} = 7\text{V}$)

$$\begin{aligned} V_0 &= \frac{(V_{\text{原}} - V'_{\text{原}}(1 + \beta t)) \cdot R_{\text{报}}(1 + \beta t) W_{\text{原}}}{R_{\text{原}}(1 + \beta t) \cdot W_{\text{报}}} \\ &= \frac{(V_{\text{原}} - (1 + \beta t) V'_{\text{原}}) W_{\text{原}} \cdot R_{\text{报}}}{R_{\text{原}} \cdot W_{\text{报}}} \end{aligned}$$

∴ 报警电压温度系数:

$$\frac{dV_0}{dt} = - \frac{W_{\text{原}} \cdot R_{\text{报}} \cdot \beta}{R_{\text{原}} \cdot W_{\text{报}}} V'_{\text{原}} \quad (16)$$

可见:

报警电压随温度上升而直线下降

由(16)得:

$$-\frac{dV_0}{dt} = - \frac{\beta V'_{\text{原}}}{\frac{R_{\text{原}}}{R_{\text{报}}} \cdot \frac{W_{\text{原}}}{W_{\text{报}}}} = - \frac{\beta V'_{\text{原}}}{\theta} \quad (17)$$

所以报警电压的温度系数与其灵敏度 θ 成反比。

表3列出前例中 $S \cdot$ 继电器不同温度下的报警电压实验值。图10给出了报警电压的温度曲线。

表 3

温 升 ($^{\circ}\text{C}$)	10	38	42	50	90
报警电压(伏)	0.46	0.31	0.28	0.26	0

温升前报警电压为 0.52 伏。

但是根据我们使用经验, 由于 $S \cdot$ 继电器有良好的传热铁外壳, 在运行中, 其绕组发热

并不厉害,对报警电压 V_0 影响不显著,所以一般勿需考虑。但在要求报警电压精度较高时,要采取必要的温度补偿措施。

八、报警继电器的应用

(1) 单参量报警

任何参量只要能转换成 $>100\text{mV}$ 电信号, S ·继电器就能自动报警(见图11)。

对DDZ-Ⅱ型仪表输出为 $0-10\text{mA}$, 而 S ·继电器的输入电阻(即 L_1 的直流电阻)为 110Ω , 则 V_0 为 $0-1.1$ 伏, 因此可以报警。对DDZ-Ⅲ型仪表, 输出为 $4-20\text{mA}$, 则 V_0 为 $0.44-2.2$ 伏, S ·继电器同样完全可对之报警。

图11, $V_{\text{原}}$ $V_{\text{环}}$ 是外加直流供电电压。改变 $V_{\text{原}}$ 可改变报警点。改变 $V_{\text{环}}$ 可改变回环 ΔV_0 。 D_1 、 D_2 为隔离二极管, 避免 $V_{\text{环}}$ 与灯泡电压 (6.3 伏) 相互串电。 π 为报警指示灯。

当对象的参量 $x=x_0$ 时, $V_0=V_{0\text{报}}$, S ·继电器吸合, 触点 K 被接通, 指示灯 π 亮, 表示报警。

如果被监视信号很大, 则原绕组和报警绕组可以对调使用。

(2) 串联式多参量的报警:

对图12所示对象的报警, S ·继电器显示出特有优越性。其中 V_{01} 、 V_{02} 、 $\dots$ 、 V_{0n} 是被监视信号。原电压 $V_{\text{原}}$ 为 $5-10$ 伏(直流)可调稳压电源, $V_{\text{环}}$ 为 5 伏直流(稳压)电压。报警指示灯为 6.3 伏直流电压(不稳压)。

根据这个线路, 我们先后作成 150 对和 35 对等两台自动报警仪, 经过两年来的工作, 运转情况良好, 基本符合要求。

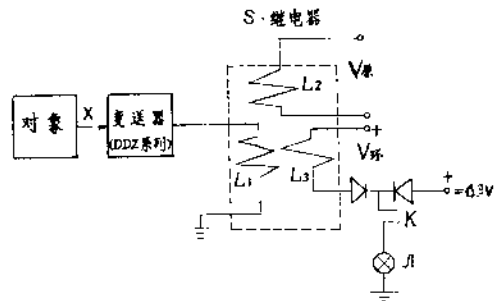


图11

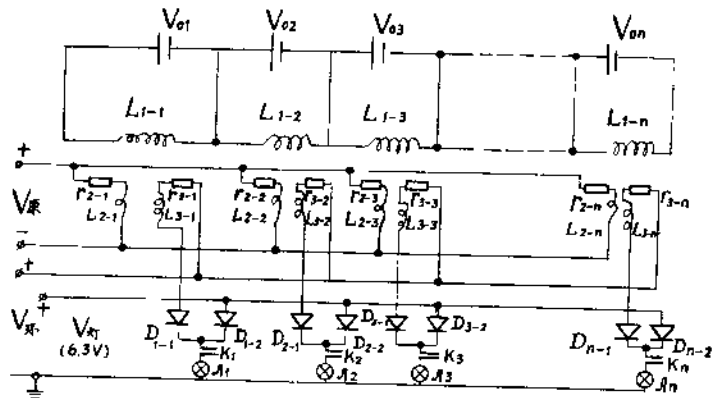


图12

$D_{1-1} D_{1-2} D_{1-3} D_{1-4} D_{1-5} D_{1-6} D_{1-7} D_{1-8} D_{1-9} D_{1-10} D_{1-11} D_{1-12} D_{1-13} D_{1-14} D_{1-15} D_{1-16} D_{1-17} D_{1-18} D_{1-19} D_{1-20} D_{1-21} D_{1-22} D_{1-23} D_{1-24} D_{1-25} D_{1-26} D_{1-27} D_{1-28} D_{1-29} D_{1-30} D_{1-31} D_{1-32} D_{1-33} D_{1-34} D_{1-35} D_{1-36} D_{1-37} D_{1-38} D_{1-39} D_{1-40} D_{1-41} D_{1-42} D_{1-43} D_{1-44} D_{1-45} D_{1-46} D_{1-47} D_{1-48} D_{1-49} D_{1-50}$ 均为隔离二极管; $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n$ 为相应的指示灯; $K_1, K_2, \dots, K_n$ 为相应的 S ·继电器触点; $L_{1-1}, L_{1-2}, L_{1-3}, \dots, L_{1-n}$ 为相应的报警绕组; $L_{2-1}, L_{2-2}, L_{2-3}, \dots, L_{2-n}$ 为相应的原绕组; $L_{3-1}, L_{3-2}, L_{3-3}, \dots, L_{3-n}$ 为相应的环绕组; $r_{2-1}, r_{2-2}, r_{2-3}, \dots, r_{2-n}$ 为各原绕组的调整电阻; $r_{3-1}, r_{3-2}, r_{3-3}, \dots, r_{3-n}$ 为各环绕组的调整电阻。

九、结 束 语

S ·继电器作为一种新的器件显示出不少优越性。它线路简单, 使用方便, 甚至完全不了解电子线路的人也很容易掌握使用。它与 DDZ-Ⅱ、DDZ-Ⅲ 型仪表配合, 可广泛地用于工厂的车间、实验室以及学校、医院、商店等许多部门, 对于安全保护有一定的监视作用。特别是对于串联浮地式的电量(非电量)的报警, 表现出其他报警器件所不具有的优越性。

参 考 文 献

- (1) 北京大学物理系, “铁磁学”, 科学出版社, 1976.
- (2) 蔡国廉等, “电磁铁”, 上海科学技术出版社, 1970.
- (3) Parker, R. J. and Studdens R. J., “Permanent and Their Application” London Arnold 1962.
- (4) Smit, J., “Magnetic Properties of Materials” New York, Mc Graw—Hill, 1971.