

软磁磁芯功耗量测的接线考虑

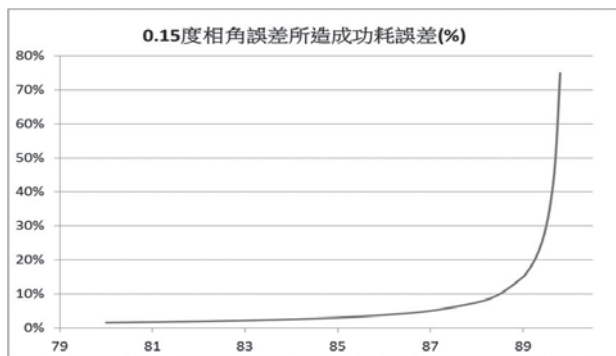
林颖瑞 技术总监

安博磁商贸（北京）有限公司

软磁磁芯功耗量测绕线接线方式取决于磁芯阻抗特性（等效损耗电阻、电感）与铜绕线阻抗特性（等效损耗电阻、漏电感），选择合适的绕线接线方式将影响所耗费的准备时间与期望的精度，理解各种接线方式有助于功耗量测工作的进行。

损耗仪精度期望值与待测物相角有关

A. 以 Iwatsu SY-8258 为例，其相角精度规格为 $\pm 0.15^\circ$ ，这 0.15° 的相角偏差对应不同待测物相角而产生的功耗偏差如下图。



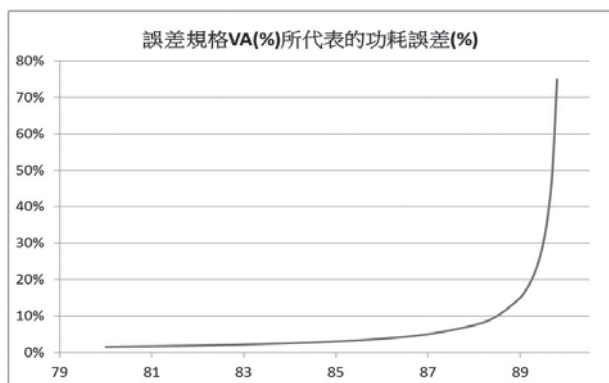
- a. 对相角 80° 待测物对应功耗偏差 1.5%
- b. 对相角 89° 待测物对应功耗偏差 15%
- c. 对相角 89.5° 待测物对应功耗偏差 30%

B. 以 Clark-Hess 2335A 为例，其功耗精度规格 $\pm 0.2\% \text{VA} + 10 \text{ digital}$ ，这 $0.2\% \text{VA}$ 的偏差对应不同待测物相角而产生的功耗偏差如下图。

- a. 对相角 80° 待测物对应功耗偏差 1.13%
- b. 对相角 89° 待测物对应功耗偏差 11.5%
- c. 对相角 89.5° 待测物对应功耗偏差 22.9%

功耗量测仪重复性与待测物相角有关

以安博磁 BsT-2 功耗量测仪对不同相角器件量测功耗



为例

A. 20W 47ohm $\pm 1\%$ 薄膜功率电阻（相角 $\sim 0^\circ$ ，单线圈接线）

	μ (平均值)	3σ (3倍标准偏差)	$3\sigma/\mu$ (%)
50kHz	6764.02	14.2	0.21%
100kHz	6735.57	13.52	0.20%

B. 铁氧磁芯 ETD39/20/13-3F3（相角 $\sim 84^\circ$ ，单线圈接线）

	μ (平均值)	3σ (3倍标准偏差)	$3\sigma/\mu$ (%)
100kHz/100mT	1476	13.9	0.94%
200kHz/50mT	633.7	12.1	1.91%

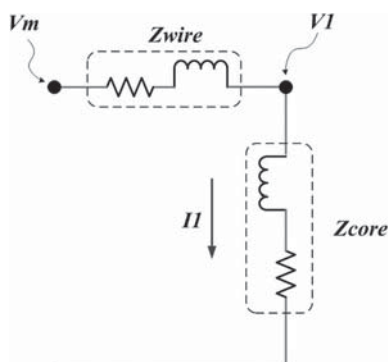
C. 铁硅合金粉芯 KAH184-060（相角 $\sim 88.6^\circ$ ，双线圈接线）

	μ (平均值)	3σ (3倍标准偏差)	$3\sigma/\mu$ (%)
50kHz/50mT	3655.35	74.12	2.03%
100kHz/25mT	2167.73	55.73	2.57%

单线圈接法

磁芯有效磁性路径参数 A_e

绕线圈数 N



测试频率 (Hz) f

测试峰值磁通密度 (T) B_p

在线性区下：

$$V_1(\text{peak}) = (2\pi f) \times N \times A_c \times B_p$$

磁芯损耗理论值：

$$P_v = \frac{1}{T} \int V_1(t) * I_1(t) dt \quad (1)$$

若 Z_{wire} 远小于 Z_{core} ，则 $V_m = V_1$ ，所实际量测值：

$$P_v = \frac{1}{T} \int V_m(t) * I_1(t) dt \quad (2)$$

在 Z_{wire} 远小于 Z_{core} 时可采单线圈绕线，工作简单效率高，一般功率铁氧体磁芯、非晶、奈米晶磁芯适合采用。当 Z_{wire} 不是远小于 Z_{core} 时， $V_m > V_1$ 其差异无法忽略不计，以 V_m 调整激励电源将造成实际测试 B_p 小于设定的测试条件，使所量测功耗 P_v （铜损 + 铁损）偏小，而所测的功耗 P_v 因含铜绕线损耗而使所量测功耗 P_v 高于实际磁芯功耗值。

双线圈接法

在 Z_{wire} 不是远小于 Z_{core} 时应采双线圈绕线，其等效电路如下图。

$$V_2(\text{peak}) = (2\pi f) \times N_2 \times A_c \times B_p$$

$$V_1 = (N_1/N_2) \times V_2 = (N_1/N_2) \times V_m^2$$

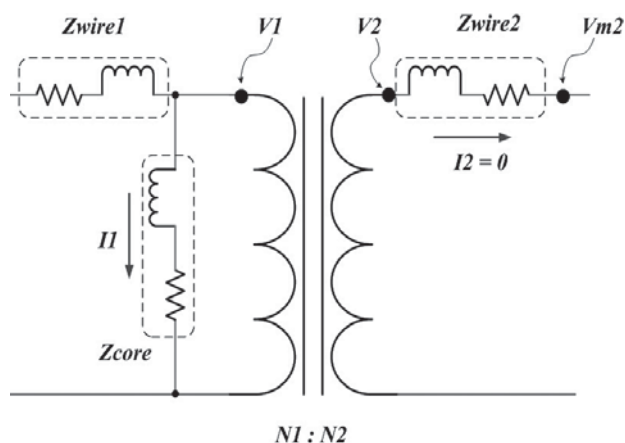
实际量测值

$$P_v = \frac{1}{T} \int \left(\frac{N_1}{N_2}\right) V_m 2(t) * I_1(t) dt \quad (3)$$

可排除铜绕线损耗，适合一般合金粉磁芯。

双线圈接法 + 一次侧串联电容

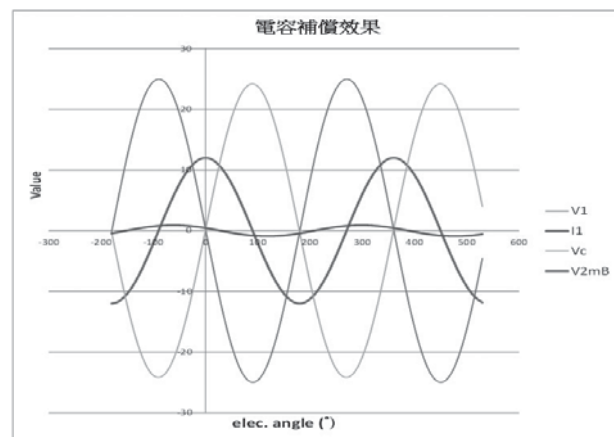
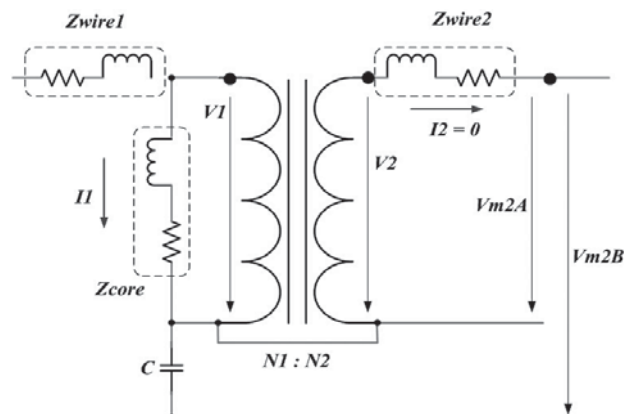
当待测物相角接近 90° 时，电压与电流测量时间误差造成的相角偏差将造成较大的功耗误差，以下图为例，原始 V_1 ， I_1 相位 89.5° ，当选择合适低损耗电容补偿后，以 (4)



取代 (1)，

$$P_v = \frac{1}{T} \int V_m 2 B(t) * I_1(t) dt \quad (4)$$

$V_m 2 B$ ， I_1 相位可降至 $\sim 76^\circ$ 以下，这时相角偏差对功耗的影响将大大缩小。



以此接法可尽量排除法相角偏差造成的功耗误差，但除接线较为复杂外，需多费精神选择合适电容，在量测硬件上亦需一个额外的波器频道以观察 $V_m 2 A$ 是否达到测试

所需的峰值磁通密度。

参考文献

- [1] BsT-2 软磁交流磁性测试仪说明书, 安博磁商贸(北京)有限公司, Tel: 010-82790190, 18613858750, abctradingbj@163.com
- [2] BH Analyzer SY-8258 Operation Manual, Iwatsu
- [3] Model 2335A Wideband Power Analyzer Instruction Manual, Clark-Hess
- [4] High Frequency Magnetic Core Loss Study, Mingkai Wu, 2013