

非晶态合金铁芯在开关电源变压器中应用

汪 荣 顺

(电子工业部南京电子技术研究所)

电子设备和仪器所需要的直流电源大都是从电网取得能量后转换而成的。随着电子技术的发展和集成电路的广泛应用,对电源的稳定度、小型化和可靠性提出了更高的要求。开关电源由于高频化和开关化从而具有体积小、重量轻和效率高的特点。目前它正朝着集成化的方向发展,以进一步减小电源的体积和重量,提高效率和改善技术性能。

开关电源中的功率输出变压器(开关变压器)是电源主要元件之一,起着功率传递、电压变换和电网隔离等作用。变压器性能和电源性能密切相关。变压器体积可用结构参数 A_p 表示:

$$A_p = \frac{P_{KB} \times 10^4}{2f B_m j \eta K_m}$$

式中 A_p 为铁芯截面积 S_c 和铁芯窗口截面 S_m 的乘积, P_{KB} 为变压器计算功率, f 为工作频率, B_m 为变压器工作磁感应强度, j 为电流密度; η 为变压器效率, K_m 为变压器窗口铜线填充系数。

由此可见,若进一步减少体积电源必须向

更高的频率发展。开关变压器特性在很大程度上取决于变压器磁性材料的性能。因此,高频下铁芯损耗 P_c 、动态导磁率 μ_c 和饱和磁感应强度 B_s 是开关变压器材料的主要磁性能指标。

开关变压器较常用的磁性材料是铁氧体和坡莫合金。铁氧体磁芯的 B_s , μ_c 和居里点都低,温度稳定性差,很难满足在恶劣环境下工作的要求。坡莫合金 1J85-1 是 20kHz 开关变压器较理想的材料,目前在电子设备开关电源中应用较多。但 1J85-1 的电阻率低,不适用于更高频率下工作。

非晶态合金由于具有优异的机械、物理和化学性能,引起了人们极大的重视。尤其是优质非晶态软磁薄带,由于其矫顽力小,损耗低,带薄,电阻率比非晶态合金高 2—4 倍,特别适用于制作高频开关电源中的各种磁性器件。非晶态合金的制造工艺简单,是一种极有前途的材料。目前情况表明,在频率小于 100kHz 时,其性能优于坡莫合金和铁氧体。表 1 列出了非晶态合金、1J85-1 和铁氧体的主要磁性能。

日本东芝公司采用非晶态合金制作频率为

表 1

指标 性能	B_s (T)	B_r (T)	H_c (Oe)	μ_m	ρ ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	P (W/kg)	说 明
$\text{Fe}_{3.6}\text{Co}_{0.4}\text{V}_2\text{Si}_4\text{B}_{22}$	0.64	0.47	0.004	55×10^4	150	$P_2/20\text{kHz} = 21$	Co 基非晶态合金
VITROVAC4040	0.8	0.7	0.013	50×10^4	135	$P_2/20\text{kHz} = 8$	Fe-Ni 基非晶态合金
2605S-3	1.58	0.4	0.10	20000	125	$P_2/10\text{kHz} = 17$	Fe 基非晶态合金
1J85-1	0.66	0.52	0.025	20×10^4	55	$P_2/20\text{kHz} \leq 35$	
Mn-Zn 铁氧体	0.4	0.14	0.2			$P_{3.3}/10\text{kHz} = 62$	

100kHz,功率为 100W 的开关电源变压器,使电源总效率增加 33%,铁芯温升降低 20°C,激磁电流下降 1/3。西德真空熔炼公司的试验表明,如果总损耗定为 20W/kg,0.05mm 厚的超

坡莫合金在 20kHz 下工作时, B_m 值只达 0.22 T, 0.03mm 厚时, P_m 值也只达 0.3T。若用 0.025mm 厚的非晶态合金(Fe-Ni 基), 20kHz 下的 B_m 值可达 0.45T, 而当 $B_m = 0.2\text{T}$ 时,工

作频率可达 50kHz。应当指出,用于高频的 Fe 基或 Fe-Ni 基非晶态合金不仅工作磁通密度高,而且损耗也比坡莫合金和铁氧体小,并可与 Co 基非晶媲美。这是近年来非晶态软磁材料的重要进展。美国联合公司于 1982 年报道了用 Fe 基非晶态合金 Metglas 2605S-3 制造了全桥 1kW(12V,84A) 开关变压器,具有较好的技术指标。

国内也已将非晶态软磁合金应用于开关电源变压器中,并取得很多成果。现介绍如下。

一、应用 Co 基非晶态合金的开关变压器

例 1: Co 基非晶态合金的铁芯规格为 $\phi 10 \times 16 \times 5$, 铁芯的性能为 $\rho = 150 \mu\Omega \cdot \text{cm}$, $\mu_m = 485000$, $H_c = 0.0079 \text{Oe}$, $B_{10} = 0.69 \text{T}$, $P_s/20\text{kHz} = 23.8 \text{W/kg}$, 其开关电源原理见图 1。主要指标: $U_i = +27 \text{V} \pm 2 \text{V}$; $I_i = 0.42 \text{A}$; $U_{o1} = +20 \text{V}$; $I_{o1} = 0.3 \text{A}$; $f = 50 \text{kHz}$; $\eta = 72.6\%$ 。

试验表明,采用 Co 基非晶态合金铁芯开关电源变压器的自激直流变换器工作频率可达 50kHz; 而用晶态软磁合金只能到 20—30kHz, 超过它则变压器发热严重, 温升超过允许值。当电源工作频率提高时, 变压器和滤波元件体积重量均可下降。

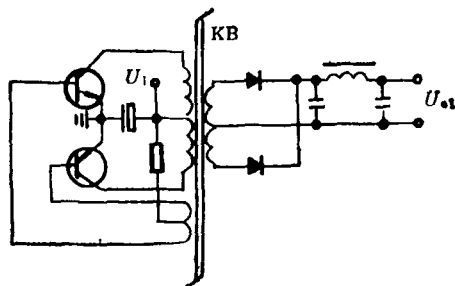


图 1 自激变换器原理图

例 2: 采用的 Co 基非晶态合金铁芯规格为 $\phi 20 \times 25 \times 10$, 铁芯性能为 $B_s \geq 0.7 \text{T}$, $\mu_0 = 32500$, $\mu_m = 40000$, $P_s/20\text{kHz} = 17.5 \text{W/kg}$, $P_c/20\text{kHz} = 32.4 \text{W/kg}$ 。

用上述 Co 基非晶态合金铁芯设计制作的开关变压器输出功率为 133W(35V, 3.8A), 铁芯温升 78°C, 线圈温升 70.5°C。而采用同样规格的晶态合金 1J85-1, 当铁芯温升为 83°C, 线圈温升为 73°C 时, 输出功率只有 91W, 可见采用非晶铁芯后输出功率增加了 46%。

二、应用 Fe 基非晶态合金的开关变压器

1. 单端正激式开关电源变压器

单端正激式开关电源变压器其输入电压为单向脉冲方波, 变压器通过一单方向的激磁电流, 因此, 工作在交流回线第一象限, 要求铁芯材料 B_s 高、 B_r 低、损耗小、磁滞回线扁平。最近我们来冶金工业部钢铁研究总院研制的 Fe 基非晶态合金制作 150W 单端正激式开关变压器, 取得了良好效果。单端正激式开关电源原理如图 2 所示。铁芯规格为 $\phi 25 \times 40 \times 12.5$, 基本磁性能如下: $P_{10} \geq 1.5 \text{T}$, $B_r/B_{10} \leq 0.1 - 0.2$, $P_s/20\text{kHz} \leq 80 \text{W/kg}$, $H_c = 6.5 \text{A/m}$ 。

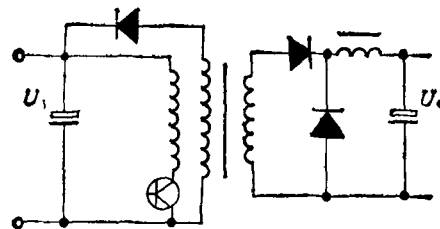


图 2 单端正激式开关电源原理图

Fe 基非晶态合金铁芯开关变压器和原用坡莫合金 1J67h 开关变压器的性能对比见表 2。从表 2 可以看出, 非晶变压器体积重量明显下降, 温升降低, 而且, 成本可以减少 50% 以上。

2. 大功率高频开关变压器

最近我单位为 5kW、40kV 直流高压稳压电源试制了 5kW Fe 基非晶态合金铁芯大功率开关变压器, 使电源体积重量大大下降, 满足了装车运载的要求。铁芯为矩型 $20 \times 25 \times 135$, 主要性能指标如下: 工作频率 10kHz, $B_s \geq 1.6$

(下转第 596 页)