

电力电子功率变换器与磁性材料

陈为 博士

chw@fzu.edu.cn

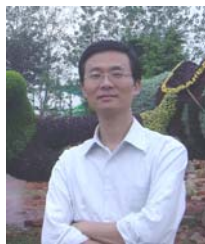
福州大学电气工程与自动化学院 教授、博士生导师，院长

中国电源学会常务理事、专家委员会副主席

中国电源学会 变压器与电感器专委会 主任委员

Magnetics and Power Conversion Lab

报告人简介

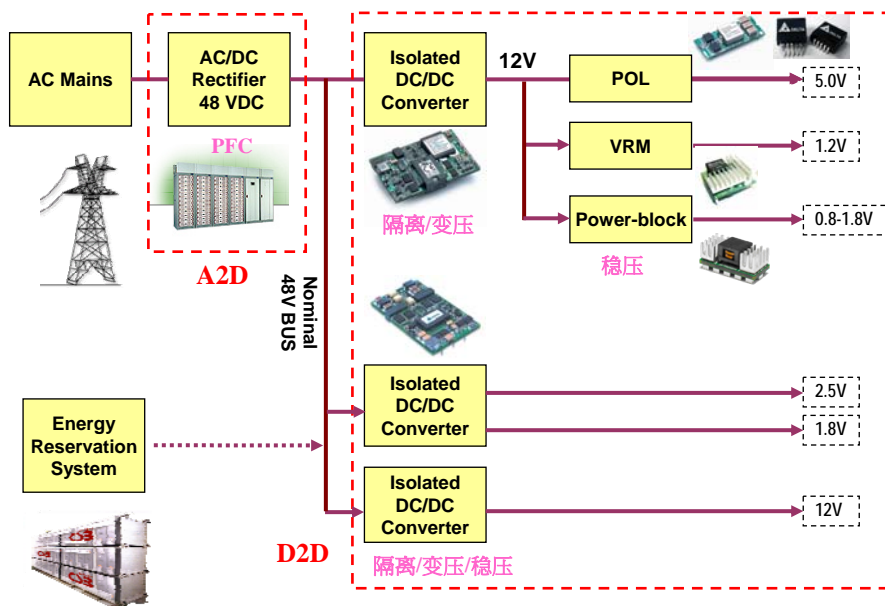


Dr. CHEN, Wei
陈为 博士

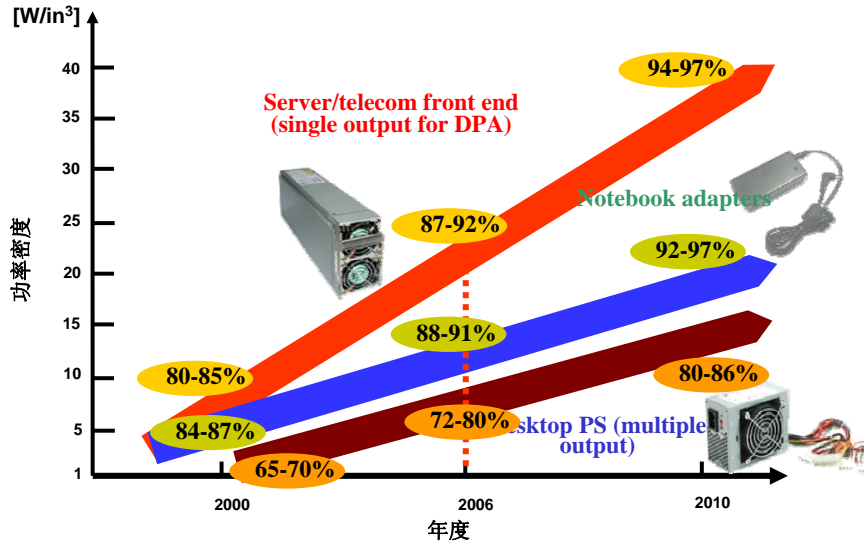
- 1982.02: 毕业于福州大学电机系
- 1990.11: 在福州大学获得工学博士学位
- 1996.12-1998.11: 在美国电力电子系统中心(CPES)从事高级访问学者研究两年
- 1999.07-2008.03: 兼职台达上海电力电子研发中心和台达零组件上海研发中心，历任高级经理，副主任和技术主任
- 1990.11起: 福州大学 电气工程与自动化学院 副教授，教授，博士生导师
- 研究领域：电力电子功率变换，电力电子高频磁技术，磁性元件，电磁兼容诊断与抑制，工程电磁场分析与应用，电磁检测，磁性材料，高低压电器等

- 开关功率变换器的应用与发展
- 磁性元件对功率变换器的意义
- 对磁性材料技术与应用的关注

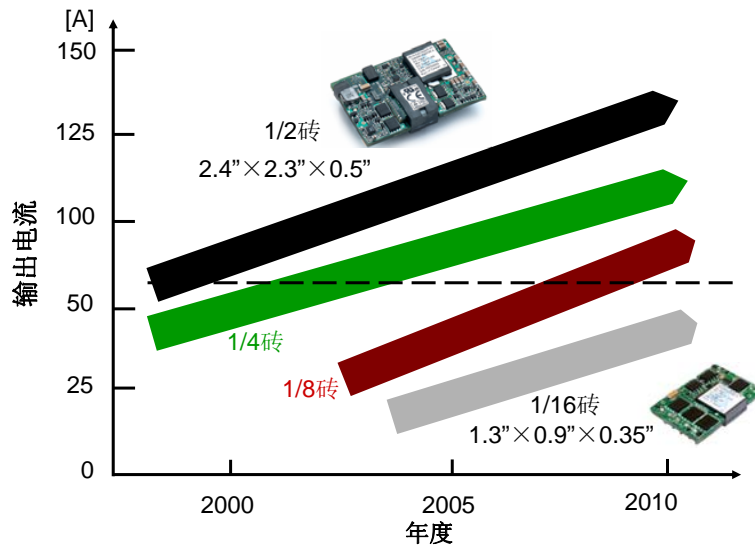
分布式电源架构 (DPA)



AC/DC变换器性能发展趋势-高效率



DC/DC变换器性能发展趋势-高功率密度



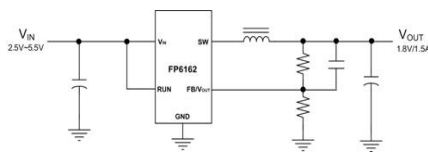
隔离型D2D变换器性能指标的发展

(A)	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2008
FB	40	60	60	80	100	100	135	135	135	135
HB	20	30	30	40	60	70	80	100	120	120
QB					20	40	60	100	100	100
EB						15	30	40	50	60
SB								25	25	40

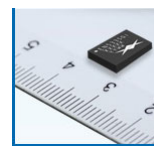


(W)	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2008
FB	200	300	300	330	400	500	700	700	800	800
HB	100	150	150	200	200	200	250	350	400	600
QB					100	150	150	200	300	400
EB						50	100	120	150	200
SB								50	66	100

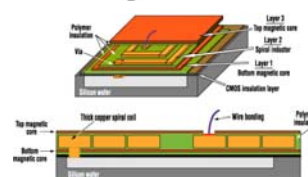
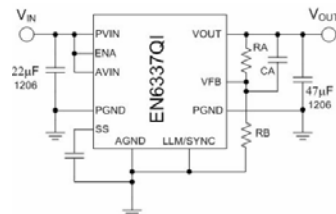
晶片开关电源-超高频高密度



MPS
Monolithic Power Systems



ENPIRION



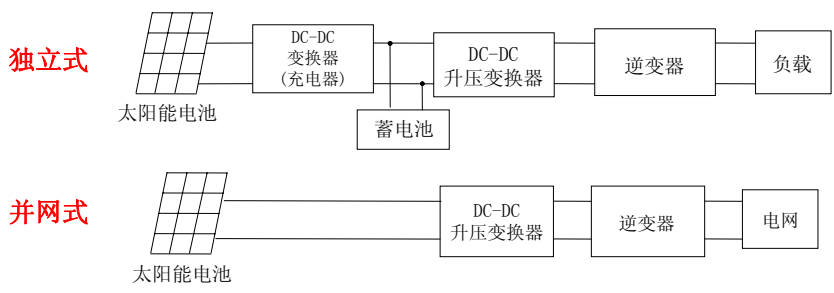
4. Like the Si-Ci converter, able to have such a small form factor is a MEMS inductor that also allow the switching electronics.

太阳能发电



现在，最先进的太阳能飞机，飞行高度可达2万多米，航程超过4000公里。

德国莱比锡这个造价2000万欧元的太阳能发电站由3.35万组太阳能电池板组成，发电功率达5兆瓦。占地面积21.6公顷



风能发电



绿色电源要求

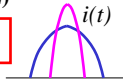


环境保护要求



(IEEE519-1992)

谐波电流要求



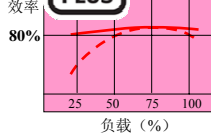
电磁兼容要求



空载损耗要求



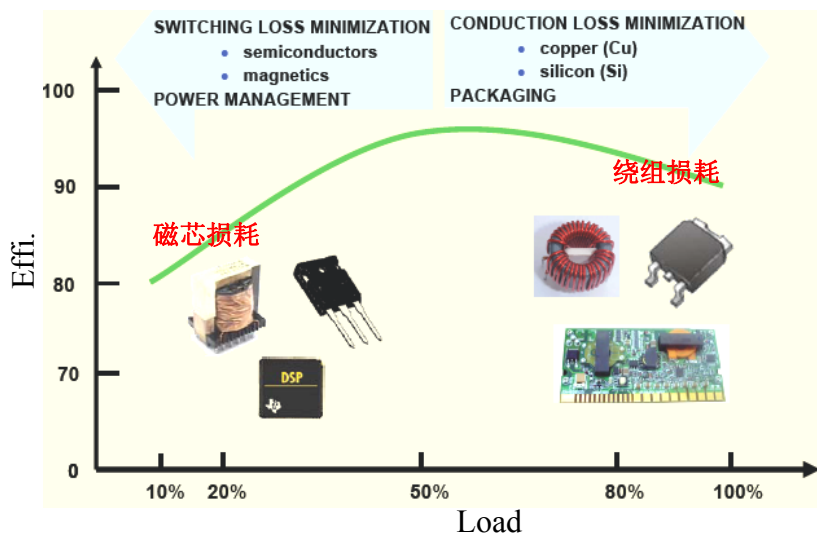
全负载范围效率要求



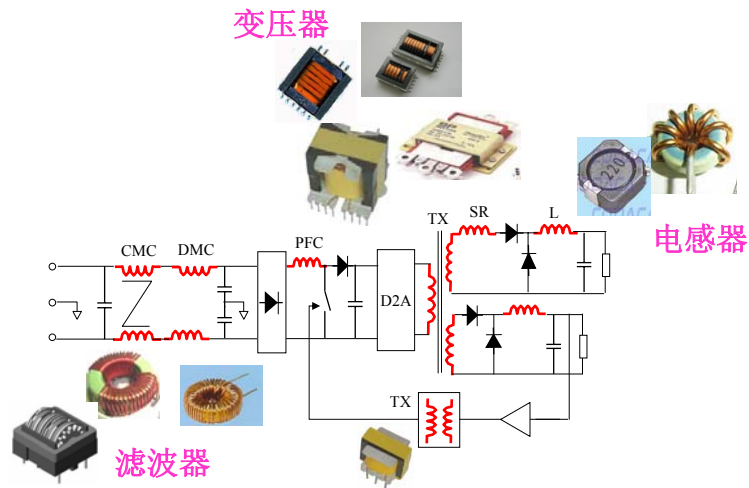
LOAD	July 2007 - July 2008	July 2008 - July 2009	July 2009 - July 2010
EFFICIENCY @ 230 V			
20%	81%	88%	88%
50%	85%	89%	92%
100%	81%	85%	88%

Rated Power	No-Load Power consumption	
	Tier 1 Jan. 05	Tier 2 Jul 06
0 to <10W	0.5W	0.3W
>10W to <250W	0.75W	0.5W

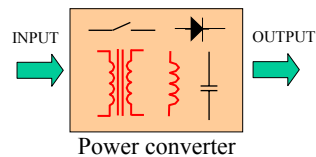
影响全负载范围效率的因素



功率变换器中的磁性元件

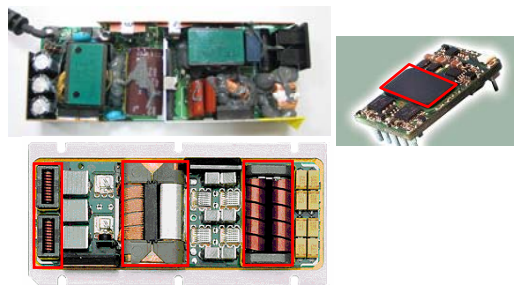


磁性元件的重要性和所面临的挑战



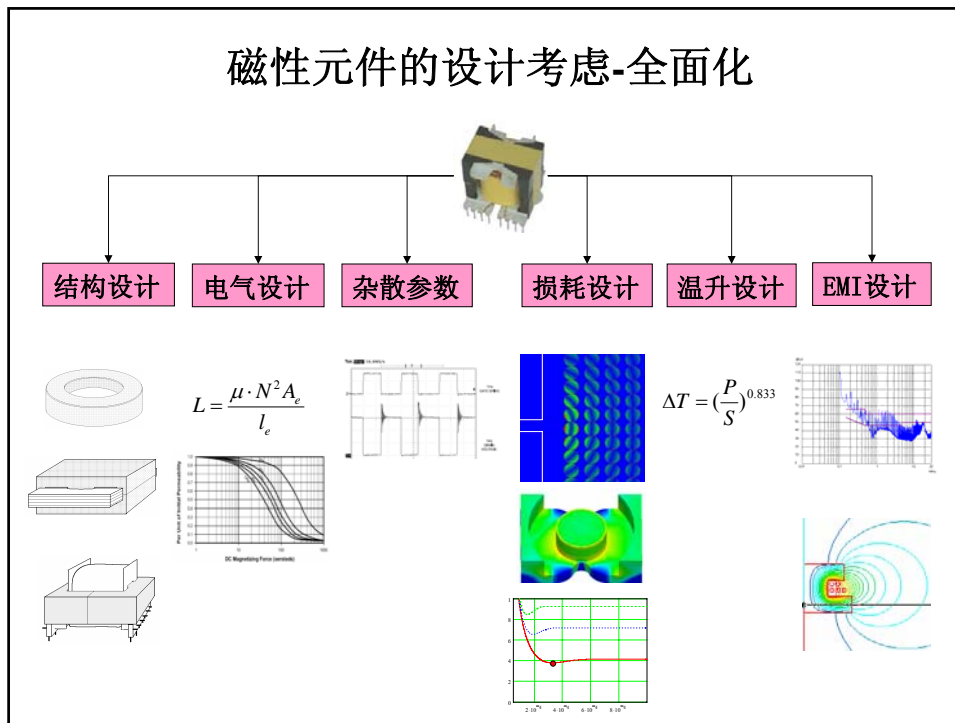
Magnetics are critical for:

- ❖ Size and weight
- ❖ Form factor
- ❖ Power loss
- ❖ Manufacture cost
- ❖ Temperature rise
- ❖ Performance
- EMI, RFI, Cross-regulation, Acoustic noise, Control, etc



- ❖ 高频磁性元件/磁技术已经成为功率变换器进一步发展的瓶颈
- ❖ 磁技术的应用/专利/设计已经成为当前开关电源主要竞争内容

磁性元件的设计考虑-全面化

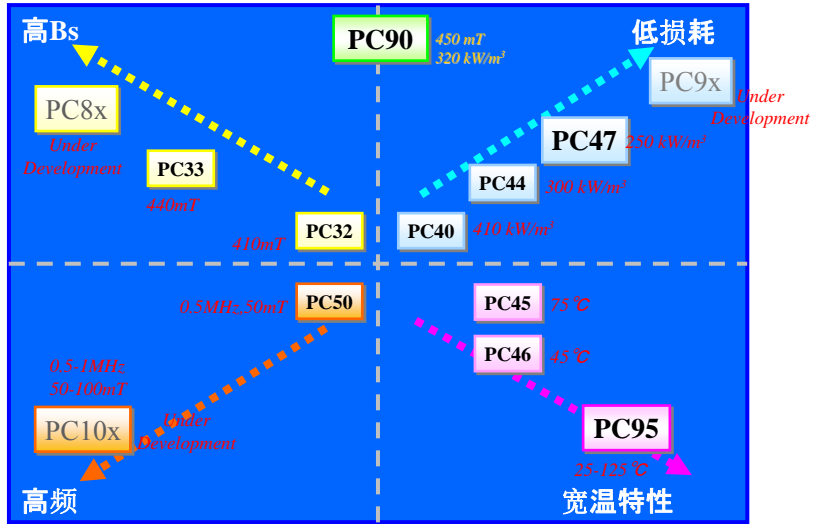


对磁性材料技术的关注点

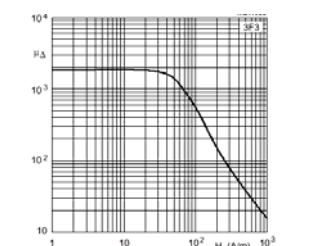
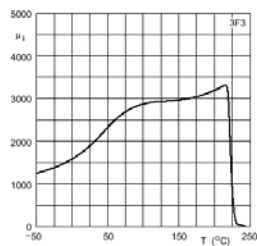
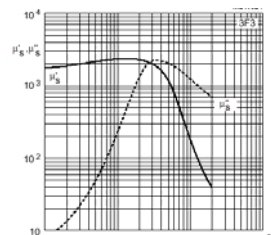
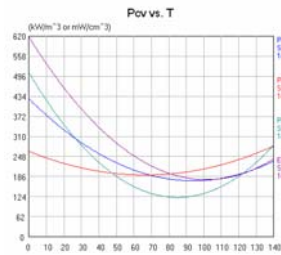
- 基本磁参数的高指标
- 注重磁芯材料的特性参数
- 磁芯形状的优化设计
- 磁芯的损耗参数测量技术
- 磁芯在PWM激磁和DC偏磁下的损耗特性
- 磁芯的老化问题
- 永磁材料的应用

铁氧体磁材基本磁性能的提升

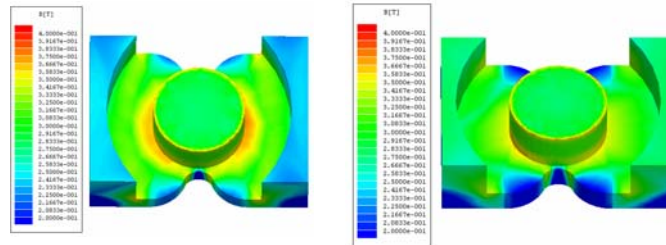
Mn-Zn ferrites for power applications



磁性材料的特性参数一致性



铁芯形状的客制化设计

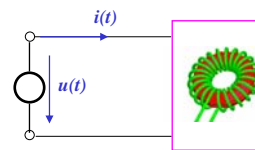


- 绕组窗口与磁芯面积比例（总损耗优化）
- 磁芯磁密分布的均匀性（低磁芯损耗）
- 磁芯中柱面积与侧柱面积比例（减低绕组长度）
- 特殊外形设计

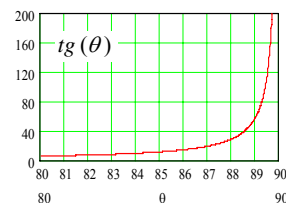
高频磁芯损耗测量误差分析

$$P = U \cdot I \cdot \cos \theta$$

$$\frac{\Delta P}{P} = \left| \frac{\Delta U}{U} \right| + \left| \frac{\Delta I}{I} \right| + \left| \operatorname{tg}(\theta) \Delta \theta \right|$$

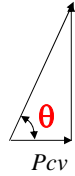


- High-frequency → Large $\Delta \theta = \Delta t \cdot f$
- Large signal → Large Δt
- Low loss core → θ approaches to 90°



磁粉芯的损耗测量难点

$$\cos \theta = \frac{P}{U \cdot I}$$



$$Q_{cv} = \frac{B \cdot H}{2} (2\pi \cdot f) = \frac{B^2}{2 \cdot \mu_e} (2\pi \cdot f)$$

μ_e 越小 $\rightarrow Q_{cv}$ 越大 $\rightarrow \theta$ 越大
 f 越大 $\rightarrow Q_{cv}$ 越大 $\rightarrow \theta$ 越大
 P_{cv} 越小 $\rightarrow \theta$ 越大

	Material	B(T)	f(kHz)	μ_r	Pcv(kW/m ³)	θ (°)
Powder	Magnetics HF60	0.1	50	60	400	88.9
	Magnetics XFlux60	0.1	50	60	600	88.4
	Magnetics KM60	0.1	50	60	360	89.0
	Magnetics MPP60	0.1	50	60	150	89.6
Ferrite	Ferroxcube 3C96	0.2	100	5500	300	80.6
	Ferroxcube 3C96	0.1	100	5500	40	85.0

SY-8258 B-H分析仪误差估计

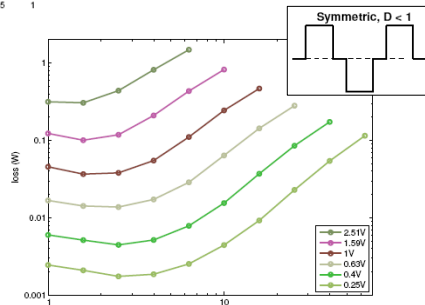
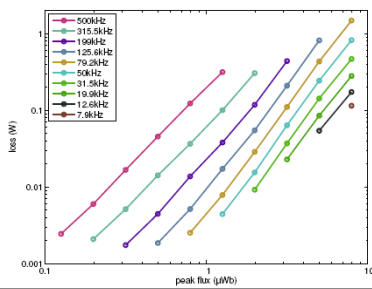
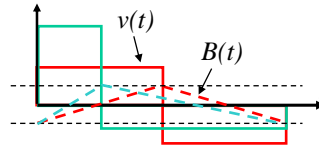
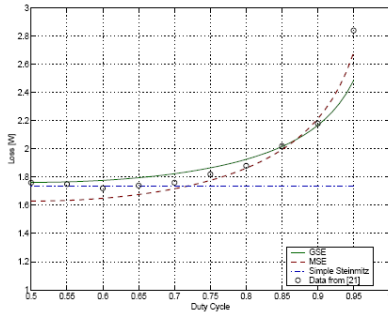
根据SY-8258 B-H分析仪提供的手册，可以查到其磁芯损耗误差的计算方法。根据该计算方法及手册上提供的参数做出几组磁芯损耗误差与激磁电压误差、激磁电流误差及功率因数角的关系如下表。



磁芯损耗误差与激磁电压误差、激磁电流误差及功率因数角的关系

激磁频率范围 (KHz)	功率因数角 (°)	激磁电压误差 (%)	激磁电流误差 (%)	功率因数角误差 (%)	磁芯损耗误差 (%)
1.1-100	80	1.43	1.43	0.559	6.027
100-1000		1.71	1.71	0.646	7.082
1.1-100	85	1.43	1.43	0.559	9.244
100-1000		1.71	1.71	0.646	10.801
1.1-100	88	1.43	1.43	0.559	18.854
100-1000		1.71	1.71	0.646	21.912
1.1-100	89	1.43	1.43	0.559	34.857
100-1000		1.71	1.71	0.646	40.416

PWM波形激励下的磁芯损耗特性

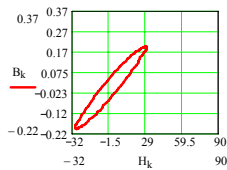


直流偏磁对磁芯损耗的影响

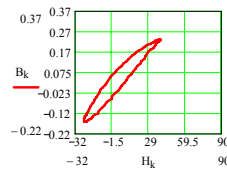
Core loss model

$$P_c = (1 + K_{ldc} \cdot |B_{dc}| \cdot e^{K_{2dc}}) \cdot K_{lac} \cdot |B_{ac}|^{K_{lac}} \cdot f_s^{K_{fac}} \cdot (K_{r1} \tau^2 + K_{r2} \tau + K_{r3})$$

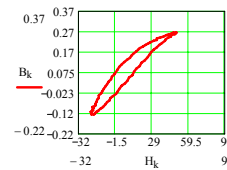
B-H Loop @ fs=100kHz, Bac=200mT, To=100°C



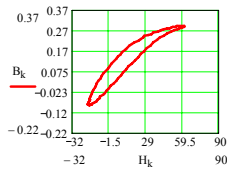
Hdc=0, Pc=504 (kw/m³)



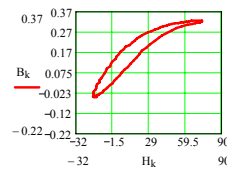
Hdc=6.93A/m, Pc=506 (kw/m³)



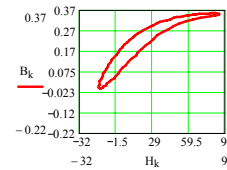
Hdc=13.85A/m, Pc=526 (kw/m³)



Hdc=20.77A/m, Pc=584 (kw/m³)

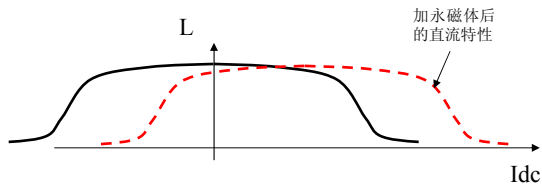
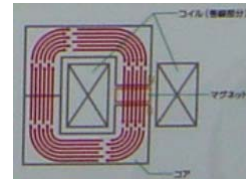
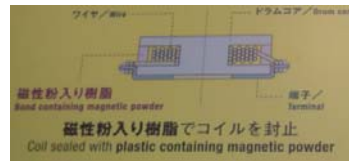
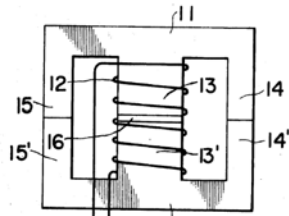


Hdc=27.69A/m, Pc=605 (kw/m³)



Hdc=34.62A/m, Pc=647 (kw/m³)

永磁体预偏磁的应用



谢谢!

2010年第四届中国变压器、电感器联合学术年会

- 主旨:** 以技术交流为主, 面向产业界;
汇聚电源系统、磁元件和磁材料方面专家学者。
- 主办:** 中国电源学会变压器电感器专委会, 中国电子学会电子变压器技术部
- 承办:** 大比特资讯机构, 福州大学电气工程与自动化学院
- 时间:** 2010年10月29日-11月1日
- 地点:** 福州市
- 投稿:** 2010年9月20日截止

欢迎各位专家学者投稿和与会交流讨论!