

2016开关电源技术巡回培训

2016/7/23

中国电源学会专家委员会
电源学会磁技术专业委员会

委员
委员
邵革良 主讲

大功率开关电源与磁元件技术 技术设计培训

Innovation Achieving Chinese Local Core
Competitiveness

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

第一讲：大功率开关电源的主流电路分析（PFC部分）

1：单相 PFC 电源技术

- 单相 CCM 模式 PFC
- 单相交错 CCM 模式 PFC
- 单相交错 CRM 模式 PFC
- 单相无桥 PFC 技术

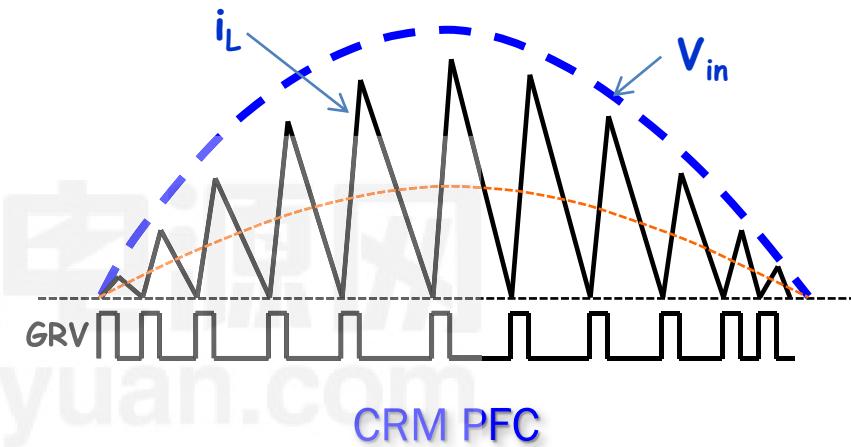
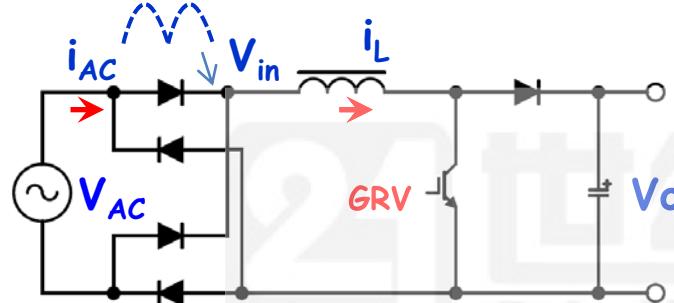
2：三相 PFC 电源技术

- Vienna 三电平
- PFC-三电平 A-NPC PFC

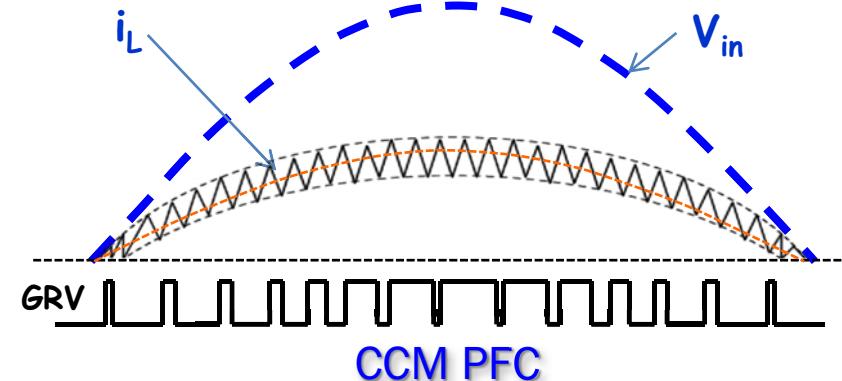
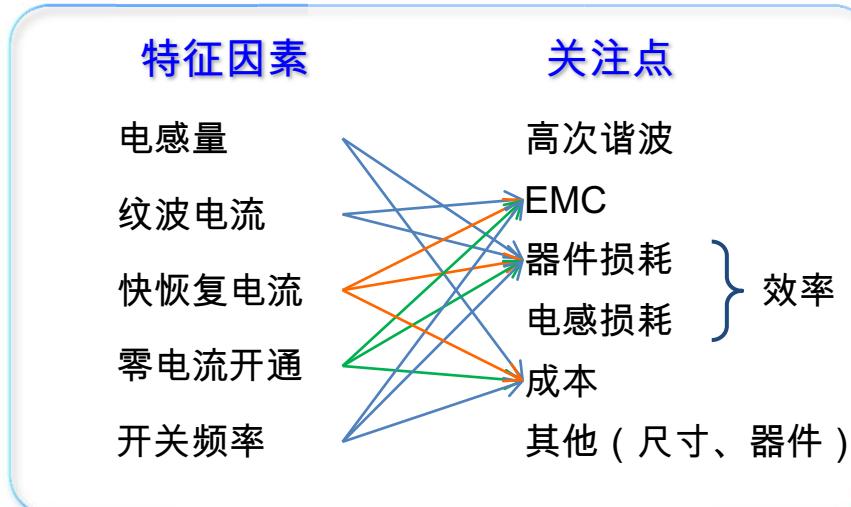
大功率开关电源与磁元件技术设计培训

大功率开关电源的主流电路分析（PFC部分）

● 单相PFC电源技术

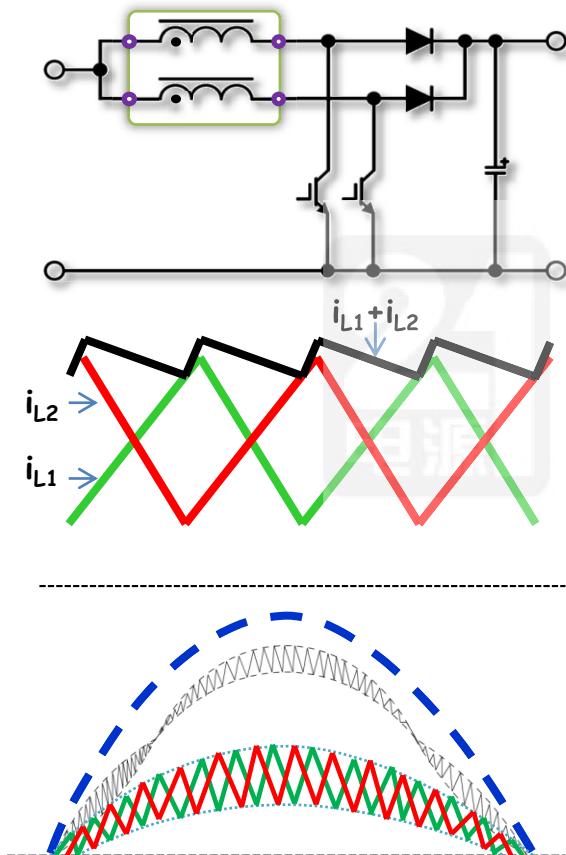


两种PFC控制模式的特点对比

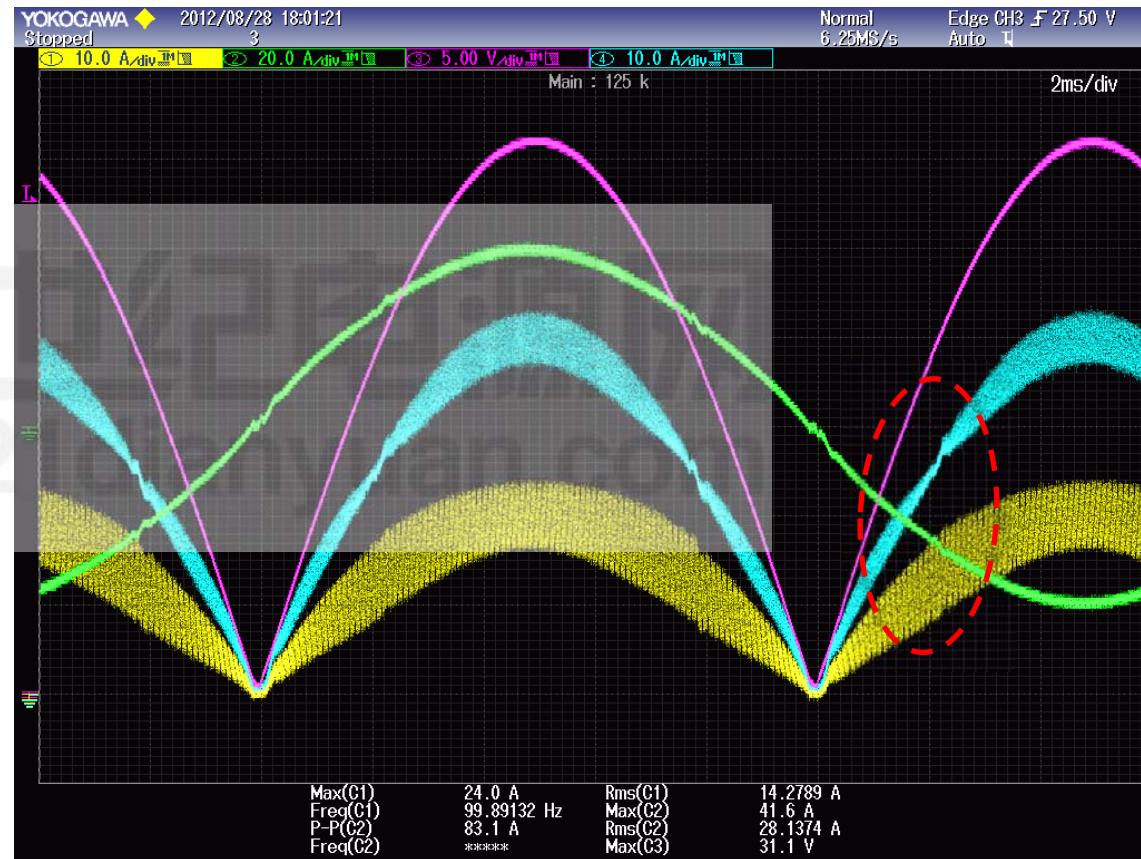


大功率开关电源与磁元件技术设计培训

● 双路、多路交错并联PFC技术



交错驱动大幅减小输入电流高频纹波
→2只小感值L实现低纹波
→减半的电流大幅降低电感成本



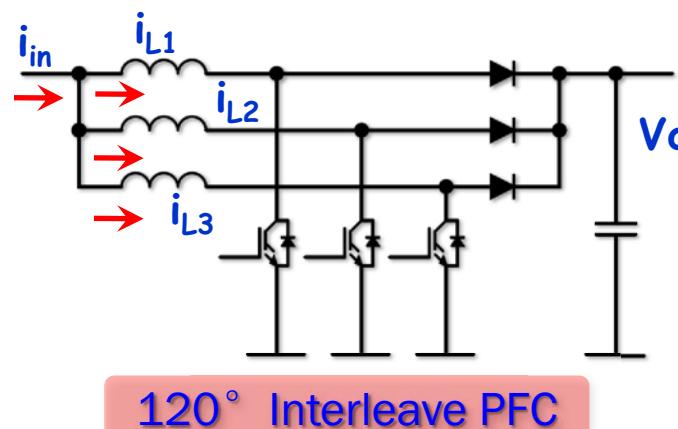
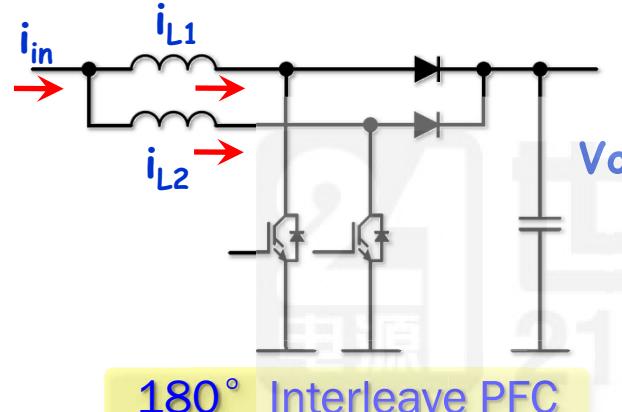
6KW 交错CCM PFC实测波形
350uH/30A × 2

田村（中国）企业管理有限公司 上海技术研发中心

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

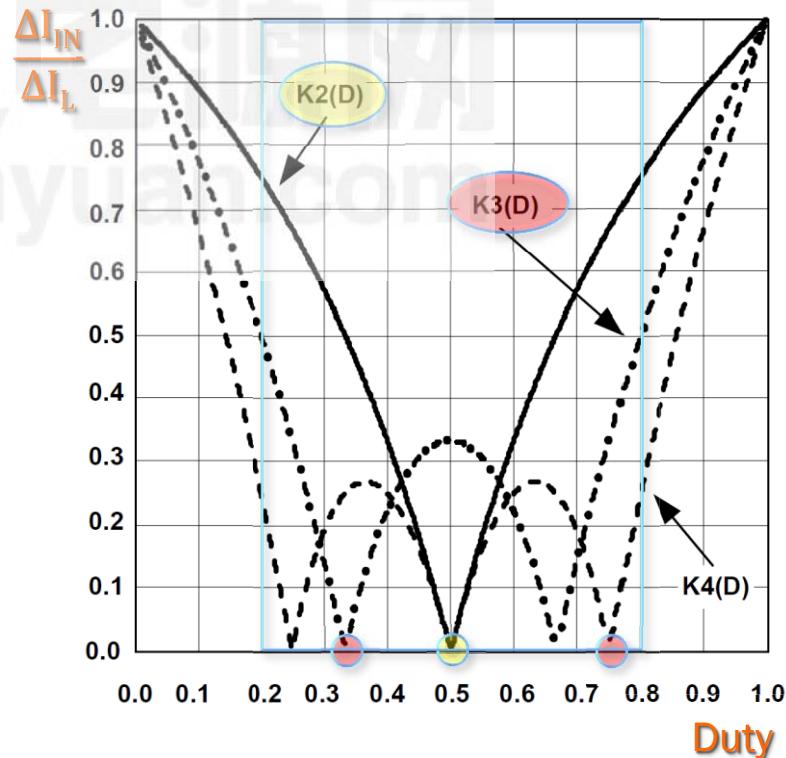
PFC 电路技术特点

- 双路、多路交错并联PFC技术



交错并联的本质目的：大功率低成本

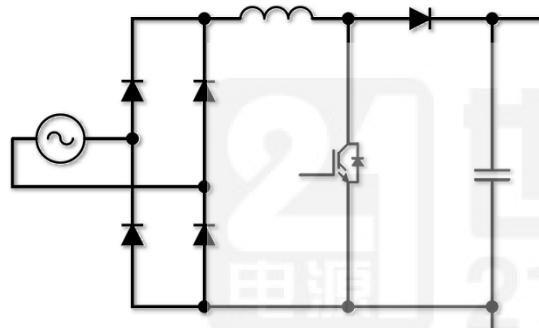
- 电流 = $1/N$
- 感量 < L (2~4Φ : 70%、50%、30%)



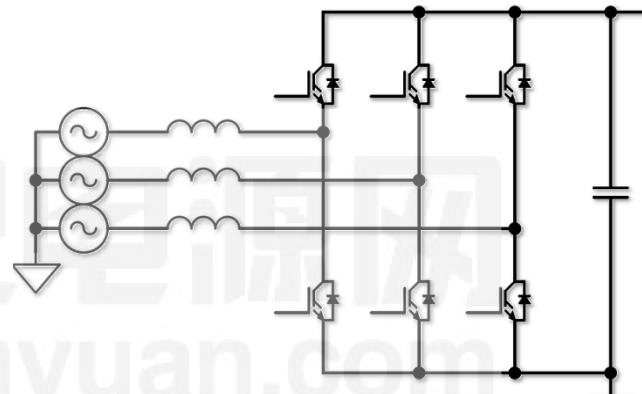
大功率开关电源与磁元件技术设计培训

PFC 电路技术特点

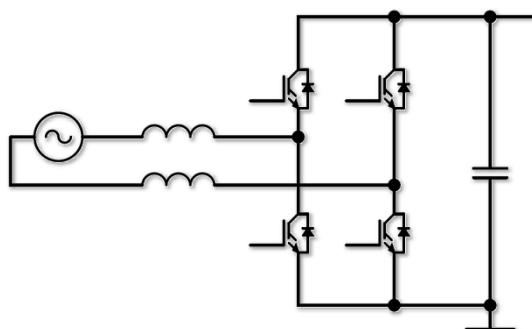
- 单相、三相无桥、三电平无桥PFC技术



单相全桥整流



三相无桥整流



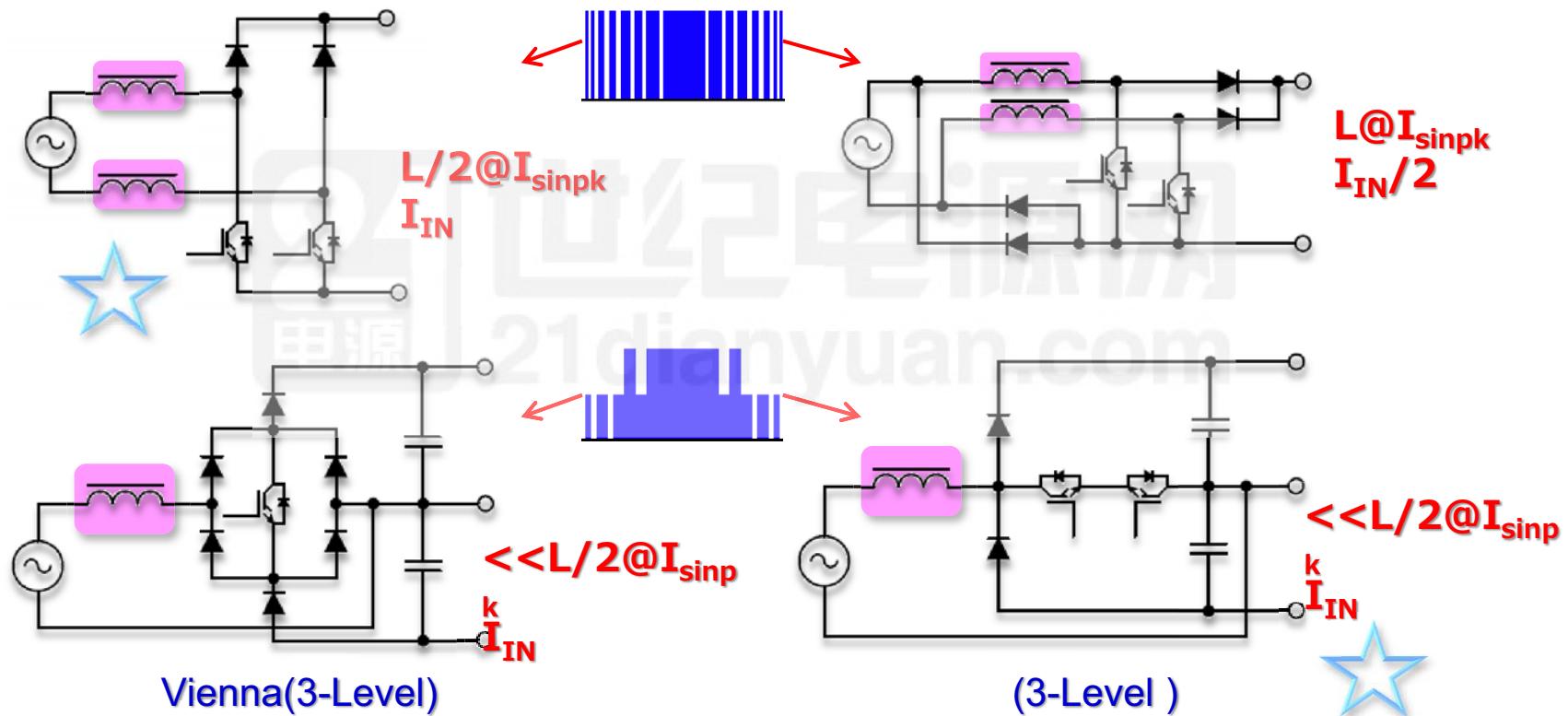
单相无桥整流

无桥PFC的本质目的：提高电源效率

- 高次谐波抑制 (IEC61000-3-2)
- 升压· 稳压

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

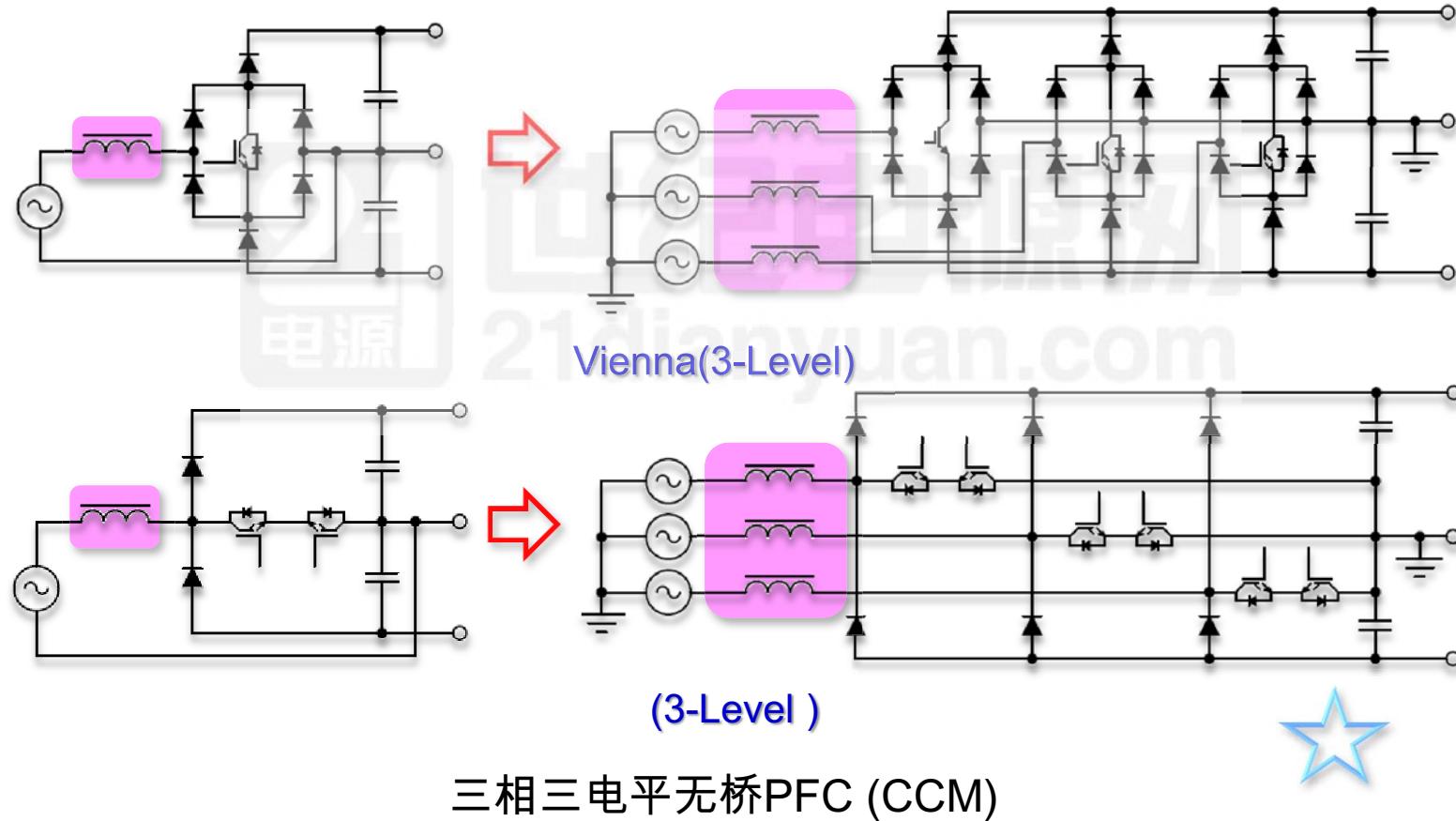
高次谐波控制方案：（单相）无桥CCM PFC方案



各种单相无桥PFC (CCM)

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

高次谐波控制方案：（单相→三相）无桥CCM PFC方案



第二讲：大功率开关电源的主流电路分析（DC/DC部分）

1：全桥 LLC 电路及其大功率化

- 全桥 LLC 电路的工作原理与特点
- 全桥 LLC 电路的交错并联

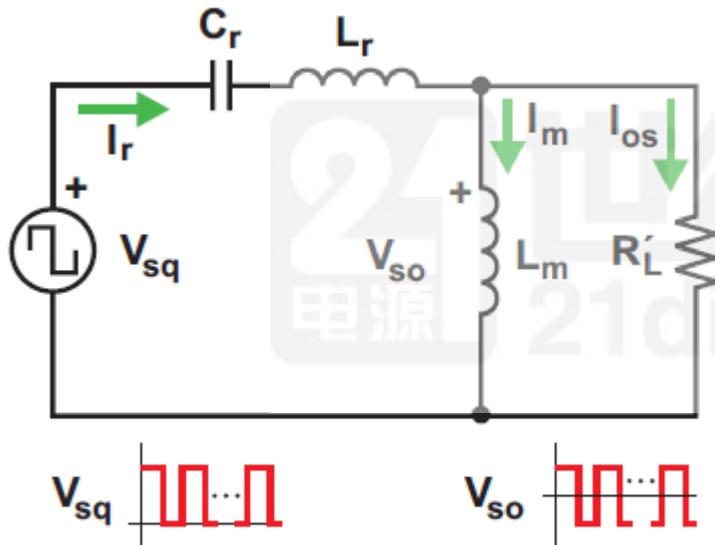
2：移相全桥 DC/DC 变换器及其大功率化

- FB-ZVS 电路的工作原理与特点
- FB-ZVS 电路的交错并联

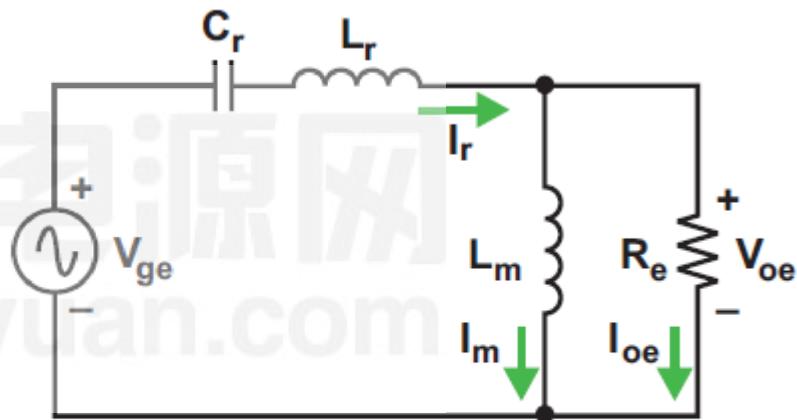
大功率开关电源与磁元件技术设计培训

全桥LLC电路及其大功率化

- 全桥LLC电路工作原理及其特点



a. Nonlinear nonsinusoidal circuit.

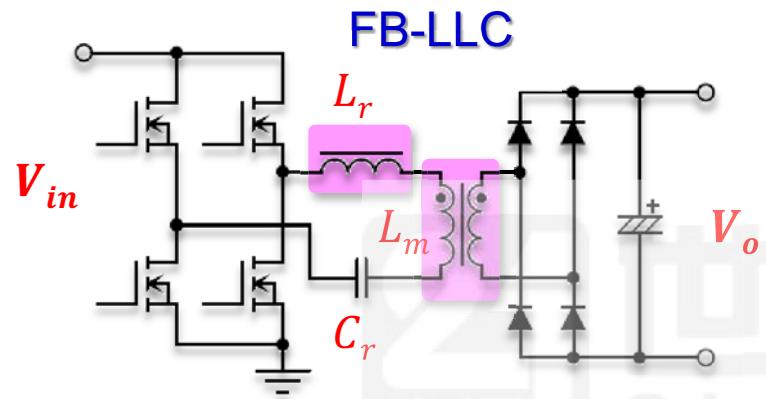


b. Linear sinusoidal circuit.

First Harmonic Approximation (FHA) method

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

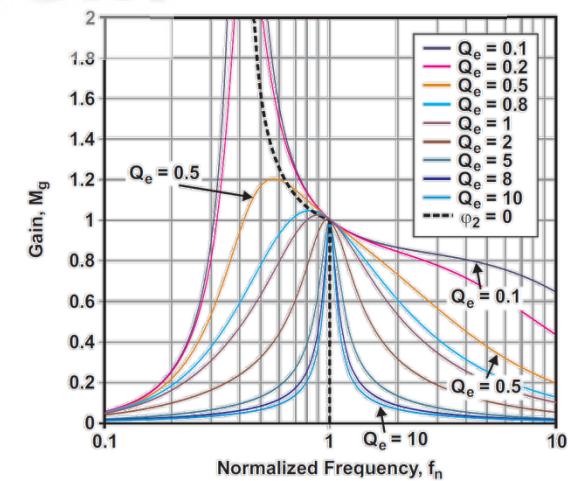
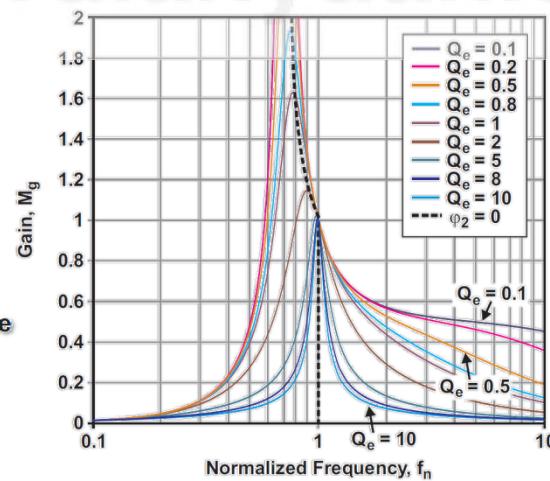
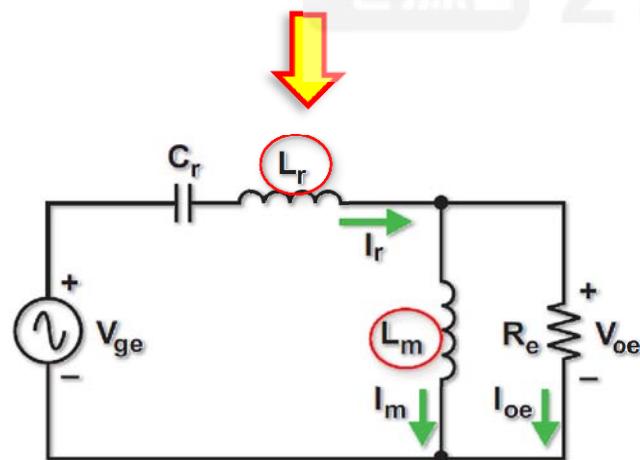
- 全桥LLC电路工作原理及其特点



$$M_g = \left| \frac{L_n \cdot f_n^2}{[(L_n + 1) \cdot f_n^2 - 1] + j[(f_n^2 - 1) \cdot fn \cdot Q_e \cdot L_n]} \right|$$

$$V_o = M_g \cdot \frac{1}{n} \cdot Vin = Mg(f_n, L_n, Q_e) \cdot \frac{1}{n} \cdot Vin$$

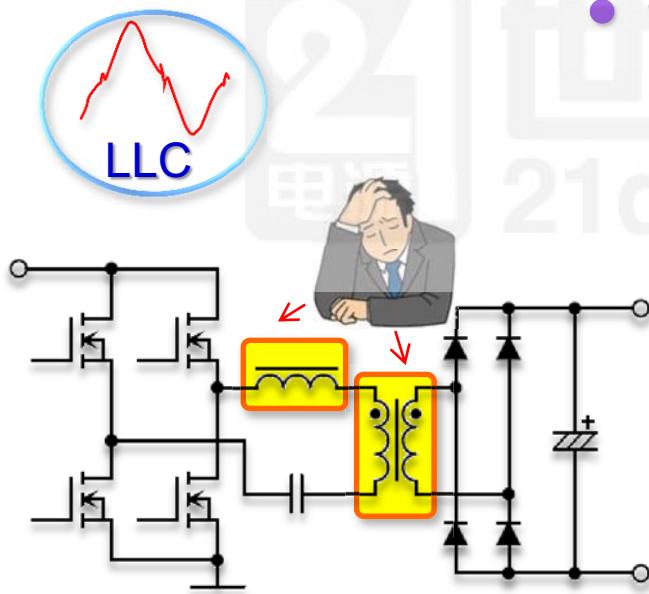
$$f_n = \frac{f_{sw}}{f_0} \quad L_n = \frac{L_m}{L_r} \quad Q_e = \frac{\sqrt{L_r/C_r}}{R_e}$$



大功率开关电源与磁元件技术设计培训

● 全桥LLC电路工作原理及其特点

谐振电感
电流波形
对电感设计的影响



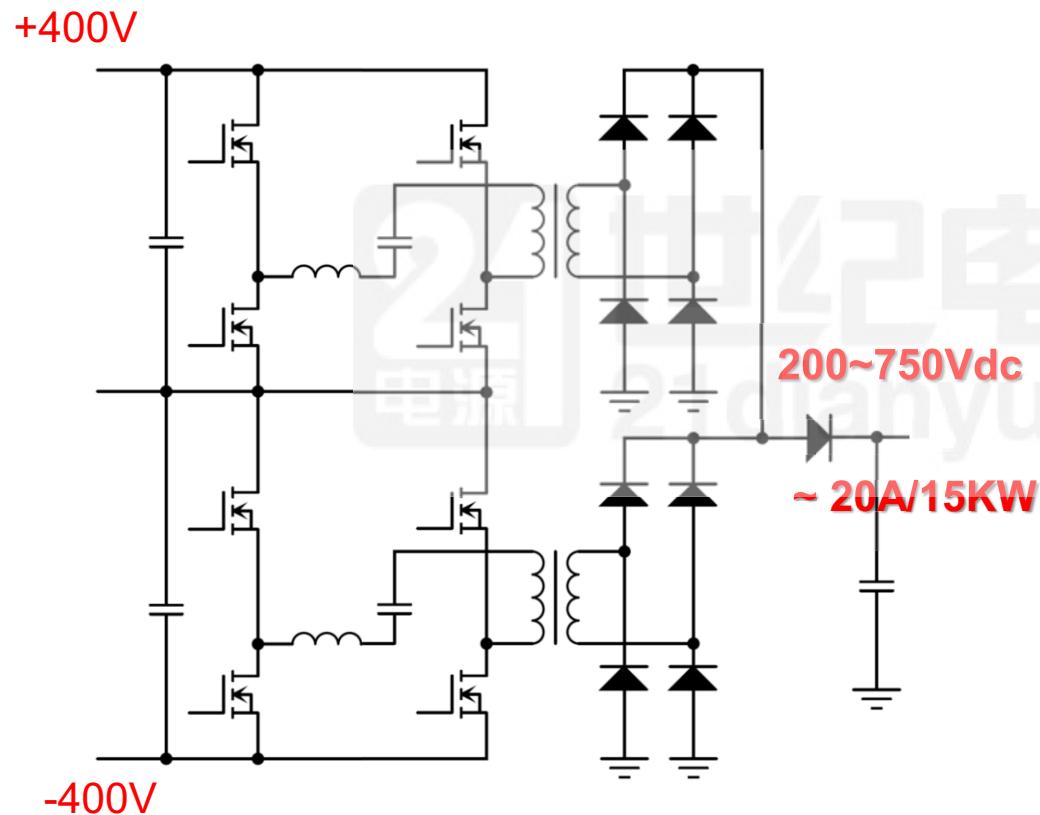
FB-LLC

- L_n 越大，效率越高，输出增益越小，不利于宽范围
- L_m, L_r, C_r 精确取值，用于设定增益，谐振频率箱
- 谐振电感1、3象限工作，高频峰值、有效值电流大

- 易高频化、高功率密度
- 更好的EMC兼容性
- 采用MOSFET
- 宽电压范围设计控制较复杂
- 铁氧体变压器
- 励磁感量要求不利变压器设计

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

- 全桥LLC电路交错并联实现大功率



大功率化的途径 90°交错并联技术

优点：

- 高频、高效率、良好EMC、副边电压电流开关应力小，特别适合高输出电压电源

缺点：

- 控制输出增益和电源效率的矛盾难以解决！
- 谐振电感、变压器励磁电感均需要严格精度控制，必须采用励磁线绕制，不利于高功率设计

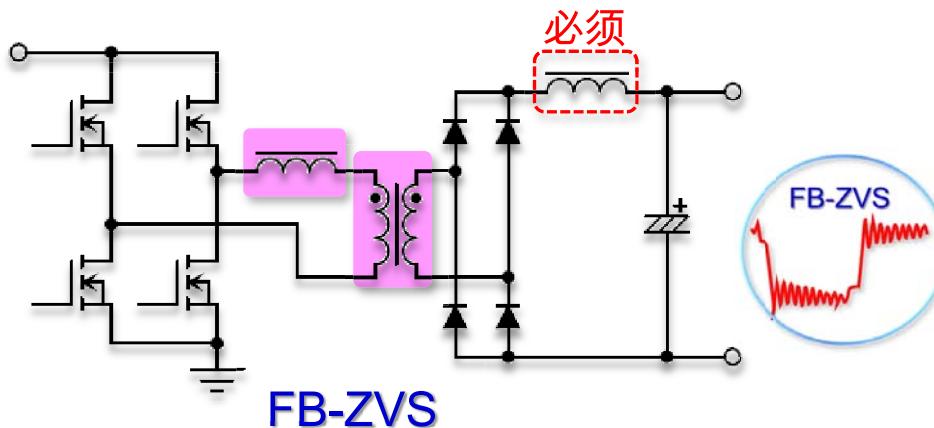
- 高频、高效率
- 高性价比
- 高功率密度
- 宽范围控制困难
- 难以实现更大容量

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

● 移相全桥的工作原理与特点

电路特征

- 主动臂、被动臂的区别
- ZVS的范围取决于被动臂Coss与谐振电感的能量
- 原边始终有两只MOS开通
- 2次侧二极管寄生电容的影响（损耗、EMI）
- 原边存在占空比丢失现象
- 副边实现功率的方波传输



优点：

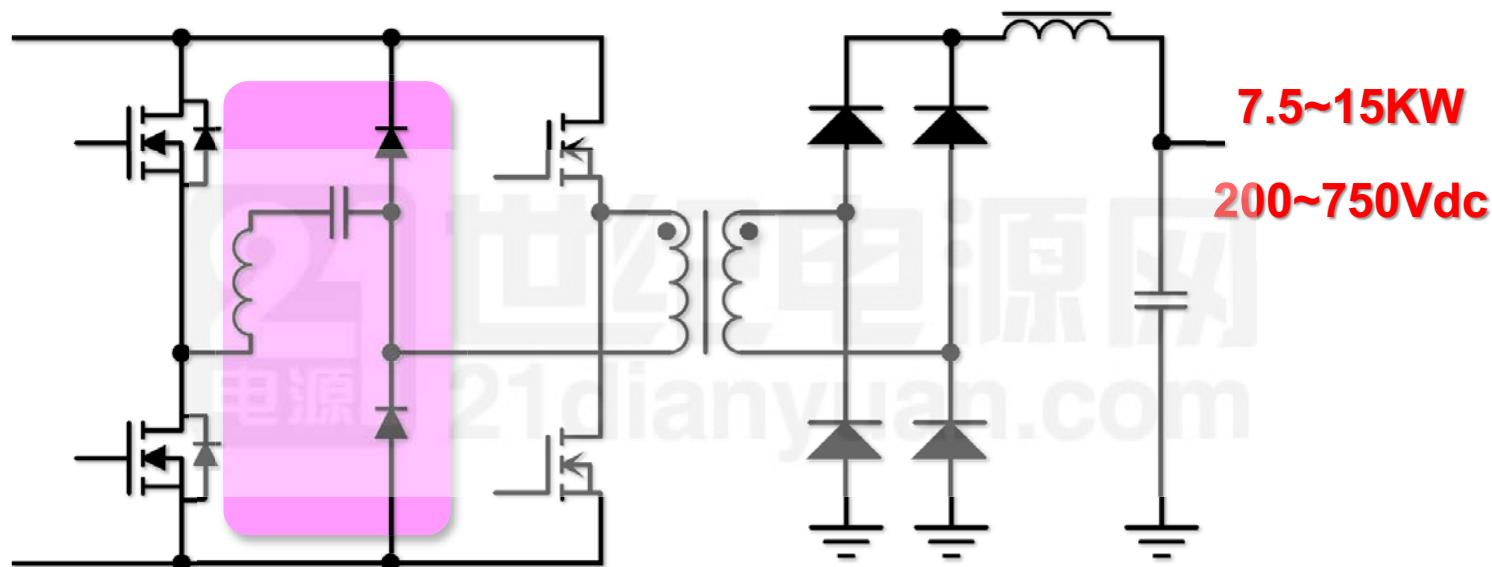
- 变压器漏感、谐振电感剩余能量被返回DC母线，效率高；
- 电压方波、电流梯形波功率传输，电压、电流赢利小
- 变压器不需要气隙，有利于磁元件功率密度的提升

缺点：

- 输出二极管寄生电容能量必须被消耗
- EMC效果较差、磁元件高频损耗高
- 不利于高电压输出的电源

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

- 改进型移相全桥

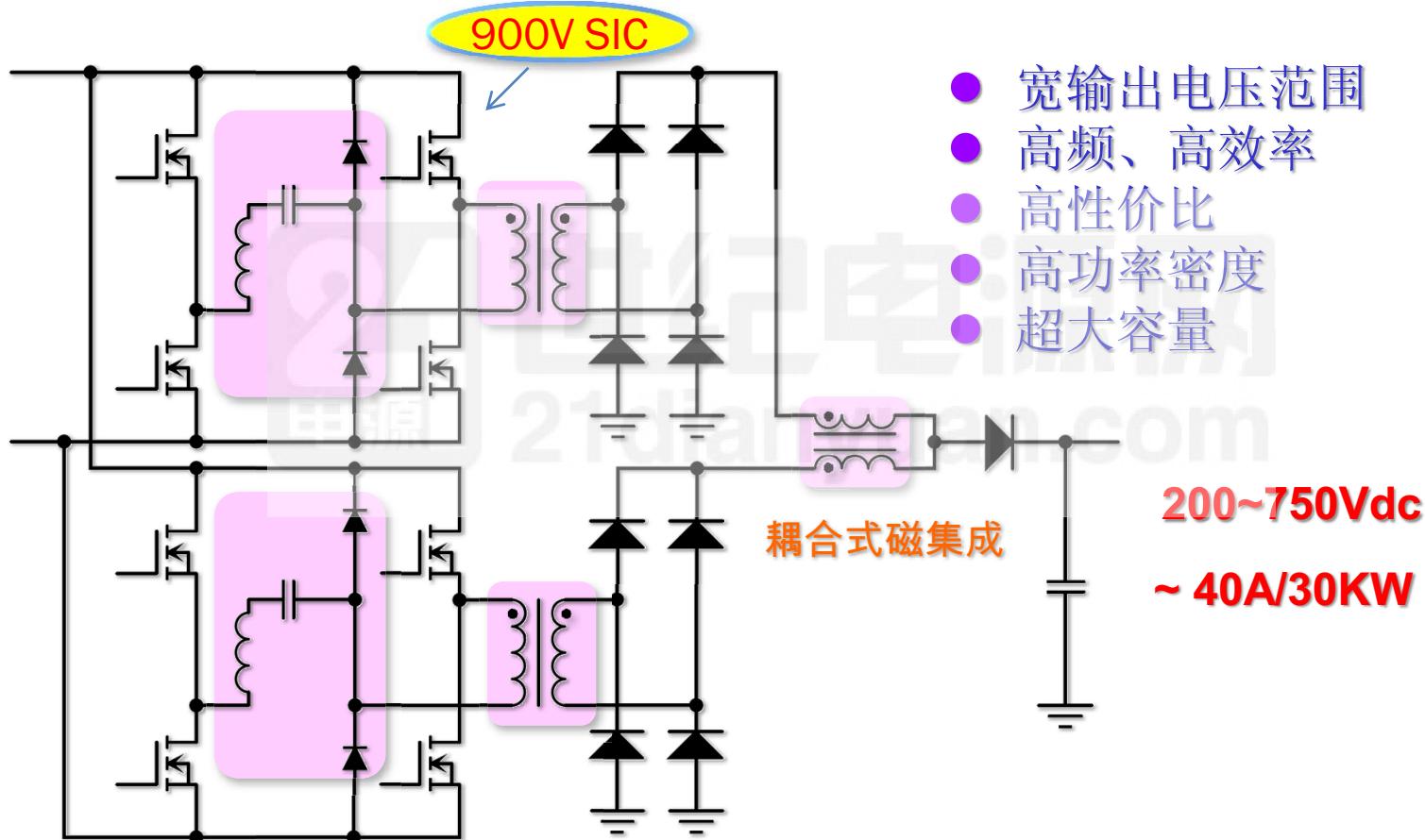


- 宽范围
- 大容量
- 高效率

适合于充电桩的移相全桥改进方案

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

- 移相全桥的交错并联---大功率的实现



适合于充电桩的SiC移相全桥高频 (100~200KHz) 方案

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

第三讲：大功率 AC/DC 电源的热点应用

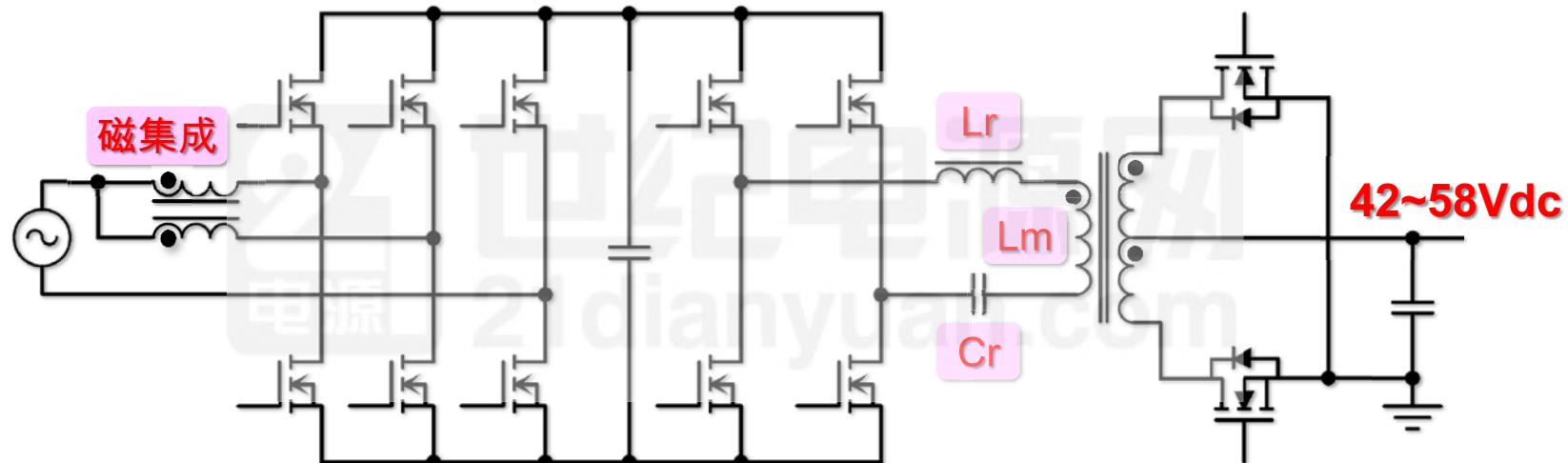
1 : 3KW 高功率密度服务器电源方案

2 : EV/HEV 车载充电桩及 DC/DC 电源

3 : 15KW 级高功率密度充电桩模块

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

● 3KW高功率密度服务器电源方案



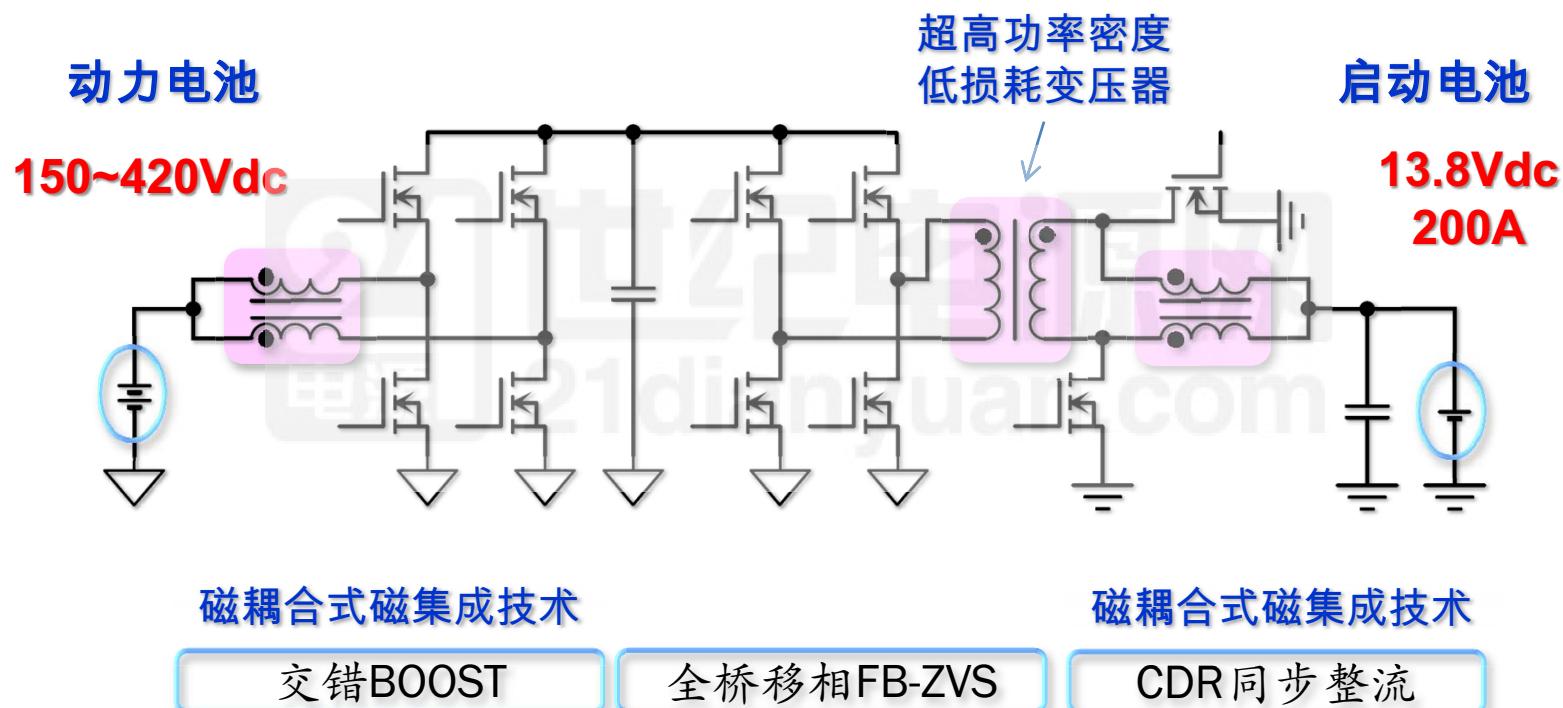
无桥交错并联PFC

全桥LLC

同步整流

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

● EV/HEV车载充DC/DC电源方案

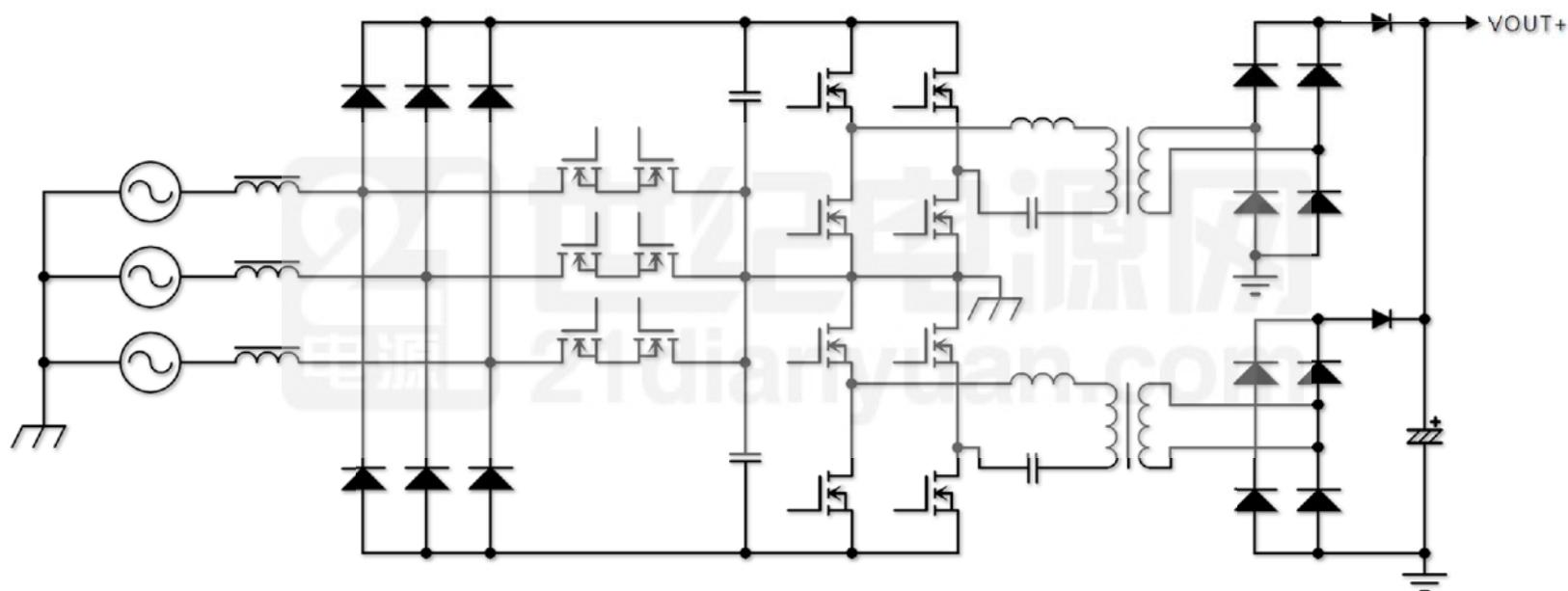


最新3KW级超高效率的混动车载DC/DC方案

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

- 15KW级充电桩电源模块方案

200~750Vdc
20A



三相Vienna+交错LLC充电桩方案

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

第四讲：磁元件设计的理论基础

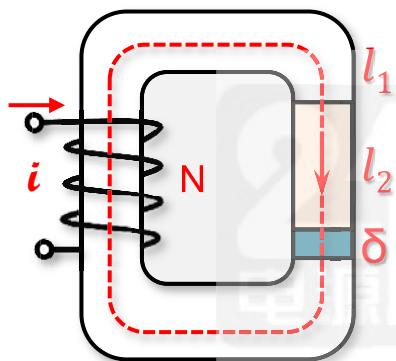
1：磁元件设计的基本理论

2：磁元件基本概念与实际应用

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

磁设计基本理论

◆ 磁路、磁通密度、磁感应强度、电感、变压器定义及基本模型

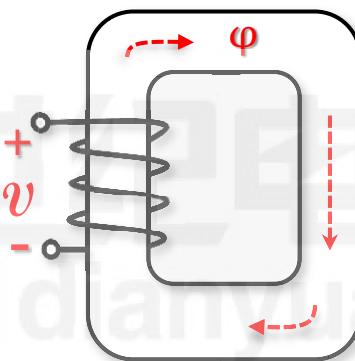


安倍环路定律

$$i \cdot N = H \cdot l_e = U_m$$

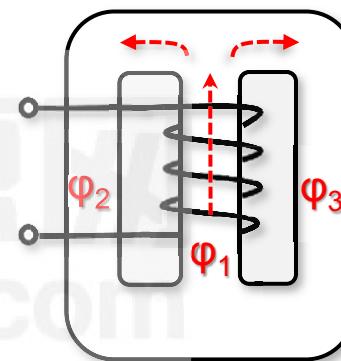


磁路欧姆定律



法拉第电磁感应定律

$$v = N \cdot \frac{d\varphi}{dt} = N \cdot A_e \cdot \frac{dB}{dt}$$



磁通连续性定律

$$\Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_3$$

定义	$\Phi = B \cdot A_e$	$B = \mu \cdot H = \mu_0 \mu_r H$
----	----------------------	-----------------------------------

$$U_m = H \cdot l_e = \frac{B}{\mu_0 \mu_r} \cdot l_e = \varphi \cdot \frac{l_e}{\mu_0 \mu_r A_e} \quad \leftarrow \text{磁阻 } \mathcal{R}$$

$$Ni = \sum_{k=1}^3 H_k l_k = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_\delta \delta = \Phi_1 R_{m1} + \Phi_2 R_{m2} + \Phi_\delta R_{m\delta}$$

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

磁设计基本理论

◆ 磁路、磁通密度、磁感应强度、电感、变压器定义及基本模型

安倍环路定律

$$U_m = i \cdot N$$

磁路欧姆定律

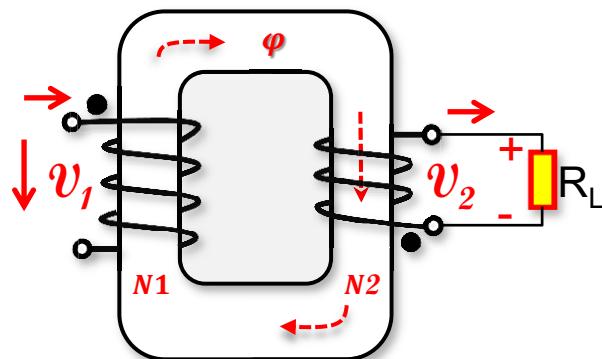
磁阻

$$U_m = \varphi \cdot \frac{l_e}{\mu_0 \mu_r A_e} = \varphi \cdot \mathcal{R}$$

电感定义

$$L = \frac{N\varphi}{i} = N^2 \cdot 1/\mathcal{R} = N^2 \cdot \frac{\mu_0 \mu_r A_e}{l_e}$$

AL



理想变压器

$$v1 = N1 \cdot \frac{d\varphi}{dt} \quad v2 = N2 \cdot \frac{d\varphi}{dt} \quad \Rightarrow \quad \frac{v1}{v2} = \frac{N1}{N2}$$

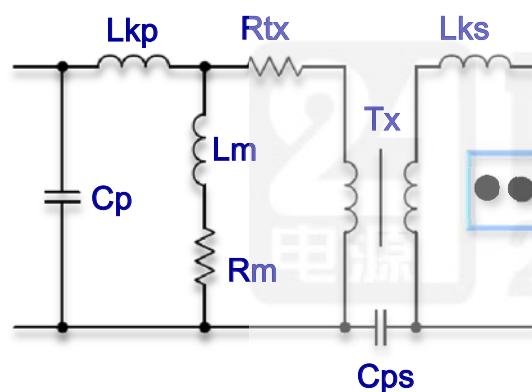
$$N1 \cdot i1 + N2 \cdot i2 = \varphi \cdot \mathcal{R} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{i1}{i2} = -\frac{N2}{N1}$$

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

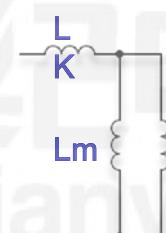
磁设计基本理论

◆ 磁路、磁通密度、磁感应强度、变压器定义及基本模型

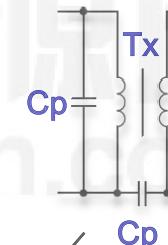
变压器模型例



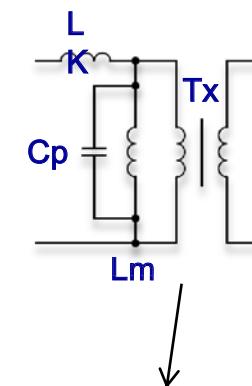
电气设计简化模型



EMI分析简化

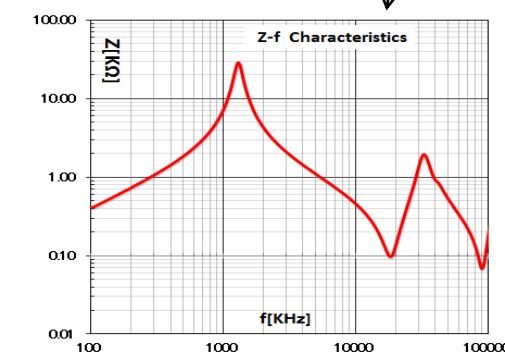
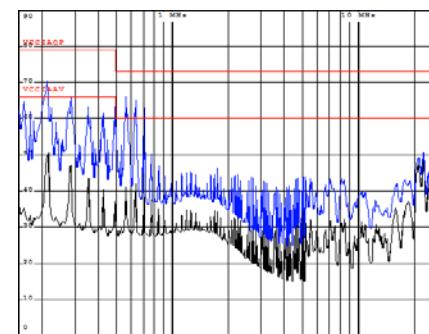


阻抗频谱分析



$$L = \frac{\mu_e \cdot \mu_0 \cdot N^2}{\sum \frac{1}{A}}$$

$$A_L = \frac{L}{N^2} = \frac{\mu_e \cdot \mu_0}{\sum \frac{1}{A}}$$

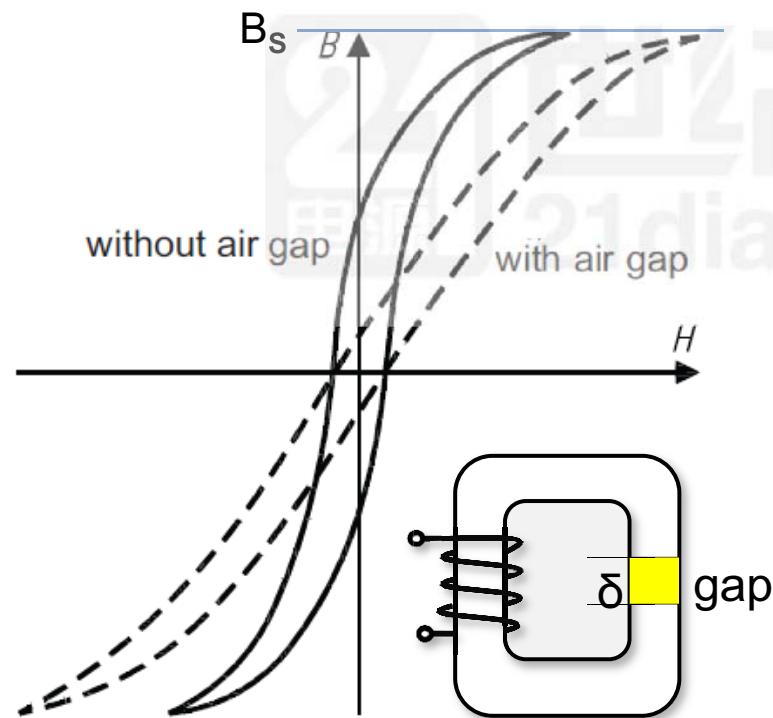


大功率开关电源与磁元件技术设计培训

磁设计基本理论

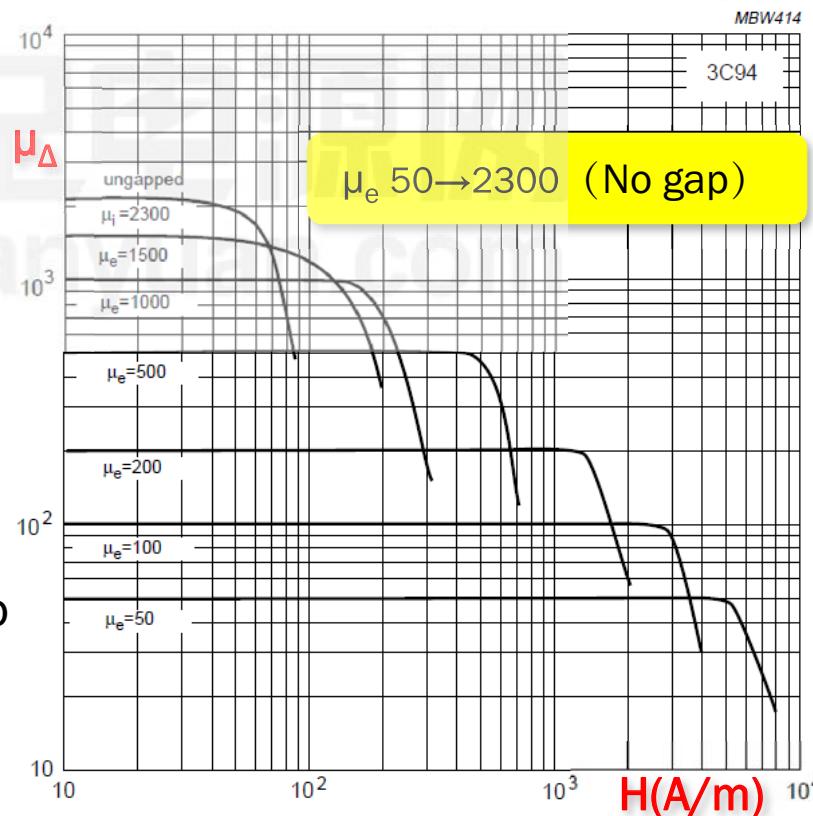
◆ 磁元件的基本概念

【磁芯】BH特性、磁饱和、磁损耗、气隙、磁耦合和漏磁



$$L = N^2 \cdot \frac{\mu_0 \mu_r A_e}{l_e} = \mathcal{N} A_e \cdot \frac{\mu_0 \mu_r \cdot N}{l_e}$$

$$H = \frac{NI}{l_e}$$

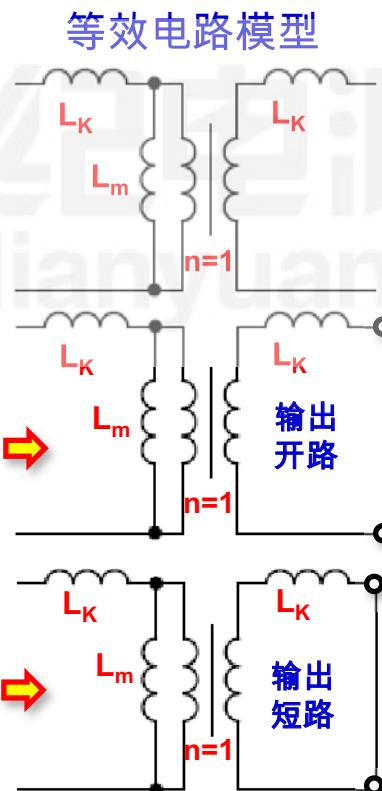
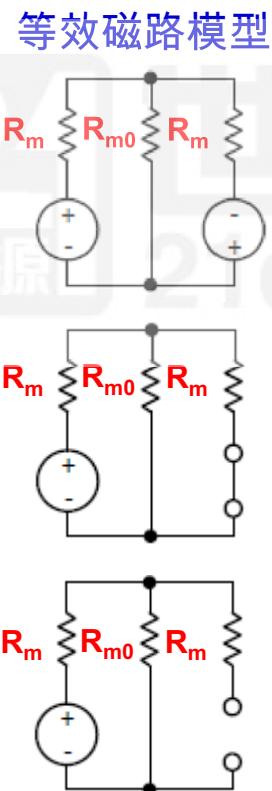
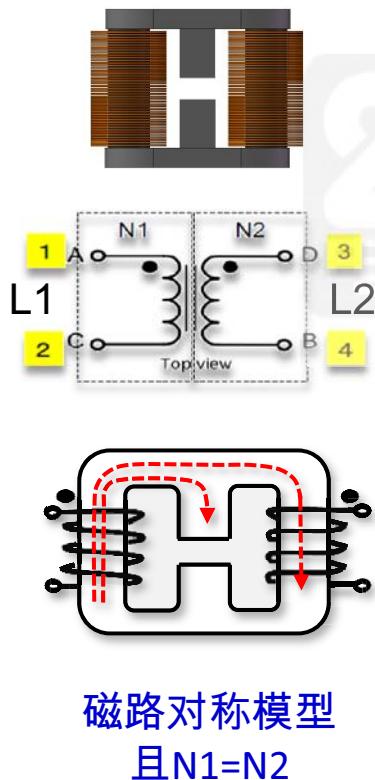


大功率开关电源与磁元件技术设计培训

磁设计基本理论

◆ 磁元件的基本概念

【磁芯】BH特性、磁饱和、磁损耗、气隙、磁耦合和漏磁



耦合系数

$$k = \frac{L_m}{L_m + L_K} = \frac{R_{m0}}{R_m + R_{m0}}$$



$$\frac{N^2}{R_m + \frac{R_{m0} \cdot R_m}{R_{m0} + R_m}} = L_K + L_m = L_1$$

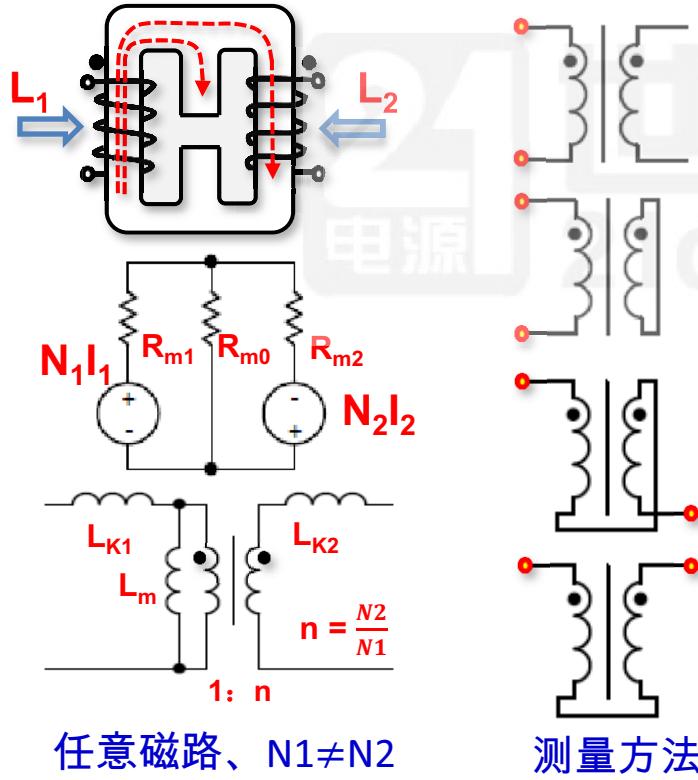
$$\frac{N^2}{R_m + R_{m0}} = L_K + L_m // L_K$$

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

磁设计基本理论

◆ 磁元件的基本概念

【磁芯】BH特性、磁饱和、磁损耗、气隙、磁耦合和漏磁



$$L_1 = L_{K1} + L_m$$

$$L_2 = L_{K2} + n^2 L_m$$

$$L_{s1} = L_{K1} + L_m // \left(\frac{L_{K2}}{n^2} \right)$$

$$L_{s2} = L_{K2} + \left(L_{K1} // L_m \right) \cdot n^2$$

$$L_F = L_1 + L_2 + (1 + n^2) L_m$$

$$L_R = L_1 + L_2 - (1 + n^2) L_m$$

耦合系数

$$k_1 = \frac{L_m}{L_1}$$

$$k_2 = \frac{n^2 \cdot L_m}{L_2}$$

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

磁设计基本理论

◆ 磁元件的基本概念

【线圈】

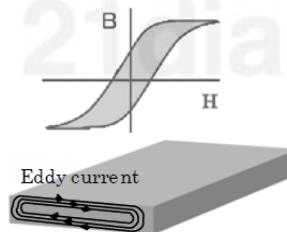
直流损耗、趋附效应、临近效应、涡流损耗、阻抗特性、寄生电容、耦合系数

① P_{core}

磁滞损耗

涡流损耗

残留损耗



$$P_V(f) \sim f^{(1+x)} \quad 0 \leq x \leq 1$$

$$P_V(B) \sim B^{(2+y)} \quad 0 \leq y \leq 1$$

② P_{coil}

LF: 直流损耗、

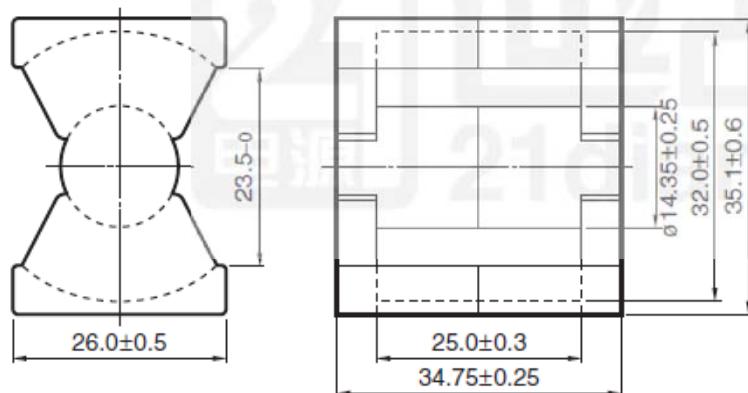
HF: 涡流损耗、趋肤效应、临近效应

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

磁设计基本理论

◆ 磁元件的基本概念

【元件】温升、热阻

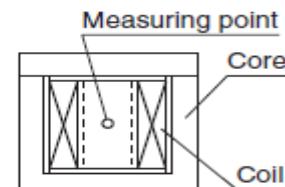


温度上升 vs. 总损耗特性 (Typ.)



测定条件

- 室内空间：大体 400x300x 300cm
- 环境温度：25°C
- 湿度：45(%)RH.



大功率开关电源与磁元件技术设计培训

第五讲：大功率磁元件主要电气性能指标

1 : 共模电感线圈

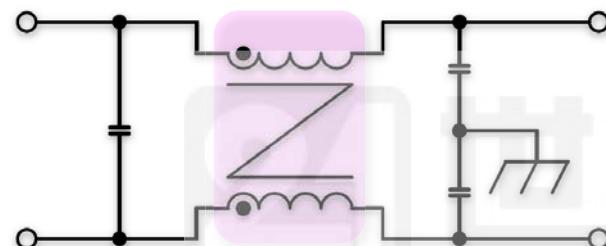
2 : PFC 电感、滤波电感、谐振电感

3 : 大功率高频变压器

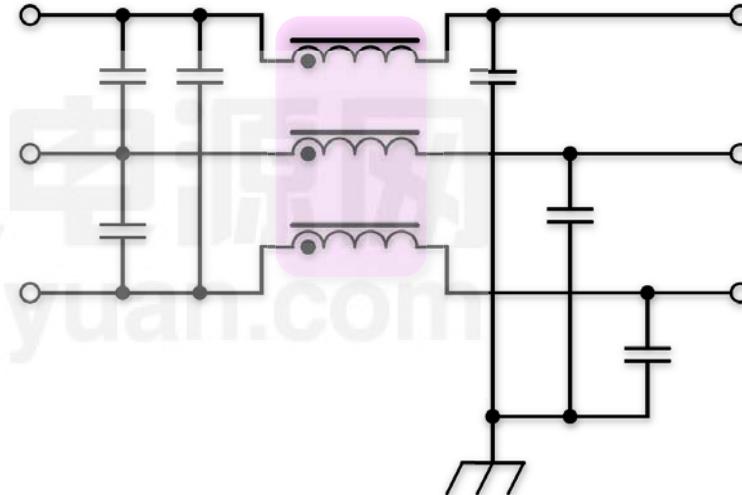
大功率开关电源与磁元件技术设计培训

PFC 电路EMI滤波器、PFC 电感的电气性能指标

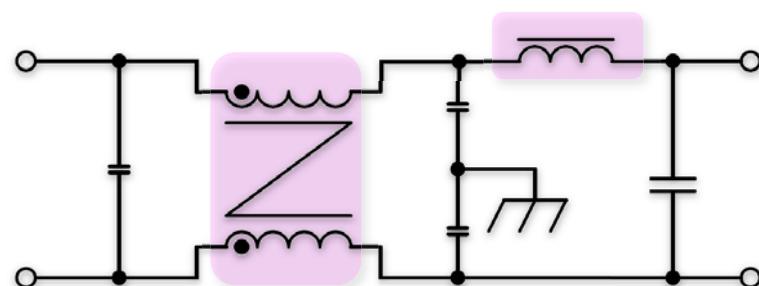
- PFC 电路EMI 滤波器技术



单相共模滤波



三相共模滤波



单相共模+差模滤波

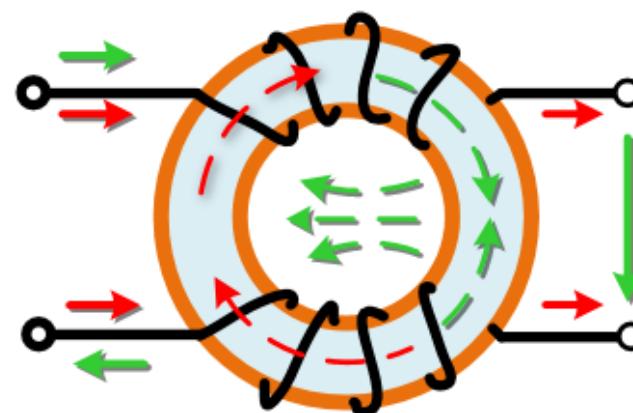
大功率开关电源与磁元件技术设计培训

PFC 电路EMI滤波器、PFC 电感的电气性能指标

● PFC 电路EMI滤波器技术

- ◆ 阻抗特性 $Z-f$ @150KHz~30MHz, ~100MHz
- ◆ 电感特性 $L-f$ @1KHz, 100KHz~1MHz
- ◆ 最低谐振频率 f_{SRF} ≥1MHz or Higher
- ◆ 饱和共模电流 I_{Sat} Higher is Best
- ◆ 差模电感 L_{NOR} Higher is Best
- ◆ 总体损耗 P_{Loss} $P_{coil(LF)} + P_{core(HF)}$

→ 差模电流
→ 共模电流
→ 差模磁通
→ 共模磁通

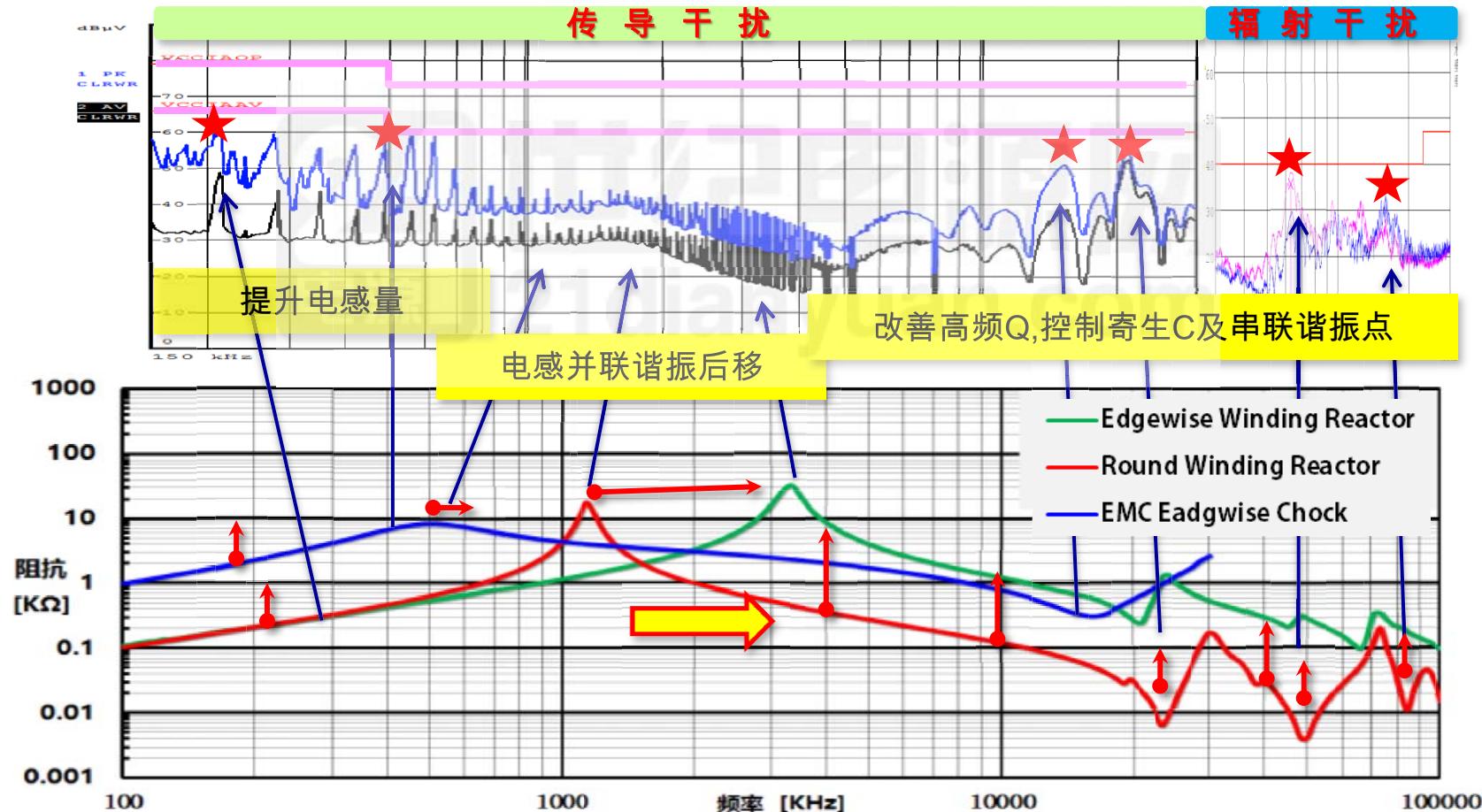


大功率开关电源与磁元件技术设计培训

PFC 电路 EMI 滤波器、PFC 电感的电气性能指标

● PFC 电路 EMI 滤波器技术

电感阻抗特性与 EMC 兼容性



大功率开关电源与磁元件技术设计培训

PFC 电路EMI滤波器、PFC 电感的电气性能指标

● PFC 电感的电气性能指标

- ◆ 电感电流特性 L-I
- ◆ 电感阻抗特性 Z-f
- ◆ 最低谐振频率 f_{SRF}
- ◆ DCR & Q
- ◆ 总体损耗 P_{Loss}

L-I @0A, I_{rating}, I_{sat}

@100KHz~30MHz

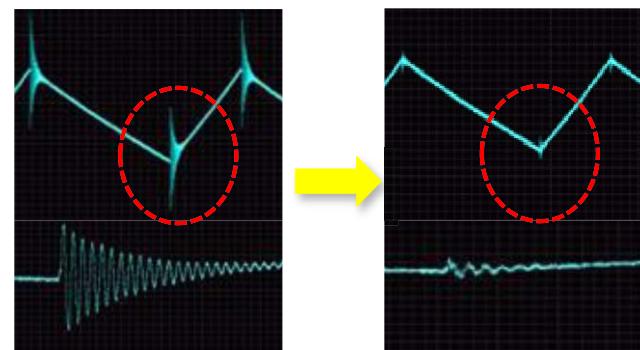
$\geq 1MHz$ or Higher

$P_{coil} + P_{core}$

纹波控制

EMC控制

损耗设计



EMC性能

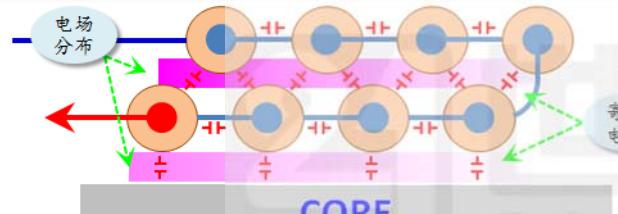


大功率开关电源与磁元件技术设计培训

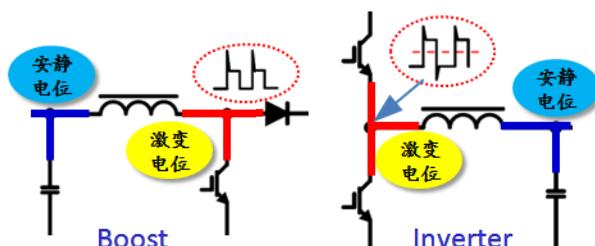
PFC 电路EMI滤波器、PFC 电感的电气性能指标

● PFC 电感的电气性能指标

电感的EMC电磁兼容问题（机理）

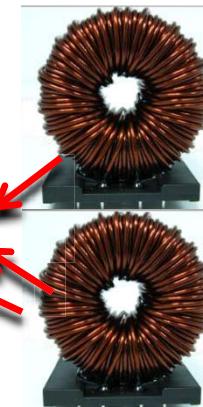
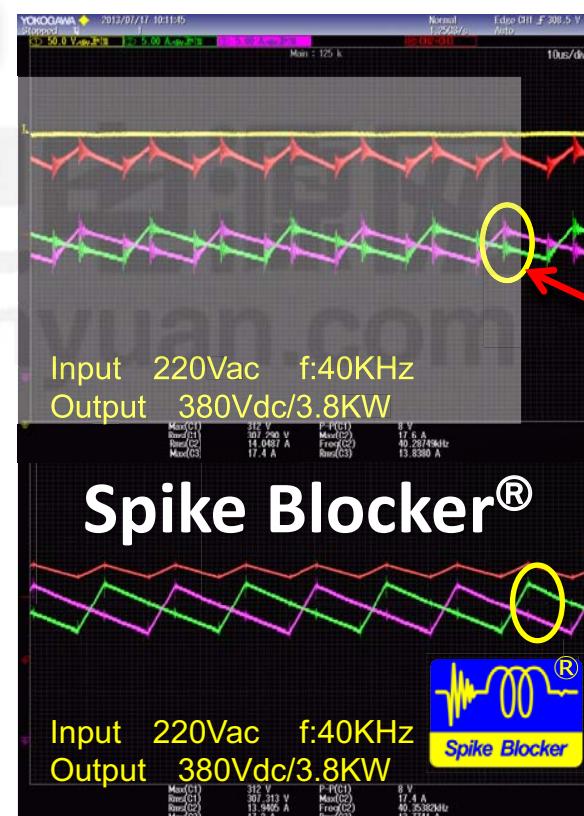


绕线间存在大量复杂的分布电容和漏感



电感两端始终存在高dV/dt对电容高频充放电

电感的复杂的LCR网络产生1MHz以上频谱丰富的高频振荡电流能量，电感成为**大能量EMI干扰源**！



大功率开关电源与磁元件技术设计培训

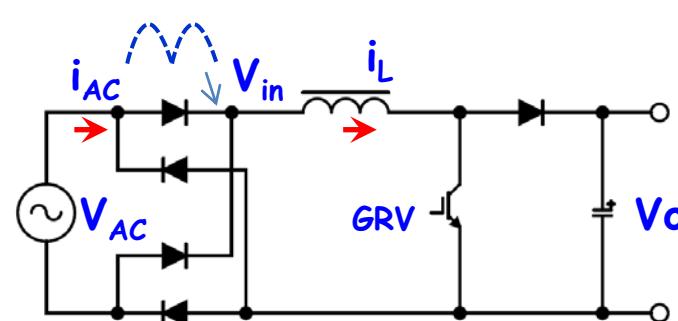
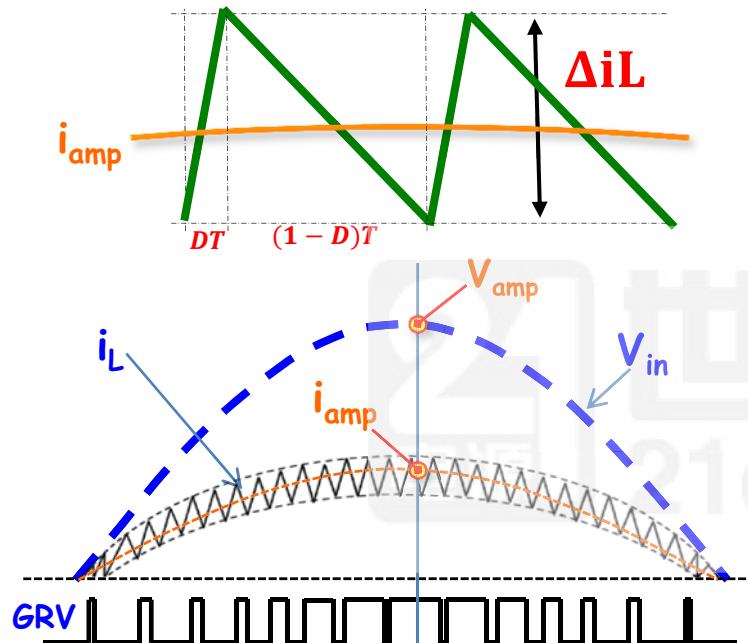
第六讲：大功率磁元件设计计算实例

1 : CCM 交错并联 PFC 电感的计算

2 : 谐振电感的设计计算实例

3 : 高功率密度主变压器的设计实例

- CCM模式PFC电感的设计计算



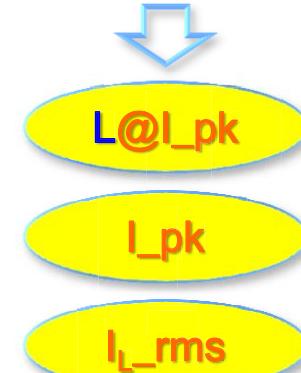
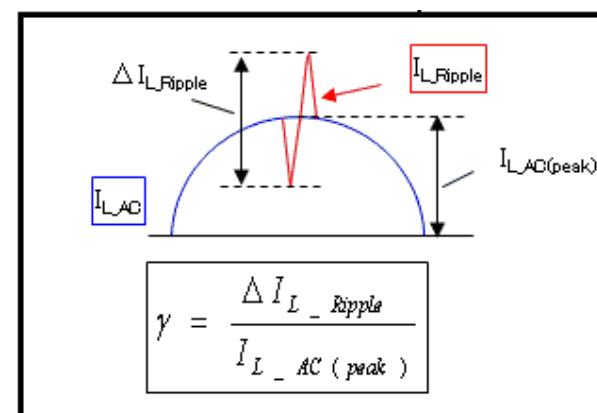
$$i_{amp} = \frac{\sqrt{2}}{V_{AC}} \cdot \frac{P_o}{\eta \cdot PF} \quad V_{amp} = \sqrt{2} \cdot V_{AC}$$

$$V_{amp} \cdot D = (V_o - V_{amp}) \cdot (1 - D) \rightarrow D$$

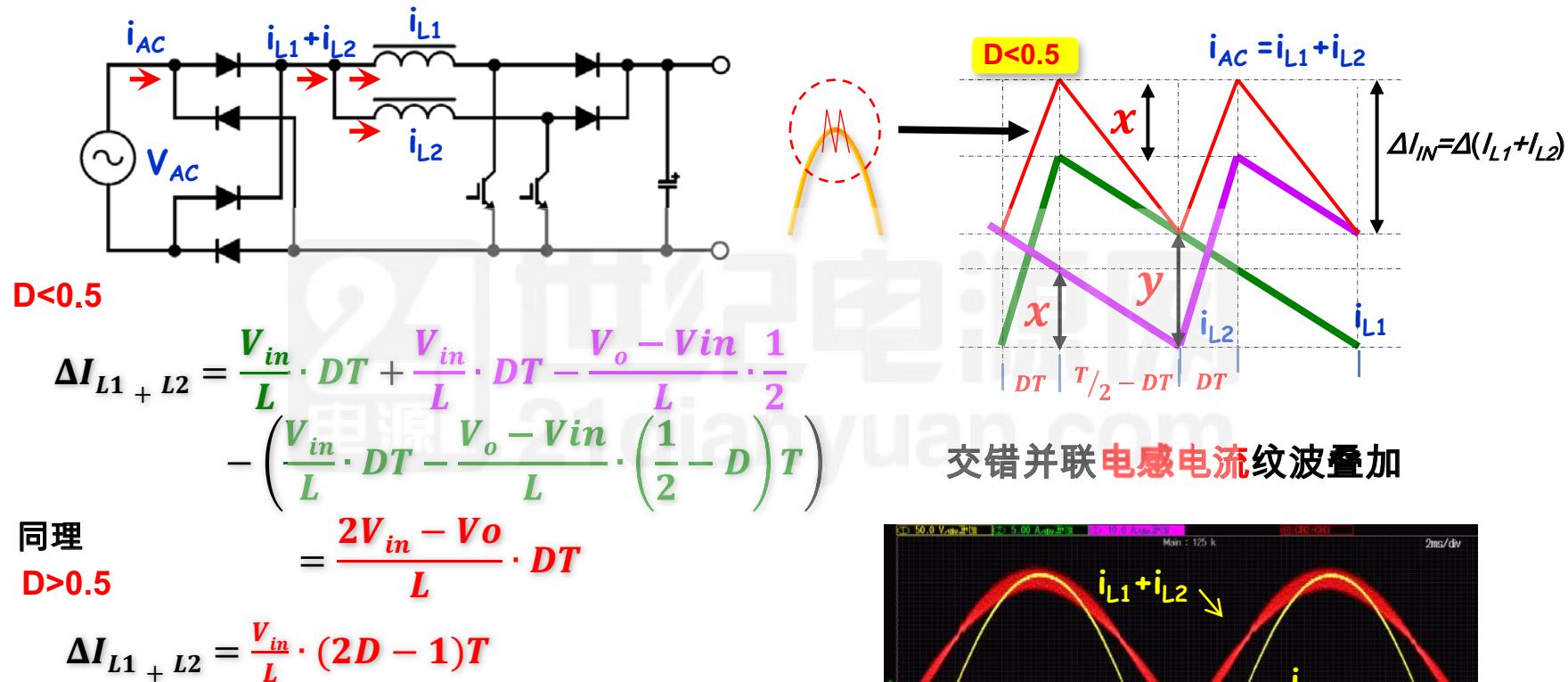
$$\Delta i_L = \frac{V_{amp}}{L} \cdot DT \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \rightarrow L, \Delta iL$$

$$\gamma = \frac{\Delta iL}{i_{amp}} \quad (\text{EMC}) \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\}$$

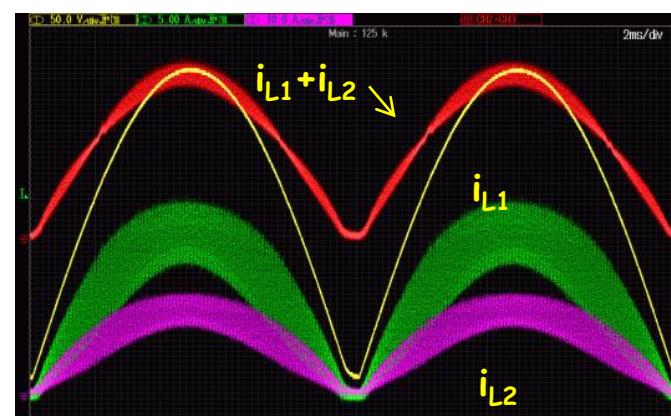
$$i_{L_rms} = \sqrt{i_{amp}^2 + \frac{\Delta iL^2}{12}} \quad \rightarrow i_{Lpk}, DCR, PDCK$$



- CCM Interleave PFC电感的设计计算



其中 V_{in} 交流输入工频峰值电压、
 Vo PFC直流输出电压
 L 单个PFC电感感量



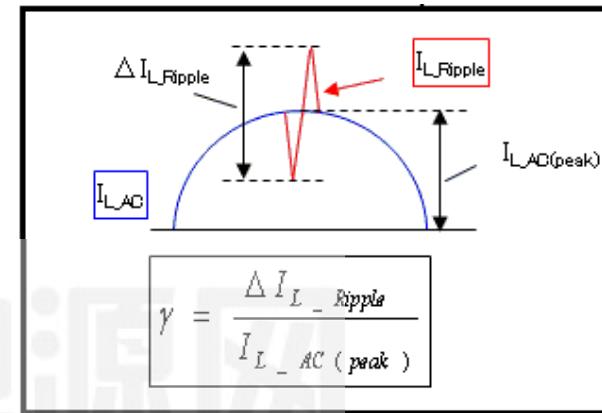
交错式PFC电感值计算 (2.8KW PFC实例)

- 传导EMI低频段影响
- 滤波电容高频耐力
- 主电路开关应力损耗

例： $\gamma \leq 15\%$

Vinac-nom	Vbus-nom	fsw1
220 Vac	418 Vdc	110KHz
Vo-nom	Io-nom	η
54.5 V	50.0 A	97%

180uH @11A
6.5A.rms



CCM Interleave PFC Tools

Description	Variable Names	Vin min.	Vin nom	Vin max
Input rms Voltage	V_in_rms	176 V	200 V	220 V
Output Voltage	V_OUT	418 V	418 V	418 V
Output max Power	Pout(max)	2725 W	2725 W	2725 W
PFC Efficiency	η	95.4%	96.1%	97.0%
Reactor Induct	L1,L2(assume)	180 uH	180 uH	180 uH
Fixed Frequency	Frequency	110 KHz	110 KHz	110 KHz
Input Sine PK Current	I_in_ac_pk	23.0 A	20.0 A	18.1 A
Duty at Sine PK	Duty_sin_pk	40.5%	32.3%	25.6%
Max Current at sine PK of L1	I_max(L1,L2)_sin_pk	14.0 A	12.3 A	11.0 A
RMS current of each reactor	Irms(L1,L2)	8.2 A	7.2 A	6.5 A
Input current ripple (I_L1+I_L2)	ΔI(in)_pk	1.63	2.41	2.64
Boost Inductor Ripple/AC Current(pk-pk)	γ	7.1%	12.0%	14.6%

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

FB-ZVS谐振电感设计计算

谐振电感电感量确定

MOS Coss能量

续流能量损失

轻载条件(例20%负载)

} 谐振感量L



IPW60R099C7

600V CoolMOS™ C7 Power Transistor

E_{oss}@400V 4.95 μJ



续流时原边电流I_{P_F.W}

$$I_{P_F.W} = I_{P2} - \Delta I_m = 11.25A$$

$$P_{mos} = E_{oss} \cdot f_{sw} \cdot \left(\frac{V_{bus\ nom}}{400}\right)^2 \cdot 2 = 1.2 W$$



20%负载时谐振电感能量

$$P_{L_resonant} = \frac{1}{2} \cdot L_{resonant} \cdot I_{P_F.W}^2 \cdot f_{sw} = 0.84 W \quad (@ 3\mu H)$$

MOS Coss电容器残留能量< $\frac{1}{3}$, 相当于Vds剩余20%的电压, 由此断定: 3μH 足够

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

FB-ZVS谐振电感设计计算

谐振电感电感设计 3uH , 7Arms , 35Ap-p 150%过载

$$N = \left(\frac{23708 \cdot L_{resonant}}{I_{P2} \cdot 150\%} \right)^{-1.0232} \frac{1}{1 - 2 \cdot 1.0232} = 9.6T \rightarrow 10T$$

$$P_{loss} = P_{CORE} + P_{COIL} = 0.09 + 0.22 = 0.31W$$

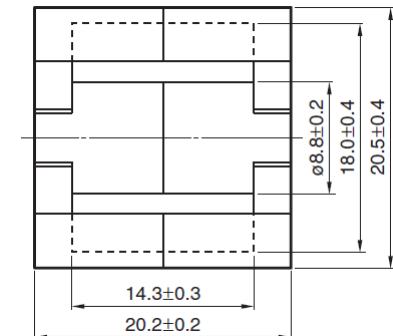
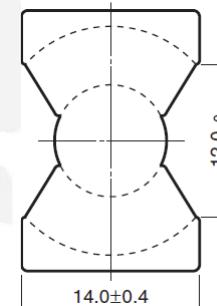
$$\Delta T = 11K$$

Ae	Ve	Acw	Rt	Ires.P-P	fsw	IP-rms
62	2790	65.8	35 K/W	23.2A	110 KHz	7 A
L _{resonant}	I _{pp_max}	N	real N	AL	gap	ΔB/2
3 uH	35 A	9.6 T	10 T	30 nH/N2	5.5 mm	0.056 T
real Acw/T	Cu-Ae	Length/T	DCR	Pcoil	Pcv	Pcore
4.61 mm ²	2.30 mm ²	45.6 mm	4.5 mΩ	0.22 W	33 KW/m ³	0.09 W
				ΔT	11 K	

PC95PQ20/20Z-12

$$NI20\% = 23708 \times AL - 1.0232$$

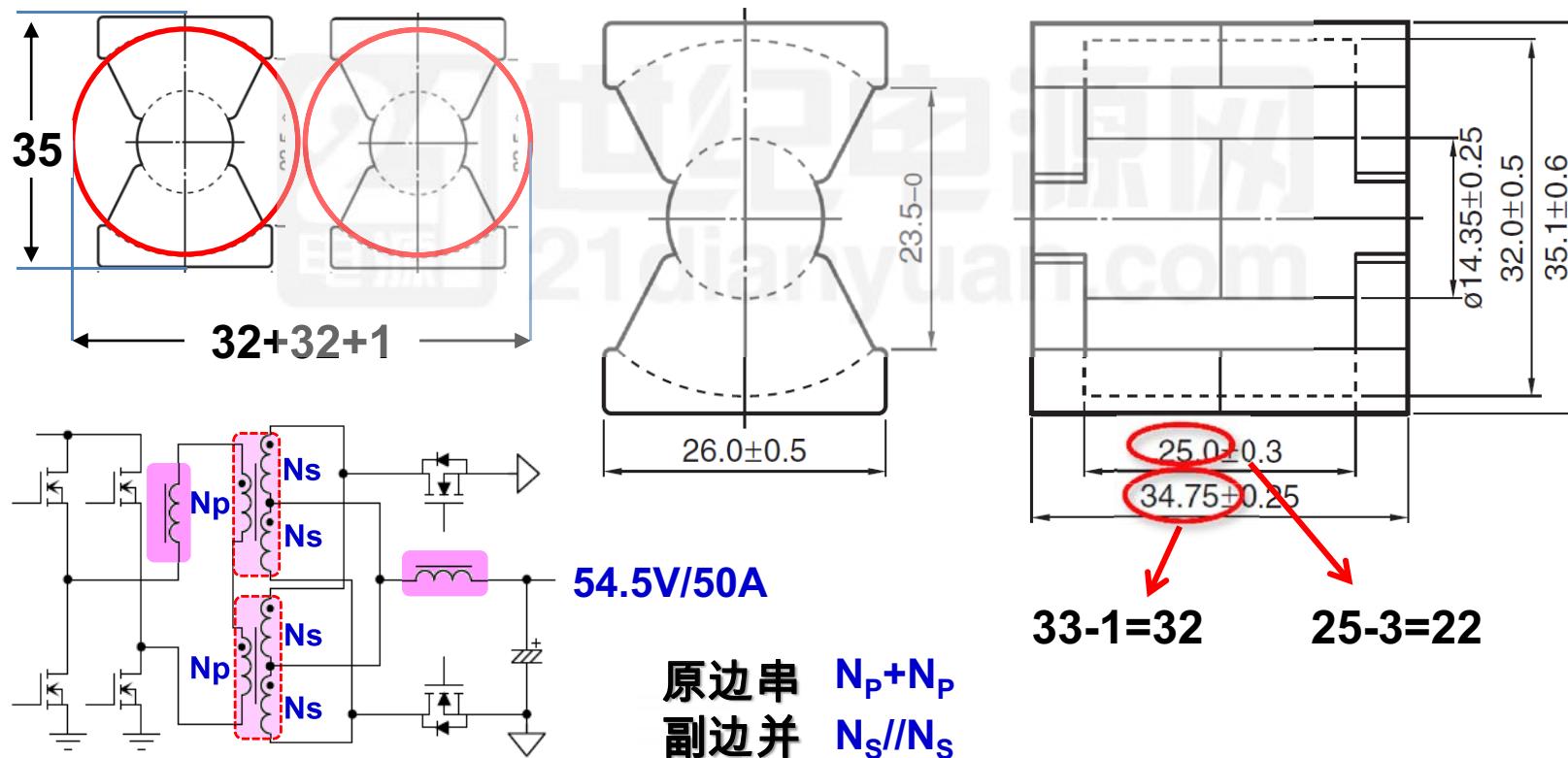
$$AL = 103.22 \times lg - 0.7272$$



大功率开关电源与磁元件技术设计培训

主变压器设计计算 (3KW AC/DC 电源)

电源尺寸要求： 1U , 变压器空间要求 : 65mm*36m*33m

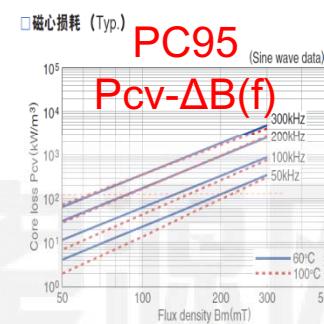


大功率开关电源与磁元件技术设计培训

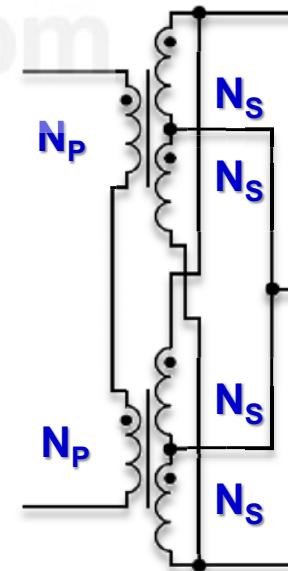
主变压器设计计算 (3KW AC/DC 电源)

$$n = 2Np:Ns = \frac{V_{bus_min} \cdot D_{max}}{V_{o_max} + V_d} = 5.11$$

$$Np = \frac{\frac{V_{in_min}}{2} \cdot T_{on_max}}{\Delta B \cdot A_e} = 13.91$$

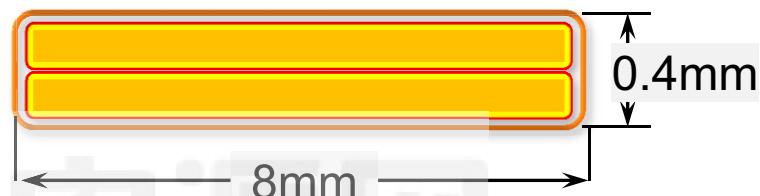


PC95-PQ3532 (35)			Winding Window	
Ve	Ae	AL	Width	Height
17300	196	7320	10.4	22
Rt	Tmax	Ta-max	Δ T →	Pmax-PQ35
15K/W	110°C	55°C	55K	3.67W
→ Pcore	→ Pcv	→ ΔB	→ Np	
50%	1.83W	106 KW/m³	0.248T	13.91
real Np	← Np ←	Ns ←		n ↓
15 T	15.3	6 T	← 5.4	5.1



大功率开关电源与磁元件技术设计培训

主变压器设计计算 (3KW AC/DC 电源)

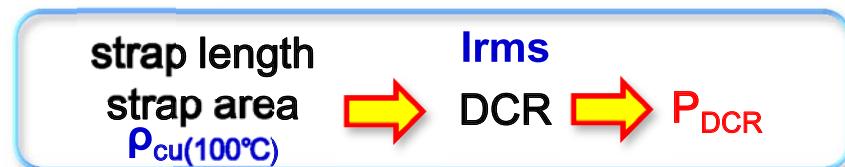


$$\text{real. } \Delta B = \frac{\frac{Vin_{min}}{2} \cdot Ton_{max}}{Np \cdot Ae} = 0.230T$$

1.83W

Pcv = 99 KW/m³ real. Pcore = 1.71W

$$P_{coil} = P_{DCR} + P_{ACR}$$



大功率开关电源与磁元件技术设计培训

主变压器设计计算 (3KW AC/DC 电源)

real. $P_{core} = 1.71W$

strap length
strap area
 $\rho_{cu(100^{\circ}C)}$

I_{rms} DCR P_{DCR}

$$D_{pen} = \sqrt{\rho / (\pi \mu_0 \mu_r f_{sw2})} = 0.229\text{mm}$$

$Q = \text{Layer Thickness}/D_{pen}$

$$Q_P = 0.20/0.229 = 0.87$$

$$Q_S = 0.25/0.229 = 1.09$$

$$R_{AC-P} = 1.24 R_{DC-P}$$

$$R_{AC-S} = 1.60 R_{DC-P}$$

$$P_{Coil-P} = 0.40 * (1 + 1.24) = 0.89$$

$$P_{Coil-S} = 0.61 * (1 + 1.60) = 1.60$$

$$P_{Total} = P_{CORE} + P_{COIL} = 1.71 + 2.49 = 4.2W$$

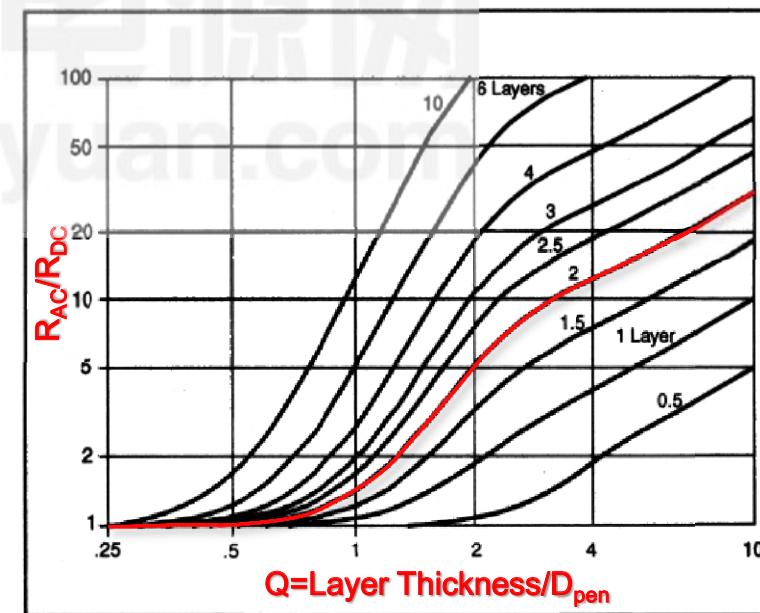


Figure. 3-5 Eddy Current Losses -- R_{AC}/R_{DC}

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

主变压器设计计算 (3KW AC/DC 电源)

$$P_{\text{Total}} = P_{\text{CORE}} + P_{\text{COIL}} = 1.71 + 2.49 = 4.2 \text{W}$$

$$P_{\text{CORE}} = 41\% P_{\text{total}}$$

$$P_{\text{COIL}} = 59\% P_{\text{total}}$$

$$\Delta T = 4.2 \times 15 = 63 \text{K} \quad \text{自然冷却}$$

同样可分别假定 : $P_{\text{CORE}} / P_{\text{Total}} = 40\%, 60\%$

假定	Results						
	$P_{\text{CORE}} / P_{\text{TOTAL}}$	N_p	N_s	P_{CORE}	P_{COIL}	P_{TOTAL}	ΔT
40%	18 T	0.15x8 2P	7 T	0.20x8 2P	2.30 W	2.03 W	4.33 W
50%	15 T	0.20x8 2P	6 T	0.25x8 2P	1.71 W	2.49 W	4.20 W
60%	12 T	0.20x8 3P	5 T	0.23x8 3P	1.02 W	2.82 W	3.84 W

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

第七讲 大功率磁元件最新技术前沿介绍

---改变世界的磁元件设计创新---

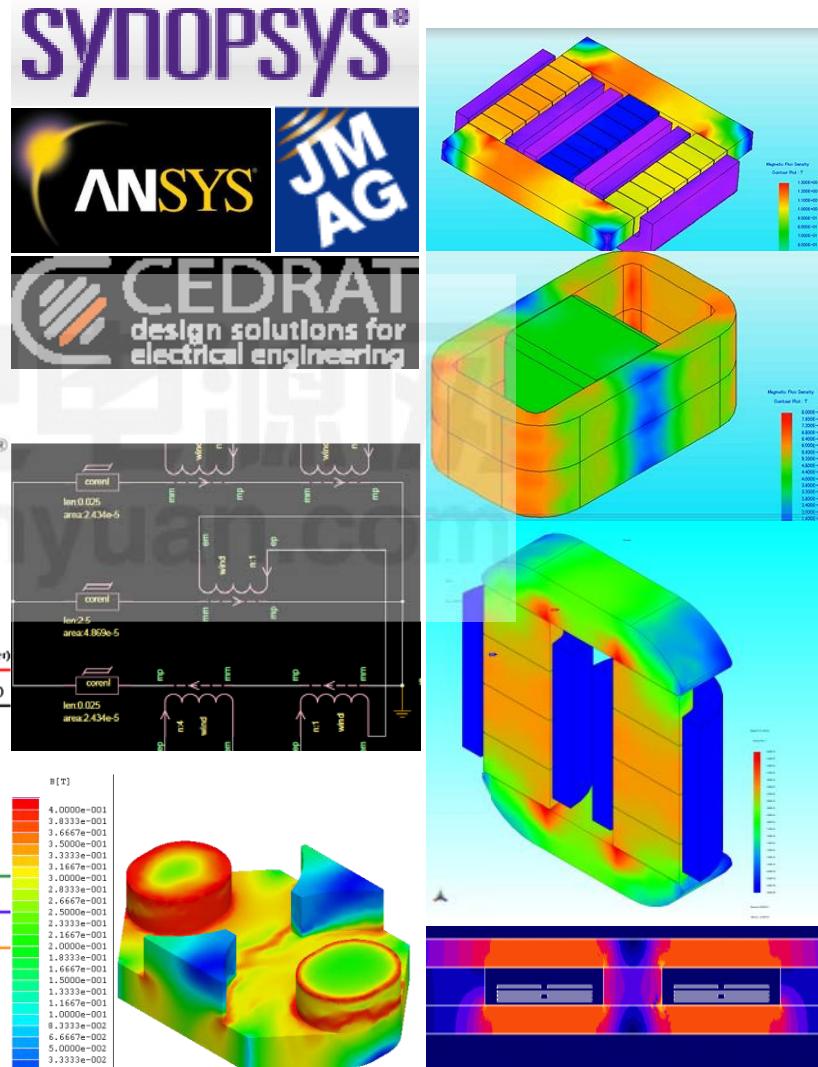
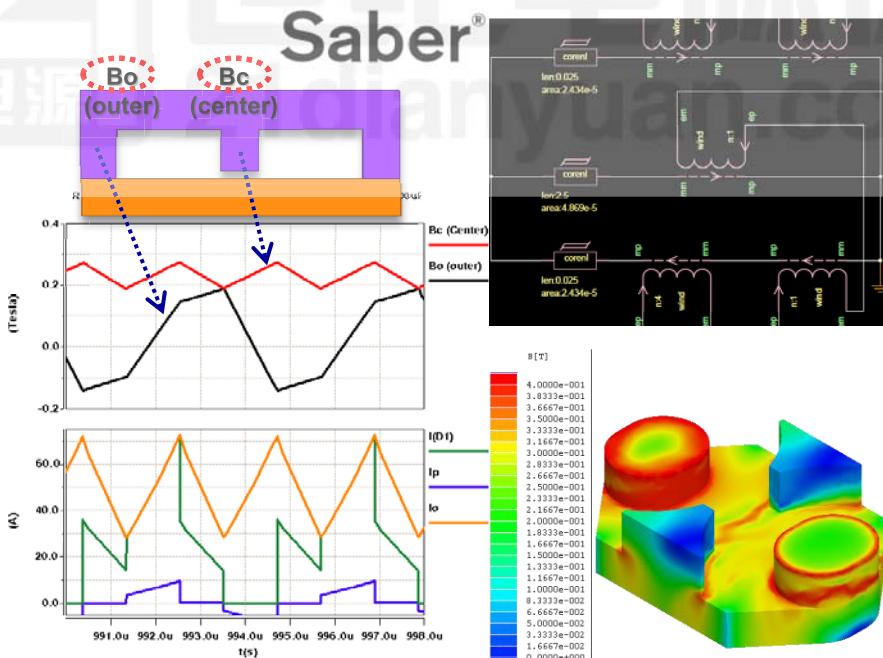
大功率开关电源与磁元件技术设计培训

磁元件仿真技术介绍

常用磁仿真软件

- ◆ Maxwell 2D 3D , PExprt
- ◆ JMAG
- ◆ FLUX
- ◆ Saber

- 资源要求
- 解析速度
- 建模效率
- 应用技巧
- 精度局限

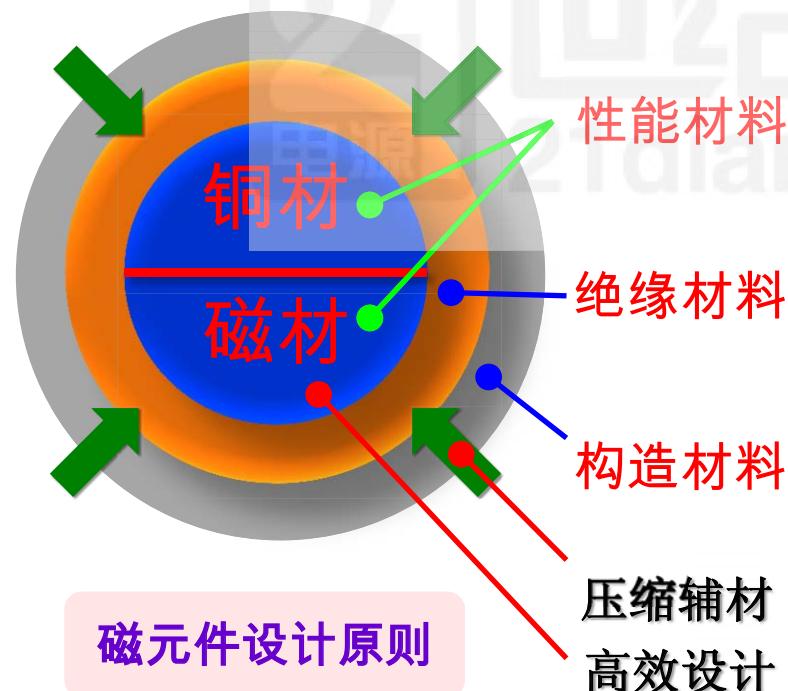


大功率开关电源与磁元件技术设计培训

改变世界的磁元件设计创新

世界最先端パワー磁気技術

Innovation & Creation



材料技术

+

应用技术

+

自动化
技术



核心
竞争力

- 材料改性
- 材料创新
- 工艺创新

根本

- 高性能低损耗
- 高附加价值
- 简单化低成本
- 自动化设计

途径

- 高品质生产
- 高效率生产
- 快速成本摊销

手段

突 破

关键工艺瓶颈
关键质量瓶颈
关键成本瓶颈

大功率开关电源与磁元件技术设计培训

改变世界的磁元件设计创新

Magnetics Technologies

Integrated
Magnetics

磁氣複合技術
磁集成技术

Hybrid
Technique

ハイブリット 磁氣技術
混合磁路技术

L-I Trimming
Technique

L-I トリミング技術
L-I Trimming技术



低EMCノイズ技術
Spike Blocker技术

Acoustic
Technique

低騒音技術
静音技术

Big Powder
Technique

大型ダストコア技術
超大型磁粉芯技术

Edgewise
Technique

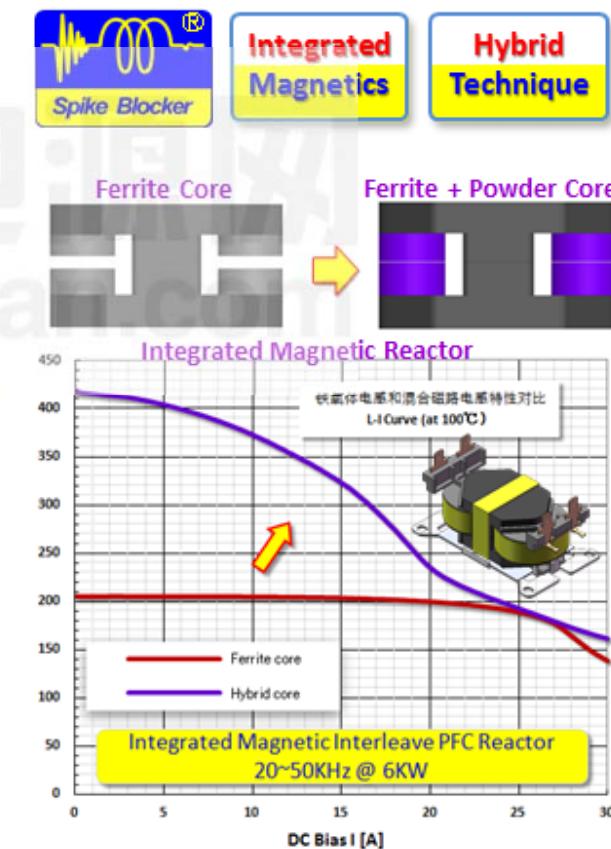
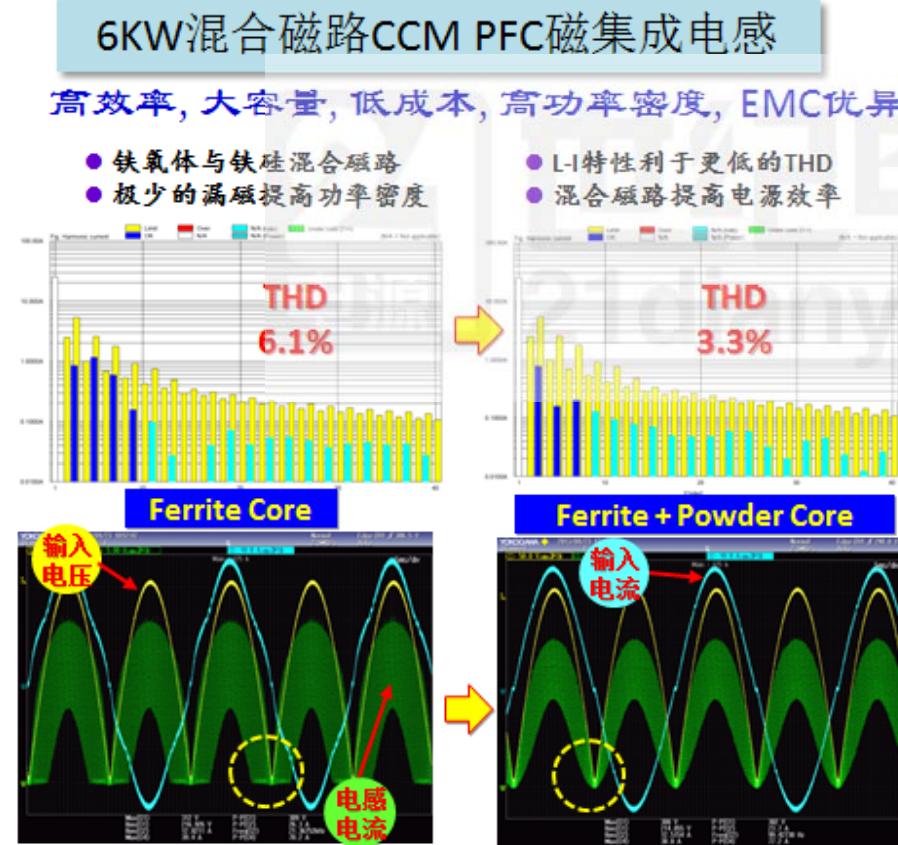
エッジワイス 設計
大功率立绕工艺



大功率开关电源与磁元件技术设计培训

改变世界的磁元件设计创新

磁集成技术、混合磁路技术、L-I trimming技术、SpikeBlocker技术等

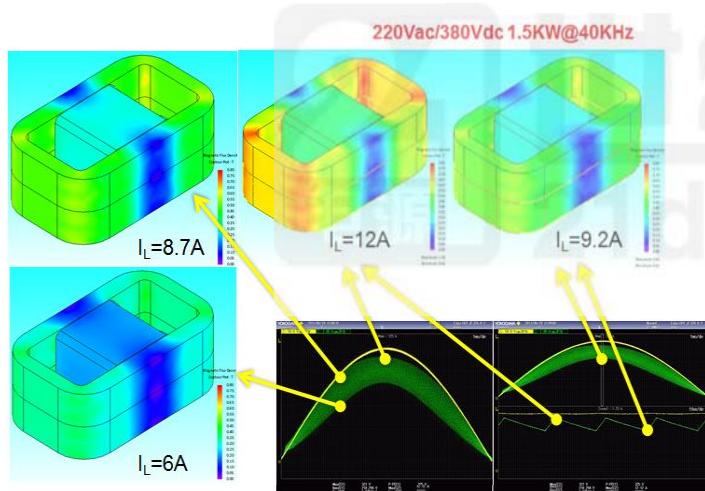


大功率开关电源与磁元件技术设计培训

改变世界的磁元件设计创新

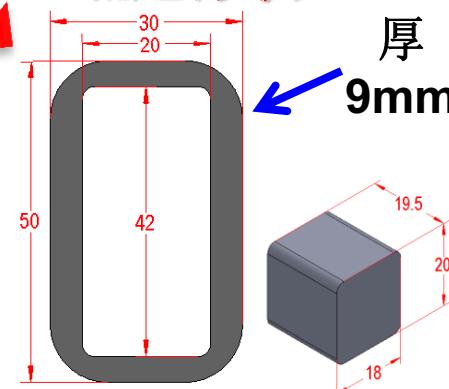
磁集成技术、混合磁路技术、L-I trimming技术、SpikeBlocker技术等

最佳磁芯尺寸确定



性能、可靠性、品质
量产性、成本竞争力
150s 一次性解决！

市场需求与技术融合

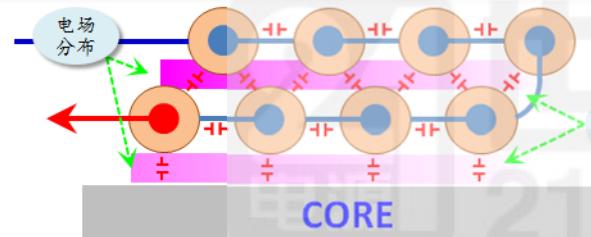


大功率开关电源与磁元件技术设计培训

改变世界的磁元件设计创新

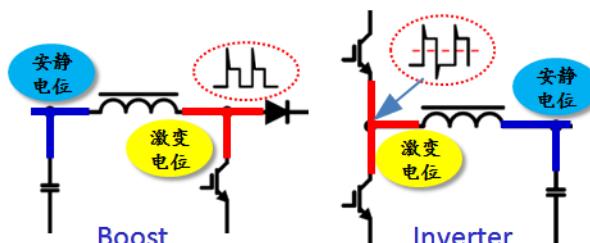
磁集成技术、混合磁路技术、L-I trimming技术、SpikeBlocker技术等

电感的EMC电磁兼容问题（机理）



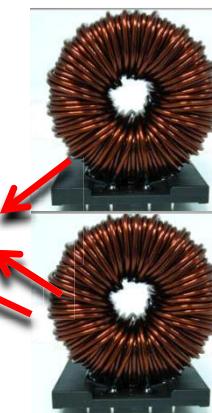
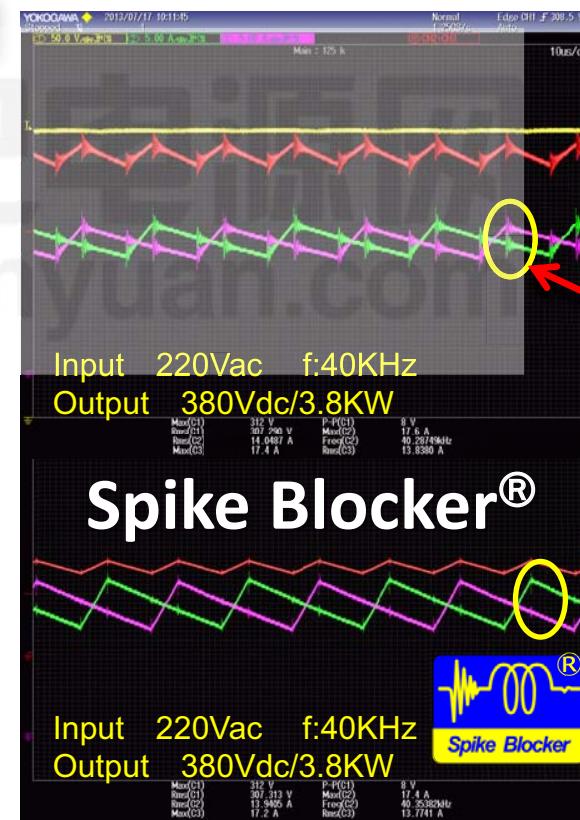
Parasitic capacitor construction

绕线间存在大量复杂的分布电容和漏感



电感两端始终存在高dV/dt对电容高频充放电

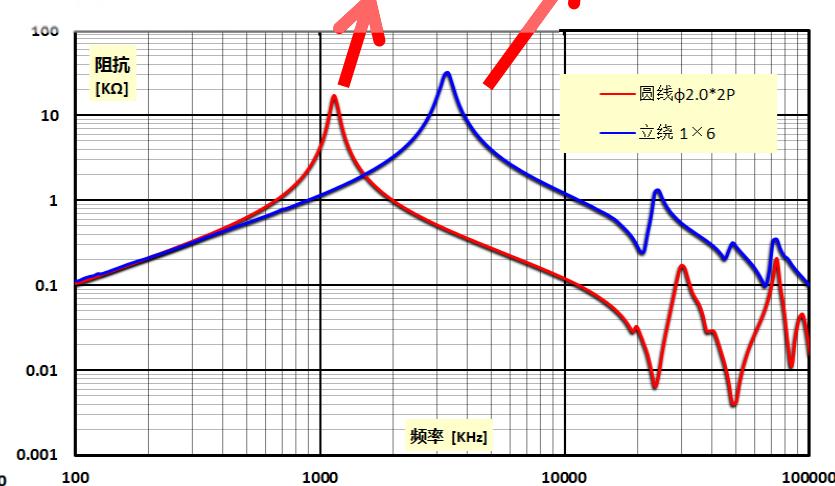
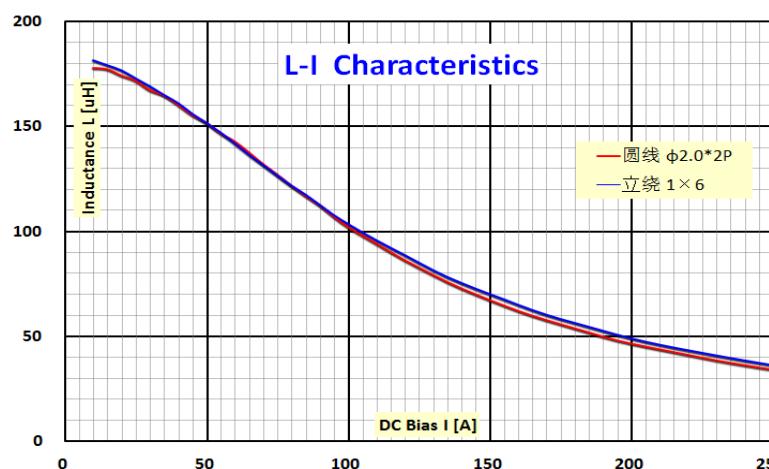
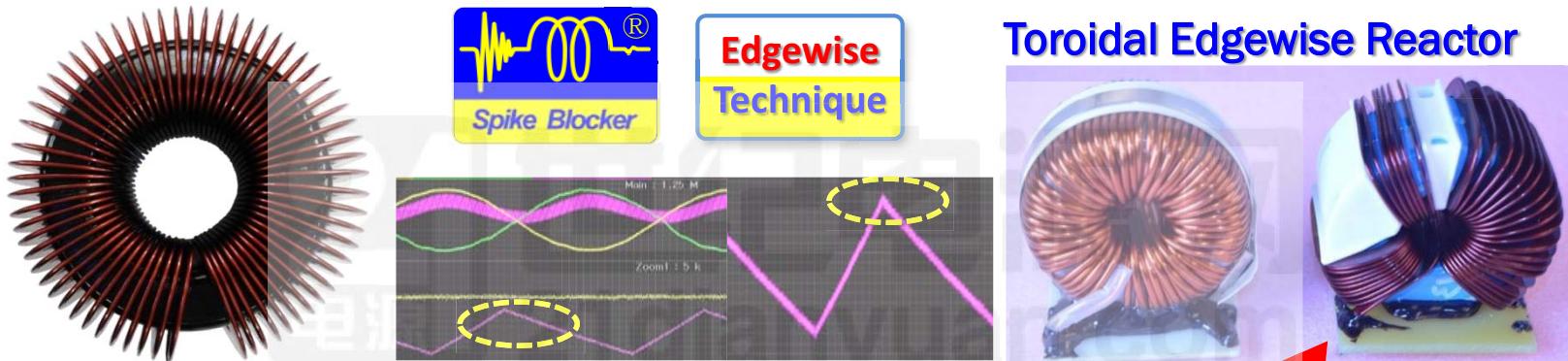
电感的复杂的LCR网络产生1MHz以上频谱丰富的高频振荡电流能量，电感成为**大能量EMI干扰源**！



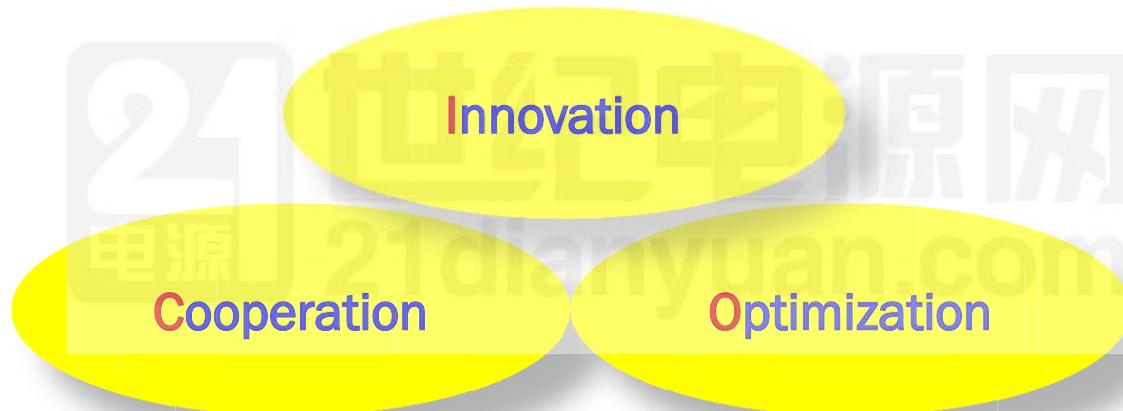
大功率开关电源与磁元件技术设计培训

改变世界的磁元件设计创新

磁集成技术、混合磁路技术、L-I trimming技术、SpikeBlocker技术等



Change the World (Q&A)



Thank you !

Air Conditioner 变频空调	PV Inverter 光伏逆变器	Battery Power Station 储能电站	Energy Collector 能量回馈	UPS & Converter UPS,电源	APF,SVC 电力谐波整治	Elevator 电梯	New-Ene. Automobile 新能源汽车
-------------------------	----------------------	-------------------------------	--------------------------	---------------------------	-------------------	----------------	------------------------------