



第一节 开关电源基本工作原理

浙江大学电气工程学院

应用电子学系

二零一零年七月



本节内容



- 一、什么是开关电源
- 二、开关电源中的电力电子电路
- 三、主电路工作原理
- 四、电力电子器件
- 五、无源器件



一、什么是开关电源

- 电源
- 线性电源
- 开关电源



一、什么是开关电源 (1)

EE OF ZJU

- 电源：提供电能的装置
- 把其他形式的能转换成电能的装置叫做电源
 - 发电机：
 - 机械能 → 电能
 - 干电池：
 - 化学能 → 电能
 - 计算机电源：
 - 交流电 → 直流电
 - 太阳能电池
 - 太阳能 → 电能
- 本书所指电源是：输入输出都是电能的电能变换电源。



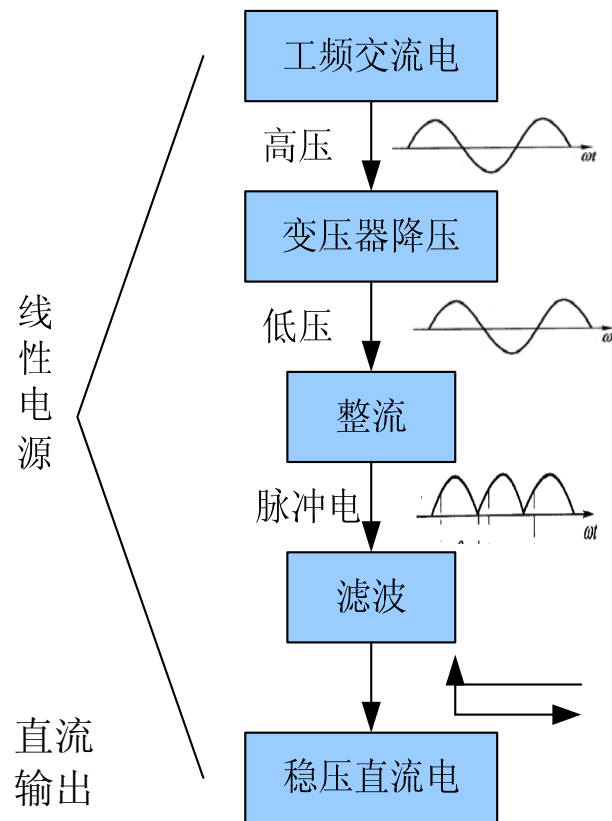
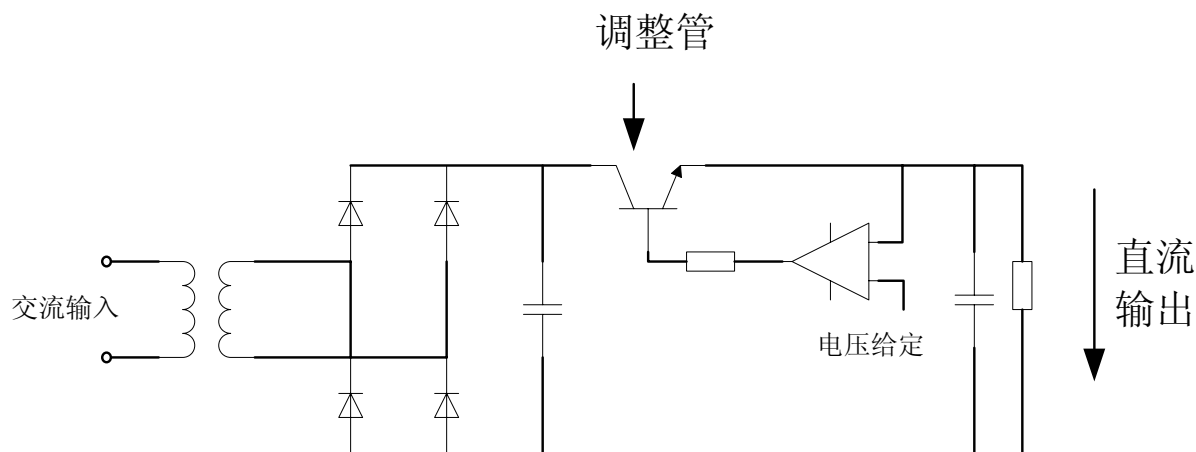


一、什么是开关电源 (2)

EE OF ZJU

➤ 线性电源:

- 调整管工作在线性放大状态
- 调整管损耗大
- 工频变压器体积大, 重量重。



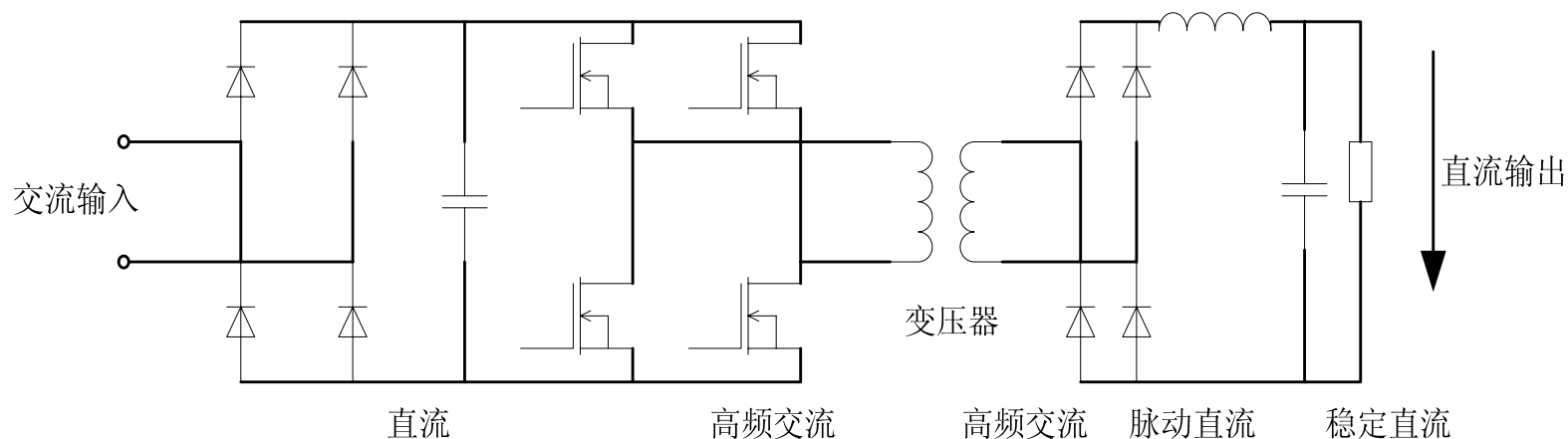


一、什么是开关电源 (3)

EE OF ZJU

➤ 开关电源：泛指，电路中有电力电子器件工作在高频开关状态的直流电源。

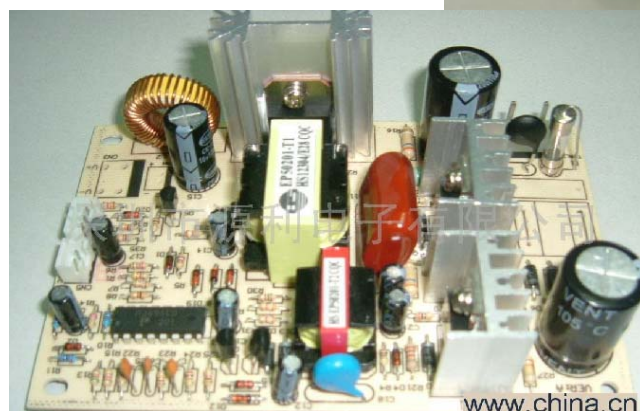
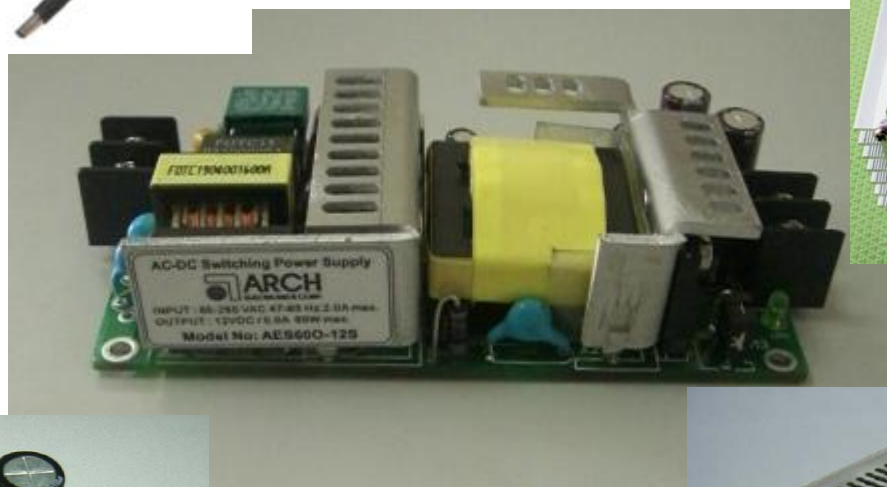
- 电力电子器件工作在开关状态，损耗很小
- 其隔离和电压变换的变压器T是高频变压器，体积大大缩小，重量大大减轻





一、什么是开关电源 (4)

EE OF ZJU





一、什么是开关电源（5）

EE OF ZJU

➤ 开关电源的发展

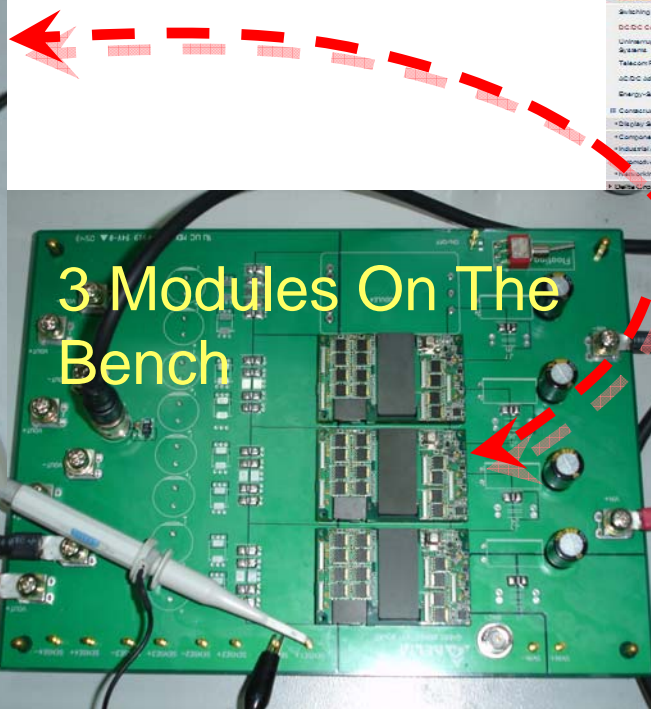
- 20世纪60年代：大功率晶体管BJT、GTR的出现——开关电源问世。
- 20世纪70年代：开关器件、磁性材料的不断改进——开关频率突破20kHz
- 20世纪80年代：IGBT功率MOSFET的出现——大功率开关电源开始广泛应用
- 20世纪80年代开始：软开关技术的发展——开关频率不断得到突破，100kHz，1Mhz，10MHz……。
- 20世纪90年代：功率因素矫正电路——绿色电源（对电网无污染）
- 21世纪：不断的增加功率密度。



一、什么是开关电源（6）



High f /Eff./Power Density Conversion



◆ 500W Quarter Brick Bus Converter



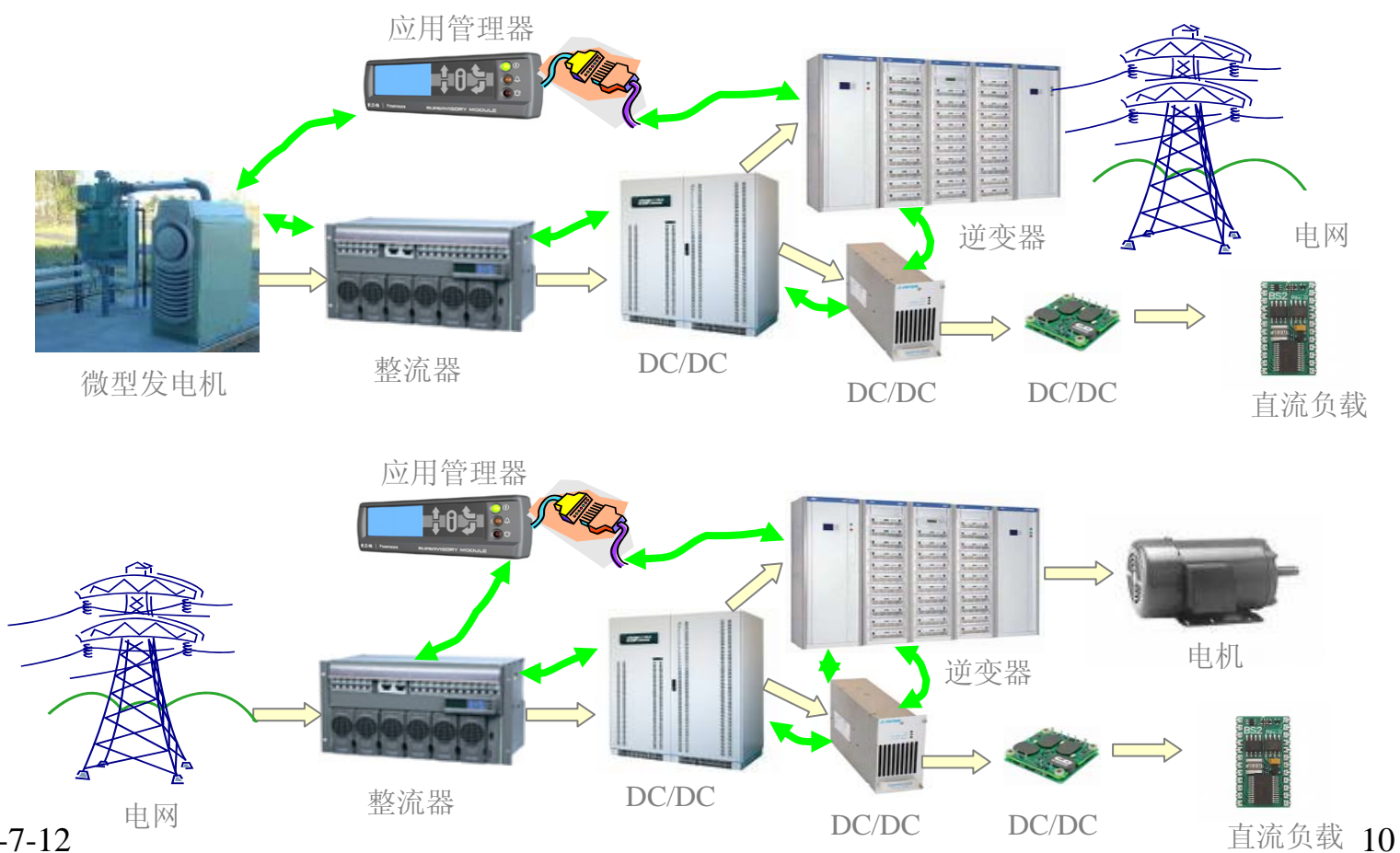
◆ Specs: 48V_{dc} to 9.6V_{dc}/53A, Eff.=96.8%, Power Density: 19W/cm³ (312.3W/in³).



一、什么是开关电源 (7)

EE OF ZJU

➤ 高效率电源的需求





一、什么是开关电源 (8)

EE OF ZJU

➤ 开关电源产业当前关注的技术

Specific Trends Projections



Technology		2008				2010				2013			
		Early		Mature		Early		Mature		Early		Mature	
Integrated SR + controller		1	2					3	4				4
PFC controllers	Boost converter				4				4				4
	Single-stage		2					3				3	
	Interleaved		2					3				3	
	Bridgeless	1					2					3	
Resonant controllers	LLC half-bridge			3					4				4
	QR flyback		2	3				3	4				4
Sync. rectifier drivers	Buck-derived / flyback		2	3				3	4				4
	Resonant converters	1	2				2	3				3	
Adoption		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

Adoption key:

1. Experimental/Laboratory Exploration, Research & Development
2. Early Adopter
3. Mature: Niche Use
4. Mature mainstream Use



一、什么是开关电源（8）

EE OF ZJU

- 开关电源设计的步骤
 - 电路拓扑选择——《电力电子技术》
 - 元器件选择——《电力电子器件》
 - 控制系统反馈设计——《自动控制理论》
 - 磁性元件设计——《电磁场理论》，《电力电子技术》
 - 监控设计
 - 热管理
 - EMI控制
 -



二、开关电源中的电力电子电路

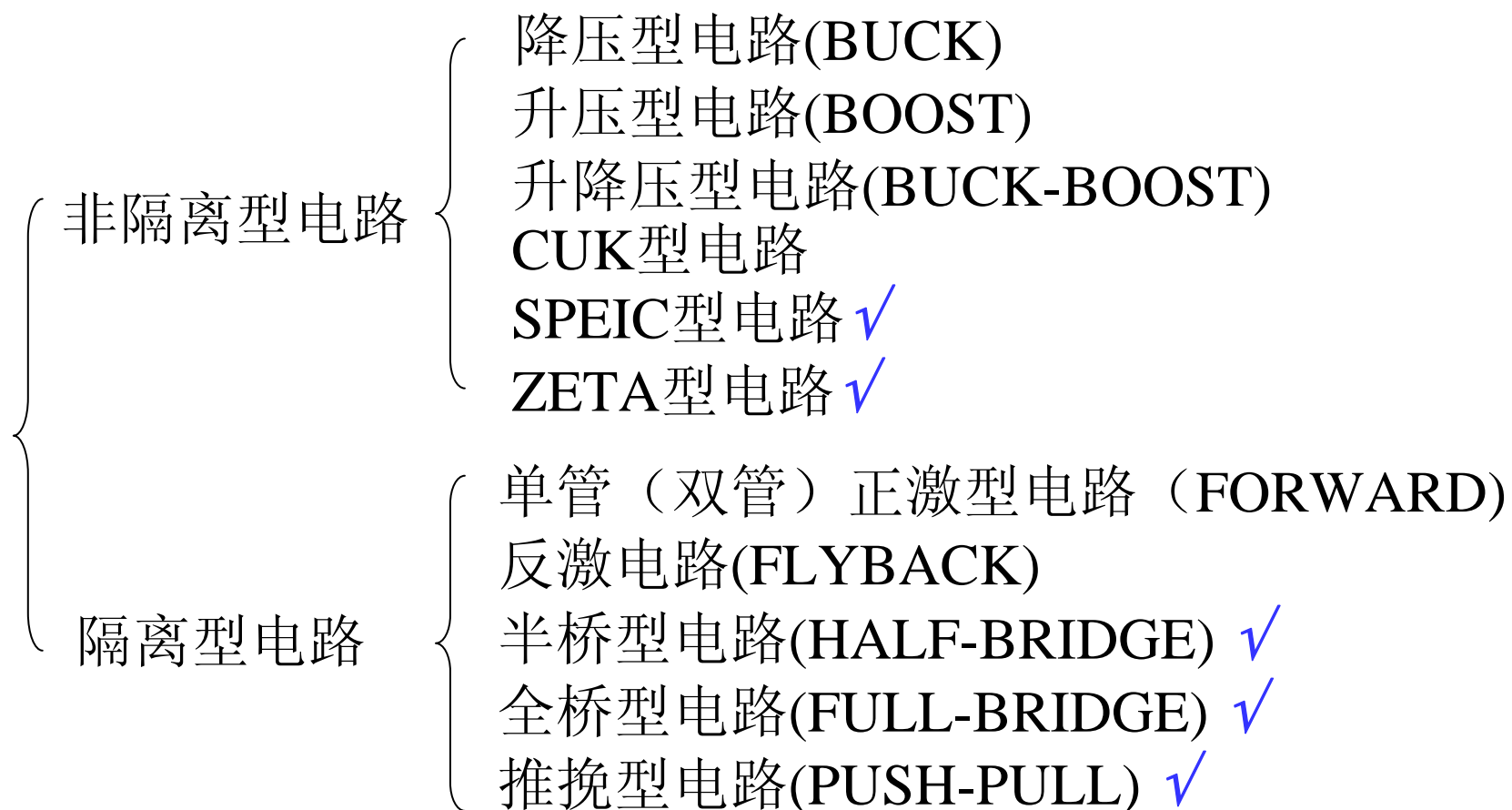
- 分类
- 应用



二、开关电源中的电力电子电路（1）

EE OF ZJU

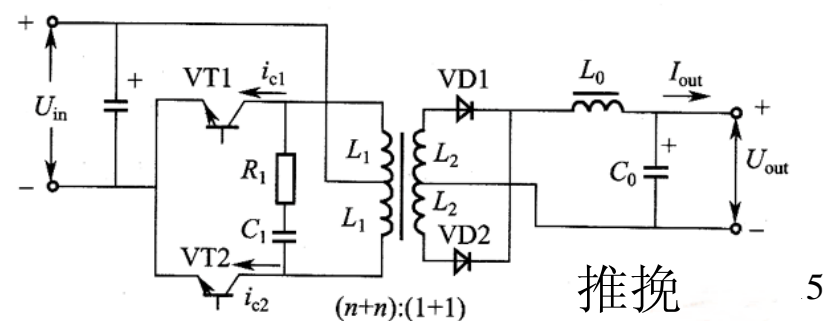
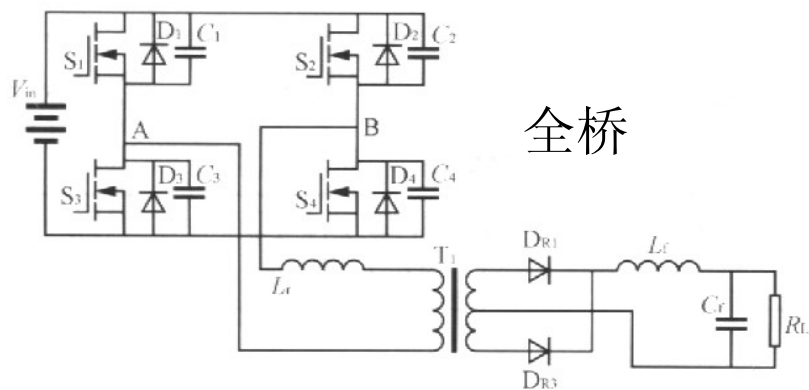
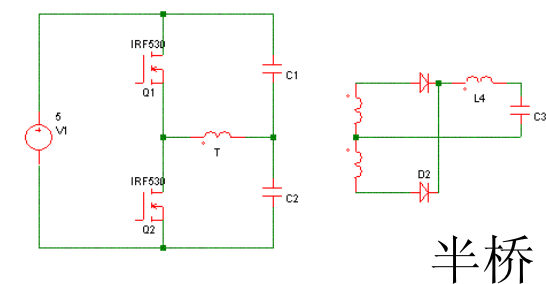
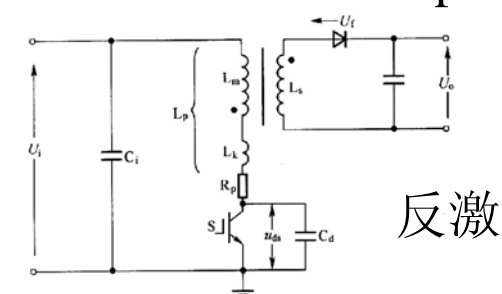
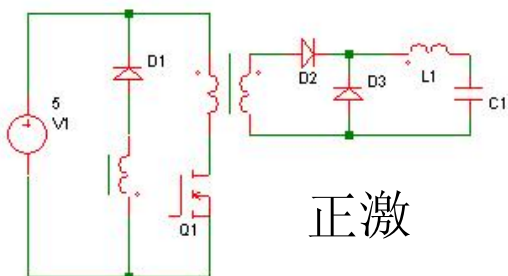
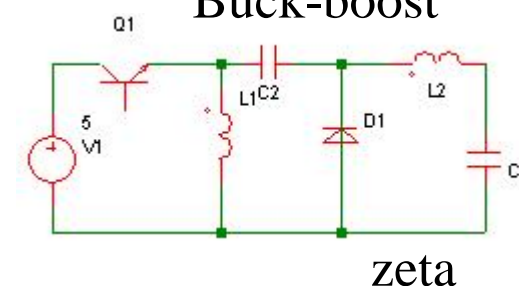
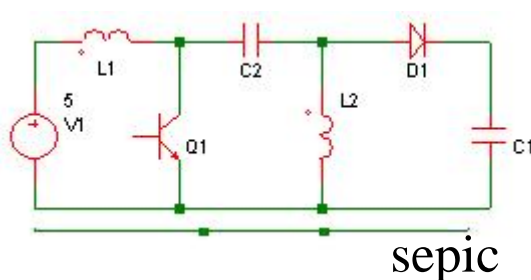
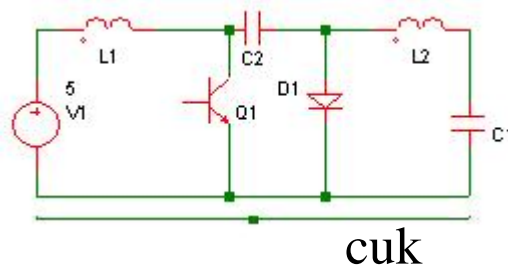
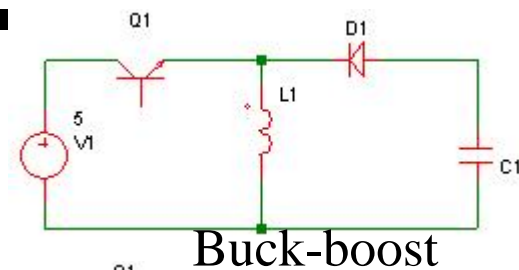
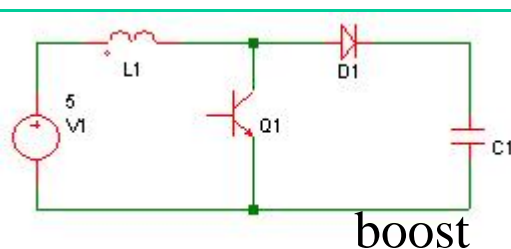
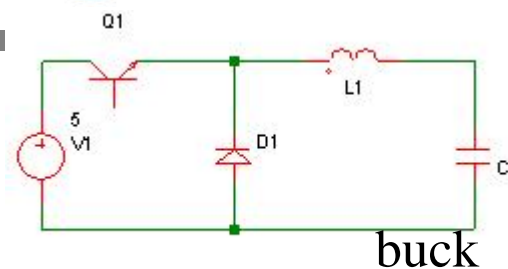
➤ 电力电子电路分类





二、开关电源中的电力电子电路 (2)

EE OF ZJU





二、开关电源中的电力电子电路（3）

EE OF ZJU

➤ 隔离型电力电子变换电路的功率等级和应用场合

电路类型	传输功率	应用环境
单端反激式变换器(FLYBACK)	20~100W	小型仪器、仪表，家用电器等电源，自动化设备中的控制电源
单端正激式变换器(FORWARD)	50~200W	小型仪器、仪表，家用电器等电源，自动化设备中的控制电源
推挽式变换器(PUSH-PULL)	100~500W	控制设备，计算机等电源
半桥式变换器(HALF BRIDGE)	100~5000W	焊机，超声电源，计算机电源等
全桥式变换器(FULL BRIDGE)	500W~30kW	焊机、高频感应加热，交换机等

这类电源的共同特点：具有**高频变压器**、直流稳压是从变压器次级绕组的高频脉冲电压整流滤波而来。变压器原副边是隔离的，或是部分隔离的，而输入电压是直接从交流市电整流得到的高压直流。



二、开关电源电路拓扑的实用选择方法

EE OF ZJU

- **升压或者降压：**输入电压总是比输入电压低吗？
- **占空比的实际限制：**输出电压和输入电压是否相差5倍以上？
- **多少组输出：**是否多于1组，是否很多？
- **隔离要求：**如果需要隔离，就需要变压器
- **EMI要求：**EMI要求高，不适合采用输入电流不连续的拓扑。
- **MOSFET还是双极性晶体管：**功率大？开关频率高？
- **电流连续还是电流断续：**需要空载工作吗？
- **同步整流：**输出电压很低？
- **电压模式控制和电流模式控制：**如果输出电流很大，选用电压模式控制比电流模式控制好。



三、开关电源主电路工作原理

- BUCK, BOOST
- 反激, 半桥
- 整流

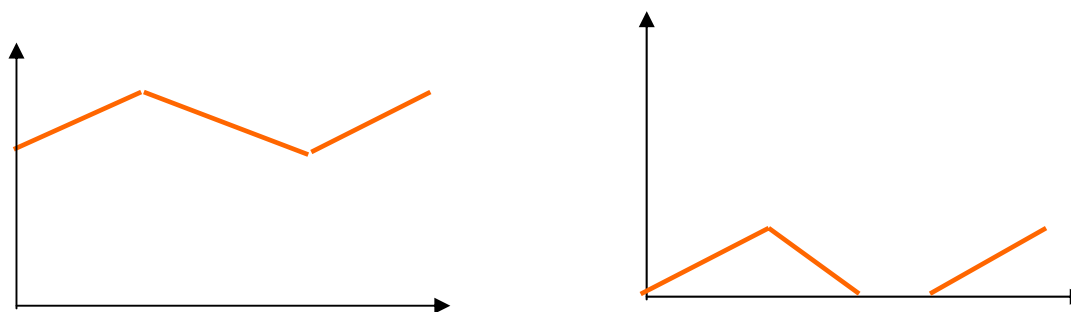


三、主电路工作原理（1）

EE OF ZJU

➤ 开关电源CCM和DCM工作模式

- CCM: Continuous Conduction Mode, (电感电流) 连续导通模式
- DCM: Discontinuous Conduction Mode, (电感电流) 断续导通模式



- 前面所述的各种开关电源，均可能工作于CCM或者DCM两种模式。两种工作模式下，电压增益的表达式不一样。
- 开关电源工作于哪种工作模式，在开关电源的占空比不变的情况下，与开关电源的负载大小以及电感的大小有关系。

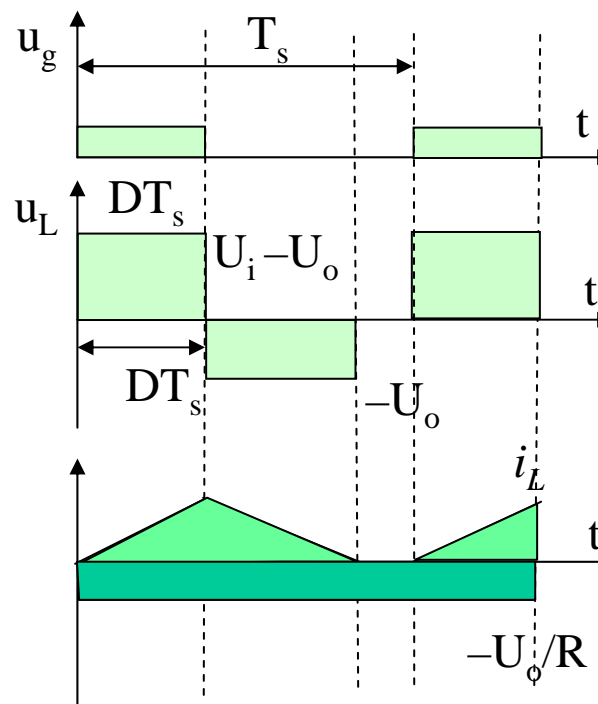
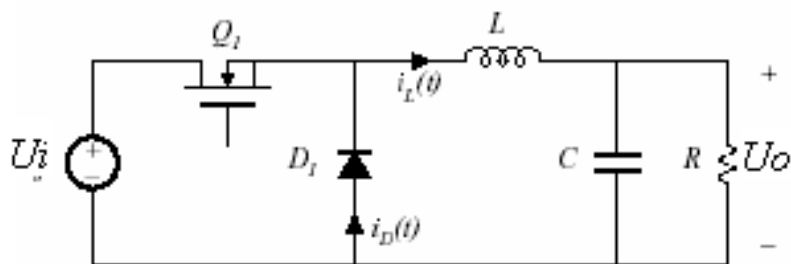


三、主电路工作原理（2）

EE OF ZJU

➤ 开关电源稳态分析的两个基本原理

- 1. 电感的伏秒平衡：稳态条件下，电感两端电压在一个开关周期内的平均值为零
- 2. 电容的充电平衡：稳态条件下，电容电流在一个开关周期内的平均值为零

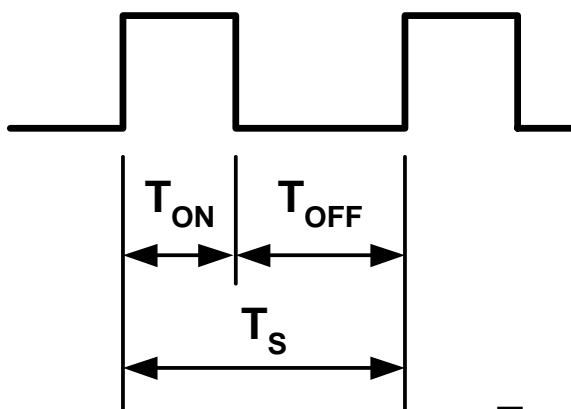




三、主电路工作原理 (3)

EE OF ZJU

- 基本的脉冲宽度调制波形
- 这些拓扑结构都与**开关式电路**有关。
- 基本的脉冲宽度调制波形定义如下：



$$\text{Duty Cycle} = \text{Duty Ratio} = D = \frac{T_{\text{ON}}}{T_{\text{ON}} + T_{\text{OFF}}} = \frac{T_{\text{ON}}}{T_{\text{S}}}$$

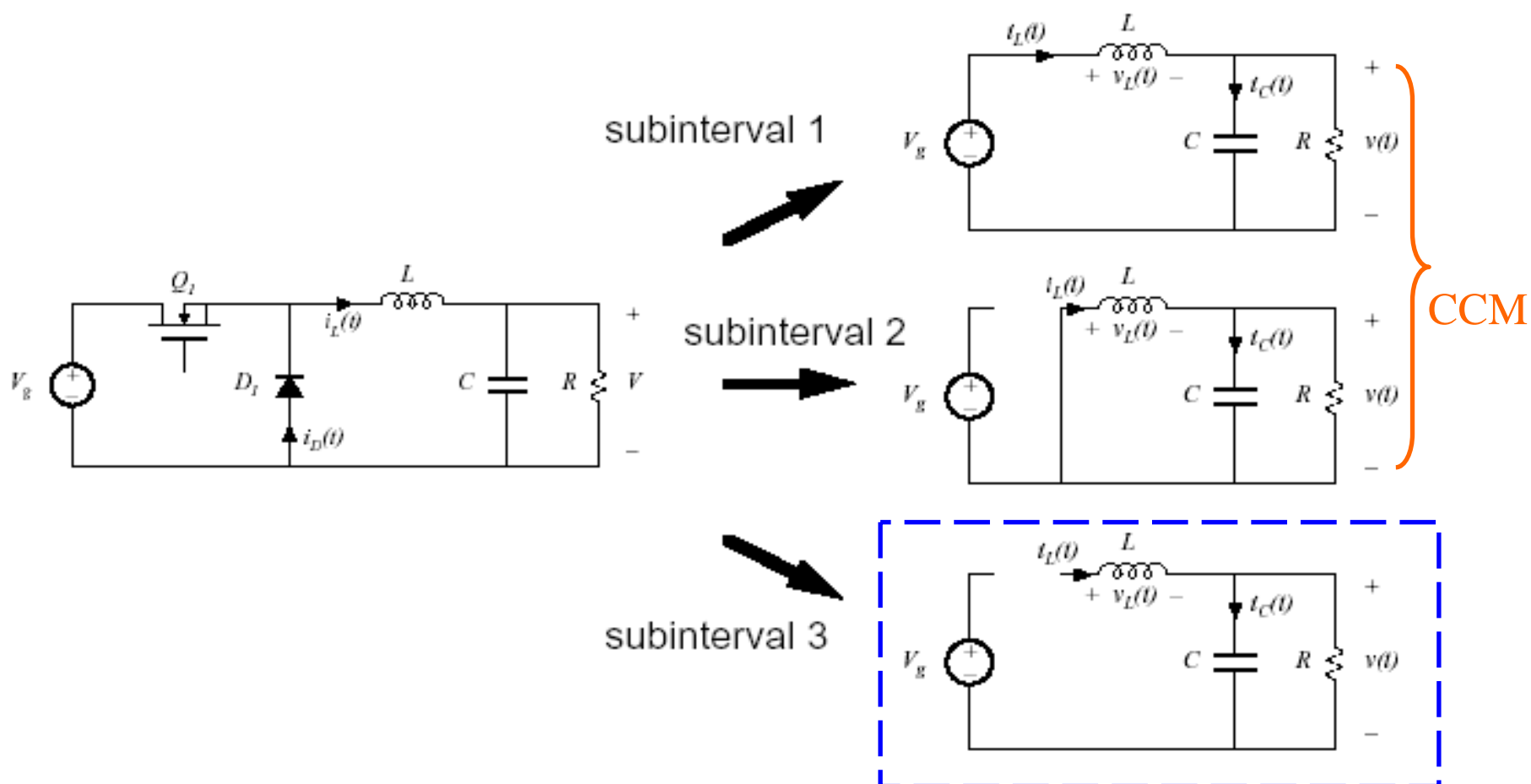
$$\text{占空比} = \text{负荷比} \quad D' = 1 - D = \frac{T_{\text{OFF}}}{T_{\text{ON}} + T_{\text{OFF}}} = \frac{T_{\text{OFF}}}{T_{\text{S}}}$$



三、主电路工作原理（4）——BUCK

EE OF ZJU

➤ BUCK 电路工作于CCM和DCM时的工作状态

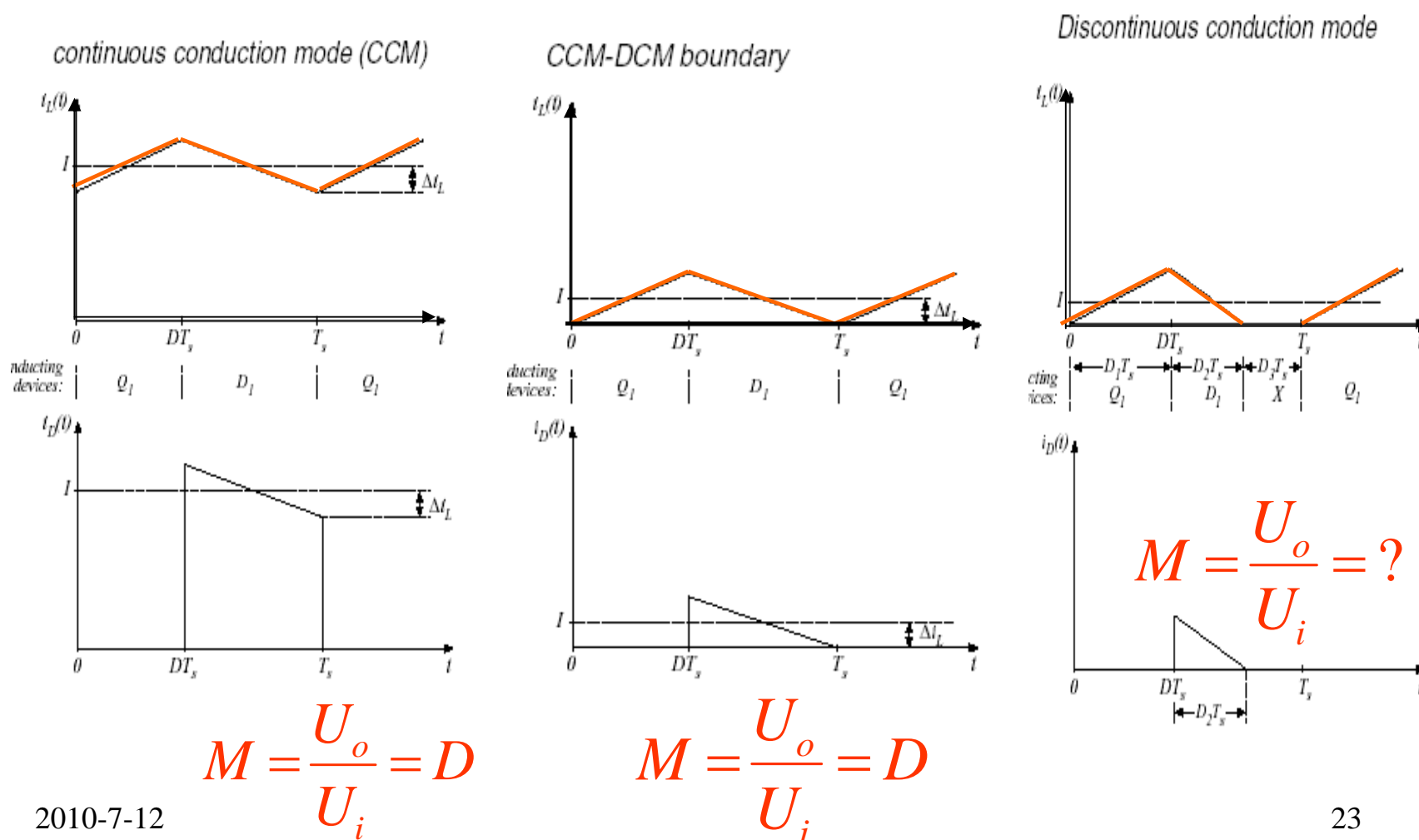




三、主电路工作原理（4）——BUCK

EE OF ZJU

➤ BUCK电路工作于CCM和DCM时的电感电流波形

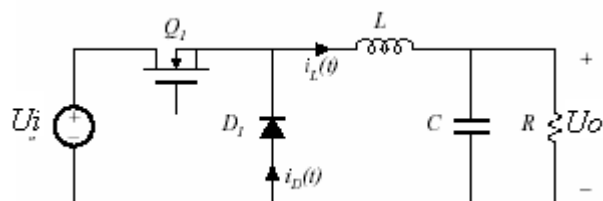




三、主电路工作原理（4）——BUCK

EE OF ZJU

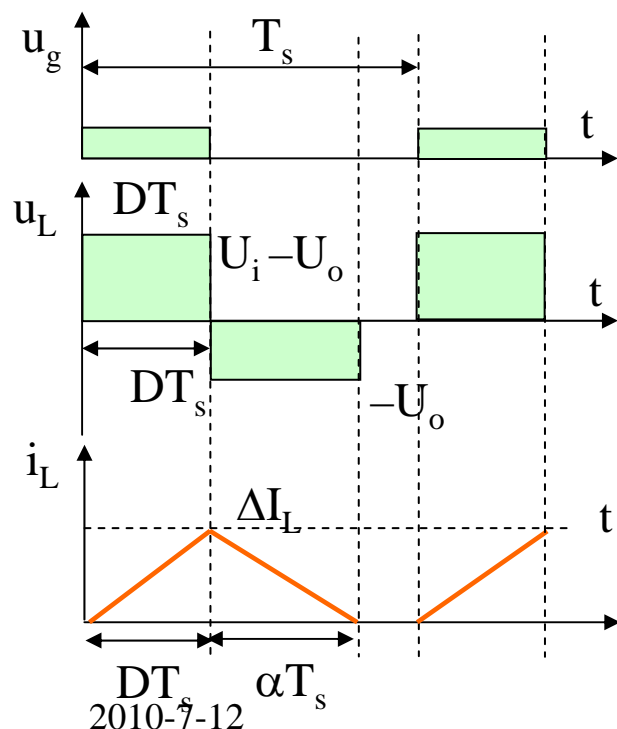
➤ 电感电流断续情况下的电压增益表达式



根据稳态时电感伏秒平衡原理：

$$(U_i - U_o)DT_s = U_o \times \alpha T_s$$

根据稳态时电容C的充电电流平均值为0



$$\frac{1}{2} \Delta I_L (D + \alpha) = \frac{U_o}{R},$$

电感方程：
$$L \frac{\Delta I_L}{DT_s} = U_i$$

$$M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{\sqrt{1+4K}-1}{2K}, \text{ 其中 } K = \frac{2L}{D^2 T_s R}$$

在电感电流断续的情况下， $U_o = DU_i$ 不成立。

在电感电流断续的条件下，电路其它参数不变而电路负载改变时，输出电压发生改变；

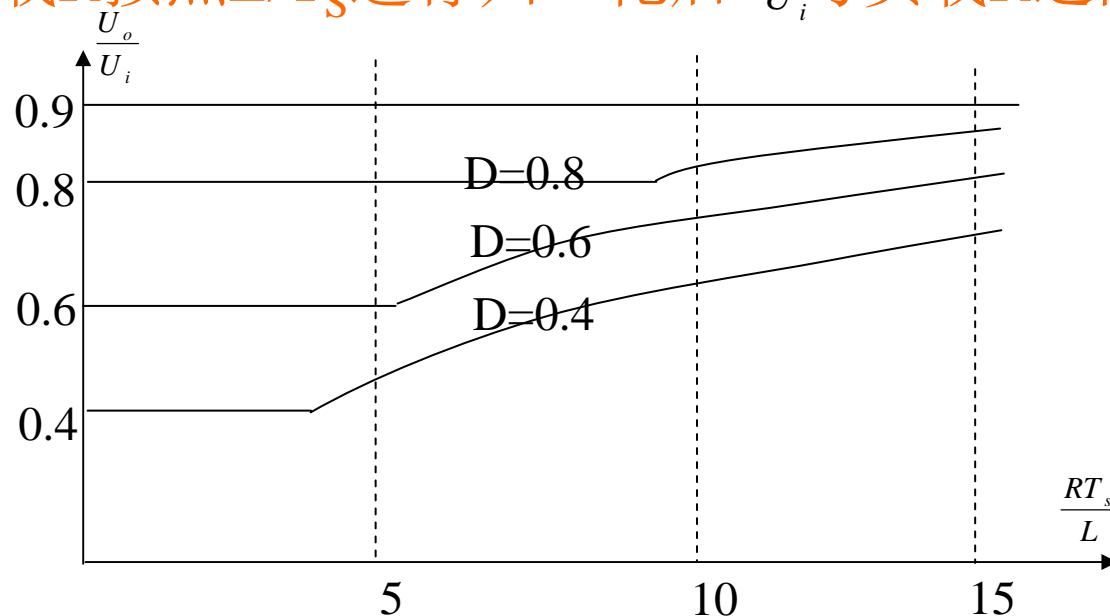
而在电感电流连续的情况下，输出电压不随负载改变。



三、主电路工作原理（4）——BUCK

EE OF ZJU

➤ 将负载 R 按照 L/T_s 进行归一化后 $\frac{U_o}{U_i}$ 与负载 R 之间的关系



可见:

电感电流连续时, $U_o/U_i=D$;

电流断续时, 总是有 $U_o/U_i>D$, 负载越小 (负载电阻越大), 则 U_o 越高。

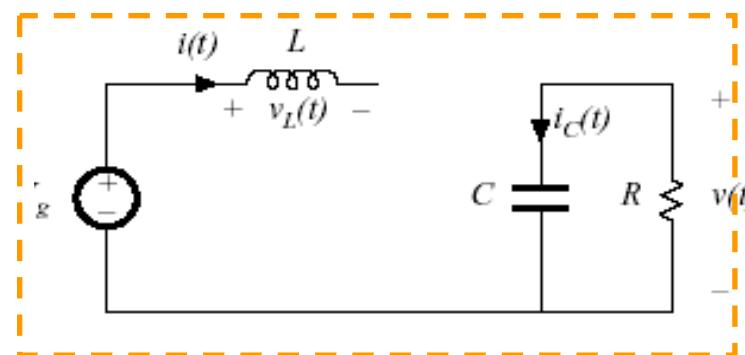
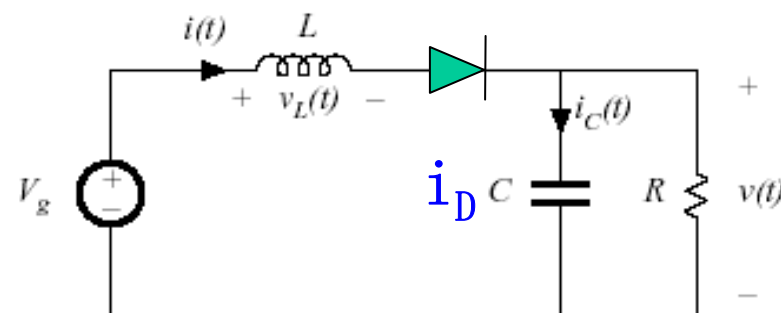
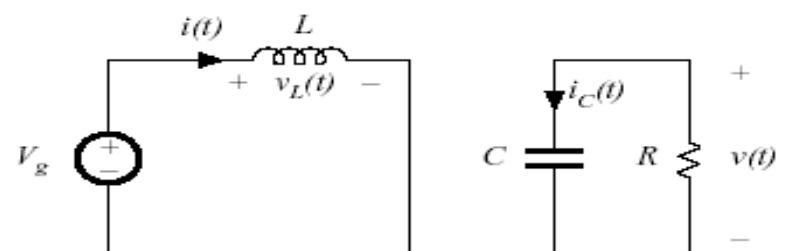
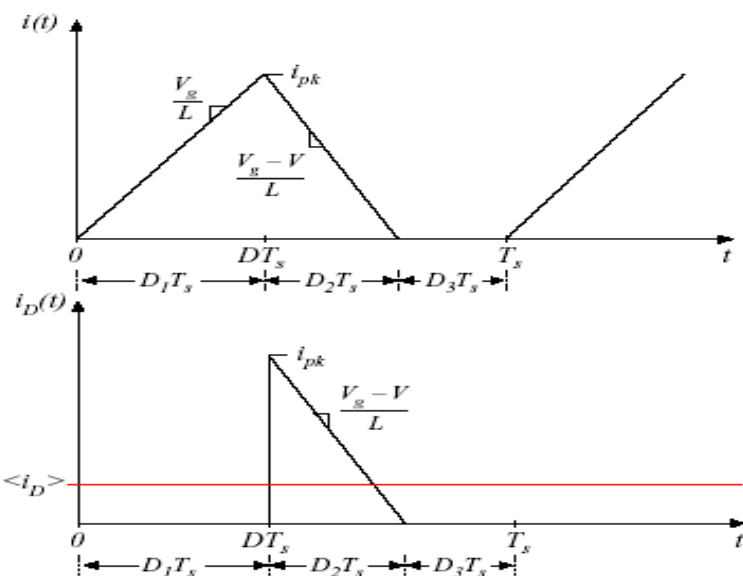
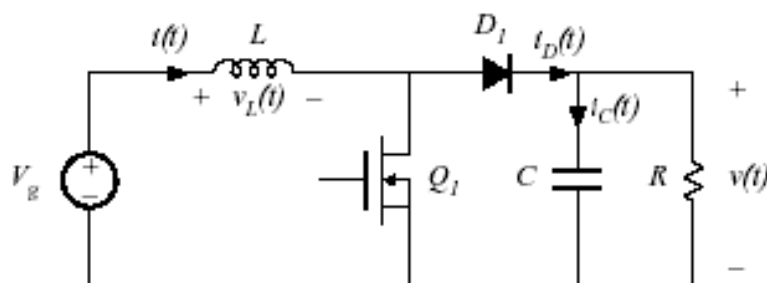
输出空载时, $U_o=U_i$ 。



三、主电路工作原理 (5) ——BOOST

EE OF ZJU

➤ BOOST电路工作于CCM和DCM



注意: BOOST电路工作于CCM时, D 不能很接近1, 工作于DCM时不能令负载开路, 否则高压令电路元器件要损坏。



三、主电路工作原理 (6) ——BUCK-BOOST

➤ 升降压电路工作于DCM模式

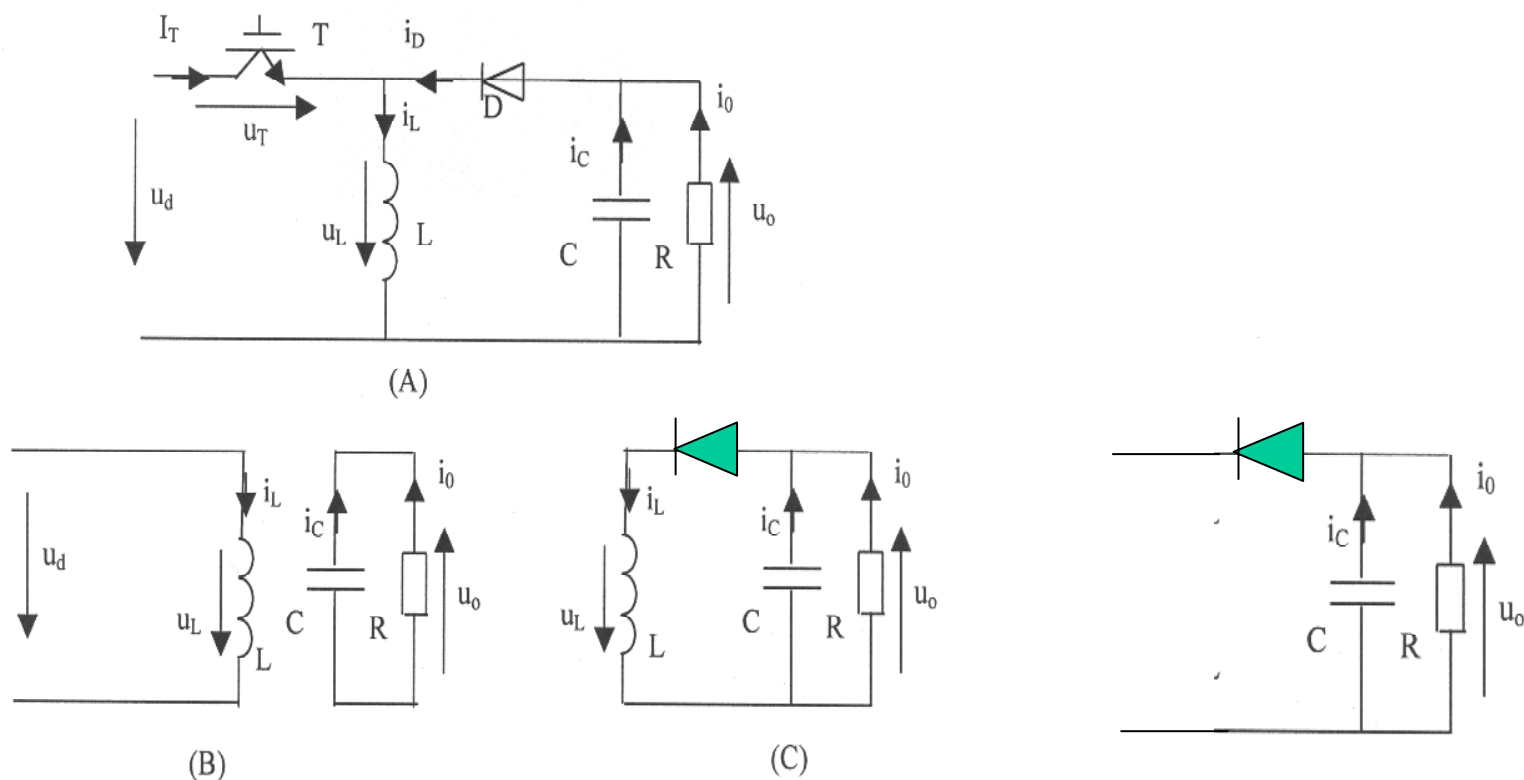


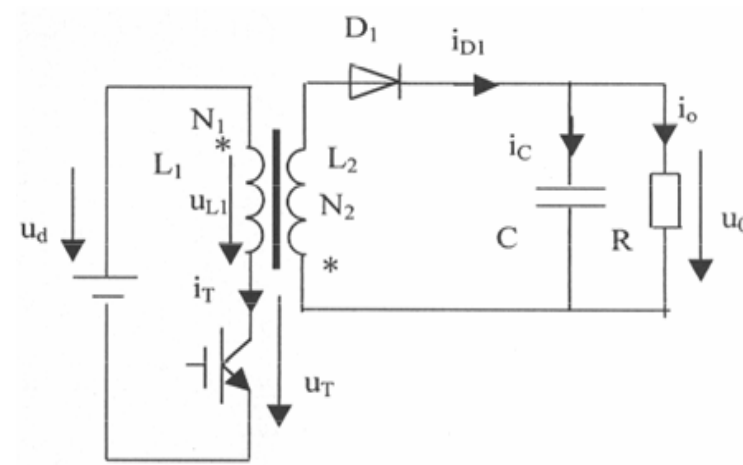
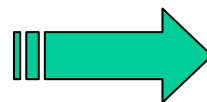
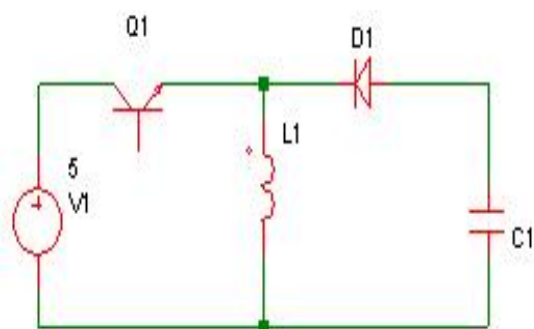
图 4-5: (A) BUCK-BOOST 电路 (B) 晶体管 T 导通时的等效电路
(C) 晶体管 T 关断时的等效电路



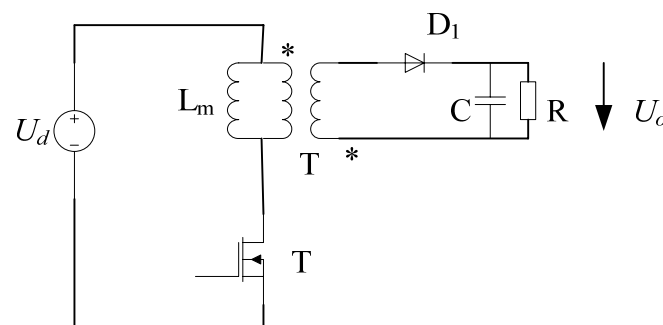
三、主电路工作原理 (5) ——反激

EE OF ZJU

➤ 反激式电路



储能——放电

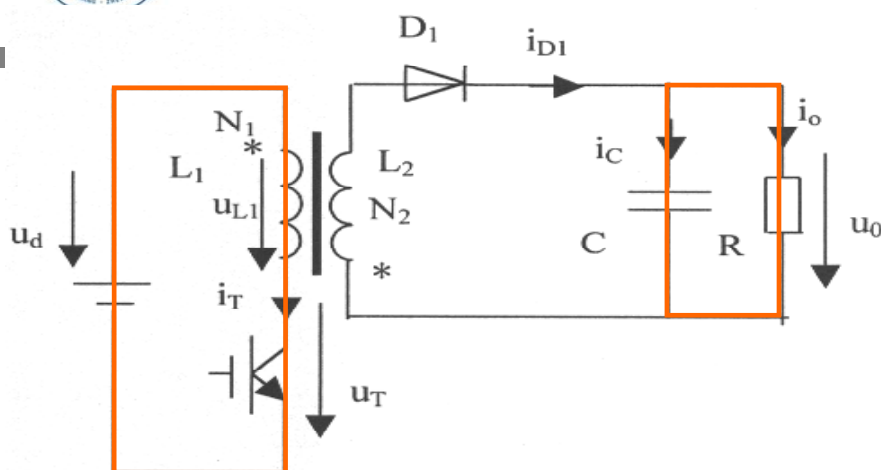


变压器等效电路

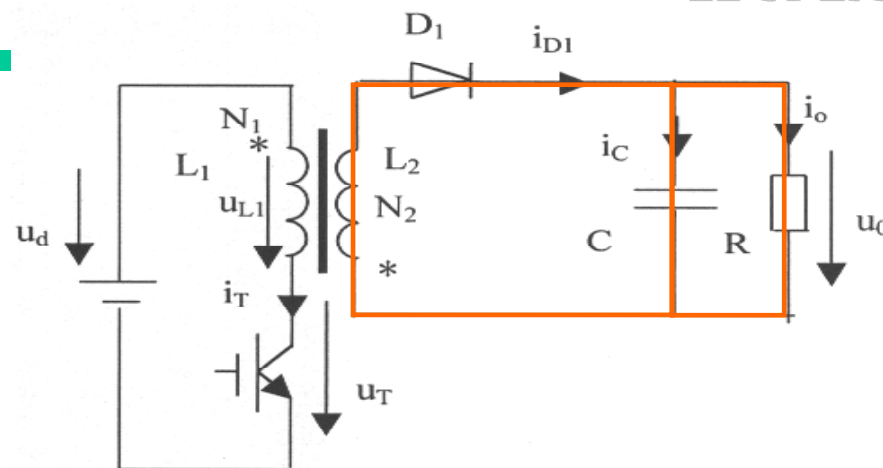


三、主电路工作原理 (5) ——反激

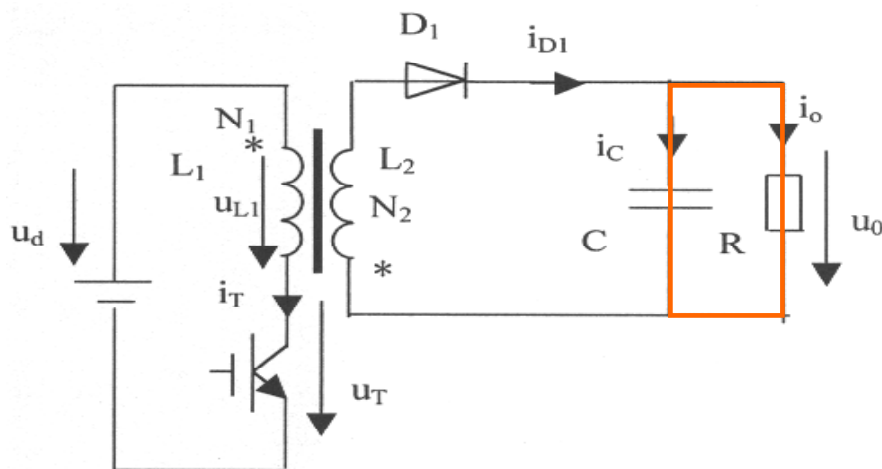
EE OF ZJU



开关管导通时的等效电路



开关管截止时的等效电路一



开关管截止时的等效电路二 (DCM)

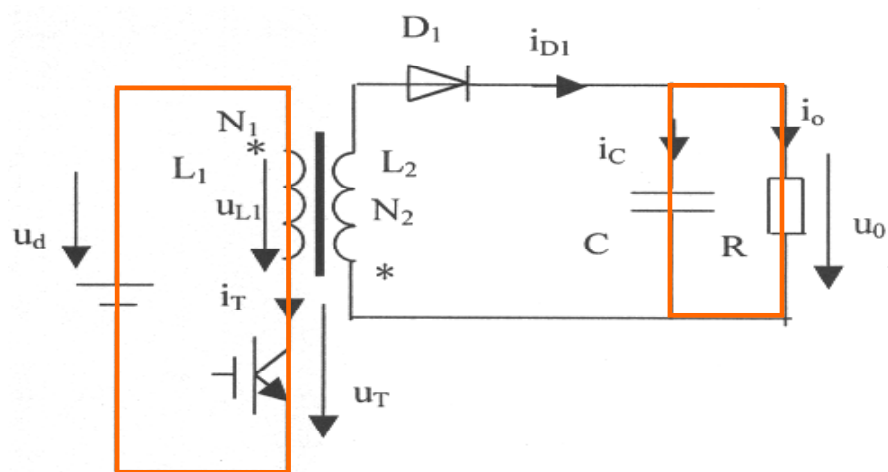
一个开关周期内，电感能量已经降为零，则该电路工作于DCM状态。

&&&反激变压器的原副边并不同时流过电流，只在开关瞬时符合安匝平衡。

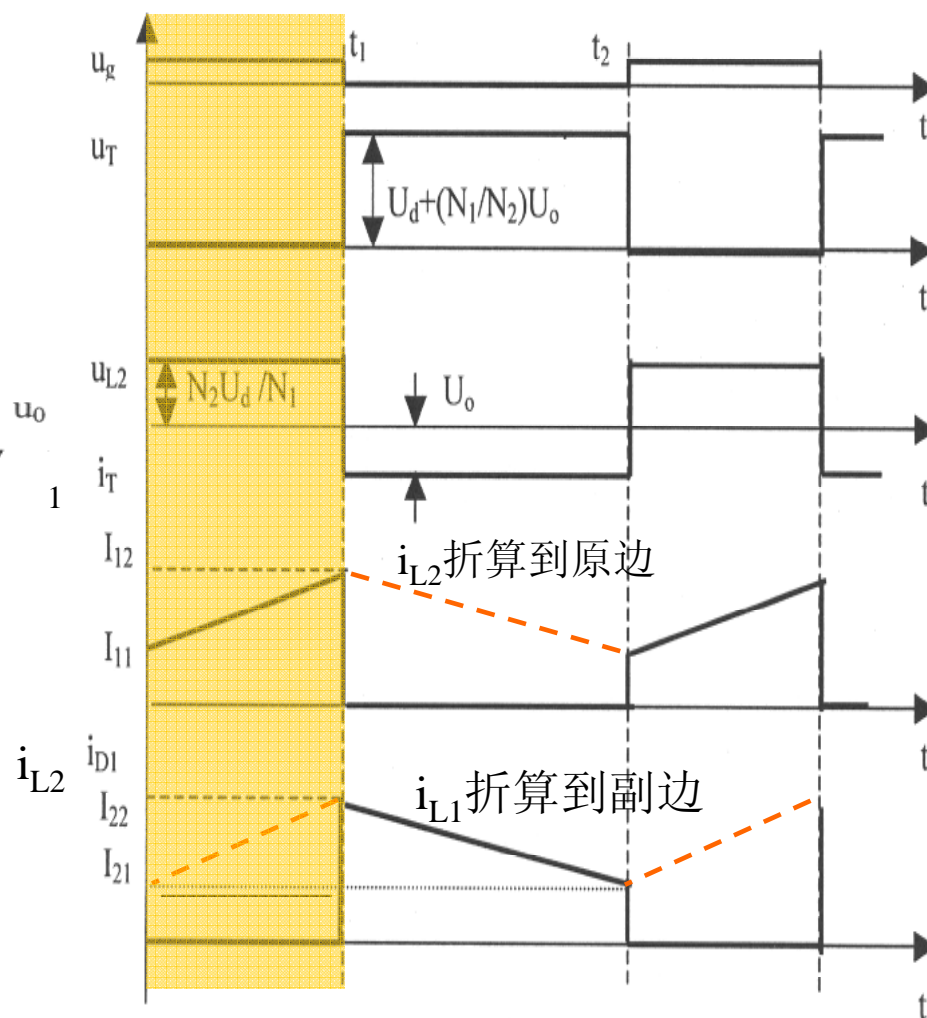


三、主电路工作原理 (5) ——反激

EE OF ZJU



开关管导通时的等效电路

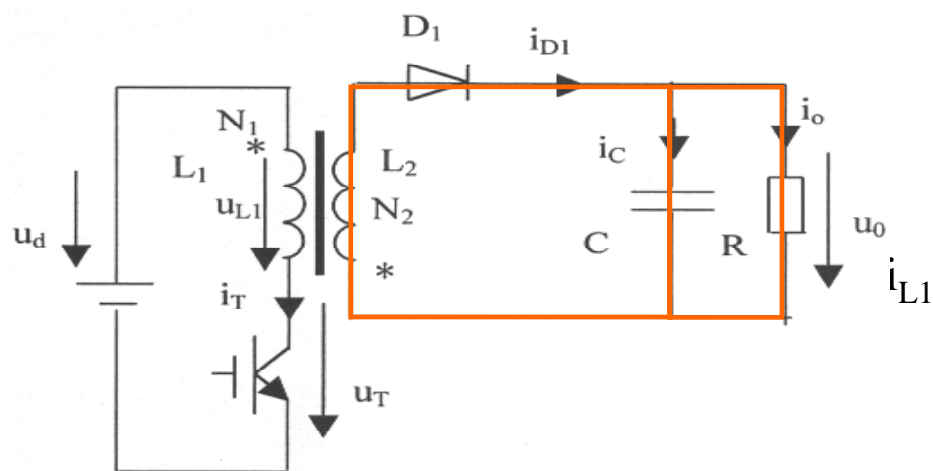


反激式变换器工作在CCM工作模式时的各个波形(1)

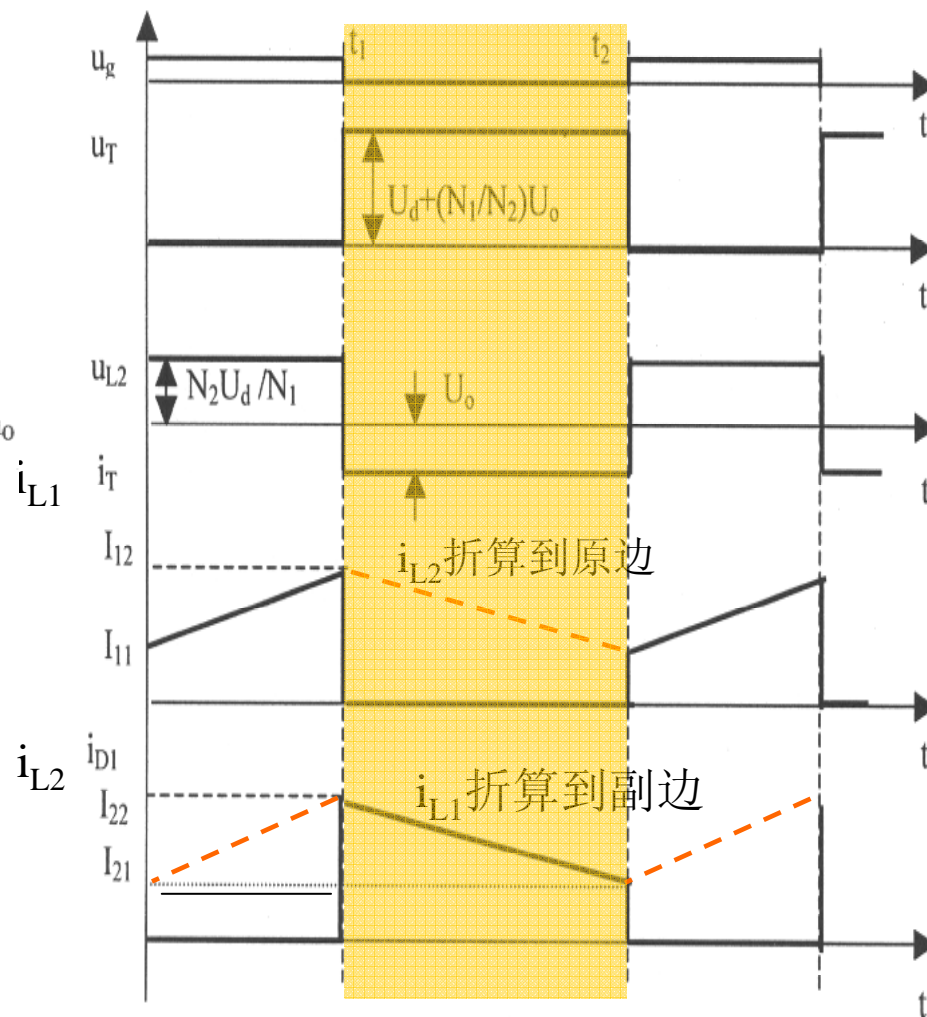


三、主电路工作原理 (5) ——反激

EE OF ZJU



开关管截止时的等效电路一

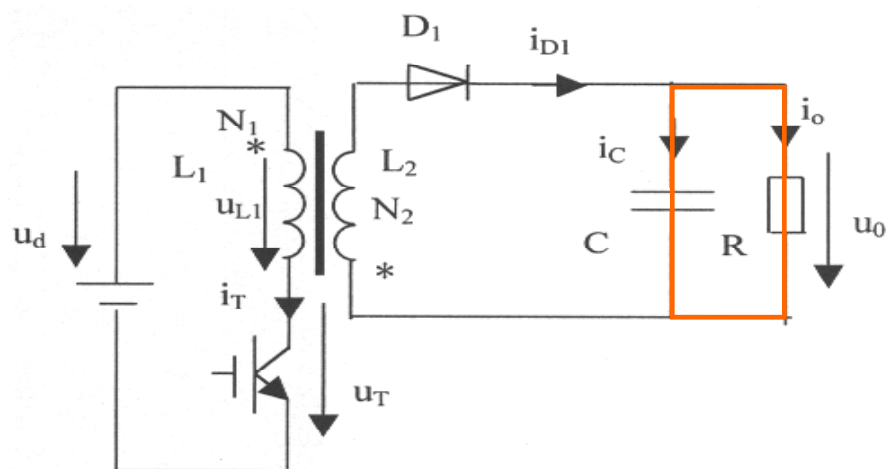


反激式变换器工作在CCM工作模式时的各个波形(1)



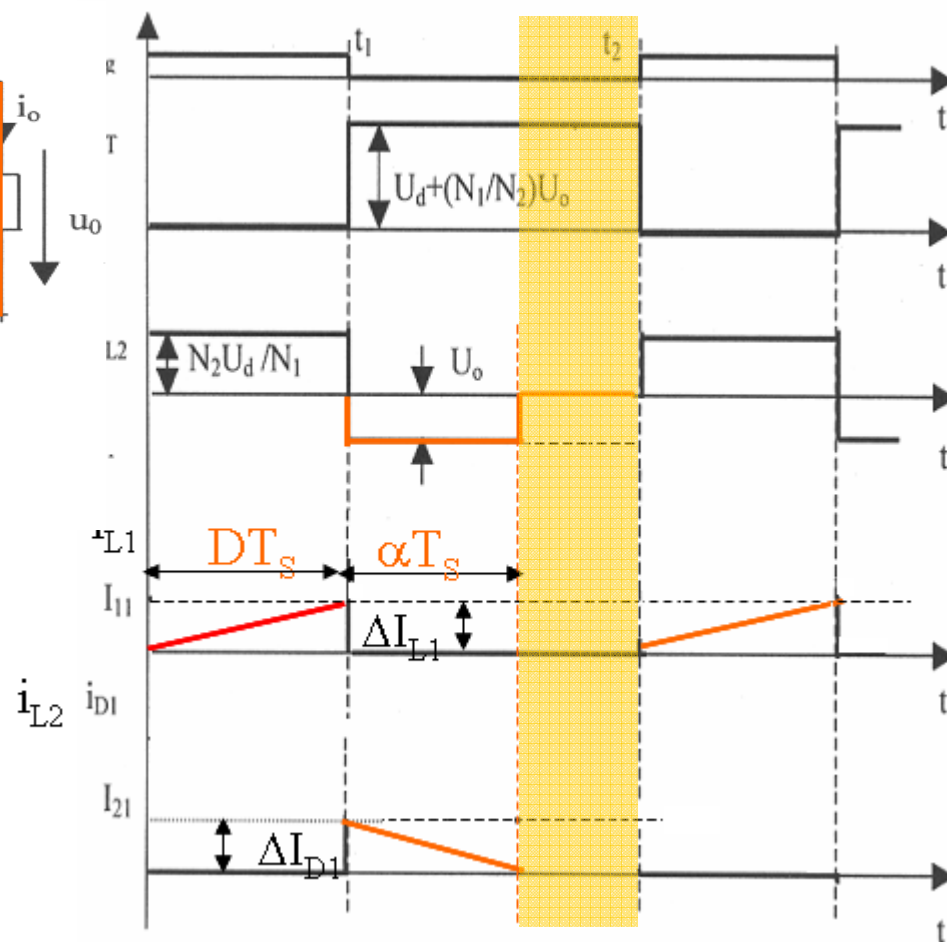
三、主电路工作原理（5）——反激

EE OF ZJU



开关管截止时的等效电路二
(DCM)

注意：不管反激式
变换器工作于CCM
还是DCM模式，
原副边绕组电流都
是断续的！



反激式变换器工作在DCM工作模式时的
各个波形

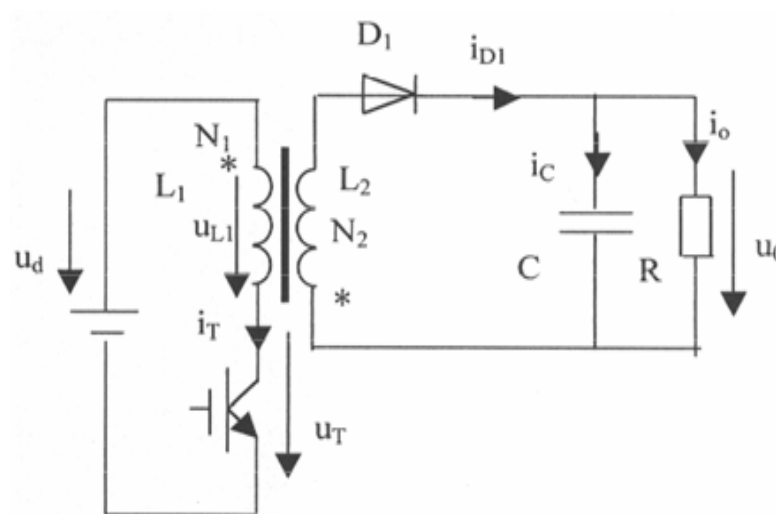


三、主电路工作原理 (5) ——反激

EE OF ZJU

反激式电路工作于DCM模式时 电压增益表达式推导

思考：推导电压增益表达式M





三、主电路工作原理 (5) ——反激

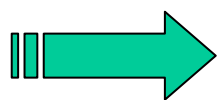
EE OF ZJU

- 电容充放电平衡:

$$\frac{U_o}{R} = I_o = \frac{1}{2} \Delta I_D \times \alpha = \frac{1}{2} \Delta I_{L2} \times \alpha$$

- 变压器副边电感方程:

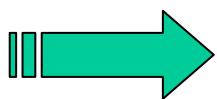
$$L \frac{\Delta I_{L2}}{\alpha T_s} = U_o$$



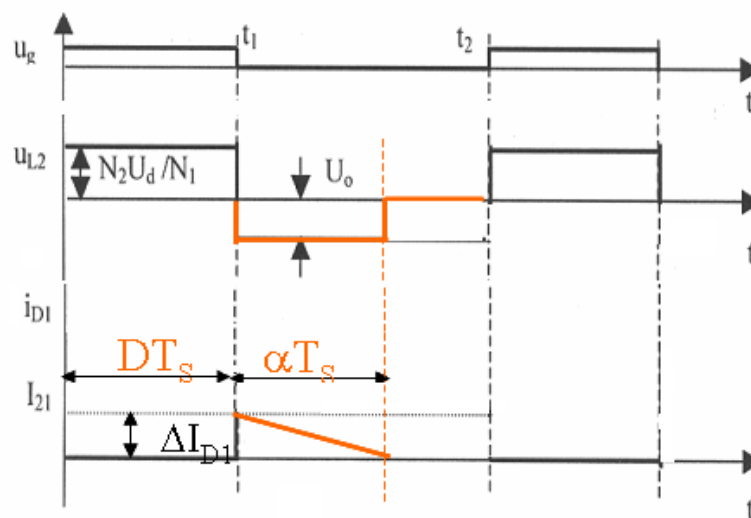
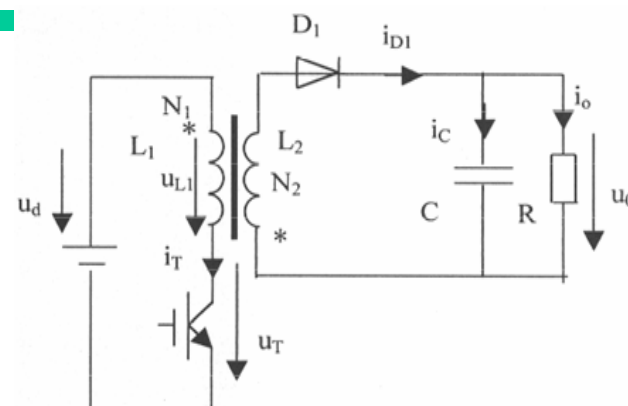
$$\alpha^2 = \frac{2L}{RT_s}$$

- 变压器伏秒平衡:

$$\frac{N_2}{N_1} U_i D T_s = U_o \alpha T_s$$



$$M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{N_2}{N_1} \frac{D}{\alpha} = \frac{N_2}{N_1} \sqrt{\frac{D^2 2L}{RT_s}} = \frac{N_2}{N_1} \sqrt{\frac{1}{K}}, \text{ 其中 } K = \frac{RT_s}{D^2 2L}$$

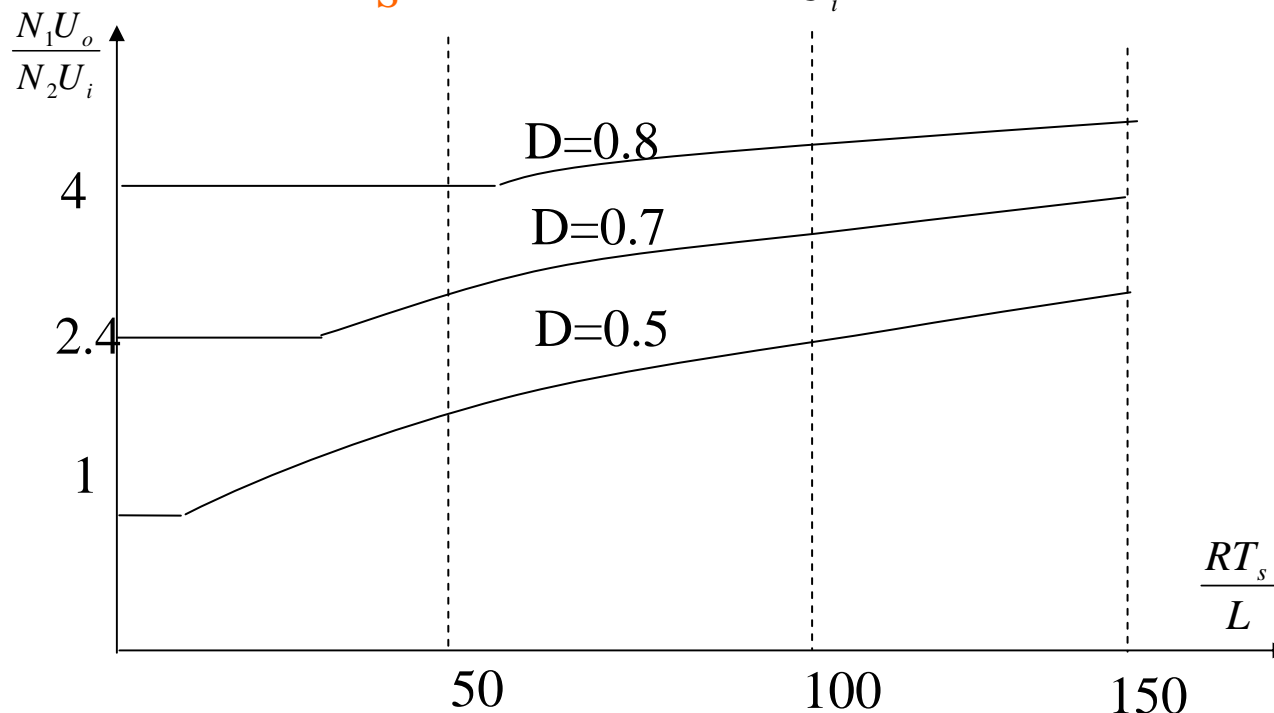




三、主电路工作原理（5）——反激

EE OF ZJU

将负载 R 按照 L/T_s 进行归一化后 $\frac{U_o}{U_i}$ 与负载 R 之间的关系



可见：反激式在 DCM 模式时，输出电压随着负载减小而增加，当负载为零即输出开路时，输出电压趋于无穷大，将损坏电路中的元器件，因此反激式电

路不能工作于开路状态。



三、主电路工作原理（5）——反激

EE OF ZJU

※反激式变压器的间歇振荡问题

当电网电压升到一定值而又很大的情况下，欲维持输出电压恒定，则脉宽调制器会使脉宽减少到某一极限值时，不能再减小了，只能以最小导通比运行，但由于导通时所储存的能量没有释放回路，就有可能出现：**有的振荡周期没有PWM脉冲输出，开关管不导通，有的振荡周期就很宽，变成了作周期性或非周期性的间歇振荡器**，这时输出电压不稳，纹波大，**变压器发出刺耳的哨叫声**。克服这一问题的办法之一，也是最安全和可靠的办法是在副边绕组中加一固定负载电阻（假负载），以防负载开路，这样电网电压最高时，即使真负载开路了，由于有固定的假负载，脉宽保证有一最小的宽度而不致于出现间歇振荡现象。最小的脉宽是由控制电路振荡器的**最小导通比**决定的。



三、主电路工作原理（5）——反激

EE OF ZJU

➤ 反激式电路工作于DCM工作模式时的特点

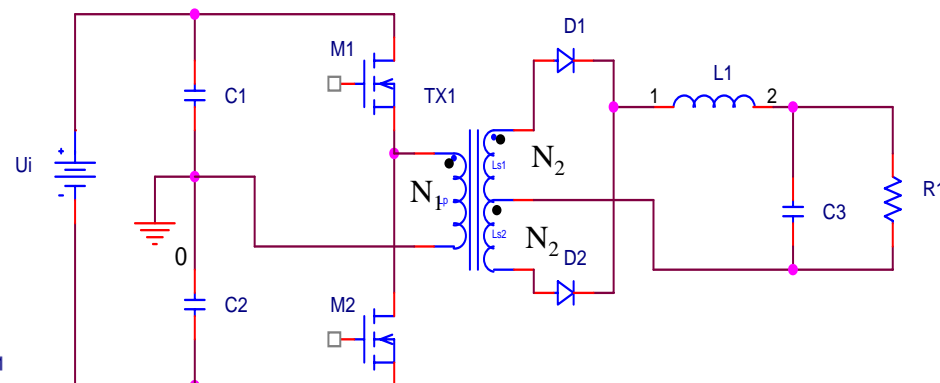
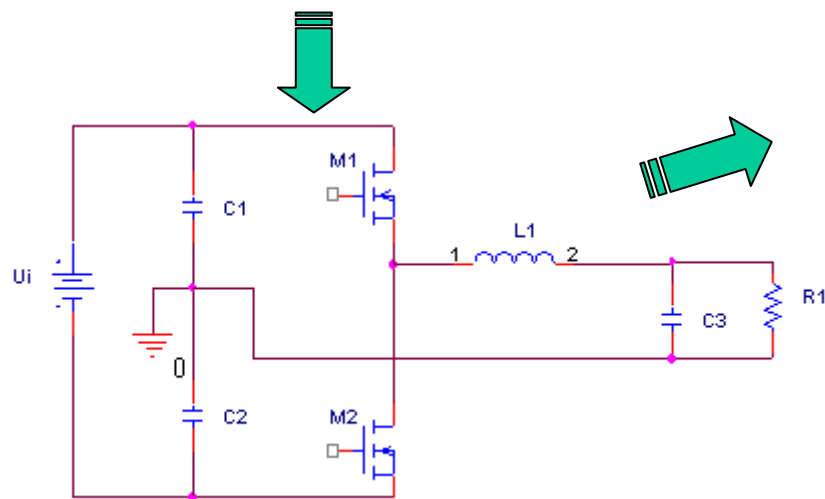
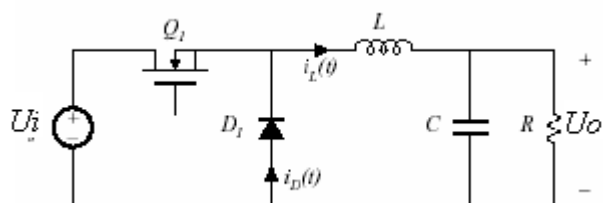
- 反激式电路中的变压器相当于多个绕组的耦合电感，在输入和输出绕组中不会同时有电流流过，不存在磁动势相互抵消的可能，因此变压器中磁心的磁通密度取决于绕组中电流的大小。
- 反激式电路工作于DCM时，相同的电压和 T_{on} 的情况下， ΔB 比较大，因此匝数可以少，磁心尺寸可以降低，磁心的利用率可以增加。
- 应用于功率为200瓦以下的场合。



三、主电路工作原理（6）——半桥

EE OF ZJU

➤ 半桥型电路



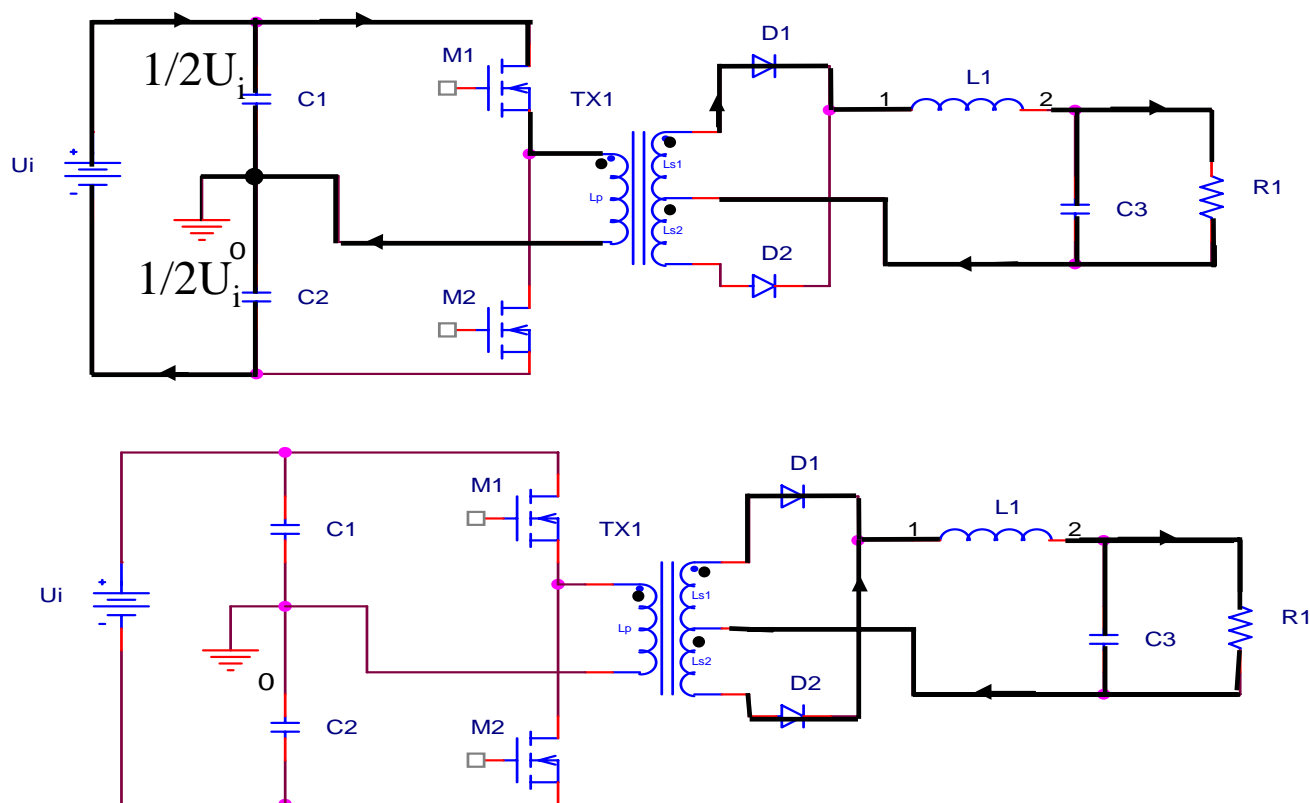
半桥电路既可以构成DC-AC电路，
又可以构成DC-DC电路。



三、主电路工作原理（6）——半桥

EE OF ZJU

➤ CCM工作模式时的等效电路



CCM工作模式下的输入输出关系为：
$$M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{1}{2} \frac{N_2}{N_1} D$$

2010-7-12

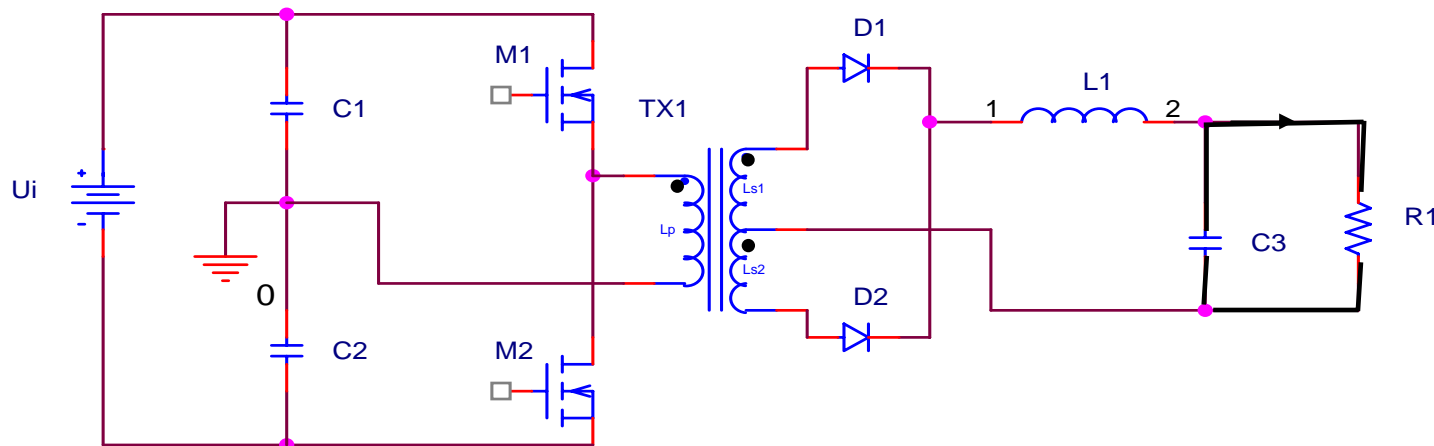
39



三、主电路工作原理（6）——半桥

EE OF ZJU

➤ DCM工作模式时第三个等效电路



DCM工作模式下的电压增益M为：
$$M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{1}{2} \frac{N_2}{N_1} \frac{\sqrt{1+4K}-1}{2K},$$

$$K = \frac{4L_1}{D^2 R T_s} \quad \text{空载时:} \quad M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{N_2}{2N_1}$$

请自己根据参考书推导。



三、主电路工作原理（6）——半桥



➤ 半桥电路的工作特点

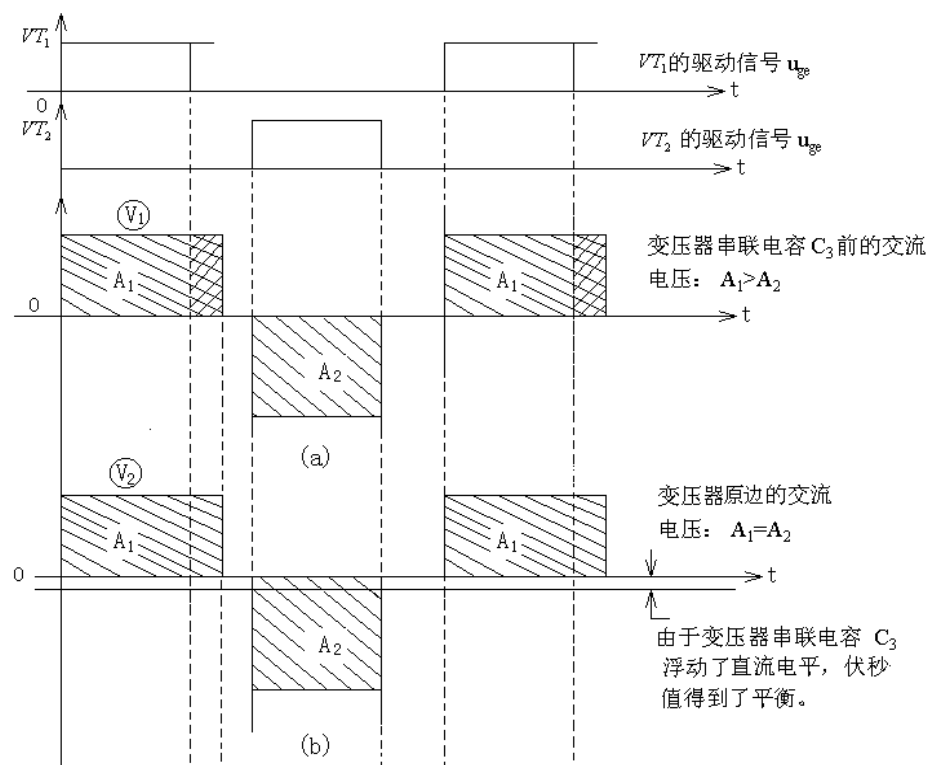
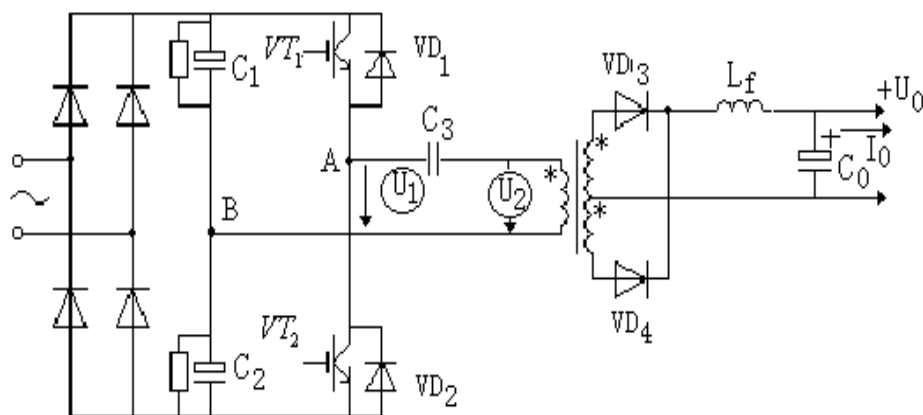
1. 两管交替导通，改变占空比调节输出电压大小。
2. 由于电容C1和C2的隔直作用，该电路不易发生变压器偏磁和直流磁饱和作用。
3. 半桥电路的开关管关断时承受的电压为电源电压值 U_i 。由于开关管导通时，变压器原边电压只有电源电压的一半，因此管子的电流等级要大一些。
4. 为了避免两只开关管同时导通引起电路短路，必须遵循先关后开的原则。
5. 半桥电路中的变压器的利用率高，元件数量少，广泛应用于数百瓦到几千瓦场合。



三、主电路工作原理（6）——半桥

EE OF ZJU

但是为了让电路工作更加可靠的避免变压器偏磁，可以采取串联电容的方式：



串联电容半桥式变换器原理电路

(a) 串联电容前交流电压，斜格面积表示 A_1 、 A_2 的伏秒值不平衡波形

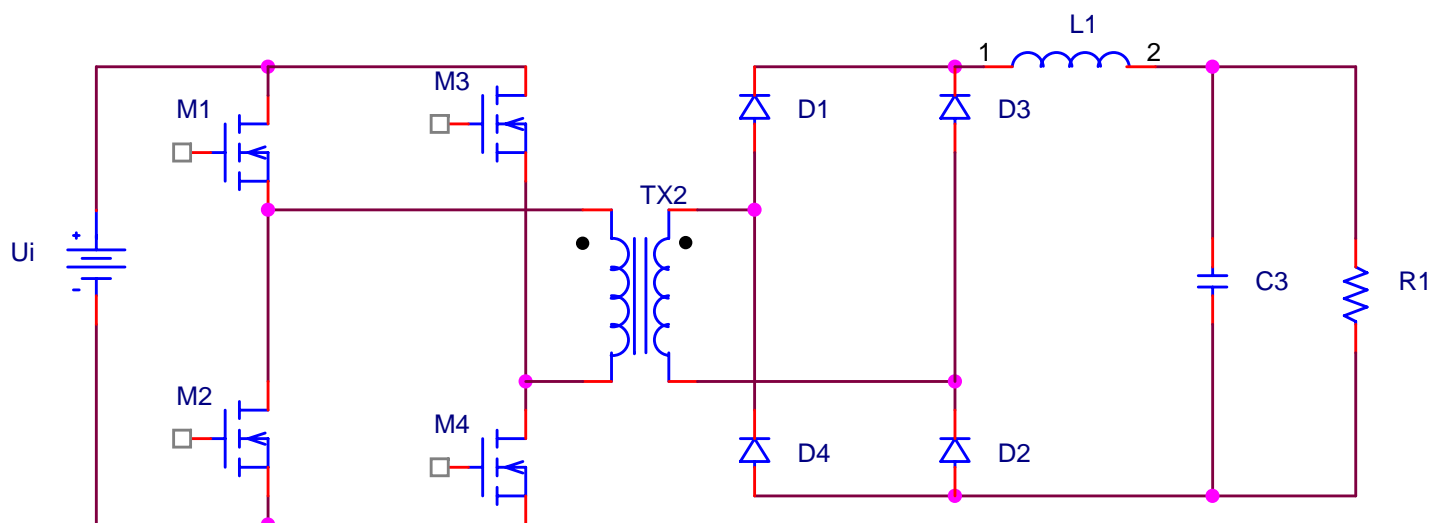
(b) 串联电容、变压器原边的伏秒值得到了平衡
图b变压器原边串联电容后的工作波形



三、主电路工作原理 (7) ——全桥

EE OF ZJU

➤ 全桥型电路

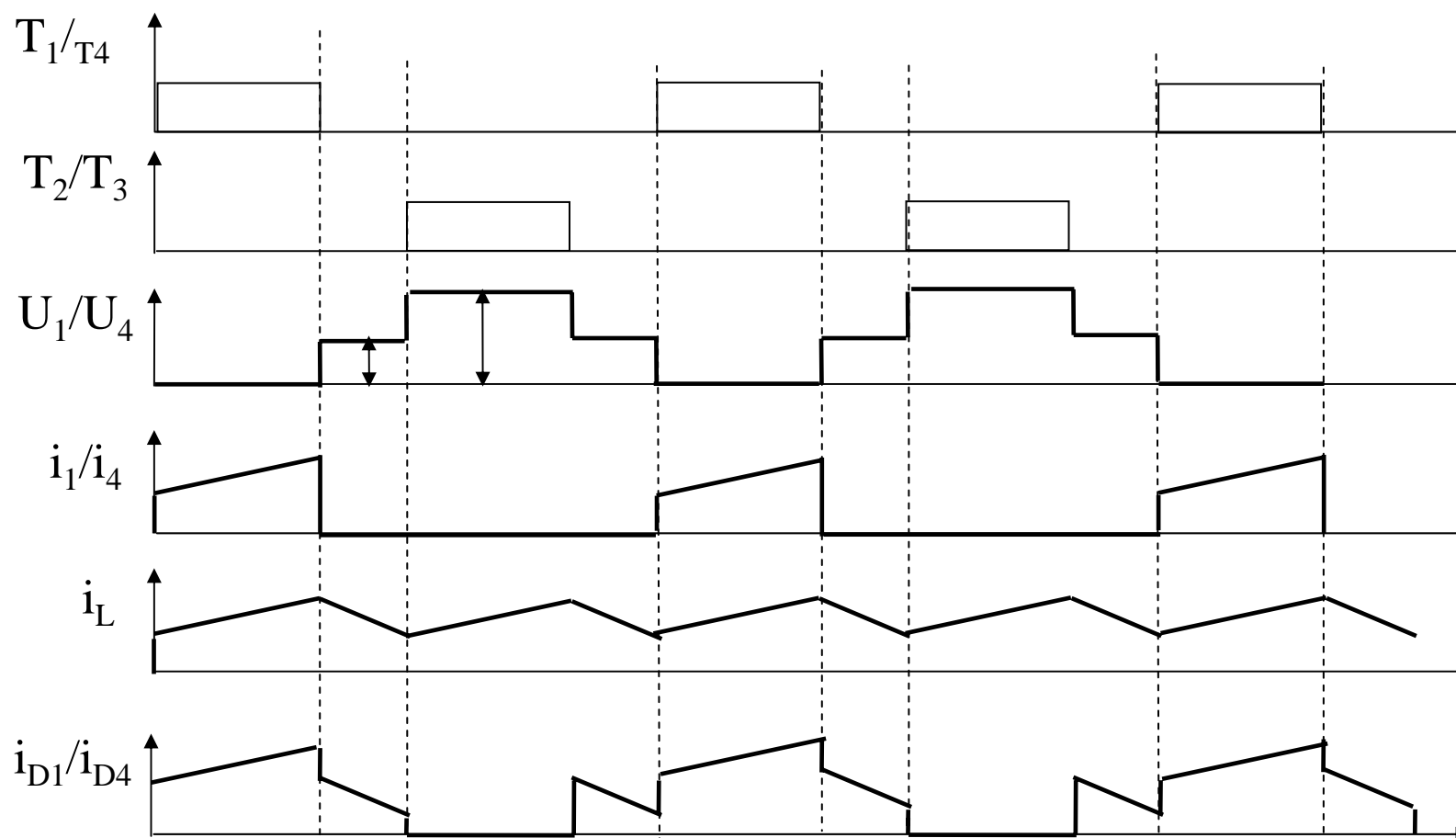


全桥电路既可以构成DC-AC电路，又可以构成DC-DC电路。



三、主电路工作原理 (7) ——全桥

EE OF ZJU

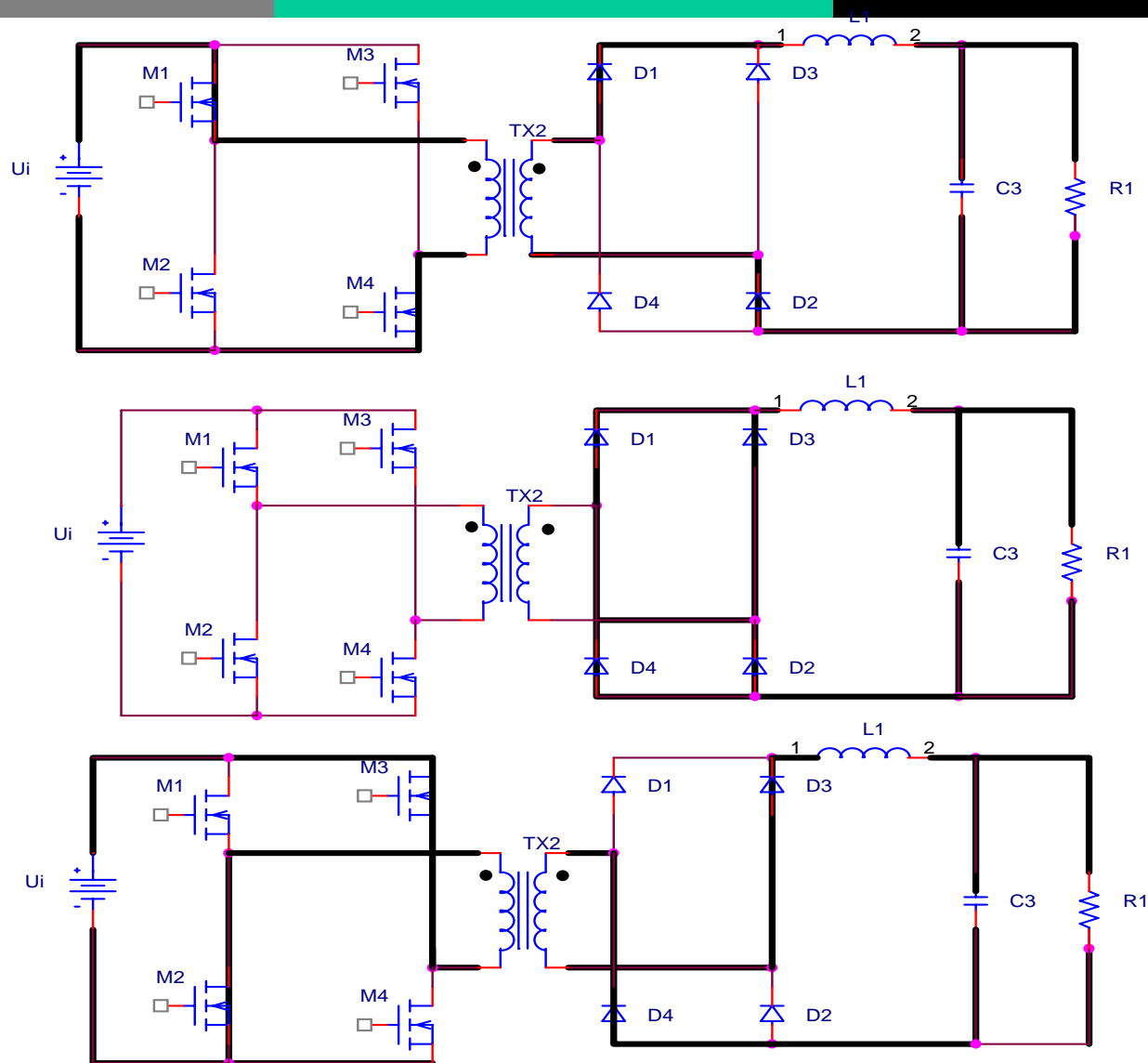


CCM工作模式时的各点波形



三、主电路工作原理（7）——全桥

EE OF ZJU





三、主电路工作原理（7）——全桥



CCM工作模式时的电压增益M为：

$$M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{N_2}{N_1} D$$

DCM工作模式时的电压增益M为：

$$M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{N_2}{N_1} \frac{\sqrt{1+4K}-1}{2K}, K = \frac{4L_1}{D^2 R T_s}$$

电感电流断续时，输出电压将随着负载电流减小而升高，在空载的极限情况下，

$$M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{N_2}{N_1} U_i$$



三、主电路工作原理（7）——全桥

EE OF ZJU

➤ 全桥型电路的工作特点

1. 在相同电压和电流容量的开关器件时，全桥型电路可以达到最大功率，因此全桥型电路**常用于大功率的电源**中。

其中采用**移相软开关技术**的全桥电路结构简单，效率高，得到比较广泛的应用。

2. 由于四个开关管导通时间不对称，因此变压器原边的交流电压中含有直流分量，会在变压器的一次电流中产生很大的直流成分，并**可能造成磁饱和**，因此在全桥型电路中要注意避免直流分量的产生。简单的办法就是在变压器一次回路中串一个电容，以阻断直流电流。

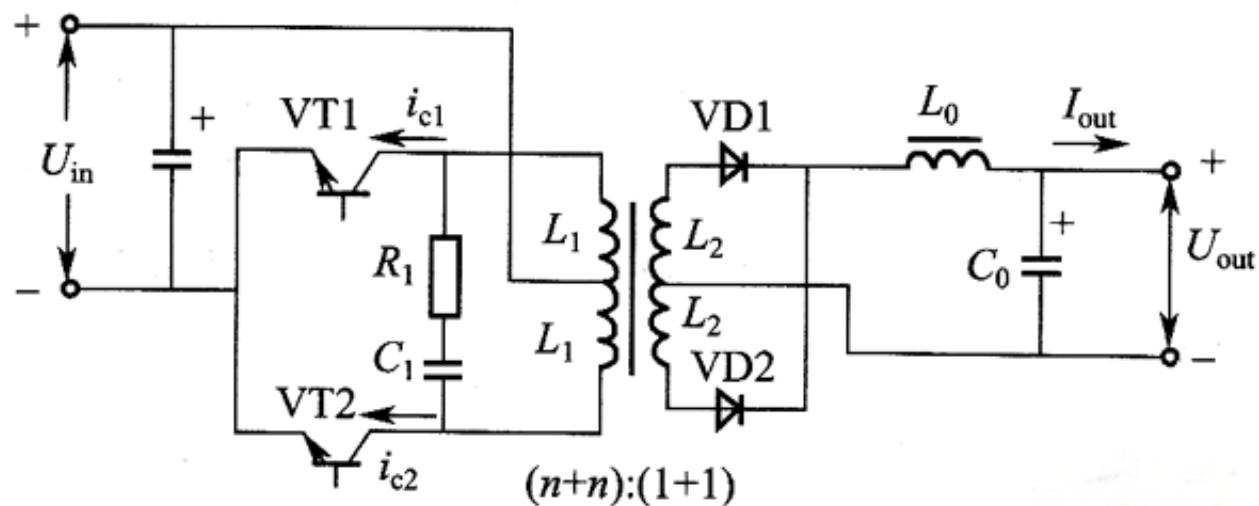
3. 为了避免两只开关管同时导通引起电路短路，必须遵循**先关后开的原则**。



三、主电路工作原理（7）——推挽

EE OF ZJU

➤ 推挽式电路（自学）





三、主电路工作原理（8）——整流

EE OF ZJU

➤ 整流电路

常用整流电路分类：

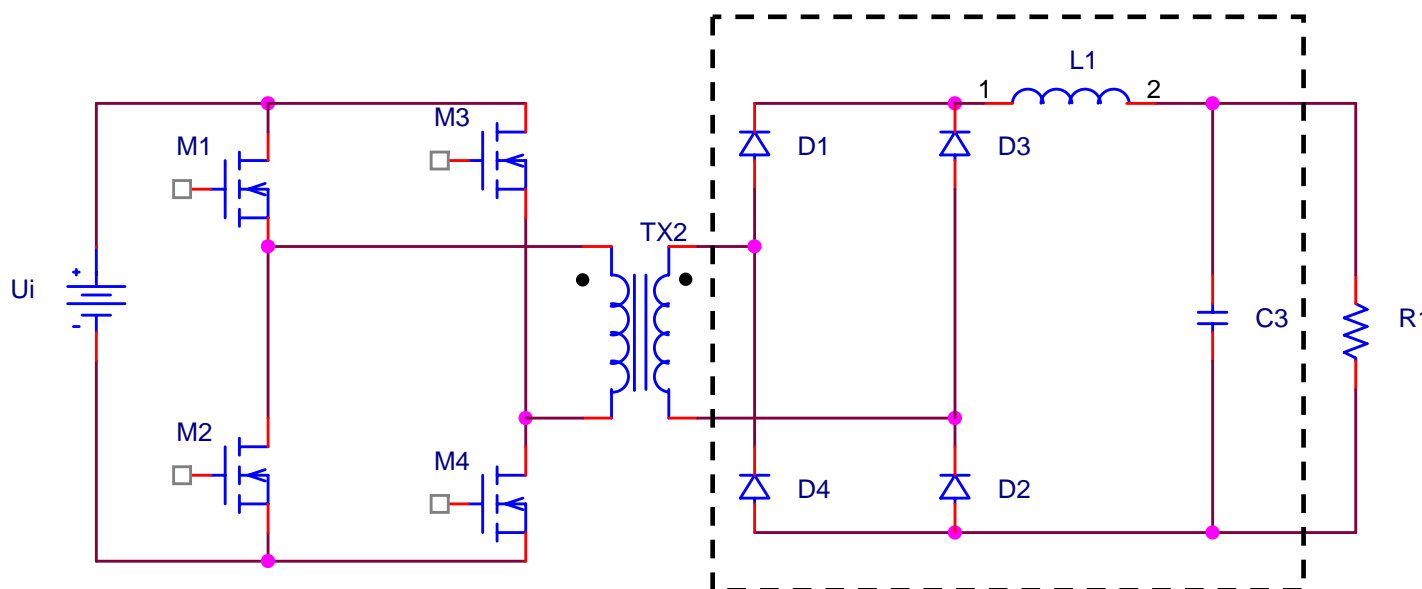
1. 桥式整流电路
2. 全波整流电路
3. 倍流整流电路
4. 同步整流技术



三、主电路工作原理（8）——桥式整流

EE OF ZJU

➤ 桥式整流电路 (输出电压高时采用, >100V)



图示各二极管承受的断态电压 U_D 以及二极管的平均电流 I_D 为:

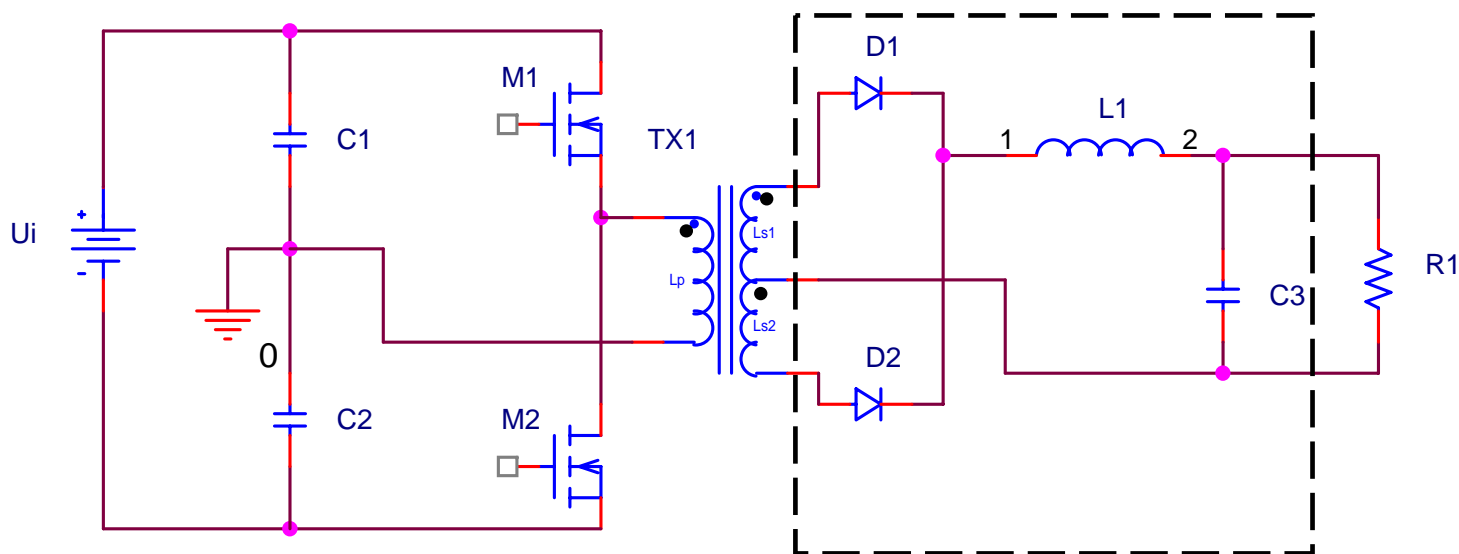
$$U_R = \frac{N_2}{N_1} U_i \quad I_D = \frac{I_{L1}}{2}$$

CCM工作模式时各二极管承受的反向电压 U_D 为: $U_R = \frac{U_o}{D}$



三、主电路工作原理（8）——全波整流

➤ 全波整流电路（输出电压5~100V时采用,安全因素不采用）



图示各二极管承受的断态电压 U_D 以及二极管的平均电流 I_D 为：

$$U_R = -\frac{N_2}{N_1} U_i \quad I_D = \frac{I_{L1}}{2}$$

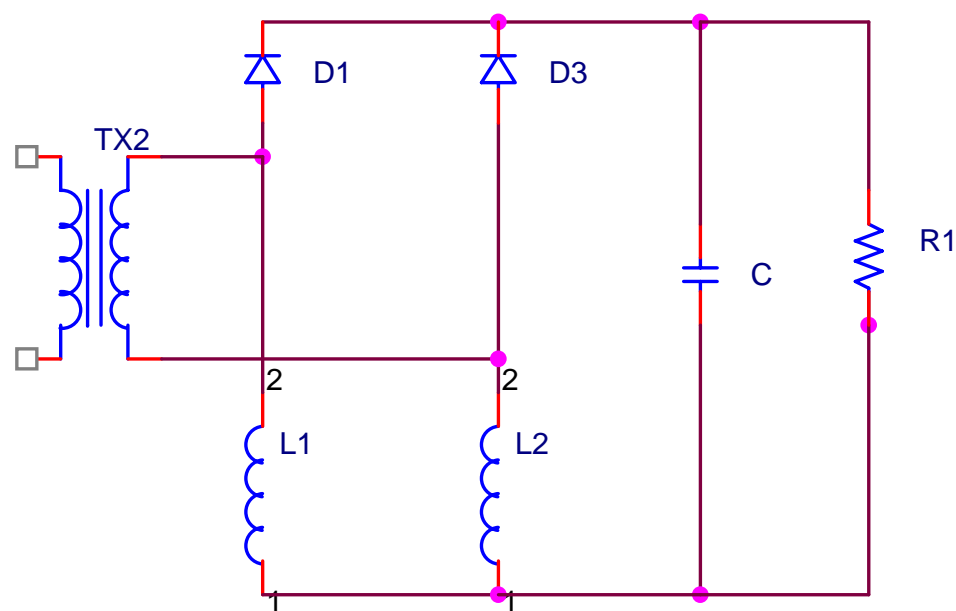
CCM工作模式时各二极管承受的断态电压 U_D 为： $U_R = -\frac{2U_o}{D}$



三、主电路工作原理（8）——倍流整流

EEQFZJU

➤ 倍流整流电路 (输出二次侧匝数小于1匝)



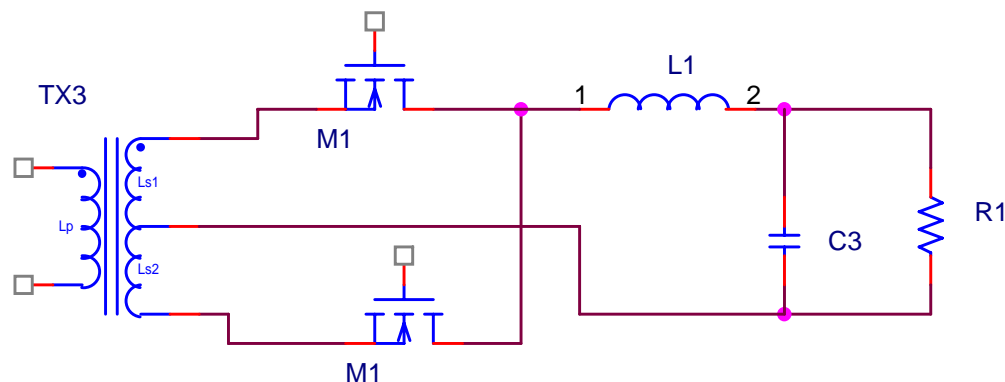
倍流整流电路



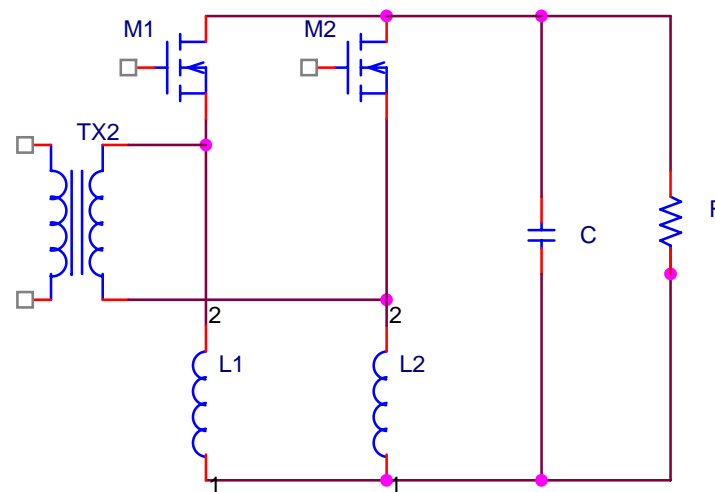
三、主电路工作原理（8）——同步整流

EEQFZJU

➤ 同步整流电路 (输出电压 $<12\text{V}$ 时采用)



同步整流电路





四、电力电子器件

- 二极管
- 功率MOSFET
- 绝缘栅双极型晶体管IGBT



四、电力电子器件——二极管

EE OF ZJU

➤ 反向恢复时间





四、电力电子器件——二极管

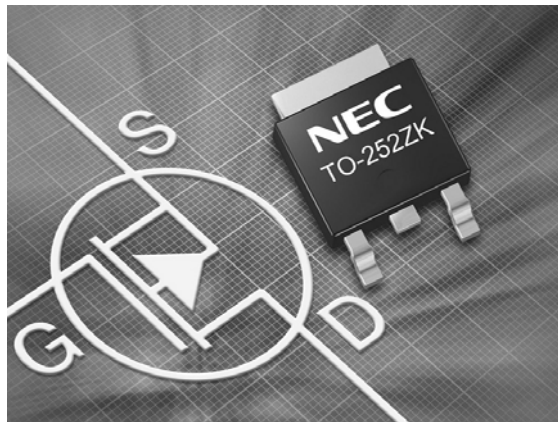
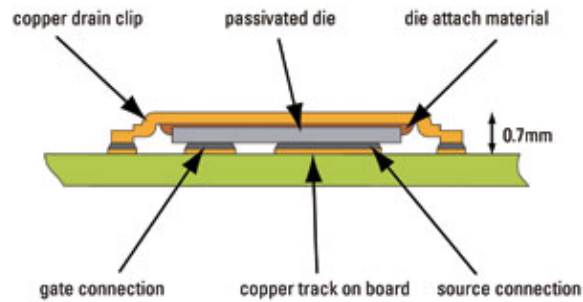


- 整流二极管，与频率相关。
- 反向恢复，
 - 二极管正向导通后，在很短一段时间内能够流过反向电流。
 - 传统的二极管的反向恢复时间有 $1\mu\text{s}$ 。
- 肖特基二极管
 - 正向导通压降小
 - 而且没有反向恢复时间
 - 阳极和阴极直接的电容较大
- 越快越好吗？
 - 通常情况是这样的。
 - 但对于传统的工频整流器，频率为 50Hz ，不必在意 $1\mu\text{s}$ 左右的反向恢复时间



四、电力电子器件——功率MOSFET

EE OF ZJU





四、电力电子器件——功率MOSFET

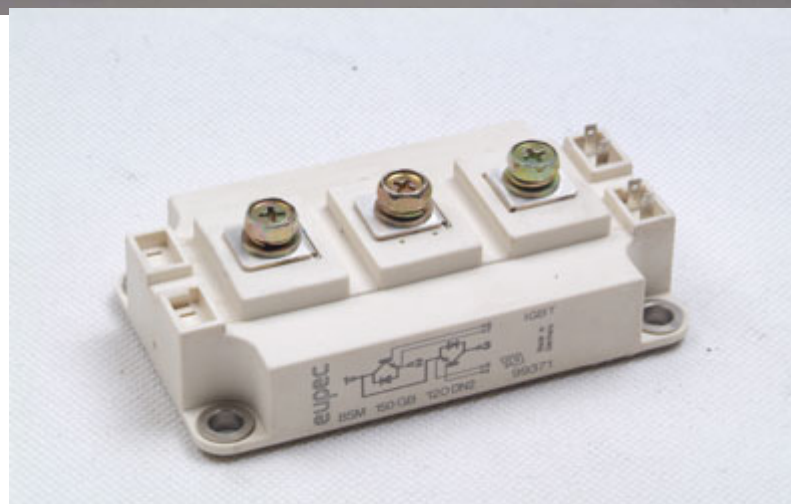
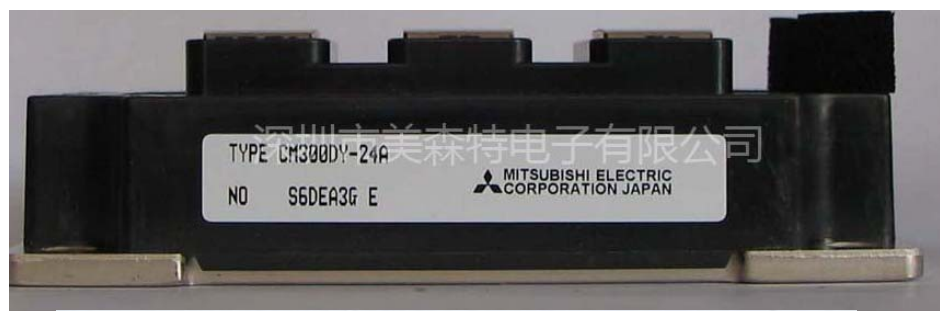
EE OF ZJU

- P沟道和N沟道
 - 没有特别说明都是N沟道
- 双向导通
 - 不考虑反向二极管，只要门极有电压，MOS管双向导通
- 损耗
 - 导通损耗，门极充电损耗，开关损耗
- 需要门极电阻
- 最大门极电压
 - 不能超过20V，常用低于15V。



四、电力电子器件——IGBT

EE OF ZJU





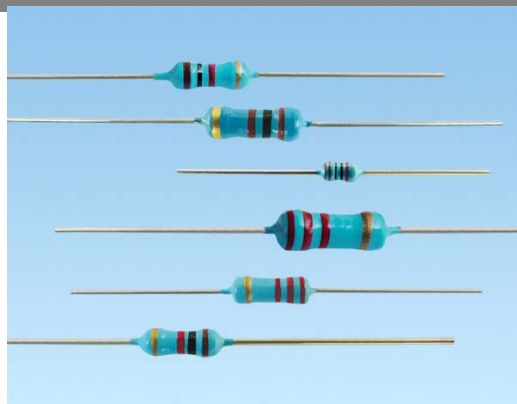
五、无源器件

- 电阻
- 电容
- 磁芯
 - 电感
 - 变压器

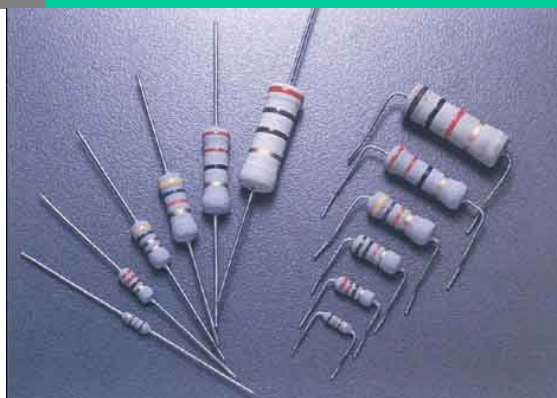


电阻 (1)

EE OF ZJU



金属膜电阻



金属膜电阻



贴片电阻



水泥电阻

2010-7-12



精密电阻



绕线电阻



电阻 (2)

EE OF ZJU

数值的读取方法

颜色	每一段	第二段	第三段	乘数	误差
黑色	0	0	0	1	
棕色	1	1	1	10	$\pm 1\%$ F
红色	2	2	2	100	$\pm 2\%$ G
橙色	3	3	3	1K	
黄色	4	4	4	10K	
绿色	5	5	5	100K	$\pm 0.5\%$ D
蓝色	6	6	6	1M	$\pm 0.25\%$ C
紫色	7	7	7	10M	$\pm 0.10\%$ B
灰色	8	8	8		$\pm 0.05\%$ A
白色	9	9	9		
金色				0.1	$\pm 5\%$ J
银色				0.01	$\pm 10\%$ K
无					$\pm 20\%$ M

矿石收音机
www.crystalradio.cn

2010-7-12



电阻 (3)



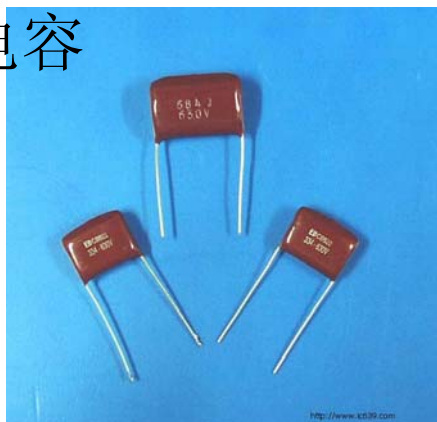
- 电阻的类型：金属膜，绕线等。
- 容差：通常1%
- 选择电阻比例：不一定要用到很准确的电阻，有准确的比例就可以了。
- 最大电压：通常电阻都有最大耐压值
- 温度系数：通常温度变化时，电阻值变换非常大。
- 额定功率：电阻要消耗功率
- 无感绕线电阻：特殊绕线方式，几乎没有电感
- 分流器：电阻非常小，比如100A，100mV的电阻



五、无源器件——电容

EE OF ZJU

CBB电容



贴片陶瓷电容



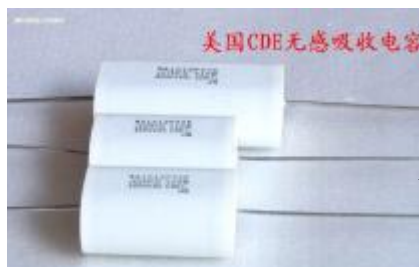
铝电解电容



薄膜电容



薄膜无感电容



高压瓷片电容



钽电容



安规电容



供应校正电容

广东华裕电子有限公司



电容的特征

EE OF ZJU

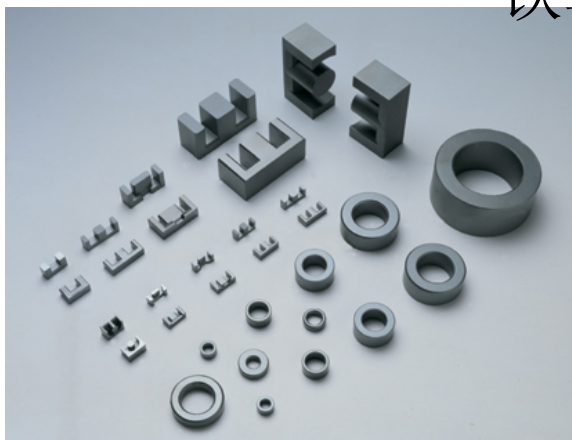
- **电容的种类**：铝电解电容，钽电容，陶瓷电容，薄膜电容
- **标准值**：与电阻不同，电容只有很少的标准值。
- **容差**：典型值20%，电解电容更差
- **ESR（等效串联电阻）**：电解电容的ESR很大，一般高频情况下不能使用。
- **老化**：所谓的电源寿命：1000h，实际就是指电解电容的寿命。
- **dV/dt** ：加在电容上的 dV/dt 是有限制的。
- **电容的串联**：需要均压



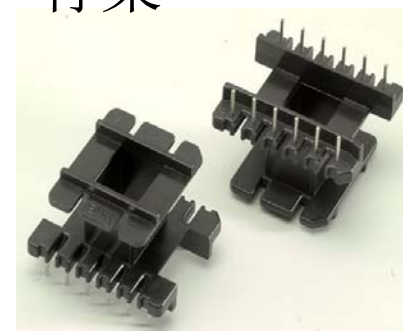
五、无源器件——磁芯

EE OF ZJU

铁氧体



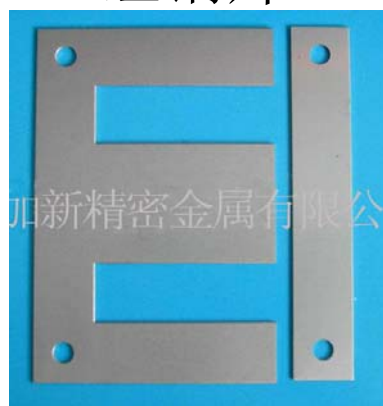
骨架



铁粉芯



硅钢片



非晶合金

铁硅铝



2010-



五、无源器件——变压器

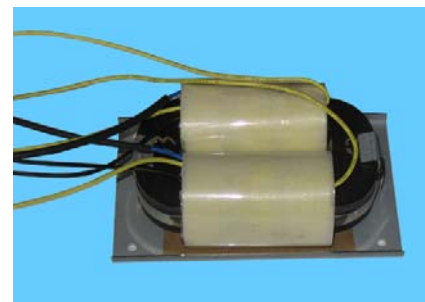
EE OF ZJU



电力变压器



工频变压器



工频变压器



高频变压器

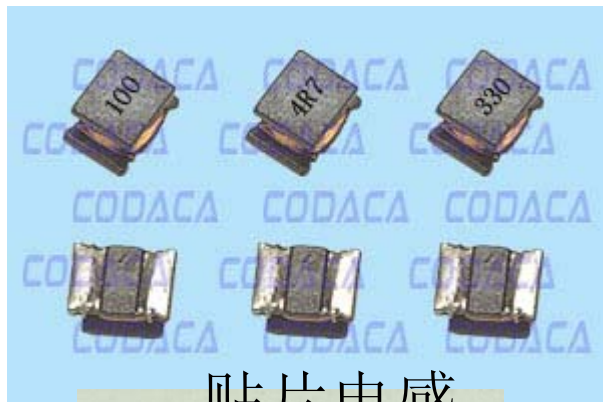


环形变压器



五、无源器件——电感

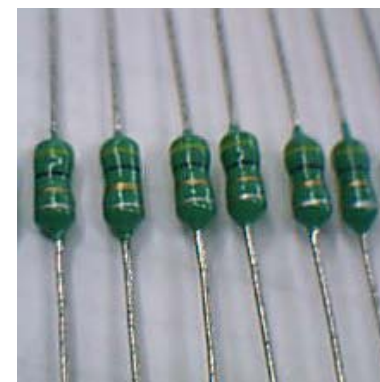
EE OF ZJU



贴片电感



www.chinacoil.com



2010-7-12



END