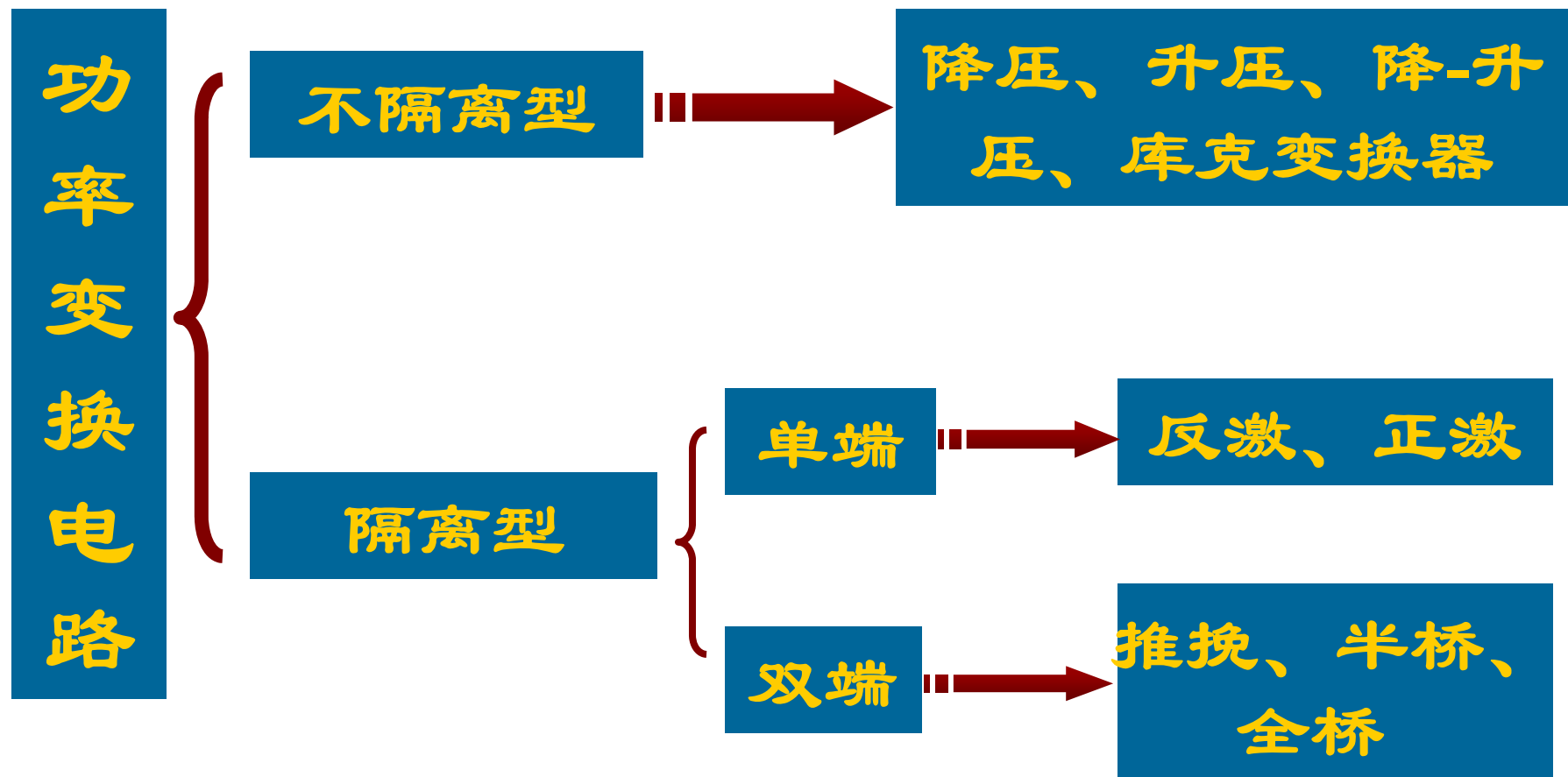


第八章正激和推挽变换器



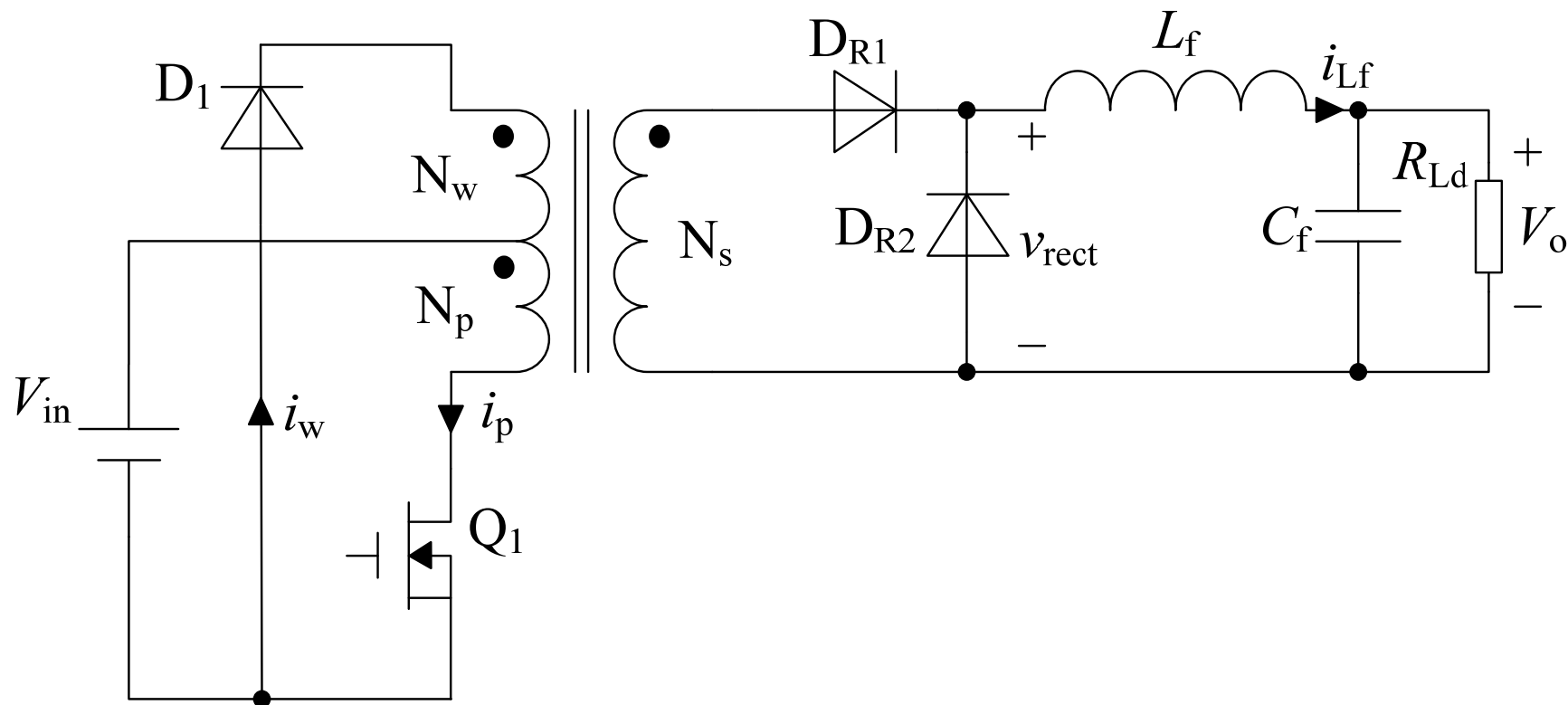
第八章正激和推挽变换器

8.1 正激变换器拓扑(Forward Converter Topology)

8.2 双管单端正激变换器拓扑(Doubled-Ended)

8.3 推挽拓扑(Push-Pull Topology)

8.1 正激变换器

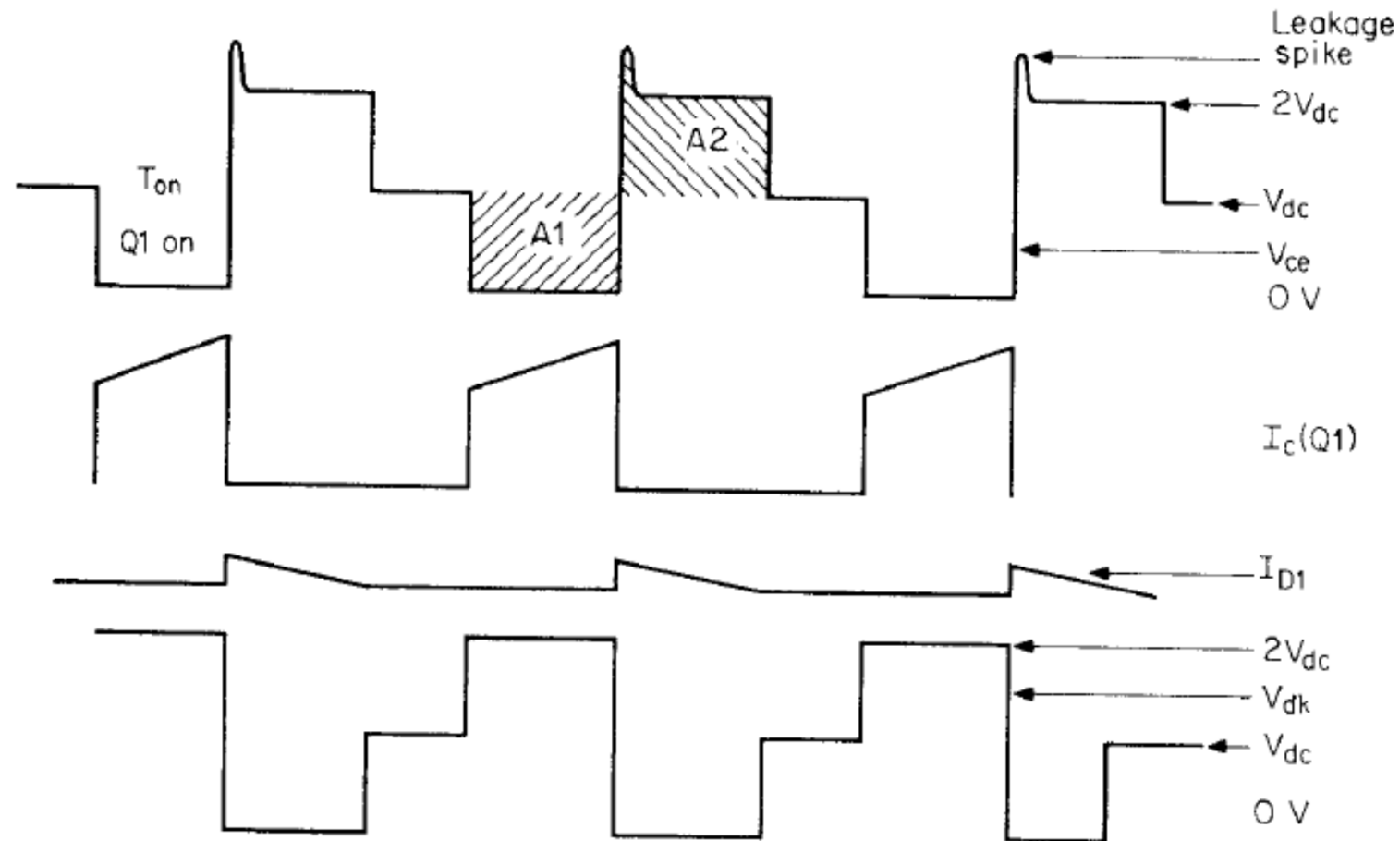


工作原理：（1）导通
（2）关断

为什么称为正激变换器？

能量是在开关管**Q1**导通时流入负载的

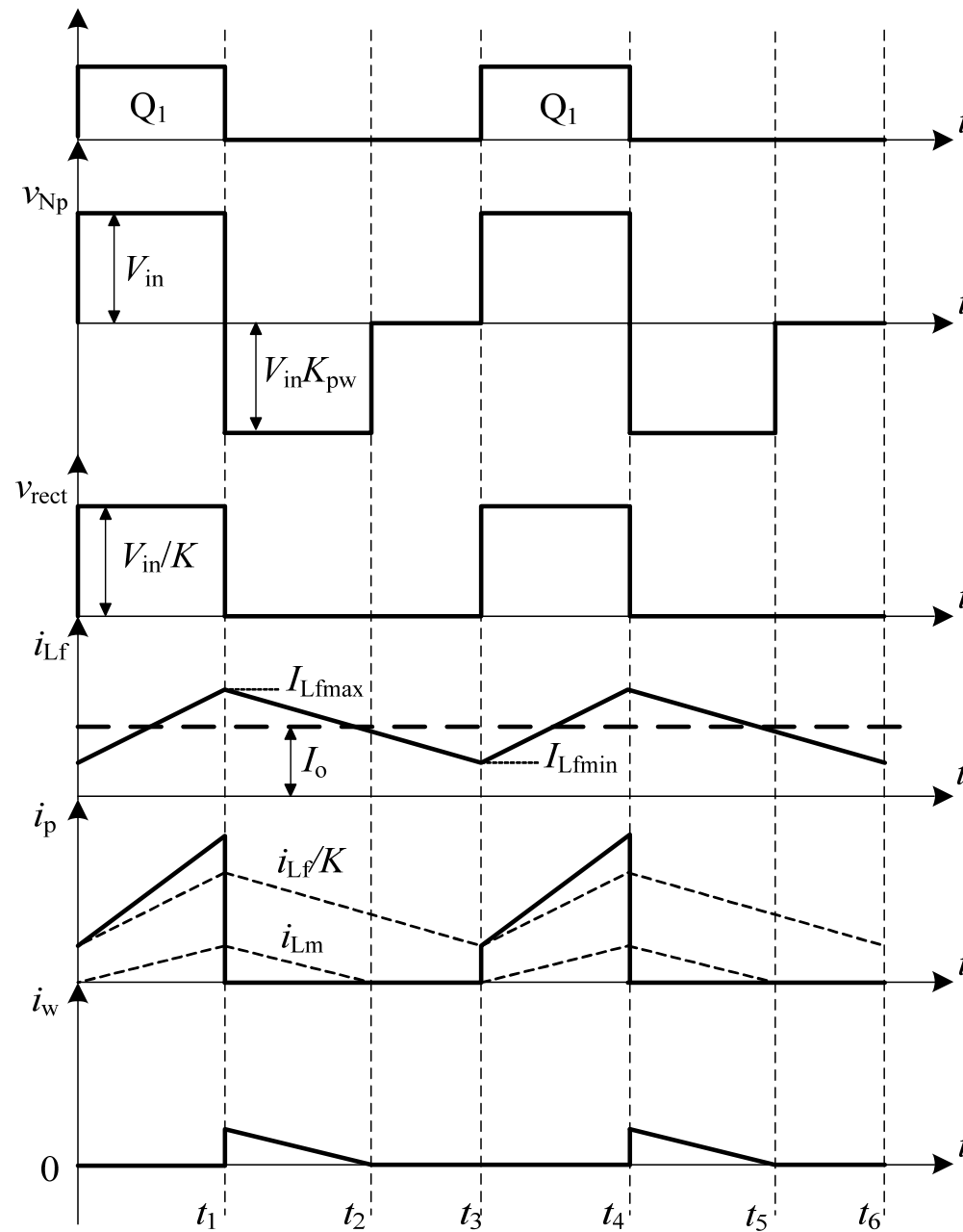
8.1 正激变换器



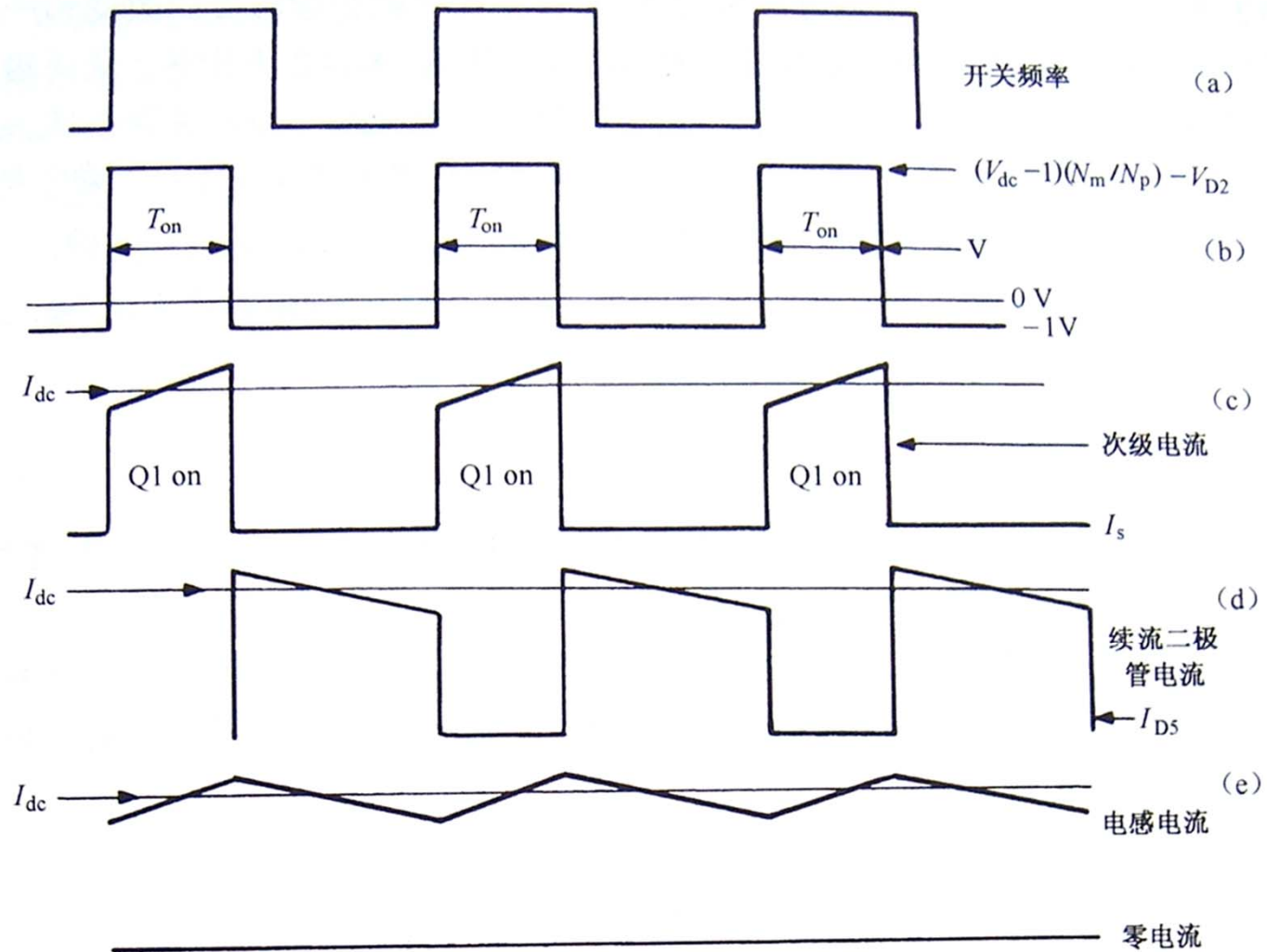
置位伏秒数面积**A1**和复位伏秒数面积**A2**相等,避免磁心进入饱和, 导致开关管损坏

$$A1 = V_{dc} T_{on}$$

8.1 正激变换器

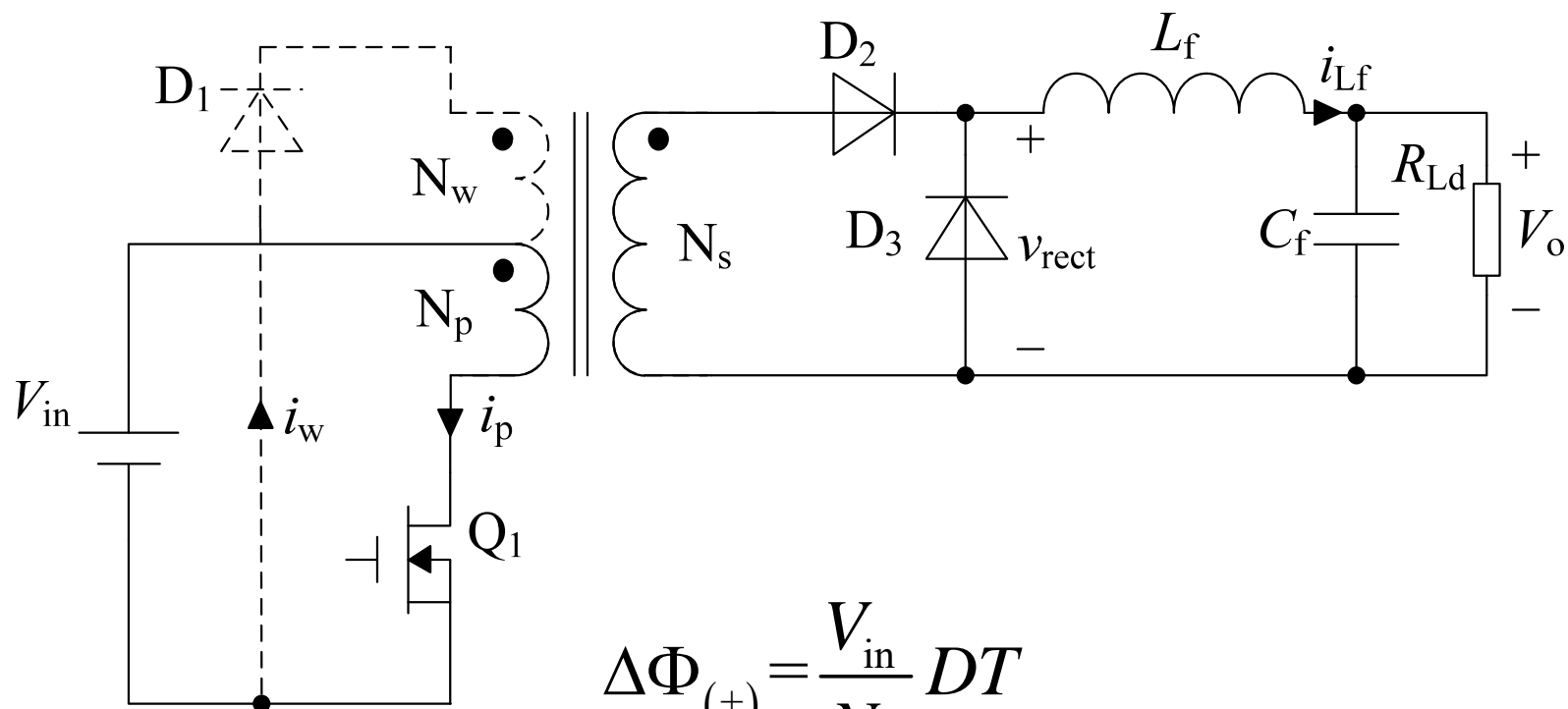


8.1 正激变换器



8.1 正激变换器

开关模态1 ($0 \leq t \leq t_1$)

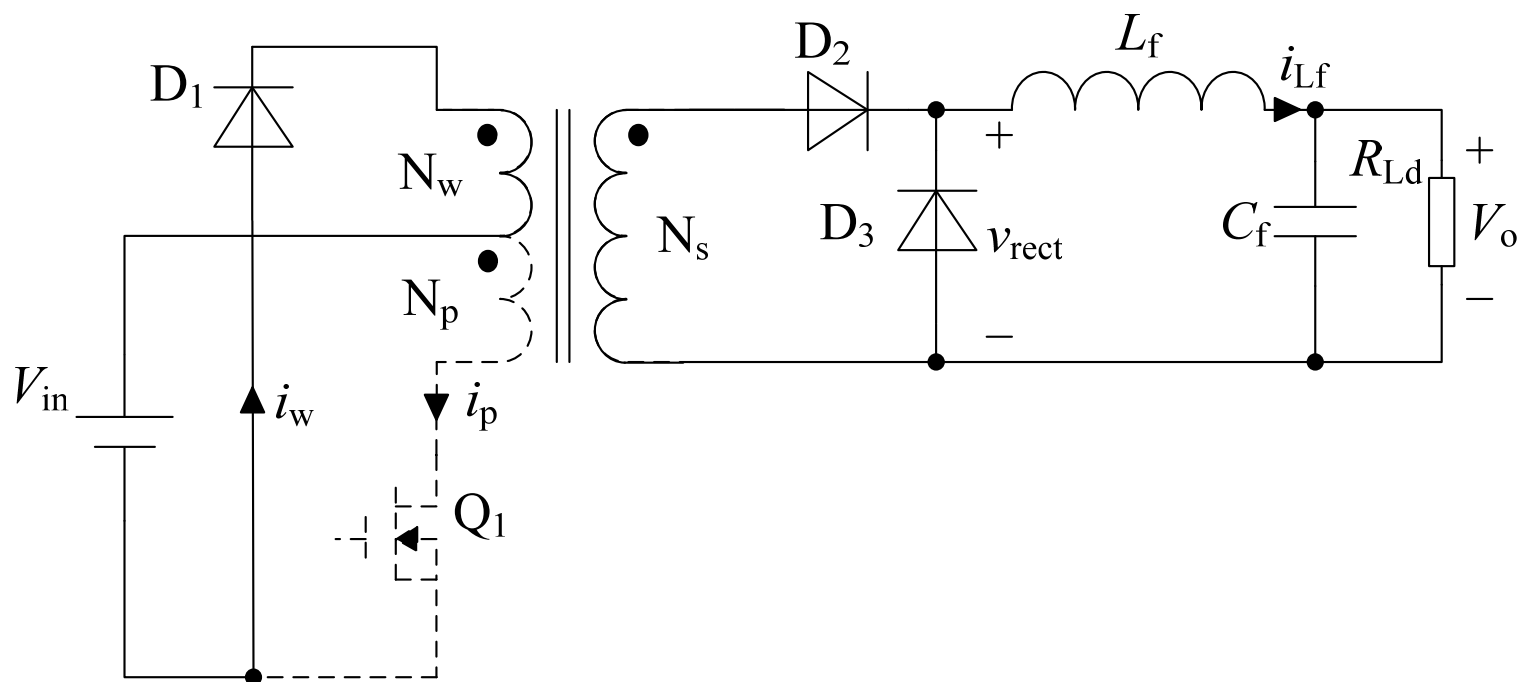


$$\Delta\Phi_{(+)} = \frac{V_{in}}{N_p} DT$$

$$v_{Ns} = \frac{N_s}{N_p} V_{in} = \frac{V_{in}}{K}$$

8.1 正激变换器

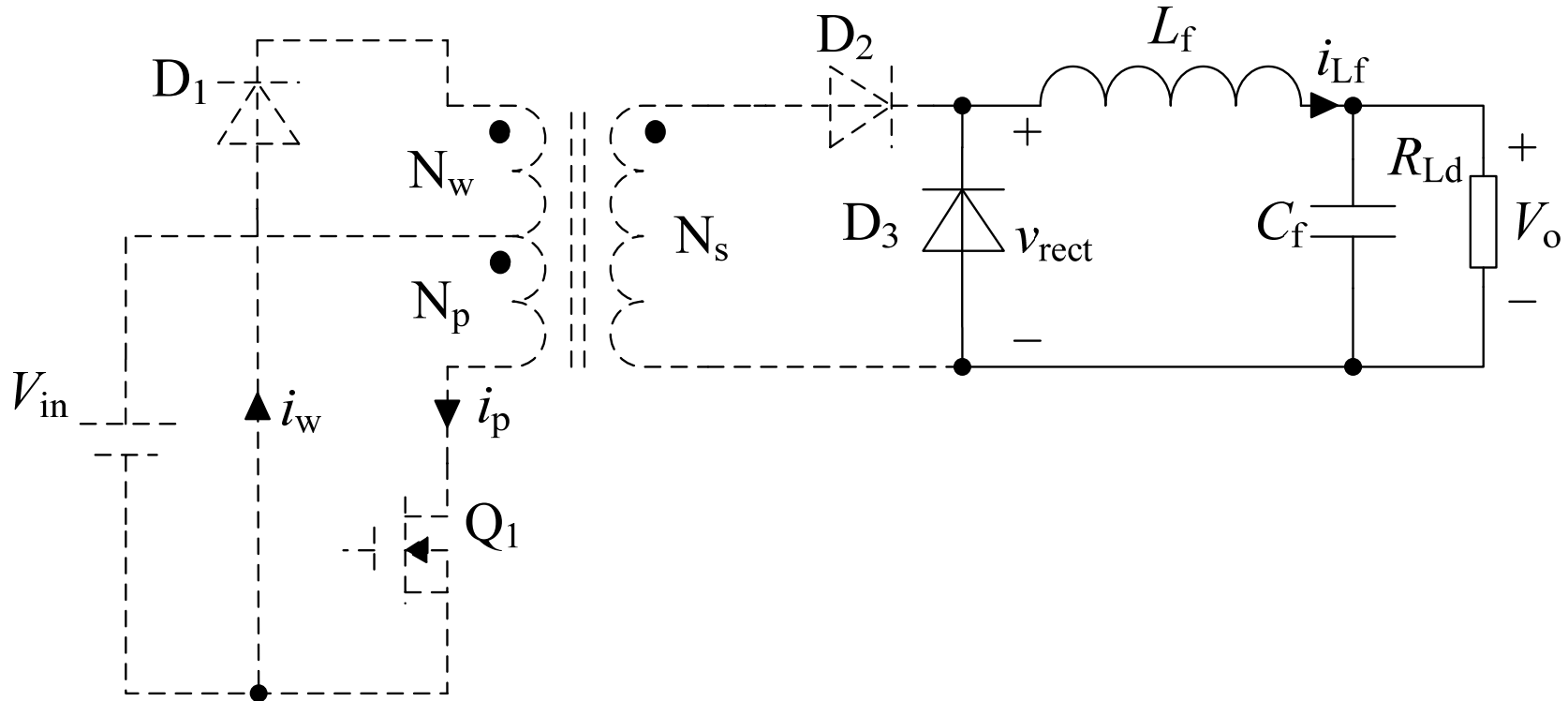
开关模式2 ($t_1 \leq t \leq t_2$)



$$\Delta\Phi_{(-)} = \frac{V_{in}}{N_w} \Delta D \cdot T$$

$$V_{Q1} = V_{in} + K_{pw} V_{in} = (1 + K_{pw}) V_{in}$$

8.1 正激变换器



$$V_o = V_{in} \frac{N_s}{N_p} D = \frac{V_{in}}{K} D$$

8.1 正激变换器

正激变换器的电磁理论

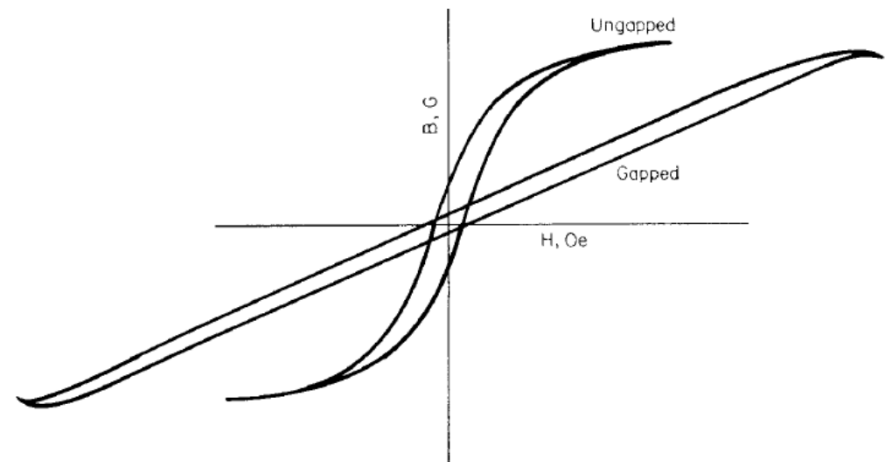
- 仅运行于第一象限

磁心在磁滞回线上约以励磁电流幅值的半值为中心（ $V_{dc}T_{on}/2L_m$ ）运行，励磁电流没有反向，只是简单地线性上升至幅值，然后再线性下降到零。

- 正激变换器的磁心气隙

气隙使磁滞回线斜率降低，使 dB/dH （磁心磁导率）降低。磁导率降低使励磁电感减小，使励磁电流（ $I_m = V_{dc}T_{on}/L_m$ ）增大，励磁电流不向负载传递功率，只用于磁心磁通沿磁滞回线移动，不应超过负载电流地10%。

- 有气隙磁心的励磁电感



8.1 正激变换器

有气隙磁心的励磁电感：

长度为 l_i 的磁心中引入长度为 l_a 的气隙，励磁电感的减小比例为：

$$\frac{L_{m \text{ (with gap)}}}{L_{m \text{ (without gap)}}} = \frac{l_i/u}{l_a + l_i/u} \quad (2.39)$$

例：国际标准磁心**Ferroxcube 783E608-3C8**，其磁路长度为**9.78cm**，有效磁导率为**2300**。如果在磁路上加**4mil (0.0102cm)**的气隙，根据式**2.39**，有

$$\begin{aligned} L_{m \text{ (with gap)}} &= \frac{9.7/2300}{0.0102 + 9.7/2300} L_{m \text{ (without gap)}} \\ &= 0.29 L_{m \text{ (without gap)}} \end{aligned}$$

8.1 正激变换器

输出电压与输入电压、导通时间和匝比的设计关系

$$V_o = V_{in} \frac{N_s}{N_p} D = \frac{V_{in}}{K} D$$

确定参数的顺序

- (1) 确定最小直流输入电压**Vdc**
- (2) 最大导通时间**Ton**设为半周期的**80%**
- (3) 根据法拉第定律确定初级匝数**Np**
- (4) 根据所需主输出电压**Vom**求解次级主绕组匝数**Ns**

4.2 正激变换器

初级电流、输出功率及输入电压之间的关系

设从直流输入到所有次级总输出功率的转换效率为80%，即 $P_o=0.8P_{in}$ 或 $P_{in}=1.25P_o$

阶梯斜坡电流等效为同样脉宽的平顶电流，其幅值为阶梯斜坡中点值 I_{pft} ，则电流平均值为 $0.4I_{pft}$ ，因此有

$$P_{in} = 1.25P_o = \underline{V_{dc}}(0.4I_{pft}) \quad \text{or} \quad I_{pft} = \frac{3.13P_o}{\underline{V_{dc}}} \quad (2.28)$$

功率开关管的最大关断电压应力

若复位绕组 N_r 的匝数与初级绕组 N_p 的匝数相等，功率开关管最大电压关断应力为最大输入电压的两倍加上漏感尖峰。

$$V_{ms} = 1.3(2\overline{V_{dc}}) \quad (2.29)$$

8.1 正激变换器

实际输入电压和输出功率限制

最大直流输入电压低于**60V**的正激变换器，其实际最大输出功率为**150~200W**，原因是较大功率输出时，初级电流幅值会太大。

例：设计一个用于通信行业的**200W**正激变换器。最小和最大输入电压分别为**38V**及**60V**，初级电流幅值和最大关断应力分别为

$$I_{pft} = 3.13 P_o / \underline{V_{dc}} = 3.13(200) / 38 = 16.5A$$

$$\overline{V_{ms}} = 2.6 \overline{V_{dc}} = 2.6 \times 60 = 156V$$

采用耐压至少为**200V**的功率器件

8.1 正激变换器

存在问题？ 用于交流输入为 $120 \times (1 \pm 10\%)$ V的离线式开关变换器时的最大应力。

交流输入最高时，整流后直流输入电压为 $1.1 * 120 * 1.41 = 186V$

减去2V的整流二极管的压降为184V

关断后的最大电压应力为 $\overline{V_{ms}} = 2.6 \times 184 = 478V$

交流输入最低时，整流后直流输入电压为 $0.9 * 120 * 1.41 - 2 = 150V$

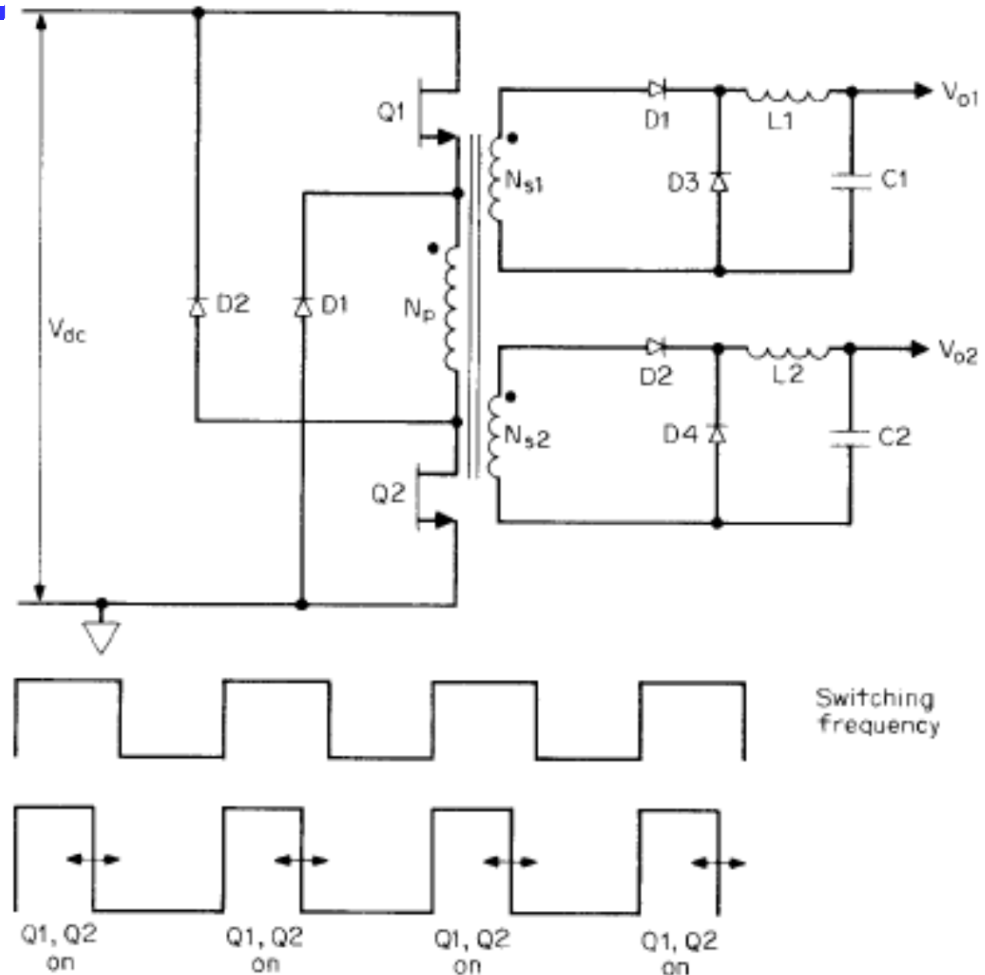
峰值电流为

$$I_{pft} = 3.13 \times 200 / 150 = 4.17A$$

考虑到**15%**的输入瞬态值，峰值关断应力为**550V**，因此管子来源应高于此值。

8.2 双管正激变换器

特点： 有两个开关管，关断时每个开关管仅承受一倍直流输入电压，而且不出现漏感尖峰，没有漏感能量消耗。



保证复位时间等于导通时间，则磁心总能复位。因为：开关管关断时， N_p 上的反向电压与导通时的正向电压相等。因此，若最大导通时间不超过半周期的**80%**，使下半周期开始前有**20%**的余量，则磁心总能成功复位。

8.2 双管正激变换器

实际输出功率限制:

单端正激变换器的功率限制是多少?

输出功率可达到**400W~500W**，且满足所需电压、电流及增益要求的廉价开关管容易买到。

一个额定交流输入为**120V**，且具有**10%**稳态误差和**±15%**的瞬态误差的双管正激变换器。

最大整流输出直流电压为 **$1.41 \times 120 \times 1.1 \times 1.15 = 214\text{V}$**

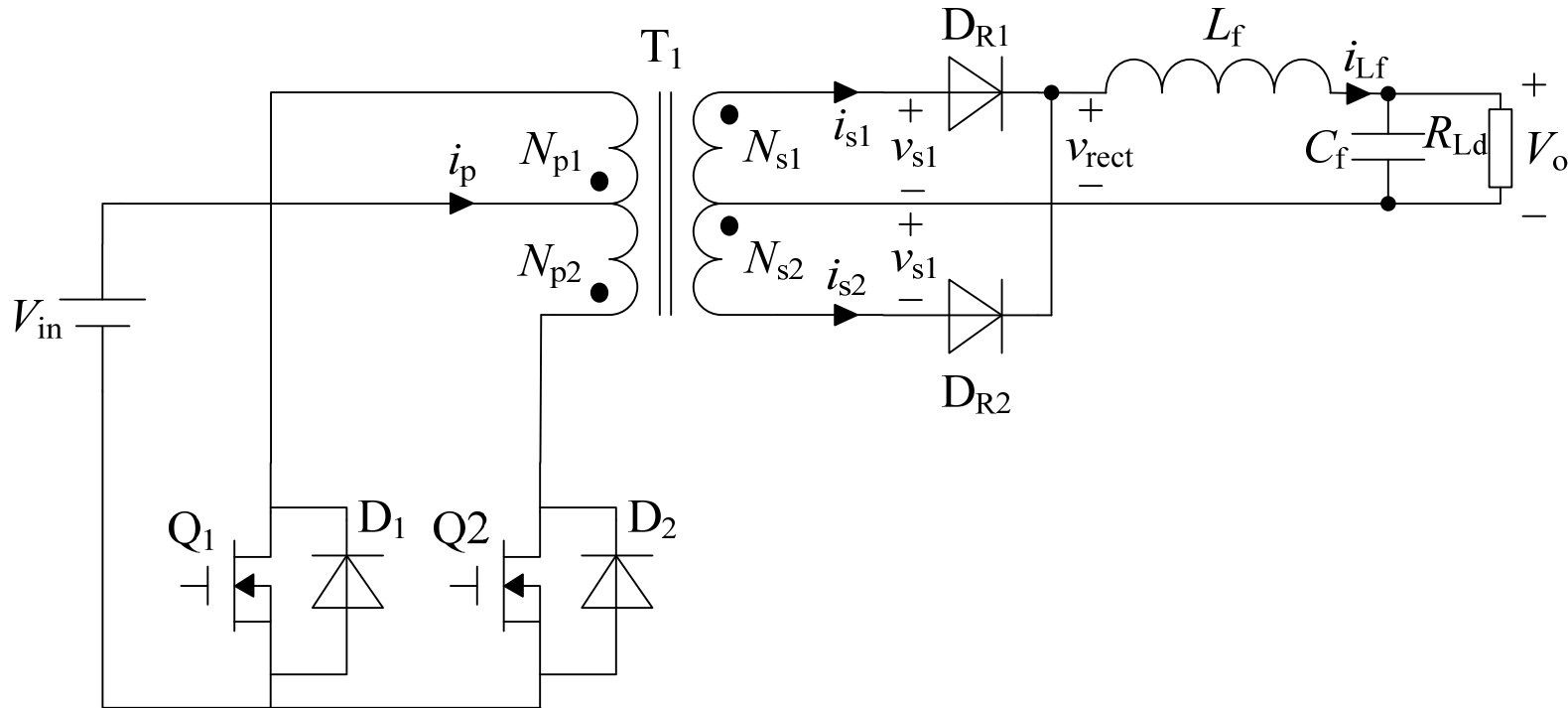
最小整流输出直流电压为 **$1.41 \times 120 \times 0.9 \times 0.85 = 130\text{V}$**

初级等效平顶电流幅值为 **$I_{\text{pft}} = 3.13 P_o / V_{\text{dc}}$**

当 **$P_o = 400\text{W}$** ， **$I_{\text{pft}} = 9.6\text{A}$**

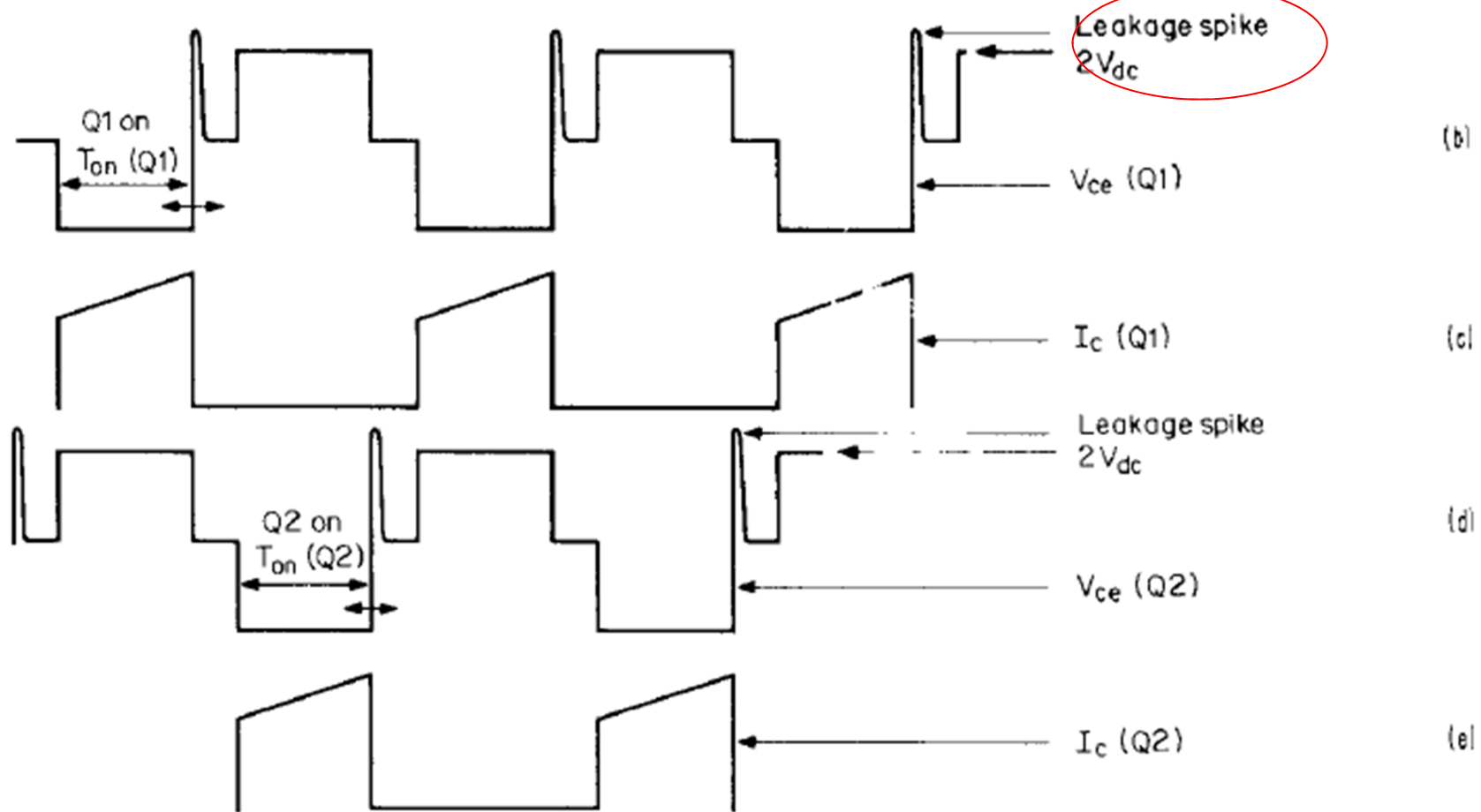
设计原则及变压器的设计参考单端正激变换器。

8.3 推挽拓扑

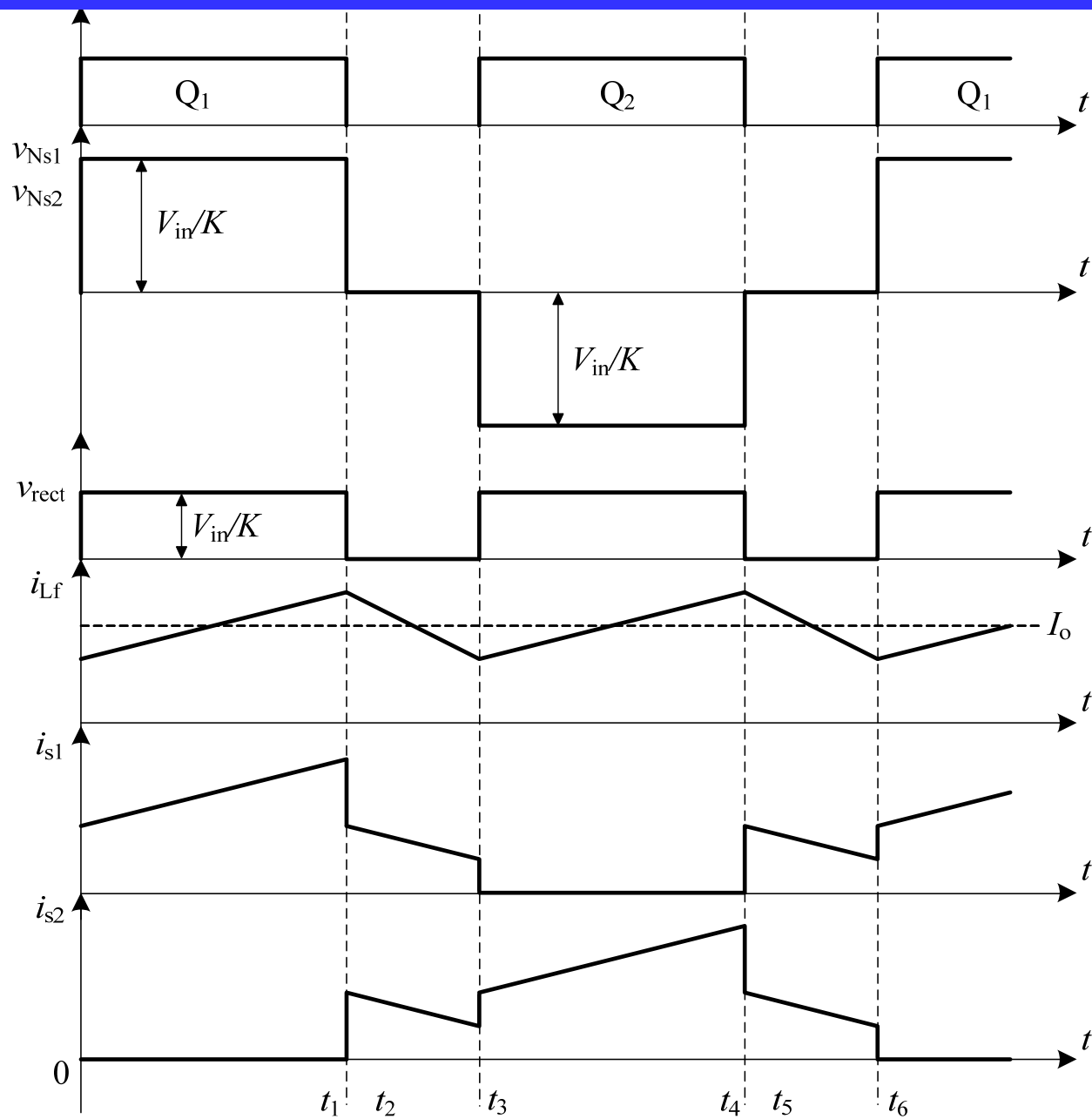


区别： 使用两个幅值相等、脉宽可调、相位相差**180**度的脉冲驱动**Q1**和**Q2**。

8.3 推挽拓扑

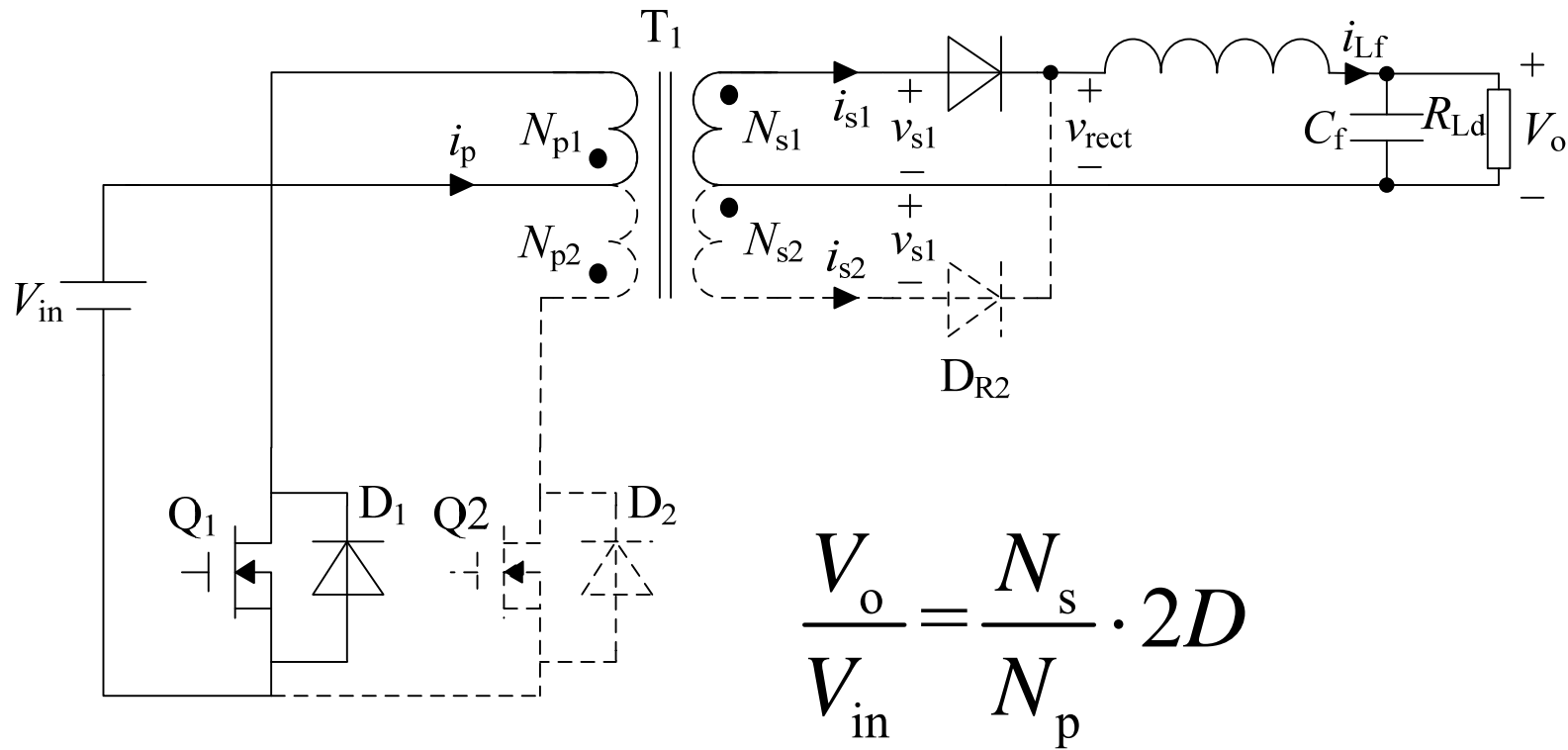


8.3 推挽拓扑



8.3 推挽拓扑

开关模态1 ($0 \leq t \leq t_1$)



$$V_{DR1} = V_{DR2} = 2 \frac{N_s}{N_p} V_{in}$$

8.3 推挽拓扑

开关模态2 ($t_1 \leq t \leq t_2$)

