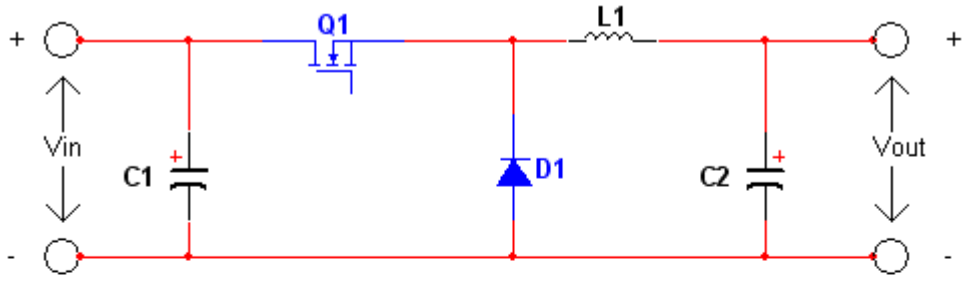
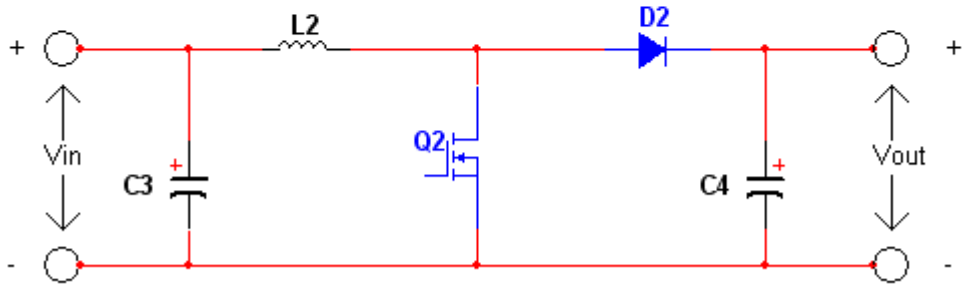
反激式开关电源隔离变换器设计步骤

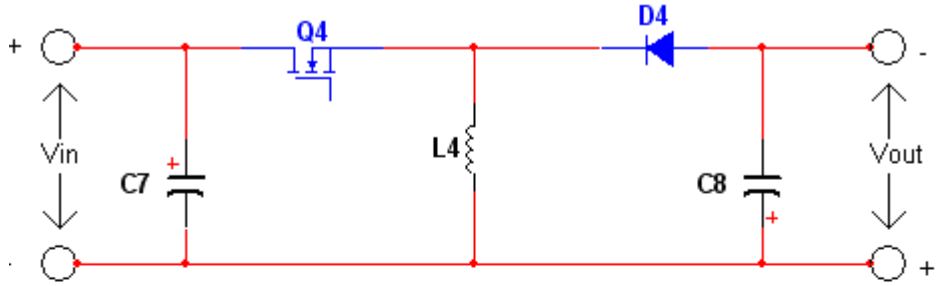
电路基本结构：



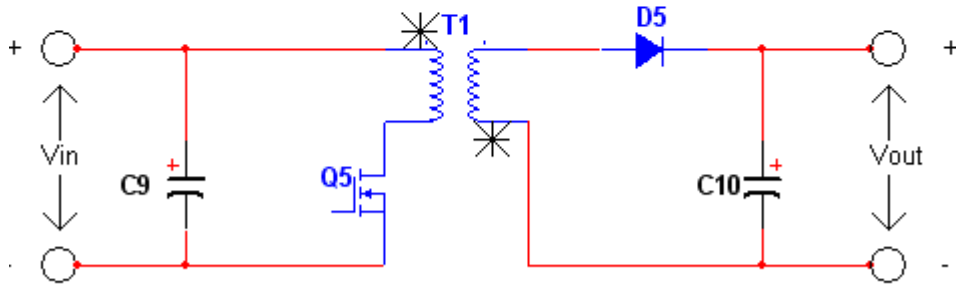
Buck开关变换器原理图



Boost开关变换器原理图



Buck-Boost开关变换器原理图



隔离的Buck-Boost开关变换器原理图

不连续电流模式时 **Buck** 变换器的设计公式

电感 **L**： $L_{\max}=\dfrac{\left(V_o+V_d\right)T\left(1-D_{\max}-D_w\right)}{2I_{o(\max)}}(H)$

最大占空比： $D_{\max}=\dfrac{V_o\left(1-D_w\right)}{\eta V_{in(\max)}}$

最大导通时间： $t_{on(\max)}=TD_{\max}$

最大截止开时间： $t_{off(\max)}=T\left(1-D_{\min}\right)$

电感器的电流峰值： $I_{pk}=\dfrac{2I_{0(\max)}}{1-D_w}$

连续电流模式时 **Buck** 变换器的设计公式

电感 **L**： $L=\dfrac{V_oT\left(1-D_{\min}\right)}{2I_{o(\min)}}(H)$

最大占空比： $D_{\max}=\dfrac{V_o}{\eta V_{in(\min)}}$

最小占空比： $D_{\min}=\dfrac{V_o}{\eta V_{in(\max)}}$

最大导通时间： $t_{on(\max)}=TD_{\max}$

最大截止时间： $t_{off(\max)}=T(1-D_{\min})$

电感器电流的变化量： $\Delta I=\dfrac{TV_{in(\max)}D_{\min}\left(1-D_{\min}\right)}{L}$

电感器的峰值电流： $I_{pk}=I_{o(\max)}+\dfrac{\Delta I}{2}$

不连续电流模式时 **Boost** 变换器的设计公式

电感 **L**： $L_{\max}=\dfrac{\left(V_o+V_d\right)TD_{\max}\left(1-D_{\max}-D_w\right)^2}{2I_{o(\max)}}(H)$

最大占空比： $D_{\max}=\left(1-D_w\right)\left[\dfrac{V_o-V_{in(\min)}+V_d}{V_o}\right]$

最小占空比： $D_{\min}=\left(1-D_w\right)\left[\dfrac{V_o-V_{in(\max)}+V_d}{V_o}\right]$

最大导通时间： $t_{on(\max)}=TD_{\max}$

最大截止时间：$t_{off(\max)}=T(1-D_{\min})$

电感器电流的峰值： $I_{pk}=\dfrac{2P_{o(\max)}}{\eta V_o D_{\min}}$

连续电流模式时 **Boost** 变换器的设计公式

电感 **L**：$L_{\max}=\dfrac{\left(V_o+V_d\right)TD_{\min}\left(1-D_{\min}\right)^2}{2I_{o(\min)}}(H)$

最大占空比：$D_{\max}=1-\dfrac{V_{in(\min)}\eta}{V_o}$

最小占空比：$D_{\min}=1-\dfrac{V_{in(\max)}\eta}{V_o}$

最大导通时间：$t_{on(\max)}=TD_{\max}$

最大截止时间：$t_{off(\max)}=T(1-D_{\min})$

电感器的电流变化量：$\Delta I=\dfrac{TV_{in(\max)}D_{\min}}{L}$

电感器电流的峰值：$I_{pk}=\dfrac{I_{o(\max)}}{1-D_{\max}}+\dfrac{\Delta I}{2}$

不连续电流模式时 **Buck-Boost** 倒向变换器的设计公式

电感 **L**：$L_{\max}=\dfrac{\left(V_o+V_d\right)T\left(1-D_{\max}-D_w\right)^2}{2I_{o(\max)}}(H)$

最大占空比：$D_{\max}=\dfrac{\left(V_o+V_d\right)\left(1-D_w\right)}{V_o+V_d+V_{in(\min)}}$

最小占空比：$D_{\min}=\dfrac{\left(V_o+V_d\right)\left(1-D_w\right)}{V_o+V_d+V_{in(\max)}}$

最大导通时间：$t_{on(\max)}=TD_{\max}$

最大截止时间：$t_{off(\max)}=T(1-D_{\min}-D_w)$

电感器的电流峰值：$I_{pk}=\dfrac{2P_{o(\max)}}{\eta V_{in(\min)}D_{\max}}$

连续电流模式时 **Buck-Boost** 倒向变换器的设计公式

电感 **L**：$L_{\max}=\dfrac{\left(V_o+V_d\right)T\left(1-D_{\min}\right)^2}{2I_{o(\min)}}(H)$

最大占空比：$D_{\max}=\dfrac{V_o}{V_o+\eta V_{in(\min)}}$

最小占空比：$D_{\min}=\dfrac{V_o}{V_o+\eta V_{in(\max)}}$

最大导通时间：$t_{on(\max)}=TD_{\max}$

最大截止时间：$t_{off(\max)}=T(1-D_{\min})$

电感器的电流变化量：$\Delta I = \frac{TV_{in(\max)}D_{\min}}{L}$

电感器电流的峰值：$I_{pk} = \frac{I_{o(\max)}}{1-D_{\max}} + \frac{\Delta I}{2}$

不连续电流模式具有隔离 **Buck-Boost** 倒向变换器的设计公式

一次电感：$L_{p(\max)} = \frac{R_{in(equiv)}T(D_{\max})^2}{2}(H)$

最大导通时间：$t_{on(\max)} = TD_{\max}$

最大截止时间：$t_{off(\max)} = T(1-D_{\min}-D_w)$

总输出功率：$P_{o(\max)} = I_{o1(\max)}(V_{o1}+V_d) + I_{o2(\max)}(V_{o2}+V_d) + \ldots$

最大输入功率：$\mathrm{P}_{\mathrm{in}(\max)} = \frac{P_{o(\max)}}{\eta}$

等效输入电阻：$R_{in(equiv)} = \frac{V_{in(\min)}^2}{P_{in(\max)}}$

一次电流峰值：$I_{p(pk)} = \frac{2P_{in(\max)}T}{\mathrm{t}_{on(\max)}V_{in(\min)}}$

连续电流模式具有隔离 Buck-Boost 倒向变换器的设计公式

电感 **L**：$L = \dfrac{\left[V_{in(\max)} D_{\min}\right]^2 T}{2P_{in(\min)}}(H)$

最小占空比：$D_{\min} = \dfrac{V_{in(\min)}}{V_{in(\max)}} D_{\max}$

最大导通时间：$t_{on(\max)} = TD_{\max}$

最大截止时间：$t_{off(\max)} = T(1 - D_{\min})$

最小输入功率：

$$P_{o(\min)} = I_{o1(\min)}(V_{o1} + V_d) + I_{o2(\min)}(V_{o2} + V_d) + \ldots$$

最小输入功率：$\mathrm{P}_{\mathrm{in}(\min)} = \dfrac{P_{o(\min)}}{\eta}$

电感器的电流变化量：$\Delta I = \dfrac{TV_{in(\min)} D_{\max}}{L}$

电感器电流的峰值：$I_{pk} = \dfrac{I_{in(\max)}}{D_{\max}} + \dfrac{\Delta I}{2}$

工作在不连续电流模式且具有隔离的 Buck-Boost 变换器

设计步骤

一.设计参数：

1.输入电压标称值：V_{in}

2.输入电压最小值：$V_{in（min）}$

3.输入电压最大值：$V_{in(max)}$

4.输出电压 V_{o1}

5.输出电流 I_{o1}

6. 输出电压 V_{o2}

7. 输出电流 I_{o2}

8.窗口利用系数 Ku=0.29

9.频率 f

10.变换器效率 η

11.最大占空比 D_{max}=0.5

12.休止时间占空比 D_w=0.1

13.调整率 α （1％）

14.工作磁通密度 B_m=0.25T

15.二极管电压 V_d=1V

二.设计步骤

1. 1. 高频下电流穿透深度为（单位：**cm**）：$D=\frac{6.62}{\sqrt{f}}$

导线直径（单位：**cm**）：**d=2D**（然后选择相近的导线）

导线裸线面积 $A_w=\frac{\pi d^2}{4}$

2. $T=\frac{1}{f}$ **(s)**

3. 计算晶体管最大导通时间：$t_{on(\max)}=TD_{\max}$（s）

4. 计算总的负载功率：

$$P_{o(\max)}=I_{o1}(V_{o1}+V_d)+I_{o2}(V_{o2}+V_d)$$

5. 计算最大输入电流 $\mathbf{I_{in(max)}}$

$$\mathrm{I}_{\mathrm{in}(\max)}=\frac{P_{o(\max)}}{\mathrm{V}_{\mathrm{in}(\min)}\eta}(A)$$

6. 计算一次电流的峰值：$I_{p(pk)}=\frac{2P_{o(\max)}T}{\eta \mathrm{t}_{on(\max)}V_{in(\min)}}$

7. 计算一次电流的有效值：$I_{p(rms)}=I_{p(pk)}\sqrt{\frac{t_{on}}{3T}}$

8. 计算最大输入功率：$P_{in(\max)}=\frac{P_{o(\max)}}{\eta}$

9. 计算等效输入电阻：$R_{in(equiv)}=\frac{V_{in(\min)}^2}{P_{in(\max)}}$

10.计算要求的一次电感量 **L**：

$$L_{p(\max)} = \frac{R_{in(equiv)} T (D_{\max})^2}{2} (H)$$

11.计算能量处理能力：$W = \frac{\mathrm{L} I_{p(pk)}^2}{2}$（**J**）

12.计算电状态系数：$K_e = 0.145 P_o B_m \times 10^{-4}$

13. 计算磁芯几何常数 $\mathbf{K_g}$（$\mathbf{cm^5}$）

$$K_g = 1.35 \frac{W^2}{K_e \alpha}$$（α=**1**）

14.根据 $\mathbf{K_g}$ 由上表选择磁芯：

磁路长度 **MPL**（**cm**），铁心质量 $\mathbf{W_{tfe}}$（**g**），铜质量 $\mathbf{W_{tcu}}$**(g)**，平均匝长 **MLT(cm)**，磁芯面积 $\mathbf{A_c}$**(cm²)**，窗口面积 $\mathbf{W_a}$**(cm²)**，面积积 $\mathbf{A_p}$**(cm⁴)**，磁芯几何常数 $\mathbf{K_g}$**(cm⁵)**，表面积 $\mathbf{A_t}$**(cm²)**，磁导率 μ，绕组长度 **G**

15.计算电流密度 **J**，利用窗口利用系数 $\mathbf{K_u}$**=0.29**

$$J = \frac{2W \times 10^4}{B_m A_p K_u}$$（**A/cm²**）

16.计算一次导线面积：$A_{pw(B)} = \frac{I_{p(rms)}}{J}$（$\mathrm{cm}^2$）

17.计算需要的一次导线股数：$\mathbf{S_{np}} = \frac{\mathbf{A}_{pw(B)}}{\mathbf{A_w}}$

18.计算一次绕组的匝数：$\mathbf{W_{ap}}$ 为一次绕组占窗口的面积

$$W_{ap} = \frac{W_a}{2}$$

$$N_p = \frac{K_u W_{ap}}{3A_w}$$

19.计算需要的气隙：$l_g = \frac{0.4\pi N^2 A_c \times 10^{-8}}{L} - \frac{MPL}{\mu_m}(cm)$

20.计算以圆密耳为单位的等效气隙：$mils = l_g \times 393.7$

21.计算边缘磁通系数：$F = 1 + \frac{l_g}{\sqrt{A_c}} \ln \frac{2G}{l_g}$

22.通过引入边缘磁通系数 **F** 计算新的绕组匝数：

$$N_{np} = \sqrt{\frac{l_g L}{0.4\pi A_c F \times 10^{-8}}}$$

23.计算磁通密度的峰值：

$$B_{pk} = \frac{0.4\pi N_{np} F I_{p(pk)} \times 10^{-4}}{l_g + \frac{MPL}{\mu_m}}(T)$$

24.计算一次新的：

$$\text{（New）}\ \mu\Omega/\text{cm} = \frac{(\mu\Omega/\text{cm})}{\mathbf{S}_{np}}(\mu\Omega/\text{cm} = 1.7/\ \mathbf{A}_w)$$

25.计算一次绕组的电阻：

$$R_p = (MLT) N_{np} \left(\frac{\mu\Omega}{cm} \times 10^{-6} \right)(\Omega)$$

26.计算一次铜损：$\mathbf{P}_p = \mathbf{I}^2_{p(\text{rms})} \mathbf{R}_p$（**W**）

27.计算二次绕组 **1** 的匝数：

$$N_{s1}=\frac{N_{np}\left(V_{o1}+V_d\right)\left(1-D_{\max}-D_w\right)}{V_{in(\min)}D_{\max}}$$

28.计算二次电流 $\mathbf{I_{s1}}$ 的峰值 $\mathbf{I_{s1(pk)}}$

$$\mathbf{I_{s1(pk)}}=\frac{2I_{o1}}{1-D_{w-}D_{\max}}$$

29.计算二次电流 $\mathbf{I_{s1}}$ 的有效值：

$$\mathbf{I_{s1(rms)}}=\mathbf{I_{s1(pk)}}\sqrt{\frac{1-D_{w-}D_{\max}}{3}}$$

30.计算二次导线 **1** 的面积：$A_{swl(B)}=\dfrac{I_{s1(rms)}}{J}$

31.2 计算需要的二次绕组 **1** 的导线股数：

$$S_{ns1=}\frac{A_{swl(B)}}{A_w}$$

32.计算二次绕组 **S1** 的：

$$(\mathrm{S1})\ \boldsymbol{\mu\Omega/cm}=\frac{(\boldsymbol{\mu\Omega/cm})}{\mathbf{S_{n}}s1}(\boldsymbol{\mu\Omega/cm}=\mathbf{1.7}/\ \mathbf{A_w})$$

33.计算二次绕组 **1** 的电阻：

$$R_{s1}=\left(MLT\right)N_{s1}\left(\frac{\mu\Omega}{cm}\times10^{-6}\right)(\Omega)$$

34.计算二次绕组 **1** 的铜损：$\mathbf{P}_{s1}=\mathbf{I}^2_{s1(\mathbf{rms})}\mathbf{R}_{s1}(\mathbf{W})$

35.计算二次绕组 **2** 的匝数：

$$N_{s2}=\frac{N_{np}\left(V_{o2}+V_d\right)\left(1-D_{\max}-D_w\right)}{V_{in(\min)}D_{\max}}$$

36.计算二次电流 $\mathbf{I_{s2}}$ 的峰值：$\mathbf{I}_{\mathbf{s2(pk)}}=\dfrac{2I_{o2}}{1-D_{w-}D_{\max}}$

37.计算二次电流 $\mathbf{I_{s2}}$ 的有效值：

$$\mathbf{I}_{\mathbf{s2(rms)}}=\mathbf{I}_{\mathbf{s2(pk)}}\sqrt{\frac{1-D_{w-}D_{\max}}{3}}$$

38.计算二次绕组 **2** 所需的导线面积：$A_{sw2(B)}=\dfrac{I_{s2(rms)}}{J}$

39.计算二次绕组 **2** 所需的导线股数：$S_{ns2=}\dfrac{A_{sw2(B)}}{A_w}$

40.计算二次绕组 **2** 的：

（S2）$\mathbf{\mu\Omega/cm}=\dfrac{(\mathbf{\mu\Omega/cm})}{\mathbf{S}_{\mathbf{n}s2}}(\mathbf{\mu\Omega/cm=1.7/\ A_w})$

41.计算二次绕组 **2** 的绕组电阻：

$$R_{s2}=(MLT)N_{s2}\left(\frac{\mu\Omega}{cm}\times10^{-6}\right)(\Omega)$$

42.计算二次绕组 **2** 的铜损：$\mathbf{P}_{s2}=\mathbf{I}^{\mathbf{2}}_{s2(\mathbf{rms})}\mathbf{R}_{s2}(\mathbf{W})$

43.计算窗口利用系数：

$$K_u=\frac{N_tA_w}{W_a}=\frac{\left(N_pS_{np}+N_{s1}S_{ns1}+N_{s2}S_{ns2}\right)A_w}{W_a}$$

44.计算总铜损：$P_{Cu}=P_p+P_{s1}+P_{s2}$

45.计算次设计的调整率：$\boldsymbol{\alpha=\mathbf{P}_{\mathbf{Cu}}/\mathbf{P}_{\mathbf{o}}\times100\%}$

46.计算交流磁通密度：

$$B_{AC}=\frac{0.4\pi N_{np}F\dfrac{I_{p(pk)}}{2}\times10^{-4}}{l_g+\dfrac{MPL}{\mu_m}}(T)\times\mathbf{100}\%$$

47.计算每千克瓦特：$W/Kg=kf^mB^n_{AC}$

48.计算磁芯损失 P_{Fe}=（mW/g）$W_{tFe}\times10^{-3}$

49. 计算总损失 $P_\Sigma=P_{Fe}+P_{Cu}$

50. 计算表面积功率耗散密度 $\psi=P_\Sigma/A_t$（W/cm^2）

51. 计算温升 $T_r=450\,\psi^{0.826}$（℃）