Boost变化器的建模分析

Boost电路（图一）分两个工作阶段，阶段一功率开关导电阶段，其等电路如图二所示，阶段二功率开关关断阶段，其等效电路如图三所示。

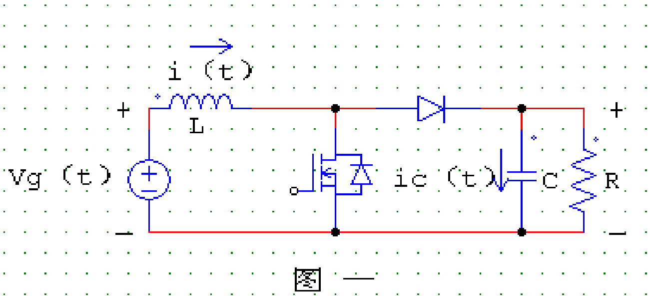


图 一

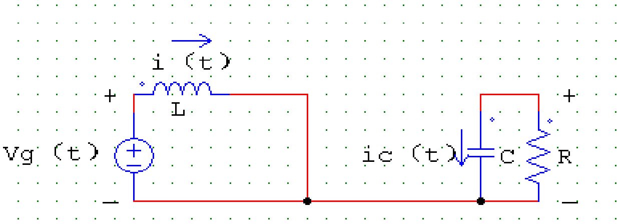


图 二

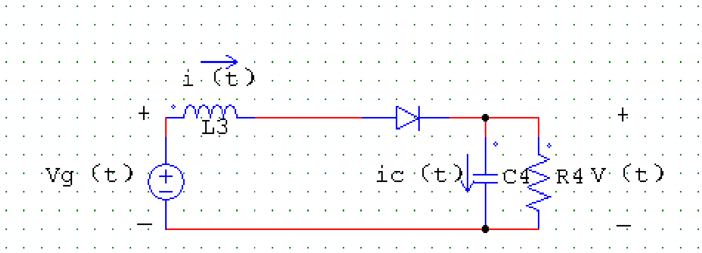


图 三

由图一阶段一的等效电路，可推得方程

$$v_L(t) = v_g(t) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

$$i_c(t) = -\frac{v(t)}{R} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

忽略电感电流、电容电压和电源电压在一个开关周其中的纹波，以上

两式可以表示为：

$$<v_L(\mathrm{t})>_{T_s}=<v_{\mathrm{g}}(\mathrm{t})>_{T_s} \qquad .... (3)$$

$$<i_c(t)>_{T_s}=-\frac{1}{R}<v(\mathrm{t})>_{T_s} \qquad .... (4)$$

由图二阶段二的等效电路，可推得方程

$$v_L(\mathrm{t})=v_{\mathrm{g}}(\mathrm{t})-v(t) \qquad .... (5)$$

$$i_c(t)=i(t)-\frac{v(t)}{R} \qquad .... (6)$$

忽略电感电流、电容电压和电源电压在一个开关周其中的纹波，以上两式可以表示为：

$$<v_L(\mathrm{t})>_{T_s}=<v_{\mathrm{g}}(\mathrm{t})>_{T_s}-<v(\mathrm{t})>_{T_s} \qquad .... (7)$$

$$<i_c(t)>_{T_s}=<i(t)>_{T_s}-\frac{1}{R}<v(\mathrm{t})>_{T_s} \qquad .... (8)$$

合并3和7式，并有电感特性方程： $\mathrm{L}\frac{\mathrm{d}<i(t)>_{T_s}}{\mathrm{dt}}=<v_L(\mathrm{t})>_{T_s}$ 可知：

$$\mathrm{L}\frac{\mathrm{d}<i(t)>_{T_s}}{\mathrm{dt}}=d(t)<v_{\mathrm{g}}(\mathrm{t})>_{T_s}+d'(t)(<v_{\mathrm{g}}(\mathrm{t})>_{T_s}-<v(\mathrm{t})>_{T_s}) \qquad .... (9)$$

合并3和7式，并有电感特性方程： $\mathrm{c}\frac{\mathrm{d}<v_{\mathrm{c}}(\mathrm{t})>_{T_s}}{\mathrm{dt}}=<\mathrm{i}_{\mathrm{c}}(\mathrm{t})>_{T_s}$ 可知：

$$\mathrm{c}\frac{\mathrm{d}<v_{\mathrm{c}}(\mathrm{t})>_{T_s}}{\mathrm{dt}}=d(t)(-\frac{1}{R}<v(\mathrm{t})>_{T_s})+d'(t)(<i(t)>_{T_s}-\frac{1}{R}<v(\mathrm{t})>_{T_s}) \qquad .... (10)$$

由，9与10式可得，Boost变化器的状态方程式：

$$\mathrm{L}\frac{\mathrm{d}<i(t)>_{T_s}}{\mathrm{dt}}=d(t)<v_{\mathrm{g}}(\mathrm{t})>_{T_s}+d'(t)(<v_{\mathrm{g}}(\mathrm{t})>_{T_s}-<v(\mathrm{t})>_{T_s}) \qquad .... (11)$$

$$c\frac{d<v_c(t)>_{T_s}}{dt}=d(t)(-\frac{1}{R}<v(t)>_{T_s})+d'(t)(<i(t)>_{T_s}-\frac{1}{R}<v(t)>_{T_s}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

显然以上方程是非线性方程，令：

$$v_g(t)=V_g+\hat{v}_g(t)$$
$$d(t)=D+\hat{d}(t)$$
$$v(t)=V+\hat{v}(t)$$

带入11式，得其扰动后的电感方程：

$$L\frac{d[I+\hat{i}(t)]}{dt}=(D+\hat{d}(t))[V_g+\hat{v}_g(t)]+(D'-\hat{d}(t))([V_g+\hat{v}_g(t)]-[V+\hat{v}(t)])$$

经整理得：

$$L[\frac{dI}{dt}+\frac{d\hat{i}(t)}{dt}]=V_g-D'V+\hat{v}_g(t)+V\hat{d}(t)-D'\hat{v}(t)+\hat{i}(t)\hat{d}(t)$$

消去方程两边的直流项，既 $V_g-D'V=0$

忽略二阶小项，得到关于电感电流的小信号交流方程：

$$L\frac{d\hat{i}(t)}{dt}=\hat{v}_g(t)+V\hat{d}(t)-D'\hat{v}(t)$$

类似，将扰动引入式12，得到扰动后的关于电容电压的状态方程：

$$C\frac{d[V+\hat{v}(t)]}{dt}=(D+\hat{d}(t))[-\frac{V+\hat{v}(t)}{R}]+(D'-\hat{d}(t))[I+\hat{i}(t)-\frac{V+\hat{v}(t)}{R}]$$

经整理得：

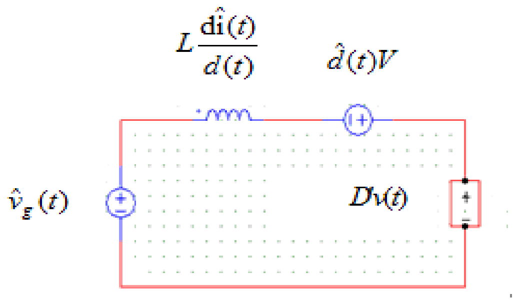
$$C[\frac{dV}{dt}+\frac{d\hat{v}(t)}{dt}]=-\frac{V}{R}-D'I-\frac{\hat{v}(t)}{R}-I\hat{d}(t)+D'\hat{i}(t)+\hat{i}(t)\hat{d}(t)$$

消去方程两边的直流项，既 $-\frac{V}{R}+D'I=0$

忽略二阶小项，得到关于电容电压的小信号交流方程：

$$C\frac{d\hat{v}(t)}{dt}=-\frac{\hat{v}(t)}{R}-I\hat{d}(t)+D'\hat{i}(t)$$

由电感电流和电容电压的小信号交流方程构造交流小信号等效电路分别为图四、图五所示：



图四

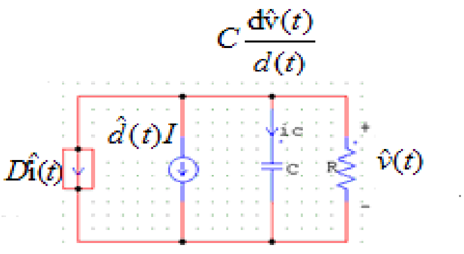


图 五

用理想直流变压器代替受控源两端口网络，得到变换器小信号交流等效电路如图六所示：

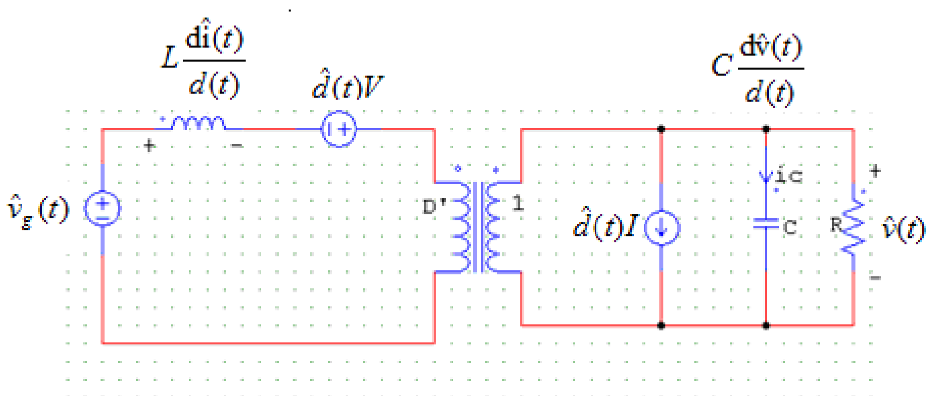


图 六

将Boost变换器的小信号二次侧电流源移至一次侧，将一次侧电感移至二次侧，得其变换后的统一电路模型如图七所示：

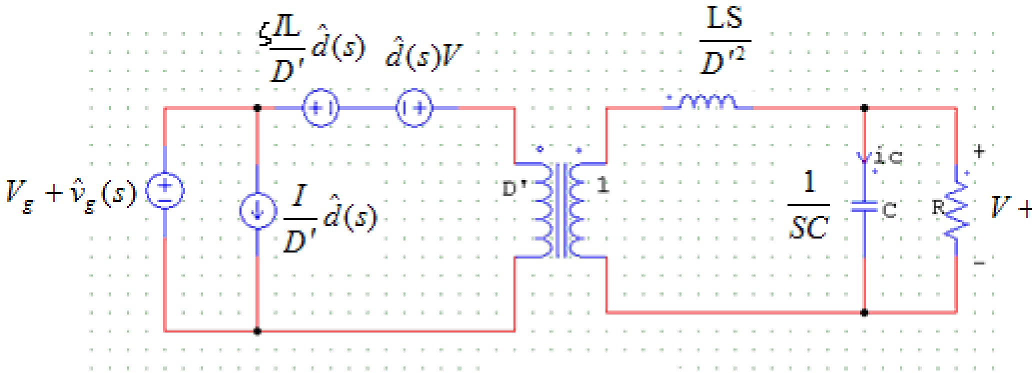


图　七

则此处等效低通滤波器的传递函数为：

$$H_e(s)=\frac{D'^2}{LCs^2+\frac{L}{R}s+D'^2}$$

由：

$$e(s)=V-\frac{sL}{D'}$$

$$D'I-\frac{V}{R}=0$$

得：　$$e(s)=V(1-\frac{SL}{D'^2R})$$

因：　$$M(D)=\frac{1}{D'}$$

故得其传递函数：$$\frac{v_o(s)}{v_g(s)}\Big|_{d(s)=0}=\frac{D'}{LCs^2+\frac{L}{R}s+D'^2}$$

$$\frac{v_o(s)}{d(s)}\Big|_{v_g(s)=0}=\frac{D'V(1-\frac{sL}{D'^2R})}{LCs^2+\frac{L}{R}s+D'^2}$$

- $\hat{v}(s)$