TL431 及 3845 控制回路分析

一、 TL431 特性

德州仪器公司(TI)生产的 TL431 是一个有良好的热稳定性能的三端可调分流基准源。它的输出电压用两个电阻就可以任意地设置到从 Vref (2.5V)到 36V 范围内的任何值，图 1 是它的电路标识，具有二极管所具有的阳极和阴极，此外还有一个比较输入 R 端。该器件的典型动态阻抗为 0.2Ω ，在很多应用中可以用它代替齐纳二极管，例如，数字电压表，运放电路、可调压电源，开关电源等等。



图 1 电路标识

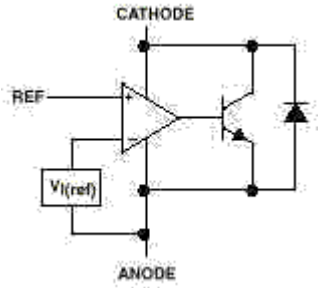


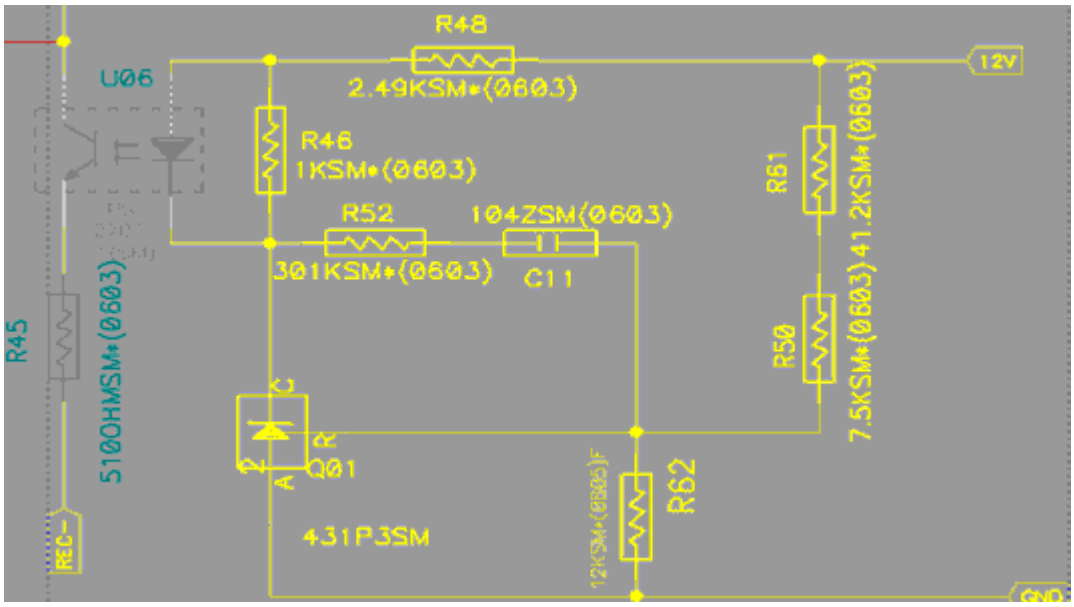
图 2 TL431 基本框图

图 2 为 TL431 的基本框图， TL431 是一个内部的 2.5V 基准源，接在运放的反相输入端。由运放的特性可知，只有当 REF 端（同相端）的电压非常接近 2.5V 时，三极管中才会有一个稳定的非饱和电流通过，而且随着 REF 端电压的微小变化，通过三极管的电流将从 1mA 到 100mA 变化。值得注意的是，图 2 并不是 TL431 内部实际图，它只适用于分析。

在开关电源控制方面， 输出经过 TL431(可控分流基准) 反馈并将误差放大， TL431 的沉流端驱动一个光耦的发光部分，而处在电源高压侧的光耦感光部分得到的反馈电压，用来调整一个电流模式的 PWM 控制器的开关时间，从而得到一个稳定的直流电压输出。

二、开关电源中 TL431 反馈环分析

图 3 为新一代辅助电源中反馈环电路图，输出为 12V 直流电压，通过分压电阻 (R_{11} 、R_{12} 、 R_{16}) 反馈到 TL431REF 端的电压为 2.5V ，电阻 R_{33} 、 R_{10} 的作用是为 Tl431 提供近 3mA 的电流。 R_{17} 、 C_1 、 C_{27} 、 R_{11} 和 R_{12} 影响反馈量的动态性能。 C 端驱动光藕 (U06) 发光部分，在高压端的光藕感光部分得到反馈电压，改变 3845COMP 端的电压，从而改变占空比，下面定量地分析它的 控制回路。



首先一个重要的中间量是 TL431 阴极电压变化量 Δv_k (图中 C 点电位) ,与输出波动 Δv_c 的关系为：

$$\frac{v_k(s)}{Z} = \frac{v_c(s)}{R_{50} + R_{61}}$$

其中：$$Z = R_{52} + \frac{1}{C_{11}s}$$

代入上式得：$$G_1(s) = \frac{v_k(s)}{v_c(s)} = \frac{1}{R_{50} + R_{61}} \cdot (R_{52} + \frac{1}{C_{11}s})$$

阴极的电压变化引起光藕二极管电流变化：

$$I_D = \frac{V_c - v_k}{R_{48}}$$

由于波动 对 较小，在计算电流时可看作是常数。

$$\Delta I_D = -\frac{\Delta v_k}{R_{48}}$$

高压感应测光藕电流变化

$$I_{comp} = I_D \cdot CTR = \frac{V_c - v_k}{R_{48}} \cdot CTR$$ （ CTR: Current Transfer Ratio ，在稳定工作点附近为常数）

$$\frac{\Delta I_{comp}}{\Delta v_k} = -\frac{CTR}{R_{48}}$$

$$G_2(s) = \frac{\Delta v_{comp}}{\Delta v_k} = \frac{\Delta I_{comp}}{\Delta v_k} \cdot \frac{\Delta v_{comp}}{\Delta I_{comp}} = \frac{CTR}{R_{48}} R_{comp} = \frac{CTR}{R_{48}} R_{45}$$

$$\frac{\Delta v_{comp}}{\Delta v_c} = \frac{\Delta v_{comp}}{\Delta v_k} \cdot \frac{\Delta v_k}{\Delta v_c} = -\frac{CTR}{R_{48}} R_{45} \cdot \frac{1}{R_{61} + R_{50}} \cdot (R_{52} + \frac{1}{C_{11}s})$$

电阻反馈网络：$$H(s) = \frac{R_{62}}{R_{50} + R_{61} + R_{62}}$$

组成控制框图如图 4 所示：

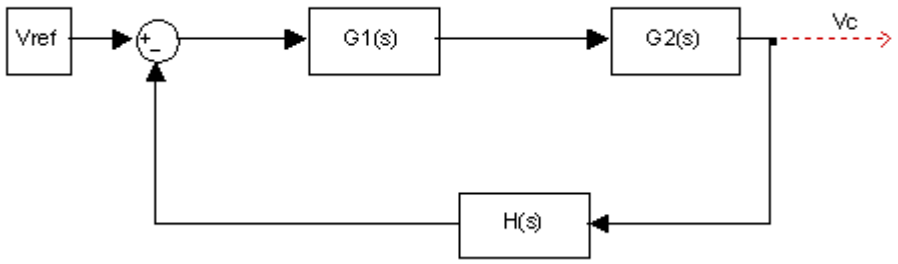


图 4 TL431 和光藕组成的控制框图

系统开环传递函数为：

$$G_1(s)G_2(s)H(s) = K_{pwm}\frac{CTR \cdot R_{62} \cdot R_{45}}{(R_{61}+R_{50})(R_{61}+R_{50}+R_{62}) \cdot R_{48}} \cdot (R_{52}+\frac{1}{C_{11}s})$$

从上式可以看到，决定动态性能部分的是 R_{17} 、 C_1 和 C_{27} 元件，它们决定了系统的零极点，上式中的其他元件起到调节比例的作用。

光藕的稳定工作电流为：$\frac{V_c}{R_{48}} = 4.8mA$，图 4 为所采用 2701 的二极管电流和电流传输比例之间的关系图，从图中可以看到，在 4.8mA 附近 CTR 值为 2.5 左右。

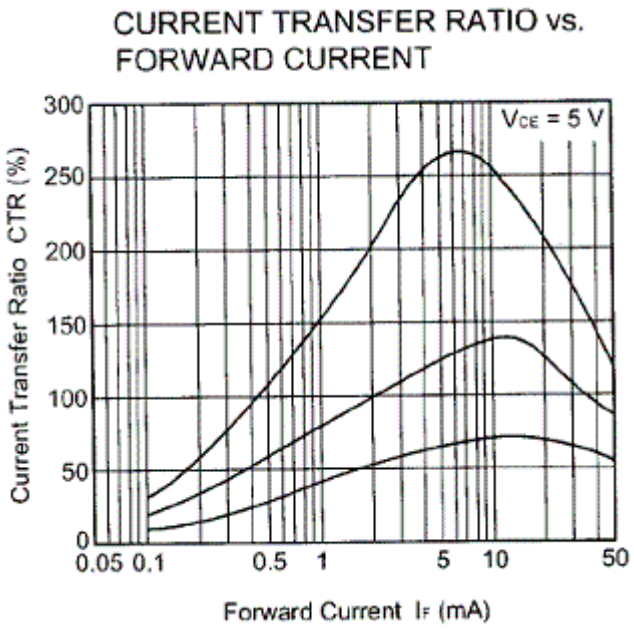


图 4 光藕二极管电流和传输比例之间的关系图

下面推导 Kpwm 的值 ,它表示的是反馈量 Δv_{COMP} 引起输出变化量 Δv_c 之间的变化比例，即 $Kpwm = \frac{dv_c}{dv_{COMP}}$，$\frac{dv_{COMP}}{dt}$ 斜率和比较端电流的斜率近似相等，因而可以通过电流的斜率来求出。$\frac{v_{COMP}}{D \cdot T_S} = \frac{\Delta i}{D \cdot T_S} = \frac{Vin}{L}$ ，即 $v_{COMP} = \frac{Vin}{L \cdot f_S} D = \frac{v_c}{L \cdot f_S}$ 进一步整理得 $Kpwm = \frac{dv_c}{dv_{COMP}} = L \cdot f_S$ $L = 80\mu H, f_S = 10^5$ ，代入得 $K_{pwm}=8$

将各值代入开环传递函数得其波特图：

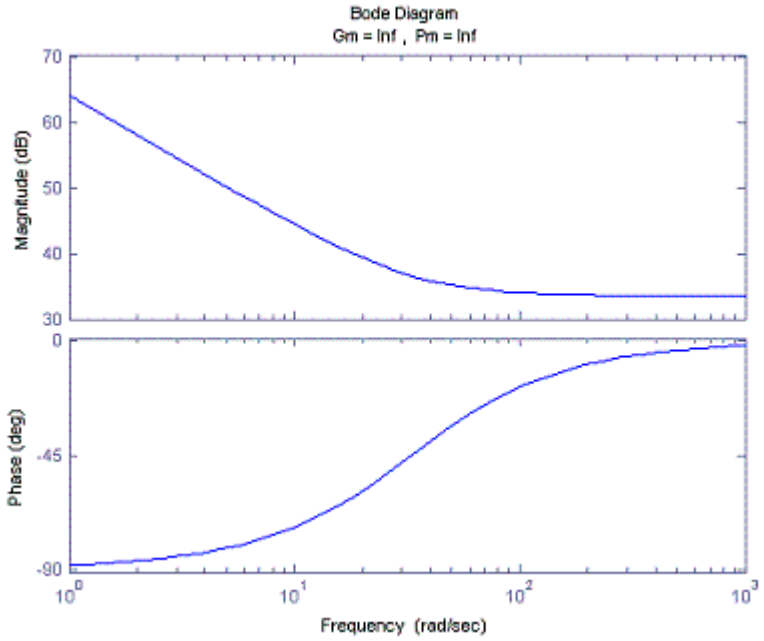


图 5 反馈回路的波特图

从图中可以看到，截止频率为无穷大，虽然具有快速反应特性，但当开关频率工作在100K ，反馈环抗干扰能力变弱。

一般情况下，在设计时截止频率设置在开关频率的 1/10~1/5 处，且以 - 20db 穿过，电路中简单的方法就是在 TL431 的 R 与 C 端加一个电容 C_{12} ，组成一个带积分的二阶环节（具体推导方法同上）。

$$G_1(s)G_2(s)H(s) = K_{pwm}\frac{CTR\cdot R_{62}\cdot R_{45}}{(R_{61}+R_{50})(R_{61}+R_{50}+R_{62})\cdot R_{48}}\cdot\frac{R_{52}C_{11}s+1}{R_{52}C_{11}C_{12}s^2+(C_{12}+C_{11})s}$$

上式只要将它的截止频率选择恰当，便具有典型三频段理论的特性。

其波特图如图 6

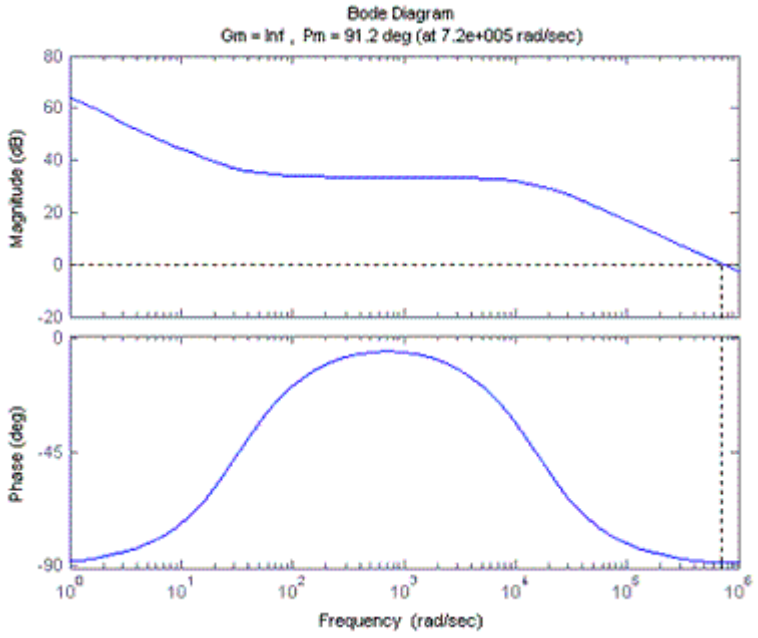


图 6 带积分的二级系统波特图

图 6 是采用一个辅助电源参数得到的结果，开关频率工作在 100K ，但它的截止频率却高于它的开关频率，因而抗干扰能力比较弱，只要稍作修改，缩小中频段，将系统极点转折频率变小便可减小它的截止频率

来自: 电源谷 www.dianyuangu.com