第 一 章
习 题 课

1.1 解： 在N型半导体中，有：

负电荷：n_1(本征激发产生的电子)+n_2(施主掺杂引入的电子)

||

正电荷：p_1(本征激发产生的空穴)+p_2(正施主离子)

n(多子/电子) = $n_1 + n_2 \approx n_2$ p(少子/空穴)=p_1

$n_1 = p_1 \neq n_i$

在热平衡下，多子浓度值与少子浓度值的乘积恒等于本征载流子浓度值n_i的平方。即$n \cdot p = n_i^2$

$n \cdot p = (n_1 + n_2)p_1 \approx n_2 \cdot p_1 = n_i^2$

在P型半导体中，有：

负电荷：n_1'(本征激发产生的电子)+n_2'(负受主离子)

||

正电荷：p_1'(本征激发产生的空穴)+p_2'(受主掺杂引入的空穴)

p(多子/空穴) = $p_1' + p_2' \approx p_2'$ n(少子/电子)=n_1'

$n_1'=p_1'\neq n_i$

在热平衡下，多子浓度值与少子浓度值的乘积恒等于本征载流子浓度值n_i的平方。即$n\cdot p= n_i^2$

$$n\cdot p=n_1'(p_1'+p_2')\approx n_1'\cdot p_2'=n_i^2$$

(1) ∵施主掺杂，∴多子自由电子的浓度

$$n_0 \approx N_D = 2\times 10^{14}\ \mathbf{cm}^{-3}$$

少子空穴浓度 $p_0 = \dfrac{n_i^2}{n_0} = 1.125\times 10^6\ \mathbf{cm}^{-3}$

该半导体为 N 型。

(2) 双掺杂情况

∵ $N_A - N_D = 1\times 10^{14}\ \mathbf{cm}^{-3} >> n_i$

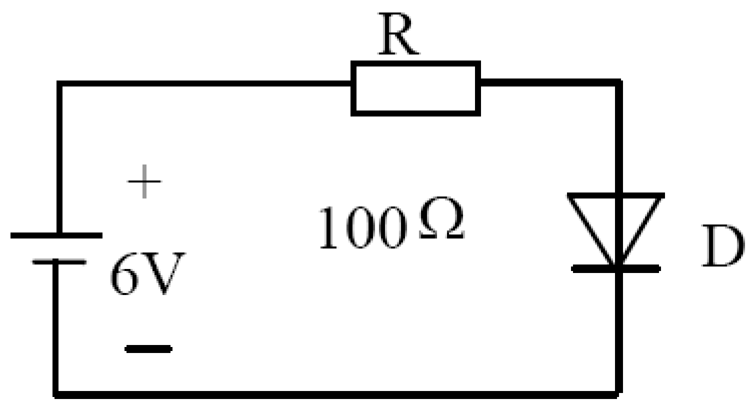
∴多子空穴的浓度 $p_0 \approx 1\times 10^{14}\ \mathbf{cm}^{-3}$

少子电子浓度

$$n_0 = \frac{n_i^2}{p_0} = 2.25\times 10^6\ \mathbf{cm}^{-3}$$

该半导体为 P 型。

1.3 解:



(1) 流过二极管的直流电流也就是图 1.3 的回路电流，即

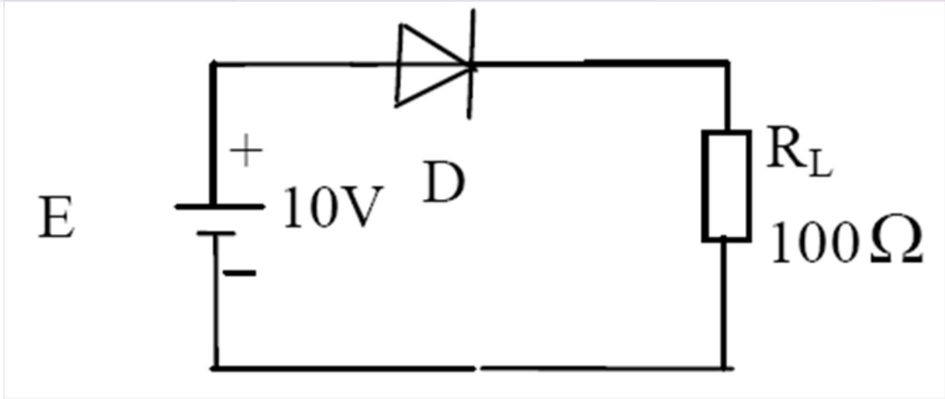
$$I_D = \frac{6-0.7}{100}A = 53\text{mA}$$

(2)

$$R_D = \frac{0.7V}{53\times10^{-3}A} = 13.2\,\Omega$$

$$r_D = \frac{U_T}{I_D} = \frac{26\times10^{-3}V}{53\times10^{-3}A} = 0.49\,\Omega$$

1.4 解:



(1) ∵二极管是理想二极管,

∴只要外加电压只要是正向的，二极管就可以导通

流过负载的电流 $I = \dfrac{E}{R_L} = 100\,\text{mA}$

(2) 恒压降模型 $I = \dfrac{E - U_{D(on)}}{R_L} = 94\,\text{mA}$ 93mA

(3) 折线模型=恒压降模型+电阻 $I = \dfrac{E - U_{D(on)}}{R_L + R_D} = 78.3\,\text{mA}$

77.5mA

(4) 电源反接，$I = -I_S$ 或 $I \approx 0$

(5) E 增加，直流电流 I_D 增加，交流电阻 $\frac{U_T}{I_D}$ 下降

要判断二极管的状态

判断二极管状态的方法如下：

1. 假设二极管截止, 给出截止状态下二极管两端的电压

$u=u_{阳极}-u_{阴极}=u_P-u_N$；

2. 两端的电压≥0/U_{on} → 导通, 导通后压降为0/U_{on}；

两端的电压<0/U_{on} → 截止。

判断二极管状态的方法如下：

1. 假设二极管截止，给出截止状态下二极管两端的电压

$u=u_{阳极}-u_{阴极}=u_P-u_N$；

2. 两端的电压≥0/U_{on} → 导通，导通后压降为0/U_{on}；

两端的电压<0/U_{on} → 截止。

1. 如果电路中只有一个二极管，则只需判断该二极管：

两端的电压≥0/U_{on} → 导通，导通后压降为0/U_{on}；

两端的电压<0/U_{on} → 截止。

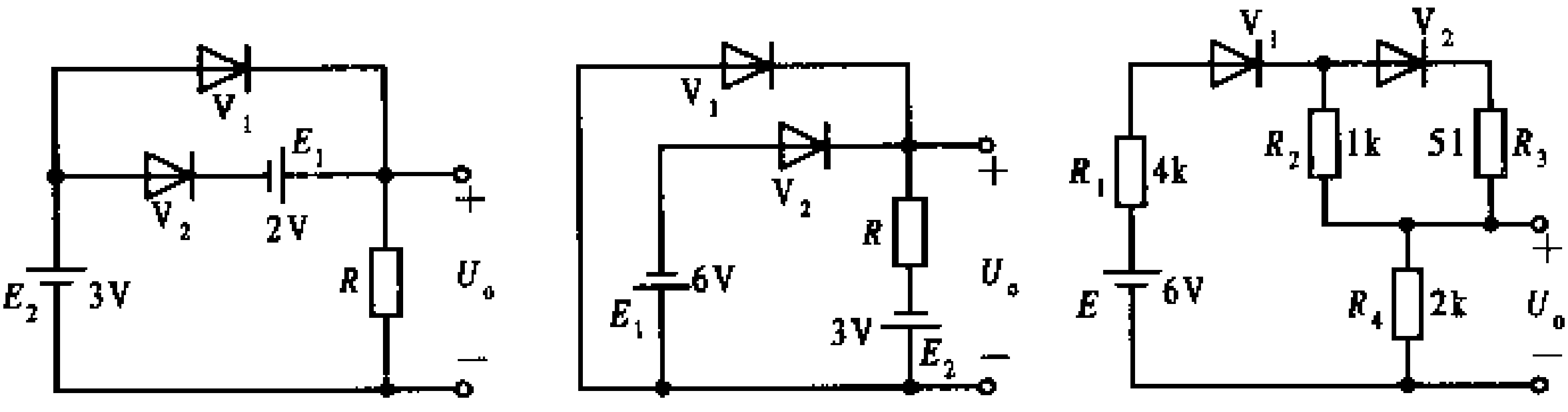
2. 如果电路中有两个二极管：

若一个正偏，一个反偏，则正偏的导通，反偏的截止；

若两个都反偏，则都截止；

若两个都正偏，则正偏电压大的优先导通，进而再结合这个优先导通的导通压降判断另一只二极管的状态。

1.6 **在下图所示各电路中，设二极管均为理想二极管。试判断各二极管是否导通，并求U_o的值。**



(a) (b) (c)

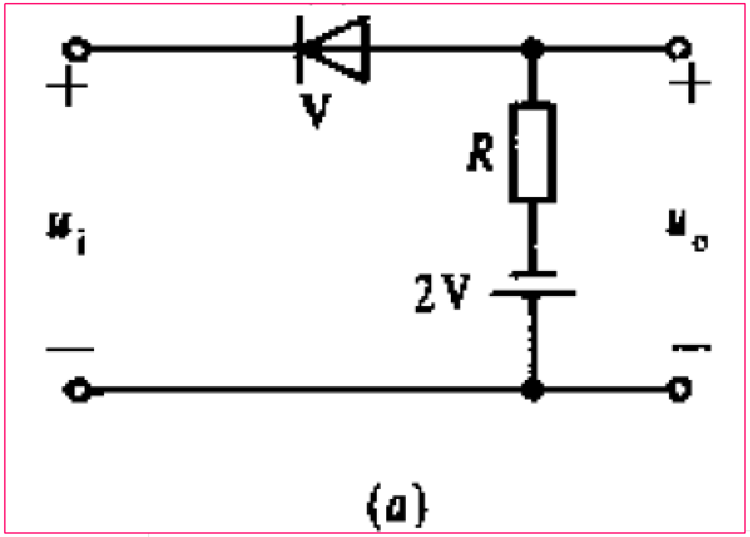
解：(a) V2优先导通(3-(-2))，V1(3-5)截止，Uo＝5V。

(b) V1导通(0-(-3))，V2截止(-6-(-3))，Uo＝0V。

(c) V_1、V_2均导通，此时有

$$U_0 = \frac{E \cdot R_4}{R_1 + (R_2 // R_3) + R_4} = \frac{6 \times 2}{4 + (1 // 0.051) + 2} = 1.984V$$

1.7



(a). 假设二极管截止，两端电压为 $u_V=-(u_i+2)$

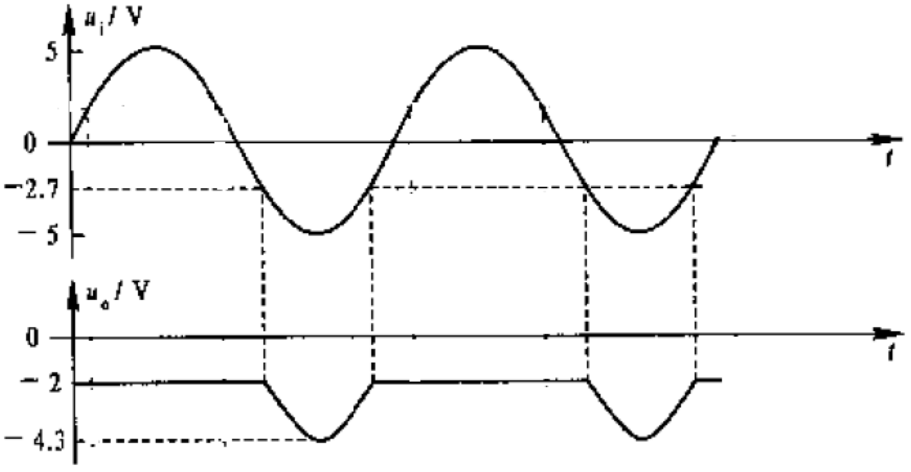
对于恒压降模型，有

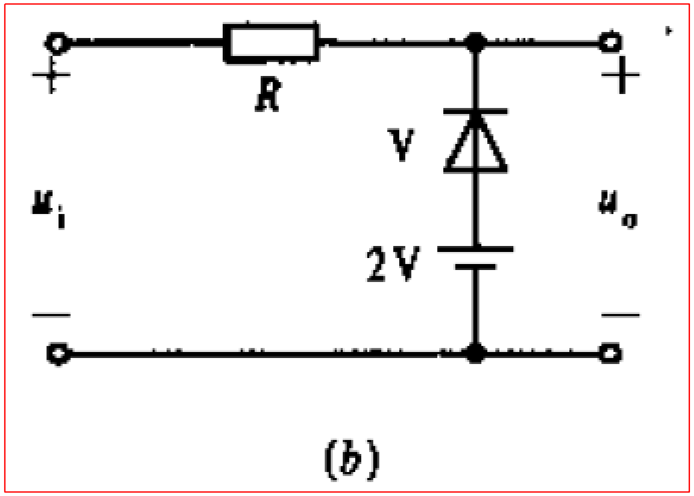
$$u_V=-(u_i+2)\begin{cases}\geq 0.7V，导通\\ <0.7V，截止\end{cases}$$

即：当 $u_i \leq -2.7V$ 时，V 管导通，$u_0=u_i+0.7V$

当 $u_i>-2.7V$ 时，V 管截止，$u_0=-2V$;

对应的 u_0 波形





(b).假设二极管截止，两端电压为 $u_V=2-u_i$

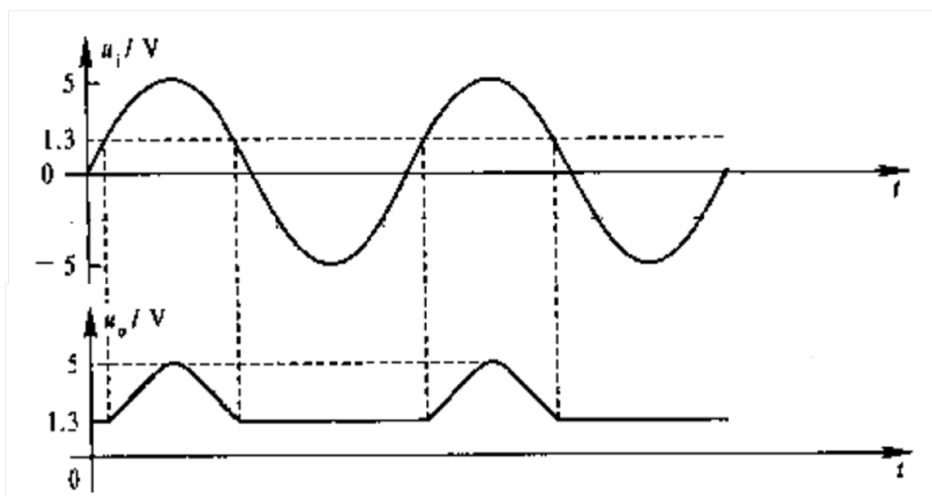
对于恒压降模型，有

$$u_V=2-u_i\begin{cases}\geq 0.7V，导通\\ <0.7V，截止\end{cases}$$

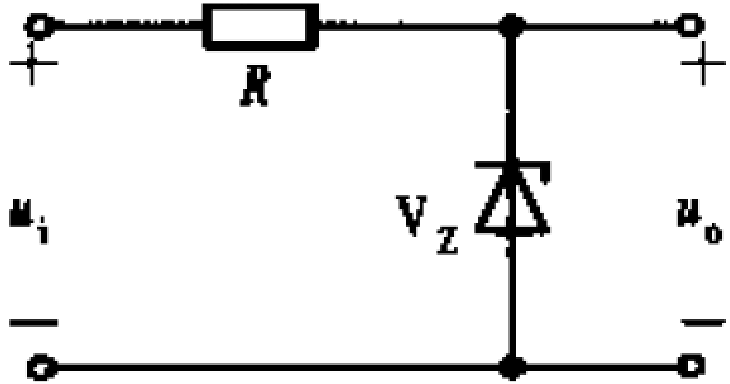
即：当 $u_i\leqslant 1.3V$ 时，V 管导通，$u_O=1.3V$

当 $u_i>1.3V$ 时，V 管截止，$u_O=u_i$

对应的 u_O 波形



1.10



解： 假设稳压管是截止的，

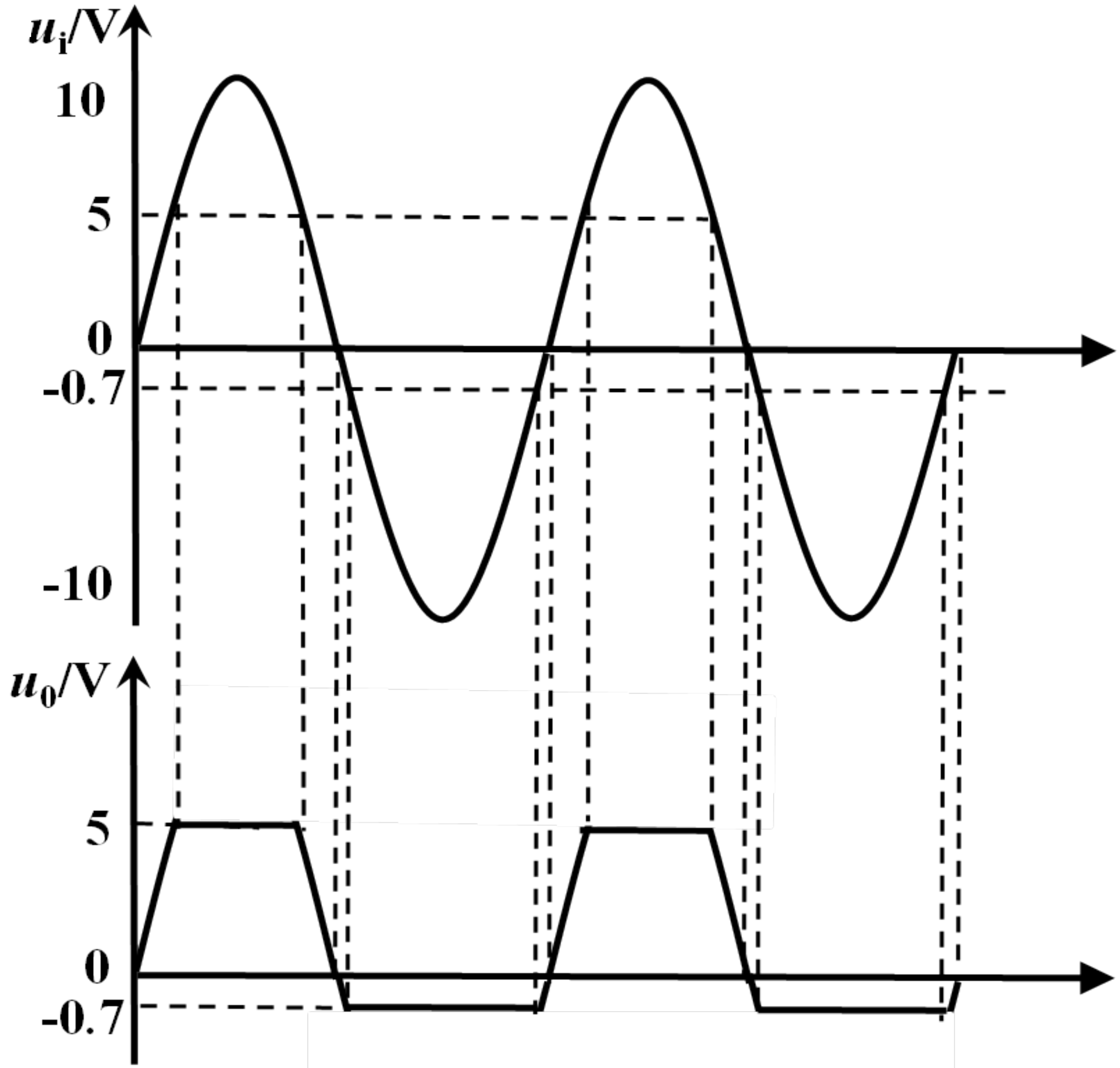
此时稳压管两端的正向电压 $u=-u_i$

(1) 当$-u_i \geq 0.7V$时，即$u_i \leq -0.7V$时，V_z正向导通，$u_O=-0.7V$

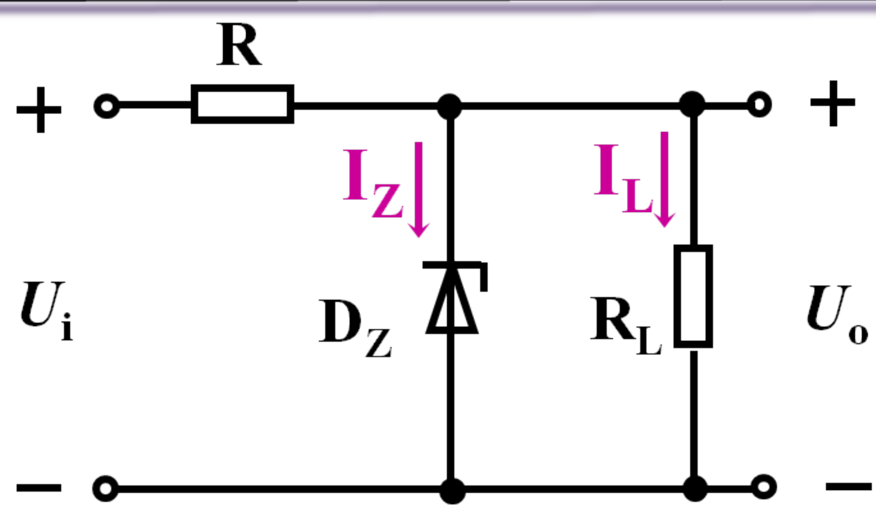
(2) 当$-5V<-u_i<0.7V$时，即$5V>u_i>-0.7V$时，V_z截止，$u_O=u_i$

(3) 当$-u_i \leq -5V$, 即$u_i \geq 5V$时，V_z击穿，$u_O=5V$。

对应的 u_0 波形



1.11



解： (1) 根据电路，有 $I_z = \dfrac{U_i - U_z}{R} - \dfrac{U_z}{R_L}$

限流电阻R的选择：当U_i、R_L变化时，I_z应满足$I_{zmin}<I_z<I_{zmax}$

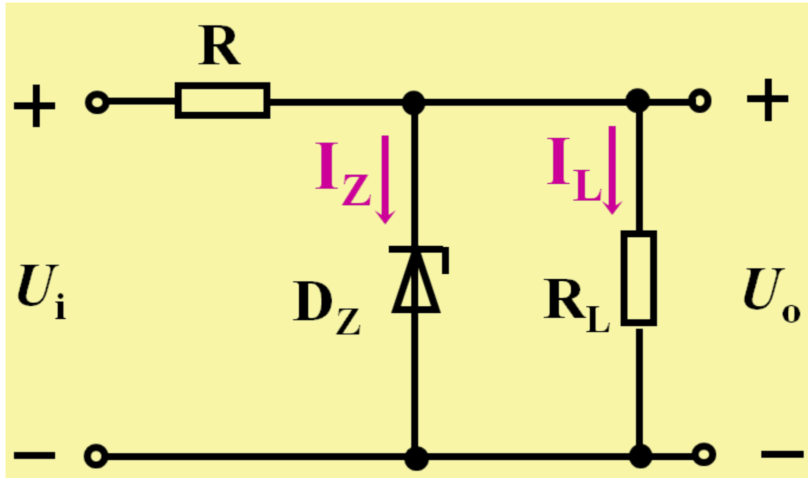
$$\because \frac{U_{i\max} - U_Z}{R} - \frac{U_Z}{R_{L\max}} < I_{Z\max}$$

$$R > \frac{U_{i\max} - U_Z}{R_{L\max} \cdot I_{Z\max} + U_Z} \cdot R_{L\max}$$

$$\frac{U_{i\min} - U_Z}{R} - \frac{U_Z}{R_{L\min}} > I_{Z\min}$$

$$R < \frac{U_{i\min} - U_Z}{R_{L\min} \cdot I_{Z\min} + U_Z} \cdot R_{L\min}$$

$\therefore$ 400Ω <R<457Ω



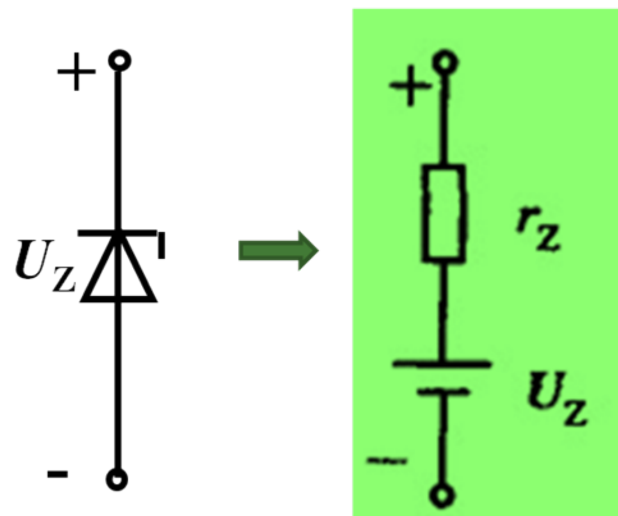
(2) $\because I_Z = \dfrac{U_i - U_Z}{R} - \dfrac{U_Z}{R_L}$　　$\therefore I_{Z\max} = \dfrac{U_{i\max} - U_Z}{R} - \dfrac{U_Z}{R_L}$

$$\therefore U_{i\max} = (I_{Z\max} + \frac{U_Z}{R_L})R + U_Z = (0.03 + \frac{10}{250}) \times 100 + 10 = 17V$$

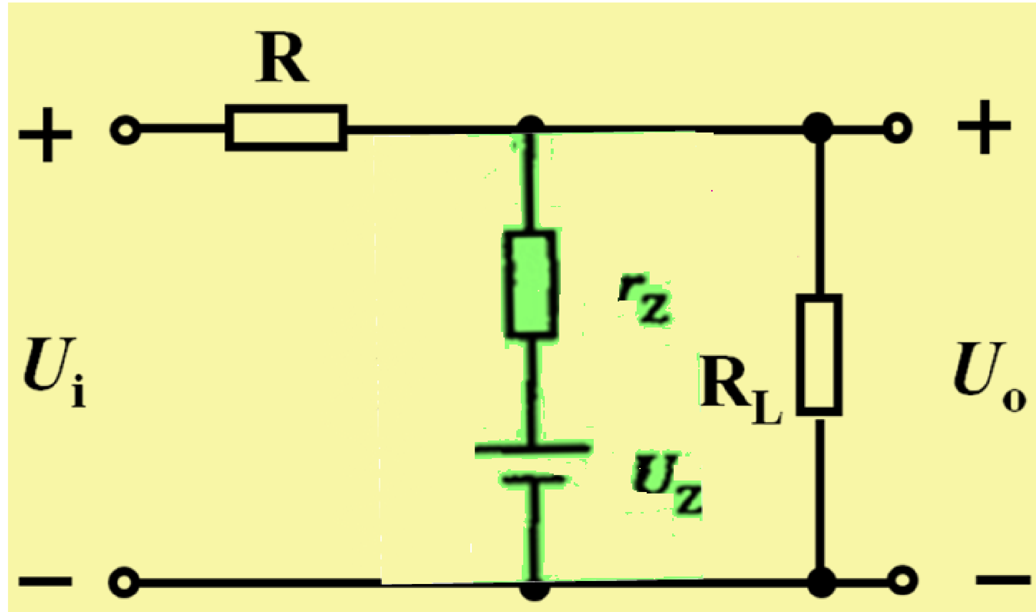
$$U_{i\min} = (I_{Z\min} + \frac{U_Z}{R_L})R + U_Z = (0.005 + \frac{10}{250}) \times 100 + 10 = 14.5\mathbf{V}$$

(3) 动态电阻 $r_Z = \Delta U_Z / \Delta I_Z$ 是稳压管在击穿状态下，两端电压的微小变化量与电流变化量的比值，反映在特性曲线上是工作点处切线斜率的倒数。

动态电阻值是反映稳压管稳压能力的一个参数，它随工作电流大小而改变。



∴ 等效电路为



$$U_o = \frac{U_Z R_L}{r_Z + R_L}$$

当 $R_L = \infty$ 时， U_o =10V

当 $R_L = 1k\Omega$ 时， $U_o = 10\text{V} \times \dfrac{R_L}{r_Z + R_L}$

$$= 10 \times \frac{1000}{12+1000} = 9.8814 \text{（V）}$$

$$\therefore \Delta U_o = 9.8814 - 10 = -118.6 \text{（mV）}$$