第 13 章 均匀传输线习题解答

13.1 同轴电缆的参数为 $R_0 = 7\Omega/\text{km}$，$L_0 = 0.3\text{mH/km}$，$G_0 = 0.5\times10^{-6}\text{S/km}$，$C_0 = 0.2\mu\text{F/km}$。试计算当工作频率为800Hz 时此电缆的特性阻抗Z_c、传播常数γ、相速v_p和波长λ。

解：$R_0 + \text{j}\omega L_0 = 7 + \text{j}2\pi\times800\times0.3\times10^{-3} = 7.1606\angle12.157^\circ\ \Omega/\text{km}$

$$G_0 + \text{j}\omega C_0 = 0.5\times10^{-6} + \text{j}2\pi\times800\times0.2\times10^{-6} = 1005.31\times10^{-6}\angle89.972^\circ\ \text{S/km}$$

波阻抗$Z_c = \sqrt{\dfrac{R_0 + \text{j}\omega L_0}{G_0 + \text{j}\omega C_0}} = 84.396\angle-38.91\Omega$

传播常数$\gamma = \alpha + \text{j}\beta = \sqrt{(R_0 + \text{j}\omega L_0)(G_0 + \text{j}\omega C_0)} = 0.0533 + \text{j}0.066\ (1/\text{km})$

波长$\lambda = \dfrac{2\pi}{\beta} = \dfrac{2\pi}{0.066} = 95.2\text{km}$，相速$v_p = \lambda f = 95.2\times800 = 76163.5\quad \text{km/s}$

13.2 设沿某电缆分布着电压和电流行波

$$u = 14.1\text{e}^{-0.044x}\cos(5000t - 0.046x + \pi/6)\ (\text{单位：V,km,s})$$
$$i = 0.141\text{e}^{-0.044x}\cos(5000t - 0.046x + \pi/3)\ (\text{单位：A,km,s})$$

试求波阻抗、传播常数、波速、波长。

解：传输线上电压和电流行波可表示如下：

$$\begin{cases} u = U_\text{m}\text{e}^{-\alpha x}\cos(\omega t - \beta x + \psi_u) \\ i = I_\text{m}\text{e}^{-\alpha x}\cos(\omega t - \beta x + \psi_i) \end{cases}$$

波阻抗等于任一点处行波电压相量与同方向行波电流相量之比。根据给定的电压和电流行波可得出：

波阻抗 $Z_c = \dfrac{U_\text{m}\angle\psi_u}{I_\text{m}\angle\psi_i} = \dfrac{14.1\angle\pi/6}{0.141\angle\pi/3} = 100\angle-30^\circ\Omega$

传播常数 $\gamma = \alpha + \text{j}\beta = 0.044 + \text{j}0.046(1/\text{km})$

波速 $v = \dfrac{\omega}{\beta} = \dfrac{5000}{0.046} = 108695.65\quad km/s$

波长 $\lambda = \dfrac{v}{f} = \dfrac{108695.65}{5000/2\pi} = 136.59\text{km}$

13.3 某无损线波阻抗为$Z_c = 70\Omega$，终端负载阻抗$Z_2 = (35 + j35)\Omega$。试计算输入阻抗，设线长为(a)$\lambda/4$；(b)$\lambda/8$。

解：输入阻抗
$$Z_i = \frac{Z_2 \cos\beta l + jZ_c \sin\beta l}{Z_c \cos\beta l + jZ_2 \sin\beta l} \times Z_c \qquad (1)$$

(a)　当$l = \lambda/4$ 时，$\beta l = \frac{2\pi}{\lambda} \times \frac{\lambda}{4} = \pi/2$，$\cos\beta l = 0$，$\sin\beta l = 1$

$$Z_i = \frac{Z_c^2}{Z_2} = \frac{70^2}{35 + j35} = 70\sqrt{2}\angle -45°\Omega$$

(b) 当$l = \lambda/8$　时 $\beta l = \pi/4$，$\cos\beta l = \sin\beta l = \sqrt{2}/2$

$$Z_i = \frac{Z_2 + jZ_c}{Z_c + jZ_2} \times Z_c = \frac{35 + j35 + j70}{70 - 35 + j35} \times 70 = 70\sqrt{5}\angle 26.6°\Omega$$

13.4 长度为$\lambda/4$的无损线，终端接电阻$R_2 = 50\Omega$，现若使始端输入阻抗$Z_i = 200\Omega$，问该无损线波阻抗应为多少？又若$R_2 = 0$，则此无损线的输入阻抗是多少？

解：$l = \lambda/4$，$\beta l = \pi/2$，$\cos\beta l = 0$，$\sin\beta l = 1$

输入阻抗　$Z_i = \frac{Z_c^2}{R_2}$

若　$Z_i = 200$　则　$Z_c = \sqrt{Z_i R_2} = \sqrt{200 \times 50} = 100\Omega$

若　$R_2 = 0$　则　$Z_i \to \infty$

13.5 一信号源通过波阻抗为 50Ω的无损线向 75Ω负载电阻馈电。为实现匹配，在均匀线与负载间插入一段λ/4 的无损线，求该线的波阻抗。

解：当　$l = \lambda/4$　时，输入阻抗　$Z_i = \frac{Z_c^2}{R_2}$

匹配时　$Z_{c1} = Z_i$，即$50 = \frac{Z_c^2}{75}$，　$Z_c = \sqrt{50 \times 75} = 61.24\Omega$

13.6 终端短路的无损线，其波阻抗$Z_c = 505\Omega$，线长35m，波长λ=50m，求此无损线的等效电感值。

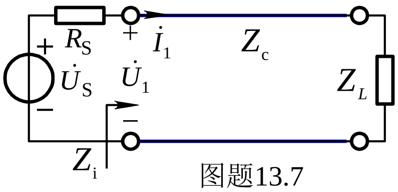
解：
$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{3\times10^8}{50} = 6\times10^6\,\text{Hz}$$

终端短路时等效输入阻抗

$$Z_i = jZ_c \text{tg}\beta l = j505\times\text{tg}(\frac{2\pi}{50}\times35) = j1554.23\Omega = j\omega L$$

等效电感
$$L = \frac{|Z_i|}{\omega} = \frac{1554.23}{2\pi\times6\times10^6} = 41.22\ \ \mu\text{H}$$

13.7 某无损线长4.5m，波阻抗为300Ω，介质为空气。线路始端接一内阻为100Ω，电压为10V，频率为100MHz的正弦电压源，以电源电压为参考相量。试计算在距始端1m处的电压相量。设负载阻抗为：(1)300Ω; (2)500Ω; (3) $-j500\Omega$。



图题13.7

解
$$\beta = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi\times10^8}{3\times10^8} = \frac{2}{3}\pi/\text{m}$$

(1) $Z_L = 300\Omega$，终端处于匹配状态，始端输入阻抗$Z_i = Z_c = 300\Omega$

$$\dot{U}_1 = \frac{Z_i}{R_S + Z_i}\times\dot{U}_S = 7.5\text{V} \qquad \dot{I}_1 = \dot{U}_1 / Z_i = 7.5/300 = 0.025\text{A}$$

$x = 1\text{m}$，$\beta x = \beta\times1\text{m} = 2\pi/3$，$\dot{U}(1\text{m}) = \dot{U}_1\angle -2\pi/3 = 7.5\angle -120^\circ\,\text{V}$

(2) $Z_L = 500\Omega$，$\beta l = \frac{2\pi}{3}\times4.5 = 3\pi$，$\cos\beta l = -1$，$\sin\beta l = 0$

$$Z_i = \frac{Z_L\cos\beta l + jZ_c\sin\beta l}{Z_c\cos\beta l + jZ_L\sin\beta l}\times Z_c = Z_L = 500\Omega \tag{1}$$

$$\dot{U}_1 = \frac{500}{500+100}\times10\text{V} = 8.333\,\text{V} \qquad \dot{I}_1 = \dot{U}_1 / Z_i = 8.333/500 = 0.0167\,\text{A}$$

$$\dot{U}(1\text{m}) = \dot{U}_1\cos(2\pi/3) - \text{j}Z_c\dot{I}_1\sin(2\pi/3) = -4.167 - \text{j}4.33 = 6.009\angle -133.9°\text{V}$$

(3) $Z_L = -\text{j}500\Omega$，由式(1)得：$Z_i = Z_L = -\text{j}500\Omega$

$$\dot{U}_2 = \frac{-\text{j}500}{100-\text{j}500}\times 10\text{V} = 9.806\angle -11.31°\ \text{V} \qquad \dot{I}_1 = \dot{U}_1/(-\text{j}500) = 0.0196\angle 78.69°\ \text{A}$$

$$\dot{U}(1\text{m}) = \dot{U}_1\cos(2\pi/3) - \text{j}Z_c\dot{I}_1\sin(2\pi/3)$$

$$= 9.806\angle -11.31°\times\cos 120° - \text{j}0.0196\angle 78.69°\times\sin 120°$$

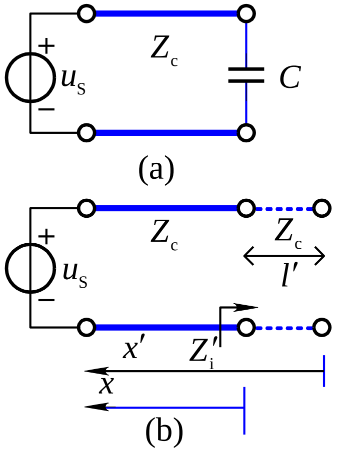
$$= 0.187\angle -11.92°\text{V}$$

$$\dot{U}(1\text{m}) = \dot{U}_1\cos(2\pi/3) - \text{j}Z_c\dot{I}_1\sin(2\pi/3)$$

$$= 9.806\angle -11.31°\times\cos 120° - \text{j}300\times 0.0196\angle 78.69°\times\sin 120°$$

$$= 0.189\angle -11.31°\text{V}$$

13.8 设图示无损线长为 17m，波阻抗$Z_c = 150\Omega$，u_S为正弦电压源。传输线上的行波波长$\lambda = 8\text{m}$，电容的容抗$|X_C| = 150\Omega$。试求传输线上电流始终为零的点距终端的距离。



图题13.8

解：将电容用一段长度为l'终端开路的传输线等效。如图 13.8(b)所示。

$$Z_i' = -\text{j}Z_c\text{ctg}(\frac{2\pi}{\lambda}\times l') = -\text{j}|X_C| = -\text{j}150 \qquad 解得 \qquad l' = 1\ \text{m}$$

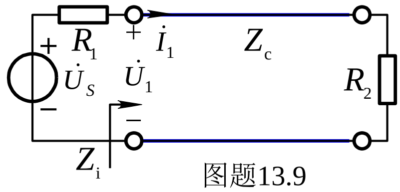
这样相当于无损线增加了 1 米，等效终端开路，等效终端电流为零，距等效终端

$x'=k\dfrac{\lambda}{2}$ 处均为波节，距终端波节的位置为：

$$x=x'-l'=k\frac{\lambda}{2}-l'=4k-1 \quad (k=1,2,3,4)$$

所以传输线上电流始终为零的点距终端的距离 x=3m, 7m ,11m , 15m 。

13.9 无损均匀传输线线长 $l=35.5\text{m}$，波阻抗 $Z_{\text{c}}=600\Omega$，波速 $v=3\times10^{8}\text{m/s}$，正弦电压源 $\dot{U}_{\text{S}}=10\text{V}$，频率 $f=6\times10^{6}\text{HZ}$，电阻 $R_2=4R_1=400\Omega$。(1)求始端电压 $\dot{U}_1$ 和电流 $\dot{I}_1$。(2)距离始端 12.5m 处的电压和电流相量。



图题13.9

解： (1) $\beta l=\dfrac{2\pi f}{v}\times l=1.5\pi$，$\cos\beta l=0$，$\sin\beta l=-1$

始端输入阻抗 $Z_{\text{i}}=\dfrac{R_2\cos\beta l+\text{j}Z_{\text{C}}\sin\beta l}{Z_{\text{C}}\cos\beta l+\text{j}R_2\sin\beta l}\times Z_{\text{c}}=\dfrac{Z_{\text{c}}^2}{R_2}=900\Omega$

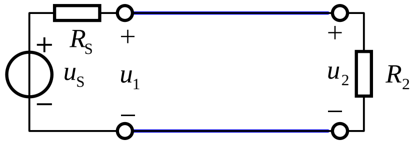
$$\dot{I}_1=\frac{\dot{U}_{\text{S}}}{R_1+Z_{\text{i}}}=\frac{10}{100+900}=0.01\text{A}，\ \dot{U}_1=Z_{\text{i}}\dot{I}_1=9\text{V}$$

(2) $x=12.5\text{m}$ 处， $\beta x=0.5\pi$ 。 $\cos\beta l=0$，$\sin\beta l=1$。电压、电流分别为

$$\dot{U}(x)=\dot{U}_1\cos\beta x-\text{j}Z_{\text{c}}\dot{I}_1\sin\beta x=-\text{j}Z_{\text{c}}\dot{I}_1=-\text{j}6\text{V}$$

$$\dot{I}(x)=\dot{I}_1\cos\beta x-\text{j}\frac{\dot{U}_1}{Z_{\text{c}}}\sin\beta x=-\text{j}\frac{\dot{U}_1}{Z_{\text{c}}}=-\text{j}0.015\text{A}$$

13.10 图示电路中 $R_{\text{S}}=100\Omega$， $u_{\text{S}}=150\cos(5000\pi t)\text{V}$， $R_2=100\Omega$ 。无损线线长 $l=10\text{km}$，$L_0=10^{-3}\text{H/km}$，$C_0=10^{-7}\text{F/km}$ 。求 $u_1(t)$ 和 $u_2(t)$ 。



图题 13.10

解：$Z_c=\sqrt{\dfrac{L_0}{C_0}}=100\Omega=R_2$ 处于匹配状态，所以输入阻抗$Z_i=Z_c=100\Omega$ 为电阻性。

$$u_1=\frac{u_S}{R_S+Z_i}\times Z_i=75\cos(5000\pi t)\text{V}$$

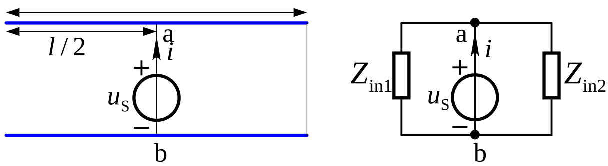
波速$v=\dfrac{1}{\sqrt{L_0C_0}}=10^5\text{km/s}=10^8\text{m/s}$，频率 $f=2500\text{Hz}$

波长$\lambda=\dfrac{v}{f}=\dfrac{10^8}{2500}=4\times10^4\text{m}$，

$\beta l=\dfrac{2\pi}{\lambda}\times l=\dfrac{2\pi}{4\times10^4}\times10^4=0.5\pi$，$\dot{U}_{2m}=\dot{U}_{1m}\angle-\beta l=75\angle-90°\text{V}$

$$u_2(t)=75\cos(5000\pi t-90°)\text{V}$$

13.11 图示无损传输线，长度为$l=50\text{m}$，特性阻抗为$Z_c=100\sqrt{3}\Omega$，传输线一端开路，一端短路，线路中点处接一电压源$u_S(t)=3\sqrt{2}\cos(\omega t+30°)\text{V}$，工作波长$\lambda=300\text{m}$，求流过电压源的电流$i(t)$。



图题 13.11

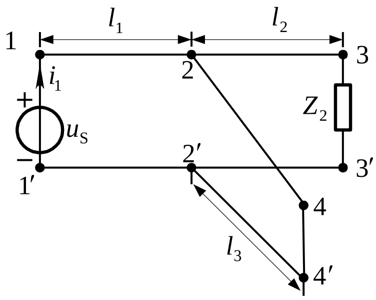
解：从a-b端向左看，令其等效阻抗为Z_{in1}，其大小为 $Z_{in1}=-jZ_c\cot(\dfrac{2\pi}{\lambda}\times\dfrac{l}{2})=-j300\,\Omega$；

从 a-b端向右看，令其等效阻抗为Z_{in2}，其大小为 $Z_{in2}=jZ_c\tan(\dfrac{2\pi}{\lambda}\times\dfrac{l}{2})=j100\,\Omega$；

电流 $\dot{I}=\dfrac{\dot{U}_S}{Z_{in1}//Z_{in2}}=\dfrac{3\angle30°\text{ V}}{j150\,\Omega}=0.02\angle-60°\text{ A}$

则 $i(t)=0.02\sqrt{2}\cos(\omega t-60°)\text{ A}$

13.12 图示电路中无损均匀传输线l_1、l_2、l_3，其长度均为0.75m，特性阻抗$Z_c=100\Omega$，$u_S=10\cos(2\pi\times10^8t)\text{ V}$，相位速度$v=3\times10^8\text{m/s}$，终端$3-3'$接负载$Z_2=10\Omega$，终端$4-4'$短路，求电源端的电流$i_1(t)$



图题 13.12

解：$\lambda = v / f = 3\mathrm{m}$，三段无损线长度为四分之一波长

根据 $Z_i(x') = Z_c \dfrac{Z_L \cos\beta x' + jZ_c \sin\beta x'}{jZ_L \sin\beta x' + Z_c \cos\beta x'}$，并且 $\beta x' = \pi/2$，可得 $Z_i = \dfrac{Z_c^2}{Z_L}$

由 2 端向 4 端看等效输入阻抗 $Z_{2\text{-}4} \to \infty$

由 2 端向 3 端看等效输入阻抗 $Z_{2\text{-}3} = \dfrac{Z_c^2}{Z_2} = 1000\Omega$

$2-2'$ 端的等效阻抗 $Z_{2\text{-}2'} = Z_{2\text{-}3} = 1000\Omega$

由 1 端向 2 端看等效输入阻抗 $Z_{1\text{-}2} = \dfrac{Z_c^2}{Z_{2\text{-}2'}} = 10\Omega$

$\dot{U}_{\mathrm{Sm}} = 10\angle 0°\mathrm{V}$，$\dot{I}_{1\mathrm{m}} = \dot{U}_{\mathrm{Sm}} / Z_{12} = 1\angle 0°\mathrm{A}$

则 $i_1(t) = \cos(2\pi \times 10^8 t)\ \mathrm{A}$

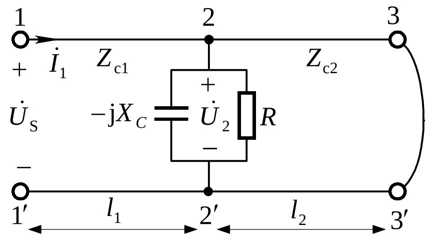
13.13 图示两条架空均匀无损线的波阻抗 $Z_{c1} = 300\Omega$，$Z_{c2} = 200\Omega$，长度 $l_1 = \lambda/4$，$l_2 = \lambda/8$。$1-1'$ 端接电压源 $\dot{U}_S = 600\angle 0°\mathrm{V}$，$2-2'$ 端接有集中参数 $R = 300\Omega$，$X_C = 200\Omega$，终端 $3-3'$ 短路。求：(1)从 $1-1'$ 端看入的入端阻抗 Z_{in}；(2)始端电流 I_1；(3) $2-2'$ 端电压 U_2。

解：(1) 由 $2-2'$ 端向 $3-3'$ 端看等效输入阻抗 $Z_{2\text{-}3} = jZ_{c2}\tan(\dfrac{2\pi}{\lambda} \times \dfrac{\lambda}{8}) = jZ_{c2} = j200\,\Omega$

$2-2'$ 端的等效阻抗 $Z_{2\text{-}2'} = Z_{2\text{-}3} // (-jX_C) // R = j200\Omega // (-j200\Omega) // R = R$

从$1-1'$端看入的入端阻抗$Z_{\text{in}}=Z_{\text{c1}}\dfrac{R\cos\beta l_1+\text{j}Z_{\text{c1}}\sin\beta l_1}{\text{j}R\sin\beta l_1+Z_{\text{c1}}\cos\beta l_1}$，$\beta l_1=\dfrac{2\pi}{\lambda}\times\dfrac{\lambda}{4}=\dfrac{\pi}{2}$

得$Z_{\text{in}}=\dfrac{Z_{\text{c1}}^2}{R}=\dfrac{300^2}{300}=300\,\Omega$



图题 13.13

(2) 始端电流$I_1=\dfrac{U_{\text{S}}}{Z_{\text{in}}}=\dfrac{600\text{ V}}{300\,\Omega}=2\text{ A}$

(3) $\dot{U}_2=(\cos\beta x)\dot{U}_{\text{S}}-(\text{j}Z_{\text{c1}}\sin\beta x)\dot{I}_1=-\text{j}Z_{\text{c1}}\dot{I}_1=-\text{j}600\text{ V}=600\angle-90^\circ\text{ V}$

13.14 矩形电压波$u^+=200\text{kV}$和电流波$i^+=400\text{A}$沿架空线传播，线路终端接有800Ω的电阻负载。试求波传到终端时负载所承受的电压为多少？

解：　波阻抗$Z_{\text{c}}=\dfrac{u^+}{i^+}=\dfrac{200\times10^3}{400}=500\Omega$，终端反射系数$N_2=\dfrac{R_2-Z_{\text{c}}}{R_2+Z_{\text{c}}}=\dfrac{3}{13}$

故负载承受的电压$u_2=u_2^++N_2u_2^+=(1+\dfrac{3}{13})\times200\times10^3=246.15\text{kV}$

13.15 长度为$l=600\text{m}$的无损线，波阻抗$Z_{\text{c}}=500\Omega$，终端接 $1\text{k}\Omega$电阻，始端施以阶跃电压$u_{\text{S}}=15\,\varepsilon(t)\text{V}$。试分析始端电流在$0<t<6l/v$期间的波过程，最后的稳态解是多少？（波速$\upsilon$可按光速计算）

解：终端反射系数$N_2=\dfrac{Z_L-Z_{\text{c}}}{Z_L+Z_{\text{c}}}=\dfrac{1}{3}$，始端反射系数$N_1=\dfrac{Z_{\text{S}}-Z_{\text{c}}}{Z_{\text{S}}+Z_{\text{c}}}=-1$

这是一个多次反射过程，反射过程如图题 13.15 所示。其中$t_d=l/v$

当$0<t<\dfrac{2l}{v}$时，反射波未达到始端，只有入射波。$i_1=i^+=\dfrac{u_1}{Z_{\text{c}}}=\dfrac{15\text{V}}{500\Omega}=30\text{mA}$

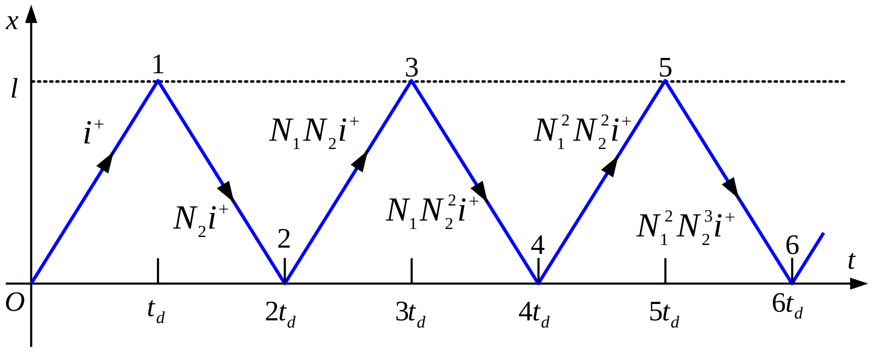
当$\frac{2l}{v}<t<\frac{4l}{v}$时，反射波到达始端，$i_1=i^+-N_2i^++N_1N_2i^+=30-10-10=10\text{mA}$

当$\frac{4l}{v}<t<\frac{6l}{v}$时，始端电流为:

$$i_1=i^+-N_2i^++N_1N_2i^+-N_1N_2^2i^++N_1^2N_2^2i^+=30-10-10+\frac{10}{3}+\frac{10}{3}=16.67\text{mA}$$

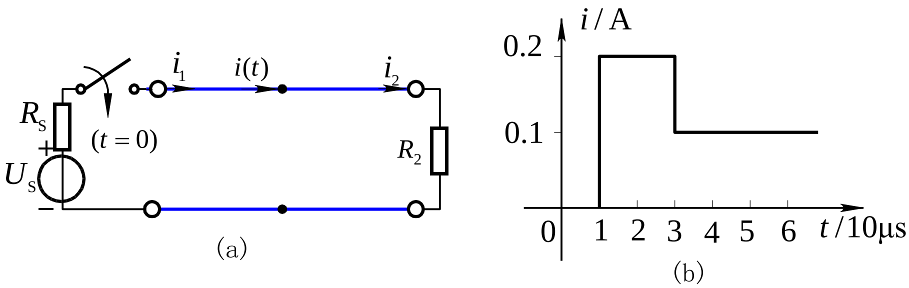
达到稳态时 $i_1(\infty)=\frac{u_1}{R_2}=15\text{mA}$

所以 $i_1(t)=\begin{cases}30\text{mA} & 0<t<2l/v\\ 10\text{mA} & 2l/v<t<4l/v\\ 16.67\text{mA} & 4l/v<t<6l/v\end{cases}\qquad i_1(\infty)=\frac{u_1}{R_2}=15\text{mA}$



图题13.15

13.16 图示无损均匀线线长$l=6\text{km}$，波阻抗$Z_c=600\Omega$，波速近似光速。又知$R_S=Z_c$，$R_2=1800\Omega$，$U_S=240\text{V}$，$t=0$时开关接通。试确定无损线中点处电流$i(t)$在$0<t<60\mu\text{s}$期间内的变化规律。



图题 13.16

解：波从始端传到中点所用的时间为：$t_1=\frac{l/2}{v}=\frac{3\times10^3}{3\times10^8}=10^{-5}\text{s}=10\mu\text{s}$

(1) 当$0<t<10\mu s$时，入射波从始端发出，尚未到达中点所以 $i(t)=0$。

(2) $10\mu s<t<30\mu s$时，入射波已经过中点，但在终端所产生的反射波还没有到达中点。

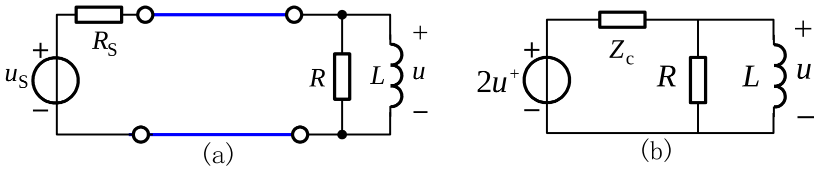
$$i(t)=i_1^+=\frac{U_S}{R_S+Z_c}=\frac{240}{600+600}=0.2A$$

(3) $30\mu s<t<60\mu s$时，在终端所产生的反射波已经过中点，并于$t=40\mu s$时刻到达始端。由于$R_S=Z_c$，所以到达始端后不再产生第二次反射

终端反射系数$N_2=\dfrac{R_2-Z_c}{R_2+Z_c}=\dfrac{1800-600}{1800+600}=0.5$，$i_2^-=N_2i_2^+=N_2i_1^+=0.1A$

$i(t)=i_1^+-i_2^-=0.1A$。其波形如图13.16(b)所示。

13.17 电路如图所示，设无损耗传输线长为 1ms 时间内波所传播的距离，波阻抗$Z_c=R_S=200\Omega$。又已知R=300Ω，L=0.1H，$u_S=10\,\varepsilon(t)-10\,\varepsilon(t-0.001s)$ V。求t>0 时的零状态响应$u(t)$。



图题13.17

解：$0<t<1ms$时，入射波电压尚未传播到终端，所以$u(t)=0$；

$t>1ms$时，入射波到达终端并产生反射波；$t>2ms$时，反射波到达始端，但由于$Z_c=R_S$，所以在始端不再产生第二次反射。根据彼德生法则，得到$t>1ms$时的终端等效电路如图(b)所示。其中

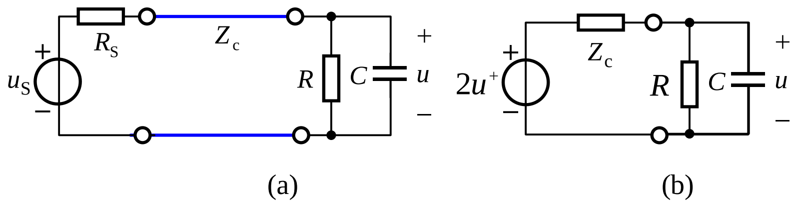
$$u^+=\frac{Z_c}{R_S+Z_c}\times u_S\times\varepsilon(t-0.001)=[5\varepsilon(t-0.001)-5\varepsilon(t-0.002)]V$$

从电感两端看的等效电阻　$R_i = \dfrac{RZ_c}{R+Z_c} = \dfrac{300\times 200}{300+200} = 120\Omega$　$\tau = \dfrac{l}{R_i} = \dfrac{1}{1200}\text{s}$

$u(t)$ 的单位阶跃特性为　$s(t) = \dfrac{R}{Z_c + R}\text{e}^{-t/\tau} = 0.6\text{e}^{-1200t}\varepsilon(t)$

所以　$u(t) = [6\text{e}^{-1200(t-0.001)}\varepsilon(t-0.001) - 6\text{e}^{-1200(t-0.002)}\varepsilon(t-0.002)]\text{ V}$

13.18　电路如图所示，无损均匀传输线长 $l = 300\text{m}$，波阻抗 $Z_c = 200\Omega$，$R_S = 50\Omega$，波速 $v = 3\times10^8\text{m/s}$。又已知 R=300Ω，$C = 0.1\text{F}$，$u_S = 10\,\varepsilon(t)\text{ V}$。求 $0 < t < 3\mu\text{s}$ 时的终端电压 $u(t)$。



图题13.18

解：入射波从始端传到终端的时间 $t = \dfrac{l}{v} = 1\mu\text{s}$

$0 < t < 1\text{us}$ 时，入射波电压尚未传播到终端，所以 $u(t) = 0$；

$t > 1\text{us}$ 时，入射波到达终端并产生反射波；$2\text{us} < t < 3\text{us}$ 时，反射波到达始端并产生二次反射，但反射波还没到达终端。根据彼德生法则，得到 $2\text{us} < t < 3\text{us}$ 时的终端等效电路如图(b)所示。其中

$$u^+ = \frac{Z_c}{R_S + Z_c}\times u_S = 8\varepsilon(t)\text{V}$$

从电容两端看的等效电阻

$$R_i = \frac{RZ_c}{R+Z_c} = \frac{300\times200}{300+200} = 120\Omega,\quad \tau = R_iC = 120\times0.1\text{ s} = 12\text{ s}$$

初始值：$u_2(t_{0+}) = 0$

稳态值：$u_2(\infty) = \dfrac{R}{R+Z_c}\times 2u^+ = \dfrac{300}{300+200}\times2\times8 = 9.6\text{V}$

终端电压 $u(t) = [9.6(1-\text{e}^{-(t-10^{-6})/12})\varepsilon(t-10^{-6})]\text{V}$，$0 < t < 3\mu\text{s}$