

声明：作答人不知道也不可能知道试题的标准答案。以下解答为作答人根据自己的思路、依照回忆版试卷书写，仅供参考。作答人绝对未在考试中实施任何作弊行为，也绝对未在考试结束后将试卷、草稿纸带出考场。

哈尔滨工业大学（深圳）2022 学年秋季学期

电路 IB 试题（A）参考答案

一、填空题（每题 2 分，满分 10 分）

1. 和；差
2. 单连支；它所包含的连支
3. $A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21} = 1$ ； $A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21} = 1$ 且 $A_{11} = A_{22}$
4. $9.91 \times 10^{-3} \text{Wb}$ ；滞后

【解析】

4. 由公式 $\dot{U} = j4.44fN\dot{\Phi}_m$ 有

$$\dot{\Phi}_m = \frac{\dot{U}}{4.44fN} = \frac{220}{4.44 \times 50 \times 100} = 9.91 \times 10^{-3} \text{Wb}$$

$\dot{U} = 4.44fN \angle 90^\circ \times \dot{\Phi}_m$ ，所以磁通最大值相位滞后于电压 90° 。

5. 增大

【解析】不计漏磁，则磁路中只有一个磁通。由磁路欧姆定律得 $NI = R_m \Phi$ ，

由于不计边缘效应，因此 $S = S_\delta$ （ S 为铁心截面积， S_δ 为空气隙截面积）。则磁路中磁阻表达式

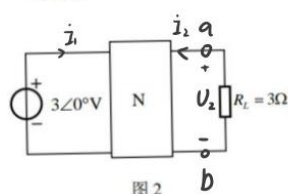
为 $R_m = \frac{l}{\mu S} + \frac{\delta}{\mu_0 S} = \frac{1}{\mu_0 S} \left(\frac{l}{\mu_r} + \delta \right)$ （ l 为铁心平均长度），当气隙减小 $\Delta\delta > 0$ 时，有磁阻改变量

$\Delta R_m = \frac{\Delta\delta}{\mu_0 S} \left(\frac{1}{\mu_r} - 1 \right)$ ，铁磁材料 $\mu_r > 1$ ，所以 $\Delta R_m < 0$ ，又结合磁通势不变，电路中磁通 Φ 增大。

二、选择题（每题 3 分，满分 12 分）

1. A 【解析】

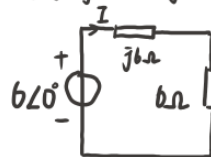
方法一



$$\begin{cases} \dot{U}_1 = j3\dot{I}_1 + j6\dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = j6\dot{I}_1 + j6\dot{I}_2 \\ \dot{U}_1 = 3\angle 0^\circ \text{V} \end{cases}$$

整理得 $\dot{U}_2 = 6\angle 0^\circ - j6\dot{I}_2$

则可将电路等效为



$$Z = (6 + j6) \Omega, \varphi = 45^\circ$$

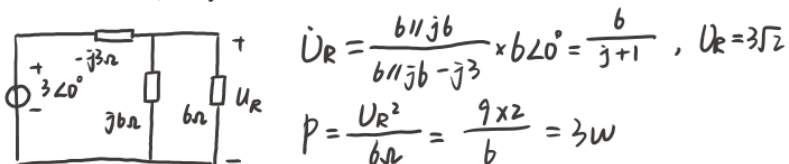
$$I = \frac{U}{|Z|} = \frac{6}{6\sqrt{2}}$$

$$P = UI \cos \varphi = 6 \times \frac{6}{6\sqrt{2}} \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 3 \text{W}$$

方法二

$Z = \begin{bmatrix} j3 & j6 \\ j6 & j6 \end{bmatrix}$ 满足互易条件, 可将 N 等效为 T 型二端口网络

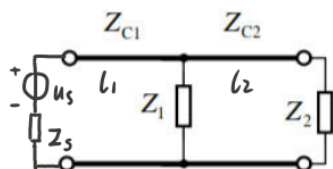
其中 $Z_1 = j3 - j6 = -j3\Omega$, $Z_2 = j6 - j6 = 0\Omega$, $Z_3 = j6\Omega$



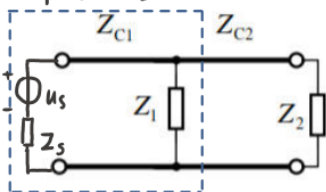
2. B

3. D 【解析】

3. 假设给无损线的始端施加一激励源 U_s , 始端负载为 Z_s



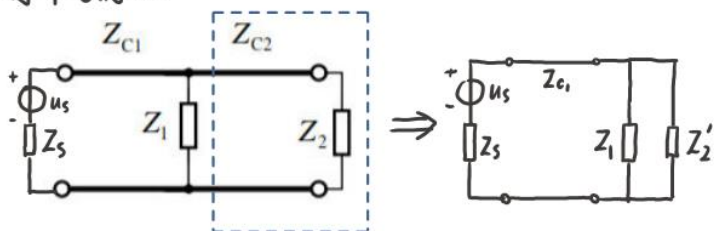
先来考虑 Z_2 :



将无损线 l_2 左端所有部分看作始端

l_2 的终端反射系数为 $\Gamma_{22} = \frac{Z_2 - Z_{C2}}{Z_2 + Z_{C2}} = 0$, 所以 $Z_2 = Z_{C2} = 100\Omega$

再来考虑 Z_1 :



将连接了负载 Z_2 的无损线 l_2 等效为阻抗 Z_2'

由 $Z_{C2} = Z_2$ 知负载 Z_2 与传输线 l_2 匹配, 那么无损线 l_2 上电压与电流之比处处为 Z_{C2} , 所以 $Z_2' = Z_{C2} = 100\Omega$

无损线 l_1 终端反射系数为 $\Gamma_{21} = \frac{Z_1 \parallel Z_2' - Z_{C1}}{Z_1 \parallel Z_2' + Z_{C1}} = 0$,

所以 $Z_{C1} = Z_1 \parallel Z_2'$, 得 $Z_1 = 150\Omega$

4. A 【解析】

$$30\text{m} = \lambda = \frac{c}{f} = \frac{c}{\frac{\omega}{2\pi}}, \text{得 } \omega = 2\pi \times 10^7 \text{ rad/s}$$

$$X_L = \omega L = 100\pi$$

终端短路的无损耗线的等效阻抗为

$$jZ_0 \tan\left(\frac{2\pi}{\lambda}x\right) = j500 \tan\left(\frac{\pi x}{15}\right)$$

$$\text{所以 } j500 \tan\left(\frac{\pi x}{15}\right) = j\omega L = j100\pi$$

$$x = \frac{15}{\pi} \arctan\left(\frac{\pi}{5}\right) = 2.68\text{m}$$

特别注意: $\frac{\pi x}{15}$ 是弧度制, 若使用卡西欧计算器计算的 $\arctan\frac{\pi}{5}$ 为角度制则需进行转化后继续计算

三、计算题 (每题 8 分, 满分 40 分)

1. 解: ① 由公式 $I_l = B_l^T I_t$, 已知连支电流, 可求得树支电流
$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & -1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_4 \\ i_5 \\ i_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 \\ -9 \\ 15 \end{bmatrix} \text{A}$$

② 由公式 $U_l = -B_l U_t$, 已知树支电压, 可求得连支电压
$$\begin{bmatrix} u_4 \\ u_5 \\ u_6 \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ -2 \\ -3 \end{bmatrix} \text{V}$$

③ 由矩阵 B 画出各基本回路, 如图 1(a)~(c)所示。将各基本回路综合在一起得题中所求线图, 如图 1(d)所示。

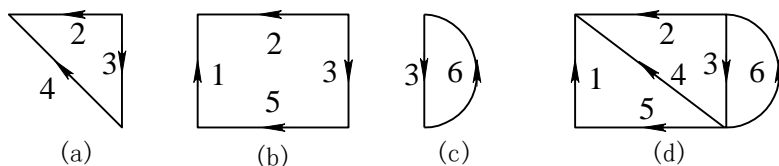


图 1

2. 解: 非线性电阻左侧电路可等效为一个电流源并电阻 R_s , 电流源表达式为

$$i_{eq} = \frac{U_s}{R_s} + i_s(t) = 6 + 0.5 \cos(\omega t) \text{A}$$

当稳态分量单独作用时: $I_0 = 6 - \frac{U_0}{1} = 6 - U_0$, 又 $I_0 = U_0^2$, 解得 $U_0 = 2\text{V}$, $I_0 = 4\text{A}$,

动态电导 $G_d = \frac{di}{du} = 2u|_{u=2\text{V}} = 4\text{S}$, 动态电阻为 $R_d = 0.25\Omega$

对于 $i_s(t)$: $\Delta i = \frac{1}{1+0.25} i_s(t) = \frac{2}{5} \cos(\omega t) \text{A}$ (并联分流), $\Delta u = \Delta i R_d = \frac{1}{10} \cos(\omega t) \text{V}$

故 $i = 4 + \frac{2}{5} \cos(\omega t) \text{A}$; $u = 2 + \frac{1}{10} \cos(\omega t) \text{V}$

3. 解：将网络 N 划分为三个级联的子网络。对图 2 所示的子网络

$$\begin{cases} U_1 = U_2 + R_2(-I_2) \\ I_1 = U_1/R_1 + (-I_2) = U_2/R_1 + (1 + R_2/R_1)(-I_2) \end{cases}$$

对应的传输参数矩阵为 $A = \begin{bmatrix} 1 & R_2 \\ 1/R_1 & 1 + R_2/R_1 \end{bmatrix}$

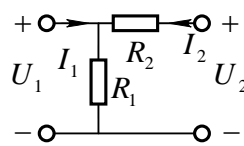


图 2

当 $R_1 = 2\Omega$, $R_2 = 1\Omega$ 时, 上述矩阵变为子网络 N_1 的传输参数矩阵 $A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0.5 & 1.5 \end{bmatrix}$

当 $R_1 \rightarrow \infty$, $R_2 = 1\Omega$ 时, 上述矩阵变为子网络 N_3 的传输参数矩阵 $A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$

对网络 N_2 , 由 Y 参数方程得:

$$I_1 = 1.5U_1 - 3.5U_2 \quad (1)$$

$$I_2 = -0.5U_1 + 1.5U_2 \quad (2)$$

由式 (2) 得 $U_1 = 3U_2 + 2(-I_2)$, 再代入式 (1) 得 $I_1 = U_2 + 3(-I_2)$

因此网络 N_2 的传输参数矩阵 $A_2 = \begin{bmatrix} 3 & 2 \\ 1 & 3 \end{bmatrix}$

网络 N 的传输参数矩阵 $A = A_1 A_2 A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0.5 & 1.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 & 2 \\ 1 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 & 9 \\ 3 & 8.5 \end{bmatrix}$

4. 解：将电容用一段长度为 l' 终端开路的传输线等效, 如图 3 所示。

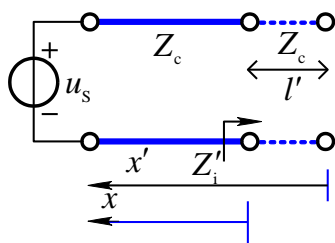


图 3

$$Z_i' = -jZ_c \cot\left(\frac{2\pi}{\lambda} \times l'\right) = -j|X_c| = -j150 \quad \text{解得} \quad l' = 1 \text{ m}$$

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 $x' = k \frac{\lambda}{2}$ 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 $x = 3\text{m}, 7\text{m}, 11\text{m}, 15\text{m}$ 。

5. 解：如图 4

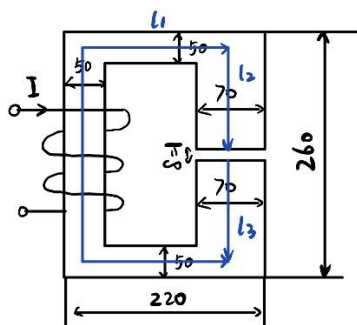


图 4

$$l_1 = 2 \times (220 - 25 - 35) \text{ mm} + (260 - 50) \text{ mm} = 530 \text{ mm} = 0.53 \text{ m}$$

$$l_2 = l_3 = (260 - 50 - 1) / 2 = 104.5 \text{ mm} = 1.045 \times 10^{-1} \text{ m}$$

$$S_1 = 50 \times 60 \text{ mm}^2 = 3000 \text{ mm}^2 = 3 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_2 = 70 \times 60 = 4200 \text{ mm}^2 = 4.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_\delta = (70 + 1)(60 + 1) = 4331 \text{ mm}^2 = 4.331 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

由基尔霍夫磁位差定律, $NI = \sum Hl$, 则 $I = \frac{H_1 l_1 + 2H_2 l_2 + H_\delta \delta}{1000}$ -----①

又 $H_1 = \frac{B_1}{\mu_r \mu_0} = \frac{\Phi}{\mu_r \mu_0 S_1} = 477.469 \text{ A/m}$, $H_2 = \frac{B_2}{\mu_r \mu_0} = \frac{\Phi}{\mu_r \mu_0 S_2} = 341.046 \text{ A/m}$,

$H_\delta = \frac{B_\delta}{\mu_0} = \frac{\Phi}{\mu_0 S_\delta} = 1.654 \times 10^5 \text{ A/m}$, 代入①得 $I \approx 0.49 \text{ A}$

四、计算题（每题 9 分，满分 18 分）

1. 解：由二端口输出端等效公式，题述二端口可等效为如下图 5 所示。

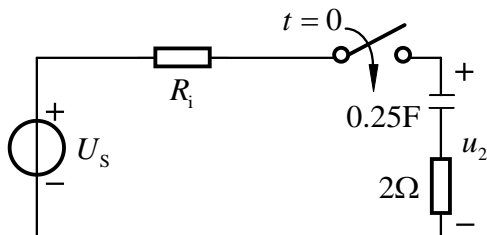


图 5

其中 $U_s = \frac{30}{A_{21}Z_s + A_{11}} = 30 \text{ V}$, $R_i = \frac{A_{22}Z_s + A_{12}}{A_{21}Z_s + A_{11}} = 6 \Omega$

零状态电容相当于短路, 所以 $u_2(0_+) = \frac{2}{2+6} \times 30 \text{ V} = 7.5 \text{ V}$

稳态时电容相当于开路, 所以 $u_2(\infty) = 30 \text{ V}$, 时间常数 $\tau = RC = (2+6) \times 0.25 \text{ s} = 2 \text{ s}$

由三要素公式, $u_2(t) = 30 - 22.5e^{-t/2} \text{ V} (t > 0)$ 。

2. 解: (1) $\omega = 2\pi f = 6\pi \times 10^6 \text{ rad/s}$, $\frac{\omega}{\beta} = v = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \Rightarrow \beta = 2\pi \times 10^{-2} (1/\text{m})$, $\lambda = \frac{2\pi}{\beta} = 100 \text{ m}$ 。

电源左侧传输线长度为 $\frac{\lambda}{4}$, 其入端等效阻抗为 $Z_{i1} = \frac{Z_{C1}^2}{Z_L} = \frac{100 \times 100}{-200j} = 50j(\Omega)$

电源右侧传输线为终端短路线, 其入端等效阻抗为 $Z_{i2} = jZ_{C2} \tan \beta l_2 = j \times 50 \tan \frac{\pi}{4} = 50j(\Omega)$

所以对于入端而言的集中参数等效电路为 (如图 6)

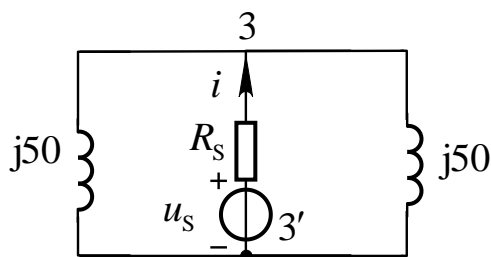


图 6

$$\text{始端电流相量 } \dot{I}_m = \frac{100\sqrt{2}\angle 0^\circ}{25 + (j50 \parallel j50)} = \frac{100\sqrt{2}\angle 0^\circ}{25 + j25} = \frac{100\sqrt{2}\angle 0^\circ}{25\sqrt{2}\angle 45^\circ} = 4\angle -45^\circ \text{ A},$$

时域表达式为 $i = 4\cos(6\pi \times 10^6 t - 45^\circ)$ 。

(2) 对于电源左侧传输线而言, 其入端电压相量

$$\dot{U}_{\text{inm}} = 100\sqrt{2}\angle 0^\circ - 25 \times 4\angle -45^\circ = 100\sqrt{2} - 50\sqrt{2} + j50\sqrt{2} = 100\angle 45^\circ \text{ V}$$

$$\text{入端电流相量 } \dot{I}_{\text{inm}} = \frac{\dot{U}_{\text{inm}}}{j50} = 2\angle -45^\circ \text{ A}$$

$$\text{因此 } 1-1' \text{ 端电压相量 } \dot{U}_{1m} = \dot{U}_{\text{inm}} \cos \beta l_1 - jZ_{c1} \dot{I}_{\text{inm}} \sin \beta l_1 = -jZ_{c1} \dot{I}_{\text{inm}} = 200\angle -135^\circ \text{ V}$$

$$1-1' \text{ 端电流相量 } \dot{I}_{1m} = \frac{\dot{U}_{1m}}{-200j} = 1\angle -45^\circ \text{ V}$$

所以时域表达式为 $u_1 = 200\cos(6\pi \times 10^6 t - 135^\circ)$, $i_1 = \cos(6\pi \times 10^6 t - 45^\circ)$ 。