

# 電気電子回路 試験問題・答案例

by A.Tsuchiya

Copyright ©2000 土谷 亮 (Akira TSUCHIYA)

---

Permission is granted to make and distribute verbatim copies of this document provided the copyright notice are preserved on all copies.

This document is NOT official information, and provided with no express or implied warranties. Use the information in this document at your own risk.

著作権表示が全ての複製に存在する限りにおいて、この文書の完全な複製を再配布することを許可します。  
この文書は非公式であり、無保証です。この文書に含まれる情報は自己責任で利用して下さい。

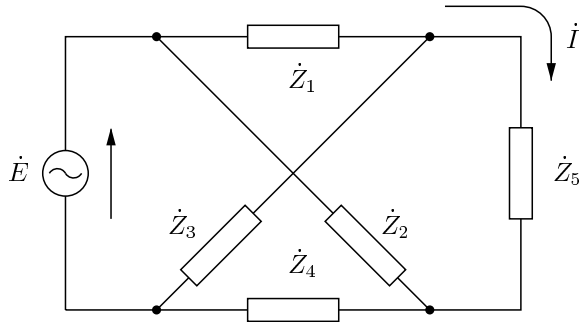
## 目次

<b>1</b>	<b>1994年度(平成6年度)後期(H7.1.31実施)</b>	<b>1</b>
1.1	問題	1
1.2	答案	2
<b>2</b>	<b>1995年度(平成7年度)後期(H8.2.7実施)</b>	<b>7</b>
2.1	問題	7
2.2	答案	9
<b>3</b>	<b>1996年度(平成8年度)後期(H9.1.22実施)</b>	<b>12</b>
3.1	問題	12
3.2	答案	14
<b>4</b>	<b>1997年度(平成9年度)後期(H10.1.28実施)</b>	<b>16</b>
4.1	問題	16
4.2	答案	18
<b>5</b>	<b>1998年度(平成10年度)後期(H11.2.4実施)</b>	<b>20</b>
5.1	問題	20

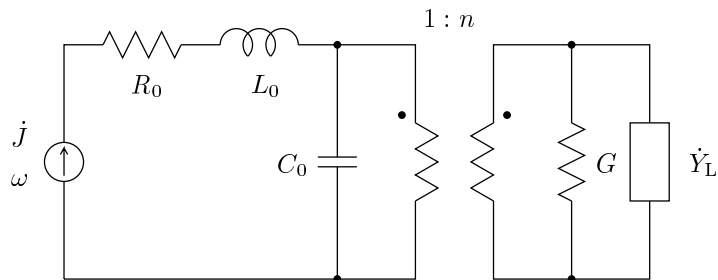
# 1 1994年度(平成6年度)後期(H7.1.31実施)

## 1.1 問題

(1) ヘルムホルツの定理(テブナンの定理)を用いて, 下図の回路の電流  $i$  を求めよ。



(2) 理想変成器(変成比  $1:n$ )を含む下図の回路において, アドミタンス  $Y_L$  で消費される有効電力が最大になるように  $Y_L$  を定め, その時の有効電力  $P$  を求めよ。

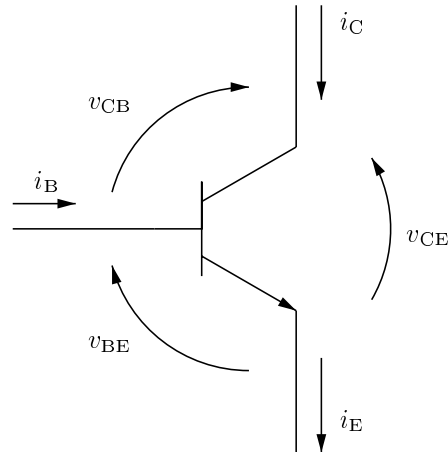


[3] 次の問に答えよ。

- (a) ハイブリッド行列の各要素  $(h_i, h_r, h_f, h_o)$  を表示する等価回路を描け。
- (b) 内部抵抗  $R_0$  をもつ信号源をその4端子網の入力端に, 負荷コンダクタンス  $G_1$  を入力端に接続した場合の電流利得, 電圧利得, 入力抵抗および出力コンダクタンスを求めよ。
- (c) 負荷コンダクタンス  $G_1$  を零から無限大まで変化させたとき, 電流利得および入力抵抗はどのように変化するか, グラフに表示せよ。

[4]

1. 下図のような特性(polarity)のトランジスタは何と呼ばれるか。



2. n 型半導体における多数キャリア (majority carrier) は何か。
3. p 型半導体における不純物 (impurity) は何と呼ばれるか。
4. 次のように簡便化したトランジスタのモデルについて考える。各部の電圧と電流は上図のように定義する。

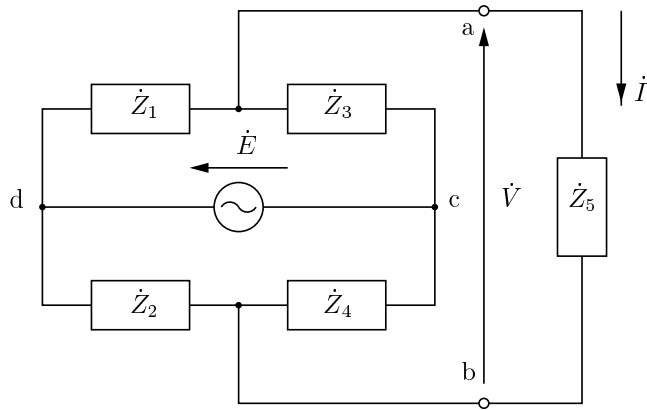
- $i_E = I_s [\exp(v_{BE}/V_T) - 1]$
- $i_C$  は  $v_{CB}$  に依存しない。
- $i_C = \beta i_B$
- $i_E = i_C + i_B$

$I_s$ ,  $V_T$ ,  $\beta$ , は一定と考えてよい量であるが, この中でトランジスタに依存しない量はどれか。

5.  $I_s = 1\text{pA}$ ,  $V_T = 25\text{mV}$ ,  $\beta = 100$  を仮定して, このトランジスタの  $i_E$ - $v_{BE}$  特性の概略を描け。とくに立ち上がり部分に関心を払うこと。  $\log_e 10 = 2 \log_e 3.16 = 2.30$  とせよ。
6. 同様に,  $i_B$ - $v_{BE}$  特性を描け。
7. 同様に,  $i_C$ - $v_{CE}$  特性を描け。ただし,  $i_B$  をパラメータとして  $0\mu\text{A}$  から  $800\mu\text{A}$  まで  $200\mu\text{A}$  刻で変化させること。

## 1.2 答案

- (1) 回路図を書き直すと下図のようになる。



端子 ab 間の電圧を  $\dot{V}$ 、電源を殺して電源側の回路を見たインピーダンスを  $\dot{Z}$ 、 $\dot{Z}_5$  を流れる電流を  $\dot{i}$  とすると、テブナンの定理より

$$\dot{i} = \frac{\dot{V}}{\dot{Z} + \dot{Z}_5}$$

が成り立つ。

電源を殺した時電圧源は短絡であるから

$$\dot{Z} = \frac{\dot{Z}_1 \dot{Z}_3}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_3} + \frac{\dot{Z}_2 \dot{Z}_4}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_4}$$

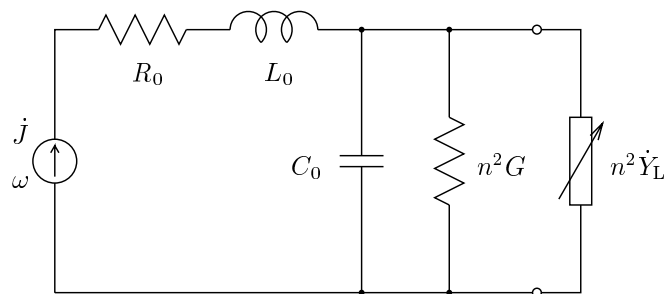
また

$$\dot{V} = \left( \frac{\dot{Z}_3}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_3} - \frac{\dot{Z}_4}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_4} \right) \dot{E}$$

以上より

$$\dot{i} = \frac{\dot{Z}_3 (\dot{Z}_2 + \dot{Z}_4) - \dot{Z}_4 (\dot{Z}_1 + \dot{Z}_3)}{\dot{Z}_1 \dot{Z}_3 (\dot{Z}_2 + \dot{Z}_4) + \dot{Z}_2 \dot{Z}_4 (\dot{Z}_1 + \dot{Z}_3) + \dot{Z}_5 (\dot{Z}_1 + \dot{Z}_3) (\dot{Z}_2 + \dot{Z}_4)} \dot{E}$$

(2) 問題の等価回路は下図のようになる。



電源側の回路で電流源を開放した場合のアドミッタンス  $\dot{Y}$  は

$$\dot{Y} = n^2 G + j\omega C_0$$

ノートの定理より、負荷にかかる電圧  $\dot{V}$  は

$$\dot{V} = \frac{j}{\dot{Y} + n^2 \dot{Y}_L}$$

電力を  $\dot{P}$  とすると

$$\dot{P} = \dot{V}^2 (n^2 \dot{Y}_L) = j^2 \frac{n^2 \dot{Y}_L}{(\dot{Y} + n^2 \dot{Y}_L)^2}$$

であるから、有効電力  $P$  は

$$P = |j|^2 \frac{\operatorname{Re} [n^2 \dot{Y}_L]}{|\dot{Y} + n^2 \dot{Y}_L|^2}$$

で与えられる。従って  $n^2 \dot{Y}_L = \overline{\dot{Y}}$  の時最大電力  $P_{\max}$  を取る。但し  $\overline{\dot{Y}}$  は  $\dot{Y}$  の共役複素数である。よって最大電力をとるときの  $\dot{Y}_L$  は

$$n^2 \dot{Y}_L = n^2 G - j\omega C_0 \quad \text{より} \quad \dot{Y}_L = G - j \frac{\omega}{n^2} C_0$$

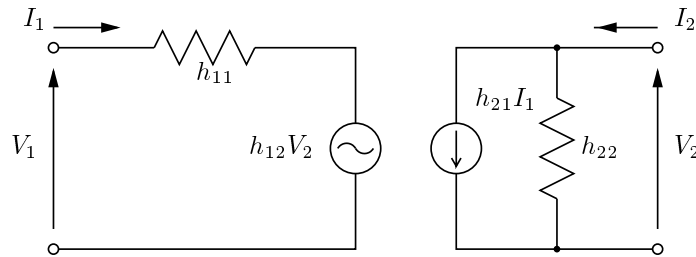
であり、そのときの最大電力は

$$P_{\max} = |j|^2 \frac{n^2 G}{(2n^2 G)^2} = \frac{|j|^2}{4n^2 G}$$

3.(a) ハイブリッド行列の定義は

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

であるから、等価回路は下図のようになる。



なお、 $h_{11}$  は出力端開放の入力インピーダンス、 $h_{12}$  は出力電圧の帰還率、 $h_{21}$  は出力端短絡時の電流増幅率、 $h_{22}$  は入力端開放の出力アドミタンスである。

3.(b) 電流利得  $A_i$  は、出力端で  $-I_2 = G_1 V_2$  であるから、ハイブリッド行列より

$$\begin{aligned} I_2 &= h_{21} I_1 - \frac{h_{22}}{G_1} I_2 \\ h_{21} I_1 &= \left( \frac{h_{22}}{G_1} + 1 \right) I_2 \\ A_i &= \frac{-I_2}{I_1} = \frac{-h_{21}}{\frac{h_{22}}{G_1} + 1} \end{aligned}$$

電圧利得  $A_v$  は、同じくハイブリッド行列と  $-I_2 = G_1 V_2$  より

$$\begin{cases} V_1 = h_{11}I_1 + h_{12}V_2 \\ 0 = h_{21}I_1 + (h_{22} + G_1)V_2 \end{cases}$$

$I_1$  を消去して

$$-h_{21}V_1 = (\Delta_h + h_{11}G_1)V_2$$

ただし  $\Delta_h = h_{11}h_{22} - h_{12}h_{21}$  である。従って電圧利得は

$$A_v = \frac{V_2}{V_1} = \frac{-h_{21}}{\Delta_h + h_{11}G_1}$$

入力インピーダンス  $Z_{in}$  は、同じくハイブリッド行列と  $-I_2 = G_1 V_2$  より

$$\begin{cases} V_1 = h_{11}I_1 + h_{12}V_2 \\ 0 = h_{21}I_1 + (h_{22} + G_1)V_2 \end{cases}$$

$V_2$  を消去して

$$(h_{22} + G_1)V_1 = (\Delta_h + h_{11}G_1)I_1$$

従って

$$Z_{in} = \frac{V_1}{I_1} = \frac{\Delta_h + h_{11}G_1}{h_{22} + G_1}$$

出力コンダクタンス  $G_{out}$  は、入力端で  $V_1 = -R_0 I_1$  であるから、ハイブリッド行列より

$$\begin{cases} 0 = (h_{11} + R_0)I_1 + h_{12}V_2 \\ I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}V_2 \end{cases}$$

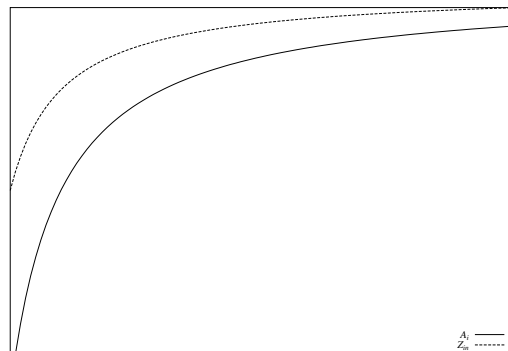
$I_1$  を消去して

$$(h_{11} + R_0)I_2 = (\Delta_h + h_{22}R_0)V_2$$

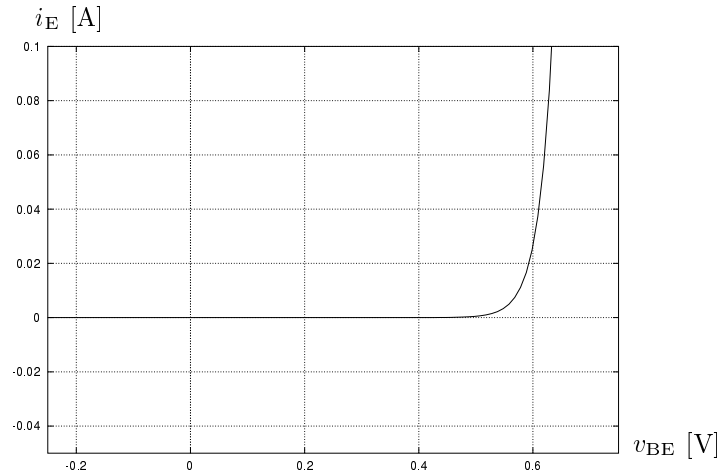
従って

$$G_{out} = \frac{I_2}{V_2} = \frac{\Delta_h + h_{22}R_0}{h_{11} + R_0}$$

3.(c) 電流利得は (b) の式より、 $G_1 = 0$  で 0,  $G_1 \rightarrow \infty$  とすると一定値に近づく。入力インピーダンスは初期値を持ち、 $G_1 \rightarrow \infty$  とすると電流利得と同様にある一定値に近づく。従ってグラフの概形は下図のようになる。



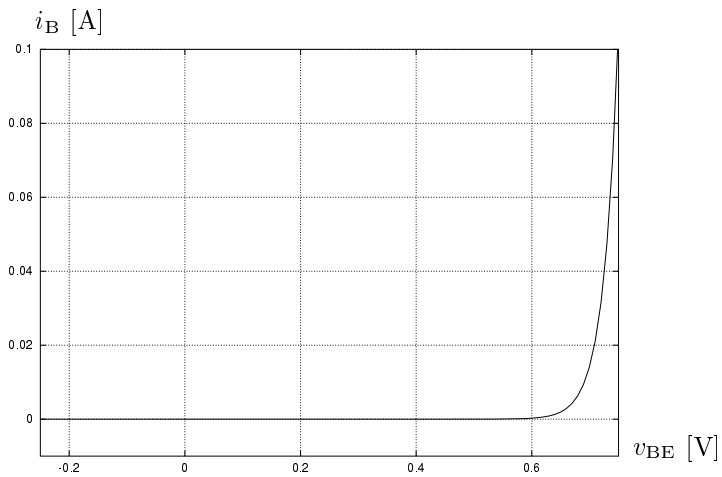
- 4.1 npn トランジスタ
- 4.2 電子。p 型の場合は正孔。
- 4.3 アクセプタ。n 型の場合はドナー。
- 4.4  $V_T$  は温度に依存する。
- 4.5 下図の通り。



4.6

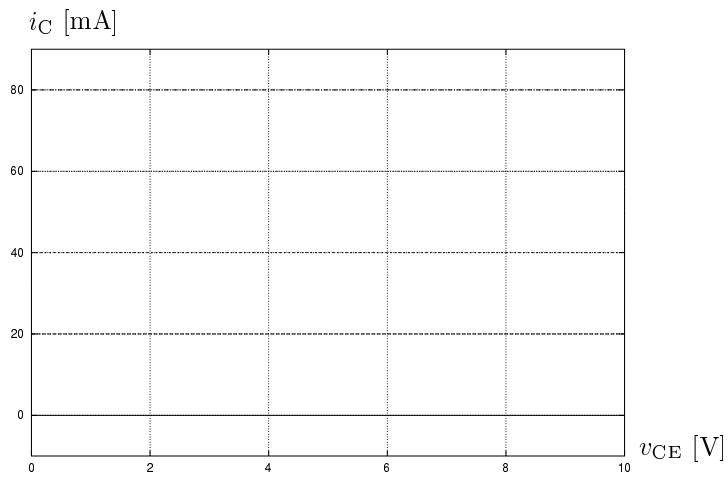
$$i_B = \frac{i_E}{1 + \beta} = \frac{I_s}{1 + \beta} [\exp(v_{BE}/V_T) - 1]$$

より, 下図のようになる。



4.7  $i_C$  は  $v_{CE}$  に依存しないから, グラフは下図のようになる。





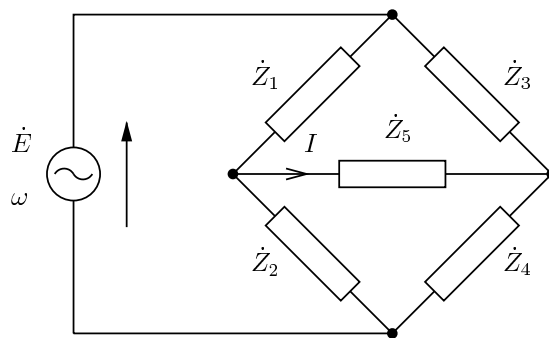
以上平成 7 年実施分

## 2 1995 年度 (平成 7 年度) 後期 (H8.2.7 実施)

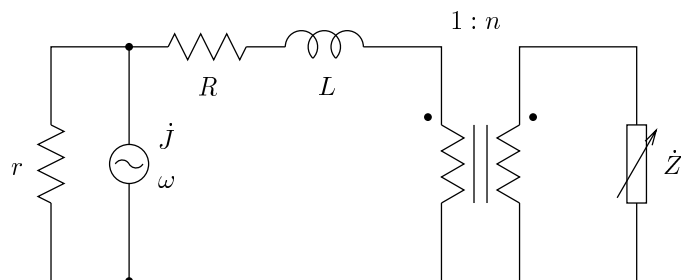
### 2.1 問題

その 1

- (1) ヘルムホルツ (テブナン) の定理を用いて、下図の回路の電流  $\dot{I}$  を求めよ。



- (2) 下図の回路において、インピーダンス  $\dot{Z}$  で消費される電力が最大になるようにインピーダンス  $\dot{Z}$  を定めよ。



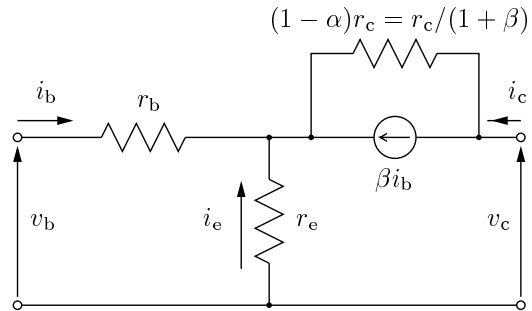
その 2

図はエミッタ接地トランジスタの等価回路である。この回路のインピーダンス行列 (の各要素) を導出せよ。(これを利用して) ハイブリッド行列の一つの要素  $h_{fe}$  を求め、その物理的 (回路的) 意味を述べよ。

[ヒント] インピーダンス行列およびハイブリッド行列は、それぞれ下のように定義される。

$$\begin{bmatrix} v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} v_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{ie} & h_{re} \\ h_{fe} & h_{oe} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_b \\ v_c \end{bmatrix}$$



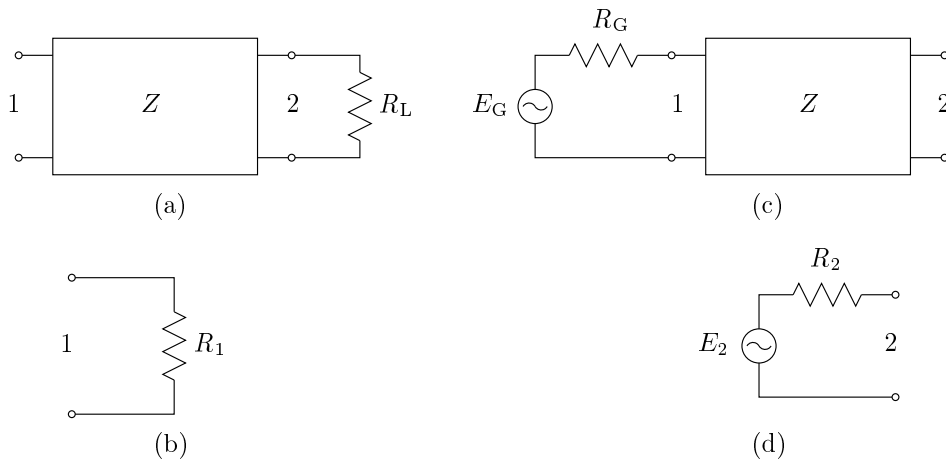
その 3

1. 図 (a) の回路と図 (b) の回路が等価である場合,  $R_1$  を図 (a) の回路定数で表せ。ただし, 回路  $Z$  のインピーダンス行列は,

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix}$$

である。 $z_{ij} (i, j = 1, 2)$  は全て実数であるとする。

2.  $R_1$  は何と呼ばれるか。
3. 図 (c) の回路と図 (d) の回路が等価である場合,  $R_2$  を図 (c) の回路定数で表せ。
4. 同様に,  $E_2$  を図 (c) の回路定数で表せ。
5.  $R_2$  は何と呼ばれるか。
6. ある回路の入力に 1V の電圧を加えたとき, 10nV の出力が得られた。この回路の電圧利得を dB で表せ。符号に注意すること。
7. 電力利得 20dB の増幅器に 10mW の電力を入力すると, 出力電力は何 W か。



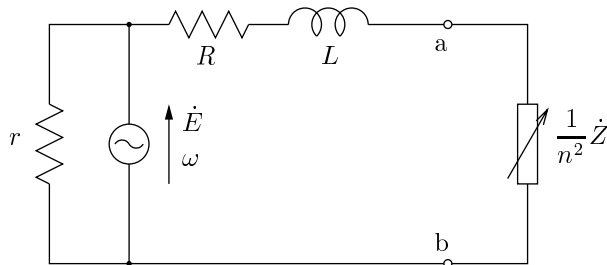
## 2.2 答案

その1

(1) 一見すると違うが実は平成7年の第1問と同問。 $\dot{Z}_2$  と  $\dot{Z}_3$  を入れ換えただけで、答えは

$$\dot{I} = \frac{\dot{Z}_2 (\dot{Z}_3 + \dot{Z}_4) - \dot{Z}_4 (\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2)}{\dot{Z}_1 \dot{Z}_2 (\dot{Z}_3 + \dot{Z}_4) + \dot{Z}_3 \dot{Z}_4 (\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2) + \dot{Z}_5 (\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2) (\dot{Z}_3 + \dot{Z}_4)} \dot{E}$$

(2) 問題の回路の等価回路は下図のようになる。



負荷側から電源を含む回路を見た時のインピーダンスを  $\dot{Z}_s$  とすると

$$\dot{Z}_s = R + j\omega L$$

平成6年度第2問と同様、テブナンの定理より

$$\frac{1}{n^2} \dot{Z} = \overline{\dot{Z}_s}$$

の時消費される電力は最大となる。従って

$$\dot{Z}_{\max} = n^2 R - jn^2 \omega L$$

## その2

キルヒホフ電圧則より

$$\begin{aligned}v_b &= r_b i_b - r_e i_e \\v_c &= (1 - \alpha) r_c (i_c - \beta i_b) - r_e i_e\end{aligned}$$

キルヒホフ電流則より

$$i_b + i_c + i_e = 0$$

$i_e = -i_b - i_c$  より  $i_e$  を消去すると

$$\begin{aligned}v_b &= r_b i_b - r_e (-i_b - i_c) \\&= (r_b + r_e) i_b + r_e i_c \\v_c &= (1 - \alpha) r_c (i_c - \beta i_b) - r_e (-i_b - i_c) \\&= \{r_e - \beta(1 - \alpha) r_c\} i_b + \{(1 - \alpha) r_c + r_e\} i_c\end{aligned}$$

ここで

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \text{ より } \beta(1 - \alpha) = \alpha$$

であるから、インピーダンス行列は

$$\begin{bmatrix} v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_b + r_e & r_e \\ r_e - \alpha r_c & (1 - \alpha) r_c + r_e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

となる。

また、

$$v_c = (r_e - \alpha r_c) i_b + \{(1 - \alpha) r_c + r_e\} i_c$$

より

$$i_c = \frac{\alpha r_c - r_e}{(1 - \alpha) r_c + r_e} i_b + \frac{1}{(1 - \alpha) r_c + r_e} v_c$$

ハイブリッド行列の定義より

$$i_c = h_{fe} i_b + h_{oe} v_c$$

であるから係数を比較して

$$h_{fe} = \frac{\alpha r_c - r_e}{(1 - \alpha) r_c + r_e}$$

トランジスタは増幅素子として用いる使用状態においてエミッタ接合は順バイアス、コレクタ接合は逆接続であるから  $r_e \ll r_c$  が言える。よって

$$h_{fe} \simeq \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \beta$$

$h_{fe}$  の物理的意味は出力端を短絡したときの電流増幅率である。

### その3

1. 回路 (a) について, インピーダンス行列より

$$V_1 = z_{11}I_1 + z_{12}I_2$$

$$V_2 = z_{21}I_1 + z_{22}I_2$$

また回路 (a) の負荷  $R_L$  について

$$V_2 = -R_L I_2$$

回路 (b) の負荷  $R_1$  について

$$V_1 = R_1 I_1$$

が成り立つ。従って

$$z_{21}I_1 + (z_{22} + R_L)I_2 = 0 \text{ より } I_2 = -\frac{z_{21}}{z_{22} + R_L}I_1$$

よって

$$V_1 = \left( z_{11} - \frac{z_{12}z_{21}}{z_{22} + R_L} \right) I_1$$

であるから, 係数比較より

$$R_1 = z_{11} - \frac{z_{12}z_{21}}{z_{22} + R_L}$$

2.  $R_1$  は電源から負荷側を見たインピーダンスであるから, 入力インピーダンスである。

3. 1. と同様にして

$$V_1 = z_{11}I_1 + z_{12}I_2$$

$$V_2 = z_{21}I_1 + z_{22}I_2$$

$$V_1 = E_G - R_G I_1$$

$$V_2 = E_2 + R_2 I_2$$

より  $V_1$  を消去し,  $I_1$  について解くと

$$I_1 = \frac{E_G - z_{12}I_2}{z_{11} + R_G}$$

$I_1$  を消去すると

$$V_2 = \frac{z_{21}}{z_{11} + R_G}E_G - \left( z_{22} - \frac{z_{12}z_{21}}{z_{11} + R_G} \right) I_2$$

従って, 係数を比較すると

$$R_2 = z_{22} - \frac{z_{12}z_{21}}{z_{11} + R_G}$$

を得る。

4. 3. の結果より

$$E_2 = \frac{z_{21}}{z_{11} + R_G} E_G$$

5. 負荷側から電源側を見たインピーダンスであるから、出力インピーダンスである。

6. 電圧利得  $G_V$  のデシベル値は

$$G_V = 20 \log \left| \frac{V_o}{V_i} \right| = 20 \log \frac{10 \times 10^{-9}}{1} = -160 \text{ [dB]}$$

7. 電力利得  $G_P$  は下の式で定義される。

$$G_P = 10 \log \left| \frac{P_o}{P_i} \right|$$

これに与えられた値を代入すると

$$20 = 10 \log \left| \frac{P_o}{10 \times 10^{-3}} \right|$$

従って

$$P_o = 1 \text{ [W]}$$

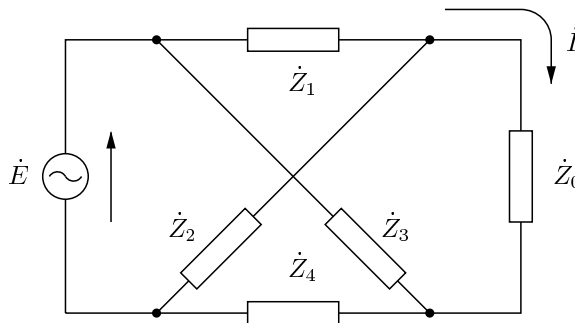
以上平成 8 年分

### 3 1996 年度 (平成 8 年度) 後期 (H9.1.22 実施)

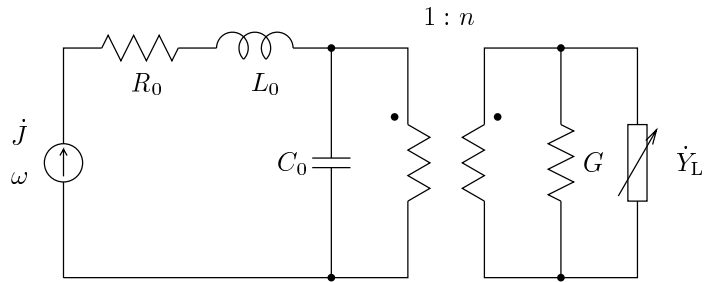
#### 3.1 問題

その 1

- (1) 図の回路において、インピーダンス  $\dot{Z}_0$  を流れる電流  $\dot{i}_0$  をヘルムホルツの定理 (テブナンの定理) の用いて求めよ。



- (2) 図の回路において、アドミッタンス  $\dot{Y}_L$  で消費される有効電力が最大になるように、 $\dot{Y}_L$  を定め、その時の有効電力を求めよ。ただし、変成器は理想変成器である。



その2

1. p-n 接合ダイオードの電圧電流特性は

$$i = I_s [\exp(v/V_t) - 1]$$

によって与えられる。下の問に答えよ。

- 定数  $I_s = 1\text{nA}$ ,  $V_t = 25\text{mV}$  を有するダイオードに  $1.5\text{V}$  の乾電池と可変抵抗器  $R$  を接続し、バイアス電流がちょうど  $I_0 = 10\text{mA}$  になるように調整して、ダイオードの両端の電圧を測定すると、 $V_0 = 0.40\text{V}$  が得られる。このときの抵抗値  $R$  はいくらか。電池の内部抵抗を無視せよ。
- そのときのダイオードの静抵抗 (直流抵抗)  $R_{dc}$ , および動抵抗 (交流抵抗)  $R_{ac}$  を計算せよ。
- 電池が少し消耗して電圧が  $1.4\text{V}$  に減少したとき、ダイオードのバイアス電圧の変化  $\Delta V$ , およびバイアス電流の変化  $\Delta I$  を求めよ。(ヒント: 電圧の変化率は非常に小さいことに注意すると、計算が簡単になる。)

2. トランジスタに関する以下の問に答えよ。

- 図 (A) のような極性のバイポーラトランジスタは何と呼ばれるか。
- p 型半導体における少数キャリアは何か。
- このトランジスタにおいて、エミッタ-コレクタ間の電流に寄与しているキャリアは何か。
- エミッタからベースに注入されたキャリアのうち 2% がベース内で再結合する場合、このトランジスタをエミッタ接地で用いたとき、電流増幅率 ( $\beta$ ) はいくらになるか。
- 通常の動作条件では、ベース-コレクタ間の p-n 接合のバイアスは順方向か逆方向か。

3. 4 端子回路のハイブリッド行列は

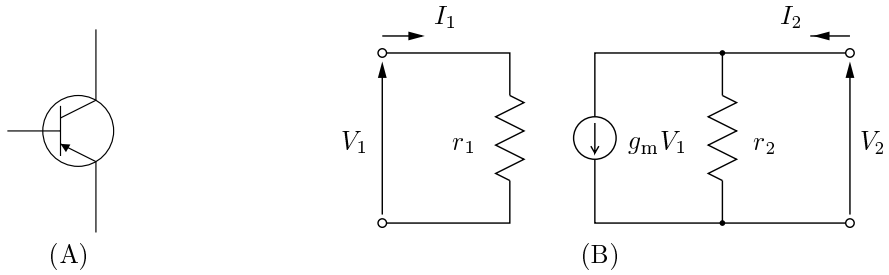
$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

と定義される。図 (B) の等価回路に対する  $h_{11}, h_{12}, h_{21}, h_{22}$  をそれぞれ求めよ。

4. デシベル表示に関する以下の問に答えよ。

- ある回路の入力に  $1\mu\text{V}$  の電圧を加えた時、 $2\text{mV}$  の出力が得られた。この回路の電圧利得を dB で表せ。

(b) 電力利得 20dB の増幅器に 10dBm の電力を入力すると, 出力電力は何 W か。



### 3.2 答案

その 1

(1) 平成 7 年 (1) と同問。従って答えは

$$\dot{I} = \frac{\dot{Z}_3 (\dot{Z}_2 + \dot{Z}_4) - \dot{Z}_4 (\dot{Z}_1 + \dot{Z}_3)}{\dot{Z}_1 \dot{Z}_3 (\dot{Z}_2 + \dot{Z}_4) + \dot{Z}_2 \dot{Z}_4 (\dot{Z}_1 + \dot{Z}_3) + \dot{Z}_0 (\dot{Z}_1 + \dot{Z}_3) (\dot{Z}_2 + \dot{Z}_4)} \dot{E}$$

(2) 平成 7 年 (2) と同問。従って答えは

$$\dot{Y}_L = G - j \frac{\omega}{n^2} C_0 \text{ のとき } P_{\max} = \frac{|j|^2}{4n^2 G}$$

その 2

1.(a) オームの法則より

$$R = \frac{1.5 - 0.4}{10 \times 10^{-3}} = 1.1 \times 10^2 [\Omega]$$

1.(b) 静抵抗はオームの法則より

$$R_{\text{dc}} = \frac{0.4}{10 \times 10^{-3}} = 4.0 \times 10^1 [\Omega]$$

動抵抗は微分で与えられるから,

$$\frac{1}{R_{\text{ac}}} = \frac{di}{dv} = \frac{I_s}{V_t} \exp\left(\frac{v}{V_t}\right) = \frac{I_s}{V_t} \left(\frac{i}{I_s} + 1\right) = \frac{i + I_s}{V_t}$$

$i \gg I_s$  より

$$R_{\text{ac}} = \frac{V_t}{i + I_s} \simeq \frac{V_t}{I_0} = \frac{25 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-3}} = 2.5 [\Omega]$$

1.(c) キルヒホフ電圧則より

$$\Delta V + R \Delta I = -0.1$$

電圧の変化率が小さいことから,

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} \simeq \frac{di}{dv} \simeq \frac{I_0}{V_t} = 0.4$$



(a) より  $R = 1.1 \times 10^2$  [ $\Omega$ ] だから, 以上 2 式より

$$\Delta V = -2.2 \text{ [mV]}$$

$$\Delta I = -8.9 \times 10^{-1} \text{ [mA]}$$

- 2.(a) エミッタからベースに向かって電流が流れるのはエミッタ-ベース接合が p-n となる pnp 型。  
2.(b) p 形半導体では多数キャリアが正孔で少数キャリアは自由電子。  
2.(c) エミッタ-コレクタ間の電流に寄与するのは多数キャリアである。よって正孔。  
2.(d) 2%がベース領域で再結合するとコレクタに流れる電流は 98%。従ってトランジスタの電流増幅率  $\alpha = 0.98$  であるから, 電流増幅率  $\beta$  は

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \frac{0.98}{0.02} = 49$$

- 2.(e) 増幅特性を示す時, エミッタ-ベース接続は順バイアス, コレクタ-ベース接続は逆バイアスがかかる。

3 ハイブリッド行列は

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

で定義される。キルヒホフ電圧則より

$$V_1 = r_1 I_1$$

キルヒホフ電流則より

$$I_2 = g_m V_1 + \frac{V_2}{r_2} = g_m r_1 I_1 + \frac{V_2}{r_2}$$

が成り立つから, 行列表示に直すと

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 & 0 \\ g_m r_1 & 1/r_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

従って定義より

$$h_{11} = r_1, h_{12} = 0, h_{21} = g_m r_1, h_{22} = \frac{1}{r_2}$$

4.(a) 電圧利得  $G_V$ [dB] は

$$G_V = 20 \log \left| \frac{V_o}{V_i} \right| = 20 \log \left| \frac{2 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-9}} \right| \simeq 66 \text{ [dB]}$$

4.(b) dBm 値は 1mW に対する比であるから, 10dBm=10mW。電力利得  $G_P$  は

$$G_P = 10 \log \left| \frac{P_o}{P_i} \right|$$

で与えられるから, 20dB の増幅器を通すと

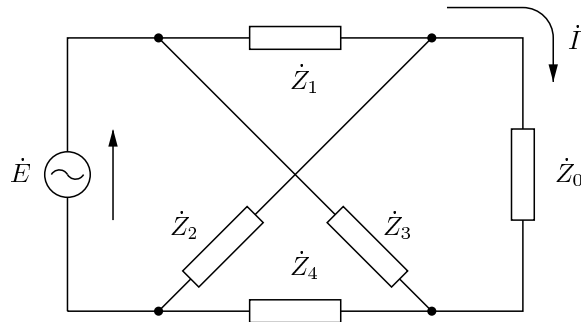
$$P_o = 10^2 P_i = 1.0 \text{ [W]}$$

以上平成 9 年実施分

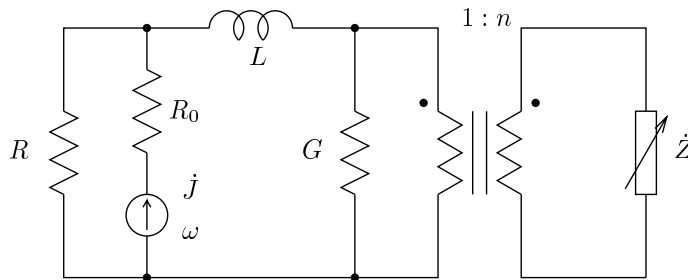
## 4 1997年度(平成9年度)後期(H10.1.28実施)

### 4.1 問題

問題1 ヘルムホルツ(テブナン)の定理を用いて, 下図の回路の電流  $\dot{I}$  を求めよ。



問題2 下図の回路において, インピーダンス  $\dot{Z}$  で消費された電力が最大になるように, インピーダンス  $\dot{Z}$  を定めよ。  $\omega$  は電流源の角周波数である。



問題3 p-n 接合ダイオードの電圧・電流 ( $v$ - $i$ ) 特性は

$$i = I_s (e^{v/V_T} - 1)$$

によって表現できる。ここに  $I_s$  および  $V_T$  はダイオードによって定まる定数である。この素子とその回路に関する下の問に答えよ。

- (1) このダイオードの電圧・電流特性の概略を図示せよ。
- (2) 一定バイアス電流  $i = I_0 > 0$  を流したとき, その点における直流(静)抵抗  $\bar{R}$  および交流(動あるいは微分)抵抗  $\tilde{R}$  を問(1)の図中に表示し, その値を求めるための表式を導け ( $\bar{R}$  および  $\tilde{R}$  を  $I_0$  の関数として表示)。ただし  $I_0 \ll I_s$  とする。
- (3) 外部抵抗  $R$  を介してこのダイオードに起電力(電圧)  $E$  なる直流電源を直列接続した時, 流れた電流を  $I_0$  とする。この回路設定で電源電圧  $E$  が微小電圧  $\Delta E$  だけ変動する時, ダイオード端子間の微小電圧変動  $\Delta v$  を求める公式を導出せよ。

[ヒント] この式からダイオードの端子間電圧は電源電圧より安定化されることが分かる。

- (4) 電源として直流電圧  $E = 1.5\text{V}$  を印加して回路を測定し、ダイオードの電圧  $v = 0.3\text{V}$ 、電流  $I_0 = 1\text{mA}$  を得たとする。このときの外部抵抗  $R$ 、静抵抗  $\bar{R}$ 、微分抵抗  $\tilde{R}$  および電圧変動の割合  $\Delta v/\Delta E$  の数値を求めよ。ただし  $V_T = 25\text{mV}$ 、 $I_s = 6.1\text{nA}$  とする。

問題 4 FET(電界効果トランジスタ)に関する質問に答えよ。専用紙に解答のみ記入すること。選択肢は番号で解答せよ。

- FET においてバイポーラトランジスタのエミッタに相当する電極は {1. ゲート, 2. アンード, 3. ドレイン, 4. サプレッサ, 5. ソース} と呼ばれる。
- FET のゲートの入力インピーダンスは、バイポーラトランジスタの場合と比較して、{1. 非常に高い, 2. かなり低い, 3. 何ともいえない}。
- 図 1 はある FET の特性曲線である。これを見ると、ドレイン電圧  $V_d$  が数 V より大きい領域では、ゲート電圧  $V_g$  を一定に保つと、ドレイン電流  $I_d$  があまり変化しないことが分かる。このことから、FET は、等価回路的には { 1. 独立電圧源, 2. 電圧制御電圧源, 3. 電流制御電圧源, 4. 独立電流源, 5. 電圧制御電流源, 6. 電流制御電圧源 } でよく表すことができる。
- 図 2 は FET の等価回路を表している。図 1 の特性曲線を用いて、バイアス点が  $V_d = 15\text{V}$ 、 $V_g = -0.2\text{V}$  のときの、相互コンダクタンス  $g_m$  の値を求めよ。有効数字は 1 桁、単位も記せ。
- 同じく、ドレイン抵抗  $r_d$  の値を求めよ。
- FET を増幅素子としてみたとき、相互コンダクタンスは { 1. 大きいほどよい, 2. 小さいほどよい, 3. 大小はあまり関係ない }。
- 同じく、ドレイン抵抗は { 1. 大きいほどよい, 2. 小さいほどよい, 3. 大小はあまり関係ない }。

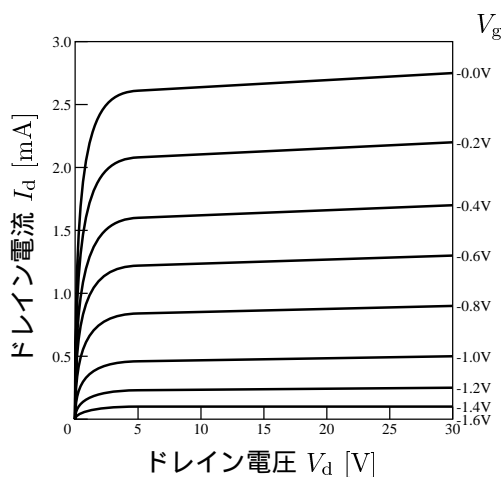


図 1

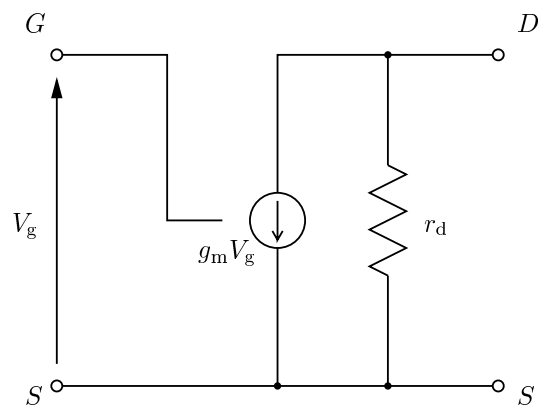


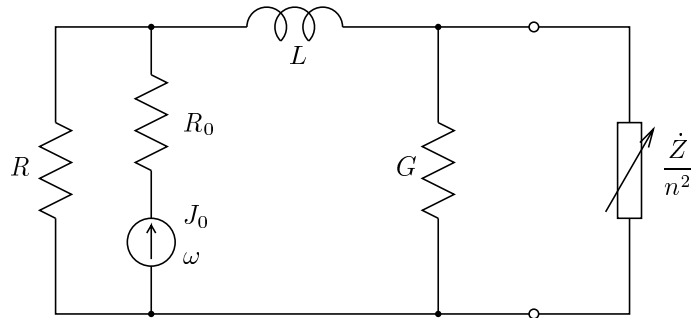
図 2

## 4.2 答案

問題1 平成7年第1問と同問。答えは

$$\dot{i} = \frac{\dot{Z}_3(\dot{Z}_2 + \dot{Z}_4) - \dot{Z}_4(\dot{Z}_1 + \dot{Z}_3)}{\dot{Z}_1\dot{Z}_3(\dot{Z}_2 + \dot{Z}_4) + \dot{Z}_2\dot{Z}_4(\dot{Z}_1 + \dot{Z}_3) + \dot{Z}_0(\dot{Z}_1 + \dot{Z}_3)(\dot{Z}_2 + \dot{Z}_4)} \dot{E}$$

問題2 等価回路は下図のようになる。



負荷側から電源側を見たアドミタンス  $\dot{Y}_0$  は

$$\dot{Y}_0 = G + \frac{j\omega RL}{R + j\omega L}$$

負荷を短絡した時、負荷側に流れる電流を  $\dot{i}$  とすると

$$\dot{i} = \frac{R}{R + j\omega L} J_0$$

ノートの定理より有効電力  $P$  は

$$P = \left| \left( \frac{R}{R + j\omega L} J_0 \right) \left( \frac{j\omega RL}{R + j\omega L} + G + n^2/\dot{Z} \right)^{-1} \right|^2 \operatorname{Re} \left[ \frac{n^2}{\dot{Z}} \right]$$

で与えられる。

$$\frac{j\omega RL}{R + j\omega L} + G = \frac{G(R^2 + \omega^2 L^2) + \omega^2 RL^2 + j\omega R^2 L}{R^2 + \omega^2 L^2}$$

であるから、最大電力となる  $\dot{Z}$  は

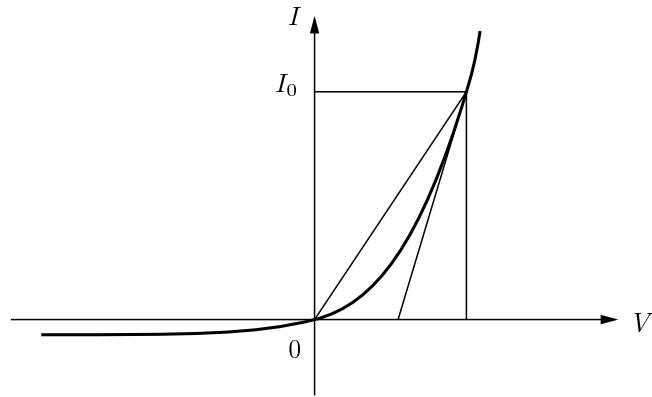
$$\frac{n^2}{\dot{Z}} = \frac{G(R^2 + \omega^2 L^2) + \omega^2 RL^2 - j\omega R^2 L}{R^2 + \omega^2 L^2}$$

より

$$\dot{Z} = \frac{n^2 R^2 + n^2 \omega^2 L^2}{G(R^2 + \omega^2 L^2) + \omega^2 RL^2 - j\omega R^2 L}$$

問題3

(1) 特性は指数関数で、原点を通る。従って概形は下図のようになる。



(2) 静抵抗は上図で原点から引いた直線の傾きの逆数、動抵抗はその点での接線の傾きの逆数に当たる。それぞれ

$$\bar{R} = \frac{V}{I} = \frac{V_T}{I_0} \log(1 + I_0/I_s) \simeq \frac{V_T}{I_0} \log\left(\frac{I_0}{I_s}\right)$$

$$\tilde{R} = \left(\frac{di}{dv}\right)^{-1} \Big|_{i=I_0} = \frac{V_T}{I_s} \exp\left(-\frac{v}{V_T}\right) = \frac{V_T}{I_s} \left(\frac{I_0}{I_s} + 1\right)^{-1} \simeq \frac{V_T}{I_0}$$

で与えられる。

(3) 電流の微小変化分を  $\Delta I$  とすると、

$$\Delta E - R\Delta I = \Delta v$$

$\Delta E$  は微小であるから

$$\frac{\Delta I}{\Delta E} \simeq \frac{dI}{dE} \simeq \frac{I_0}{V_T}$$

従って  $\Delta I$  を消去すると、

$$\Delta v = \left(1 - \frac{I_0 R}{V_T}\right) \Delta E$$

が得られる。この式から、常に

$$\frac{\Delta v}{\Delta E} < 1$$

が成り立ち、ダイオードの端子間電圧は電源電圧より安定化されていることが分かる。(4) 数値計算なので省略。

#### 問題 4

1. キャリアを供給する電極はソースである。ちなみにバイポーラのベースが FET のゲート、コレクタがドレインに相当する。アノードはサイリスタなどの陽極を指す。
2. バイポーラトランジスタは増幅動作をしている場合にはエミッタ-ベース間の pn 接合が順バイアスであるため入力インピーダンスは低い。よって比較すると FET は入力インピーダンスが高い。

3.  $V_g$  をパラメータとして  $I_d$  を制御するのだから、電圧制御電流源で表す。  
 4. 相互コンダクタンスは

$$g_m = \left. \frac{\partial I_d}{\partial V_g} \right|_{V_d = \text{const}}$$

で与えられる。単位は  $[\Omega^{-1}]$  である。図から値を求めると概ね  $2 \sim 3 \times 10^{-3} [\Omega^{-1}]$  程度と読みとれる。

5. ドレイン抵抗は

$$\frac{1}{r_d} = \frac{\partial I_d}{\partial V_d}$$

で与えられる。図から  $2 \sim 3 \times 10^5 [\Omega]$  程度と読みとれる。

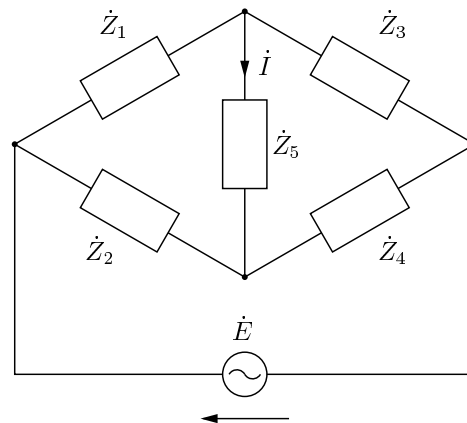
6. FET の増幅率は  $\mu = g_m r_d$  で与えられるので、増幅率を高めるという理由から相互コンダクタンスは大きいことが望ましい。また相互コンダクタンスは高周波特性にも関連してくるが、おそらく電気電子回路では習わない。  
 7. 上記 6 と同様の理由により大きいほどよいといえる。

以上平成 10 年実施分

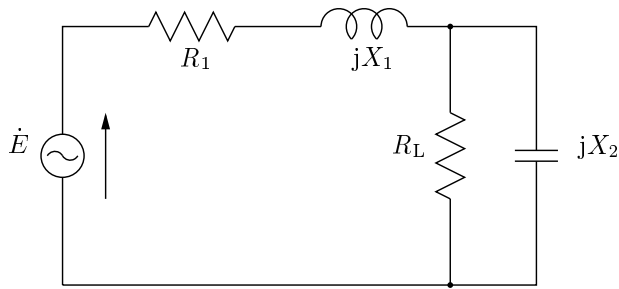
## 5 1998 年度 (平成 10 年度) 後期 (H11.2.4 実施)

### 5.1 問題

- (1) 図のブリッジ回路で平衡が取れていないとき、インピーダンス  $\dot{Z}_5$  に流れる電流  $\dot{i}$  をヘルムホルツの定理 (テブナンの定理) を用いて求めよ。



- (2) 図の回路において抵抗  $R_L$  で消費される電力が下記の条件で最大となるようにしたい。次の問に答えよ。
1.  $X_1$  と  $X_2$  が一定の値と言う条件のとき、 $R_L$  の値を求めよ。
  2.  $X_1$  と  $X_2$  が可変という条件のとき、これらの値を  $R_L$  と  $R_1$  で表せ。



問題 3

次の問に答えよ。

- (1) ベース抵抗  $r_b$ , エミッタ抵抗  $r_e$ , コレクタ抵抗  $r_c$  およびベース接地電流増幅率  $\alpha$  をもつトランジスタのエミッタ接地等価回路を図示せよ。
- (2) 簡単のため,  $r_e = 0, r_c = \infty$  として, (エミッタ接地) ハイブリッド行列の各要素を求めよ。

ハイブリッド行列の定義は下の通りである。

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

問題 4

専用用紙に解答すること。

1. 以下のような部品が用意されている:

- 起電力 1.5V, 内部抵抗  $10\Omega$  の電池 E
- NPN トランジスタ (電力用)TR
- 電圧 10V, 最大電流 20A の直流電源 PS
- 定格電圧 10V, 定格電力 100W の電球 L
- 最大定格電流 1A の小型スイッチ SW

- (a) スイッチ SW の on/off にしたがって, 電球 L が点灯/消灯するようにしたい。これを実現する回路図を描け。
  - (b) トランジスタ TR の電流増幅率  $\beta$  はどの程度必要か。
  - (c) 電池 E の起電力が 0.5V 程度以下の場合, どのような問題が考えられるか。
2. 以下の説明が電界効果トランジスタに当てはまる場合には, 対応する解答欄に “F” を, パイポーラトランジスタに当てはまる場合には, “B” を記入せよ。両方当てはまる場合には “FB”, どちらも当てはまらない場合には “X” を記入せよ。ただし, ソース接地, エミッタ接地を想定せよ。

- (a) 通常の使用条件では, 制御電極に電流が流れない。
- (b) 制御される電流は, PN 接合を横切って流れる。
- (c) 素子内の電流は一貫して多数キャリアの移動によるものである。
- (d) 入力側の電圧を一定に保つと, 出力側は定電流特性を示す。
- (e) 出力電流は入力電圧に関する 2 次関数でよく表すことができる。
- (f) 出力電流は入力電圧に関する指数関数でよく表すことができる。
- (g) 接合型と MOS 型に大別される。
- (h) 極性の違いにより, N チャネル, P チャネルに分類される。

以上平成 11 年実施分