

第2問

一様な伝送線路に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 伝送線路の短い区間 Δx [m] を図1に示す回路で近似するとき、伝達関数 $Z(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}$ を求めよ。なお、伝送線路の抵抗、インダクタンス、容量、コンダクタンスは単位長さあたり r [Ω /m], l [H/m], c [F/m], g [S/m] である。
- (2) (1)と同じ伝送線路の短い区間 Δx において、図2に示すように、区間の両端の電圧 $V(x)$, $V(x+\Delta x)$, 電流 $I(x)$, $I(x+\Delta x)$ を用いることで、 x 点における電圧 $V(x)$ および電流 $I(x)$ の満たす関係式を微分方程式の形で示せ。
- (3) (2)の線路が無損失である時、この伝送線路の特性インピーダンス Z_0 を r , l , c , g の必要なものを用いて表わせ。
- (4) 特性インピーダンス Z_0 の無損失な伝送線路を図3に示すように $x=L$ において抵抗 R_x で終端することを考える。この点における進行波の電圧、電流を V_f , I_f , 反射波の電圧、電流を V_r , I_r , 終端抵抗に印加される電圧、電流を V_t , I_t とするとき、反射係数 $\frac{V_r}{V_f}$ を求めよ。さらに $x=L$ 点において無反射となる時の R_x および Z_0 の関係を求めよ。
- (5) 伝送線路を用いた長距離通信を考える。図4のように特性インピーダンス Z_0 の無損失伝送線路に NMOS トランジスタ M_1 , M_2 で構成される増幅回路 A, B を用いることで、信号を入力 V_{in} から出力 V_{out} に伝達したい。なお、 R_L は増幅回路 B の負荷抵抗、 V_b , I_1 , I_2 はそれぞれバイアス電圧、バイアス電流、 C_c は直流除去のための容量、 V_{DD} は電源電圧である。この時以下の小問(5-a)–(5-c)に答えよ。
 - (5-a) 増幅回路 A, B それぞれの名称およびそれぞれの図4の構成中での役割について簡潔に説明せよ。
 - (5-b) NMOS を相互コンダクタンス g_m , 出力抵抗 r_o を用いて図5に示す小信号等価回路で近似できるとする。この時、図4の増幅回路 A, B それぞれの小信号等価回路を示せ。なお、 V_{in} , V_{out} に対応する小信号成分を v_{in} , v_{out} とし、NMOS トランジスタ M_1 , M_2 の相互コンダクタンスをそれぞれ g_{m1} , g_{m2} , 出力抵抗をそれぞれ r_{o1} , r_{o2} , 伝送線路の進行波の電圧の小信号成分を v_s とする。
 - (5-c) 伝送線路の両端点において反射がない場合、 g_{m1} , g_{m2} , r_{o1} , r_{o2} , R_L の必要なものを用いて入出力の電圧増幅率 $A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}}$ を求めよ。なお、 $g_{m2}r_{o2} \gg 1$ と仮定してよいものとする。

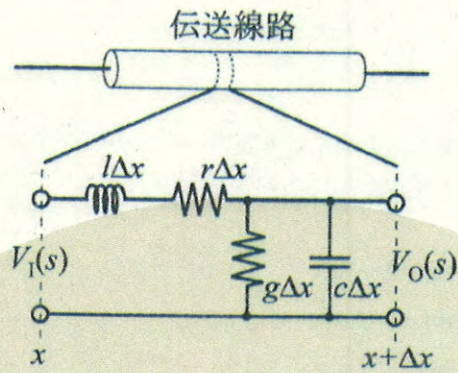


図 1

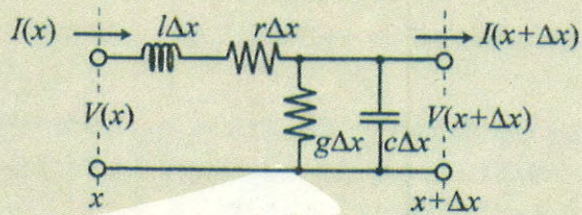


図 2

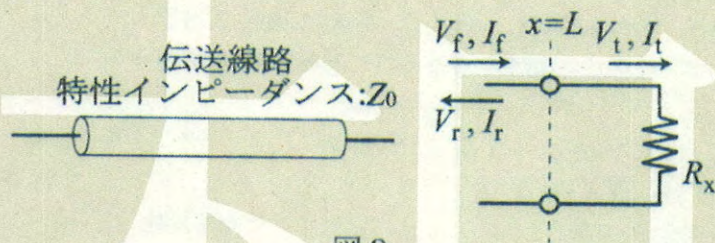


図 3

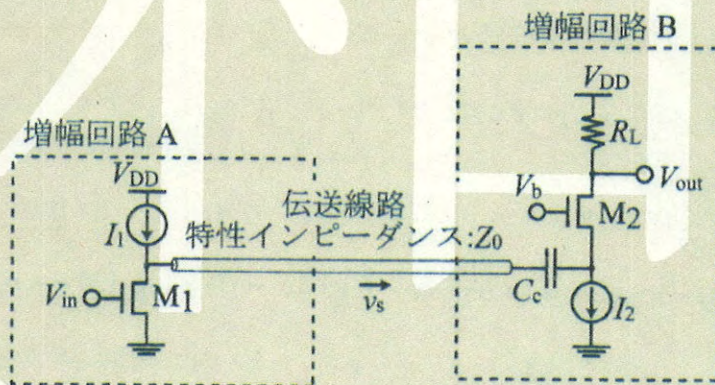


図 4

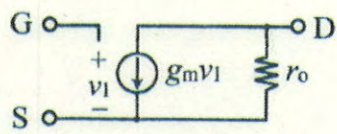
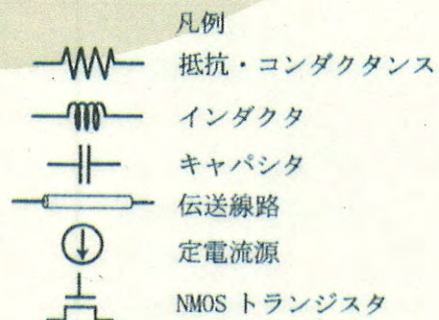


図 5



Problem 2

Answer the following questions related to uniform transmission lines.

- (1) Describe the transfer function $Z(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}$, assuming that a short segment of Δx [m] of

the transmission line is approximated as shown in Fig. 1. Note that the resistance, inductance, capacitance, and conductance of the unit length of the transmission line are r [Ω/m], l [H/m], c [F/m], and g [S/m], respectively.

- (2) Express the relation between the voltage $V(x)$ and current $I(x)$ in the form of differential equations at point x on the transmission line. Assume that the terminal voltages and currents of the segment are defined as $V(x)$, $V(x + \Delta x)$, $I(x)$, and $I(x + \Delta x)$, as shown in Fig. 2.

- (3) Express the characteristic impedance Z_0 of the transmission line using r , l , c , and g upon necessity, when the transmission line of (2) is lossless.

- (4) Suppose that the lossless transmission line with the characteristic impedance of Z_0 is terminated by a resistor R_x at $x = L$ as shown in Fig. 3. Express the reflection coefficient $\frac{V_r}{V_f}$ at $x = L$, taking into account the voltage and current of the travelling wave as V_f and I_f , those of the reflected wave as V_r and I_r , and those applied to the termination resistor R_x as V_t and I_t . Express the relation between R_x and Z_0 when there is no reflection at $x = L$.

- (5) Consider a long-distance communication from input V_{in} to output V_{out} through the lossless transmission line with the characteristic impedance of Z_0 . Here, amplifiers A and B, composed of NMOS transistors M_1 and M_2 , are used. Here, R_L is the load resistance of the amplifier B, V_b is the bias voltage, I_1 and I_2 are the bias currents, C_c is the DC blocking capacitance, and V_{DD} is the power supply voltage. Answer the following questions (5-a) – (5-c).

- (5-a) What are the amplifiers A and B called? Briefly describe the role of each amplifier in the diagram shown in Fig. 4.

- (5-b) Draw small-signal equivalent circuits for amplifiers A and B in Fig. 4 using the small-signal equivalent circuit of an NMOS transistor with trans-conductance of g_m and output resistance of r_o , as shown in Fig. 5. Note that small-signal components of V_{in} and V_{out} are v_{in} and v_{out} , respectively, the trans-conductance of NMOS transistors M_1 and M_2 are g_{m1} and g_{m2} , respectively, and the output resistance of M_1 and M_2 are r_{o1} and r_{o2} , respectively. Here, small signal component of the voltage of the travelling wave through the transmission line is v_s .

- (5-c) Express the voltage gain $A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}}$ with g_{m1} , g_{m2} , r_{o1} , r_{o2} , and R_L upon necessity,

when there are no reflections at both ends of the transmission line. You may assume $g_{m2}r_{o2} \gg 1$.

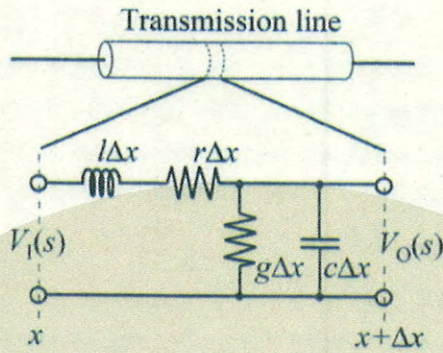


Fig. 1

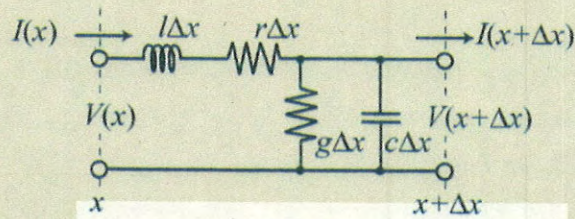


Fig. 2

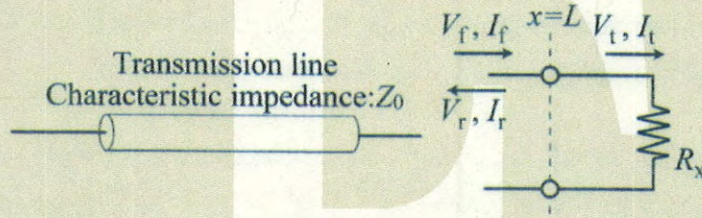


Fig. 3

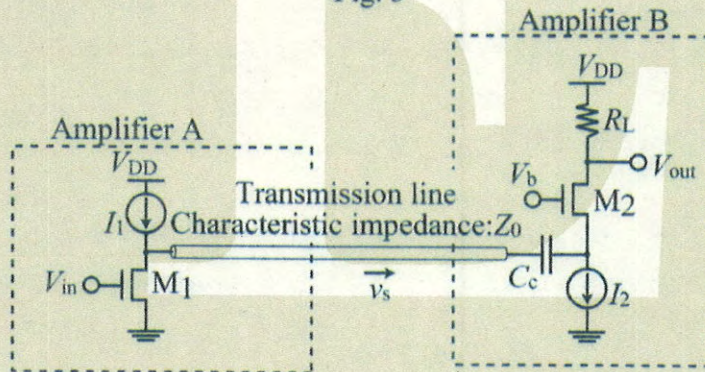


Fig. 4

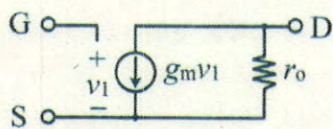


Fig. 5

