

[1] 아래 물음에 답하라. (20점)

- (a) Figure 1-1은 1차 저역통과 필터(first-order low-pass filter)를 나타낸 회로이다. Figure 1-2의 Bode plot과 같은 특성을 나타내도록 Figure 1-1 회로의 소자값  $R_2$ ,  $L$ 을 결정하시오. (6점)
- (b) Figure 1-1의 저항  $R_2$  양단 node를 실제 금속 도선으로 나타내면 Figure 1-3과 같다. 도선의 저항을 무시할 수 있을 때, 도선은 Figure 1-4의 점선 부분처럼 커패시터가 병렬로 연결된 회로로 모델링 될 수 있다. 거리가  $1 \mu\text{m}$  떨어져 있는 ( $d = 1 \mu\text{m}$ ) 두 금속 도선 사이의  $C$ 의 크기가  $0.1 \mu\text{F}$ 일 때, (a)에서 구한  $R_2$ ,  $L$ 을 이용하여 Figure 1-4 회로의 network function  $H(\omega) = \frac{v_o(\omega)}{v_i(\omega)}$ 을 구하고  $|H(\omega)|$ 에 대한 Bode plot을 그리시오. (8점)
- (c) (b)의 결과에서 볼 수 있듯, 금속 도선으로 인한 커패시터가 존재하면  $\omega' = 10^4 \text{ rad/s}$ 에서  $|H(\omega')|$ 가 (a)의 경우보다 작아진다. 도선 사이의 거리  $d$ 를 증가시켜  $\omega' = 10^4 \text{ rad/s}$ 에서  $|H(\omega')|$ 의 값이 최소한 14 dB 이상이 되도록 하고 싶다면, 필요한  $d$ 의 최솟값은 얼마인가? (단,  $C \propto \frac{1}{d}$ ) (6점)

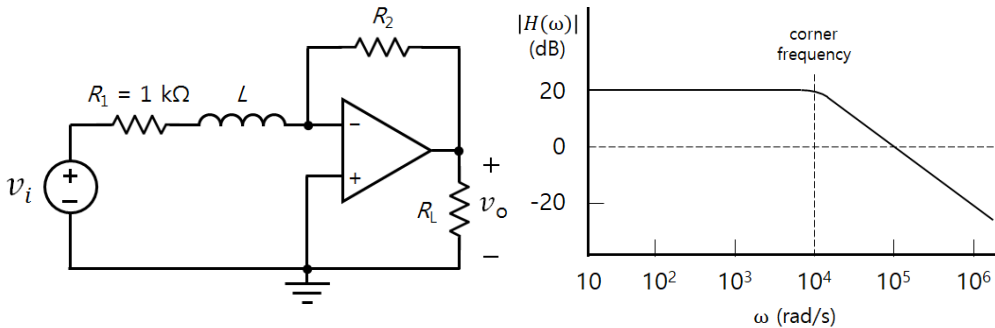


Figure 1-1

Figure 1-2

[1] Answer the following questions. (20 points)

- (a) Figure 1-1 represents the first-order low-pass filter circuit. Determine the values of  $R_2$  and  $L$  in Figure 1-1 to meet the Bode plot in Figure 1-2. (6 points)
- (b) The two nodes across  $R_2$  in Figure 1-1 can be realized with metal wires, as shown in Figure 1-3. When resistance of the metal wires is negligible, the metal wires can be modeled as a capacitor connected in parallel, as shown inside the dashed box in Figure 1-4. When the capacitance between two metal wires with a distance of  $1 \mu\text{m}$  ( $d = 1 \mu\text{m}$ ) is  $0.1 \mu\text{F}$ , determine the network function  $H(\omega) = \frac{v_o(\omega)}{v_i(\omega)}$  for the circuit shown in Figure 1-4 using  $R_2$  and  $L$  obtained in (a) and draw a Bode plot for  $|H(\omega)|$ . (8 points)
- (c) When there is a capacitor due to metal wires, the  $|H(\omega')|$  at  $\omega' = 10^4 \text{ rad/s}$  becomes smaller than in case of (a), as can be seen from the results in (b). If we want the  $|H(\omega')|$  at  $\omega' = 10^4 \text{ rad/s}$  to be at least 14 dB by increasing the distance  $d$  between metal wires, what is the minimum required distance of  $d$ ? (Note:  $C \propto \frac{1}{d}$ ) (6 points)

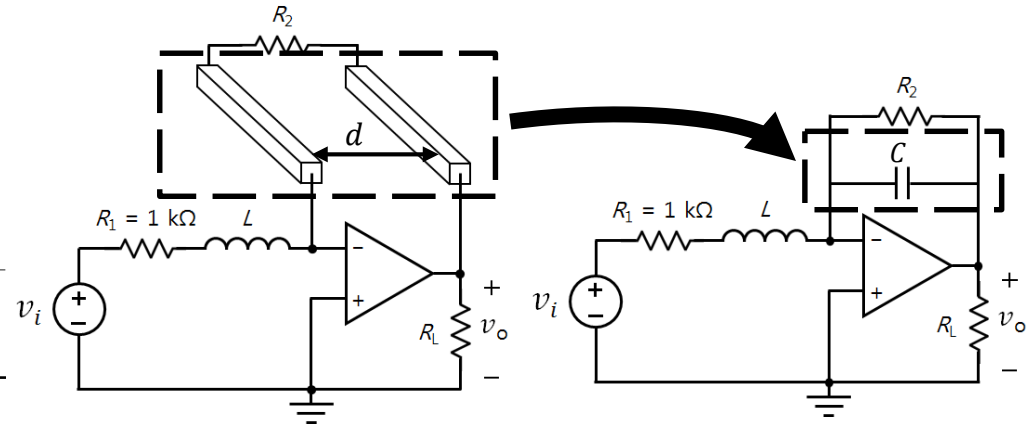


Figure 1-3

Figure 1-4

\* 2번 문제의 답은 유효숫자 4개로 표시하라 (예:  $12.00+3.456e^{7.890j}$ ).

[2] 아래의 물음들에 답하라. (20점)

Figure 2-1과 Figure 2-2는 각각 무선전력전송을 위한 송신부와 수신부를 간단하게 모델링한 회로이다. 부하에 최대의 전력을 전달하기 위해서는 송신부 전달함수  $H_{TX}(\omega) (= V_{TX}(\omega)/V_s(\omega))$ 의 공진주파수와 수신부 임피던스  $Z_{RX}$ 의 공진주파수가 일치하고 변하지 않아야 할 것으로 기대된다.

- (a) 위에서 언급한 두 공진주파수를 5000 rad/s로 하고  $H_{TX}(\omega)$ 의  $Q$  지수가 10이 되도록  $L_{TX}$ 와  $C_{TX}$ ,  $L_{RX}$ ,  $C_{RX}$ 의 값을 정하라 (단, 코일의 인덕턴스는 감은 수의 제곱에 비례하며, 수신 코일 ( $L_{RX}$ )은 송신 코일 ( $L_{TX}$ )에 비하여 2배 더 감겼다고 가정하라). (6점)

이제, 떨어져 있던 송신부와 수신부를 무선전력전송을 위하여 Figure 2-3과 같이 가깝게 배치했다. 두 코일이 근접할 경우에는 Figure 2-3과 같이 상호 인덕턴스를 고려해야 하며, 문제의 회로에서의 결합계수  $k$ 의 값은 0.2이다.

- (b) Figure 2-3 회로의 전달함수  $H(\omega) (= V_{Load}(\omega)/V_s(\omega))$ 의 공진주파수를 구하라 (상호 인덕턴스  $M$  외의 다른 요소들의 값은 문제 (a)와 같다고 가정하라). (8점)
- (c) 문제 (b)에서 구한 답은 문제 (a)에서 설정된 값 5000 rad/s와 다를 것이다. 이 문제를 해결하기 위해서는  $H(\omega)$ 의 틀어진 공진주파수를 다시 설정된 값과 일치하도록 조절해야 한다. Figure 2-3의 회로에서  $C_{TX}$ 의 값만 변화시킬 수 있다고 할 때,  $C_{TX}$ 를 어떤 값으로 바꿔야  $H(\omega)$ 의 공진주파수를 문제 (a)에서 설정된 값과 같게 할 수 있는지 구하라 ( $C_{TX}$  외의 다른 요소들의 값은 문제 (b)와 같다고 가정하라). (6점)

$$H_{TX}(\omega) = \frac{V_{TX}(\omega)}{V_s(\omega)}$$

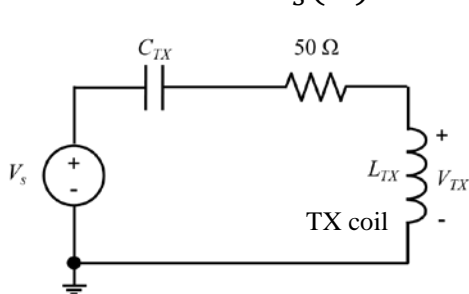


Figure 2-1

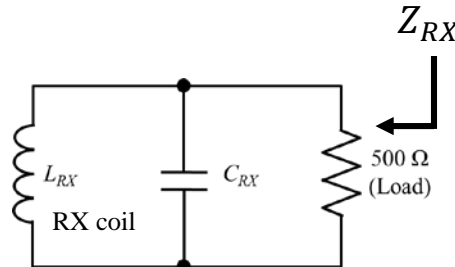


Figure 2-2

\* Express the answers with four significant figures for Problem [2] (example:  $12.00+3.456e^{7.890j}$ ).

[2] Answer the following questions. (20 points)

The transmitter and receiver for wireless power transmission is simply modeled in Figure 2-1 and Figure 2-2, respectively. To deliver maximum power to the load, it is expected that the resonant frequency of the receiver impedance  $Z_{RX}$  should be the same to that of the transmitter network function  $H_{TX}(\omega) (= V_{TX}(\omega)/V_s(\omega))$ , and both resonant frequencies should be invariable.

- (a) Determine the values of  $L_{TX}$ ,  $C_{TX}$ ,  $L_{RX}$ , and  $C_{RX}$  to set both resonant frequencies described above to 5000 rad/s and the  $Q$  factor of  $H_{TX}(\omega)$  to 10 (Assume that the inductance of a coil is proportional to square of the number of turns, and the RX coil ( $L_{RX}$ ) is wound two times more than the TX coil ( $L_{TX}$ )). (6 points)

Now, the transmitter and receiver, which were separated, are placed close to each other as shown in Figure 2-3 for wireless power transmission. If the two coils are close to each other, we should consider the mutual inductance between the two coils. In the circuit shown in Figure 2-3, the coupling coefficient  $k$  is 0.2.

- (b) Find the resonant frequency of the network function  $H(\omega) (= V_{Load}(\omega)/V_s(\omega))$  of the circuit shown in Figure 2-3 (Assume that the values of all elements other than the mutual inductance  $M$  are the same as those in the question (a)). (8 points)
- (c) The answer of the question (b) is not the same as the preset value 5000 rad/s in the question (a). To solve this problem, we should tune the mismatched resonant frequency of  $H(\omega)$  to the preset value. When we can only change the value of  $C_{TX}$  in the circuit shown in Figure 2-3, determine the value of  $C_{TX}$  needed to make the resonant frequency of  $H(\omega)$  same as the preset value in the question (a) (Assume that the values of all elements other than  $C_{TX}$  are the same as those in the question (b)). (6 points)

$$H(\omega) = \frac{V_{Load}(\omega)}{V_s(\omega)}$$

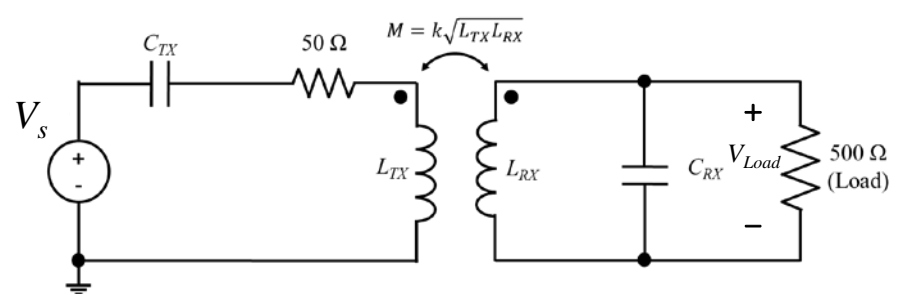


Figure 2-3

[3] 110 V의 정격을 갖는 선풍기를 변압기를 이용하여 220 V의 교류 전원에 연결하려고 한다. 선풍기는 10 Ohm 저항과 0.2653 H 인덕터의 직렬 연결로 나타낼 수 있다. 변압기는 이상적인 변압기가 아닌, 두 개의 인덕터들이 1차측과 2차측으로 구성되어 자기적으로 결합된 것으로 가정하며, 1차측 자기 인덕턴스는 4 H이다. (답은 유효숫자 4자리까지, 계산과정을 상세히 적으시오)

(1) 그림 3-1은 현재 사용되는 변압기를 나타낸다. 1차측의 Dot Convention을 참조하여 2차측의 Dot Convention의 위치를 c, d 두 개의 노드들 중에서 결정하라. [5점]

(2) 아래는 2차측에 각각 무부하 시험 (open circuit test)과 단락시험 (short circuit test)을 수행한 결과이다. 무부하 시험에서는 1차측에 220 V 60 Hz 30도의 위상각을 갖는 교류 전압원이 이용되었고, 단락시험에서는 1차측에 1 V 50 Hz 45도의 위상각을 갖는 교류 전압원이 이용되었다. 변압기 내부의 손실과 변압기 권선의 저항은 무시한다. 주어진 시험 결과들을 이용하여 2차측의 자기인덕턴스 및 1차측과 2차측의 자기결합계수를 구하라. [10점]

- 2 차측 무부하 실험:  $V_2 = 104.5\angle(-150^\circ)$  [V]
- 2 차측 단락 시험:  $I_2 = 0.0129\angle 135^\circ$  [A]

(3) 문제를 단순화하기 위해 1차측과 2차측의 자기결합 계수를 1이라고 가정하고, 1차측의 자기 인덕턴스를 4 H, 2차측의 자기 인덕턴스를 1 H로 가정하자. 1차측에 220 V 최대전압, 60 Hz 주파수, 0도의 위상각을 갖는 교류 전압원이 연결된 상황에서, 주어진 선풍기를 2차측에 연결하였다. 이때 1차측에서 바라본 선풍기의 등가 임피던스를 구하고 1차측 전원에서 공급되는 Complex Power 및 Power Factor를 구하고, Complex Power의 실수부와 허수부의 물리적 의미를 설명하라. Hint: 변압기는 "이상적인" 변압기로 볼 수 없다. [10점]

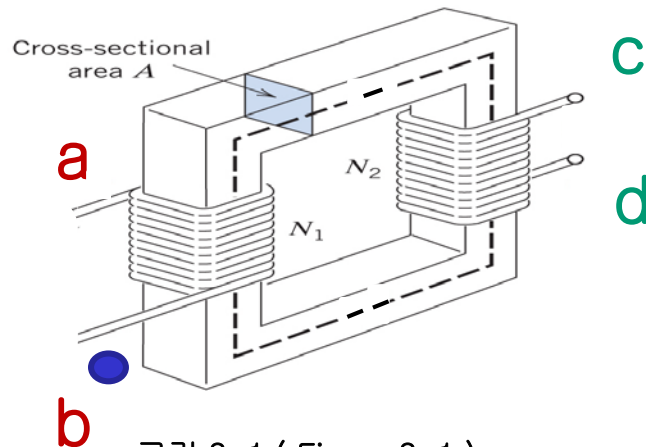


그림 3-1 ( Figure 3-1 )

[3] An electric fan having a 110 V rated voltage is connected to a 220 V ac power source. The fact may be modeled with an inductor of 0.2653 H and a resistor of 10  $\Omega$  connected in series. The transformer, which is NOT an ideal transformer, is modeled with two inductors, primary and secondary, magnetically coupled. The self-inductance of the primary side inductor is 4 H. (Express the answers with four significant digits, Write down the calculation process in detail)

(1) Fig. 1 shows the schematic figure of the transformer. Based on the dot convention in the primary side of Fig. 3-1, determine the dot position of the secondary side, either c or d. [5 points]

(2) Below are independent results of "open circuit" test and "short circuit" test. In the open circuit test, an ac voltage source with 220 V peak voltage, 60 Hz frequency, and 30 degree phase angle is used in the primary side, while in the short circuit test, ac voltage source with 1 V peak voltage, 50 Hz frequency, and 45 degree phase angle is used in the primary side. The internal loss and the coil resistance of the transformer are negligible. With the given two test results, determine the self-inductance of the secondary side and the magnetic coupling coefficient between the primary and secondary inductors. [10 points]

- open circuit test in the secondary side:  $V_2 = 104.5\angle(-150^\circ)$  [V]
- short circuit test in the secondary side:  $I_2 = 0.0129\angle 135^\circ$  [A]

(3) For simplicity, assume that the magnetic coupling coefficient is 1, the self-inductance of the primary coil is 4 H, and the self-inductance of the secondary coil is 1 H. An ac voltage source with 220 V peak voltage, 60 Hz frequency, 0 degree phase angle is connected to the primary side, and the fan is now connected to the secondary side. Determine the equivalent impedance of the fan seen from the primary side. And calculate the complex power provided by the voltage source, and the power factor. Also explain the physical meaning of real and imaginary parts of the complex power. Hint: the transformer is NOT an ideal transformer. [10 points]

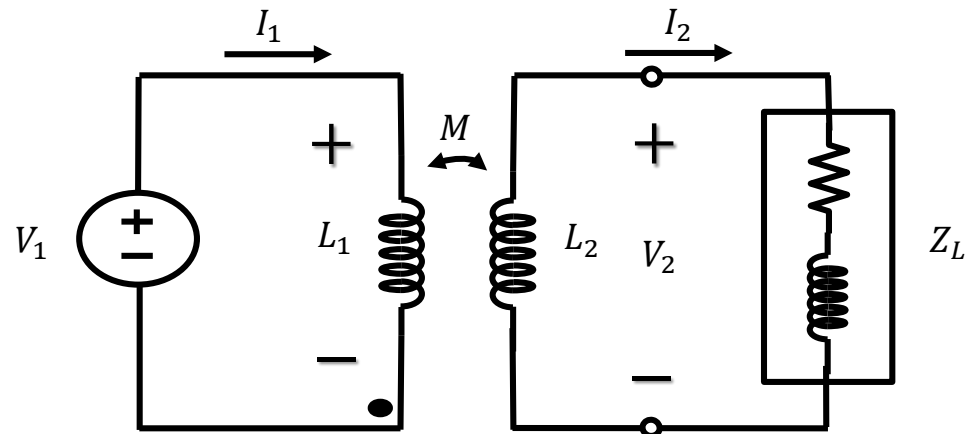


그림 3-2 ( Figure 3-2 )

- [4] 그림 4는 1개의 이상적인 op amp (Op1)와 1개의 주파수 특성이 고려된 non-ideal op amp (Op2), 그리고 1개의 이상적인 변압기로 구성된 회로이다. Op2의 DC Gain ( $A_0$ )은  $10^4$ 이고 Half-Power Corner Frequency ( $\omega_1$ )은 10 rad/s라고 할 때, Op2의 Open Loop Gain  $A(\omega)$ 는 다음과 같이 근사할 수 있다. (답은 유효숫자 4자리까지, 계산과정을 상세히 적으시오)

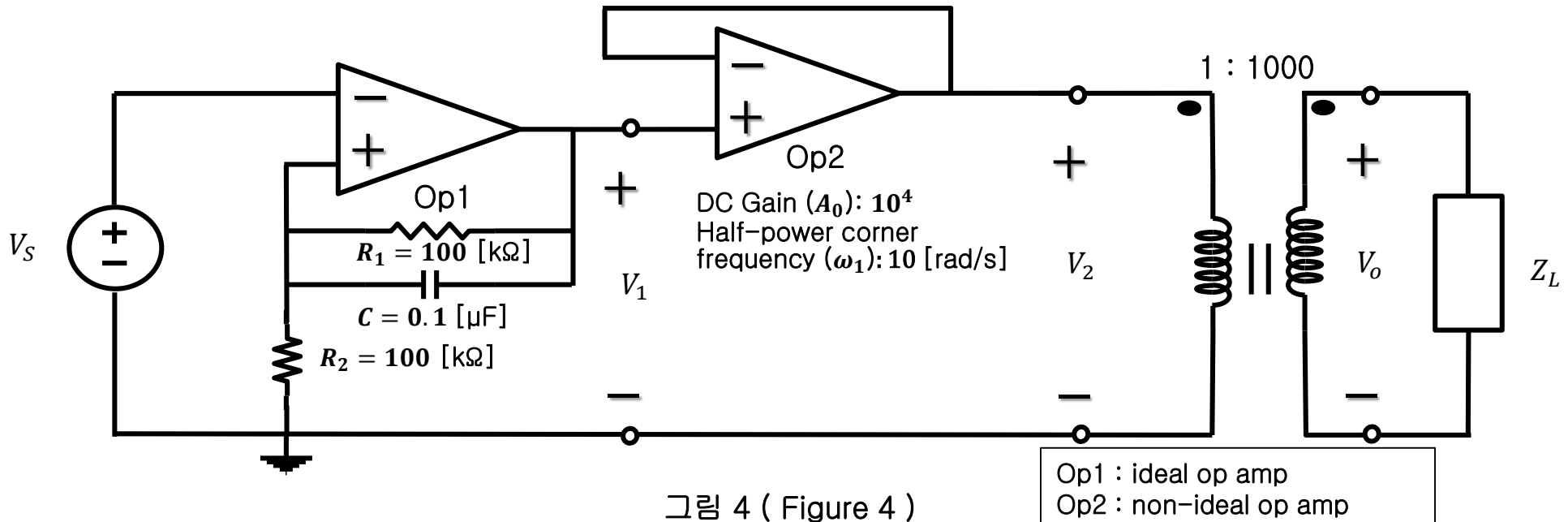
$$A(\omega) = \frac{A_0}{1 + j\omega/\omega_1} \cong \frac{\text{Gain Bandwidth Product}}{j\omega}$$

- (1) 전체 회로의 응답 특성  $\mathbf{H}(\omega) = \mathbf{V}_o(\omega)/\mathbf{V}_s(\omega)$  을 구하라. [6점]
- (2)  $\mathbf{H}(\omega)$ 의 logarithmic gain을 구하고 점근선 기법을 이용하여  $\omega > 10$  rad/s 에서 logarithmic gain의 Bode plot을 완성하라. [4점]
- (3)  $v_s = \cos(10^5 t)$  [mV]일 때 복소전력  $10+j5$ 가 부하  $Z_L$ 에 전달되기 위한  $Z_L$ 을 구하라. [5점]

- [4] Figure 4 Shows a circuit containing one ideal op amp (Op1), one non-ideal op amp (Op2) with the frequency dependency considered, and one ideal transformer. The DC gain ( $A_0$ ) of Op 2 is  $10^4$ , while the half-power corner frequency ( $\omega_1$ ) is 10 rad/s. Then the Open Loop Gain  $A(\omega)$  of Op2 may be simplified to: (Express the answers with four significant digits , Write down the calculation process in detail)

$$A(\omega) = \frac{A_0}{1 + j\omega/\omega_1} \cong \frac{\text{Gain Bandwidth Product}}{j\omega}$$

- (1) Determine the overall circuit's network function:  $\mathbf{H}(\omega) = \mathbf{V}_o(\omega)/\mathbf{V}_s(\omega)$ . [6 points]
- (2) Obtain the logarithmic gain of  $\mathbf{H}(\omega)$  and its bode plot using the asymptote approach in  $\omega > 10$  rad/s range. [4 points]
- (3) Provided that  $v_s = \cos(10^5 t)$  [mV], determine the load impedance,  $Z_L$  if the complex power of the load is calculated to be  $10+j5$ . [5 points]



[5] 발전소에서 전력을 각 지점으로 보낼 때 많은 요소들이 고려되어야 한다. (답이 한 가지가 아닌 경우 조건을 쓴 뒤 값을 자유롭게 넣으시오. 또한 저항은 양수임에 주의하라.) (20점).

(a) Figure 5-1에서,  $Z_1$ 은 송전선의 임피던스를 의미하고  $Z_2$ 는 전력을 공급받는 지점의 임피던스를 의미한다. 이때 송전선의 길이와 물질이 정해져 있기에  $Z_1$ 은 고정되어 있다. 여기서 다음을 만족하는  $Z_2$  (A,B)를 정하고 그때 두 임피던스와 발전소에서의 전압/전류/전력을 phasor diagram에 나타내시오. 그때의 각각에서 power factor는 얼마인가? (6점).

- 발전소가 공급하는 평균 전력을 최대화
- load( $Z_2$ )로 공급되는 평균 전력을 최대화

(b) 실제로는 load와 송전선의 임피던스는 정해져 있는 경우가 많다. 임피던스  $Z_1$ ,  $Z_2$ 가 고정된 상태에서, Figure 5-2와 같이 부하  $Z_L$ 를 달아 위 2가지를 만족하려고 한다. 이때 (a)를 반복하시오. (단 이때 load는  $Z_L$ 와  $Z_2$ 를 모두 포함한다.) (6점)

(c) 실제로는 load의 저항이 송전선의 저항에 비해 너무 작아서, 적절한 부하를 찾기 어려운 경우가 많다. 이를 해결하기 위해 ideal transformer를 사용하려 한다 (Figure 5-3).  $Z_L$ 와  $n$ 에 대해 (a)를 반복하시오. (2점)

(d) Figure 5-3의 그림을 다시 보자. 실제로는 전력을 전달받는 지점에 공급되는 전압이 일정해야 한다. Figure 5-3의 부하  $Z_L$ 에 걸리는 전압이 220V로 일정하다고 하자. (여기서  $n$ 은 (c)에서 구한  $n$ 과 같다고 하자.) 부하  $Z_L$ 가 없을 때 전압/전류에 대한 phasor diagram을 그리고,  $Z_L$ 에  $10j(\Omega)$ 의 부하가 걸렸을 때 phasor diagram을 그려 비교하여라. 이때 각각의 경우 송전선  $Z_1$ 에서 소모되는 전력을 구하고, 그 전력을 최소화 하는 부하  $Z_L$ 를 정하여라. (6점)

[5] Many factors need to be taken into account when sending power to each location in a power plant. Answer the following question. (If the answer is not one, write the condition and put the value free. Also note that the resistance is positive.) (20 points).

(a) In Figure 5-1,  $Z_1$  means impedance of transmission line and  $Z_2$  means impedance of load. The length and material of transmission line is fixed, so  $Z_1$  is fixed. Find out  $Z_2$  (A,B) that satisfy the following and draw phasor diagram of voltage/current/power of two impedance and power plant. Also show the value of power factor at that time. (6pts)

- Maximize the average power supplied by the power plant.
- Maximize the average power delivered to the load( $Z_2$ )

(b) In real life, the impedance of load and transmission line is fixed. With fixed impedance  $Z_1$  and  $Z_2$ , we try to satisfy above two condition with additional load  $Z_L$ , like in Figure 5-2. Repeat (a). (At this time, load includes both  $Z_L$  and  $Z_2$ ) (6pts)

(c) In real life, the impedance of load is much smaller than impedance of transmission line, so it's hard to find out appropriate load. To solve this problem, we try to use transformer. (Figure 5-3) Repeat (a) for  $Z_L$  and  $n$ . (2pts)

(d) Let's look at the picture in Figure 5-3 again. In real life, the voltage of load must be constant. Let's assume that the voltage across  $Z_L$  in Figure 5-3 is constant at 220V. (Here,  $n$  is equal to the value obtained from c)) Without  $Z_L$ , draw the phasor diagram for voltage and current and with the  $10j(\Omega)$  of  $Z_L$ , draw the phasor diagram again and compare them. Also for each case, find out the power consumed at transmission line  $Z_1$ , and determine the load  $Z_L$  that minimize its power. (6pts)

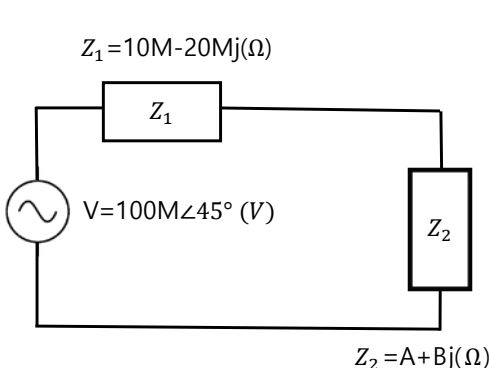


Figure 5-1

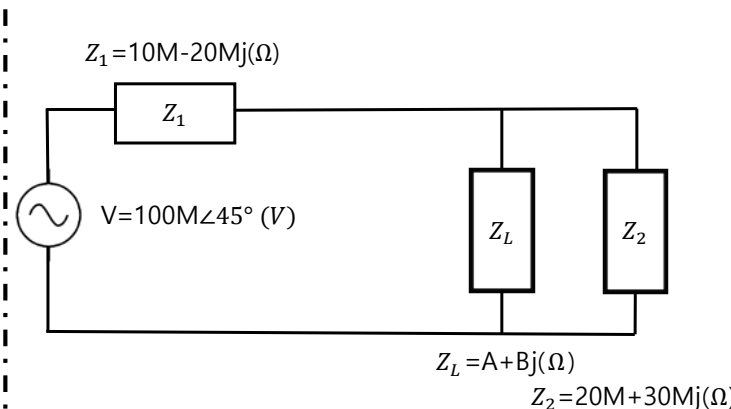


Figure 5-2

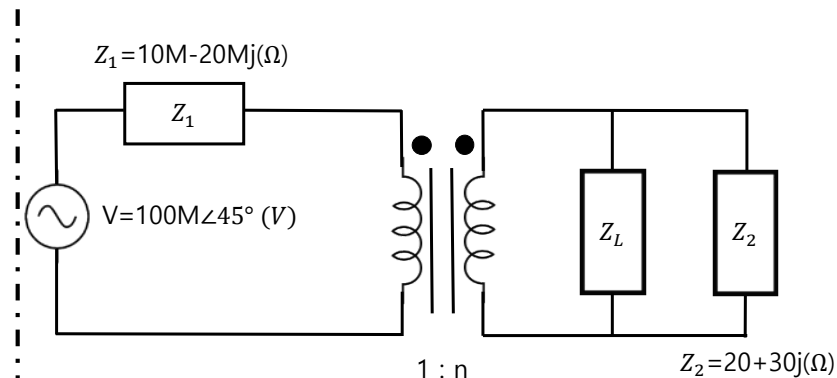


Figure 5-3

[6] Fig. 6의 회로에 대하여 다음 문제에 답하시오 (Fig. 6의 회로는 이상적인 op amp로 구성 되어 있다.) (20pts)

- (a) 아래 회로의 network(transfer) function,  $H(w)$ 를 유도하라. (5pts)
- (b) (a)에서 구한  $H(w)$ 의 asymptotic(uncorrected) magnitude Bode plot과 phase Bode plot을 그리시오. (5pts)
- (c)  $V_{in} = 80\sin(1000t+30^\circ) + 30\sin(1600t-20^\circ)$  [mV] 인 입력신호가 주어질 때 (b)의 결과를 참고하여 steady-state output voltage를 구하라. (5pts)
- (d) (c)에서 얻은 결과를 참고하여, 1600(rad/sec) 주파수를 가지는 입력 신호의 출력 전압 세기를 전체 gain의  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  배 이하로 줄이고자 한다. 변경 해야 할 소자를 고르고 그 값의 범위를 구하라. (단, 1000rad/sec 주파수에 해당하는 gain은 변하지 않도록 한다.) (5pts)

[6] Using the circuit in Figure 6, answer the following questions. (Suppose the op-amp is ideal, No partial score if wrong in (a)(20 points)

- (a) Derive the network(transfer) function,  $H(w)$ . (5pts)
- (b) Draw the asymptotic (uncorrected) magnitude bode plot and the phase bode plot of  $H(w)$  obtained in (a) . (5pts)
- (c) With reference to the results of (b), given an input signal with  $V_{in} = 80\sin(1000t+30^\circ) + 30\sin(1600t-20^\circ)$  [mV] , calculate the steady-state output voltage. (5pts)
- (d) With reference to the results of (b), It is desired to reduce the output voltage intensity of the input signal having a frequency of 1600 (rad/sec) to  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  times of the total gain. Choose elements to change and determine the range of values. (The gain corresponding to the frequency of 1000 (rad/sec) should not be changed.) (5pts)

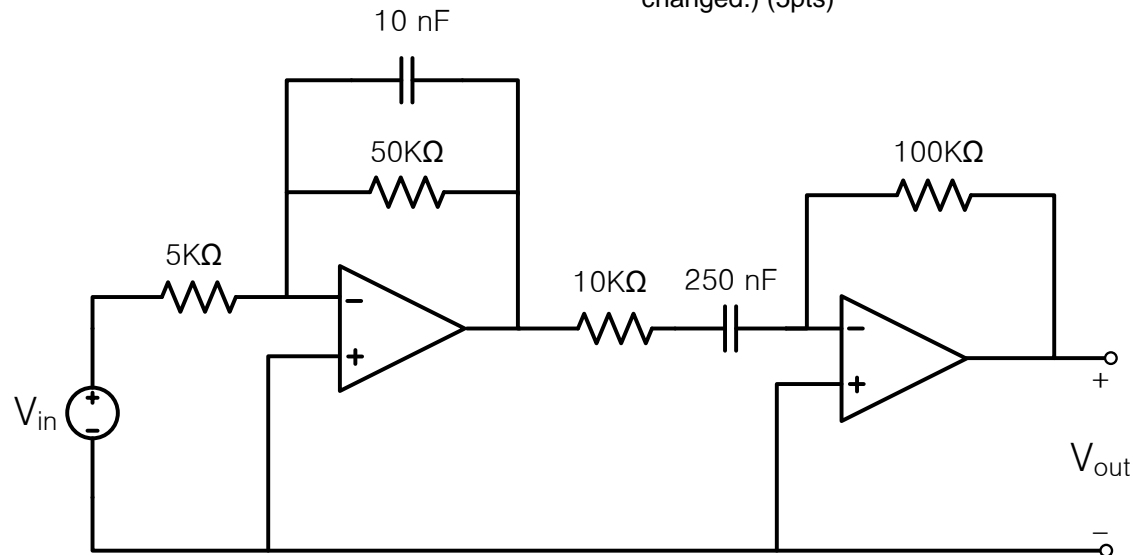


Fig. 6