

생체계측 학습과제 #1

- (1) 선형 시스템의 입출력 관계를 수식으로 기술하시오. 4 가지 형태의 비선형 시스템들의 입출력 관계를 그림으로 설명하시오.
- (2) RC 저역통과필터에서, 동작 전달함수와 정현파 전달함수를 구하시오. 주파수 전달함수의 크기와 위상을 도시하시오. 계단 반응함수(unit step response)를 구하고, 도시하시오. 직류입력에 대한 출력의 크기에 비해 출력이 70.7%가 되는 주파수를 구하고, 그때의 위상각을 구하시오. 단, $R = 1592\Omega$, $C = 1\mu\text{F}$.
- (3) RC 고역통과필터에서, 동작 전달함수와 정현파 전달함수를 구하시오. 정현파 전달함수의 크기와 위상을 도시하시오. 고주파의 정현파 입력에 대한 출력의 크기에 비해 출력이 70.7%가 되는 주파수를 구하고, 그때의 위상각을 구하시오. 단, $R = 1592\Omega$, $C = 1\mu\text{F}$.
- (4) 정확도가 $\pm 0.05\%$ of Full Scale 이고, 측정 범위가 $0 \sim 100^\circ\text{C}$ 인 디지털 온도계에서, ADC 입력단의 전압의 크기가 $0 \sim 5\text{V}$ 이다. 즉, 0V 는 0°C 에, 그리고 5V 는 100°C 에 해당된다. ADC 는 최소 몇 bit 짜리를 사용하며, 잡음 전압의 크기는 얼마 이내로 하여야 하는가? 또, 최종 출력을 숫자로 표기할 때 가장 적절한 방법을 제시하시오. 단, 온도와 전압의 관계는 선형적이라 가정하시오.
- (5) 정확도가 $\pm 0.1\%$ of Full Scale 이고, 측정 범위가 $0 - 500\text{mmHg}$ 인 디지털 압력계에서, ADC 입력단의 전압의 크기가 $0 - 5\text{V}$ 이다. 즉, 0mmHg 는 0V 에, 그리고 500mmHg 는 5V 에 해당된다. ADC 는 최소 몇 bit 짜리를 사용하며, 잡음 전압의 크기는 얼마 이내로 하여야 하는가? 또, 최종 출력을 숫자로 표기할 때 가장 적절한 방법을 제시하시오. 단, 압력과 전압의 관계는 선형적이라 가정하시오.
- (6) 온도 측정기의 입력범위는 $0-40^\circ\text{C}$ 이고, 출력전압은 $0-5\text{V}$ 이며, 입력과 출력 사이의 관계는 선형적이라 가정한다. 온도 측정기의 출력전압을 입력범위가

0-5V 인 12-bit ADC 에 연결하였다.

- (a) ADC의 입력에 dc level 이 조정된 $5V_{pp}$ 의 정현파가 입력되는 경우를 가정하고, 양자화 잡음에 대한 SNR을 구하시오.
 - (b) 온도 측정기의 출력전압에는 평균이 0 이고 분산이 σ^2 인 Gaussian 분포를 가지는 잡음전압이 존재한다. 이 잡음전압의 최대치 추정치 (estimate of the maximal noise value)를 얼마로 제한하는 것이 필요한가?
 - (c) 온도 측정기의 최종출력을 소수점 아래 1 자리까지로 할 때, 이 온도 측정기의 해상도는?
 - (d) 온도 측정기의 해상도를 최대한 개선하였을 때, 정확도는?
- (7) 온도를 알고 있는 5 개의 물체를 이용하여, 문제(1)의 온도 측정기를 calibration 하기 위한 데이터를 얻었다.

온도(T)	출력전압(V)
0	-0.01
10	1.2
20	2.6
30	3.8
40	4.9

- (a) 최소자승오차법을 이용하여 출력전압과 온도 사이의 관계식을 1 차식으로 구하시오.
 - (b) 위에서 구한 1 차식을 이용하여 출력전압을 온도로 환산한 뒤, 최종출력을 하였을 때 발생하는 오프셋 오차 및 민감도 오차에 대하여 설명하시오.
- (8) 체온을 측정하는 계측기를 제작하여 입력(온도)과 출력(전압) 사이의 관계식을 구하고자 한다. 실험을 통하여 입력(온도, T)과 출력(전압, V) 사이의 관계를 측정하여 다음과 같은 표를 얻었다.

입력(T)	출력(V)
T_1	V_1
T_2	V_2
\vdots	\vdots
T_N	V_N

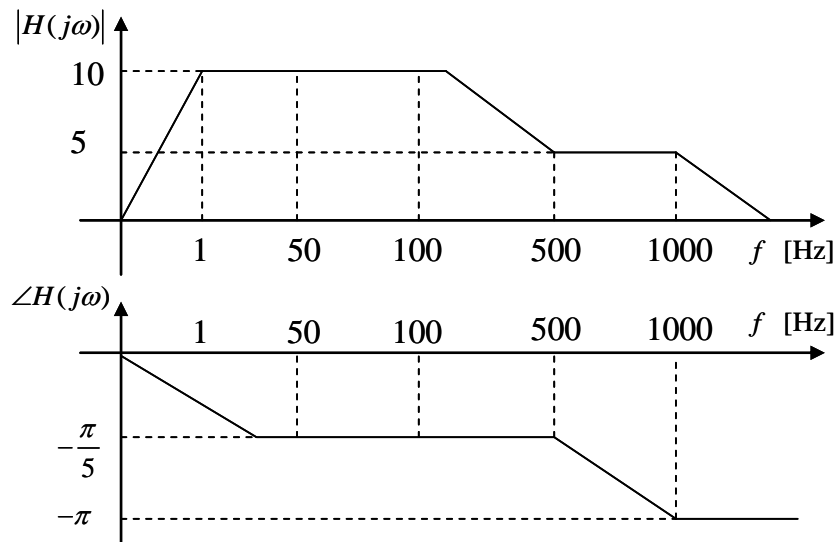
- (e) $V = a \times T + b$ 의 1 차식으로 입력과 출력의 관계를 표현하고자 한다. 최소자승오차법을 사용하여 a 와 b 를 결정하시오.
- (f) 데이터의 개수 N 은 몇 개 이상으로 하여야 하는지 정하고, 이유를 설명하시오.

- (9) 압력을 측정하는 계측기를 제작하여 입력(압력)과 출력(전압) 사이의 관계식을 구하고자 한다. 실험을 통하여 입력(압력, P)과 출력(전압, V) 사이의 관계를 측정하여 다음과 같은 표를 얻었다.

입력(P)	출력(V)
P_1	V_1
P_2	V_2
\vdots	\vdots
P_N	V_N

- (g) $V = a \times P^2 + bP + c$ 의 2 차식으로 입력과 출력의 관계를 표현하고자 한다. 최소자승오차법을 사용하여 변수 행렬 $[a \ b \ c]^T$ 를 결정하시오.
 - (h) 데이터의 개수 N 은 몇 개 이상으로 하여야 하는지 정하고, 이유를 설명하시오.
- (10) 압력 측정기의 입력범위는 0-250mmHg 이고, 압력 센서는 1mV/mmHg 의 민감도를 가지며 선형적으로 동작한다고 가정하시오.
- (i) 압력 측정의 정확도를 나타내는 오차의 크기를 $\pm 0.02\%$ FS(full scale)로 할 때, 측정 압력의 DR(dynamic range)를 구하시오.
 - (j) 압력 센서의 전압을 증폭해서 입력범위가 0-5V 인 ADC 에 연결하고자 한다. 전압 증폭기의 전압 이득을 계산하시오.
 - (k) 입력범위가 0-5V 인 N -bit ADC 의 입력에 평균값이 2.5V, peak-to-peak 전압이 $5V_{pp}$ 인 정현파가 입력되는 경우를 가정하고, 양자화 잡음에 대한 ADC 의 SNR(signal-to-noise ratio)을 구하시오.
 - (l) 위 (a)와 (c)의 결과를 고려해서 ADC 의 bit 수인 N 을 정하시오.
 - (m) 전압 증폭기의 출력에는 평균이 0 이고 분산이 σ^2 인 Gaussian 분포를 가지는 잡음전압이 존재한다. 이 잡음전압의 최대치 추정치 (estimate of the maximal noise value)를 얼마로 제한하는 것이 필요한가? 이때 σ 의 값은?
 - (n) 이렇게 제작한 압력 측정기의 SNR 을 실험적으로 측정하는 방법을 기술하시오.

- (11) 주파수 범위가 10 ~ 1000Hz 인 전위신호를 측정하고자 한다. 출력신호의 왜곡을 최소화 할 수 있는 계측시스템의 주파수 전달함수의 크기와 위상을 그리고 간략하게 설명하시오. 계측시스템의 전압이득은 40dB 로 하시오.
- (12) 주파수 범위가 0.05 - 100Hz 인 심전도 신호를 증폭하고자 한다. 이득은 60dB 가 필요하다. 출력에서 크기 및 위상 왜곡이 발생하지 않는 증폭기의 전달함수가 가져야 할 조건을 설명하시오. 입출력 사이의 위상차와 시스템의 지연시간의 관계를 설명하시오.
- (13) 다음의 그림과 같은 주파수 전달함수 $H(j\omega)$ 를 가지는 시스템의 입력이 $v_i(t) = 2\sin(100\pi t) + 3\sin(200\pi t)$ 이다.



- (a) 입력신호의 주파수 스펙트럼을 도시하시오.
 - (b) 출력신호 $v_o(t)$ 를 구하시오.
 - (c) 입력신호를 구성하는 두 개의 정현파 신호의 시스템 통과시간을 구하시오.
 - (d) 출력에서 왜곡의 발생 여부와 그 이유를 기술하시오.
- (14) Single-turn rotary potentiometer 를 이용하여 water spirometer 에 부착된 펜의 수직방향 변위를 전압으로 바꾸어 컴퓨터에 입력하는 인터페이스 장치를 고안하여 그림으로 그리고 필요한 신호처리 회로를 설계하시오.
- (15) 적절한 탄성을 가지는 유전률이 ϵ 인 유전체가 채워진 쏘시지 모양의 풍선 내부 면에 마주보는 두 개의 금속 판을 설치여 용량성 센서를 제작하였다.

각 금속판의 면적은 A 이다.

- (a) 풍선 외부의 압력 P 와 두 금속판 사이의 거리 x 는 $x = \alpha P$ 의 관계를 가지고, α 는 정해진 비례상수일 때, 두 금속판 사이의 커패시턴스 C 와 P 의 관계는?
- (b) 이 센서를 그림으로 도시하고 이를 이용하여 직장 내부의 압력을 측정하는 신호처리 회로를 설계하시오. 이때 최종 출력전압 v_o 가 P 에 비례하도록 하시오.

(16) Gage factor가 +100인 p-type Si strain gage 2개와 -100인 n-type Si strain gage 2개를 이용하여 힘을 측정하는 시스템을 제작하려 한다. Cantilever의 윗면에 p-type Si strain gage 2개를 부착하고 아래면에 n-type Si strain gage 2개를 부착하였다.

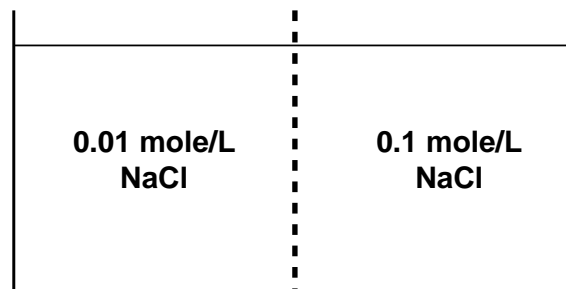
- (a) 4개의 strain gage로 구성되는 브리지 회로와 브리지의 출력을 증폭하는 계측용 증폭기로 구성되는 계측회로를 설계하시오. 이때, 브리지를 구성하는 각 strain gage의 type을 명시하시오. 브리지의 구동 전원은 dc 1V로 한다.
- (b) Cantilever에 힘이 인가되었을 때, cantilever는 윗면과 아래면이 동일한 양만큼 길이 변화를 일으킨다 가정하시오. 인가된 힘에 의한 strain gage의 최대의 길이 변화는 $\pm 0.05\%$ 이고, strain gage의 무부하시 저항은 200Ω 이다. 인가된 힘에 따른 최종 출력이 $\pm 5V$ 에서 변하도록 계측용 증폭기의 이득을 정하시오.
- (c) 이러한 힘 측정기를 calibration하는 방법을 제안하시오.

(17) Liquid-filled catheter를 이용하는 혈압 측정장치를 설계하려고 한다. Diaphragm에 4개의 strain gage가 bridge회로의 형태로 장착된 압력 센서는 bridge를 1V dc로 구동하였을 때 $5\mu V/mmHg$ 의 민감도를 가진다. 측정하는 혈압의 범위는 $-30 \sim 300mmHg$ 로 한다.

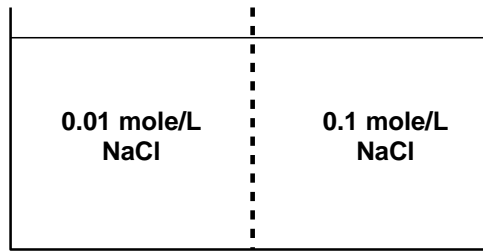
- (d) Liquid-filled catheter와 센서를 포함하는 측정 시스템의 구성도를 그리시오.
- (e) 최대 출력전압의 크기가 $\pm 5V$ 범위 내에 포함되도록 하고, 최대 심박수가 240 beat/min인 경우까지 주파수 왜곡이 발생하지 않도록 하는 증폭기 및 저역통과필터를 설계하시오. 혈압파형의 미분을 구하지 않는다고 가정

하시오.

- (f) 혈압 측정치의 해상도가 1mmHg 이기 위해 출력에서의 최대 잡음의 크기와 ADC 의 bit 수는?
 - (g) ADC 의 표본화 주파수는 얼마 이상으로 하여야 하는가?
- (18) 다음의 4 가지 광 센서들의 기본 원리를 설명하고, 그 예를 하나씩 제시하시오.
- (a) Photoemissive (b) Photoconductive (c) Photojunction (d) Photovoltaic
- (19) 2 차원에서 원 모양의 균질한 volume conductor 의 중앙에 current dipole 이 위치하고 있다. 전류의 흐름과 등전위면을 그림으로 그리고, 표면에서 가장 큰 전위차를 측정할 수 있는 두 지점을 표시하시오.
- (20) 시간 $t=0$ 에서 농도가 다른 두 가지 NaCl 용액을 그림과 같은 용기에 채웠다. 두 용액의 사이에는 Na^+ 이온은 투과하고, Cl^- 이온은 투과하지 않는 반투막이 설치되어 있다. 시간이 경과함에 따라 반투막 근처에서 발생하는 현상을 기술하시오. 오랜 시간이 지난 후, 반투막의 왼쪽과 오른쪽 용액의 농도는 얼마인가? 또, 반투막 사이의 전위차는 얼마이며 그 극성은 어떻게 되는가? 단, 막전압은 $E = 0.0615 \log_{10} \left(\frac{y}{x} \right)$ [V]의 형태임을 참고하시오.



- (21) 시간 $t=0$ 에서 농도가 다른 두 가지 NaCl 용액을 그림과 같은 용기에 채웠다. 두 용액의 사이에는 Cl^- 이온은 투과하고, Na^+ 이온은 투과하지 않는 반투막이 설치되어 있다. 반투막 근처에서 발생하는 현상을 기술하시오. 오랜 시간이 지난 후, 반투막의 왼쪽과 오른쪽 용액의 농도는 얼마인가? 또, 반투막 사이의 전위차는 얼마이며 그 극성은 어떻게 되는가? 단, 막전압은 $E = 0.0615 \log_{10} \left(\frac{y}{x} \right)$ [V]의 형태임을 참고하시오.



- (22) 1M NaCl 용액과 0.1M NaCl 용액이 Na⁺ 이온 만을 투과하는 반투막으로 분리되어 있다. 반투막 양쪽의 이온 분포를 개략적으로 도시하고, 동적평형 상태에서 Na⁺이온이 반투막을 통하여 양방향으로 이동하고 있는 원인들을 기술하시오.
- (23) K⁺ 이온 만을 투과하는 반투막을 가진 가상의 세포의 내부와 외부에 서로 농도가 다른 KCl 용액이 채워져 있다. 세포막 내부와 외부에서의 K⁺ 이온의 몰 농도는 각각 $[K^+]_{in}$ 과 $[K^+]_{out}$ 으로 표기한다.
- (a) $[K^+]_{in} = 10 \times [K^+]_{out}$ 일 때, 동적 평형 상태에서 세포막 근처의 전하 분포를 도시하고 설명하시오.
- (b) 세포막 내부와 외부의 전위차를 표현하는 식을 구하시오.
- (c) 막전위를 측정하는 방법을 그림으로 설명하시오.
- (24) Cl⁻ 이온 만을 투과하는 반투막을 가진 가상의 세포의 내부와 외부에는 서로 농도가 다른 KCl 용액이 채워져 있다. 세포막 내부와 외부에서의 Cl⁻ 이온의 몰 농도는 각각 $[Cl^-]_{in}$ 과 $[Cl^-]_{out}$ 으로 표기한다.
- (c) 세포막의 내부와 외부 사이의 전위차를 표현하는 식을 구하시오.
- (d) $[Cl^-]_{out} = 10 \times [Cl^-]_{in}$ 일 때, 세포막 안과 밖의 이온 분포를 도시하고, 막전위의 극성을 표시하시오.
- (25) 신경세포의 구조를 도시하고 각 부분에 대하여 설명하시오. Resting membrane potential 이 형성되는 이유를 설명하시오. 또, 그 측정방법을 그림으로 설명하시오.
- (26) 흥분성 세포에서 "안정상태->활성상태->안정상태"의 과정을 세포막 내외에서의 이온들의 농도와 막의 투과율의 변화로 설명하고, 이에 따른 활동전위

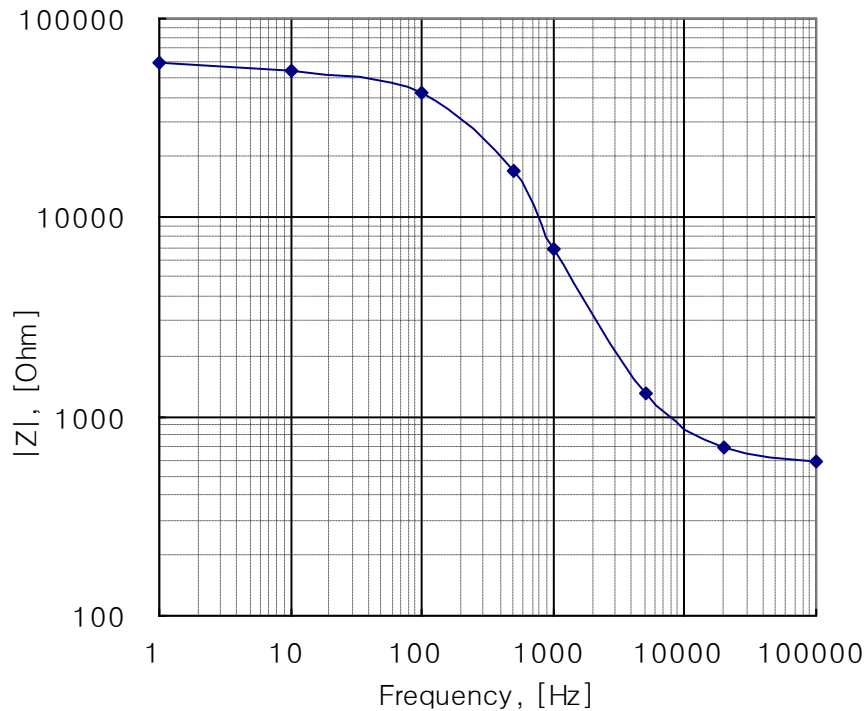
의 전형적인 파형을 그려서 설명하시오. 이러한 활동전위가 신경세포의 axon 에서 전파되는 과정을 설명하시오.

- (27) 뇌파로부터 시각자극과 청각자극에 대한 유발전위를 측정하고자 할 때, 가장 적절한 전극부착 방법을 각각 기술하시오. 각각의 경우 3 개의 전극을 사용한다고 가정하시오.
- (28) 팔의 표면에서 운동신경에 의한 ENG 를 측정하여 신경전도속도를 측정하는 방법을 기술하시오.
- (29) 환자의 팔을 대상으로 신경에서 action potential 의 전달 속도(nerve conduction velocity)를 측정하고자 한다.
- (a) 운동신경을 대상으로 팔 표면에 전극을 부착하는 방법과 측정장치의 구성도를 도시하고 측정방법을 설명하시오. 측정되는 신호를 도시하고 대략적인 크기와 시간 간격을 표기하시오.
- (b) 위 (a)를 감각신경에 대해 반복하시오.
- (c) 측정한 신호의 크기가 잡음 보다 작은 경우에 대한 대책을 제시하시오. 단, 잡음은 random noise 라 가정하시오.
- (30) 원자수가 n 인 C 라는 금속으로 만든 두 개의 동일한 전극을 A^m 의 음이온이 있는 전해질에 넣고, DC 전원을 인가하여 전류가 흐르도록 하였다. 양극과 음극의 전극에서 발생하는 화학 반응을 기술하고, 각 전극에서의 charge carrier 의 이동 방향을 명시하시오.
- (31) 백금(Pt) 전극 두개를 NaCl 용액에 담그고, 직류전원을 인가할 때, 발생하는 현상을 기술하시오.
- (32) Ag/AgCl 전극 두개를 NaCl 용액에 담그고, 직류전원을 인가할 때, 발생하는 현상을 기술하시오.
- (33) NaCl 용액에 두 개의 Ag/AgCl 전극을 설치하고 두 전극과 연결된 전선들을 통하여 두 전극 사이에 2V 의 dc 전원을 인가하였다. 음극과 양극에서의 화

학반응과 전극의 상태변화를 기술하고 어떻게 전류가 흐르는지 설명하시오.

- (34) 두 개의 전극이 KCl 용액에 놓여져 있다. 두 전극 사이에 dc 전원을 연결하여 전압을 인가하고, 전류를 측정할 때, 양극 및 음극에서 발생하는 현상을 기술하시오.
- (e) Pt 전극
 - (f) Ag/AgCl 전극
 - (g) 전극-전해질 인터페이스의 전기회로모델을 도시하고, 위의 두 종류의 전극의 특성이 어떻게 다른지 전기회로모델에 포함된 dc 전원 및 소자 값들로 설명하시오.
- (35) 두 개의 전극을 NaCl 용액 내에 설치하고 두 전극 사이에 dc 전원과 전류측정기를 연결했다. 인가 전압을 0V 에서부터 서서히 증가시키면서 전류를 측정할 때, 양극과 음극에서 발생하는 현상을 기술하시오.
- (a) 두 개의 전극이 모두 carbon 전극인 경우
 - (b) 두 개의 전극이 모두 Ag/AgCl 전극인 경우
 - (c) 전극-전해질 인터페이스의 등가회로모델을 도시하고, 위 두 종류 전극의 특성이 어떻게 다른지 등가회로모델에 포함된 dc 전원 및 소자 값들로 설명하시오.
 - (d) 전극-전해질 인터페이스의 등가회로모델에 포함된 dc 전원, 저항, 커패시터의 값들을 실험적으로 측정하는 방법을 기술하시오.
 - (e) 두 종류 전극 각각의 용도에 대해 설명하시오.
- (36) 전극-전해질 인터페이스의 등가회로를 그리고 각 부분에 대해 기술하시오. 또, 생체전위 신호를 측정할 때, motion artifact 가 발생하는 원인을 설명하시오.
- (37) 전극-전해질 인터페이스의 등가회로를 그리고 각 부분에 대해 기술하시오. 또, 등가회로 내의 각각의 소자 값을 실험적으로 측정하는 방법을 기술하시오.
- (38) Half-cell potential 이 200mV 인 전극의 임피던스의 크기가 다음의 그림과 같

을 때, 이 전극의 등가회로 모델을 그리고, 소자들의 값을 표시하시오. 이러한 실험 데이터를 얻는 방법을 기술하시오. 또, 생체전위 신호를 측정할 때, motion artifact 가 발생하는 원인을 설명하시오.



(39) 1 회용 심전도 전극의 단면을 그리고, 각 부분에 대해 기술하시오.

(40) 심장의 구조를 도시하고, 심장에서의 신경전도 경로를 기술하시오.

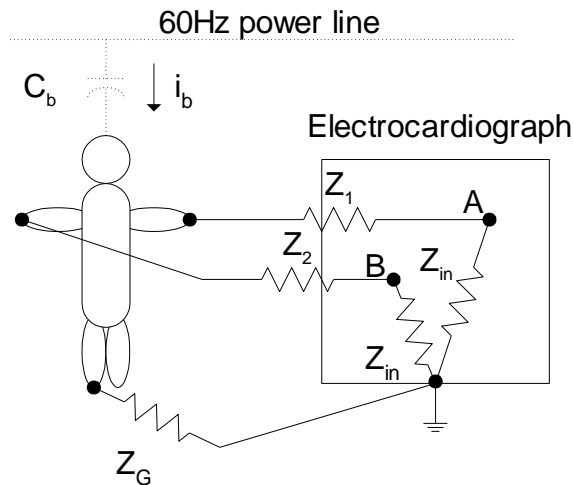
(41) 12-lead 심전도를 측정하기 위한 전극 부착 방법을 설명하시오. 12-lead 심전도를 동시에 모두 얻고자 할 때, 최소의 전극 개수 및 부착 방법과 증폭기는 몇 채널이 필요한지 기술하시오. 단, 모든 신호는 컴퓨터에 입력하고, 각 신호 사이의 연산을 할 수 있다고 가정하시오.

(42) 전형적인 심전도 파형을 그리고, 각 부분의 명칭과 해당 시간에서의 심장의 상태에 대해 기술하시오.

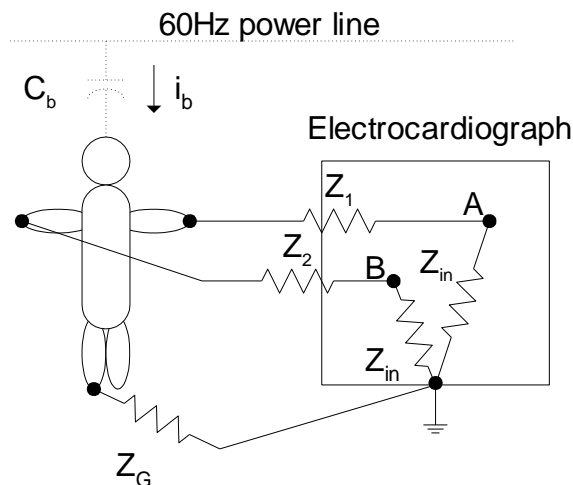
(43) Heart block 의 3 가지 종류를 설명하시오.

(44) 비정상적인 심전도 파형을 3 가지 기술하고 원인을 설명하시오.

(45) 다음의 그림에서 $i_b = 0.4\mu A$, $Z_G = 200k\Omega$, $Z_{in} = 5M\Omega$, $Z_1 = 100k\Omega$, $Z_2 = 130k\Omega$ 이고 증폭기의 이득은 1000이다. 심전도 증폭기 입력에서의 차동성분잡음 $v_{dm} = v_A - v_B$ 과 출력에서의 60Hz 잡음의 크기를 구하고, 이러한 잡음을 감소시키는 방법을 제안하시오.

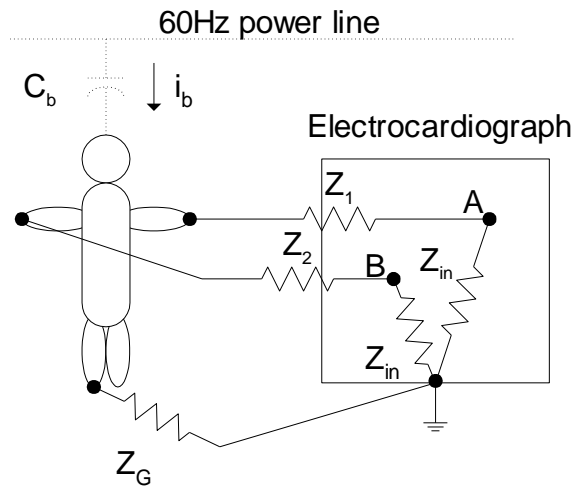


(46) 다음의 그림에서 $i_b = 0.4\mu A$, $Z_G = 200k\Omega$, $Z_{in} = 5M\Omega$, $Z_1 = 100k\Omega$, $Z_2 = 130k\Omega$ 이고 증폭기의 differential mode gain 은 1000이다. 심전도 증폭기 입력에서의 60Hz 차동성분잡음 $v_{dm} = v_A - v_B$ 과 출력에서의 60Hz 잡음의 크기를 구하고, 이러한 잡음을 감소시키는 방법을 제안하시오.



(47) 다음의 그림에서 $i_b = 0.4\mu A$, $Z_G = 200k\Omega$, $Z_{in} = 5M\Omega$, $Z_1 = 100k\Omega$, $Z_2 = 130k\Omega$ 이고 증폭기의 differential mode gain 은 1000이다. 심전도 증폭기 입력에서의

60Hz 차동성분잡음 $v_{dm} = v_A - v_B$ 와 출력에서의 60Hz 잡음의 크기를 구하고, 이러한 잡음을 감소시키는 방법을 제안하시오.



- (48) 심전도를 측정할 때, 60Hz 전원잡음을 줄일 수 있는 방법들을 기술하시오.
- (49) 다음의 사양을 만족시키는 ECG 증폭기를 설계하고, 각 소자들의 값을 명시하시오. 사용하는 OP amp의 이득대역폭적은 1MHz라 가정하시오. 전원: $\pm 9V$, 이득: 1000, 대역폭: 0.5 ~ 100Hz, dc offset 전압: $\pm 300mV$.
- (50) 다음의 사양을 만족시키는 ECG 증폭기를 설계하고 각 소자의 값을 명기하시오. 입력신호의 범위는 $\pm 5mV$, 전원은 $\pm 12V$, 이득은 1000, 대역폭은 0.5 ~ 30Hz, 전극의 최대 dc offset 차동 입력전압은 $\pm 300mV$, op amp의 포화전압은 $\pm 10V$ 로 하시오.
- (51) 다음의 사양을 만족시키는 EMG 증폭기를 설계하고 각 소자의 값을 명기하시오. 사용할 op amp의 입력 dc offset 전압이 최대 $\pm 10mV$ 이고, 최종출력에서의 dc offset 전압은 최대 $\pm 10mV$ 이내가 되도록 하시오. 입력신호범위는 $\pm 500\mu V$, 전원은 $\pm 12V$, 이득은 10000, 대역폭은 10 ~ 1000Hz, 전극의 최대 dc offset 차동 입력전압은 $\pm 300mV$, op amp의 포화전압은 $\pm 10V$, op amp의 이득대역폭적은 10MHz로 하시오.
- (52) 다음의 사양을 만족시키는 EMG 증폭기를 설계하고 각 소자의 값을 명기하시오. 전원: $\pm 9V$, 이득: 10000, 대역폭: 10 ~ 1000Hz, DC offset 전압: 300mV, 보

호회로

- (53) 다음의 사양을 만족시키는 EEG 증폭기를 설계하고 각 소자의 값을 명기하십시오. 입력신호의 범위는 $\pm 10\mu\text{V}$, 전원은 $\pm 6\text{V}$, 이득은 5×10^5 , 대역폭은 $0.5 \sim 100\text{Hz}$, 전극의 최대 dc offset 차동 입력전압은 $\pm 450\text{mV}$, op amp의 포화전압은 $\pm 5\text{V}$ 로 하시오. Op amp의 이득대역폭적은 1MHz 라 가정하십시오.
- (54) 뇌파를 측정하기 위하여 뇌파 증폭기를 설계하고자 한다. 머리 표면에서 측정되는 뇌파의 크기는 $\pm 100\mu\text{V}$ 이고 $0.5\text{-}30\text{Hz}$ 의 주파수 성분을 가진다. 뇌파 증폭기의 출력은 입력범위가 $\pm 5\text{V}$ 인 12-bit ADC에 연결한다.
- (d) 파형의 왜곡이 발생하지 않기 위한 뇌파 증폭기의 주파수 특성을 도시하고 설명하십시오.
- (e) 입출력 사이의 위상차와 시스템의 지연시간의 관계를 설명하십시오.
- (f) ADC의 표본화 주파수를 240Hz 로 하여 뇌파 증폭기의 출력을 디지털 신호로 변환한 뒤, 연속된 4개의 데이터를 합하여 1개의 데이터를 만드는 방법으로, 유효 표본화 주파수를 60Hz 로 낮추었다. 교류전원의 주파수가 60Hz 임을 고려하여 이러한 방법으로 뇌파 신호를 A/D 변환한 이유를 설명하십시오.
- (55) 피부에 부착한 한 쌍의 전극 사이에서 측정하는 근전도 신호는 최대 크기가 $\pm 1\text{mV}$ 이고, 10Hz 부터 1kHz 의 주파수 성분을 가지는 경우가 발생하였다. 이러한 근전도를 측정하는 생체전위증폭기를 설계하고자 한다. Dc 전원은 $\pm 12\text{V}$, 연산증폭기의 포화전압은 $\pm 10\text{V}$, 증폭기의 출력에 연결된 ADC의 입력 범위는 $\pm 5\text{V}$ 이다. 두 전극 사이에 발생하는 dc offset 전압(접촉 전위)은 최대 $\pm 300\text{mV}$ 이다.
- (a) ADC 입력범위 전체를 사용할 수 있도록 전압이득을 결정하여 증폭기 회로를 설계하고, 각 소자의 값을 명시하십시오.
- (b) 증폭기의 주파수 전달함수의 크기(magnitude response)를 도시하십시오.
- (c) 위상왜곡이 발생하지 않기 위해서는 주파수 전달함수의 위상(phase response)이 어떻게 되어야 하는가?
- (d) 증폭기의 주요 부분에서 신호의 파형을 도시하십시오.
- (e) 12-bit의 ADC를 사용하는 경우에, ADC 자체의 해상도를 유지하기 위해

서, 증폭기의 출력에서 허용할 수 있는 잡음의 최대 크기를 구하시오.

(f) 위 (e)의 경우에, 이 증폭기의 측정 오차를 \pm 몇% FS 로 표현하시오.

(56) 머리 표면에서 뇌파를 측정하는 뇌파 증폭기를 설계하고자 한다. 뇌파의 크기는 $\pm 10\mu\text{V}$ 이고, 0.1-30Hz 의 주파수 성분을 가진다. 뇌파 증폭기의 출력은 입력범위가 $\pm 5\text{V}$ 인 16-bit ADC 에 연결한다. 전극의 dc offset 전압은 $\pm 300\text{mV}$ 이며 전원은 $\pm 9\text{V}$ 이고 연산증폭기는 $\pm 6\text{V}$ 에서 포화된다.

(a) 무왜곡 측정을 위한 뇌파 증폭기의 이상적인 주파수 특성(크기 및 위상)을 도시하고 설명하시오.

(b) 다수의 연산증폭기와 저항 및 커패시터를 사용해서 뇌파 증폭기를 설계하시오. 이때, 연산증폭기 1 개를 사용한 각 전압 증폭기의 최대 이득은 200 이하로 하시오. 또, 연산증폭기를 이용한 각 전압 증폭기 출력에는 $\pm 10\text{mV}$ 의 dc offset 이 발생한다고 가정하고 이에 대한 대책을 뇌파 증폭기 설계에 포함하시오.

(c) 설계한 뇌파 증폭기의 주파수 특성(크기 및 위상)을 도시하고 (a)의 주파수 특성과 비교하시오.

(d) 제작한 뇌파 증폭기의 주파수 특성(크기 및 위상)을 실험적으로 측정하는 방법을 기술하시오.

(e) 제작한 뇌파 증폭기의 차동성분 전압이득(differential-mode voltage gain)을 실험적으로 측정하는 방법을 기술하시오.

(f) 제작한 뇌파 증폭기의 CMRR(common-mode rejection ratio)을 실험적으로 측정하는 방법을 기술하시오.

(57) 다음의 생체전기신호들에 대해 답하시오.

(a) 전형적인 심전도 파형을 그리고, 각 부분의 명칭과 해당 시간에서의 심장의 상태에 대해 기술하시오.

(b) 근육이 수축하기 전과 후의 전형적인 근전도 파형을 그리시오.

(c) 뇌파 중에서 α -파와 β -파의 전형적인 파형을 그리고, 각각의 경우에 대한 뇌의 상태를 간략히 기술하시오.

(d) 위의 세가지 생체신호들을 무질서도(randomness)가 큰 순서로 나열하고, 그 이유를 간략히 설명하시오.

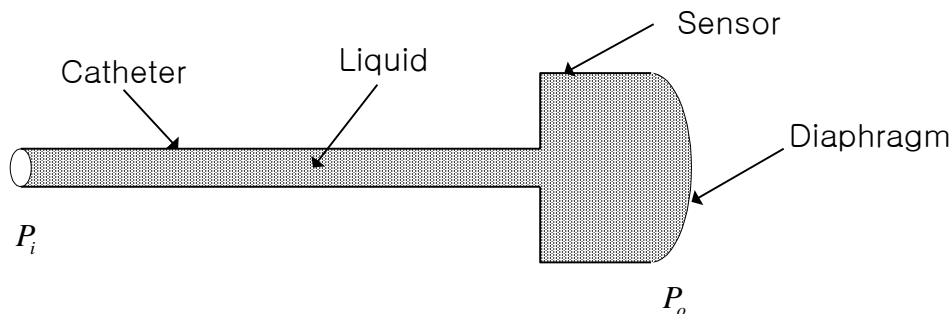
(58) XYZ 리이드를 이용하는 심전계에서 각 리이드의 신호를 360Hz의 표본화 주파수로 A/D 변환한다. 각 리이드의 데이터가 x_data, y-data 및 z-data로 주어지며, 각 데이터의 값은 0 - 255 사이의 자연수이다. 컴퓨터 화면에 1초간의 vectorcardiogram을 출력하는 프로그램을 작성하시오. 단, 다음과 같은 그래픽 라이브러리가 제공된다고 가정하시오.

```
void MoveTo(int x, int y) /* move the pen to (x, y) */
void DrawPoint(int scale) /* draw a point using the pen with grey scale */
```

(59) 맥박계에 사용되는 디지털 저역통과필터의 전달함수가 $H(z) = \frac{1-z^{-8}}{1-z^{-1}}$ 이라 가정하고, 이 디지털 필터를 C-언어를 이용하여 구현하시오.

(60) 신호평균법을 사용하여 SNR을 개선하고자 한다. 이것이 가능하기 위해서는 어떠한 조건들이 필요한지 기술하시오. 또, 신호평균법의 적용이 가능한 예를 한가지 설명하시오.

(61) 다음의 혈압측정용 센서에 대하여 답하시오. (20 점)



- (a) 유체저항(R), 이너턴스(L), 컴플라이언스(C)를 압력(P), 유속(F), 유량(V)을 사용하여 정의하시오.
- (b) 유체저항(R), 이너턴스(L), 컴플라이언스(C)를 각각 전기저항(R), 인덕턴스(L), 커패시턴스(C)에 대응시켜서, 위의 센서의 압력전달 특성을 나타내는 RLC 등가회로를 그리시오. 이때, 등가회로의 단순화에 사용된 가정을 명시하시오.
- (c) 입력압력 P_i 를 입력전압 v_i 로 대체하고, 출력압력 P_o 를 출력전압 v_o 로 대체한 후, 이들의 관계를 나타내는 미분방정식을 유도하시오.
- (d) 이러한 혈압 측정 시스템의 step response를 측정하는 방법을 제안하시오.

- (62) 비침습적으로 동맥의 혈압을 측정할 때, cuff를 사용하여 공기압을 가압한 후, 서서히 감압하면서 cuff의 공기압을 측정하는 방법을 많이 사용하고 있다. Oscillometric 법이라 불리는 이러한 방법을 사용하는 측정 시스템의 구성도를 그리고, 동작 원리와 필요한 디지털 신호처리 방법에 대하여 설명하시오.
- (63) 오실로메트릭법을 이용하는 자동 혈압계를 이용하여, 심박수가 60bpm 이고 수축기 혈압이 120mmHg, 이완기 혈압이 80mmHg 인 환자의 혈압을 측정하려 한다. 커프는 왼팔 윗부분에 설치하였고, 그 부위의 동맥혈압은 정현파의 모양으로 변한다고 가정하시오. 초기의 가압은 130mmHg 로 하였고, 감압은 -2mmHg/s 로 하였다. (20 점)
- (a) 동맥압과 압력센서가 측정하는 커프의 압력을 하나의 그래프에 그리시오.
- (b) 커프의 압력을 고역통과필터에 통과시킨 후, 증폭한 파형을 (a)의 그래프 아래에 그리시오.
- (c) 위의 두 그래프로부터 수축기, 이완기, 평균 혈압을 추정하는 방법을 설명하시오.
- (64) 하나의 cardiac cycle 동안에 발생하는 전형적인 좌심방 압력, 좌심실 압력, 대동맥 압력, 심전도 및 심음의 파형을 그림으로 그리고, 각 파형의 주요한 변화에 대하여 설명하시오.
- (65) Tonometry 의 원리를 설명하고, 안압을 측정하는 방법을 기술하시오.
- (66) Cardiac output 을 정의하고, 산소의 소모량을 측정하는 Fick 법에 의해 cardiac output 을 측정하는 방법을 설명하시오.
- (67) Cardiac output 을 정의하고, dye dilution 에 의해 cardiac output 을 측정하는 방법을 설명하시오.
- (68) Cardiac output 을 정의하고, thermodilution 에 의해 cardiac output 을 측정하는 방법을 설명하시오.
- (69) 초음파를 이용한 transit-time flow meter 의 원리를 기술하시오.

- (70) 초음파를 이용한 pulsed Doppler flowmeter 의 원리와 기능을 기술하시오.
- (71) Thermal convection velocity sensor 를 이용하여 혈류를 측정하는 방법을 기술하시오.
- (72) Cardiac output 을 정의하고, thermodilution 법에 의해 cardiac output 을 측정하는 방법을 설명하시오.
- (73) Pulsed Doppler flowmeter 의 원리를 기술하고, 혈관 내부의 flow profile 을 측정하는 방법을 설명하시오.
- (74) 생체 임피던스의 측정에 관하여 다음에 답하시오. (20 점)
- Two-electrode method 와 four-electrode method 를 비교 설명하시오.
 - 측정하고자 하는 생체 임피던스가 $Z = Z \angle \theta$ 일 때, phase sensitive demodulation 에 의해 Z 의 크기와 위상을 측정하는 방법을 기술하시오.
- (75) $Z = R + jX$ 인 임피던스를 측정하기 위해 $i(t) = I_m \sin(2\pi f_c t)$ 의 전류를 주입하고 유기되는 전압 $v(t)$ 를 측정하였다. 임피던스의 실수부 R 과 허수부 X 를 각각 측정하기 위한 phase-sensitive demodulation 방법을 기술하시오.
- (76) $Z = Z \angle \theta = R + jX$ 인 임피던스를 가지는 2-단자 소자가 있다. 이 소자에 $i(t) = I \sin(2\pi \times 1000t)$ 의 전류를 주입하고, 양단 사이에 유기되는 전압 $v(t)$ 를 측정하였다.
- $v(t)$ 를 수식으로 표현하시오.
 - $v(t)$ 로부터 Z 의 실수부 R 과 허수부 X 를 모두 측정하기 위해 phase-sensitive demodulation 을 하려고 한다. 구성도를 도시하고, 원리를 설명하시오.
- (77) Spirometer 를 사용하여 FRC 를 측정하는 방법을 한가지 제안하시오.
- (78) 전기적 안전도를 고려하여 심전도 측정장치의 구성도를 설계하시오. 증폭기

와 ADC 및 마이크로프로세서는 절연된 전원으로 구동하고, 화면 출력부 및 프린터와 이를 제어하는 마이크로프로세서는 접지(earth)된 전원으로 구동한다. 두 프로세서 사이의 직렬 데이터 교환은 광결합을 사용하며, 외부 기기와의 통신에도 광결합을 사용한다.

- (79) 환자의 심전도를 증폭한 후, A/D 변환하여, 첫 번째 microprocessor 에 입력한다. 이 microprocessor 는 직렬통신 방법으로 심전도 데이터를 두 번째 microprocessor 로 전송한다. 전기적인 안전도를 고려하여 전체 시스템의 구성도를 그리시오. 단, 두 번째 microprocessor 는 earth ground 되어 있다고 가정하고, 신호의 분리는 optical coupling 을 이용하시오.
- (80) 다음의 사양을 만족하는 심전도 모니터링 시스템을 설계하고자 한다.
 측정전압범위: $\pm 5\text{mV}$, 대역폭: 0.5 – 30 Hz, 전원: $\pm 5\text{V}$, 두 전극 사이의 최대 dc offset 전압: $\pm 300\text{mV}$, AD 변환기의 입력전압범위: $\pm 2.5\text{V}$
- (a) AD 변환기에 입력하기 위한 심전도 증폭기를 설계하시오.
- (b) AD 변환한 뒤 첫 번째 microprocessor 에 신호 데이터를 입력한다. 이 microprocessor 는 직렬통신 방법으로 심전도 데이터를 두 번째 microprocessor 로 전송한다. 전기적인 안전도를 고려하여 전체 시스템의 구성도를 그리시오. 단, 두 번째 microprocessor 는 earth ground 되어 있다고 가정하고, 신호의 분리는 optical coupling 을 이용하시오.