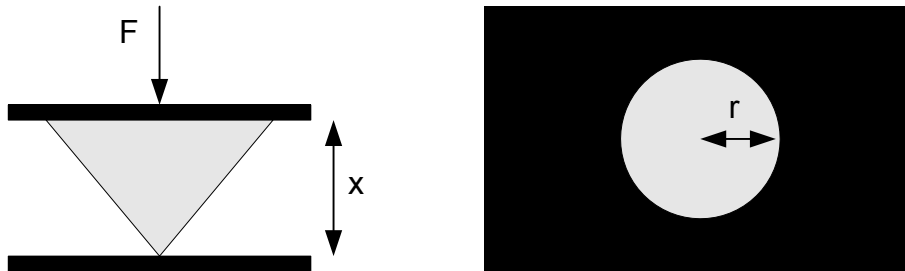


생체계측 학습과제 #2

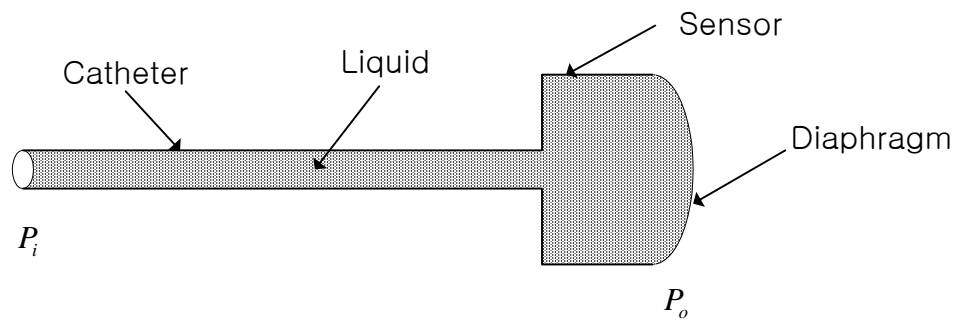
- (1) Single-turn rotary potentiometer 를 이용하여 water spirometer 에 부착된 펜의 수직방향 변위를 전압으로 바꾸어 컴퓨터에 입력하는 인터페이스 장치를 고안하여 그림으로 그리고 필요한 신호처리 회로를 설계하시오.
- (2) 왼쪽의 그림과 같은 종단면을 가지는 Force Sensing Resistor (FSR)를 제작하였다. 검은색으로 표시된 두 도체판 사이의 물체는 원뿔형의 전도성 고무이며, 탄성을 가지므로 두 도체판이 눌려지는 힘 F 에 의해 변형이 된다. 오른쪽의 그림은 아래쪽 도체판의 횡단면으로 힘 F 에 의해 원뿔형의 고무가 변형되어 아래쪽 도체판과의 접촉면이 원으로 형성되는 상황을 보여 주고 있다. $r = \alpha\sqrt{F}$ 이며, $x = \frac{\beta}{F}$ 이다. 두 도체판 사이의 전기저항 R 은 아래쪽 도체판과 원뿔형 고무가 만드는 단면의 면적 (S), 두 도체판 사이의 거리 (x), 그리고 고무를의 도전율 (σ)에 의해 결정된다. 즉, $R = \frac{1}{\sigma} \frac{x}{S}$ 이다. $F = 0$ N 일 때 FSR의 저항값 $R = \infty \Omega$ 이고, $F \geq 1$ N 일 때, FSR의 저항값은 $R = 100 \Omega$ 으로 포화된다.



- (a) 두 도체판 사이의 전기저항 R 을 구하시오. 인가된 힘 F 가 $0 \leq F \leq 2$ N의 범위에서 변할 때, R 을 F 의 함수로 도시하시오. $F = 0.5$ N 일 때의 R 의 값을 명시하시오.
- (b) $0 \leq F \leq 2$ N의 범위에서 F 가 커지면 출력전압이 0에서 5 V로 증가하는 반전증폭기 회로를 설계하시오. $0 \leq F \leq 2$ N의 범위에서 출력전압을 F 의 함수로 도시하시오.
- (c) 측정의 선형성과 민감도에 대해 기술하시오.
- (3) Gage factor 가 10 인 metal strain gage 4 개를 기구물에 장착하였다. 기구물

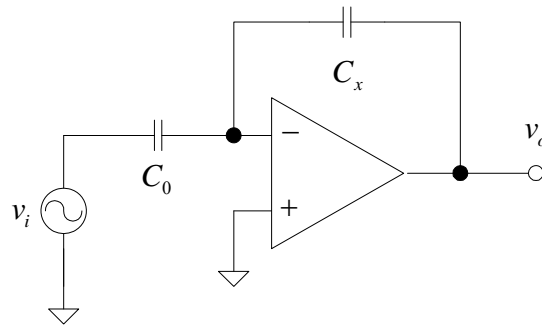
에 인가되는 힘 f 에 의해 gage1 과 2는 ΔL 만큼 길이가 늘어나고, gage3 과 4는 ΔL 만큼 길이가 줄어들며, $\Delta L/L = kf$ 의 관계가 있다 (k 는 상수). 힘에 비례하는 출력전압을 얻을 수 있는 bridge 회로를 설계하고, 출력전압을 f 로 표현하라. Bridge의 구동전압은 dc 5[V]로 한다.

- (4) 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.
- (5) 민감도가 $5\mu V/V/mmHg$ 인 스트레인 게이지 형 압력 센서를 이용하여 다음의 사양을 만족하는 침습적 혈압 측정장치를 설계하시오. 필요한 아날로그 전자회로를 설계하고, A/D 변환기의 사양을 명시하시오. (입력범위: $-30 \sim 300mmHg$, 영점 조정 범위: $-150 \sim 150mmHg$, 해상도 $1mmHg$, A/D 변환기의 입력 범위: $-10 \sim 10V$)
- (6) 아래의 압력센서에서 diaphragm에는 gage factor가 +100인 p-type Si strain gage 2개와 -100인 n-type Si strain gage 2개가 장착되어 있다. Diaphragm에 압력이 인가되었을 때, 각 strain gage에는 동일한 strain이 발생하며, 그 민감도는 $10^{-5}\%/mmHg$ 이고, 압력이 인가되지 않을 때의 strain gage의 저항은 50Ω 이다. 압력과 strain의 관계는 선형적이라 가정하시오.



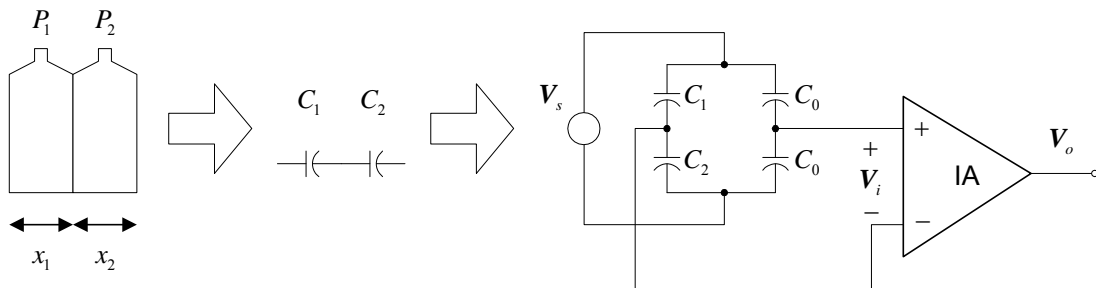
- (a) 압력이 0 – 500mmHg 에서 변할 때, p-type 및 n-type Si strain gage 의 저항값은 각각 어떻게 변하는가?
- (b) 네 개의 strain gage 로 구성되는 브리지 회로를 그리고, 각각의 strain gage 가 브리지 회로의 어느 위치에 해당하는지 표기하시오.
- (c) 브리지의 구동 전원을 dc 1V 로 하고, 최종 출력이 0 – 1V 에서 변하도록 계측용 증폭기를 추가하고, 그 이득을 정하시오.
- (7) Liquid-filled catheter 를 이용하는 혈압 측정장치를 설계하려고 한다. Diaphragm 에 4 개의 strain gage 가 bridge 회로의 형태로 장착된 압력 센서는 bridge 를 1V dc 로 구동하였을 때 $5\mu\text{V}/\text{mmHg}$ 의 민감도를 가진다. 측정하는 혈압의 범위는 $-30 \sim 300\text{mmHg}$ 로 한다.
- (a) Liquid-filled catheter 와 센서를 포함하는 측정 시스템의 구성도를 그리시오.
- (b) 최대 출력전압의 크기가 $\pm 5\text{V}$ 범위 내에 포함되도록 하고, 최대 심박수가 240 beat/min 인 경우까지 주파수 왜곡이 발생하지 않도록 하는 증폭기 및 저역통과필터를 설계하시오. 혈압파형의 미분을 구하지 않는다고 가정하시오.
- (c) 혈압 측정치의 해상도가 1mmHg 이기 위해 출력에서의 최대 잡음의 크기와 ADC 의 bit 수는?
- (d) ADC 의 표본화 주파수는 얼마 이상으로 하여야 하는가?
- (8) 신호 $x(t) = X_0 \sin(2\pi \times 10t)$ 와 $c(t) = \sin(2\pi \times 50t)$ 에 대하여 답하시오.
- (a) 두 신호의 곱인 $x(t)c(t)$ 를 $t = 0$ 부터 0.3 초 사이의 구간에서 자세히 도시하시오. 이때 시간축의 눈금을 0.02 초 간격으로 표시하시오.
- (b) 이상적인 곱셈기 및 저역통과필터를 이용하여 $x(t)c(t)$ 에서 신호 $x(t)$ 를 추출하는 위상감응복조기의 구성도를 그리고, 동작원리를 설명하시오.

- (9) 피부와 1mm 떨어진 곳에 도체판을 설치하여 피부와 도체판이 하나의 커패시터를 구성하도록 하였다. 심장의 박동에 따라 피부와 도체판 사이의 거리 $x(t)$ 는 $x(t) = 1 + 0.2\sin(2\pi ft)$ [mm]로 변하며, 이때 f 는 심장의 박동 주파수이다. 다음과 같은 회로를 이용하여 심장의 박동에 의한 피부의 움직임을 나타내는 $x(t)$ 를 측정하고자 한다. 도체판의 단면적은 5cm^2 이고, 유전율 $\epsilon_0 = 8.8 \times 10^{-12}\text{F/m}$ 이며, 심박수는 60bpm 이다.



- (a) 센서로 사용되는 커패시터 C_x 의 커패시턴스를 x 의 함수로 표현하라. 또, 최소 및 최대 커패시턴스를 구하라.
 (b) $v_i(t) = \sin(2\pi \times 10^4 t)$ V 이고, C_0 는 4.4pF 일 때, 출력전압 $v_o(t)$ 를 도출하라.
 (c) 이 증폭기의 출력 $v_o(t)$ 로부터 $x(t)$ 를 구하기 위한 phase-sensitive demodulator 를 제안하고 그 동작원리를 설명하라.

- (10) 다음의 그림과 같은 capacitive pressure sensor 가 있다. $x_1 = x_0 + \alpha(P_1 - P_2)$, $x_2 = x_0 - \alpha(P_1 - P_2)$, $C_1 = \epsilon \frac{A}{x_1}$, $C_2 = \epsilon \frac{A}{x_2}$, $C_0 = \epsilon \frac{A}{x_0}$ 이다. $V_s = V_s \angle 0^\circ$ 이고, 주파수는 1kHz 이다.



- (a) 계측용 증폭기의 입력 전압 phasor 인 V_i 를 x_0 , α , $(P_1 - P_2)$ 및 V_s 로 표현하시오.
 (b) $V_s = 1$ [V], $x_0 = 100$ [μm], $\alpha = 2$ [$\mu\text{m}/\text{mmHg}$] 일때, 출력 전압 phasor, V_o 의 크기가 0.1 [V/mmHg]의 민감도를 가지도록 계측용 증폭기의 이득을 정하

시오.

(c) V_o 에서 $(P_1 - P_2)$ 를 구하기 위해, phase-sensitive demodulator 를 사용하고 자 한다. 그 구성도를 그리고, 동작원리를 설명하시오.

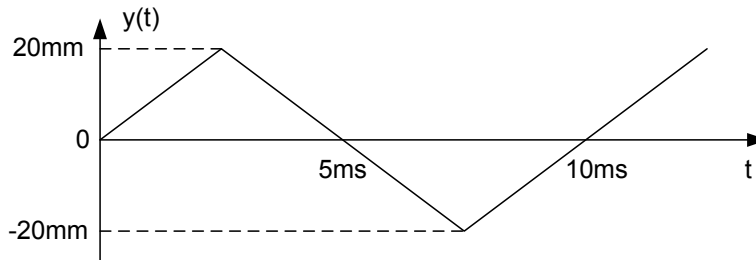
(11) 적절한 탄성을 가지는 유전률이 ϵ 인 유전체가 채워진 쏘시지 모양의 풍선 내부 면에 마주보는 두 개의 금속 판을 설치여 용량성 센서를 제작하였다. 각 금속판의 면적은 A 이다.

(a) 풍선 외부의 압력 P 와 두 금속판 사이의 거리 x 는 $x = \alpha P$ 의 관계를 가지 고, α 는 정해진 비례상수일 때, 두 금속판 사이의 커패시턴스 C 와 P 의 관계는?

(b) 이 센서를 그림으로 도시하고 이를 이용하여 직장 내부의 압력을 측정하 는 신호처리 회로를 설계하시오. 이때 최종 출력전압 V_o 가 P 에 비례하도록 하시오.

(12) 쏘시지 모양의 풍선 내부에 두개의 금속 접점을 설치여 스위치의 기능을 하 도록 한 센서를 이용하여, 식도 내의 압력을 측정하는 시스템을 설계하시오.

(13) LVDT 를 이용하여 수직방향으로 상하 왕복운동을 하고 있는 물체의 위치를 측정하고자 한다. 물체의 위치 $y(t)$ 는 아래의 그림과 같이 변한다. 1차 코일의 구동 전압은 $v(t) = \sin(2\pi \times 1000t)$ V 이다.



(a) LVDT 의 출력신호를 0 ~ 10 ms 의 구간에서 자세히 도시하시오. 2 차 코일 에서의 위상지연은 없으며, LVDT 는 ± 20 mm 의 변위 범위에서 선형적이라 가정하시오.

(b) LVDT 의 출력신호로부터 수직방향 위치 $y(t)$ 를 구하는 방법을 기술하시오.

(c) 출력전압을 mm 의 단위로 표현하기 위한 calibration 방법을 기술하시오.

(14) LVDT 의 동작원리를 설명하고, 변위를 측정하기 위해 LVDT 와 phase-sensitive demodulator 가 사용될 때 primary coil 을 구동하는 정현파와

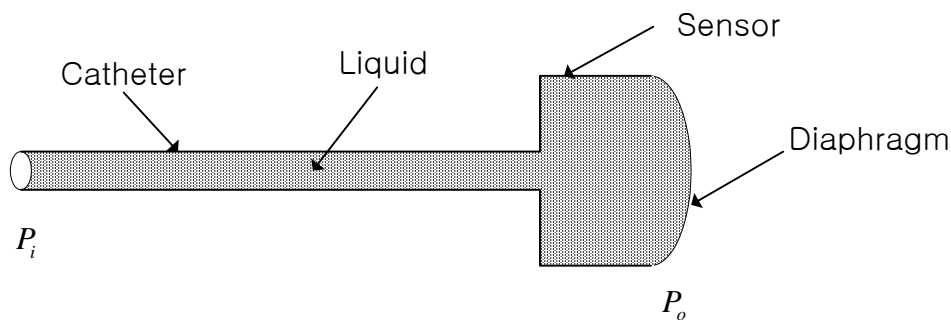
secondary coil의 출력 사이에 θ 의 고정된 위상차가 있을 때, 이것이 최종 출력에 미치는 영향을 설명하고, 이를 개선하는 방법을 제안하시오.

(15) 다음의 4 가지 광 센서들의 기본 원리를 설명하고, 그 예를 하나씩 제시하시오.

(a) Photoemissive (b) Photoconductive (c) Photojunction (d) Photovoltaic

(16) 하나의 cardiac cycle 동안에 발생하는 전형적인 좌심방 압력, 좌심실 압력, 대동맥 압력, 심전도 및 심음의 파형을 그림으로 그리고, 각 파형의 주요한 변화에 대하여 설명하시오.

(17) 다음의 혈압측정 용 센서에 대하여 답하시오.



(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 대치하고, 출력압력 P_o 를 출력전압 v_o 로 대치한 후, 이들의 관계를 나타내는 미분방정식을 유도하시오.

(d) 이러한 혈압 측정 시스템의 step response 를 측정하는 방법을 제안하시오.

(18) 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.

(19) 비침습적으로 동맥의 혈압을 측정할 때, cuff 를 사용하여 공기압을 가압한 후, 서서히 감압하면서 cuff 의 공기압을 측정하는 방법을 많이 사용하고 있다. Oscillometric 법이라 불리는 이러한 방법을 사용하는 측정 시스템의 구성도를 그리고, 동작 원리와 필요한 디지털 신호처리 방법에 대하여 설명하시오.

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

(21) 신호평균법을 사용하여 SNR 을 개선하고자 한다. 이것이 가능하기 위해서는 어떠한 조건들이 필요한지 기술하시오. 심전도 신호를 100 개의 심주기 (cardiac cycle) 동안 측정하였다. 신호평균법을 사용하여 100 개의 심전도의 평균을 구하는 신호처리 방법을 구성도를 그려서 설명하시오. 이때 SNR 은 몇 배 향상되는가?

(22) 심전도의 신호처리에서 사용되는 이동창 적분기(moving window integral)의 출력과 입력 사이의 관계가 $y[n] = \sum_{k=0}^7 x[n-k]$ 이다. 이 디지털 필터를 C-언어를 이용하여 구현하시오.

(23) Tonometry 의 원리를 설명하고, 안압을 측정하는 방법을 기술하시오.

(24) Cardiac output 을 정의하고, 산소의 소모량을 측정하는 Fick 법에 의해 cardiac output 을 측정하는 방법을 설명하시오.

(25) Cardiac output 을 정의하고, dye dilution 에 의해 cardiac output 을 측정하는 방법을 설명하시오.

(26) Thermodilution 법에서는 다음의 식으로 심박출량을 계산한다.

$$F = \frac{V_i \Delta T_i \rho_i c_i}{\rho_b c_b \int_0^T \Delta T_b(t) dt}$$

(a) 수식의 각 변수를 그 단위와 함께 기술하시오.

(b) Thermodilution 곡선을 얻기 위한 catheter 및 절차를 기술하시오.

(c) 혈관에 삽입된 catheter 내부의 관으로 0°C 의 생리적 식염수를 주입하면, 심장에 도달한 식염수의 온도는 0°C 이상으로 변한다. 이러한 온도의 변화에 의한 오차를 제거할 수 있는 새로운 catheter 를 설계하고 그 방법을 기술하시오.

(27) 초음파를 이용한 transit-time flow meter 의 원리를 기술하시오.

(28) Pulsed Doppler flowmeter 의 원리를 기술하고, 혈관 내부의 flow profile 을 측정하는 방법을 설명하시오.

(29) Thermal convection velocity sensor 를 이용하여 혈류를 측정하는 방법을 기술하시오.

(30) 생체임피던스의 측정을 위해 사용하는 2-전극법 및 4-전극법을 비교 설명하시오.

(31) 전극과 피부의 접촉 저항을 측정하는 방법을 제안하시오.

(32) $\mathbb{Z} = Z \angle \theta = R + jX$ 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.

(a) $v(t)$ 를 수식으로 표현하시오.

(b) $v(t)$ 로부터 \mathbb{Z} 의 실수부 R 과 허수부 X 를 모두 측정하기 위해 phase-sensitive demodulation 을 하려고 한다. 구성도를 도시하고, 원리를 설명하시오.

- (33) 임피던스 값이 $Z = R + jX$ 인 물체의 임피던스를 측정하고자 한다. 출력전류가 $I = 1\angle 0^\circ$ mA 이며 주파수는 50KHz 인 정현파 정전류원을 이용하고, 전압을 측정하였다고 가정한다. 실수부와 허수부를 모두 측정하기 위한 방법을 기술하시오. 물체의 임피던스의 크기가 $1K\Omega$ 일 때, 측정오차가 16-bit 의 정확도를 가지기 위한 정전류원의 출력저항의 최소값을 구하시오.
- (34) 임피던스 방법을 이용한 호흡 감시기를 설계하시오. 단, 흉부의 저항 $R(t) = r(t) \times \sin(2\pi ft) + 500 \Omega$ 이라 가정하시오. 주입 전류는 10kHz 의 정현파로서 그 크기는 $100\mu A_{p-p}$ 라 가정하시오.
- (a) 환자의 호흡 신호 $r(t)$ 는 크기가 $0 - 3[\Omega]$ 이고 주파수는 $0.05 - 1.6[\text{Hz}]$ 의 범위에 있다고 가정하시오. 필요한 계측회로의 구성도를 그리고, 각 블록의 기능을 명시하시오.
- (b) $r(t) = 3[\Omega]$ 이고 $f = 0.1[\text{Hz}]$ 인 경우로 하여 주요 부위에서의 파형을 도시하시오.
- (35) Venous occlusion impedance plethysmography 의 구성도와 원리를 기술하고, 이 방법으로 얻을 수 있는 정보가 무엇인지 설명하시오.
- (36) Pneumotachometer 의 구조를 도시하고 이를 이용한 computerized spirometer 의 구성도를 그리시오. Pneumotachometer 에서 측정한 기체의 압력차로부터 호흡 기체의 부피 변화를 구하는 방법을 설명하시오.
- (37) Pneumotachometer 와 함께 사용할 differential capacitive pressure transducer 를 설계하고, ac bridge 회로와 증폭기 및 phase-sensitive demodulator 를 이용한 아날로그 신호처리 회로를 구성하라. 최종 출력전압을 pneumotachometer 의 압력차 $\Delta P = P_1 - P_2$ 의 함수로 표현하라. 단, 센서를 구성하는 두 capacitor 의 간격 x 의 변화는 각각 $x_0 + \Delta x$ 및 $x_0 - \Delta x$ 이고, 이때 $\Delta x = k \Delta P$ 이다 (k 는 상수). Capacitor 의 유전율은 ϵ 이라 가정하라. Bridge 의 구동전압 $v_{EXE}(t) = 5\sin(2\pi 1000t)$ [V]로 하라.
- (38) Water spirometer 의 구조와 동작원리를 기술하고, He 희석법으로 FRC 를 측

정하는 방법을 설명하시오.

- (39) Single breath N_2 washout test 를 설명하고, 이 검사방법을 통하여 알 수 있는 정보가 무엇인지 기술하시오.
- (40) 다음의 측정원리를 기술하시오.
(a) pH (b) P_{O_2} (c) S_{O_2}
- (41) Polarographic electrode 를 이용한 P_{O_2} 의 측정방법을 기술하시오.
- (42) 중앙 집중형 대용량 혈액 분석기와 point-of-care 를 위한 혈액 분석기의 장 단점을 기술하시오.
- (43) 두 개의 파장을 가지는 광원을 이용하여 혈중 산소 포화도를 측정하는 방법을 기술하시오.
- (44) Beer 의 법칙을 기술하고, 이를 이용한 spectrophotometer 의 구조와 동작원리를 설명하시오.
- (45) 전기영동법(electrophoresis)에 대하여 설명하시오.
- (46) 전기 임피던스 측정법을 이용한 혈구 계수기의 구조를 도시하고, 동작원리를 기술하시오.
- (47) 인체의 활동도에 따라 심박수를 가변하는 cardiac pacemaker 의 구조를 도시하고, 동작원리를 설명하시오. 이러한 pacemaker 의 개발에 필요한 주요 기술을 설명하시오.
- (48) Atrial synchronous cardiac pacemaker 의 구조를 도시하고, 동작원리와 용도를 설명하시오.
- (49) Cardiac pacemaker 이외의 다른 3 가지 전기 자극기에 대하여 그 명칭과 간

략한 구조 및 동작원리를 기술하시오.

- (50) Cardioverter의 구조를 도시하고, 동작원리를 설명하시오. Defibrillator와의 차이점을 기술하시오.
- (51) 피하에 이식한 전기 자극기 내부의 2차전지를 외부에서 충전하는 방법을 기술하시오.
- (52) 이식이 가능한 인슐린 펌프의 구조를 도시하고, 동작원리를 기술하시오. 단, 연속 측정이 가능한 인체 이식형 혈당센서를 사용할 수 있다고 가정하시오.
- (53) Intra-aortic balloon pump의 구조를 도시하고, 그 기능을 설명하시오.
- (54) LVAD의 동작 원리를 설명하시오
- (55) Pump oxygenator의 구조를 도시하고, 그 기능을 설명하시오.
- (56) 전기 수술기의 동작원리와 기능을 설명하시오.
- (57) RF cardiac ablation의 구조와 동작원리를 설명하시오.