

센서 · 액추에이터 중 간 시 험

[35 점]

2020. 10. 26.

대학원 기계공학과

※ Open textbook exam.

(답안 작성에 영어 용어를 사용해도 좋으나 한국어 문장으로 서술해야 함)

1.[2점] transducer란 “input impedance가 output impedance와 같지 않은 multiport device”라고 정의된다. electromechanical transducer에는 electrical port와 mechanical port가 있다.

(a) 각 port의 impedance는 무엇인가?

(b) 각 port의 power는 무엇인가?

2.[3점] transducer가 사용되는 계측 제어 시스템은 sensing, conditioning, storage, display, analysis, processing, actuation 등의 과정으로 이루어진다.

(a) sensing 부분과 actuation 부분의 역할과 요건을 각각 제시하시오.

(b) conditioning 부분과 processing 부분의 역할을 각각 제시하시오.

(c) storage, display, analysis 부분의 역할을 각각 제시하시오.

3.[4점] 시스템을 모델링하는 데에 사용되는 변수들 중 power conjugate variable 들은 각 energy domain 별로 다음과 같이 분류된다.

translational : force F , velocity V

rotational : torque τ , angular velocity Ω

fluid : pressure P , volume flow rate Q

electrical : voltage e , current i

magnetic : magnetomotive force M , magnetic flux rate $\dot{\phi}$

thermal : temperature T , entropy change rate $\dot{s}$

(a) 이들을 expanded impedance analogy에 따라 flow variable과 effort variable로 구분하고, 각 domain의 impedance를 표현하시오.

(b) expanded impedance analogy의 장점 3가지와 단점 1가지를 제시하시오.

4.[4점] 2-port transducer에서 input port와 output port의 power conjugate variable을 각각 (e_1, f_1) 와 (e_2, f_2) 로 표현할 때, input과 output의 선형 관계

$$e_2 = a e_1 + b f_1 \qquad f_2 = c e_1 + d f_1$$

를 사용하여 이상적인 nonenergic 2-port transducer의 transformer equation과 gyrator relation을 구하시오.

(뒷면에 계속)

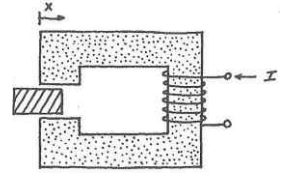
5.[6점] 평행 판 capacitor로 구성된 transducer에서, 마주보는 평행 판의 일정 폭을 w 라 하고 overlap 길이를 y 로 나타내면, capacitor에 저장되는 전기적 에너지는 다음과 같다.

$$E = \frac{q^2 d}{2\epsilon w y} \quad (q : \text{charge}, \quad \epsilon : \text{permittivity}, \quad d : \text{distance})$$

- 전압 e 와 길이 y 의 관계, 평판 길이방향 힘 F 와 전하 q 의 관계, 힘 F 와 전압 e 와의 관계를 각각 구하시오.
- 교재의 Figure 3.25처럼 dielectric 물체가 판의 면내 방향으로 이동할 때, 전압 e 와 길이 y 의 역수에 비례(즉, y 에 반비례)하는 관계식을 유도하시오.
- 교재의 Figure 3.31에 제시된 electrostatic motor가 회전하는 작동에 대해 최대한 자세히 설명하시오.

6.[6점] magnetic system에 관한 질문에 답하시오.

- 교재의 Figure 4.3의 $B-H$ plot을 토대로, remanence와 coercivity를 설명하고, 영구자석의 특성을 제시하시오.
- 그림에 제시된 magnetic circuit으로부터 variable inductance motor의 원리를 설명하시오.



7.[10점] 일반적인 소재에 있어서, mechanical stress T_i , electric field E_m , magnetic strength H_m , temperature θ 를 독립변수로 하고, mechanical strain S_i , electric displacement D_m , magnetic field B_m , entropy σ 를 종속변수로 하는 일반적인 구성방정식은 다음과 같다. ($i = 1, 2, \dots, 6$; $m = 1, 2, 3$)

$$S_i = s_{ij}^{E,H,\theta} T_j + d_{mi}^{H,\theta} E_m + d_{mi}^{E,\theta} H_m + \alpha_i^{E,H} d\theta$$

$$D_m = d_{mi}^{H,\theta} T_i + \epsilon_{mk}^{T,H,\theta} E_k + m_{mk}^{T,\theta} H_k + p_m^{T,H} d\theta$$

$$B_m = d_{mi}^{E,\theta} T_i + m_{mk}^{T,\theta} E_k + \mu_{mk}^{T,E,\theta} H_k + i_m^{T,E} d\theta$$

$$d\sigma = \alpha_i^{E,H} T_i + p_m^{T,H} E_m + i_m^{T,E} H_m + \frac{\rho c^{E,H,T}}{\theta} d\theta$$

- magnetic effect와 thermal effect는 무시할 만 하다고 가정할 때, 위 식들을 단순화하여 압전(piezoelectric) 구성방정식(constitutive equations)을 표현하고, material property를 나타내는 비례상수들 각각의 의미를 제시하시오.
- (a)에서 구한 식들을 단순화하여, 두께(z) 방향 양면의 전극을 가진 1-3 압전 복합재의 구성방정식을 표현하시오.
- (a)에서 구한 식들 matrix 형태의 식들로 나타내고 (즉, T 와 E 로 표현된 S 와 D), 이 식들을 변형하여 S 와 E 로 표현된 T 와 D 식들을 표현하시오.
- 교재의 Figure 5.24에 제시된 hydrophone의 핵심 부품의 작동 원리에 대해 설명하고, preamplifier의 기능을 설명하시오.
- 교재의 Figure 5.25에 제시된 그래프를 토대로 hydrophone의 센서로서의 성능을 평가하시오.

(끝)

센서 · 액추에이터 학 기 말 시 험

[35 점]

2020. 12. 9.

대학원 기계공학과

1.[8점] mechanical stress T_i , electric field E_m , magnetic strength H_m , temperature θ 를 독립변수로 하고, mechanical strain S_i , electric displacement D_m , magnetic field B_m , entropy σ 를 종속변수로 하는 일반적인 구성방정식은 다음과 같다. ($i = 1, 2, \dots, 6$; $m = 1, 2, 3$)

$$S_i = s_{ij}^{E,H,\theta} T_j + d_{mi}^{H,\theta} E_m + d_{mi}^{E,\theta} H_m + \alpha_i^{E,H} d\theta$$

$$D_m = d_{mi}^{H,\theta} T_i + \epsilon_{mk}^{T,H,\theta} E_k + m_{mk}^{T,\theta} H_k + p_m^{T,H} d\theta$$

$$B_m = d_{mi}^{E,\theta} T_i + m_{km}^{T,\theta} E_k + \mu_{mk}^{T,E,\theta} H_k + i_m^{T,E} d\theta$$

$$d\sigma = \alpha_i^{E,H} T_i + p_m^{T,H} E_m + i_m^{T,E} H_m + \frac{\rho c_i^{E,H,T}}{\theta} d\theta$$

- 위 식들을 단순화하여 piezomagnetism을 나타내는 구성방정식(constitutive equations)을 표현하고, 여기에 사용된 비례상수들 각각의 의미를 제시하시오.
- piezomagnetism을 나타내는 구성방정식으로부터, effort variable(M, F)와 flow variable(ϕ, x)의 관계를 표현하는 standard form을 유도하시오.
- 위 식들을 단순화하여 pyromagnetism을 나타내는 구성방정식(constitutive equations)을 표현하고, 여기에 사용된 비례상수들 각각의 의미를 제시하시오.
- 교재 6.1절의 piezomagnetism에 의한 변환 메커니즘과 교재 제4장의 변환 메커니즘의 공통점과 차이점을 설명하시오.

2.[5점(=2+ 3)] Potentiometer의 원리는 다음과 같이 단순하게 표현될 수 있다.

$$\frac{e_{out}}{E_{in}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

- 각 변수들의 의미를 설명하고, 직선 변위를 측정하는 관계식을 제시하시오.
- 교재 Fig. 7.13에 제시된 attitude transducer의 이론식과 원리를 설명하시오.

3.[6점] Optomechanical sensor들에 관한 다음 물음에 답하시오.

- optomechanical 센서의 구성을 4단계로 분류하고, 각 단계의 명칭과 역할을 서술하시오.
- fiber optic waveguide의 원리를 파악하는 데에 두 매질의 경계면에서 빛의 입사와 굴절에 관련된 Snell의 법칙이 필요하다.매질의 굴절율과 입사각 및 반사각 등을 인용하여 Snell의 법칙을 설명하시오.

(뒷면에 계속)

4.[6점] Electromechanical transducer에서 input과 output의 effort와 flow의 관계를 표현하는 2-port 방정식들 중에서, impedance 표현 방식과 admittance 표현 방식은 각각 다음과 같다.

$$\begin{Bmatrix} e_{in} \\ e_{out} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} f_{in} \\ f_{out} \end{Bmatrix} \qquad \begin{Bmatrix} f_{in} \\ f_{out} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} e_{in} \\ e_{out} \end{Bmatrix}$$

(a) impedance 표현 방식의 impedance matrix $[Z]$ 안의 네 개의 원소의 의미와 admittance 표현 방식의 admittance matrix (또는 mobility matrix) $[Y]$ 안의 네 개의 원소의 의미를 각각 설명하시오.

(b) 위 원소들 간의 reciprocity 관계를 유도하시오.

5.[6점] transducer의 calibration에 관한 다음 물음에 답하시오.

(a) calibration이란 무엇인가? calibration 방법 중 comparison 방법 외의 두 가지 방법을 간략히 설명하시오.

(b) comparison 방법에서 나타날 수 있는 오차(error) 세 가지를 설명하시오.

6.[4점] 계측시스템에 analog-to-digital signal converter와 digital-to-analog signal converter가 사용된다.

(a) 이러한 converter들을 사용하는 이유를 설명하시오.

(b) analog 신호를 digital 신호로 변환할 때 발생하는 aliasing 문제가 무엇인지 설명하고, 이 문제를 해결하기 위한 방안을 제시하시오.

(끝)