

센서및추에이터 중 간 시 험

[30 점]

2019. 4. 22.

대학원 기계공학과

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

(a) 각 port의 impedance는 무엇인가?

(b) 각 port의 power는 무엇인가?

2.[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.

3.[8점] 평행 판 capacitor로 구성된 transducer에서, 평행판 사이의 변화하는 거리를 $(d + x)$ 로 나타내면, capacitor에 저장되는 전기적 에너지는 다음과 같다.

$$E = \frac{q^2}{2} \frac{(d+x)}{\epsilon A} \quad (q : \text{charge}, \quad \epsilon : \text{permittivity}, \quad A : \text{area})$$

(a) 전압 e 와 변위 x 의 관계 및 힘 F 와 전하 q 의 관계를 각각 구하시오.

(b) 거리 변화에 따라 변동하는 전압과 전하를 각각 $e = e_0 + \hat{e}$ 와 $q = q_0 + \hat{q}$ 으로 표현하여 $\hat{e}$ 와 x 간의 선형 관계를 유도하고, sensor로서의 sensitivity를 제시하시오.

(c) 거리 변화에 따라 변동하는 전압과 힘을 각각 $e = e_0 + \hat{e}$ 와 $F = F_0 + \hat{F}$ 으로 표현하여 $\hat{e}$ 와 $\hat{F}$ 간의 선형 관계를 유도하시오.

(d) 교재의 Figure 3.5에 제시된 displacement probe(일명 gap sensor)가 간극 변화를 detect하는 작동 원리에 관해 최대한 자세히 설명하시오.

(뒷면에 계속)

4.[6점] magnetic field가 관련된 transduction이 있다.

- (a) 치수가 $l \times w \times h$ 인 육면체 자기변형(magnetostriction)소자에서 길이 l 방향으로 자기장이 형성되어 있을 때, magnetic capacitance, 즉 permeance는 다음과 같이 표현된다.

$$P = \frac{\mu h w}{l} \quad (\mu = \mu(\rho) : \text{permeability}, \rho : \text{mass density})$$

magnetic flux가 ϕ 일 때 이 소자에 저장되는 magnetic energy는 다음과 같다.

$$E = \frac{\phi^2}{2P}$$

길이 l 방향의 magnetostrictive force를 유도하시오 (Poisson 비는 ν).

- (b) eddy current transducer의 변환 메카니즘을 설명하시오.

5.[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. ($i = 1, 2, \dots, 6$; $m = 1, 2, 3$)

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

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

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

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

- (a) 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.
- (b) (a)에서 구한 식들을 단순화하여, 두께(z) 방향 양면의 전극을 가진 1-3 압전 복합재의 구성방정식을 표현하시오.
- (c) (a)에서 구한 식들 matrix 형태의 식들로 나타내고 (즉, $\mathbf{T}$ 와 $\mathbf{E}$ 로 표현된 $\mathbf{S}$ 와 $\mathbf{D}$), 이 식들을 변형하여 $\mathbf{S}$ 와 $\mathbf{E}$ 로 표현된 $\mathbf{T}$ 와 $\mathbf{D}$ 식들을 표현하시오.
- (d) strain과 displacement의 관계 $\mathbf{x} = [\mathbf{l}] \mathbf{S}$
 stress와 force의 관계 $\mathbf{F} = [\mathbf{A}] \mathbf{T}$
 electric displacement와 charge의 관계 $\mathbf{q} = [\mathbf{A}^*] \mathbf{D}$
 electric field와 voltage의 관계 $\mathbf{e} = [\mathbf{l}^*] \mathbf{E}$
 와 (a) 및 (c)의 결과를 사용하여 effort variable $\mathbf{F}$ 와 $\mathbf{e}$ 를 flow variable $\mathbf{x}$ 와 $\mathbf{q}$ 로 표현하는 표준형태 식을 유도하시오.
- (e) 교재의 Figure 5.26에 제시된 pressure sensor의 작동 원리에 관해 설명하고, 적층(stack)의 장점을 설명하시오.

(끝)

센서 및 추에이터 학 기 말 시 험

[30 점]

2019. 6. 8.

대학원 기계공학과

1.[6점] 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.

2.[4점] Potentiometer의 원리는 다음과 같이 단순하게 표현될 수 있다.

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

- 각 변수들의 의미를 설명하시오.
- 이 원리를 이용하여 직선 변위를 측정하는 관계 식과 각 변위를 측정하는 관계 식을 제시하시오.

3.[6점] fiber optic sensor에 intensity-modulation 방식과 phase-modulation 방식이 있다.

- 교재 Fig. 8.17의 reflection type 센서에서 타겟까지의 거리에 따른 reflected intensity 그래프가 Fig. 8.18과 같다. 두 가지 slope이 나타나는 이유를 설명하시오.
- 교재 Fig. 10.1과 관련하여, reflection type의 fiber optic sensor의 응답 특성 하나를 정의하시오.
- 교재 Fig. 8.28에 제시된 geophone의 원리를 설명하시오.

(뒷면에 계속)

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

$$\begin{Bmatrix} e_{\text{out}} \\ f_{\text{out}} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & -b_{12} \\ b_{21} & -b_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} e_{\text{in}} \\ f_{\text{in}} \end{Bmatrix} \qquad \begin{Bmatrix} e_{\text{in}} \\ f_{\text{in}} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & -a_{12} \\ a_{21} & -a_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} e_{\text{out}} \\ f_{\text{out}} \end{Bmatrix}$$

- (a) transfer 표현 방식의 transfer matrix $[b]$ 안의 네 개의 원소의 의미를 각각 설명하시오.
- (b) inverse transfer 표현 방식의 inverse transfer matrix $[a]$ 안의 네 개의 원소의 의미를 각각 설명하시오.
- (c) sensitivity 관점에서 $[a]$ 와 $[b]$ 는 각각 sensor나 actuator 중 어디에 적합하며 그 이유는 무엇인지 설명하시오.

5.[4점] transducer의 성능을 표현하는 척도로 사용되는 다음 용어들을 설명하시오.

- (a) operating range
- (b) accuracy
- (c) distortion
- (d) transient response

6.[4점] analog 신호를 digital 신호로 변환하는 A-to-D converter가 사용된다.

- (a) A-to-D converter를 사용하는 이유를 설명하시오.
- (b) analog 신호를 digital 신호로 변환할 때 발생하는 aliasing 문제가 무엇인지 설명하고, 이 문제를 해결하기 위한 방안을 제시하시오.

(끝)