

전기계와 기계계의 유사성 및 동적 진동 특성 해석

April 20, 2026

1 서론

공학 시스템에서 전기 회로(RLC)와 기계적 진동계(질량-스프링-댐퍼)는 서로 다른 물리적 현상을 다루지만, 시스템의 상태를 기술하는 지배 방정식은 동일한 형태의 2차 선형 미분 방정식으로 표현된다. 본 보고서에서는 두 시스템 간의 유사관계를 정의하고, 에너지 교환을 통한 진동 원리 및 차원 해석을 통한 수식의 정합성을 검토한다.

2 시스템 모델링 및 지배 방정식

2.1 기계계 (Mechanical System)

뉴턴의 제2법칙에 따라 질량 m , 점성 마찰계수 D , 스프링 상수 k 를 가진 시스템에 외력 $f(t)$ 가 가해질 때의 방정식은 다음과 같다.

$$m \frac{d^2x(t)}{dt^2} + D \frac{dx(t)}{dt} + kx(t) = f(t) \quad (1)$$

2.2 전기계 (Electrical System)

키르히호프의 전압 법칙(KVL)에 따라 인덕턴스 L , 저항 R , 커패시턴스 C 가 직렬로 연결된 회로에 전압 $E(t)$ 가 인가될 때의 방정식은 다음과 같다.

$$L \frac{d^2q(t)}{dt^2} + R \frac{dq(t)}{dt} + \frac{1}{C}q(t) = E(t) \quad (2)$$

3 유사관계 대응 (Force-Voltage Analogy)

두 방정식의 계수를 비교하여 다음과 같은 대응 관계를 도출할 수 있다.

Table 1: 기계계와 전기계의 변수 대응표

기계계 (Mechanical)	전기계 (Electrical)	물리적 의미
힘 (f)	전압 (E)	시스템 구동 에너지원
질량 (m)	인덕턴스 (L)	운동 관성 (에너지 저장)
점성 마찰계수 (D)	저항 (R)	에너지 소실 (감쇠)
스프링 상수 (k)	역 커패시턴스 ($1/C$)	복원력 (에너지 저장)
변위 (x)	전하 (q)	상태 변수
속도 ($v = \dot{x}$)	전류 ($i = \dot{q}$)	상태 변수의 변화율

4 전기적 진동 및 공진 주파수

전기계에서의 진동은 에너지가 커패시터의 전기장과 인덕터의 자기장 사이를 반복적으로 교환하며 발생한다. 저항 $R = 0$ 인 이상적인 조건에서의 고유 진동수 f_0 는 다음과 같다.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3)$$

5 차원 해석 (Dimensional Analysis)

지배 방정식의 물리적 정합성을 확인하기 위해 단위 분석을 수행한다. 특히 $L \frac{d^2q}{dt^2}$ 항의 단위가 전압 (V)과 일치하는지 검증한다.

- 인덕턴스 (L): $[H] = [V \cdot s/A]$
- 전하량 (q): $[C] = [A \cdot s]$
- 연산자 (d^2/dt^2): $[1/s^2]$

이를 결합하면 다음과 같이 전압 단위가 유도된다.

$$[V \cdot s/A] \times [A \cdot s] \times [1/s^2] = [V \cdot s \cdot s/s^2] = [V]$$

따라서 d^2/dt^2 연산자 단독으로는 전압과 단위가 같지 않으며, 반드시 계수(L)와 상태 변수(q)가 결합되어야 물리적으로 유효한 전압 값을 가진다.