

# 회로 해석의 목적과 응용: 왜, 어디에, 어떻게 쓰나

July 28, 2025

## Abstract

회로 해석의 핵심 목적(성능 예측, 안정성 검증, 최적화)과 아날로그·디지털·전력·RF·임베디드 등 실제 응용 분야를 6개의 예제 문제와 해설로 정리한다.

## 1 왜 회로 해석을 하는가: 목적의 분해

회로 해석은 단순한  $V = IR$  계산을 넘어, 설계 의사결정의 근거를 만들고, 제품의 위험을 낮추며, 비용을 줄이는 전 과정을 포괄한다.

### 1.1 성능 예측 및 검증

라플라스 변환  $\mathcal{L}\{\cdot\}$ , 주파수 변수  $j\omega$  등을 활용해 시간-주파수 영역에서 일관된 분석을 수행한다.

### 1.2 안정성·안전성

소자 정격 ( $V_{\max}, I_{\max}, \Omega$ ), 발진 가능성, 보호 소자의 동작 여부를 사전 검증한다.

### 1.3 최적화

스위칭 주파수  $f_s$ , 인덕터 리플 전류  $\Delta I_L$ ,  $\mu\text{H}$  급 소자 선택 등 비용/전력/EMI/면적을 동시에 고려한다.

### 1.4 모델링/추상화

테브난/노턴 등가 ( $V_{\text{th}}, R_{\text{th}}$ )로 회로를 단순화하여 상위 레벨 제어/시스템 설계에 활용한다.

### 1.5 디버깅/트러블슈팅

$\tau = RC$ ,  $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$  등의 기대 식과 실측 파형 간 편차를 통해 원인을 구조적으로 좁혀간다.

## 2 대표 해석 기법

### 2.1 KCL/KVL 기반 노달/루프 해석

$Gv = i$ ,  $Zi = v$  형태로 선형 회로를 해석한다.

## 2.2 선형화, 등가 변환

테브난/노턴 등가, 수퍼포지션,  $\Delta$ -Y 변환 등으로 복잡도를 낮춘다.

## 2.3 주파수 영역 해석

전달함수  $H(s)$ , 보데 플롯, 위상/이득 여유를 통해 안정성과 응답 특성을 평가한다.

## 2.4 상태공간 해석

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u}, \quad \mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x} + \mathbf{D}\mathbf{u}$$

제어기 설계, 고차 필터, 전력 변환기 등에서 널리 사용된다.

## 2.5 확률/통계적 해석

편차  $\pm\sigma$ 를 포함한 몬테카를로 분석으로 신뢰도를 평가한다.

## 2.6 수치 시뮬레이션

트랜지언트, AC, 노이즈, S-파라미터 ( $S_{11}, S_{21}$ ) 등 실측에 가까운 결과를 빠르게 얻는다.

# 3 응용 분야

## 3.1 아날로그/혼성 신호

증폭기, ADC/DAC, 필터, PLL에서 잡음 밀도  $nV/\sqrt{\text{Hz}}$ , 지터, THD, SFDR 등을 평가한다.

## 3.2 디지털/고속 인터페이스

전송선로의 특성 임피던스  $Z_0$ , 반사 계수  $\Gamma$ , 아이 다이어그램 분석으로 SI/PI 문제를 해결한다.

## 3.3 전력전자

듀티비  $D$ , 효율  $\eta$ , 인덕터/커패시터 리플, 루프 보상 설계 ( $f_c, \phi_m$ )을 수행한다.

## 3.4 RF/마이크로파

S-파라미터, 잡음지수(NF), IP3, Q-인자, 매칭 네트워크 해석.

## 3.5 임베디드/IoT 전원

배터리 수명, LDO 안정성(ESR), 부트스트랩/소프트스타트 파라미터를 계산한다.

## 3.6 안전/산업 규격

과전압/과전류/서지, 절연 내압,  $dv/dt$ ,  $di/dt$  스트레스를 정량화한다.

## 4 실무 워크플로

1. 손 계산으로 차수/극점/근사식을 파악한다.
2. 1차 모델로 용량/전력/발열을 가늠한다.
3. SPICE/EM 시뮬레이션으로 기생 RLC까지 반영한다.
4. 실측과의 오차  $\Delta = \frac{|x_{\text{meas}} - x_{\text{sim}}|}{x_{\text{sim}}}$ 를 추적하며 모델을 갱신한다.

## 5 예제 문제 6선 (해설 포함)

### 초급 1: 단일 저항 회로 전류

문제 전압원  $V = 12\text{V}$ , 저항  $R = 4\Omega$ 일 때 전류  $I$ 를 구하라.

해설  $I = V/R = 3\text{A}$ .

### 초급 2: 전압 분배기

문제  $V_{\text{in}} = 10\text{V}$ ,  $R_1 = 1\text{k}\Omega$ ,  $R_2 = 3\text{k}\Omega$ 에서  $V_{\text{out}}$ 을 구하라.

해설  $V_{\text{out}} = 10 \cdot \frac{3}{1+3} = 7.5\text{V}$ .

### 중급 1: RLC 공진

문제  $L = 10\mu\text{H}$ ,  $C = 100\text{nF}$ 일 때  $\omega_0, f_0$ ?

해설

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 10^6 \text{ rad/s}, \quad f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \approx 159 \text{ kHz}.$$

### 중급 2: 테브난 등가

문제  $V_s = 5\text{V}$ 가  $R_1 = 1\text{k}\Omega$  직렬, 출력 노드에  $R_2 = 1\text{k}\Omega$  접지.  $V_{\text{th}}, R_{\text{th}}$ ?

해설

$$V_{\text{th}} = 2.5\text{V}, \quad R_{\text{th}} = 500\Omega.$$

### 고급 1: 상태공간 RLC

문제  $x_1 = v_C, x_2 = i_L$ 로 정의하고 상태방정식을 유도하라.

해설

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{C} \\ -\frac{1}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \mathbf{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} v_{\text{in}}, \quad \mathbf{y} = [1 \quad 0] \mathbf{x}.$$

### 고급 2: 벡 컨버터 리플/듀티

문제  $V_{\text{in}} = 12\text{V}$ ,  $V_o = 5\text{V}$ ,  $f_s = 500\text{kHz}$ ,  $L = 2.2\mu\text{H}$ 일 때  $D, \Delta I_L$ ?

해설

$$D = \frac{5}{12} \approx 0.4167, \quad \Delta I_L \approx 2.65 \text{ A}_{\text{pp}}.$$

## 6 결론

계산-모델-시뮬레이션-실측의 반복 루프가 회로 해석의 핵심이며, 이를 신속하고 안정적으로 돌리는 능력이 곧 제품의 신뢰성과 비용 경쟁력을 결정한다.