

선티 저항, 고성능 OP Amp, 제너 다이오드

## Low-side 전류 센싱 회로 설계 Rev.005

자동차 및 산업기기 분야에서, 전류 (전압) 제어, 과전류 제한, 배터리 잔량 검출과 같은 기능에 Low-side 전류 센싱 회로가 사용되고 있습니다. 선티 저항 및 OP Amp 와 외장 부품으로 구현하는 Low-side 전류 센싱 회로는, 다른 방식에 비해 가장 간단하고 저렴한 비용으로 탑재가 가능합니다. 본 어플리케이션 노트에서는, Low-side 전류 센싱 회로에서의 부품 선정 및 회로 정수 결정을 위한 지침에 대해 설명하겠습니다.

### Low-side 전류 센싱 회로

Figure 1 은 일반적인 Low-side 센싱 회로입니다. 부하 (LOAD)에서 발생한 부하 전류 ( $I_{LOAD}$ )가 선티 저항 ( $R_{SHUNT}$ )에 의해  $\Delta V_{SHUNT}$  의 전압이 발생합니다. 이 전압을 OP Amp 로 차동 증폭한 후, 후단의 AD 컨버터 및 마이크로 컴퓨터 등에 접속하여 전류치를 계측하고 시스템 제어에 사용합니다.

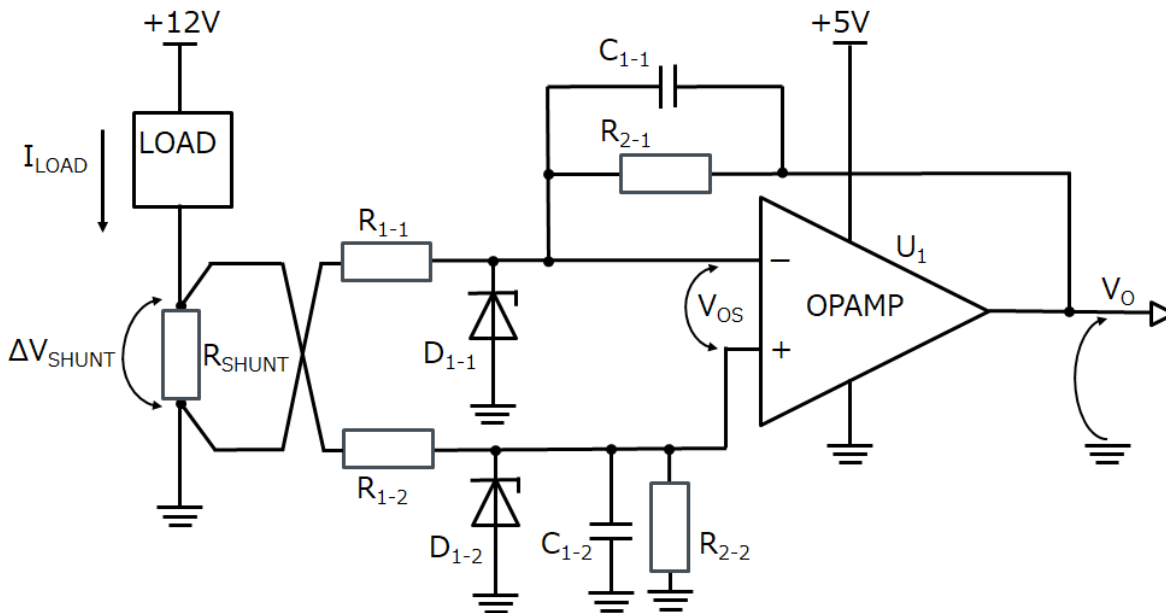


Figure 1. 일반적인 Low-side 전류 센싱 회로

Figure 1 의 각 기호는 하기와 같습니다.

OPAMP : OP Amp

LOAD : 부하

$I_{LOAD}$  : 모니터링하는 전류

$R_{SHUNT}$  : 선티 저항

$V_{OS}$  : OP Amp 의 입력 오프셋 전압

$\Delta V_{SHUNT}$  : 선티 저항 양끝에 발생하는 전압

$R_{1-1}=R_{1-2}=R_1$ ,  $R_{2-1}=R_{2-2}=R_2$  : 게인 설정용 저항

$C_{1-1}=C_{1-2}=C_1$  : 필터용 콘덴서

$D_{1-1}$ ,  $D_{1-2}$  : OP Amp 의 입력 보호용 제너 다이오드

OP Amp의 입력 오프셋 전압이 없는 경우, Figure 1의 회로는 하기의 식으로 나타낼 수 있습니다.

$$V_O = I_{LOAD} \times R_{SHUNT} \times \left(\frac{R_2}{R_1}\right) \quad [V] \quad \cdots (1)$$

실제의 회로에서는 OP Amp의 입력 오프셋 전압, 션트 저항의 저항치 공차, 게인 설정용 저항  $R_1$ ,  $R_2$ 의 상대 공차가 전류 센싱 정밀도에 영향을 미칩니다. 이러한 사항을 고려할 때 출력전압  $V_O'$ 는 하기의 식으로 나타낼 수 있습니다.

$$V_O' = \left[ I_{LOAD} \times R_{SHUNT}' \times \left(\frac{R_2'}{R_1'}\right) \right] + \left[ V_{OS} \times \left(\frac{R_1' + R_2'}{R_1'}\right) \right] \quad [V] \quad \cdots (2)$$

여기에서  $R_{SHUNT}'$ ,  $R_1'$ ,  $R_2'$ 는 각각 공차를 포함한 수치입니다. OP Amp의 입력 오프셋 전압  $V_{OS}$ 는 계산의 편의 상, + 방향만 나타냅니다.

또한, 본 회로에서 실현할 수 있는 전류 센싱 정밀도  $E_{rr}$ 은 하기의 식으로 나타낼 수 있습니다.

$$E_{rr} = \frac{V_O' - V_O}{V_O} \times 100 \quad [\%] \quad \cdots (3)$$

## 회로 정수 결정 방법

이러한 식을 바탕으로 부품 선정과 회로 정수를 결정하는 방법에 대해 설명하겠습니다. 먼저, 장치의 요구 사양으로서, 하기 항목을 결정합니다.

전류 센싱 범위 :  $I_{LOADmin} \sim I_{LOADmax}$  [A]

전류 센싱 정밀도 :  $E_{rr}$  [%]

전류 센싱 주파수 :  $f_{sense}$  [Hz]

전류 센싱 주파수는 전류 변화에 대해 얼마나 빠른 속도로 측정이 가능한지를 나타내는 항목입니다. 전류를 검출하는 속도가 느리면 부하 전류 변화의 속도에 따라가지 못해, 정확한 측정이 어려워집니다. 반면에, 전류를 검출하는 속도가 지나치게 빠르면 노이즈 등도 계산하게 됨에 따라 정확한 측정이 어려워집니다. 따라서, 측정하고자 하는 전류의 시간 변화에 적합한 센싱 주파수를 설계해야 합니다.

션트 저항 양끝에 발생하는 전압의 최대치 :  $\Delta V_{SHUNTmax}$  [V]

션트 저항  $R_{SHUNT}$ 에서 발생하는 전압치  $\Delta V_{SHUNT}$ 는 클수록 전류 센싱 정밀도가 좋아집니다 (보충 1 참조).

그러나, Low-side 전류 센싱 방식에서는  $\Delta V_{SHUNT}$ 가 부하와 그라운드 사이에 발생하기 때문에, 그라운드 전압이 상승한 것과 같은 상태가 되어, 부하 회로 동작이 불안정해지는 경우가 있습니다.

OP Amp의 최대 출력전압 :  $V_{Omax}$  [V]

OP Amp가 출력할 수 있는 최대 전압과, 후단의 AD 컨버터 등이 입력할 수 있는 전압 범위와의 균형을 고려하여 사양을 결정합니다.

사양을 결정한 후, 다음 항목의 순서에 따라 부품을 선택하고 정수를 계산합니다.

**Step 1 : 션트 저항의 선정**

션트 저항치는 앞서 결정한 장치의 요구 사양을 바탕으로 식 (4)를 통해 산출합니다. 또한, 션트 저항에는 대전류가 흐르므로 정격전력에도 주의가 필요합니다. 션트 저항 자체의 정격 내에서 사용하는 것은 당연하지만, 션트 저항의 발열로 인한 주위에 대한 영향도 고려하여, 여유로운 정격전력 용량을 지닌 션트 저항을 선정하는 것이 좋습니다. 정격전력은 식 (5)로 산출할 수 있습니다. 이러한 조건을 만족하는 션트 저항을 선정합니다.

$$\text{션트 저항치} \quad R_{SHUNT} = \frac{\Delta V_{SHUNTmax}}{I_{LOADmax}} \quad [\Omega] \quad \cdots (4)$$

$$\text{션트 저항 정격전력} \quad P_{SHUNT} \geq \Delta V_{SHUNT} \times I_{LOADmax} \quad [W] \quad \cdots (5)$$

**Step 2 : 게인 설정용 저항의 설계**

신호 게인은 식 (6)으로 나타낼 수 있습니다.  $R_1$ ,  $R_2$  중 한쪽이 결정되면, 다른 한쪽의 저항치를 구할 수 있습니다.

$$\text{게인} = \frac{V_{Omax}}{\Delta V_{SHUNTmax}} \quad [V/V] \quad \cdots (6)$$

$$= \frac{R_2}{R_1} \quad [V/V] \quad \cdots (7)$$

**Step 3 : OP Amp의 선정**

OP Amp 선정 시에는 하기 항목에 주의해야 합니다.

- 오프셋 전압. 식 (1), (2), (3)에서, 전류 센싱 정밀도  $E_r$  을 달성하기 위해 필요한 OP Amp의 입력 오프셋 전압을 구합니다.
- OP Amp의 입력전압 범위가  $\Delta V_{SHUNT}$ 에 대해 마진을 가질 것.
- OP Amp의 출력전압 범위가 후단의 시스템 (AD 컨버터 및 마이크로 컴퓨터 등)의 입력전압 범위에 매칭될 것.
- 시스템에서 생성 가능한 전원전압으로 동작이 가능할 것.
- OP Amp의 주파수 특성이  $f_{sense}$ 에 대해 10 배 정도 이상일 것.

**Step 4 : 주파수 특성의 설계**

주파수 특성은 일반적으로  $f_{sense}$ 의 10 배에 해당하는 마진을 확보합니다. 차동 증폭 회로의 주파수 식을 통해,  $C_1$ 을 설계합니다.

$$C_1 = \frac{1}{2\pi \times f_{sense} \times 10 \times R_2} \quad [F] \quad \cdots (8)$$

**Step 5 : 기타 주변회로**

• 보호회로

Figure 1에서는 션트 저항의 오픈 고장을 고려하여, OP Amp 입력 단자의 과전압을 보호하기 위해 제너 다이오드를 배치하고 있습니다. 션트 저항이 오픈될 경우, OP Amp의 입력 단자에는 부하 (LOAD)에 인가된 전압과 동일하게 최대 +12V가 인가될 가능성이 있습니다. 따라서, OP Amp 입력 단자의 정격전압을 넘지 않도록 보호 소자를 삽입해야 합니다.

보호용 회로는 어떤 상태에서부터 무엇을 보호하고자 하는지에 따라, 삽입하는 보호회로, 부품이 달라지므로, 충분한 검토가 필요합니다.

이상으로, Figure 1의 모든 부품 설계가 완료되었습니다.

## 회로 정수 결정 방법 (설계 예)

앞서 설명한 부품 선정, 정수 설정 방법에 따라 구체적인 부품 선정과 회로 정수를 결정해 보겠습니다.

[장치의 요구 사양]

전류 센싱 범위  $I_{LOADmin} \sim I_{LOADmax} = 30A \sim 50A$

전류 센싱 정밀도  $E_{rr} = 7\%$

전류 센싱 주파수  $f_{sense} = 1kHz$

센트 저항에서 발생하는 전압  $\Delta V_{SHUNTmax} = 50mV$

OP Amp 의 최대 출력전압  $V_{Omax} = 3.3V$

### Step 1 : 센트 저항의 선정

식 (4), (5)에 각각의 수치를 대입하면, 센트 저항에 대한 사양이 결정됩니다.

$$\text{센트 저항치} \quad R_{SHUNT} = \frac{\Delta V_{SHUNTmax}}{I_{LOADmax}} = \frac{50m}{50} = 1 \quad [m\Omega]$$

$$\text{센트 저항 정격전력} \quad P_{SHUNT} \geq \Delta V_{SHUNT} \times I_{LOADmax} = 50m \times 50 = 2.5 [W]$$

본 예에서는 로옴의 센트 저항에서 가장 소형인 제품을 선택하였습니다.

PSR100 1mΩ, 정격전력 4W (140℃일 때) 사이즈 6.4mm x 3.2mm

### Step 2 : 게인 설정용 저항의 설계

식 (6), (7)을 사용하여 게인과 게인 설정용 저항을 결정합니다.  $R_1=2k\Omega$ 으로 설정하고,  $R_2$ 를 계산합니다.

$$\text{게인} = \frac{V_{Omax}}{\Delta V_{SHUNTmax}} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$R_2 = R_1 \times \left( \frac{V_{Omax}}{\Delta V_{SHUNTmax}} \right) = 2k \times \frac{3.3}{50m} = 132k \quad [\Omega]$$

외장 저항을 통해 게인을 설정하는 회로에서는  $R_1$  과  $R_2$  의 상대 공차를 고려하여 게인을 결정해야 합니다. 또한, 부품수를 줄이기 위해 E24 계열에서 120kΩ을 선택합니다. 로옴의 칩 저항기에서 MCR01 / MCR03 / MCR10 / MCR18 시리즈를 선택합니다. 이 저항치 공차는 D 급  $\pm 0.5\%$ , 온도 특성은  $\pm 50ppm/^\circ C$  (100Ω~1MΩ일 때)입니다.

### Step 3 : OP Amp 의 선정

전류 센싱 정밀도  $E_{rr}$  7% 이하를 달성하기 위해 필요한 OP Amp 의 오프셋 전압은 식 (1), (2), (3)에서 산출합니다. 식 (3)에 식 (1), (2)를 대입하여,  $V_{OS}$ 가 구해지는 식으로 변형합니다.  $R_1'$ ,  $R_2'$ ,  $R_{SHUNT}'$ 는, 저항치 공차와 저항치 온도 특성을 포함하여 계산합니다. 전류 센싱 정밀도  $E_{rr}$ 이 최대가 되는 것은 하기의 조건이며, 이 조건을 대입하여  $V_{OS}$ 를 구합니다.

$$R_1' = (\text{공차}) \times (\text{온도 특성}) \times R_1 = (-0.5\%) \times (-50ppm/^\circ C) \times R_1$$

$$R_2' = (\text{공차}) \times (\text{온도 특성}) \times R_2 = (+0.5\%) \times (+50ppm/^\circ C) \times R_2$$

$$R_{SHUNT}' = (\text{공차}) \times (\text{온도 특성}) \times R_{SHUNT} = (+1\%) \times (+100ppm/^\circ C) \times R_{SHUNT}$$

$$V_{OS} \leq 847\mu \quad (T_A=125^\circ C \text{ 일 때}) \quad [V]$$

OP Amp 에 요구되는 기타 특성도 고려하여 로옴의 LMR1802G-LB 를 선택합니다.

(LMR1802G-LB 의 전기적 특성 및 선택 이유는 보충 2 참조)

## Step 4 : 주파수 특성의 설계

식 (8)을 통해, 필터용 콘덴서  $C_1$  은 하기와 같이 구해지며, E6 계열에서 150pF 을 선택합니다.

$$C_1 = \frac{1}{2\pi \times f_{sense} \times 10 \times R_2} = \frac{1}{2\pi \times 1k \times 10 \times 120k} = 133 \quad [\text{pF}]$$

## Step 5 : 기타 주변회로

선택한 OP Amp LMR1802G-LB 의 경우, 입력 단자 전압의 정격은 7V 입니다. 그리고, 제너 전압  $V_Z$  는 OP Amp 의 전원전압인 +5V 에 맞춥니다. 션트 저항이 오픈되었다고 가정하는 경우, 제너 다이오드에 흐르는 전류  $I_{ZD}$  는 하기와 같이 계산할 수 있습니다.

$$I_{ZD} = \frac{V_{in} - V_Z}{R_1} = \frac{12 - 5}{2k} = 3.5m \quad [A]$$

제너 전류가 3.5mA 일 때 제너 전압 5V 부근일 것을 만족하는 로옴의 제품은 TDZV5.1 / UDZV4.7B / EDZV4.7B / CDZV4.7B 등을 선택할 수 있습니다.

순간적인 동작 등 여러 특성을 파악한 후에, 보호에 최적인 부품을 선택하여 주십시오

이것으로, 모든 부품과 정수가 결정되어, 하기와 같은 회로를 설계하였습니다.

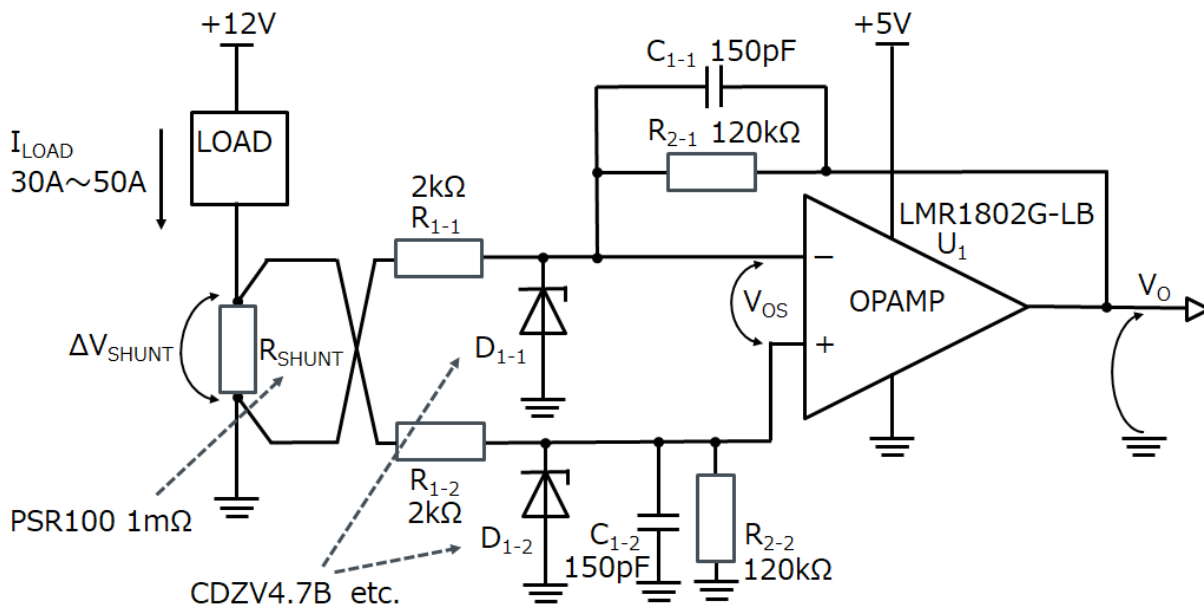


Figure 2. 장치의 요구 사양을 만족하는 회로

## 설계한 회로의 부품표

기호	부품	제품 품명
U1	OP Amp	<a href="#">LMR1802G-LB</a>
R <sub>SHUNT</sub>	전류 검출용 션트 저항	<a href="#">PSR100 1mΩ</a>
D <sub>1-1</sub> , D <sub>1-2</sub>	OP Amp 입력 단자 보호용 제너 다이오드	<a href="#">TDZV5.1</a> / <a href="#">UDZV4.7B</a> / <a href="#">EDZV4.7B</a> / <a href="#">CDZV4.7B</a> 등
R <sub>1-1</sub> , R <sub>1-2</sub>	게인 설정용 저항	<a href="#">MCR01/03/10/18 시리즈</a> 2kΩ D 급 (±0.5%)
R <sub>2-1</sub> , R <sub>2-2</sub>	게인 설정용 저항	<a href="#">MCR01/03/10/18 시리즈</a> 120kΩ D 급 (±0.5%)
C <sub>1-1</sub> , C <sub>1-2</sub>	주파수 특성용 콘덴서	150pF

\* 각 부품의 자세한 사양에 대해서는 홈페이지에 게재된 데이터시트를 참조하여 주십시오.

Table 1. 설계한 회로의 부품표

## 설계한 회로의 전류 검출 정밀도와 기타 특성

전류 검출 정밀도의 검증에 대해 설명하겠습니다. 입력 오프셋 전압 및 각 부품의 공차를 고려하여, 전류 검출 정밀도  $E_r$  의 요구 사양인 7%를 만족하는 것을 확인합니다. OP Amp 의 입력 오프셋 전압, 저항치 공차, 온도 특성에 대해서 Table 2 의 조건에 따라 전류 검출 정밀도  $E_r$  을 확인합니다.

조건	입력 오프셋 전압 $V_{OS}$ (LMR1802G-LB)	센트 저항치 $R_{SHUNT}$ (PSR100)	게인 설정용 저항 $R_1, R_2$
(1) Typ 조건	Typ = 5 $\mu$ V	Typ 값	Typ 값
(2) 오프셋 전압만 최대 ( $T_A=25^{\circ}\text{C}$ )	최대 450 $\mu$ V ( $T_A=25^{\circ}\text{C}$ )	Typ 값	Typ 값
(3) 오프셋 전압 최대 · 저항치 공차 포함 ( $T_A=25^{\circ}\text{C}$ )	최대 450 $\mu$ V ( $T_A=25^{\circ}\text{C}$ )	F 급 ( $\pm 1\%$ )	D 급 ( $\pm 0.5\%$ )
(4) 오프셋 전압 최대 · 저항치 공차 포함 ( $T_A=125^{\circ}\text{C}$ )	최대 500 $\mu$ V ( $T_A=125^{\circ}\text{C}$ )	F 급 ( $\pm 1\%$ ) +100ppm/ $^{\circ}\text{C}$	D 급 ( $\pm 0.5\%$ ) $\pm 50\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$

\* 온도 특성에는 자기 발열로 인한 온도 상승 불포함 / 실제 기기에서 부품 발열이 발생하는 경우, 주의가 필요

Table 2. Figure 3 의 그래프 계산 조건

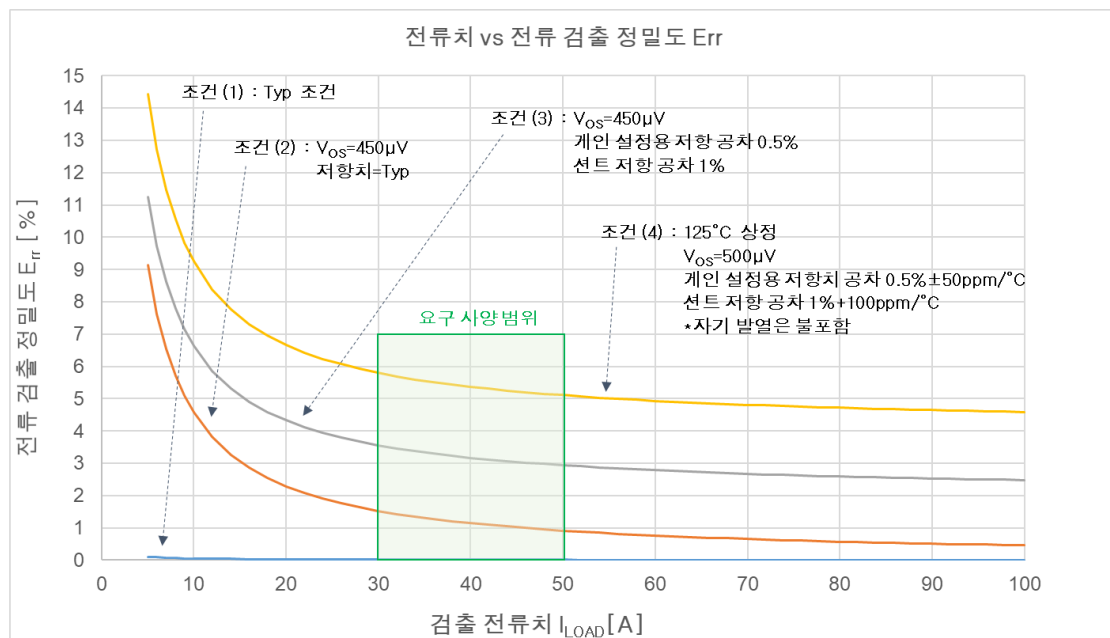


Figure 3. 설계한 회로의 전류 검출 정밀도 vs 검출 전류치

사양으로서 설정한  $I_{LOAD}=30\text{A}\sim 50\text{A}$  에서 전류 검출 정밀도는 7%입니다.

기타 특성은 하기와 같이 계산할 수 있으며, 회로 설계가 요구 사양을 만족하는 것을 알 수 있습니다.

출력 최대 전압  $V_{Omax} = 3.153\text{V}$  (조건 (4)일 때)  $\leq 3.3\text{V}$

주파수 특성  $f_{sense} = 8.85\text{kHz}$  (실제 사용 주파수 1kHz 에 대해, 8.85 배 확보)

## ROHM Solution Simulator (무료 Web 시뮬레이션 툴)로 특성을 확인

「[ROHM Solution Simulator](#)」로 회로 시뮬레이션이 가능합니다. 회로 정수 변경 시의 여러 특성을 시뮬레이션할 수 있으므로, 어플리케이션에 최적인 회로 설계와 검증이 용이합니다.

## Operational Amplifier / Current Sensing

DC Sweep Simulation

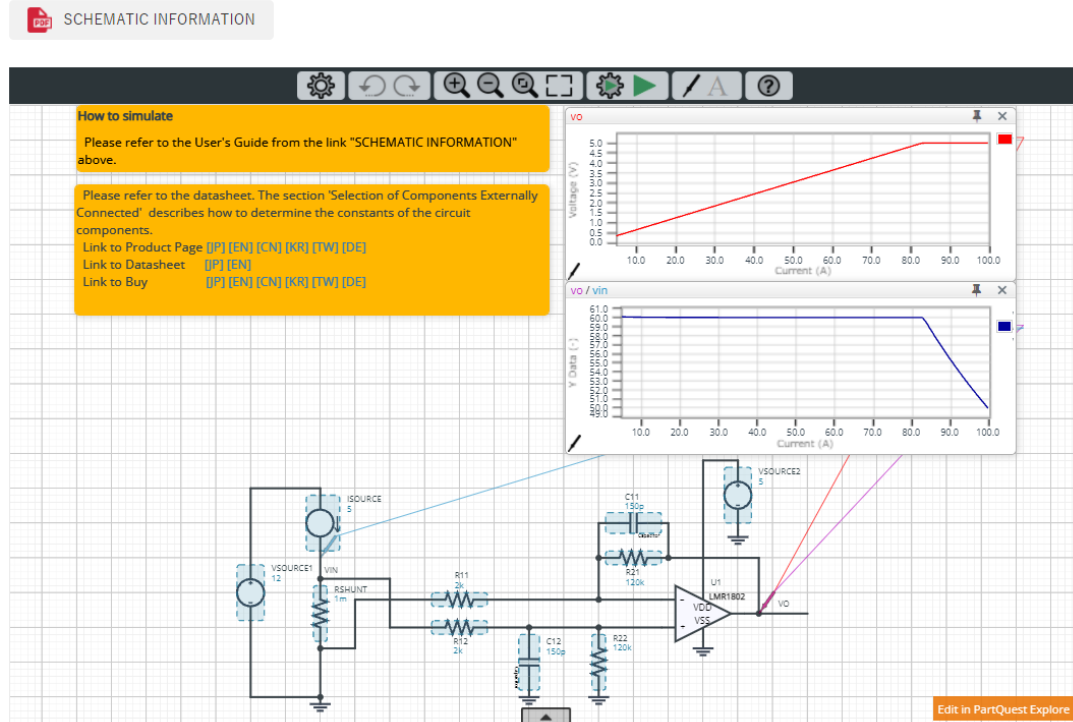


Figure 4. ROHM Solution Simulator 상의 시뮬레이션 회로 예

Low-side 전류 센싱 회로로서, 시뮬레이션 항목에 따라 하기의 회로를 구비하고 있습니다.

- [DC Sweep 회로](#) : 검출하고자 하는 전류를 DC sweep 하여, 출력전압 및 앰프로 설정한 게인 확인 가능
- [DC Sweep 회로 \(오프셋 포함\)](#) : OP Amp의 오프셋을 모의적으로 추가하여, 오프셋의 영향 확인 가능
- [Transient Response 회로](#) : 검출하고자 하는 전류를 펄스에 인가하여, 출력전압의 응답성 확인 가능
- [Frequency Response 회로](#) : 입력 단자에서 출력전압의 주파수 특성 확인 가능

\*시뮬레이션의 자세한 내용은 각 시뮬레이션 회로 페이지의 Schematic Information을 참조하여 주십시오.

\*ROHM Solution Simulator로의 접속을 위해서는 MY ROHM 어카운트로 로그인が必要です.

MY ROHM 어카운트를 등록하여 주십시오.

## 기판의 발열 평가

선티 저항 및 OP Amp 와 외장 부품을 사용한 Low-side 전류 센싱 회로는, 선티 저항부에서 발열이 발생하므로 기판 설계도 중요합니다. 하기는 실제 기판의 발열 평가와 시뮬레이션을 실시한 결과를 나타낸 것입니다. 평가한 상세 회로, 기판 패턴, 평가 데이터의 상세 내용에 대해서는 레퍼런스 디자인 [REFSENS002]를 참조하여 주십시오.

실험 조건 : 검출 전류 100A

선티 저항 PSR400 2mΩ 4 병렬 (0.5mΩ)

기판 패턴 : 패턴 개요는 [레퍼런스 디자인 \[REFSENE002\]](#)를 참조하여 주십시오.

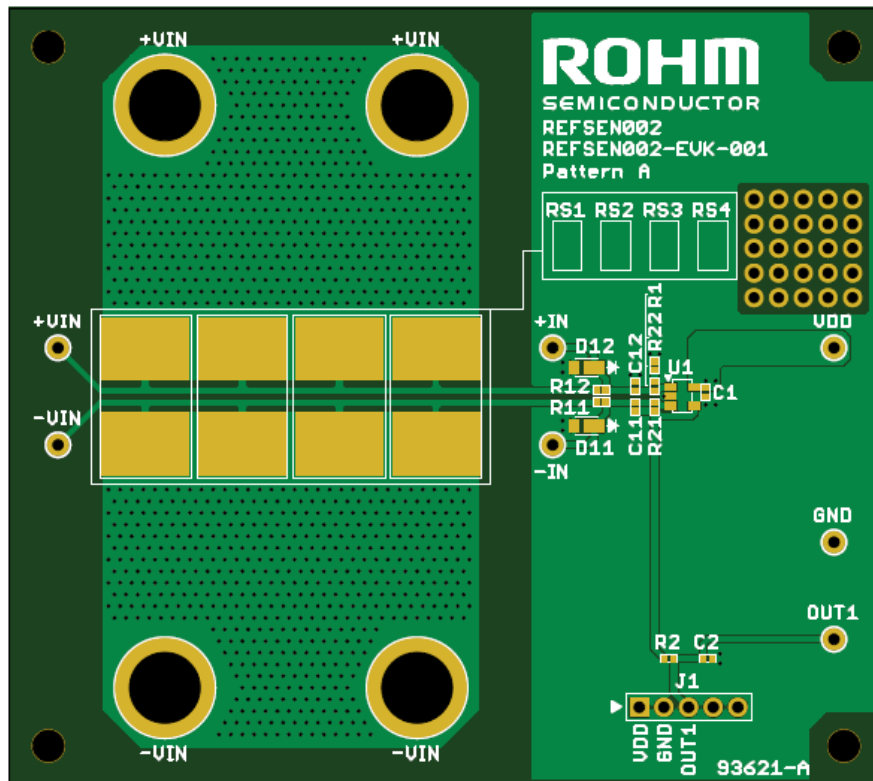


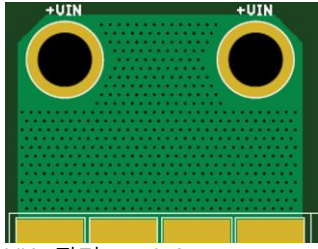
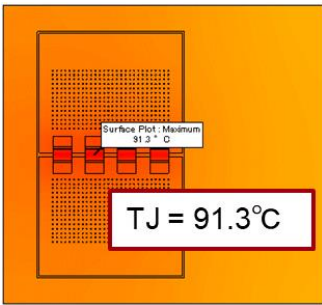
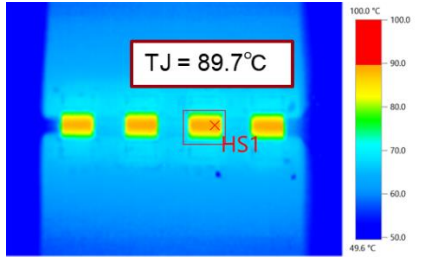
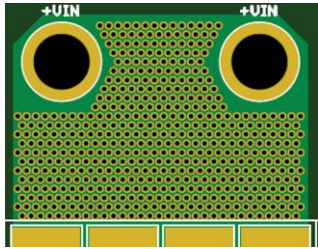
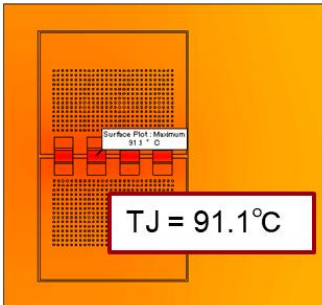
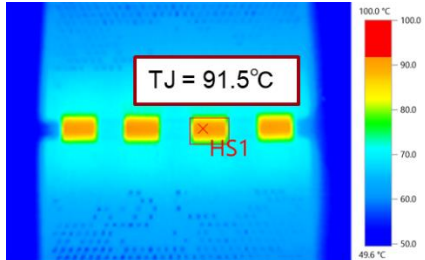
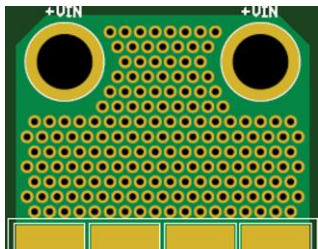
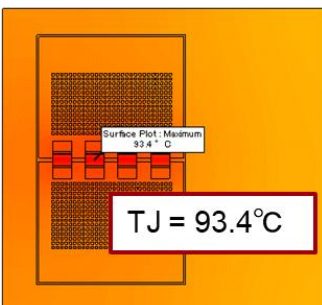
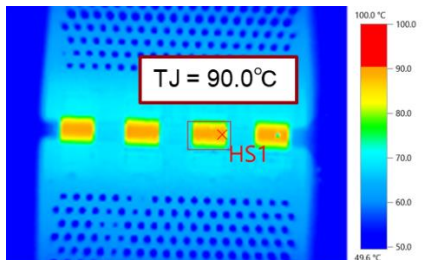
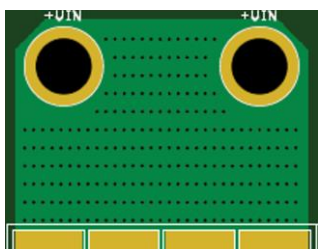
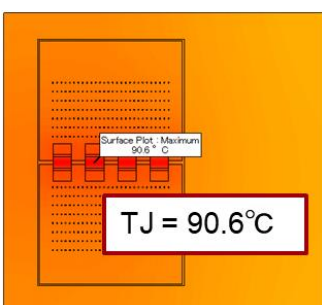
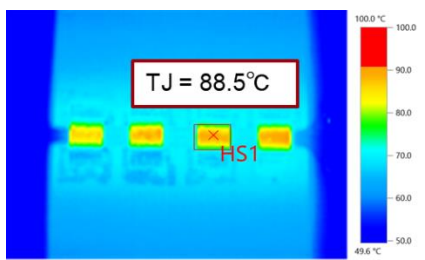
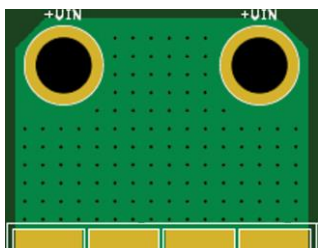
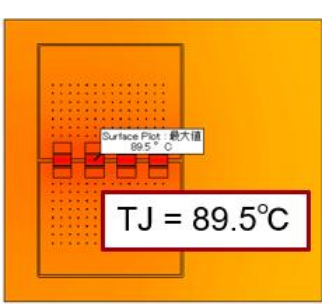
Figure 5. 100A 전류 검출 레퍼런스 디자인 (REFSENS002) 기판 외관

실험 내용 : 선티 저항부의 기판 폭 및 길이는 고정하고, 방열을 위한 VIA 직경, VIA 배치에 따라 발열 비교 실시

실험 결과 : Table 3 의 기판 실측 결과에서 방열용 VIA 배치는 「VIA 직경 :  $\phi 0.3\text{mm}$ , 좌우 1.2mm Pitch, 상하 2.4mm Pitch」가 발열이 가장 적었습니다. 또한, 실측을 실시하지는 않았지만, 열 시뮬레이션 결과로는 「VIA 직경 :  $\phi 0.3\text{mm}$ , 상하좌우 2.4mm Pitch」가 발열이 가장 적다는 결과를 얻어, 대전류가 흐르는 경로의 방열용 VIA 는 적절한 직경과 배치 설계가 필요하다는 것을 알 수 있었습니다. 열 시뮬레이션과 실측의 경향은 비교적 높은 정밀도를 보이므로, 발열에 까다로운 어플리케이션의 기판 설계 시에는 열 시뮬레이션을 활용하는 것도 기판 설계 공수 삭감으로 이어지는 설계 방법이라고 할 수 있습니다.



Table 3. 방열용 VIA의 차이에 따른 시뮬레이션과 기판 실측

기판 배선 / VIA	열 시뮬레이션 (100A)	기판의 실측 (100A)
 <p>VIA 직경 : <math>\phi 0.3\text{mm}</math> 배치 : 상하좌우 1.2mm Pitch</p>	 <p>Surface Plot: Maximum 91.3 °C <b>TJ = 91.3°C</b></p>	 <p><b>TJ = 89.7°C</b> HS1 (sim 과의 차이 -1.8%)</p>
 <p>VIA 직경 : <math>\phi 0.5\text{mm}</math> 배치 : 상하좌우 1.2mm Pitch</p>	 <p>Surface Plot: Maximum 91.1 °C <b>TJ = 91.1°C</b></p>	 <p><b>TJ = 91.5°C</b> HS1 (sim 과의 차이 +0.44%)</p>
 <p>VIA 직경 : <math>\phi 0.8\text{mm}</math> 배치 : 상하좌우 1.2mm Pitch</p>	 <p>Surface Plot: Maximum 93.4 °C <b>TJ = 93.4°C</b></p>	 <p><b>TJ = 90.0°C</b> HS1 (sim 과의 차이 -3.6%)</p>
 <p>VIA 직경 : <math>\phi 0.3\text{mm}</math> 배치 : 좌우 1.2mm, 상하 2.4mm Pitch</p>	 <p>Surface Plot: Maximum 90.6 °C <b>TJ = 90.6°C</b></p>	 <p><b>TJ = 88.5°C</b> HS1 (Sim 과의 차이 -2.3%)</p>
 <p>VIA 직경 : <math>\phi 0.3\text{mm}</math> 배치 : 상하좌우 2.4mm Pitch</p>	 <p>Surface Plot: 最大値 89.5 °C <b>TJ = 89.5°C</b></p>	<p>— (실측 미 실시)</p>

## 정리

선티 저항 및 OP Amp 와 외장 부품을 사용한 Low-side 전류 센싱 회로의 회로 정수 결정 방법, 부품의 선정 방법에 대해 설명했습니다.

로옴은 선티 저항, 고성능 OP Amp 도 제품 라인업으로 구비하여, 다양한 어플리케이션의 요구 사양에 대응할 수 있습니다. 본 어플리케이션 노트에 게재된 제품 및 제품 라인업, 관련 어플리케이션 노트는 하기를 참조하여 주십시오.

본 어플리케이션 노트에 게재된 전류 검출 정밀도의 산출에는 OP Amp 의 노이즈 특성 및 CMRR 특성으로 인한 오차는 포함되어 있지 않습니다. 더 정확한 정밀도 산출이 필요한 경우에는, 해당 오차를 포함하여 검토해야 합니다.

### <Rev.005 추가>

실제 기판에서의 발열 평가를 실시하여, 방열용 VIA 의 종류와 Pitch 에 따라 발열 저감이 가능하다고 설명했습니다. 그리고, 열 시뮬레이션을 활용하여 기판 설계 공수를 삭감할 수 있는 가능성에 대해서도 언급했습니다.

본 어플리케이션 노트에서는 전류 검출 회로에 OP Amp 를 사용했지만, 로옴은 게인 저항을 내장한 전류 검출 앰프 제품도 구비하고 있습니다. 요구되는 전류 검출 정밀도, 기판 사이즈, 가격 등에 따라 다양하게 선택할 수 있습니다.

### [참고 자료]

[선티 저항 뉴스 발표 : 하이파워 어플리케이션의 소형화에 기여하는 고전력 선티 저항기 라인업 확충](#)

[어플리케이션 노트 : OP Amp, 콤퍼레이터의 기초 \(Tutorial\)](#)

### [관련 어플리케이션 노트]

선티 저항 : [PCB 설계가 저항 온도 계수에 미치는 영향](#)

[선티 저항기의 표면 온도 상승을 억제하는 방법](#)

열 설계 : [열 설계란?](#)

[열 저항과 방열의 기본](#)

### [관련 제품]

선티 저항 : [선티 저항 라인업](#)

고성능 OP Amp : [고성능 OP Amp 라인업](#)

다이오드 : [제너 다이오드 라인업](#)

전류 검출 앰프 : [전류 검출 앰프 라인업](#)

### [관련 레퍼런스 디자인]

REFSENS002 [~100A 선티 저항과 OP Amp 전류 검출 레퍼런스 디자인](#)

REFSENS003 [~30A 선티 저항과 전류 검출 앰프 전류 검출 레퍼런스 디자인](#)

### [갱신 이력]

2021 년 6 월 Rev.001 Draft

2021 년 7 월 Rev.002 / 003 오자 수정

2021 년 10 월 Rev.004 Web 시뮬레이션 페이지 링크 추가

2023 년 1 월 Rev.005 기판 발열 시험 결과 추가

## 보충 1

센트 저항  $R_{SHUNT}$  에서 발생하는 전압차  $\Delta V_{SHUNT}$  가 클수록 전류 센싱 정밀도가 좋아지는 이유

식 (2)와 같이, 센트 저항에서 발생하는 전압  $\Delta V_{SHUNT}$  와 OP Amp 의 입력 오프셋 전압  $V_{OS}$  에 따라 전류 검출 정밀도가 변화합니다.

OP Amp 의 입력 오프셋 전압이 작은 제품을 선택함으로써 검출 정밀도를 향상시킬 수 있지만, 비용이나 특성의 밸런스를 고려하여 설계해야 합니다.

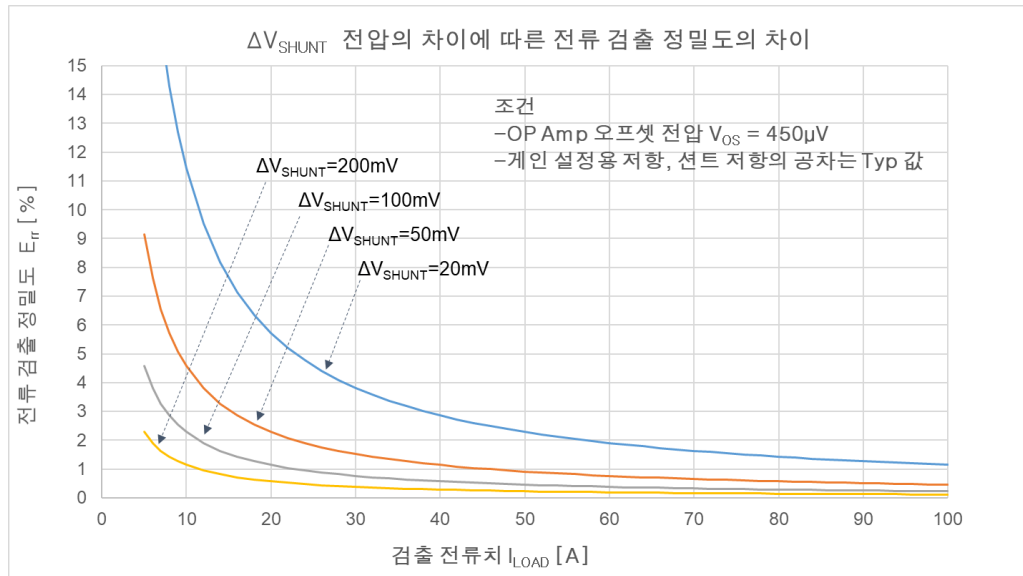


Figure 6.  $\Delta V_{SHUNT}$  전압의 차이가 전류 검출 정밀도에 미치는 영향

## 보충 2

OP Amp LMR1802G-LB 의 전기적 특성 및 선택 이유

LMR1802G-LB 의 주요 특성과 요구 사양에 대한 검토 결과는 하기와 같습니다.

주요 항목	사양	검토 결과
전원전압 범위	2.5V ~ 5.5V	3.3V 계, 5V 계에서 사용 가능.
출력전압 범위	$V_{OH} = V_{DD} - V_{OUT}$ 최대 50mV $V_{OL}$ 최대 50mV	후단 AD 컨버터 등의 입력전압 범위를 4V 정도로 설정하고, 5V 계에서 사용하면, $V_O < 4V$ 의 회로 설계 가능.
입력전압 범위	동상 입력전압 범위 $V_{SS} \sim V_{DD} - 1.0V$	통상 동작 시, $\Delta V_{SHUNT}$ 레벨까지만 입력전압이 상승하므로 문제없음.
입력 오프셋 전압	$T_A = 25^\circ C$ Typ=5μV 모든 온도 범위에서 최대 500μV	OP Amp 로서 필요한 오프셋 전압 사양을 만족.

\*LMR1802G-LB 의 자세한 사양에 대해서는 데이터시트를 참조하여 주십시오.

Table 4. OP Amp LMR1802G-LB 의 개요와 검토 결과

입력 오프셋 전압의 요구 사양을 모든 온도 범위에서 만족하는 것은 명백하지만, 오프셋 전압의 온도 드리프트가 작은 ( $0.4\mu V/^\circ C$ ) 것도 선택의 이유입니다. 파워계 어플리케이션에서는 센트 저항에서 발열할 뿐만 아니라, 주변 회로 (스위칭 트랜지스터 등)에서도 발열할 가능성이 있어, 주변의 온도 환경이 좋지 않을 것으로 예상되기 때문입니다. 또한, 게인 설정이 비교적 큰 경우, 입력 환산 노이즈 전압도 오차로 나타나게 됩니다. LMR1802G-LB 는 업계 최고 수준의 Low Noise 를 실현하여, 사용이 편리한 제품입니다.

## Notes

- 1) The information contained herein is subject to change without notice.
- 2) Before you use our Products, please contact our sales representative and verify the latest specifications :
- 3) Although ROHM is continuously working to improve product reliability and quality, semiconductors can break down and malfunction due to various factors.  
Therefore, in order to prevent personal injury or fire arising from failure, please take safety measures such as complying with the derating characteristics, implementing redundant and fire prevention designs, and utilizing backups and fail-safe procedures. ROHM shall have no responsibility for any damages arising out of the use of our Products beyond the rating specified by ROHM.
- 4) Examples of application circuits, circuit constants and any other information contained herein are provided only to illustrate the standard usage and operations of the Products. The peripheral conditions must be taken into account when designing circuits for mass production.
- 5) The technical information specified herein is intended only to show the typical functions of and examples of application circuits for the Products. ROHM does not grant you, explicitly or implicitly, any license to use or exercise intellectual property or other rights held by ROHM or any other parties. ROHM shall have no responsibility whatsoever for any dispute arising out of the use of such technical information.
- 6) The Products specified in this document are not designed to be radiation tolerant.
- 7) For use of our Products in applications requiring a high degree of reliability (as exemplified below), please contact and consult with a ROHM representative : transportation equipment (i.e. cars, ships, trains), primary communication equipment, traffic lights, fire/crime prevention, safety equipment, medical systems, servers, solar cells, and power transmission systems.
- 8) Do not use our Products in applications requiring extremely high reliability, such as aerospace equipment, nuclear power control systems, and submarine repeaters.
- 9) ROHM shall have no responsibility for any damages or injury arising from non-compliance with the recommended usage conditions and specifications contained herein.
- 10) ROHM has used reasonable care to ensure the accuracy of the information contained in this document. However, ROHM does not warrants that such information is error-free, and ROHM shall have no responsibility for any damages arising from any inaccuracy or misprint of such information.
- 11) Please use the Products in accordance with any applicable environmental laws and regulations, such as the RoHS Directive. For more details, including RoHS compatibility, please contact a ROHM sales office. ROHM shall have no responsibility for any damages or losses resulting from non-compliance with any applicable laws or regulations.
- 12) When providing our Products and technologies contained in this document to other countries, you must abide by the procedures and provisions stipulated in all applicable export laws and regulations, including without limitation the US Export Administration Regulations and the Foreign Exchange and Foreign Trade Act.
- 13) This document, in part or in whole, may not be reprinted or reproduced without prior consent of ROHM.



Thank you for your accessing to ROHM product informations.  
More detail product informations and catalogs are available, please contact us.

## ROHM Customer Support System

<https://www.rohm.co.kr/contactus/>