

# POMIARY W UKŁADACH ZASILANIA

Czy na pewno wyniki pomiarów odpowiadają rzeczywistości?

Jan Sitnik

**ROHDE & SCHWARZ**

Make ideas real



# Plan prelekcji

1

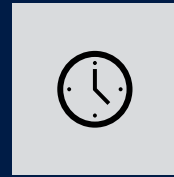
Różnicowy pomiar napięcia o zmiennym  
potencjale odniesienia

2

Pomiar jakości napięcia w układach  
zasilanych napięciem  $< 3.3 \text{ V}$

# Proces projektowy

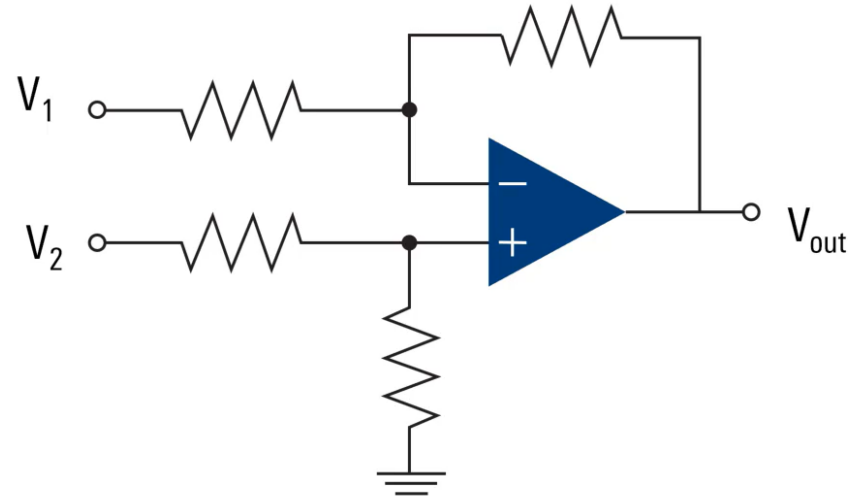
KONCEPCJA → DOBÓR ELEMENTÓW → PROJEKT PCB → URUCHOMIENIE



# Różnicowy pomiar napięcia o zmiennym potencjale odniesienia

# Zasada działania wzmacniacza różnicowego

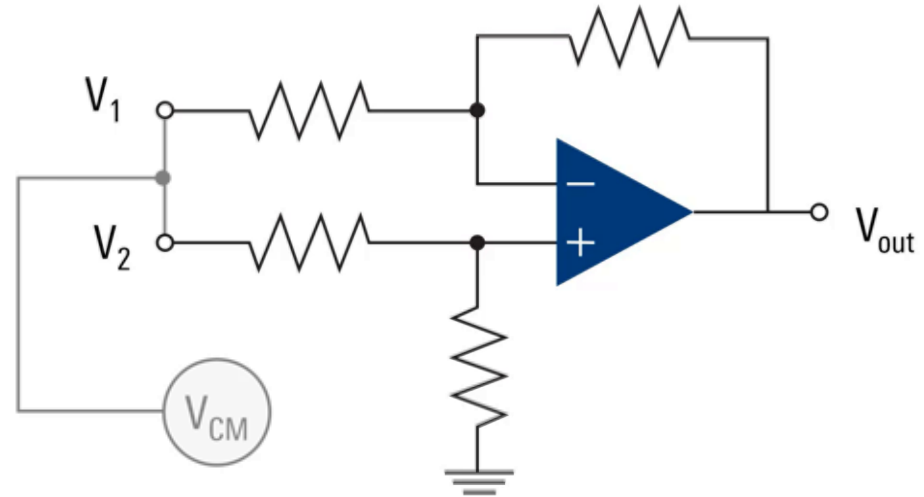
- ▶ Mierzone jest napięcie między dwoma wejściami
- ▶ Żadne z nich nie musi być masą
  - I często nie jest
- ▶ Napięcie różnicowe jest mnożone przez **wzmocnienie różnicowe** ( $A_{dm}$ )



$$V_{out} = A_{dm} \times (V_1 - V_2)$$

# Zasada działania wzmacniacza różnicowego

- ▶ Sygnał **common mode** jest wspólny i taki sam na obu wejściach wzmacniacza
- ▶ Wyjście wzmacniacza jest sumą napięcia różnicowego oraz common mode
- ▶ Idealny wzmacniacz **nie wzmacnia** sygnału common mode ( $A_{cm} = 0$ )



Wzmacniacz różnicowy

$$V_{out} = A_{dm} \times (V_1 - V_2) + A_{cm} \times (V_{cm})$$

# Common Mode Rejection Ratio - CMRR

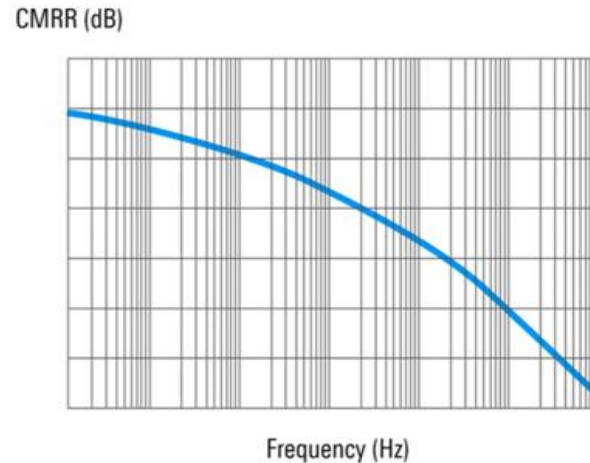
- ▶ CMRR określa zdolność wzmacniacza różnicowego do „odrzućania” składowej common mode
- ▶ Stosunek wzmocnienia różnicowego ( $A_{dm}$ ) oraz wzmocnienia common mode ( $A_{cm}$ )
  - Wyrażane najczęściej w dB
  - CMRR zawsze dodatnie, ponieważ  $A_{dm} \gg A_{cm}$

$$CMRR = \left( \frac{A_{dm}}{|A_{cm}|} \right)$$

$$CMRR_{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{A_{dm}}{|A_{cm}|} \right)$$

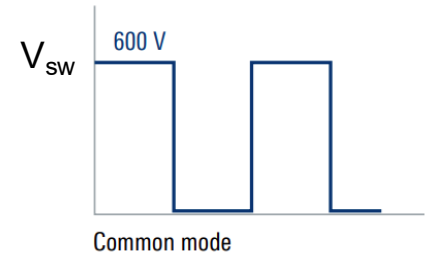
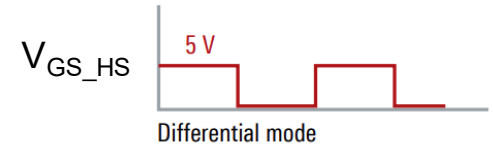
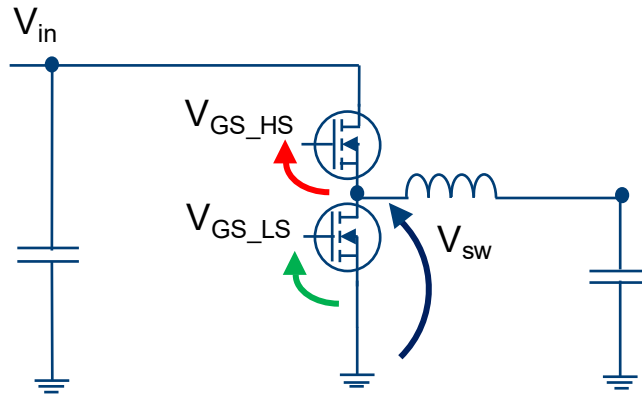
# Common Mode Rejection Ratio - CMRR

- ▶ Idealny wzmacniacz charakteryzuje się nieskończonym CMRR
- ▶ Im większe CMRR tym lepsze tłumienie common mode
- ▶ CMRR maleje wraz ze wzrostem częstotliwości



# Pomiar napięcia bramki tranzystora - półmostek

- ▶ Napięcie bramki  $V_{GS}$  mierzone jest względem źródła tranzystora
- ▶ Potencjał względem którego mierzone jest napięcie  $V_{GS}$  może być zmienny



Zasada działania

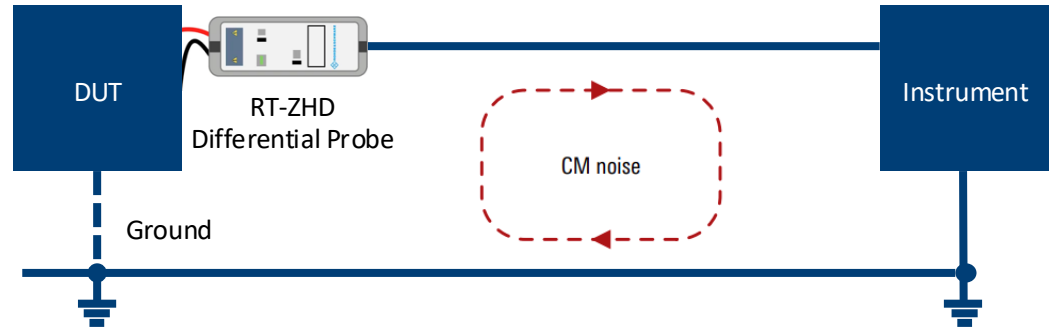
# CMRR sondy różnicowej – przykład

- ▶  $CMRR = 55 \text{ dB}$
- ▶  $V_{cm} = 1000 \text{ V}$
- ▶  $V_{dm} = 15 \text{ V}$
- ▶  $A_{dm} = 500:1$

$$CMRR_{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{A_{dm}}{|A_{cm}|} \right)$$

- ▶  $V_{error} = 1.75 \text{ V} \rightarrow 15\%$

Attenuation setting		50:1	500:1
Common mode rejection <sup>4</sup>	DC to 60 Hz		
	+15 °C to +35 °C	> 80 dB	
	0 °C to +50 °C	> 75 dB	
	60 Hz to 100 kHz	70 dB (typ.)	85 dB (typ.)
	100 kHz to 1 MHz	60 dB (typ.)	55 dB (typ.)
	1 MHz to 50 MHz	35 dB (typ.)	20 dB (typ.)



# CMRR sondy optoizolowanej – przykład

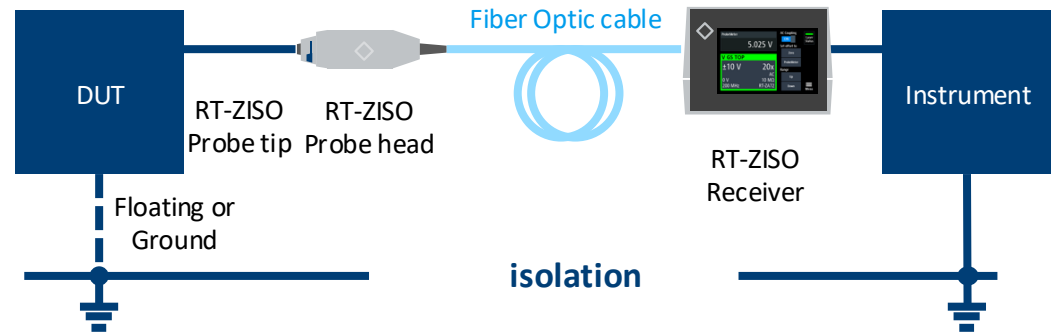
- ▶  $CMRR = 100 \text{ dB}$
- ▶  $V_{cm} = 1000 \text{ V}$
- ▶  $V_{dm} = 15 \text{ V}$
- ▶  $A_{dm} = 120:1$

$$CMRR_{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{A_{dm}}{|A_{cm}|} \right)$$

- ▶  $V_{error} = 10 \text{ mV} \rightarrow 0.067\%$

> 90 dB CMRR @ 1 GHz

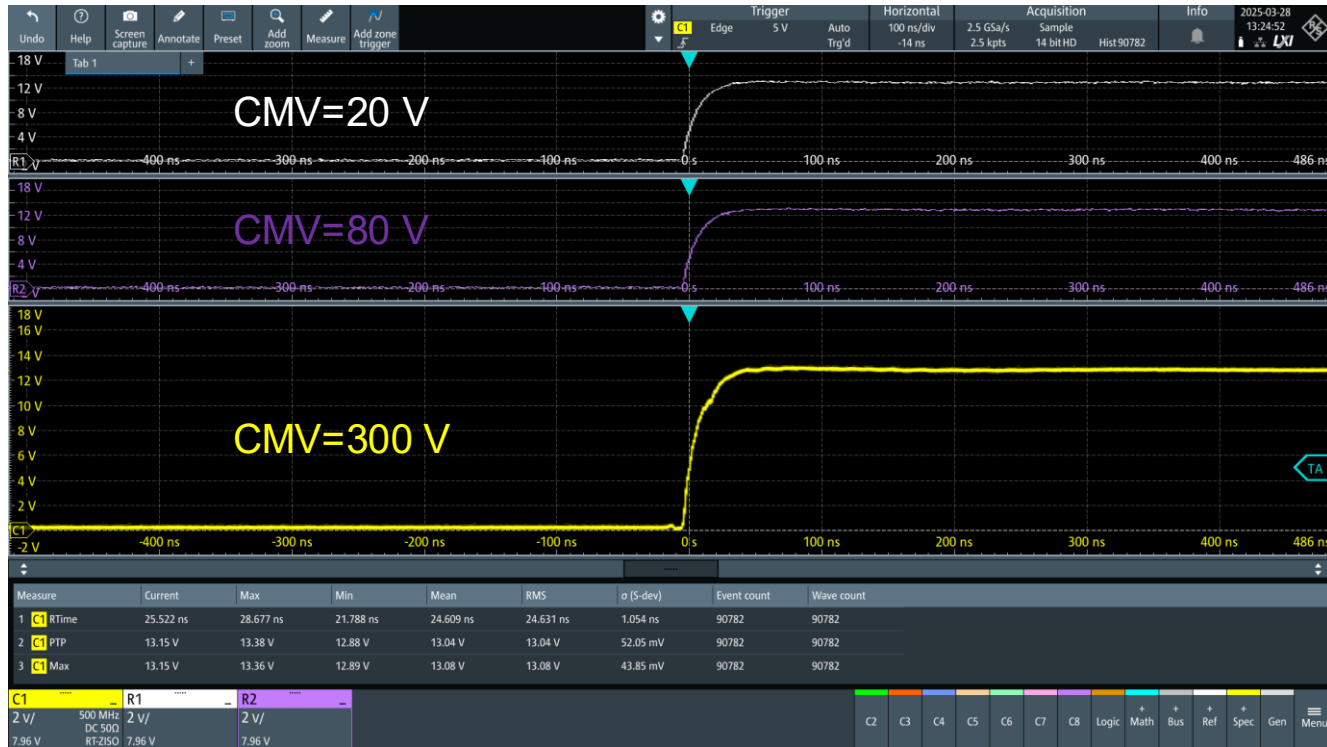
Common mode rejection (meas.)		
DC		145 dB
1 MHz		145 dB
100 MHz		110 dB
200 MHz		100 dB
500 MHz		100 dB
1 GHz		90 dB



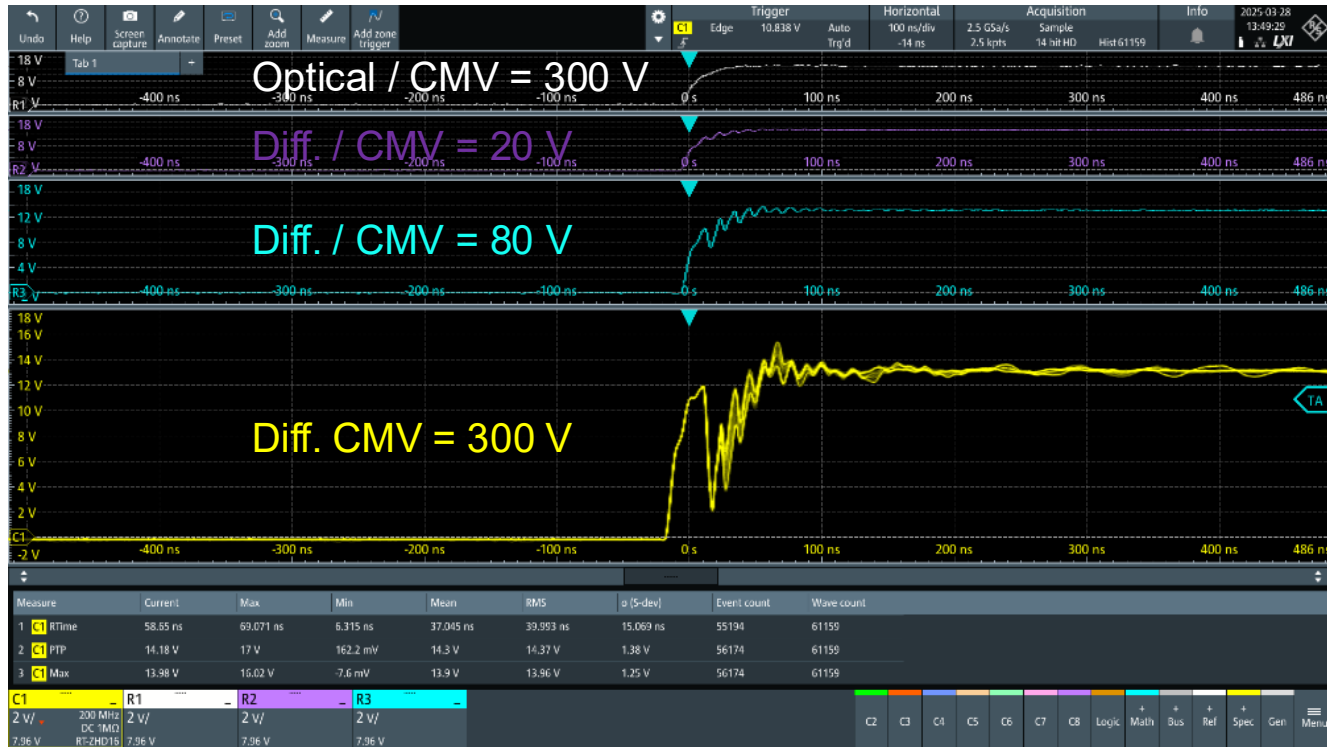
Sonda optoizolowana



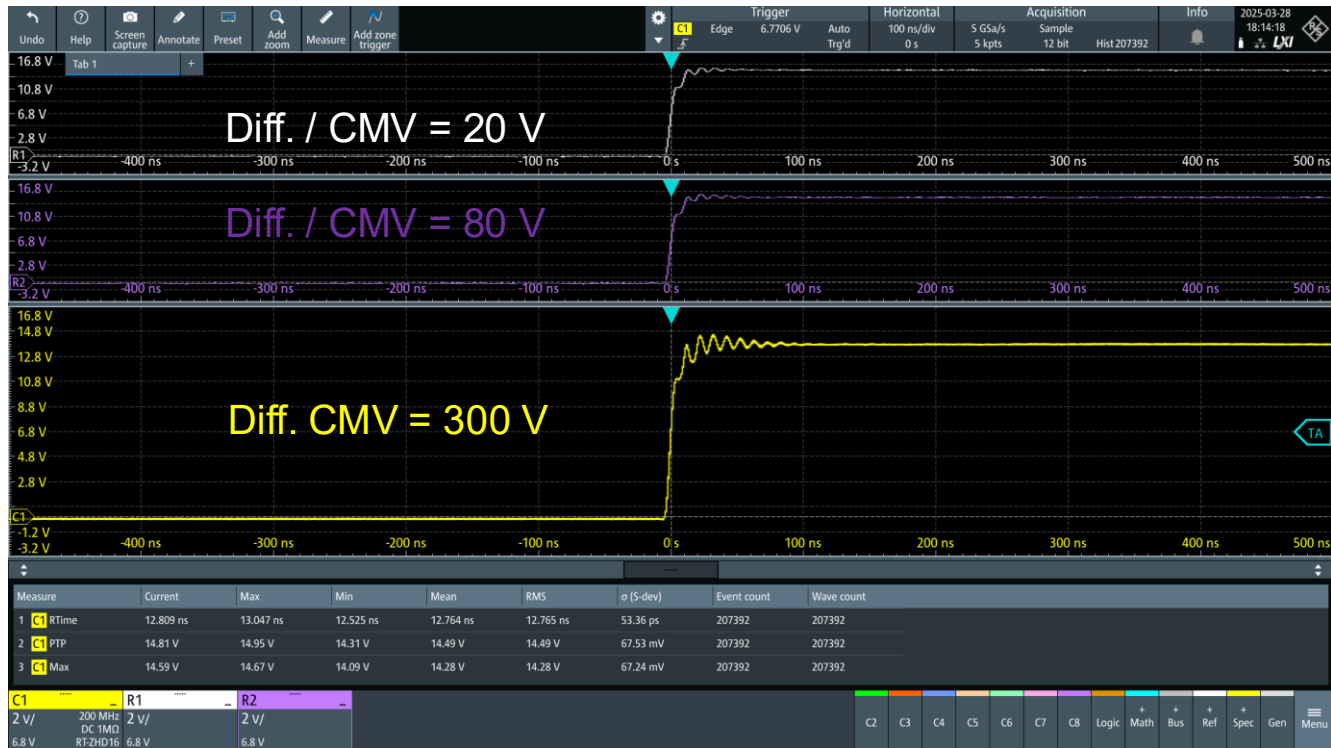
# Sonda optoizolowana – high side



# Sonda różnicowa – high side



# Sonda różnicowa – low side



# Porównanie sondy optoizolowanej i różnicowej

## Optoizolowana

CMRR: > 90 dB  
Pasma: 100 MHz - 1 GHz  
Napięcie maksymalne: 3 kV

## Różnicowa

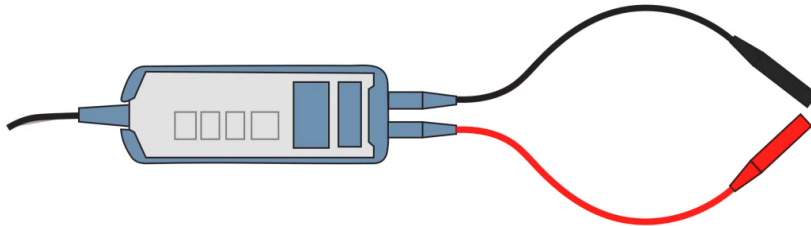
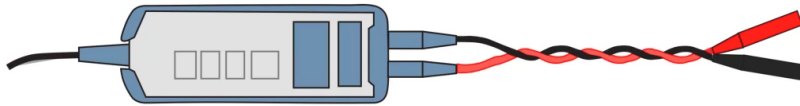
CMRR: < 70 dB  
Pasma: 100-200 MHz  
Napięcie maksymalne: 750 V, 1500 V, 6 kV



# Ułożenie kabli

Skręcone czy nieskręcone?

Zazwyczaj  
najlepsza opcja



**za**

Zakłócenia są minimalne

**przeciw**

Zwiększona pojemność sondy

**za**

Minimalne obciążenie pojemnościowe sondy

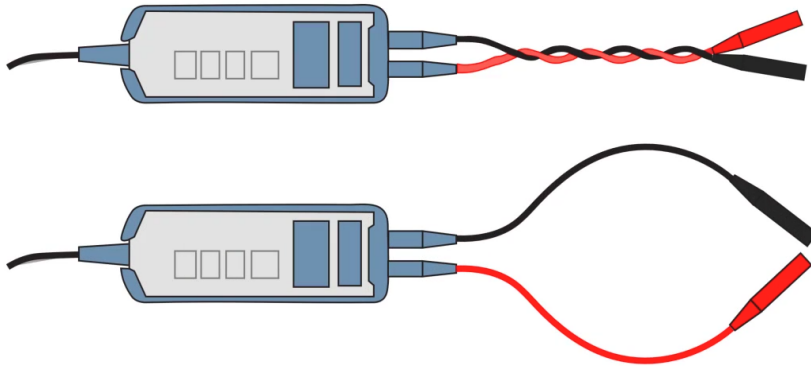
**przeciw**

Duża pętla dla zakłóceń

Zalecane tylko wtedy, gdy obciążenie sondą jest największym problemem

# Ułożenie kabli

Skręcone czy nieskręcone?

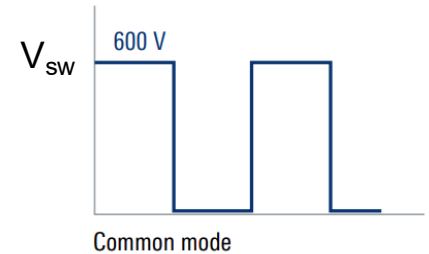
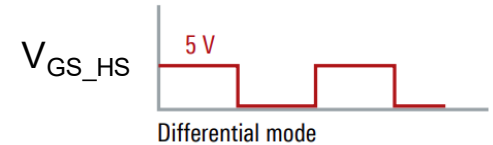
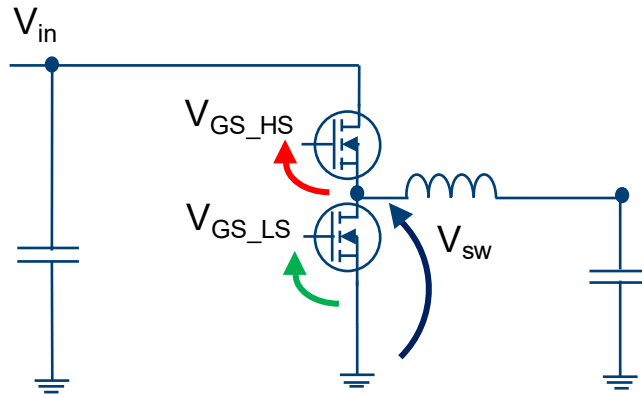


	RT-ZHD16 + przewody	RT-ZHD16 + przewody + klipsy
nieskręcone	9 pF	10 pF
skręcone	12 pF	15 pF

Pojedyncze wejście sondy względem GND ma pojemność 4 pF

# Pomiar napięcia bramki tranzystora - półmostek

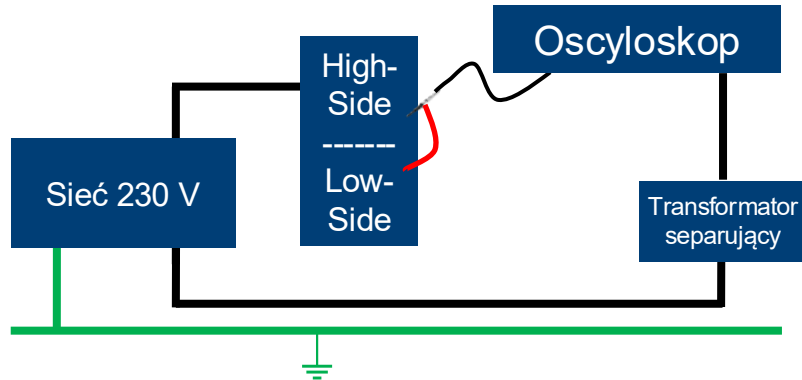
- ▶ Napięcie bramki  $V_{GS}$  mierzone jest względem źródła tranzystora
- ▶ Potencjał względem którego mierzone jest napięcie  $V_{GS}$  może być zmienny



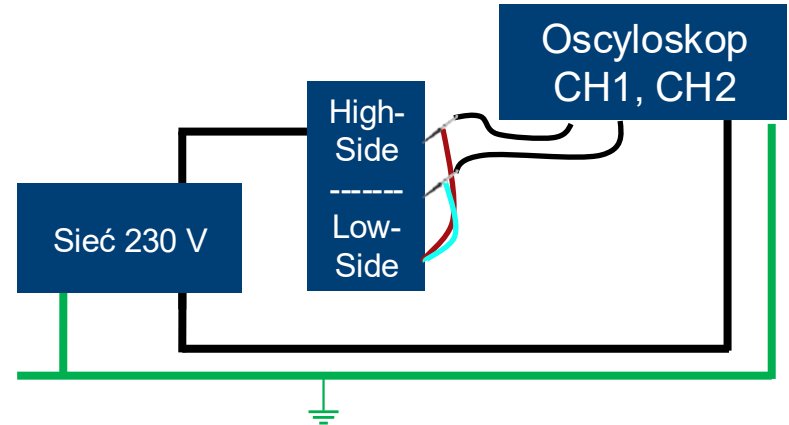
Problem wspólnej masy

# Metody pomiaru napięcia o zmiennym potencjale odniesienia

Z transformatorem separującym



Z kanałem matematycznym



Wzmacniacz różnicowy

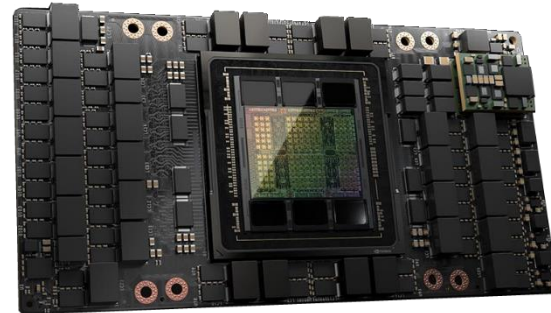
# Pomiar jakości napięcia w układach embedded



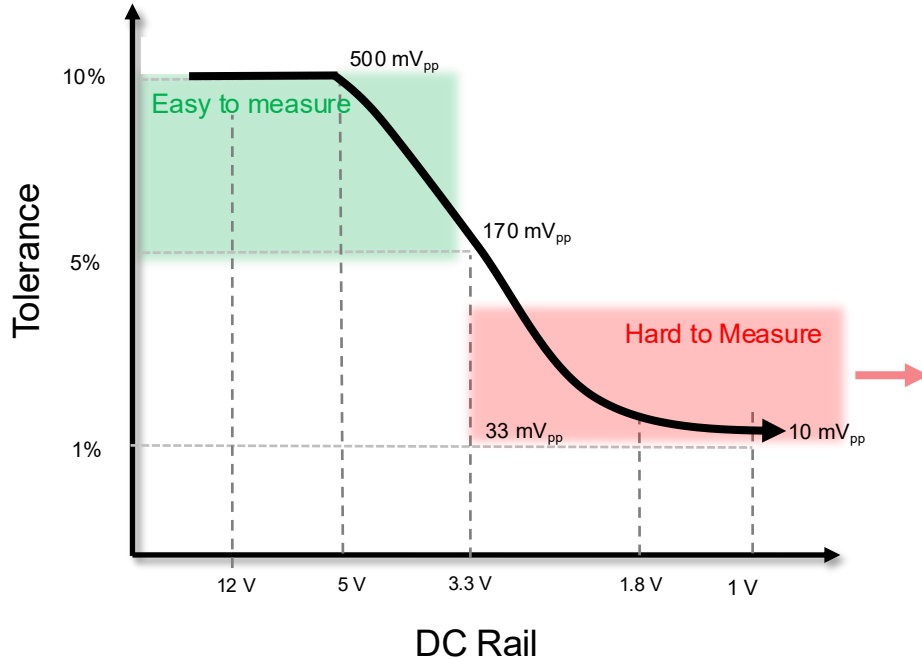
# Power integrity – zasilanie układów elektronicznych

- ▶ Typowe napięcia zasilania w rozwiązaniach embedded:
  - 3.3 V
  - 2.5 V
  - 1.8 V
  - 1.2 V

Nvidia H200 AI Accelerator



# Trudności w pomiarach zasilania



## Przykłady

napięcie	Tolerancja	Pomiar
3.3 V	1%	33 mV <sub>pp</sub>
1.8 V	2%	36 mV <sub>pp</sub>
1.2 V	2%	24 mV <sub>pp</sub>
1 V	1%	10 mV <sub>pp</sub>

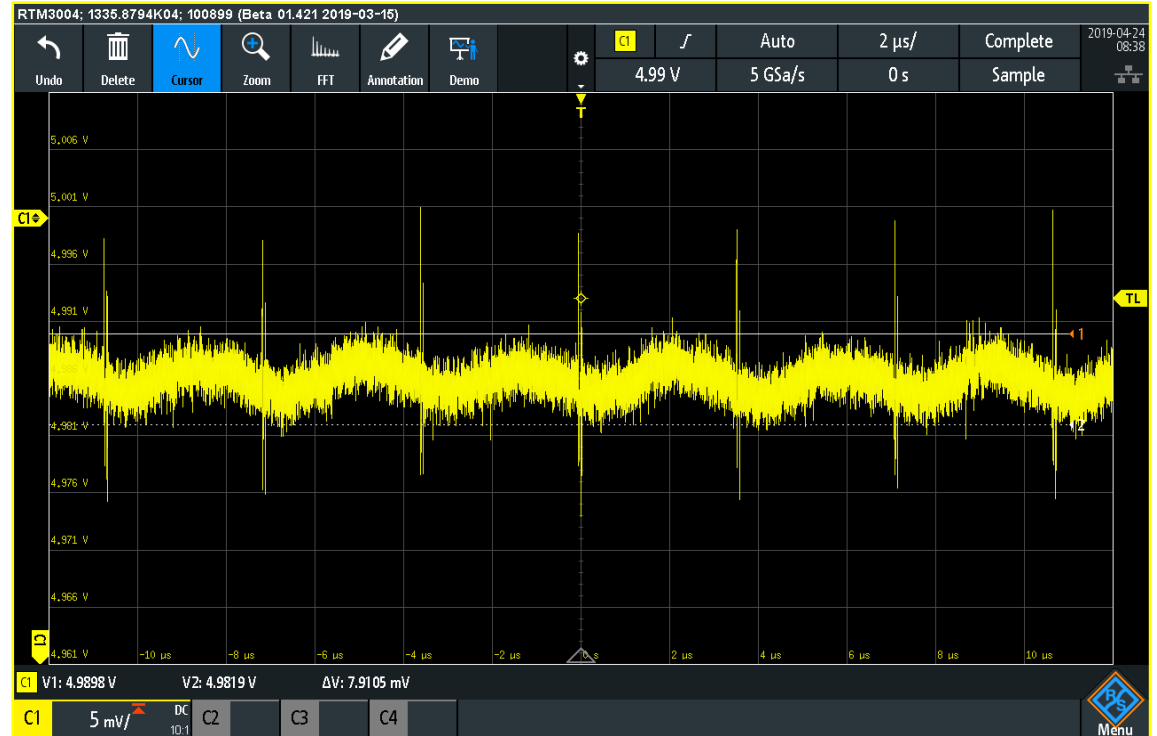
Poziom szumu własnego oscyloskopu może być większy niż poziom napięcia mierzonego

# Pomiar tętnień zasilania - sonda pasywna 10:1



10:1 Passive

Za	Przeciw
Mały koszt	Duże szумы
	Niskie pasmo



# Pomiar tętnień zasilania - sonda pasywna 1:1



1:1 Passive

Za	Przeciw
Mały koszt	Niskie pasmo
Małe szумы	-

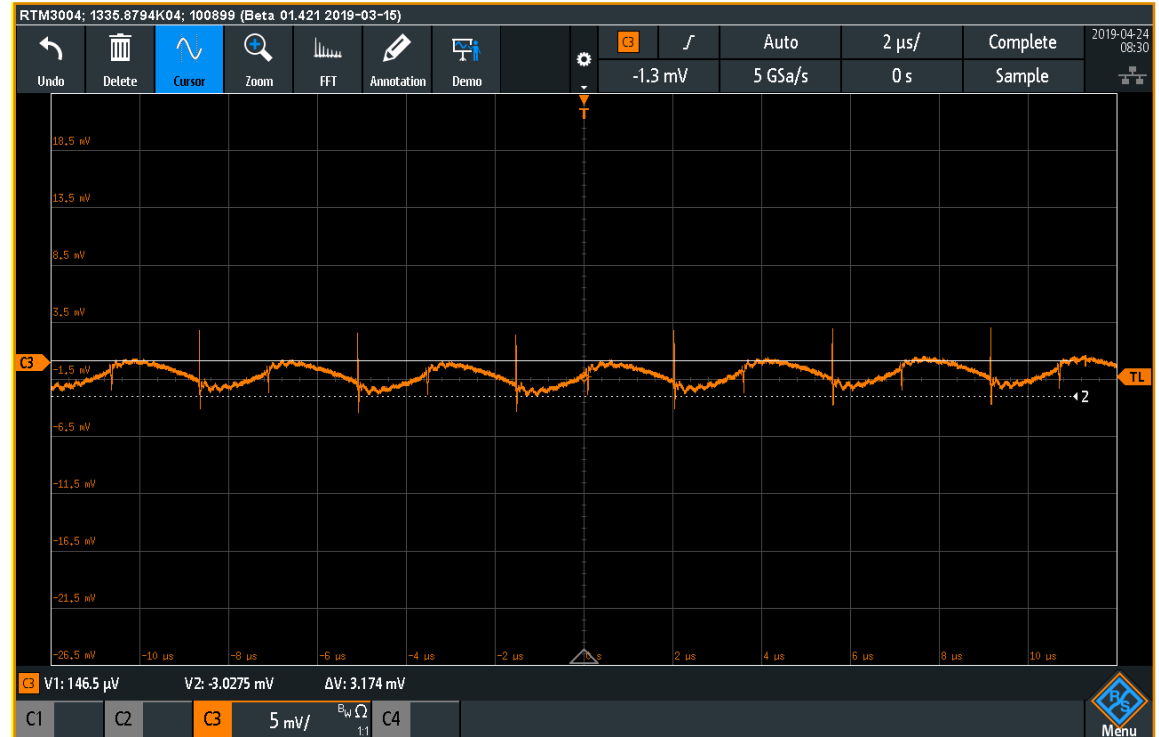


# Pomiar tętnień zasilania – DC block



DC-Block/  
AC coupling

Za	Przeciw
Mały koszt	Brak informacji o składowej DC
Małe szумы	-

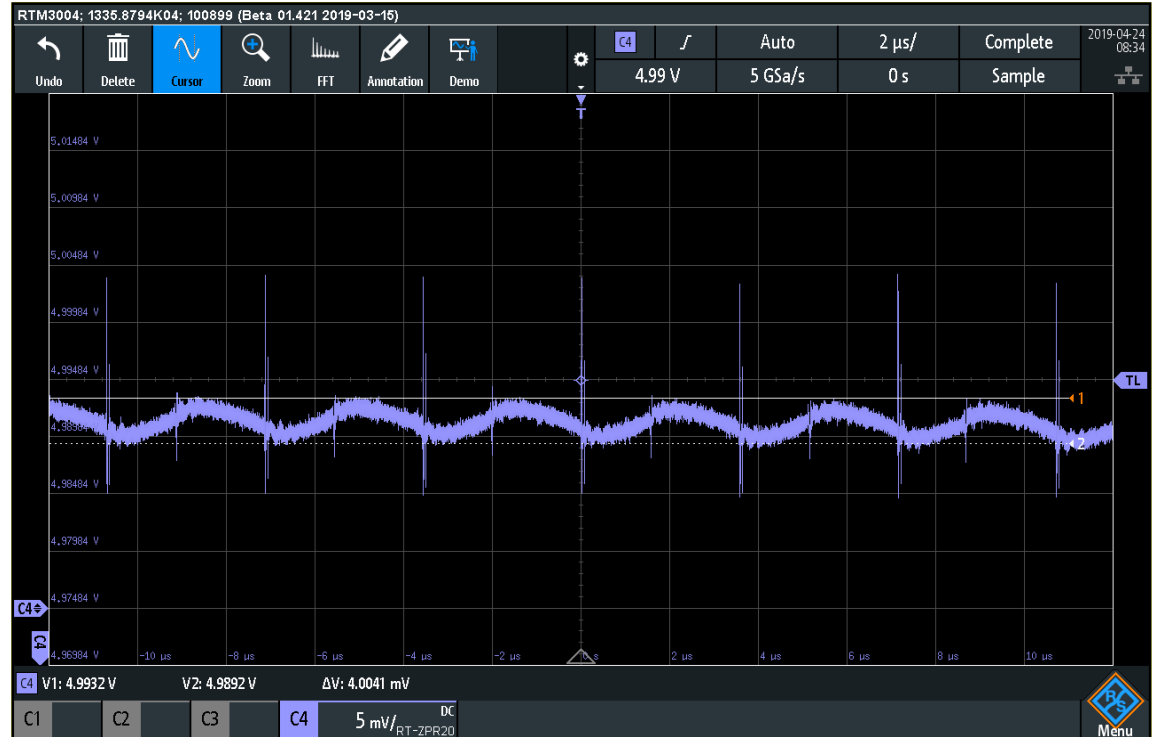


# Pomiar tętnień zasilania - sonda power rail probe



1:1 Active  
Power Rail Probe

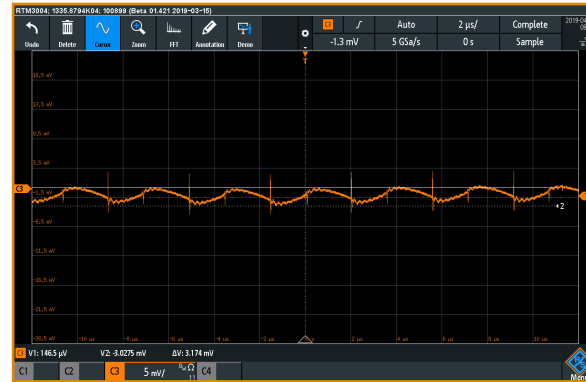
Za	Przeciw
Wysokie pasmo	Większy koszt
Małe szумы	
Wysoka zdolność obserwacji śladowej DC	



# Pomiar tętnień zasilania - porównanie



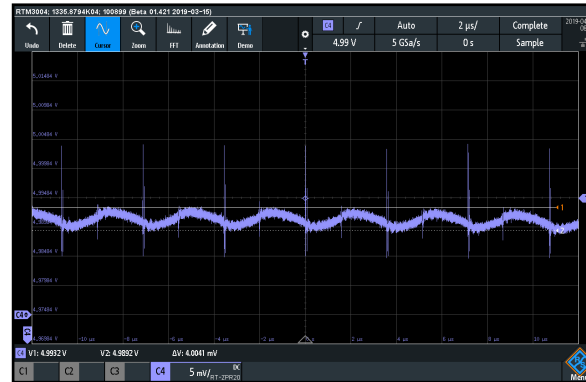
1:1 Passive



DC-Block/  
AC coupling



10:1 Passive



1:1 Active  
Power Rail Probe

**DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ!**

**ROHDE & SCHWARZ**

Make ideas real

