

# Pomiary charakterystyk memrystorów

Karol Bednarz

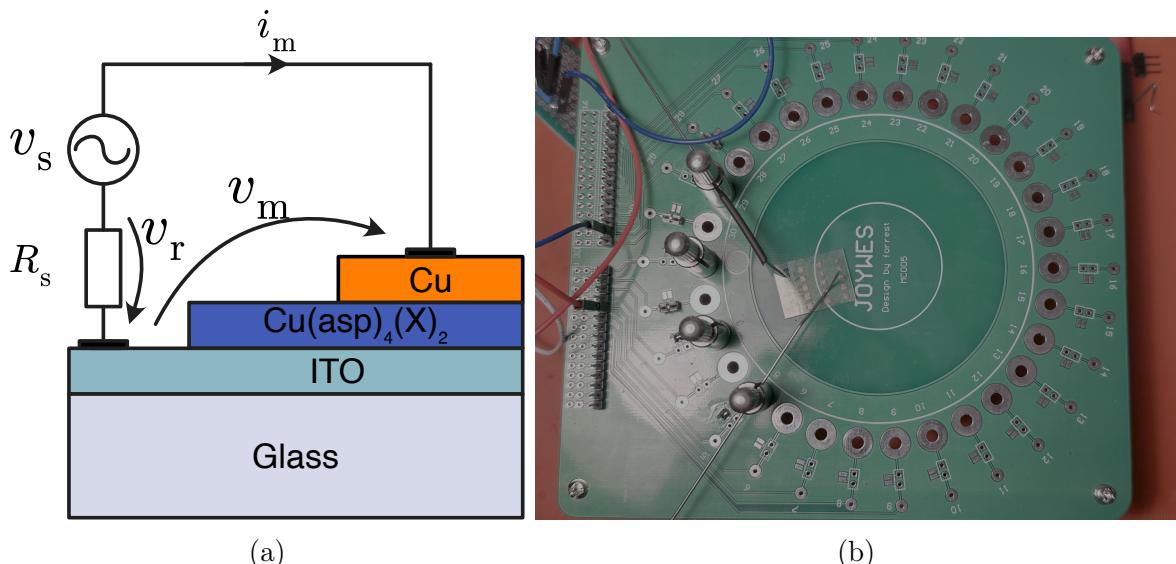
12 grudnia 2025

## Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Wnioski</b>	<b>1</b>
2.1	Charakter pracy memrystorów . . . . .	1
2.2	Wpływ częstotliwości na histerezę . . . . .	2
2.3	Dynamika zmian rezystancji . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Pomiary</b>	<b>2</b>
3.1	Memrystor w pozycji I (cuaspf) . . . . .	3
3.2	Memrystor w pozycji II (perwen) . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Wyniki pomiarów, bez sprecyzowanej pozycji memrystora</b>	<b>13</b>
4.1	Memrystor I (cuaspf) . . . . .	13
4.2	Memrystor II (perwen) . . . . .	23

## 1 Wstęp

Schemat pomiarowy oraz zdjęcie stanowiska pomiarowego zamieszczono na rysunkach 1(a) oraz 1(b).



Rysunek 1: (a) Schemat pomiarowy oraz (b) zdjęcie stanowiska pomiarowego.

W badaniach zastosowano kartę pomiarową Analog Discovery 3 firmy Digilent, która umożliwia generowanie sygnałów oraz ich akwizycję. Generacja sygnałów realizowana była za pomocą dedykowanej aplikacji z interfejsem graficznym, opracowanej przy użyciu oficjalnego API WaveForms SDK. Proces akwizycji danych przeprowadzono w taki sposób, aby dla każdego okresu napięcia wejściowego zarejestrować 1000 próbek napięcia wyjściowego. W układzie pomiarowym zastosowano rezystor o wartości  $R_s = 0.1 \text{ k}\Omega$ . Dla każdego zestawu parametrów sygnału wejściowego (częstotliwość, amplituda, wartość offsetu) przeprowadzono pomiary dla 120 okresów.

## 2 Wnioski

### 2.1 Charakter pracy memristorów

Większość badanych memristorów wykazuje zachowanie zbliżone do **rezystancji nieliniovych** zamiast klasycznego efektu memristywnego z wyraźną pętlą histerezy. Tylko w nielicznych przypadkach na wykresach wartości średniej obserwuje się charakterystyczną pętlę histerezy.

### 2.2 Wpływ częstotliwości na histerezę

- Najwyraźniejsza pętla histerezy występuje przy  $f = 20 \text{ Hz}$ ,
- Przy wyższych częstotliwościach ( $100 \text{ Hz}, 1000 \text{ Hz}, 2000 \text{ Hz}$ ) pętla histerezy jest słabo widoczna lub nie występuje,

### 2.3 Dynamika zmian rezystancji

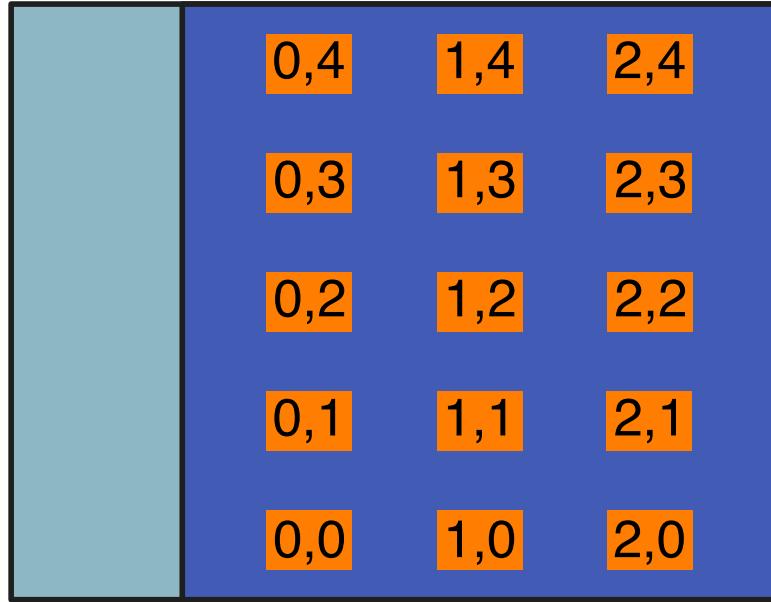
Pomimo słabej widoczności pętli histerezy przy wyższych częstotliwościach, w wielu przypadkach obserwuje się zmianę rezystancji elementu (widoczne wypełnienie części płaszczyzny na wykresach). Istotne jest, że zmiany te nie dokonują się w ciągu jednego okresu, co sugeruje powolniejszą dynamikę procesów zachodzących w memristorze w porównaniu z częstotliwością wymuszenia.

## 3 Pomiary

W niniejszej sekcji przedstawiono wyniki pomiarów przeprowadzonych dla różnych parametrów sygnału wejściowego. Wyniki zostały zaprezentowane w formie graficznej, w pierwszym wierszu gdzie wykresy umieszczone po lewej stronie ilustrują pętle histerezy w domenach  $v_m - i_m$  wraz z uśrednioną charakterystyką statyczną. Wykresy znajdujące się po prawej stronie przedstawiają przebiegi czasowe napięcia wejściowego  $v_s$  oraz napięcia na memristorze  $v_m$ . Na wykresach czasowych poszczególne okresy sygnału zostały oznaczone punktami, natomiast linia ciągła przedstawia przebieg uśredniony wszystkich zarejestrowanych okresów. W drugim wierszu punkty pomiarowe zostały pokoloryzowane w zależności od numeru okresu, co pozwala na obserwację ewolucji charakterystyki memristora w czasie.

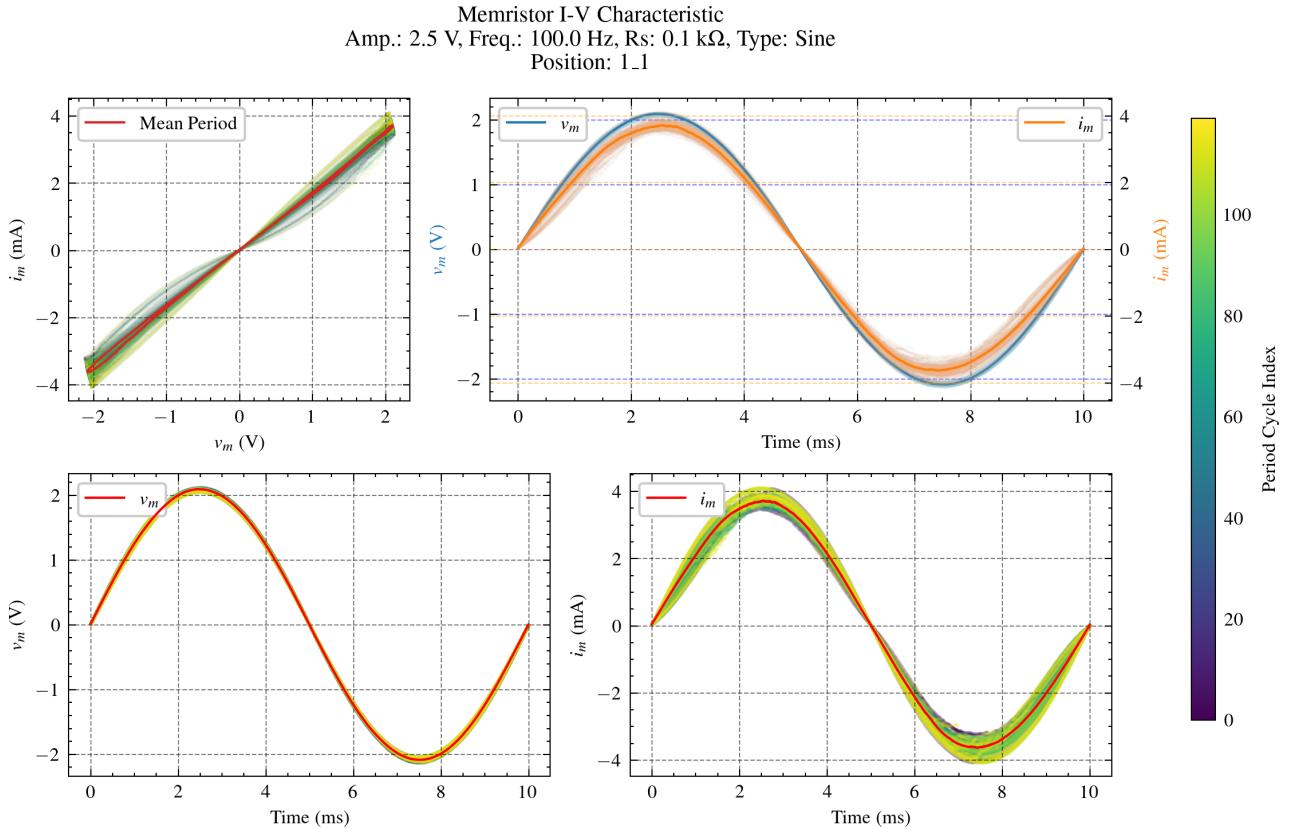
Jako, że otrzymano dużą liczbę wykresów, w niniejszym dokumencie zamieszczono jedynie wybrane przykłady ilustrujące wpływ poszczególnych parametrów sygnału wejściowego na charakterystyki memristora. Pełny zestaw wyników pomiarów wraz z plikami [\\*.csv](#) dostępny jest w repozytorium pod linkiem: [\[drive\]](#). Rozbito również wyniki pomiarów na dwa oddzielne katalogi, ze względu na otrzymane dwa różne typy memristorów.

Pozycje memristorów w układzie zostały oznaczone wg. schematu na rysunku 2.



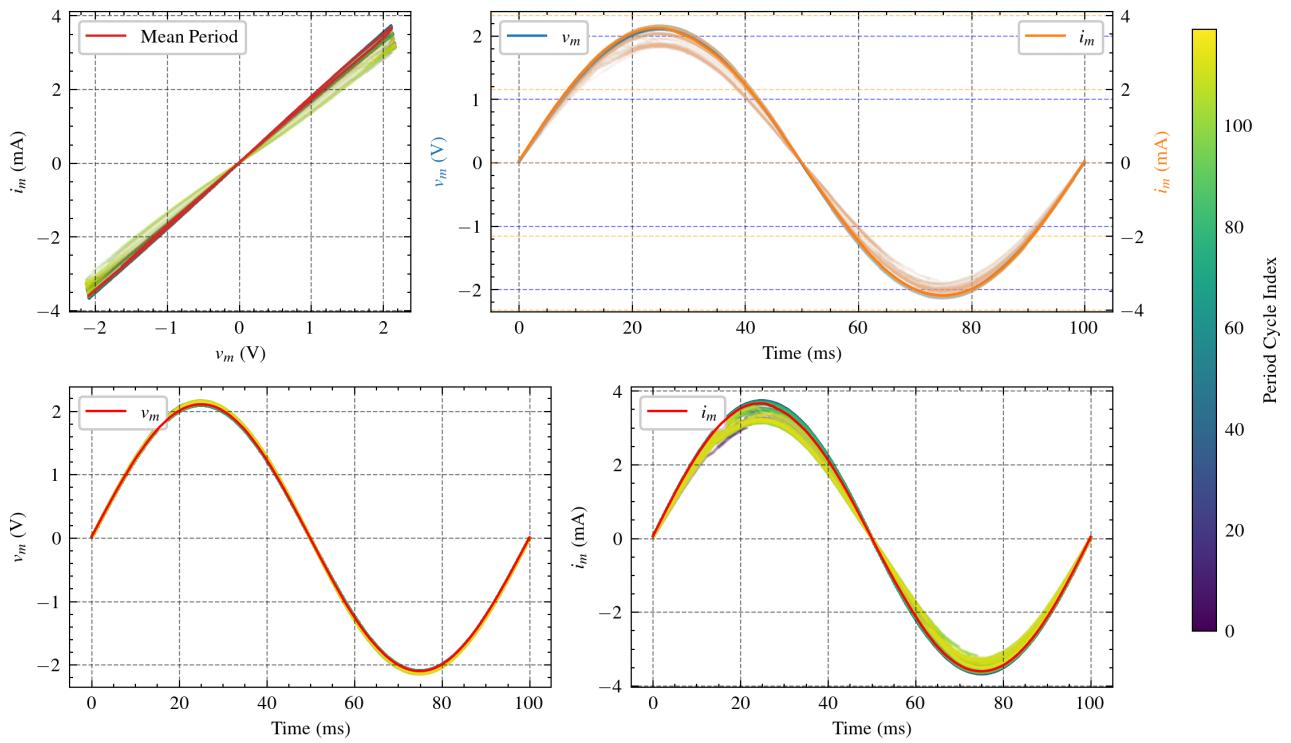
Rysunek 2: Schemat numeracji memristorów w układzie pomiarowym.

### 3.1 Memristor w pozycji I (cuaspf)



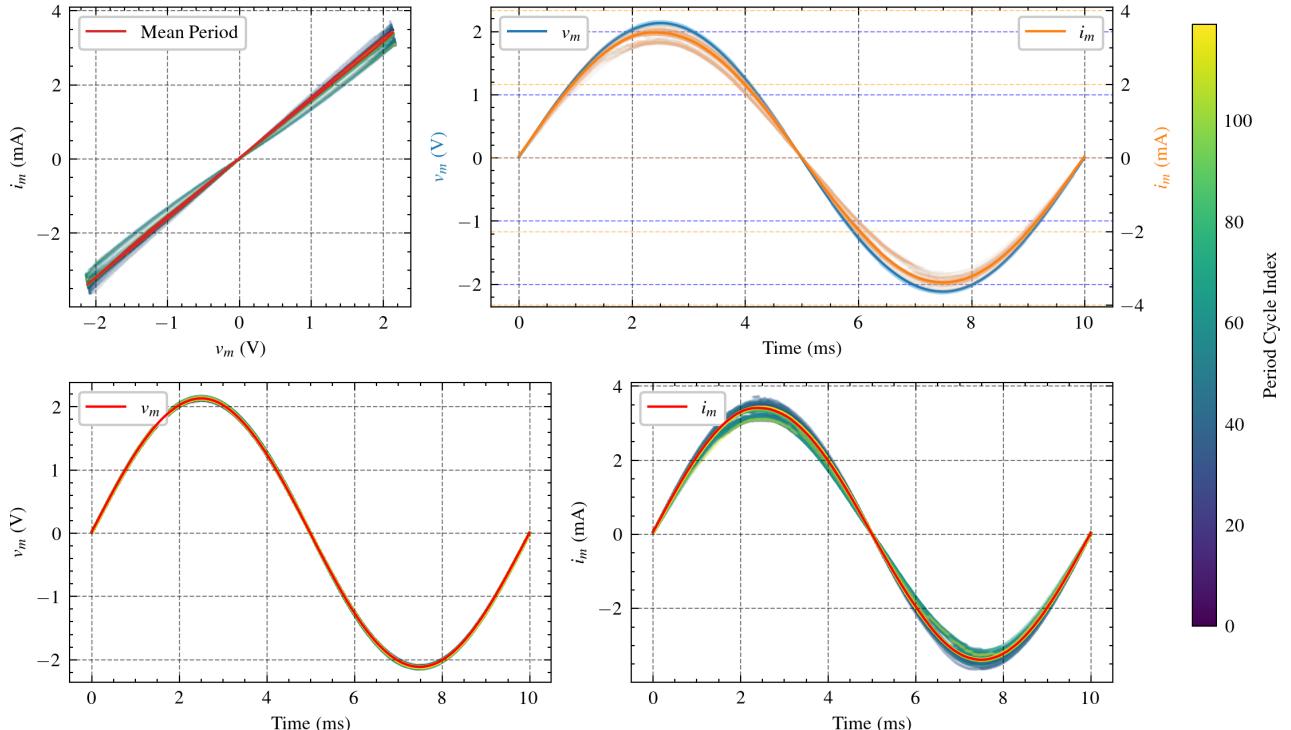
Rysunek 3: Pozycja: (1,1)

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 10.0 Hz, Rs: 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine  
Position: 2\_2

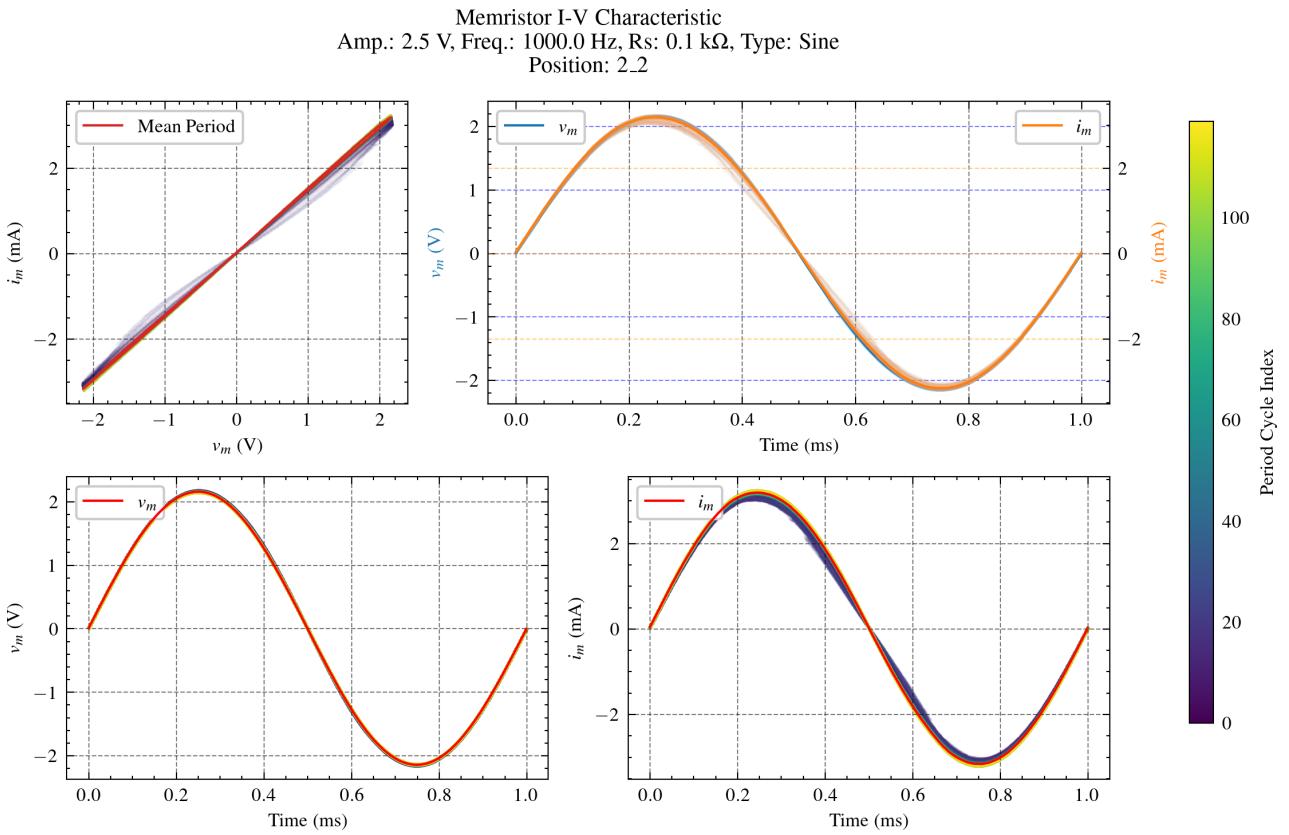


Rysunek 4: Pozycja: (2,2)

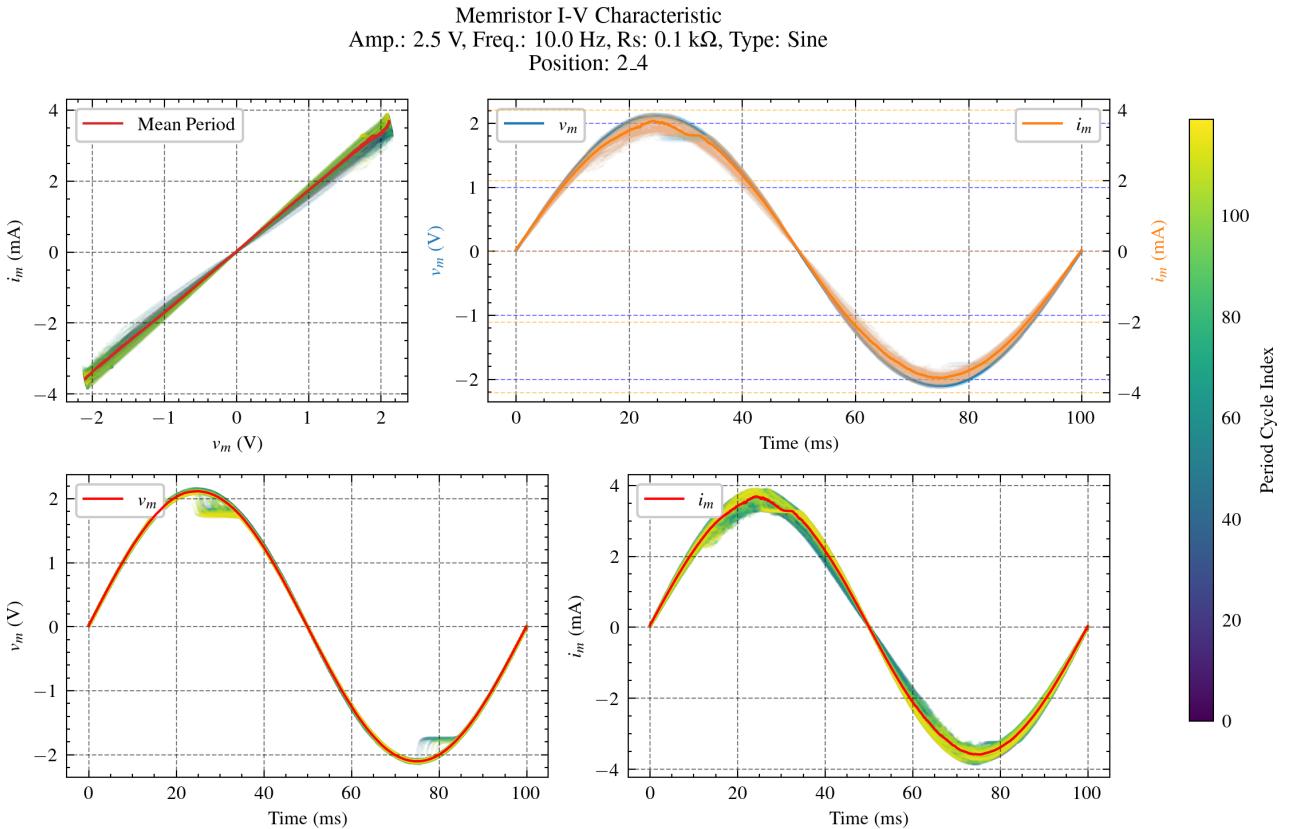
Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz, Rs: 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine  
Position: 2\_2



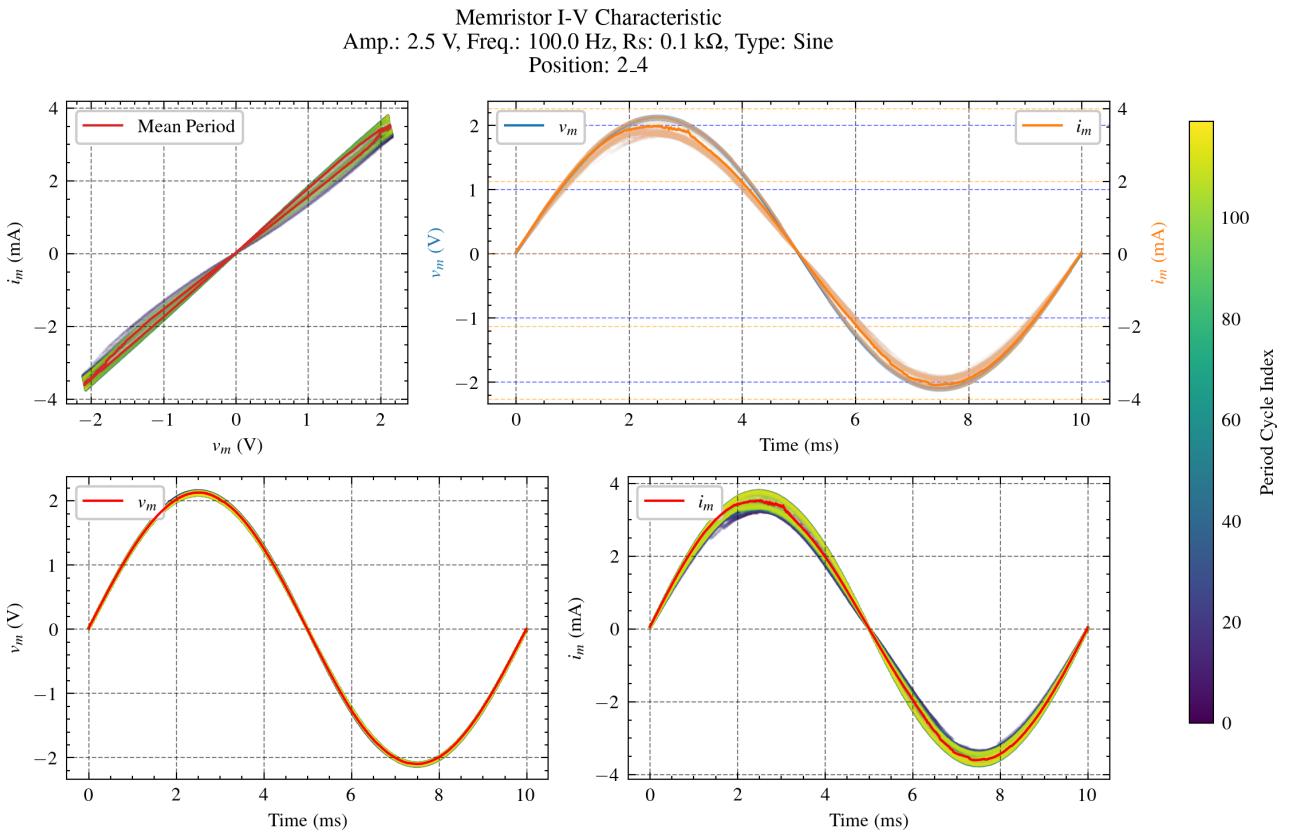
Rysunek 5: Pozycja: (2,2)



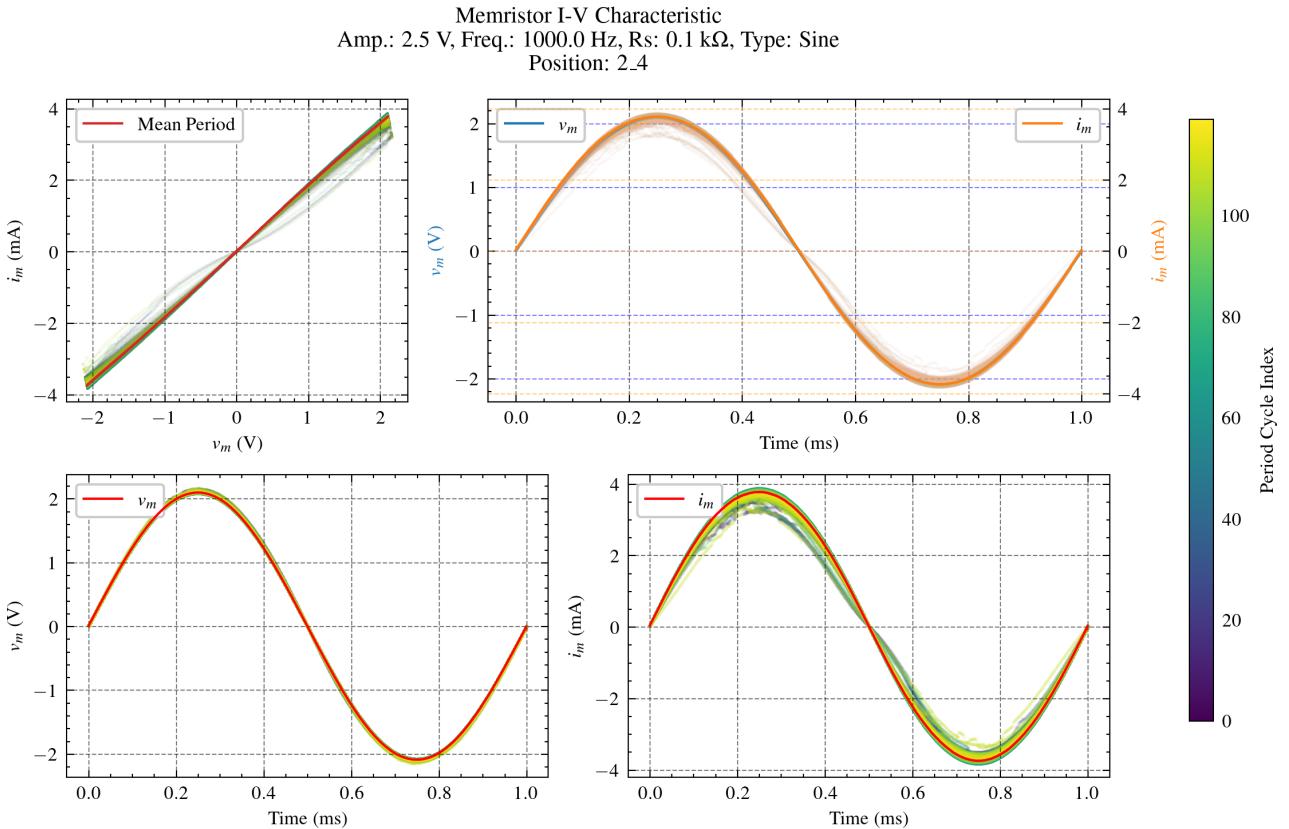
Rysunek 6: Pozycja: (2,2)



Rysunek 7: Pozycja: (2,4)

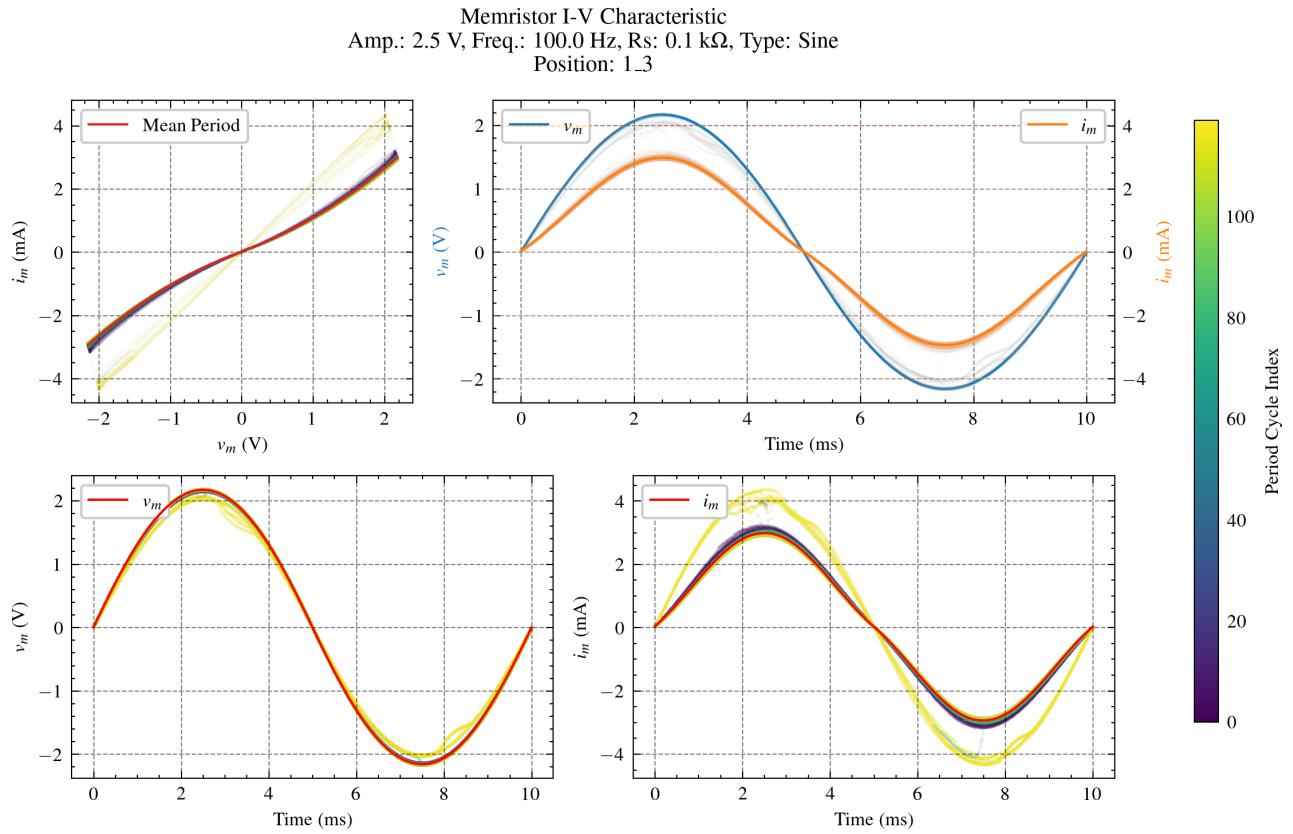


Rysunek 8: Pozycja: (2,4)

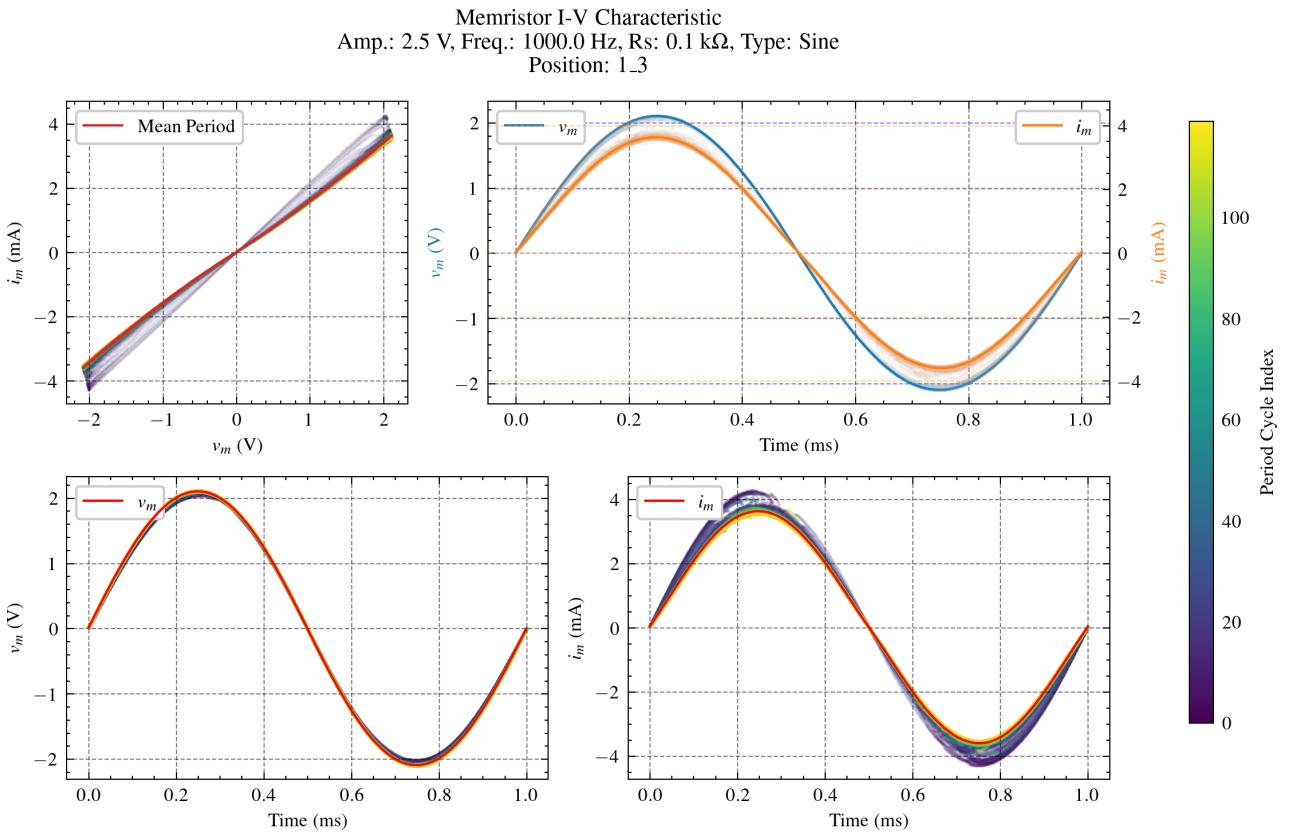


Rysunek 9: Pozycja: (2,4)

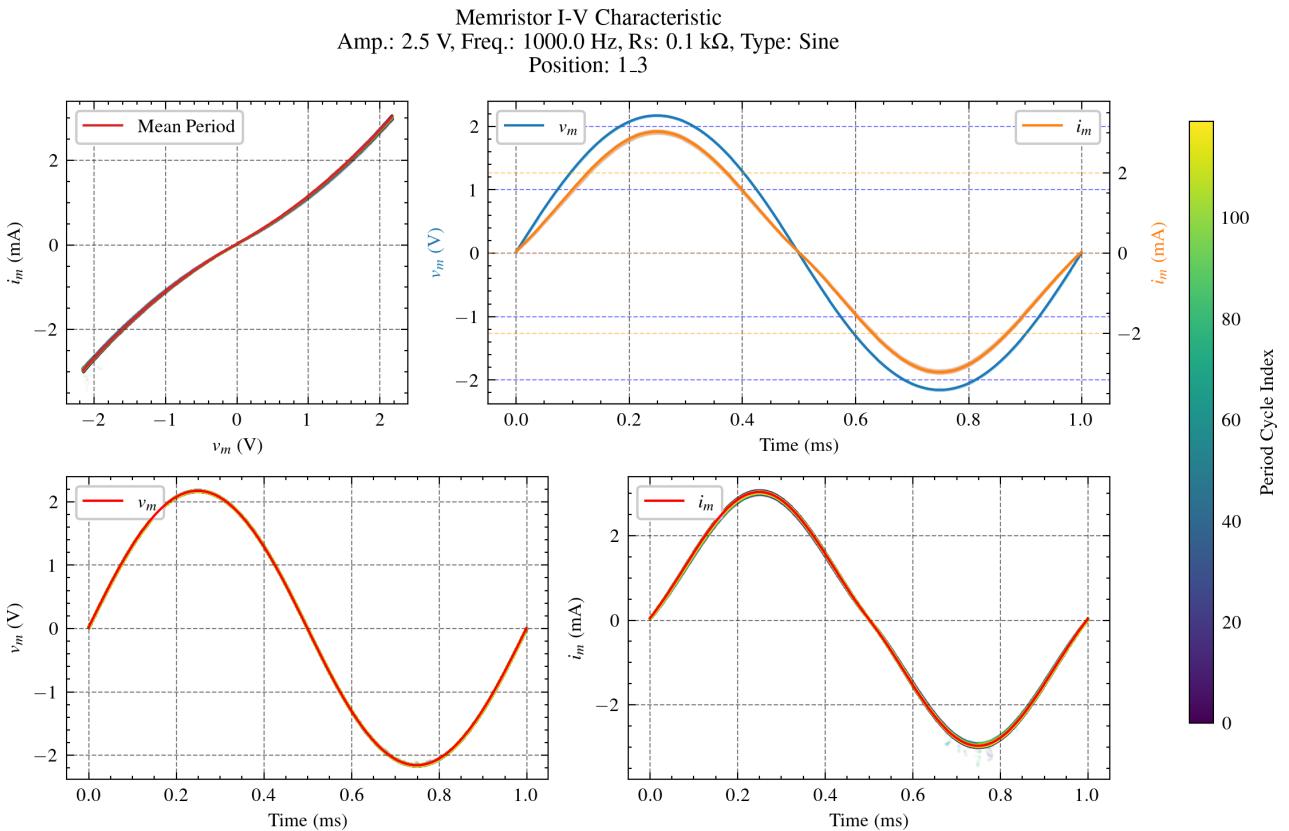
### 3.2 Memristor w pozycji II (perwen)



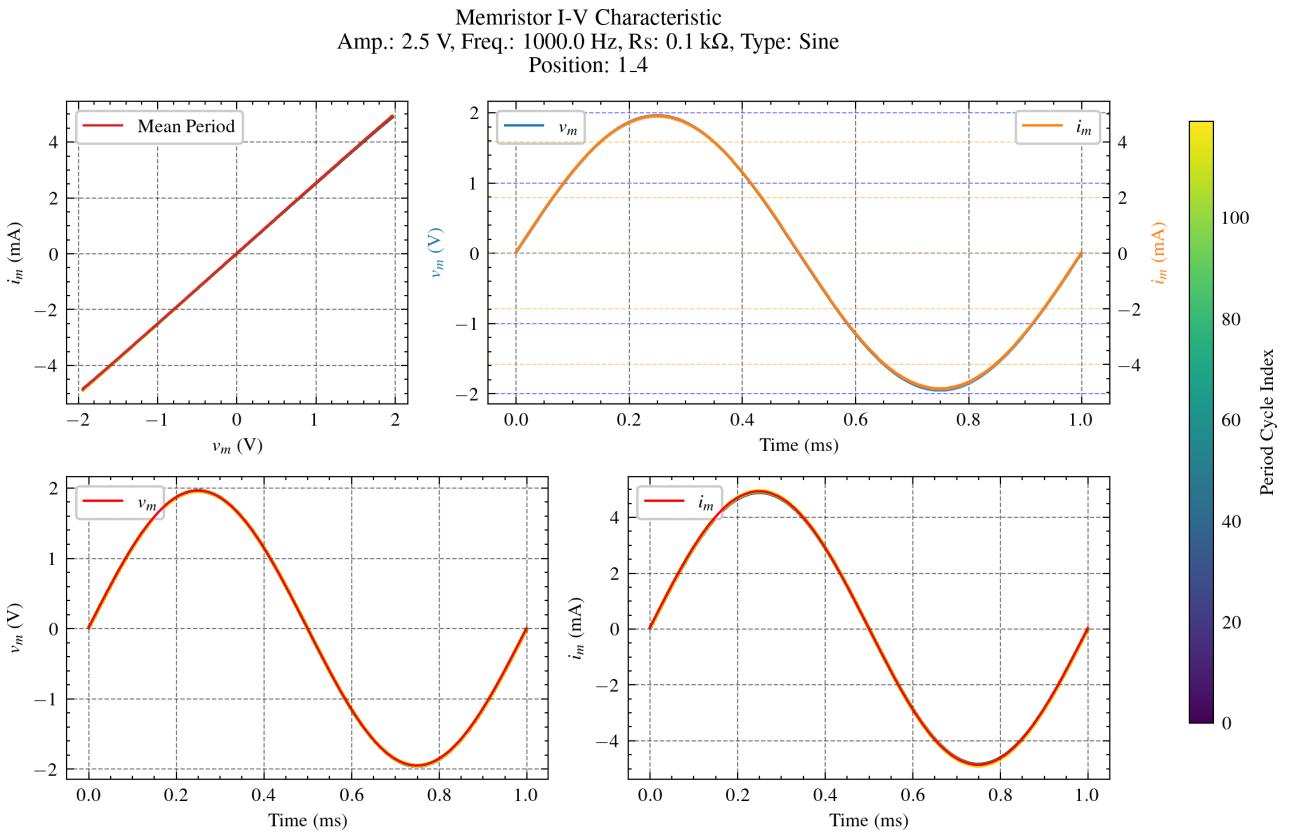
Rysunek 10: Pozycja: (1,3)



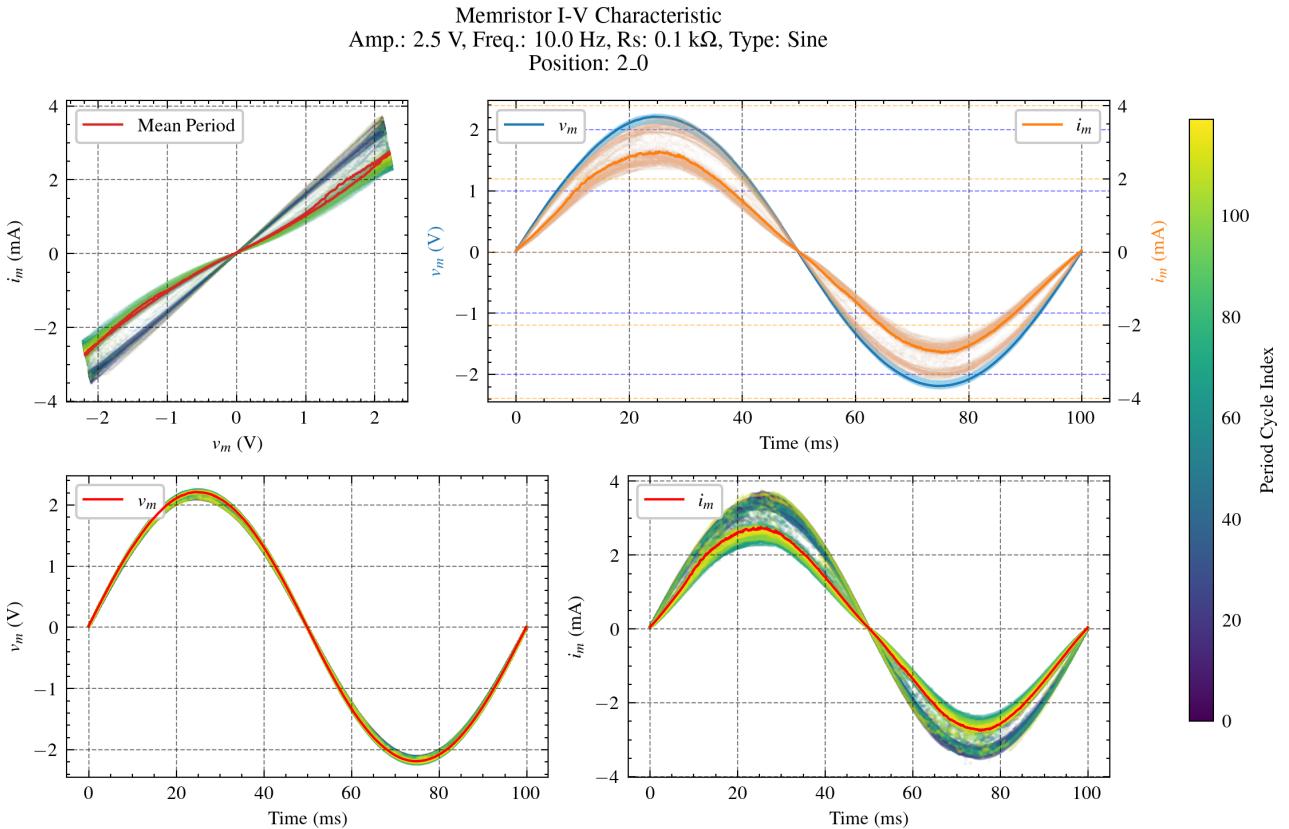
Rysunek 11: Pozycja: (1,3)



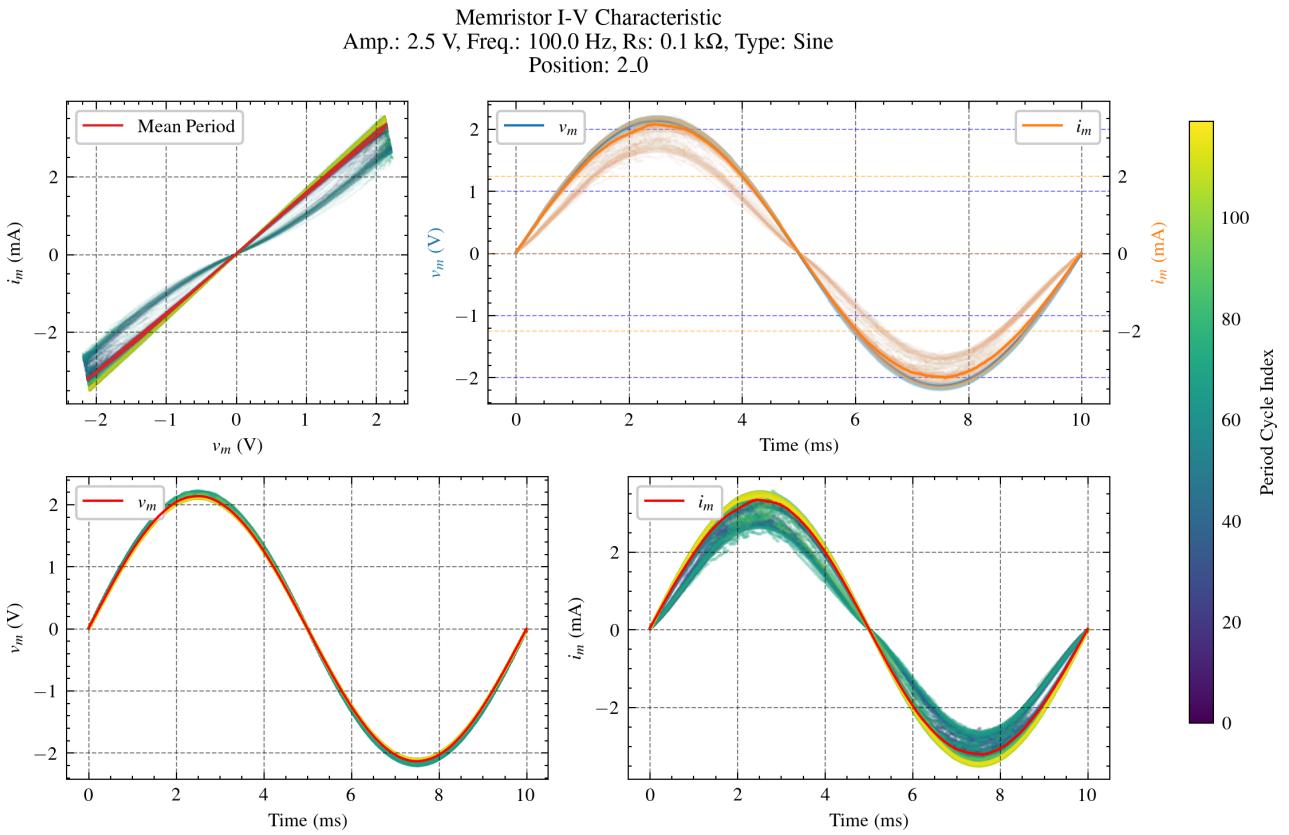
Rysunek 12: Pozycja: (1,3)



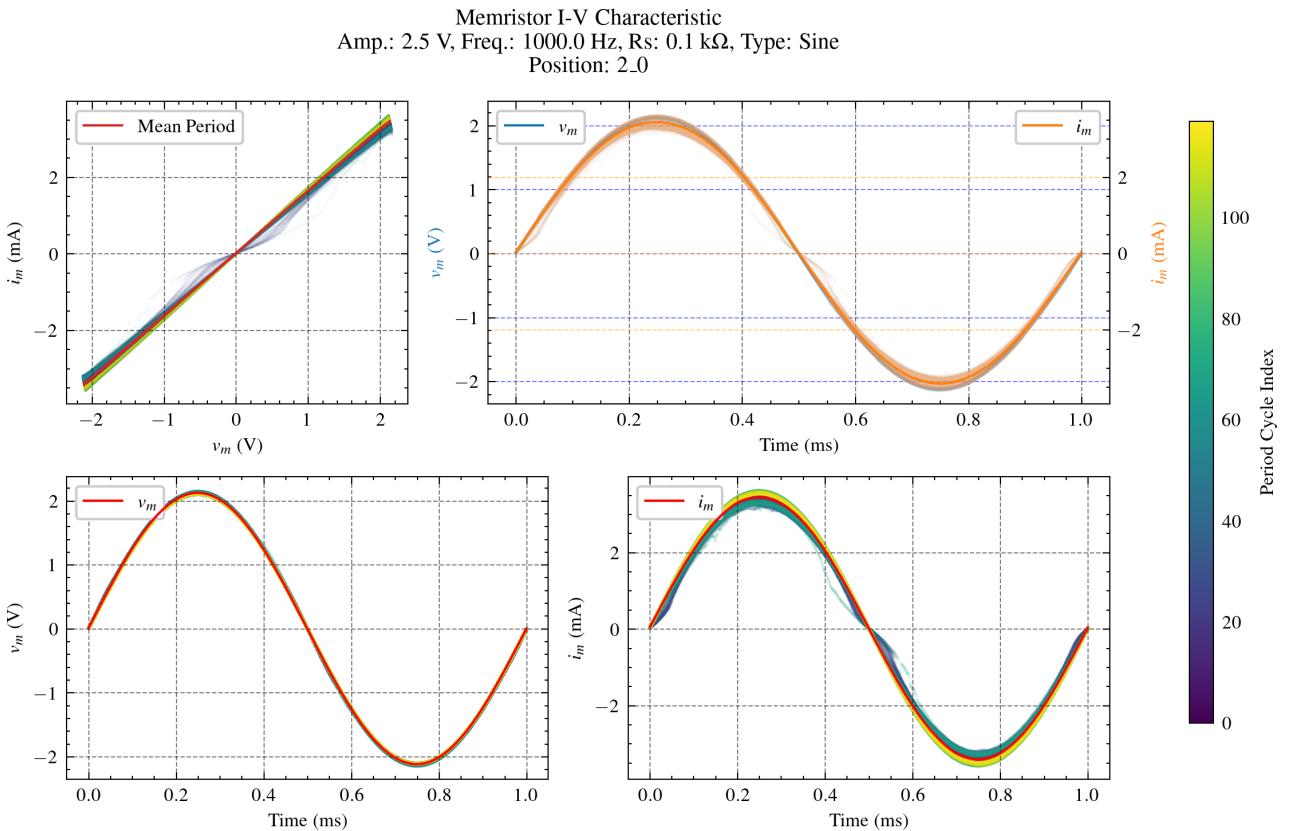
Rysunek 13: Pozycja: (1,4)



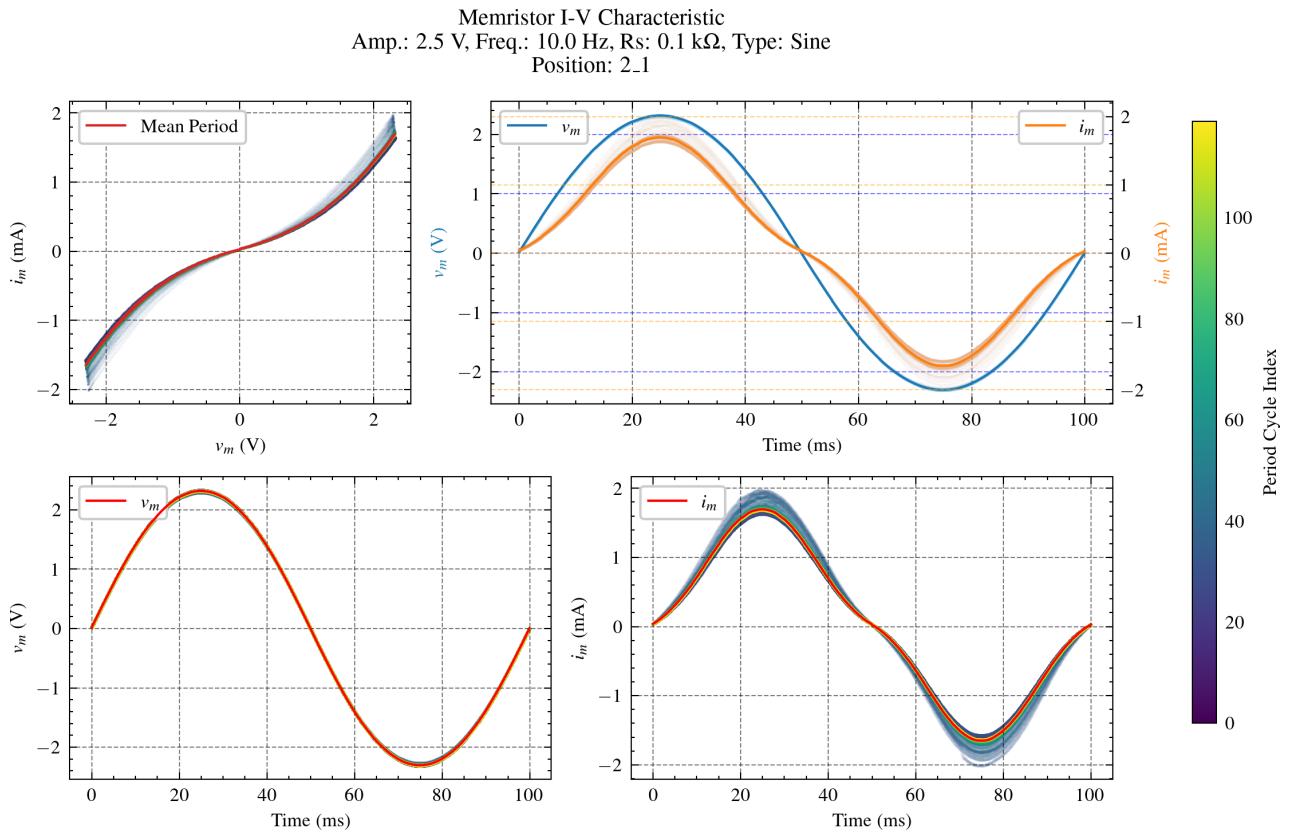
Rysunek 14: Pozycja: (2,0)



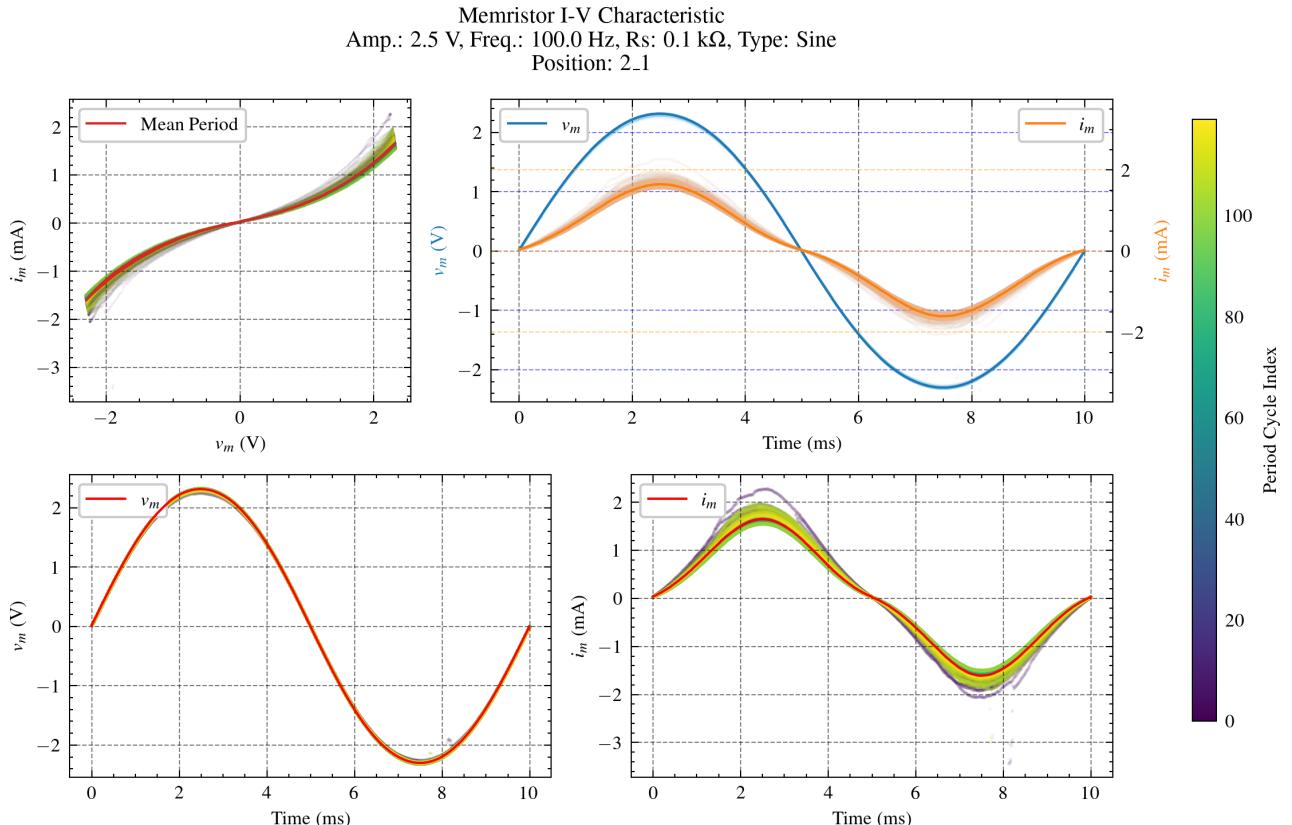
Rysunek 15: Pozycja: (2,0)



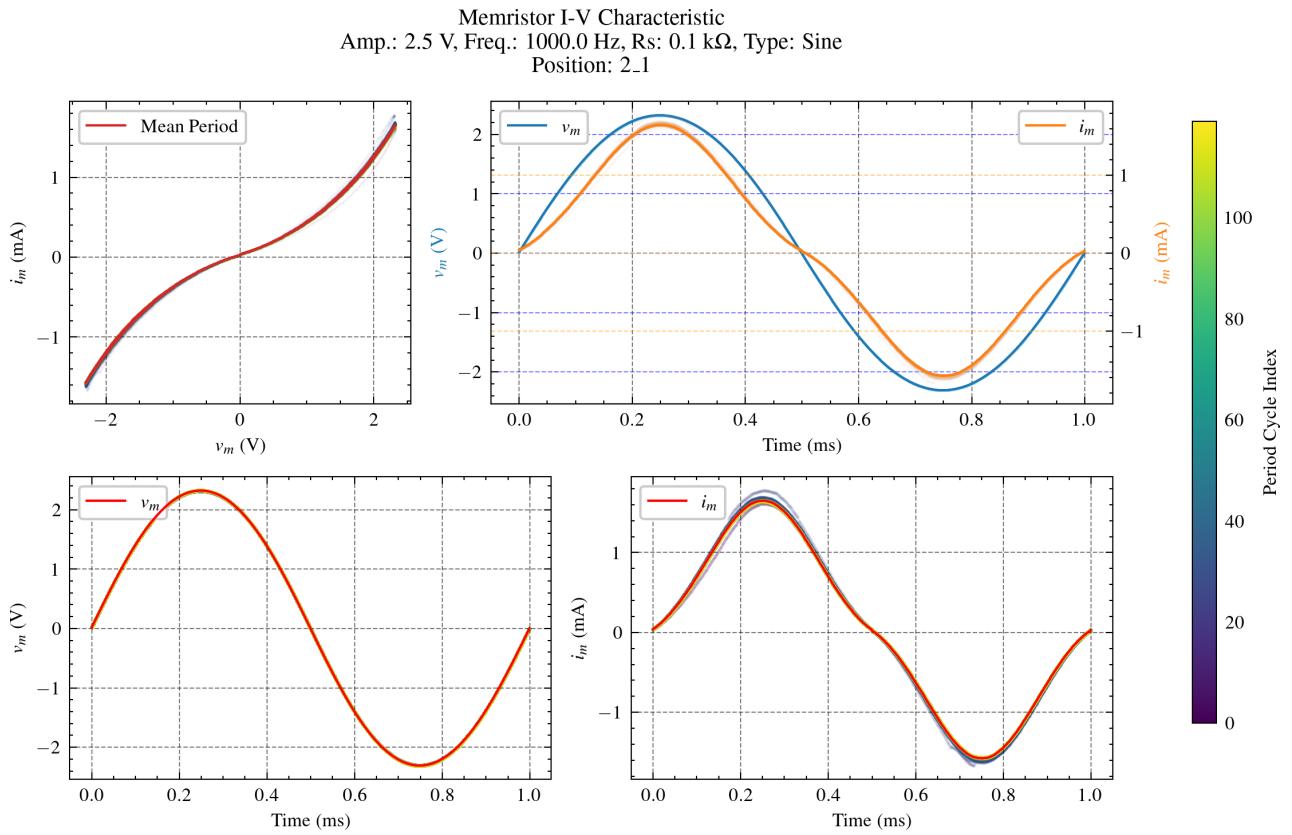
Rysunek 16: Pozycja: (2,0)



Rysunek 17: Pozycja: (2,1)



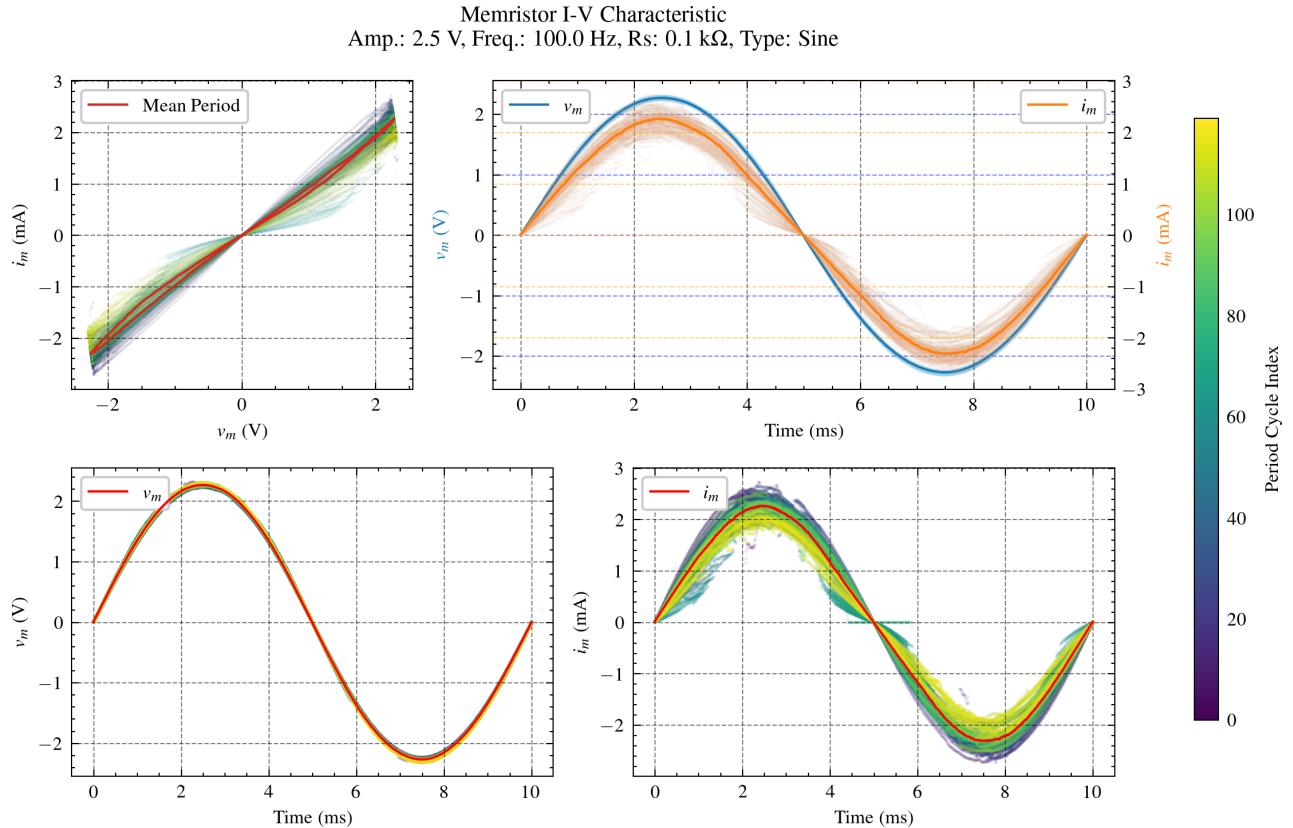
Rysunek 18: Pozycja: (2,1)



Rysunek 19: Pozycja: (2,1)

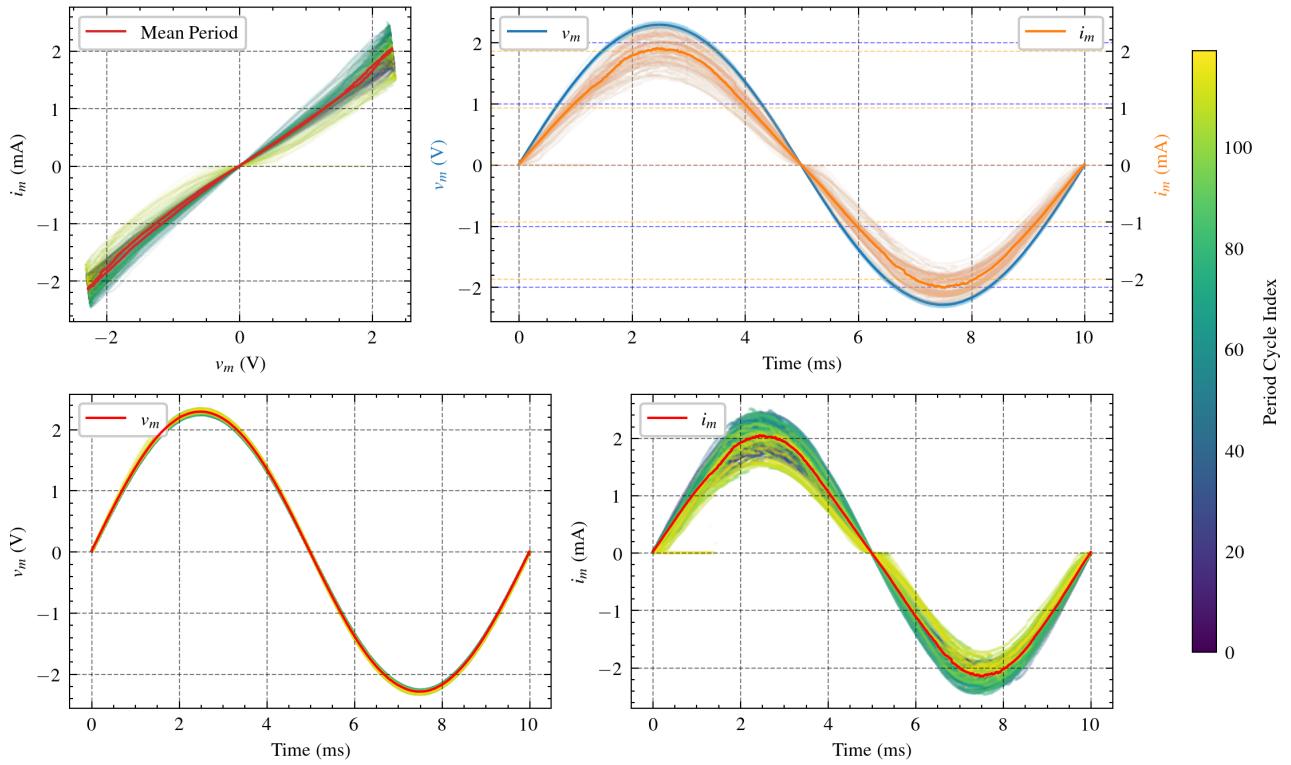
## 4 Wyniki pomiarów, bez sprecyzowanej pozycji memrys-tora

### 4.1 Memrystor I (cuaspf)



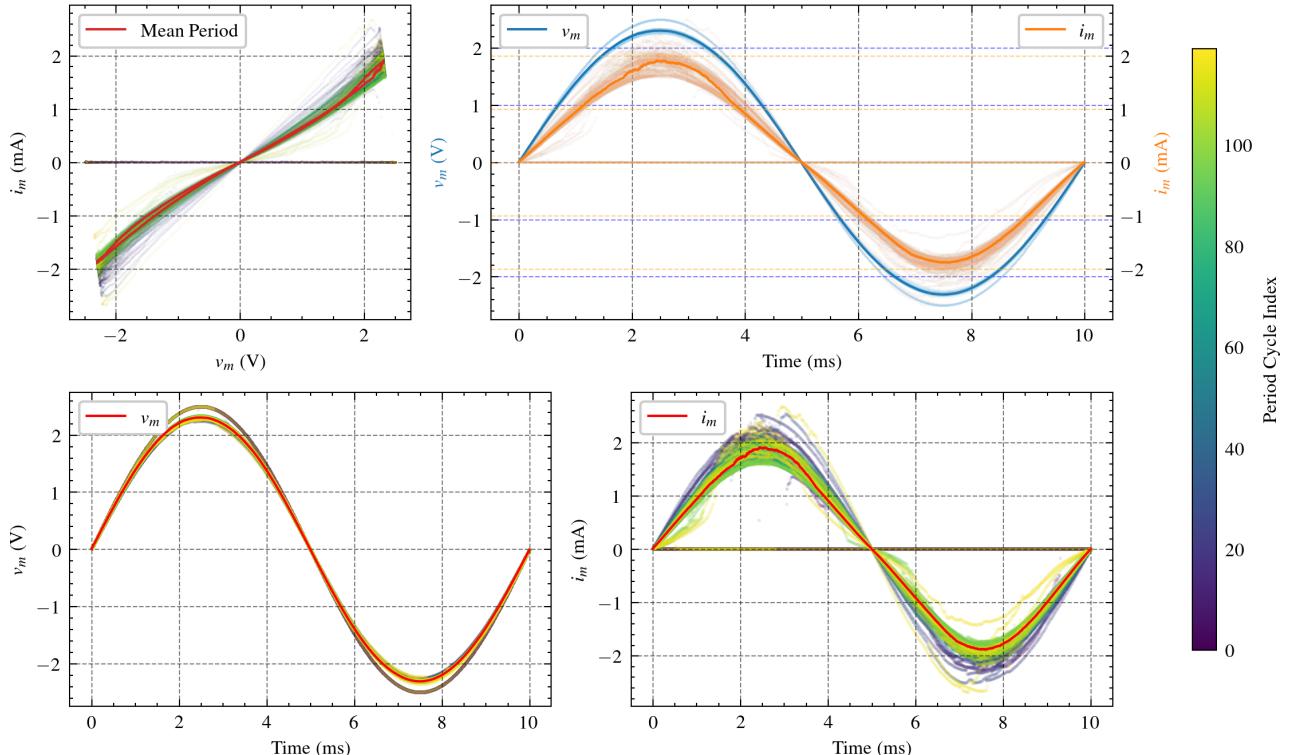
Rysunek 20

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine



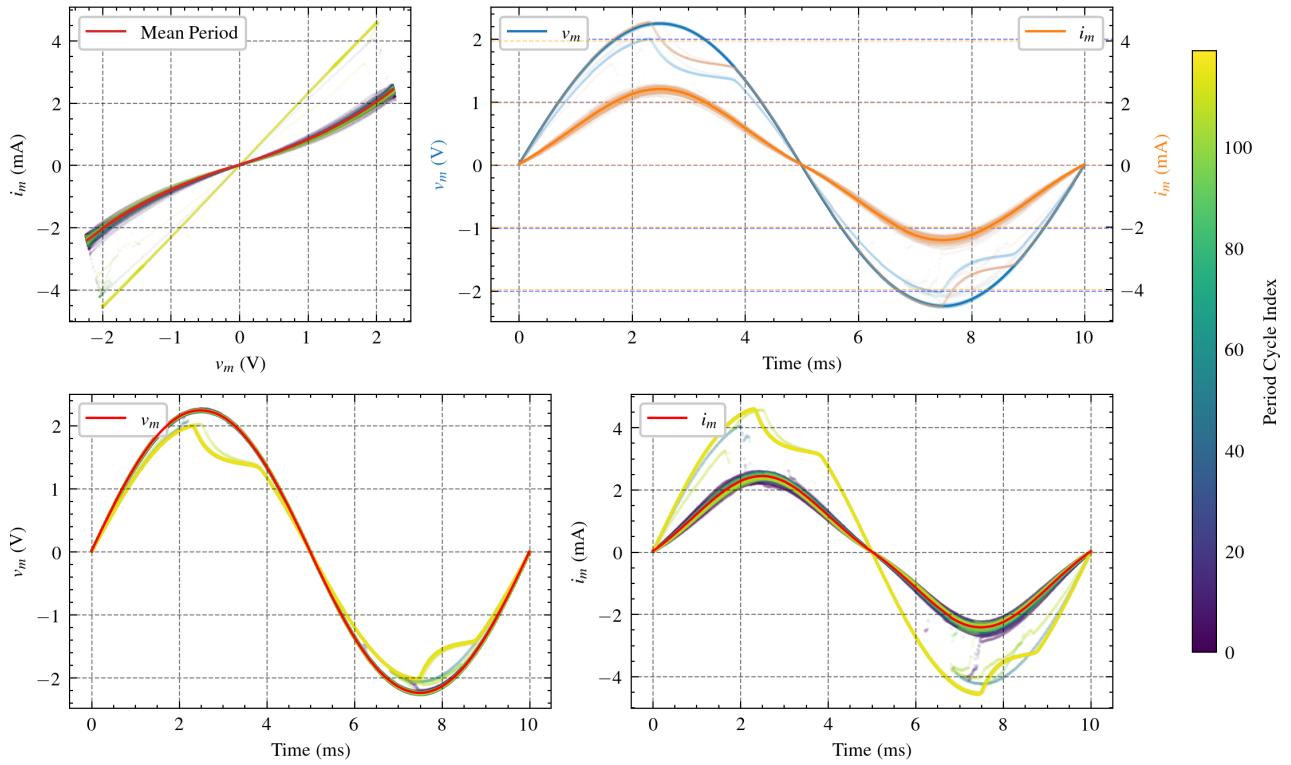
Rysunek 21

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine



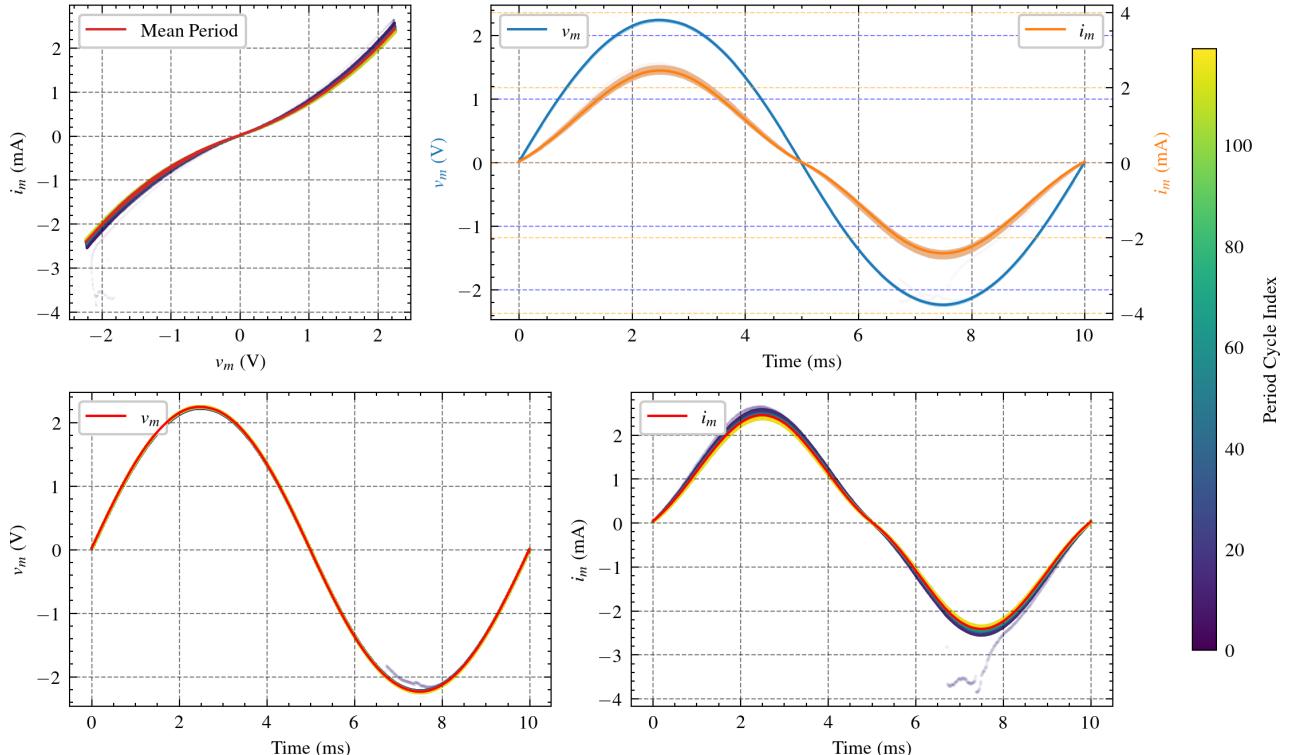
Rysunek 22

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz, Rs: 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine



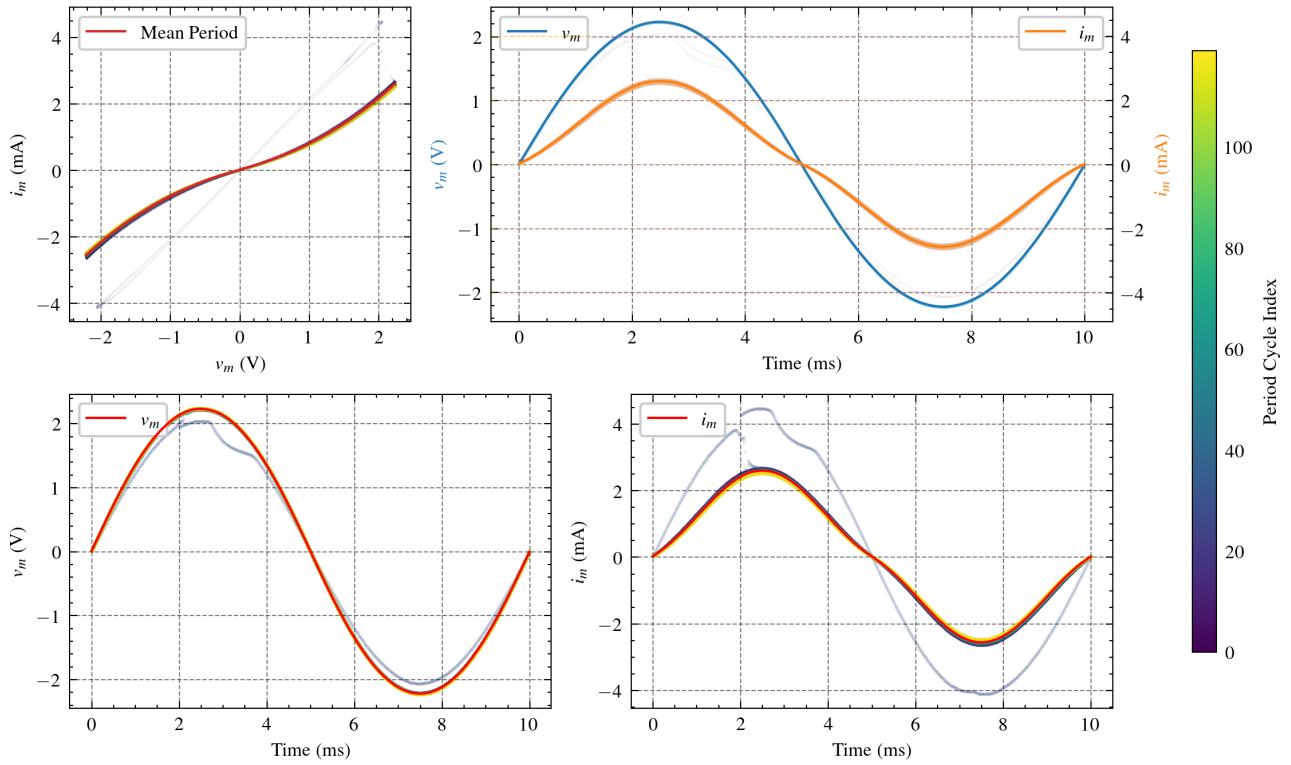
Rysunek 23

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz, Rs: 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine



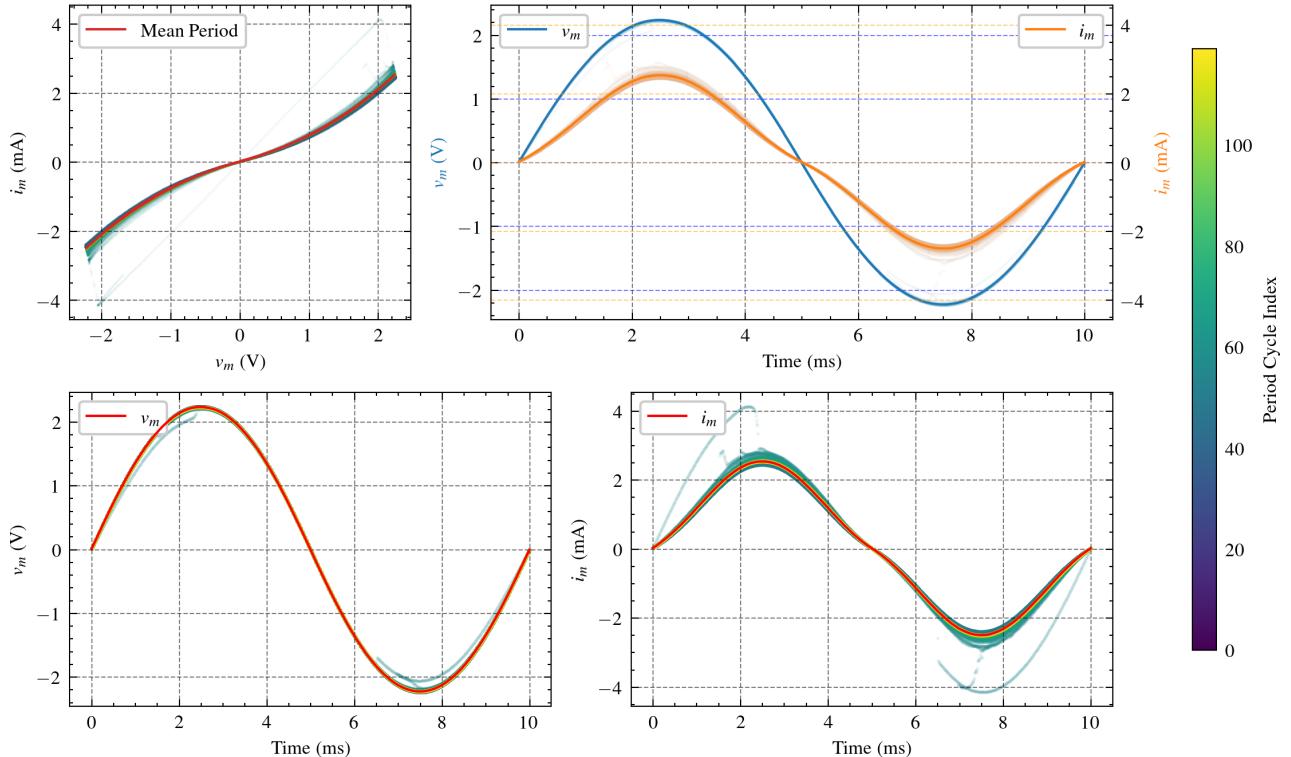
Rysunek 24

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine

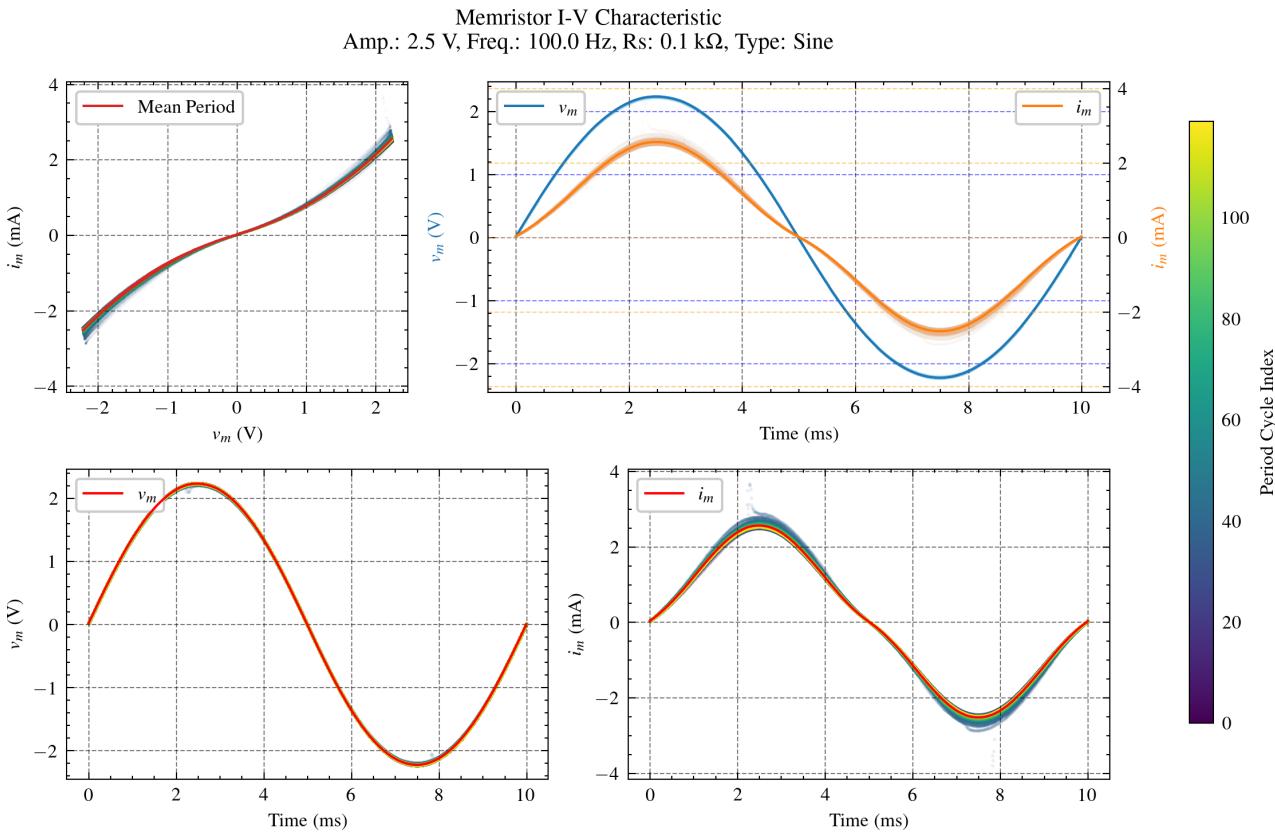


Rysunek 25

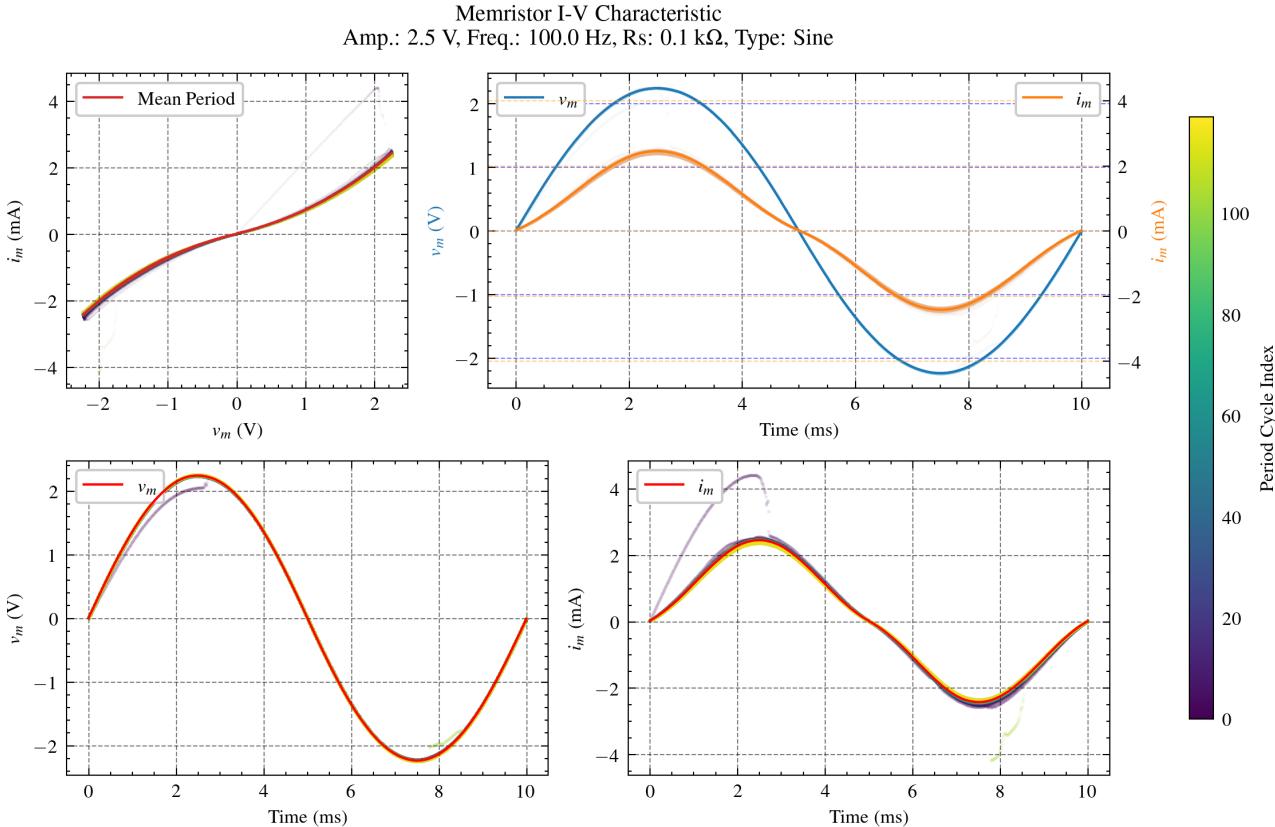
Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine



Rysunek 26

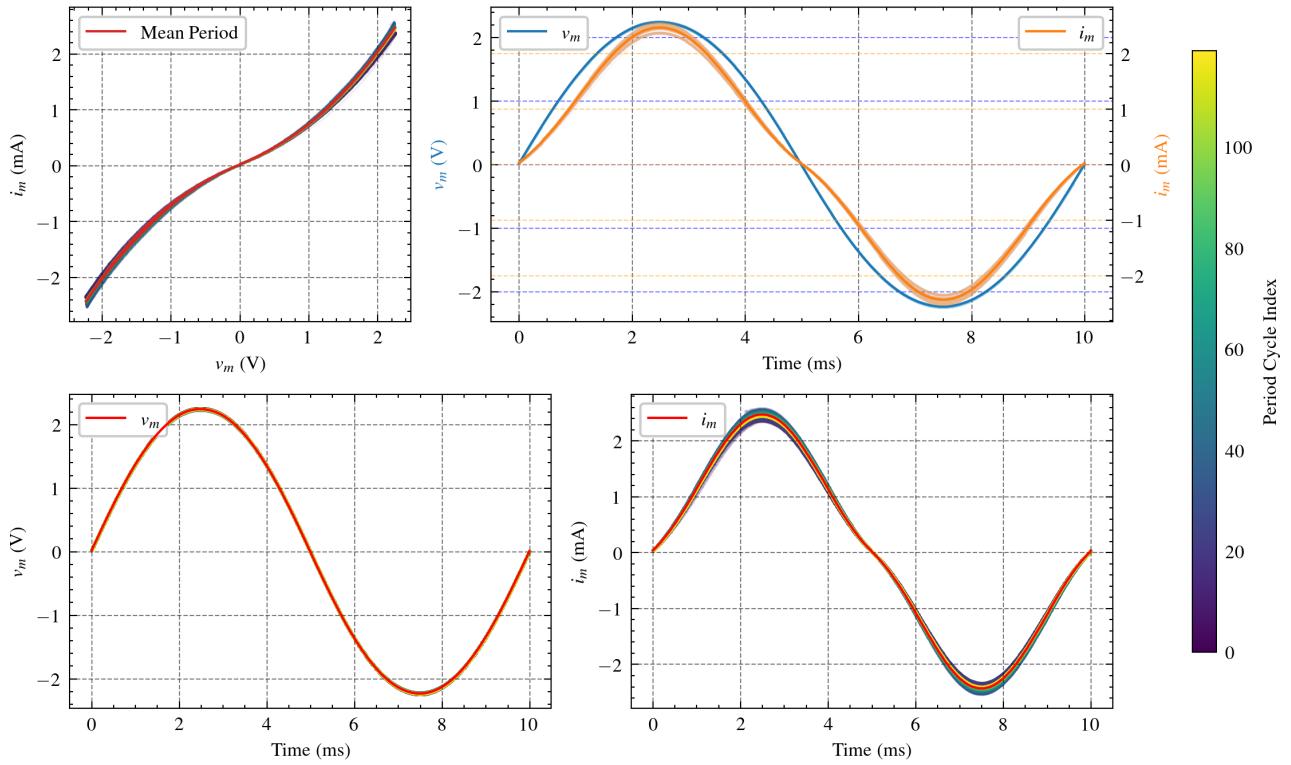


Rysunek 27



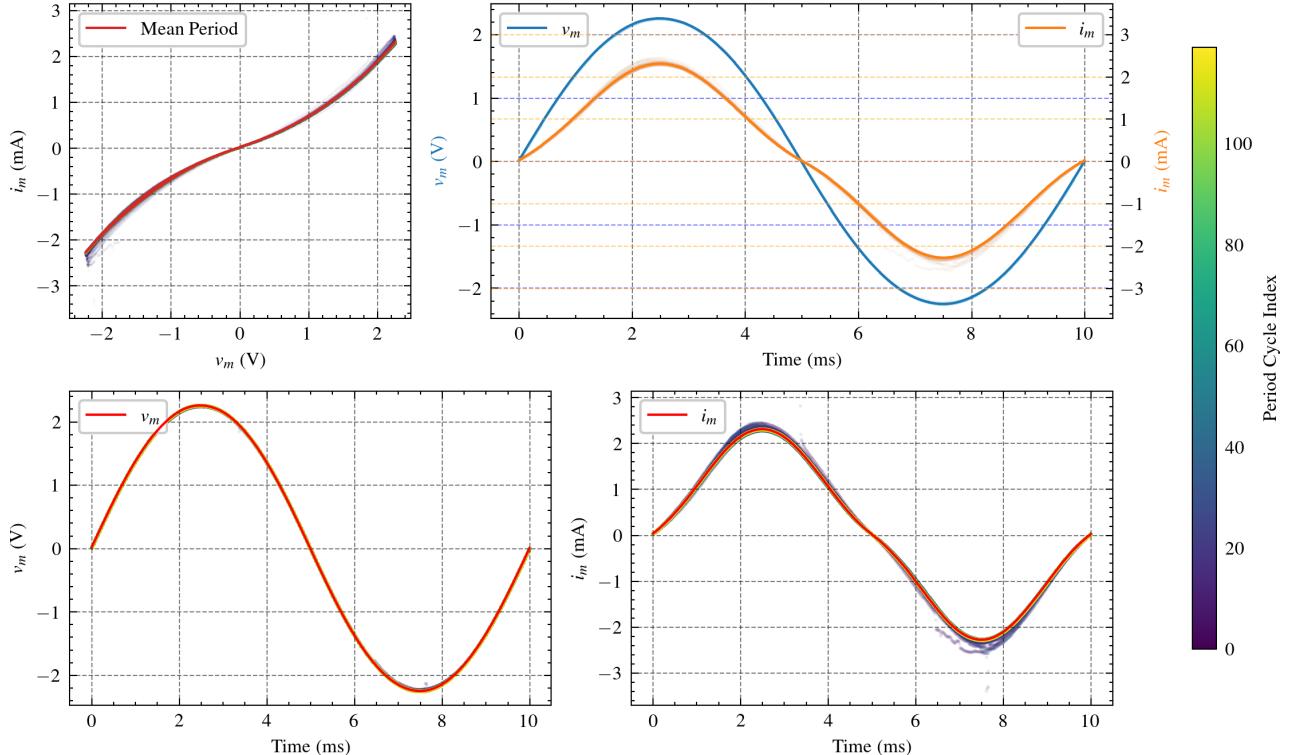
Rysunek 28

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine



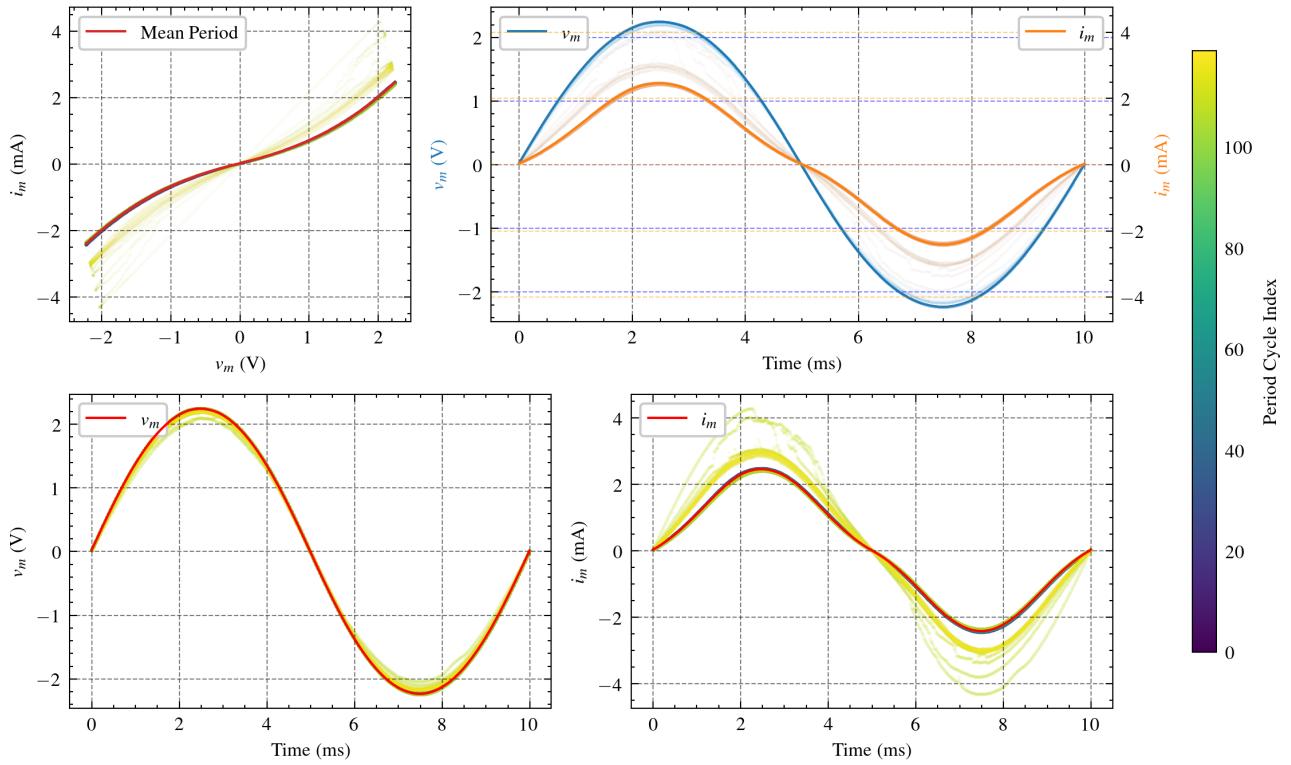
Rysunek 29

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine



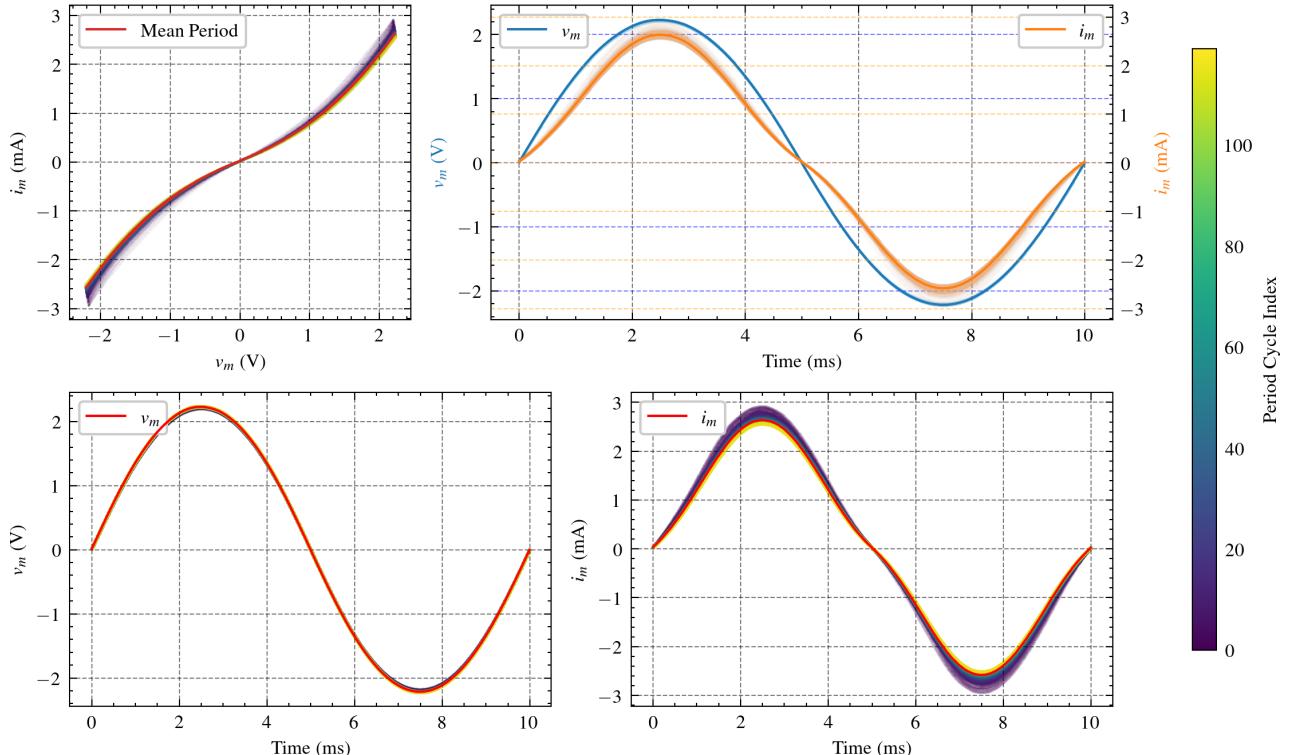
Rysunek 30

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine

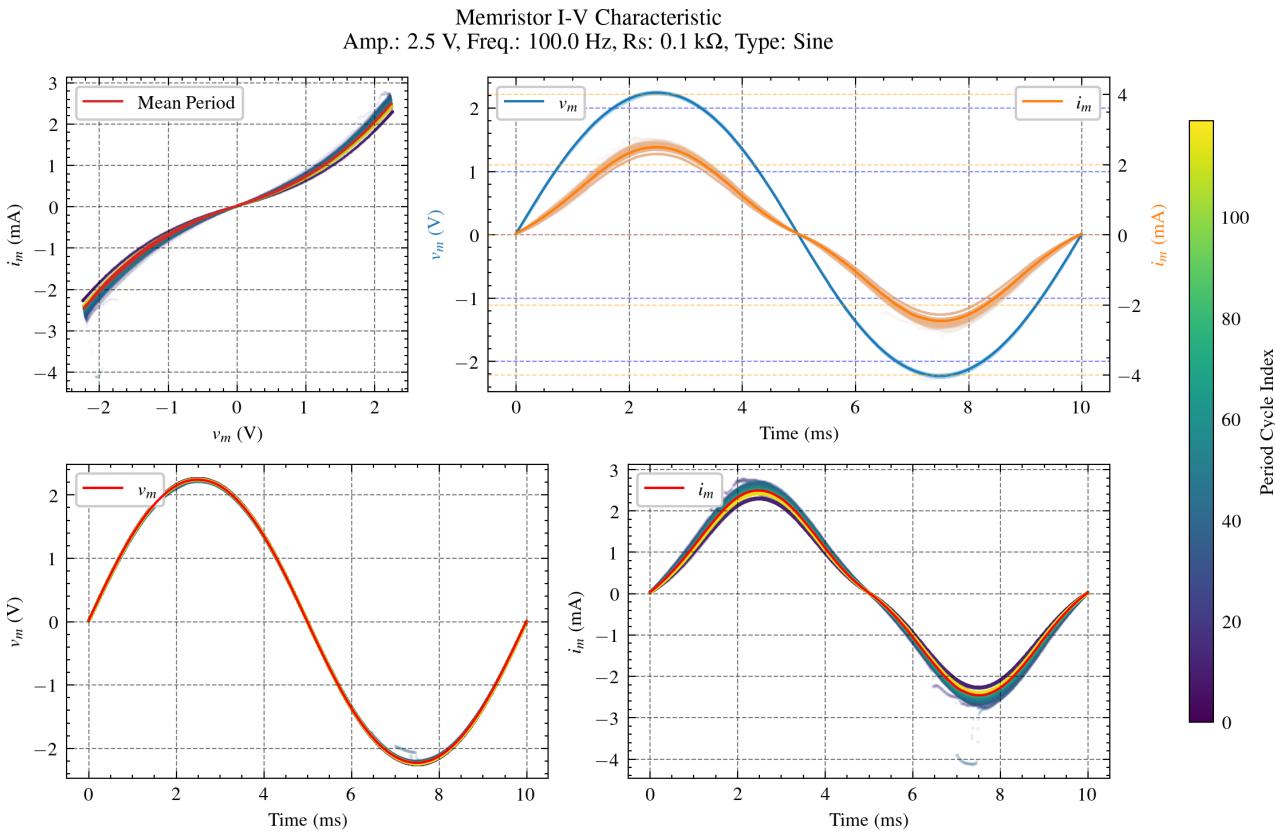


Rysunek 31

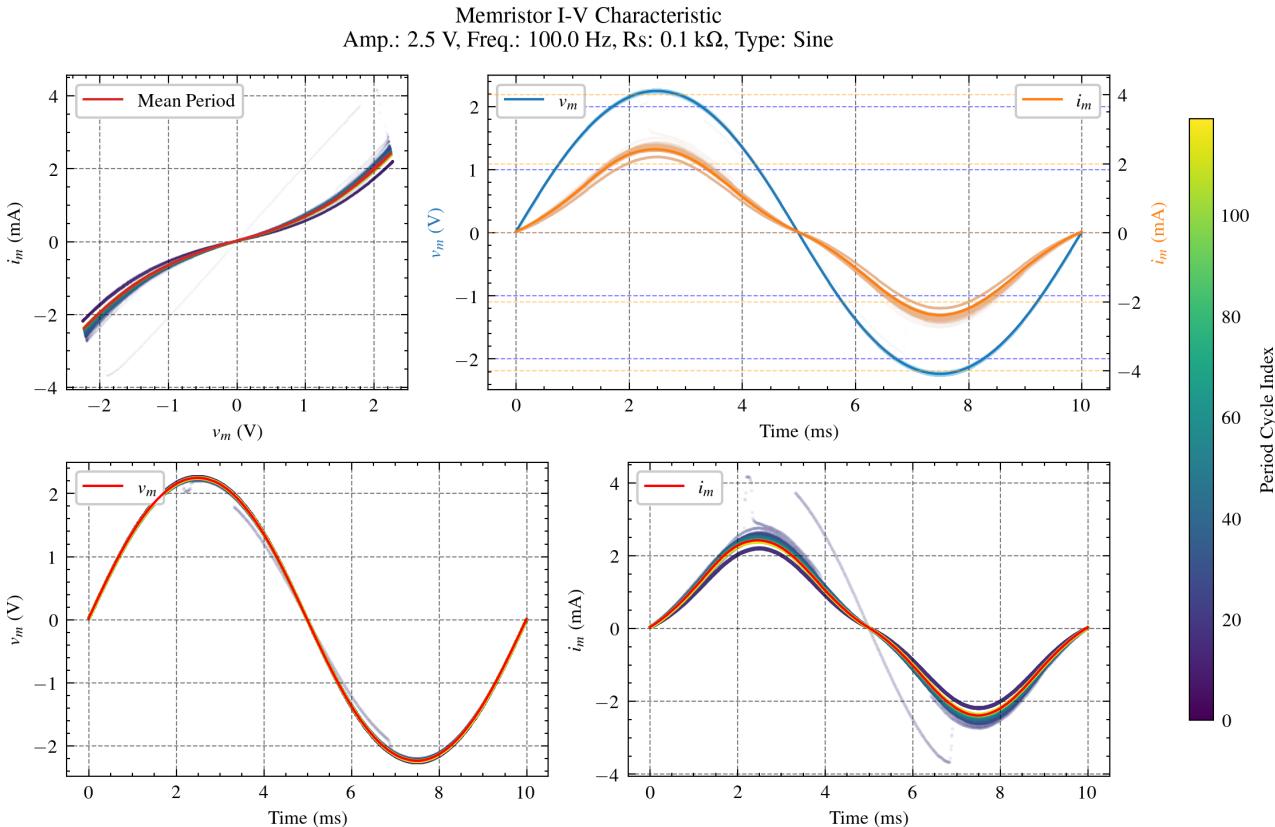
Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine



Rysunek 32

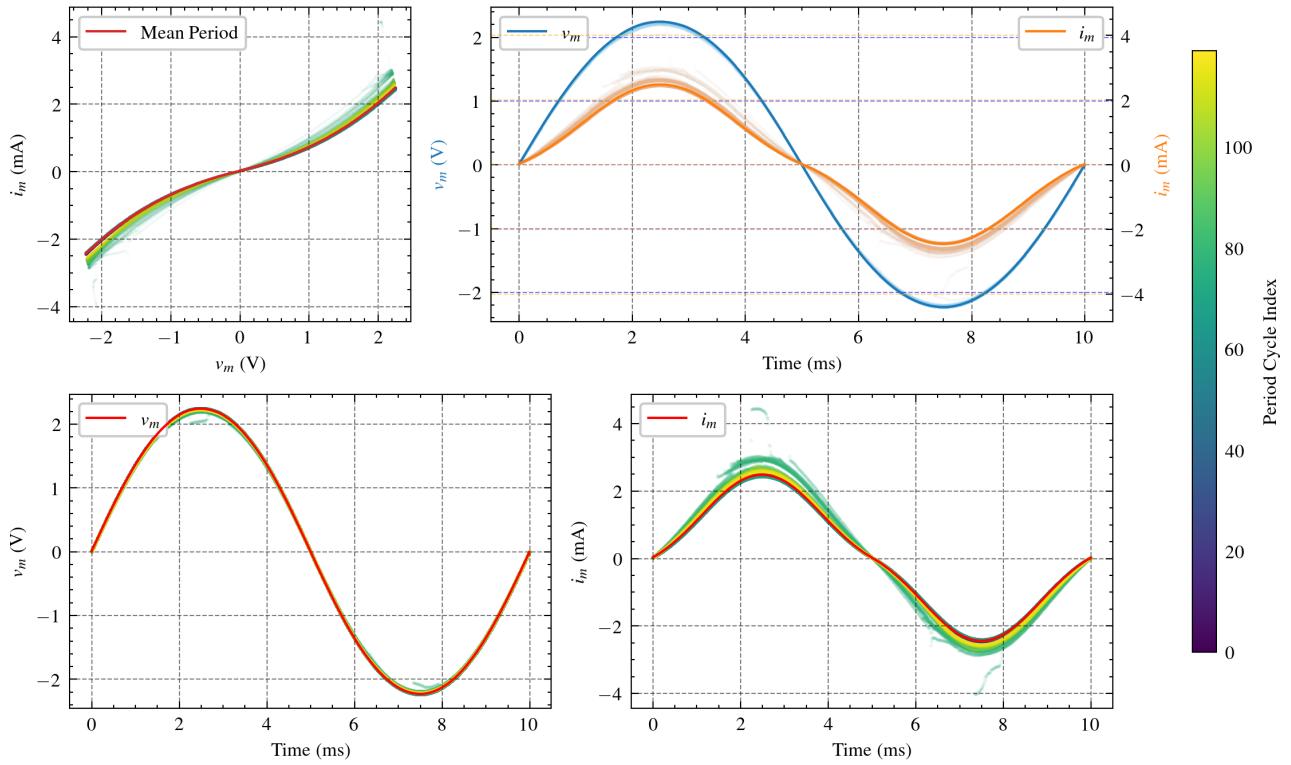


Rysunek 33



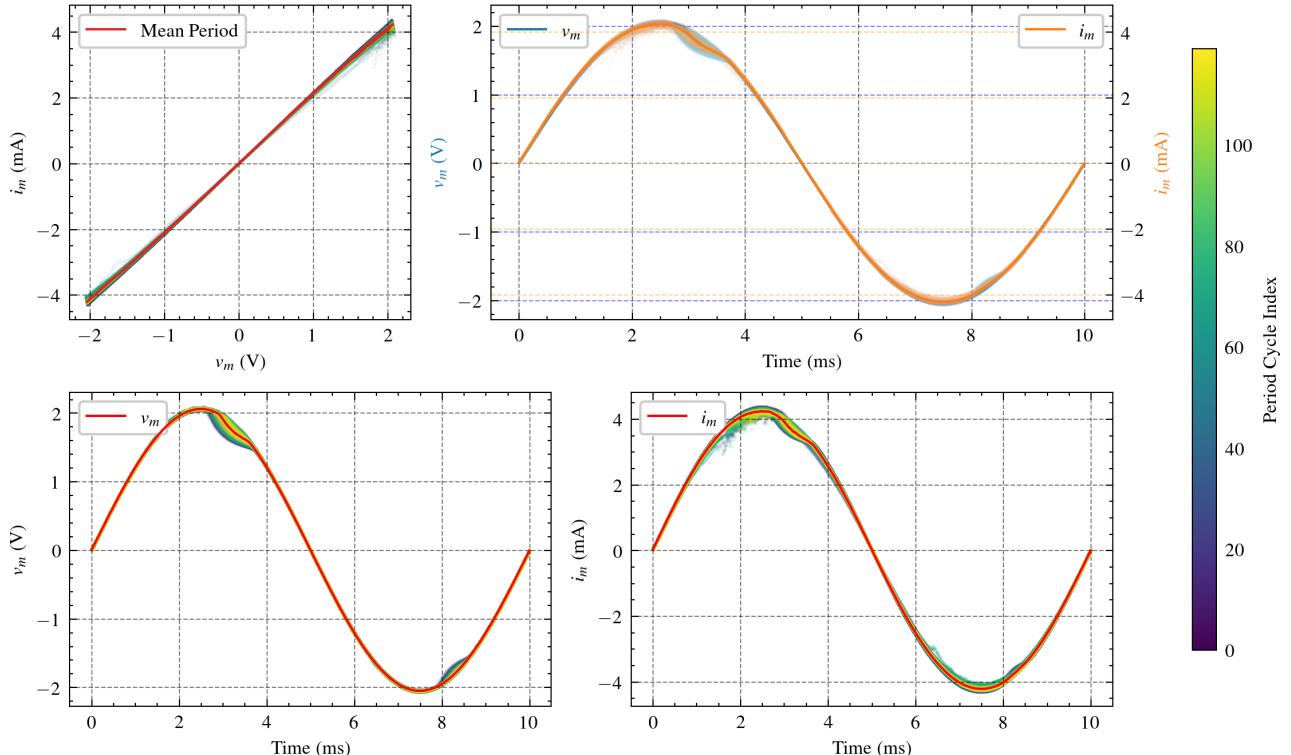
Rysunek 34

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine



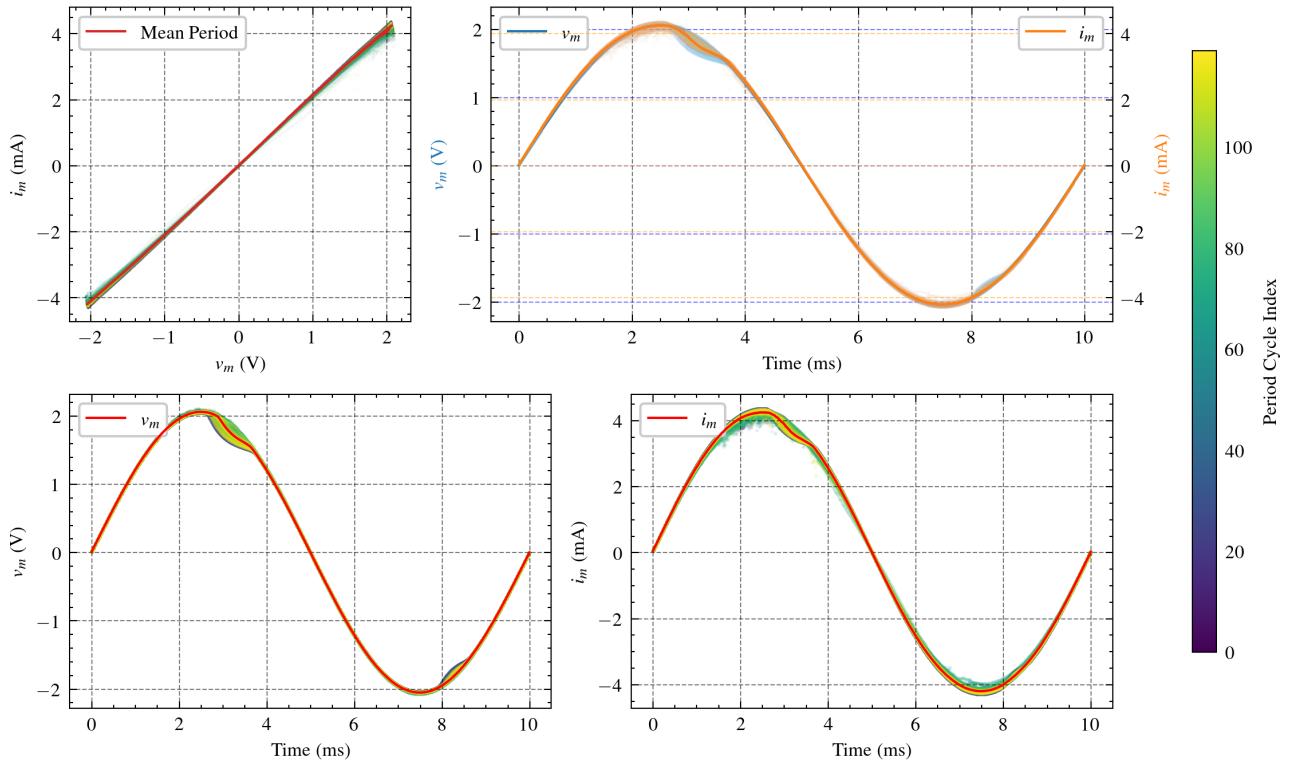
Rysunek 35

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine



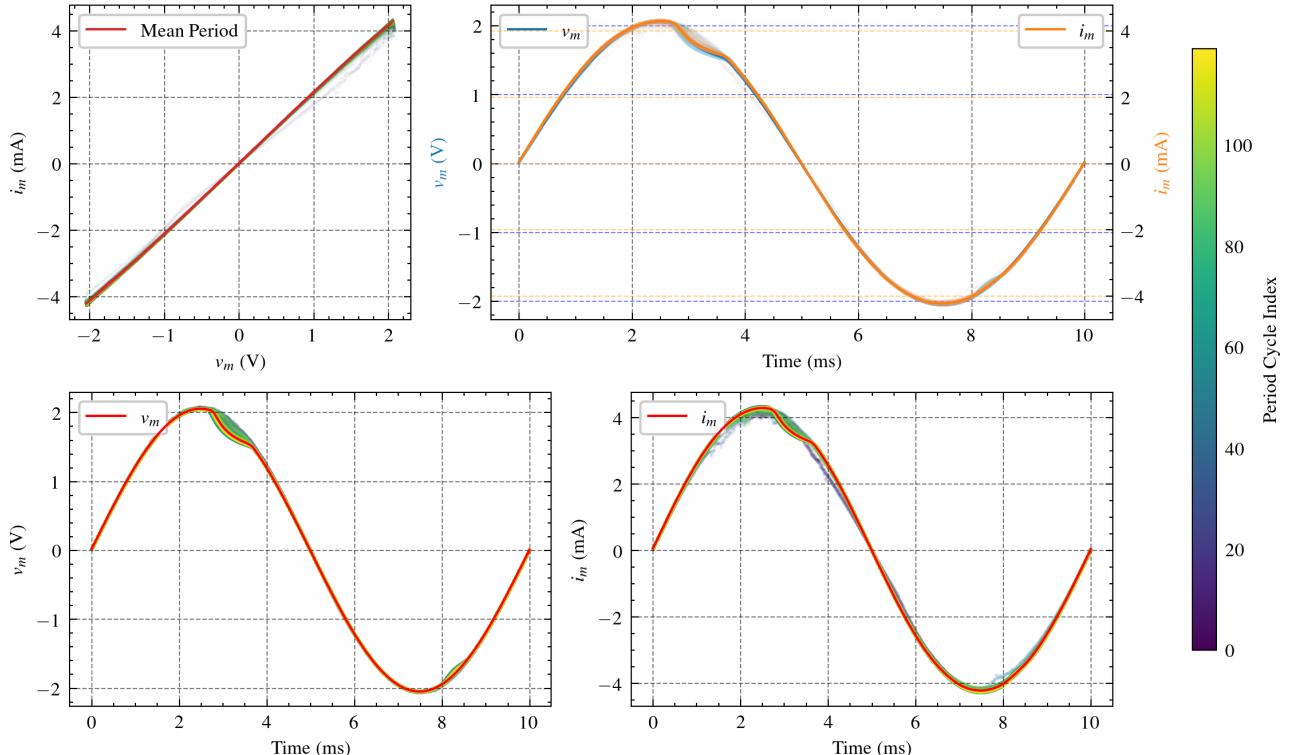
Rysunek 36

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine



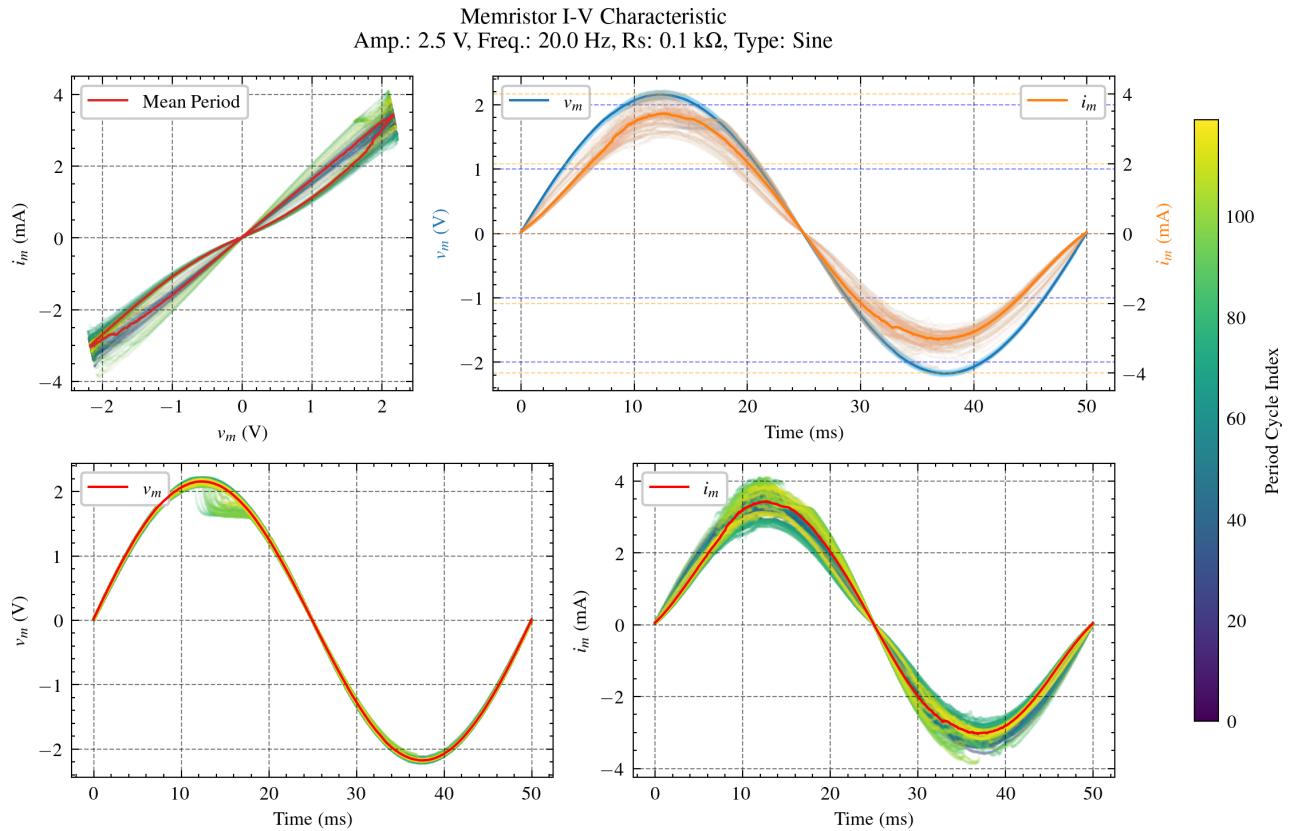
Rysunek 37

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine



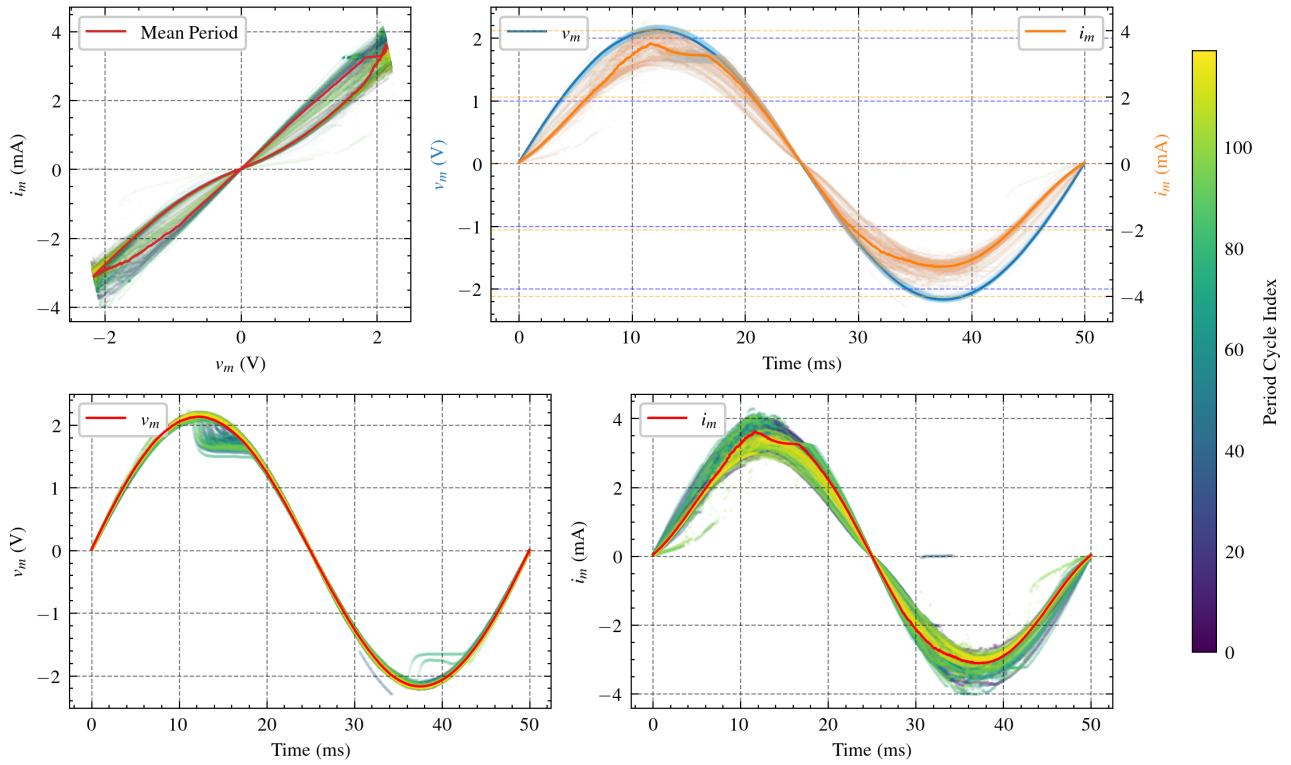
Rysunek 38

## 4.2 Memristor II (perwen)



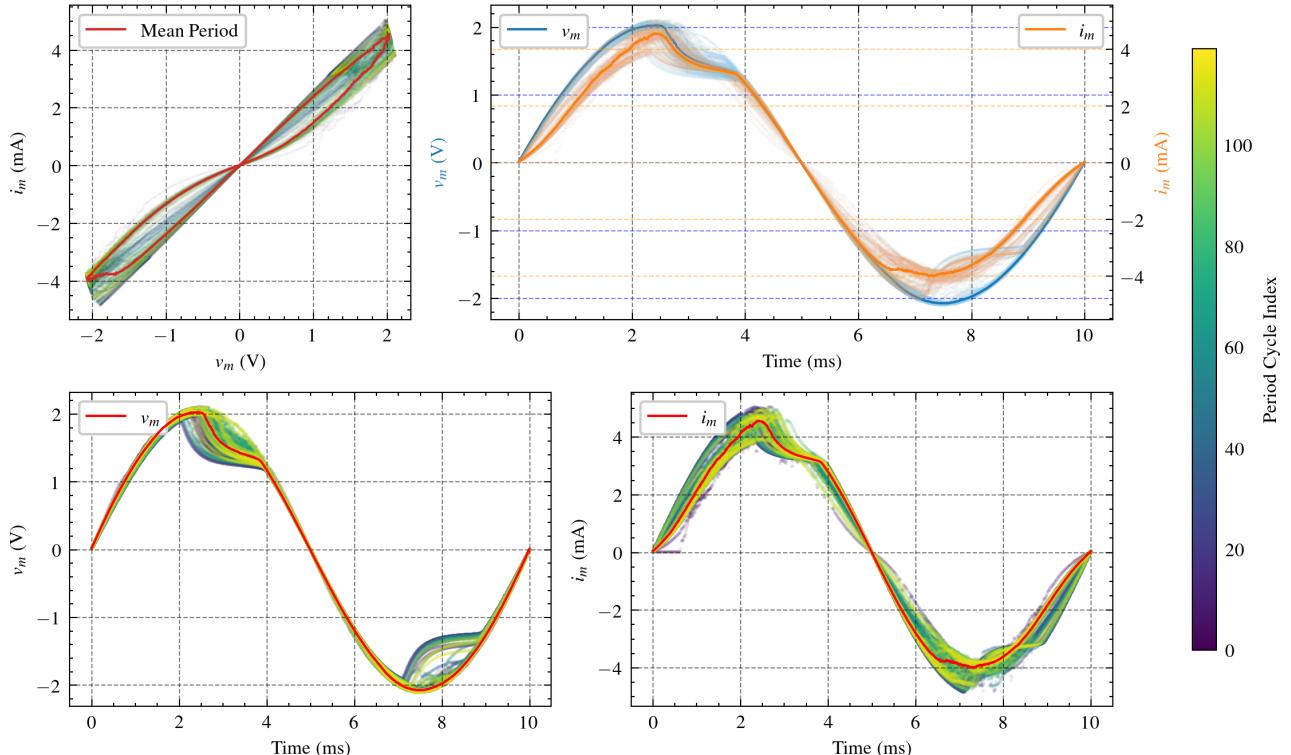
Rysunek 39

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 20.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine



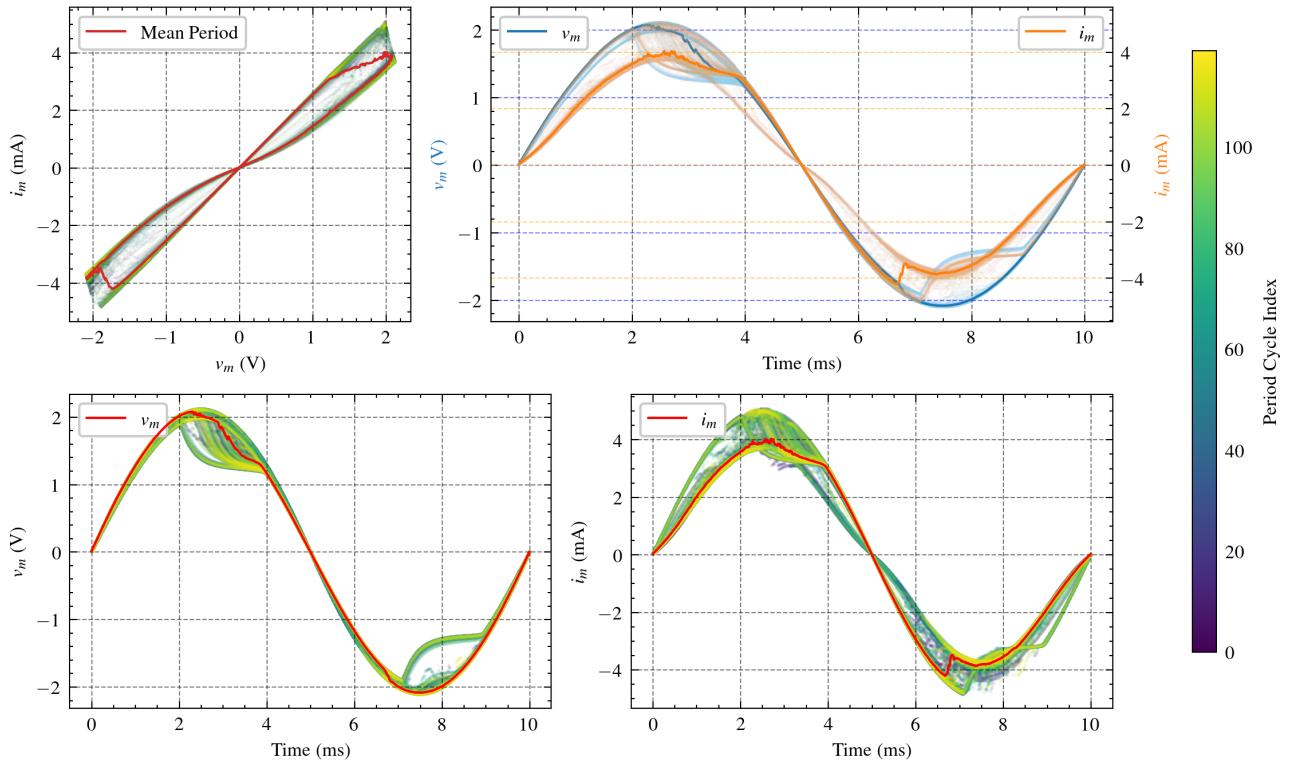
Rysunek 40

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine



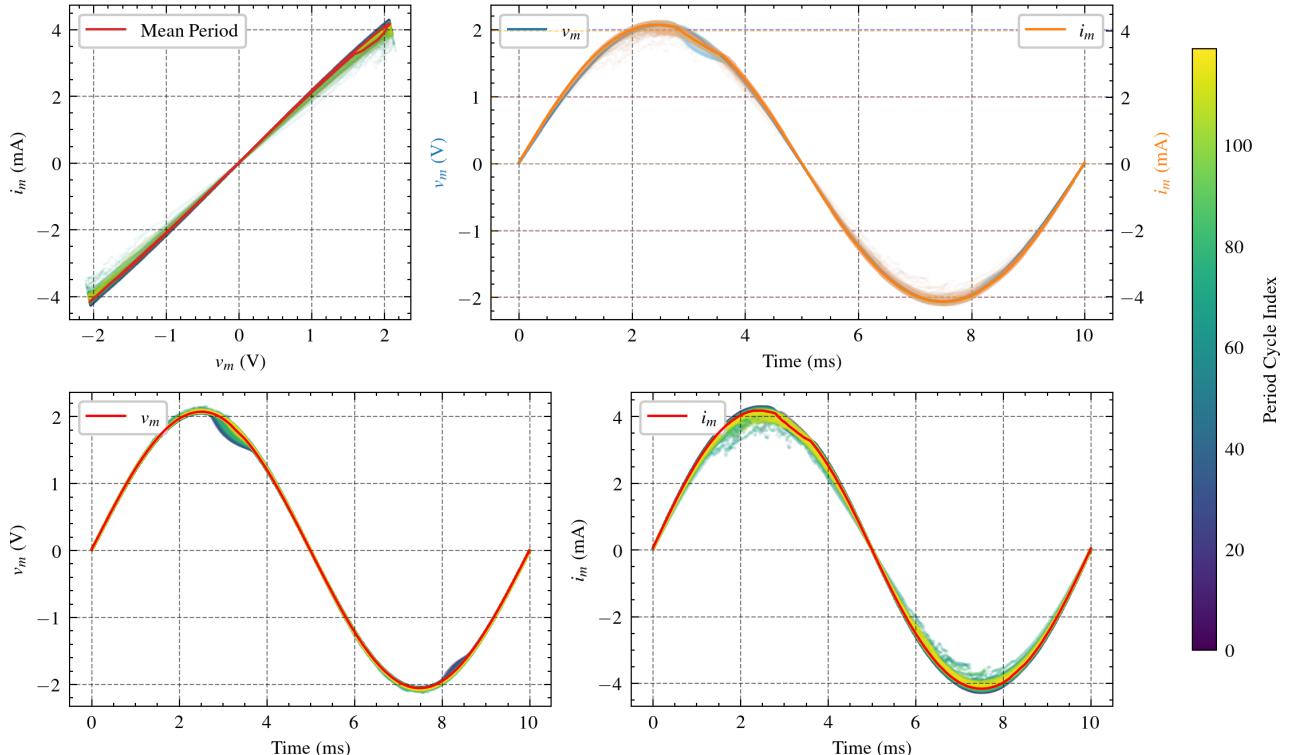
Rysunek 41

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine

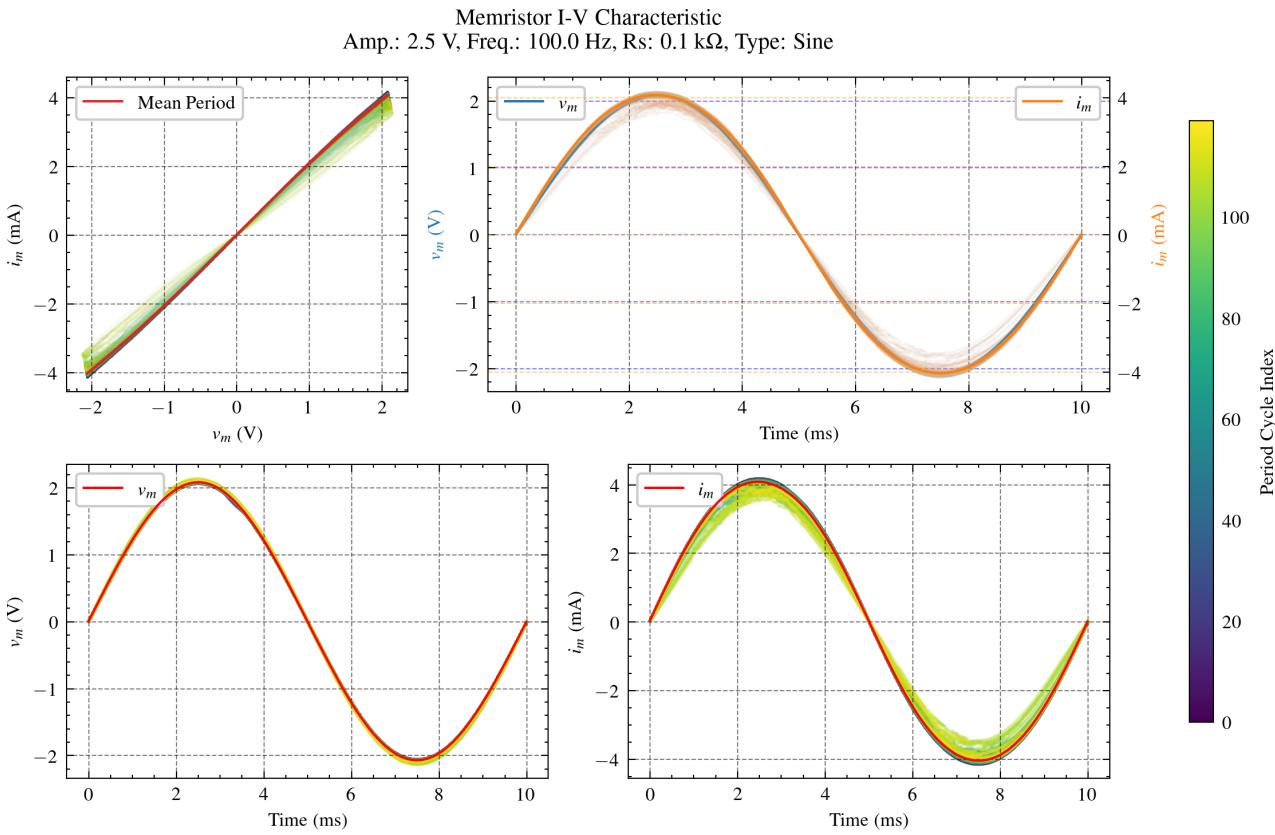


Rysunek 42

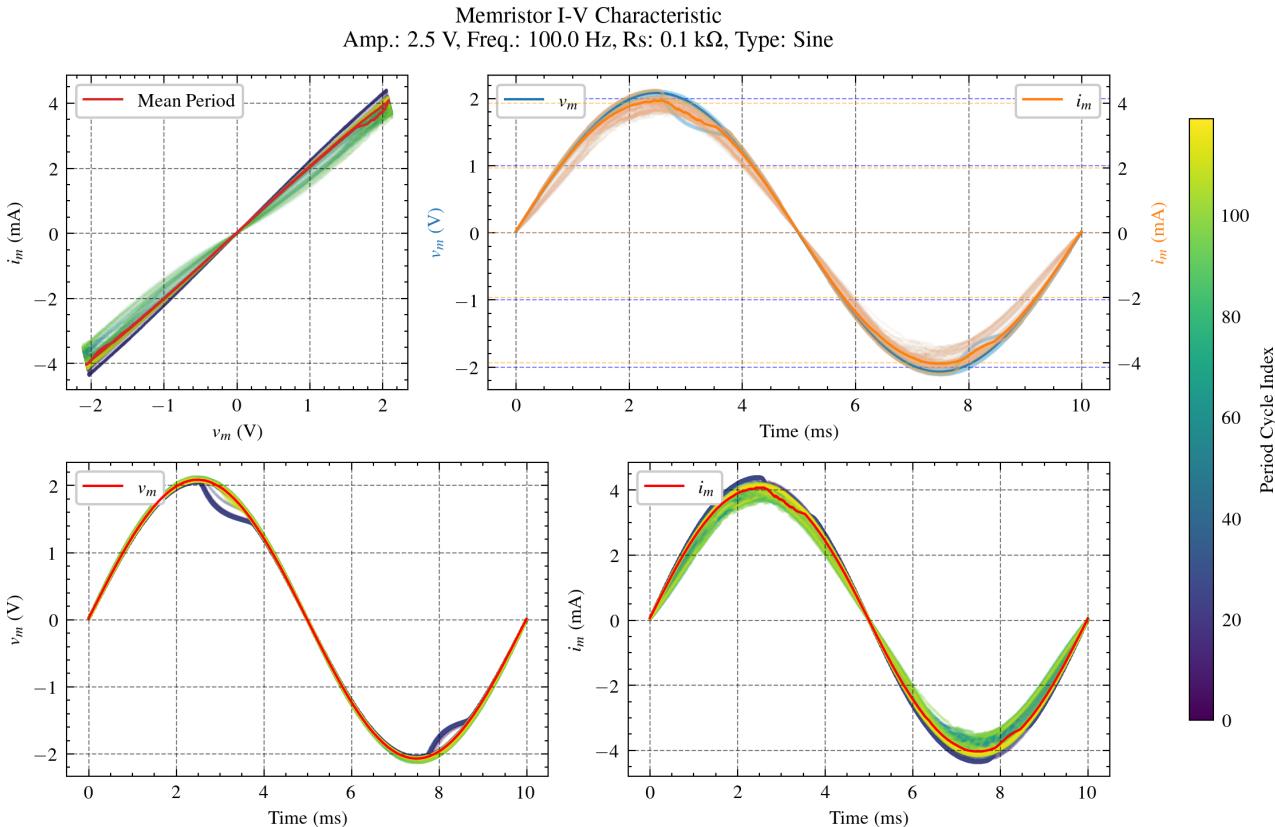
Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine



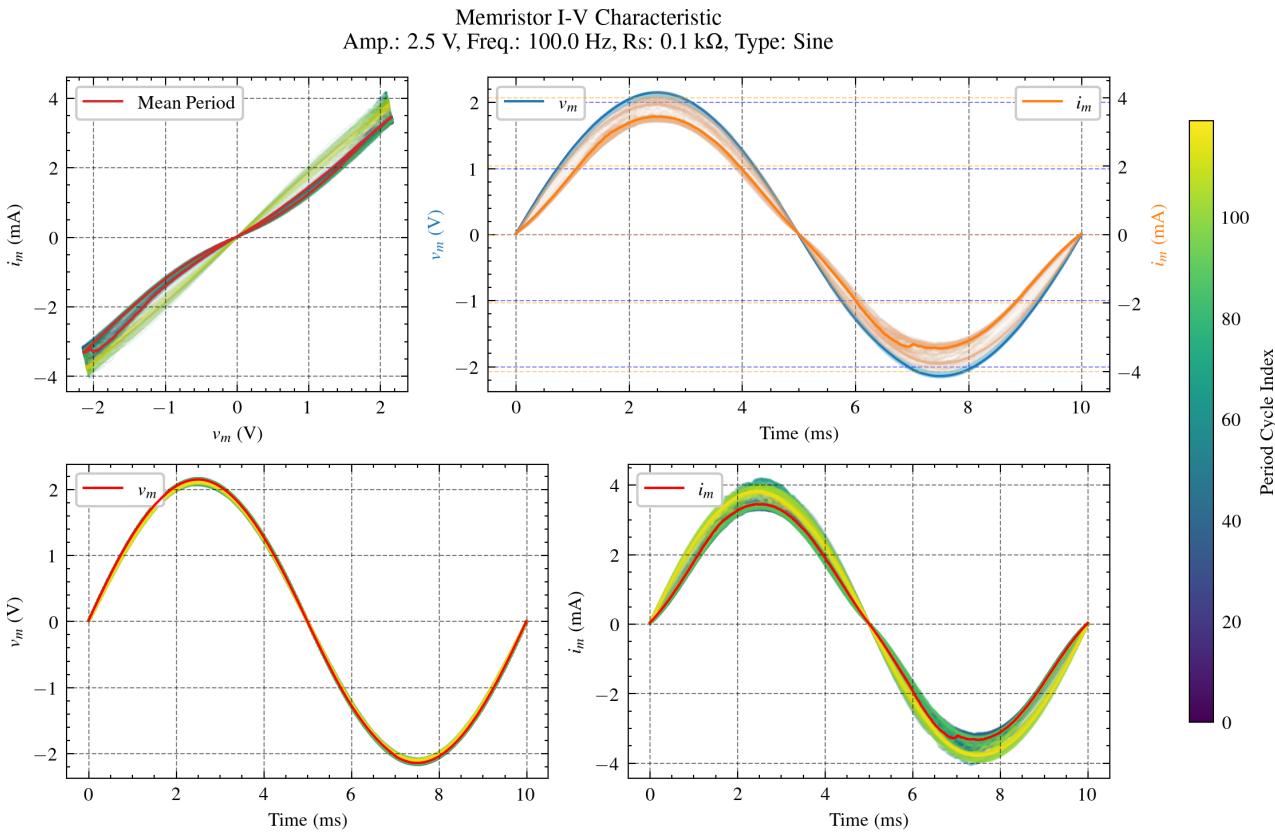
Rysunek 43



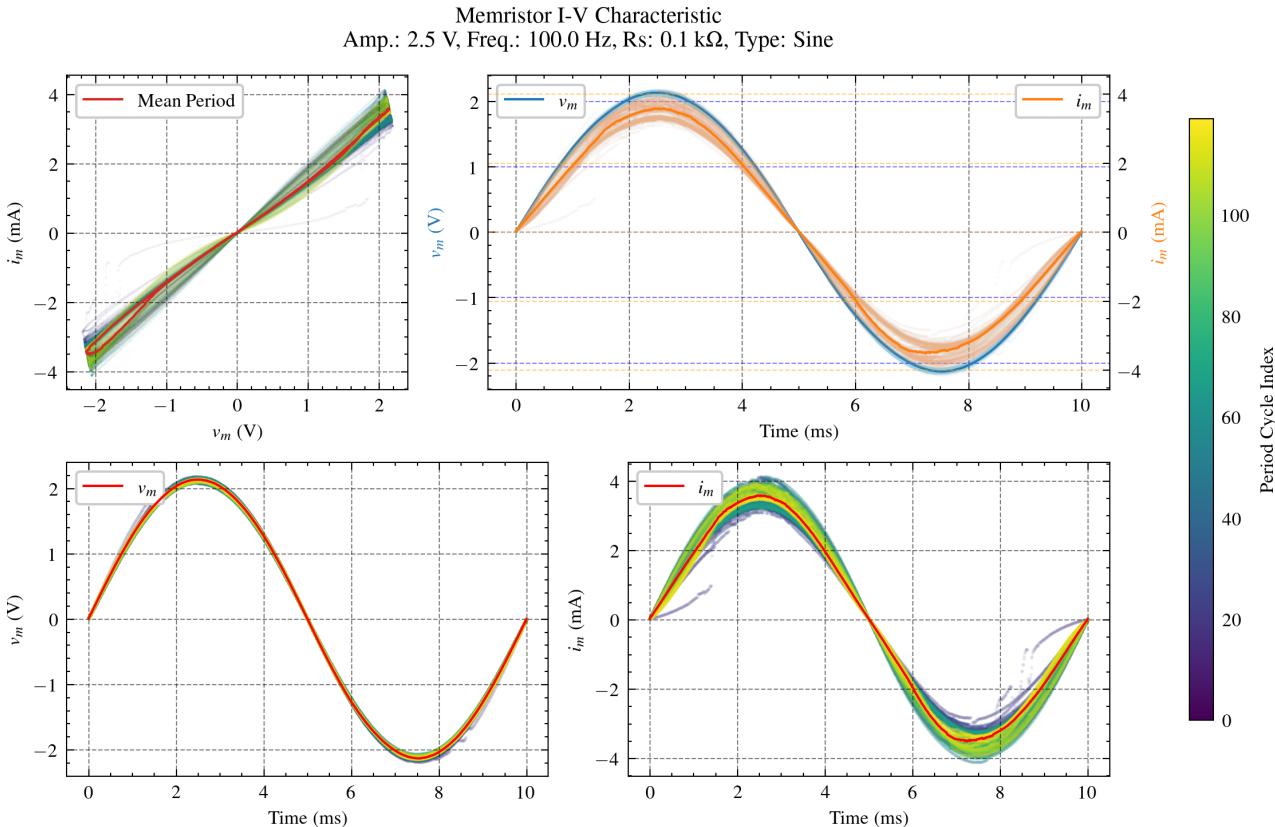
Rysunek 44



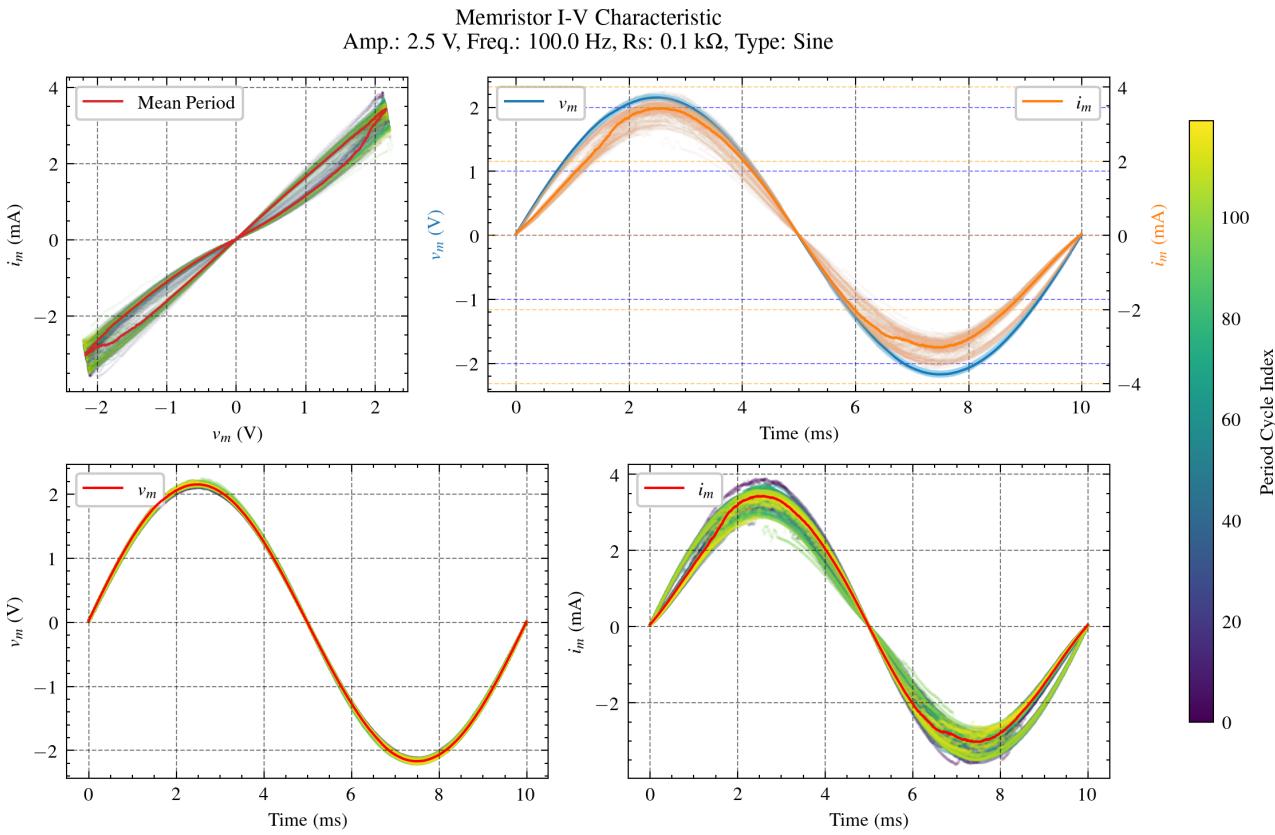
Rysunek 45



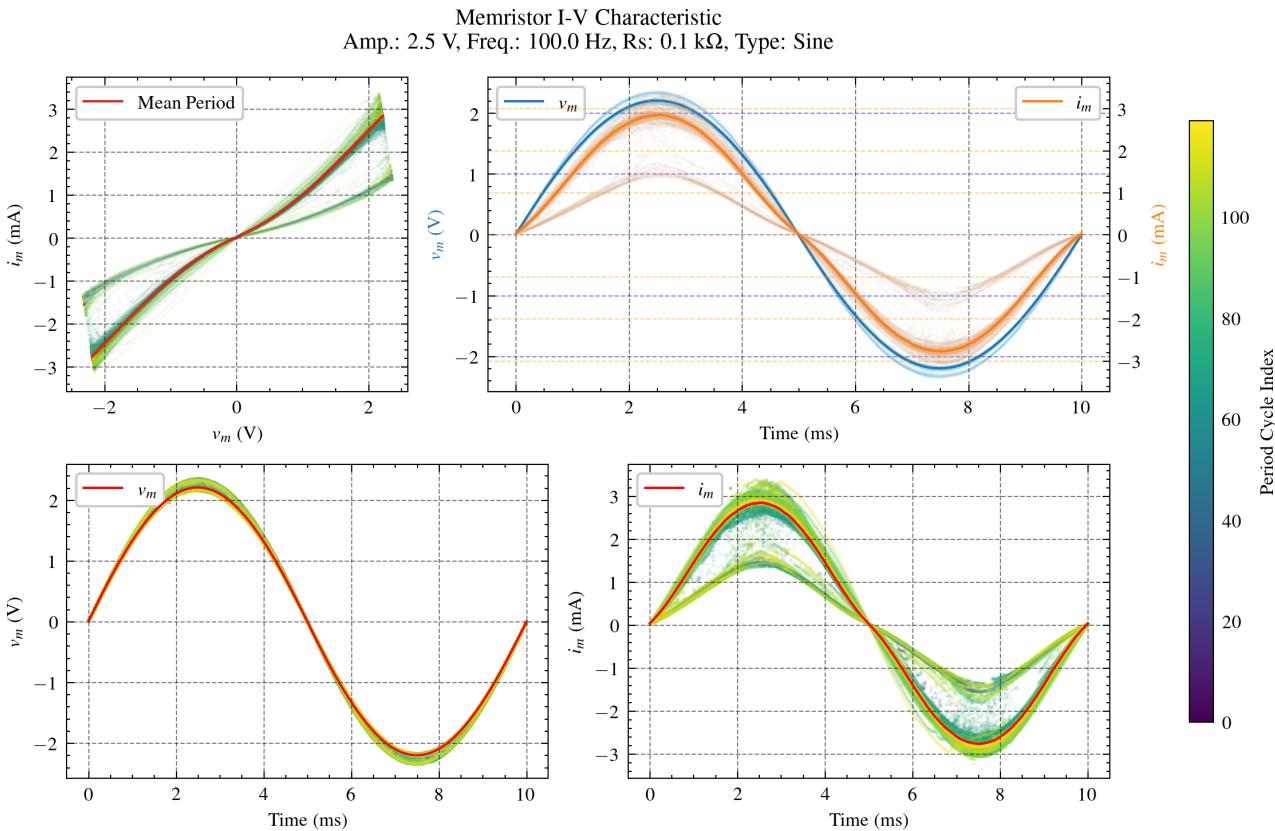
Rysunek 46



Rysunek 47

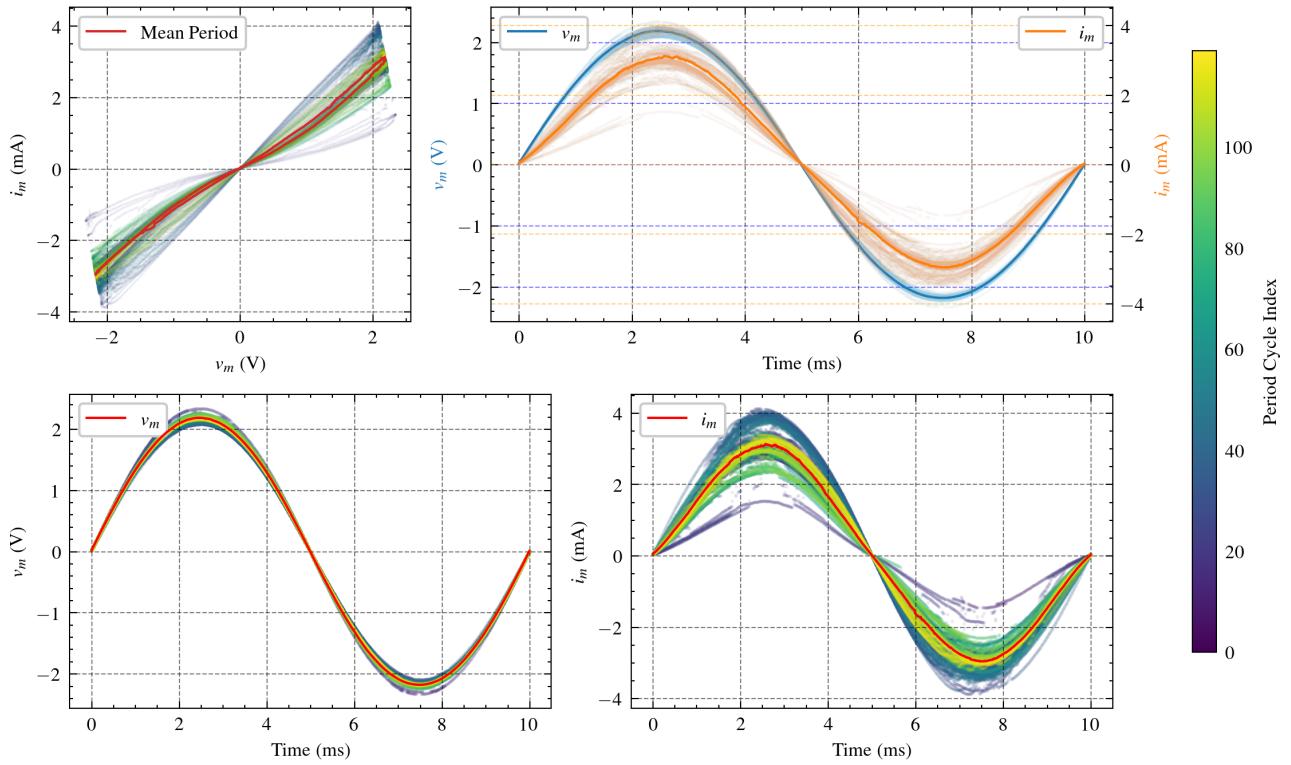


Rysunek 48



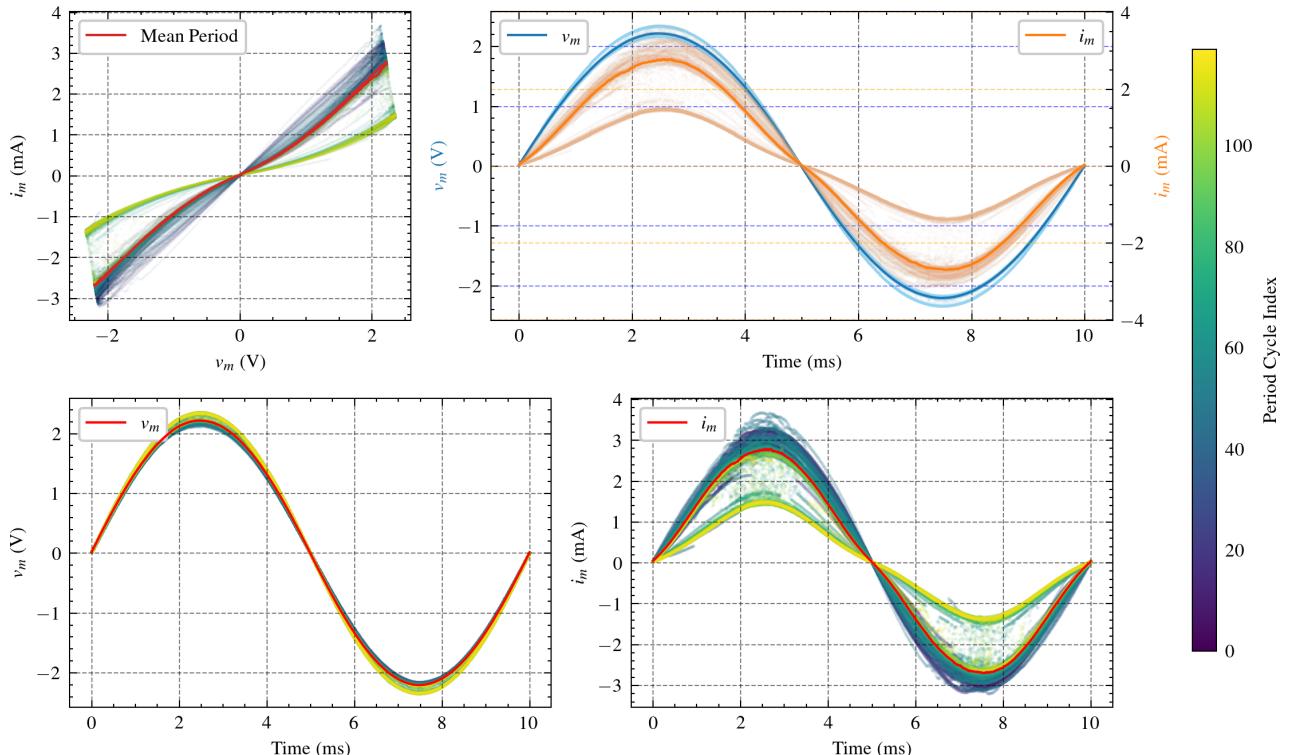
Rysunek 49

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine



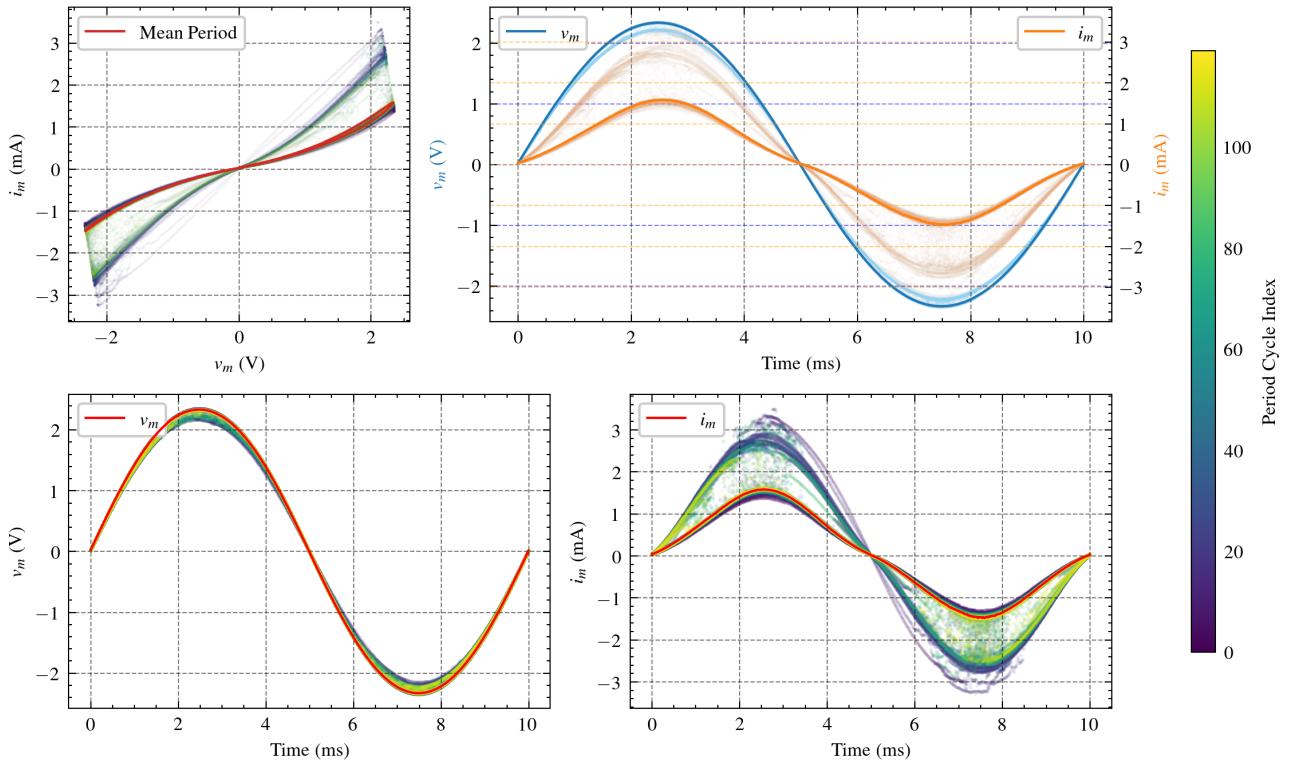
Rysunek 50

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine



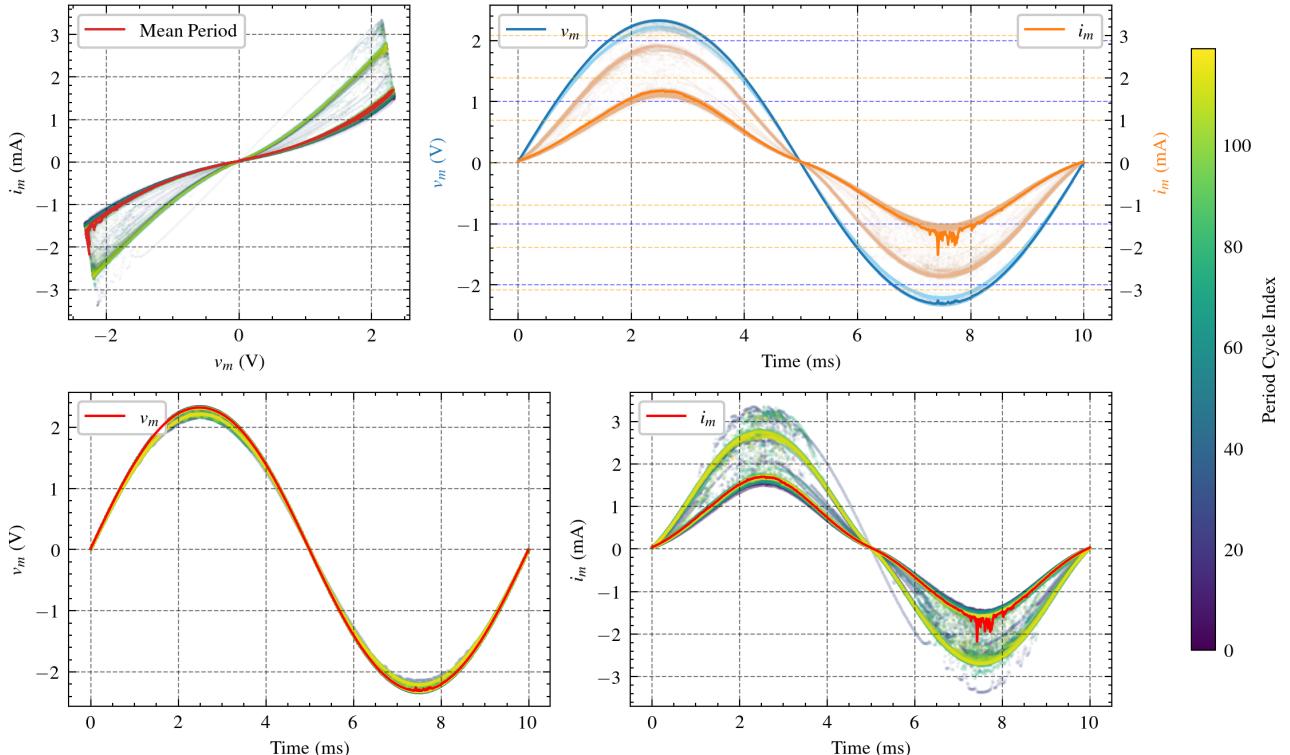
Rysunek 51

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine



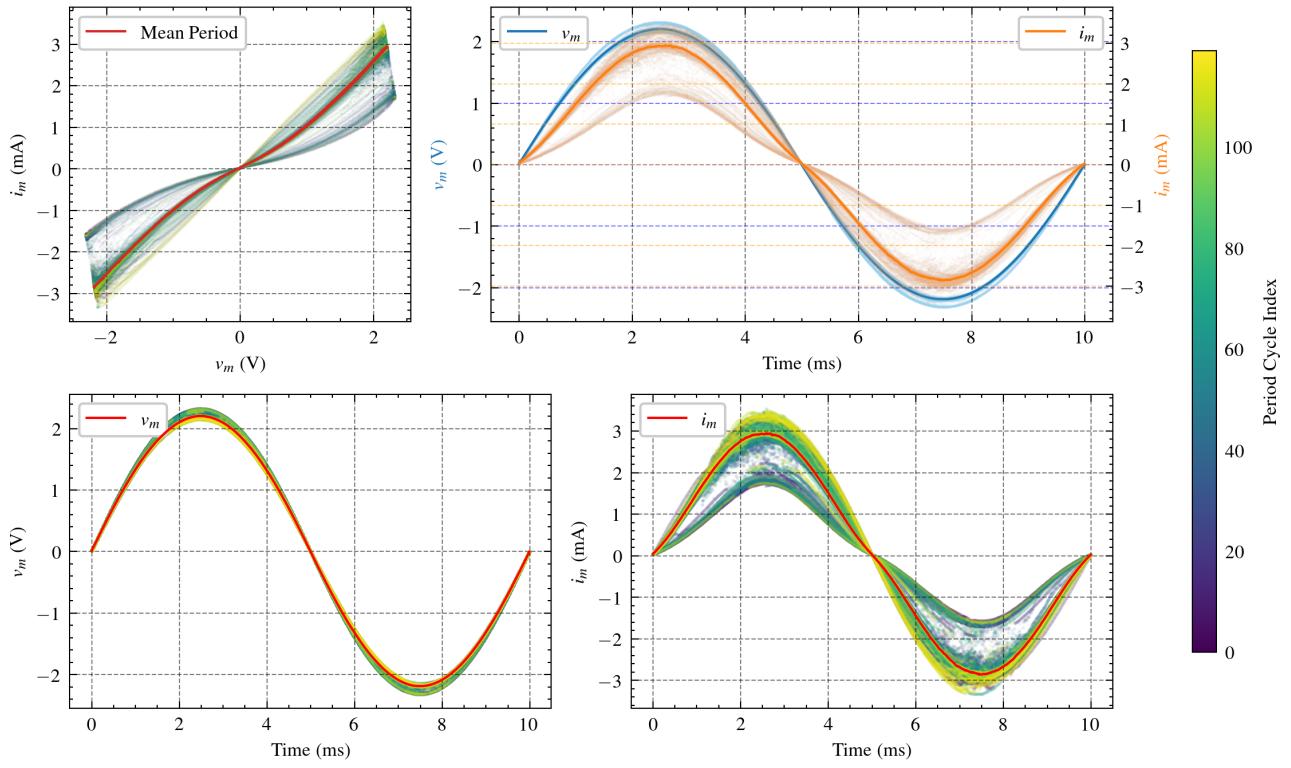
Rysunek 52

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine



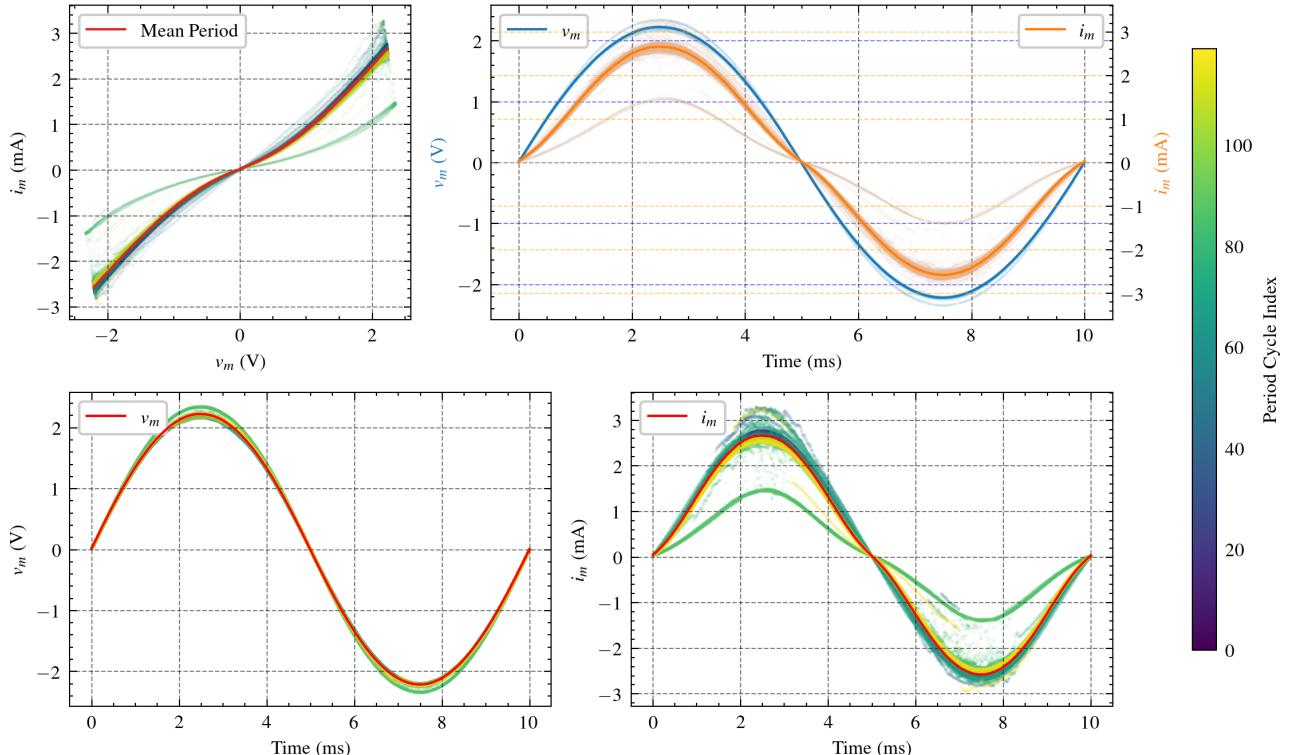
Rysunek 53

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine



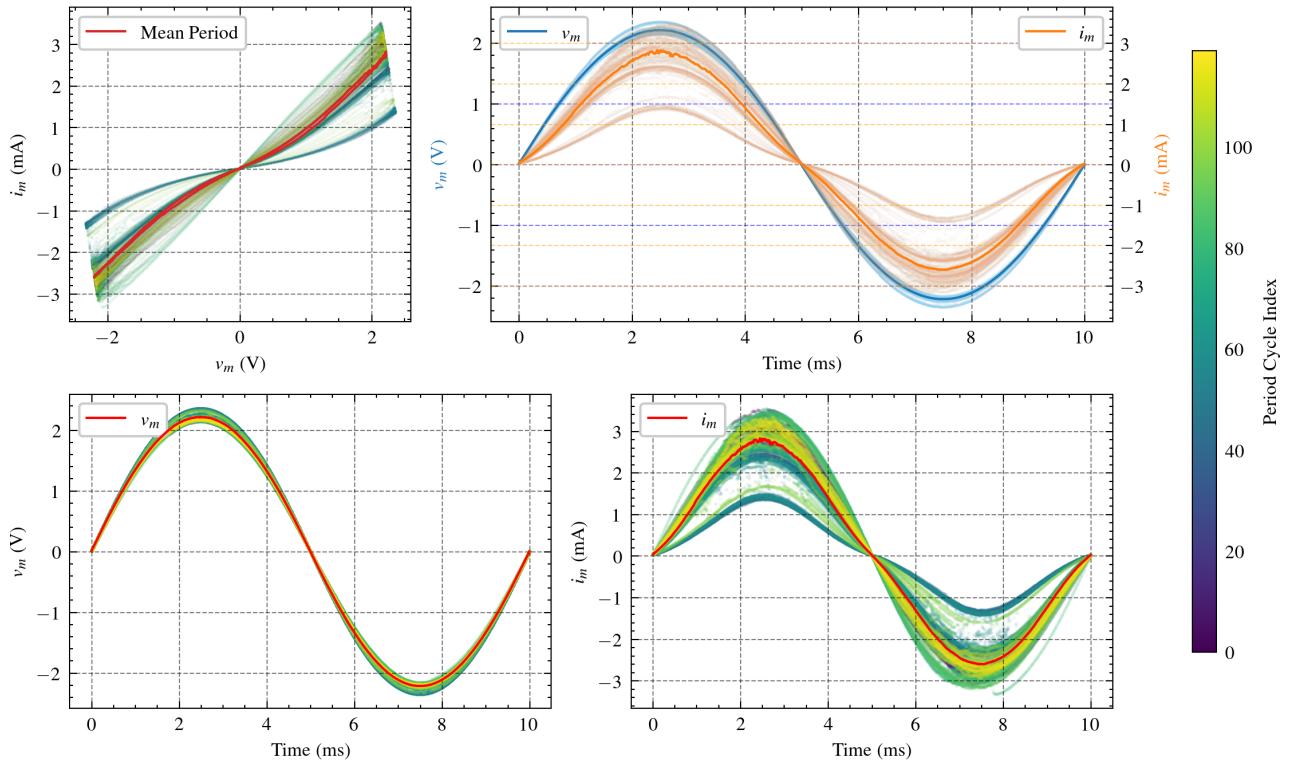
Rysunek 54

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine



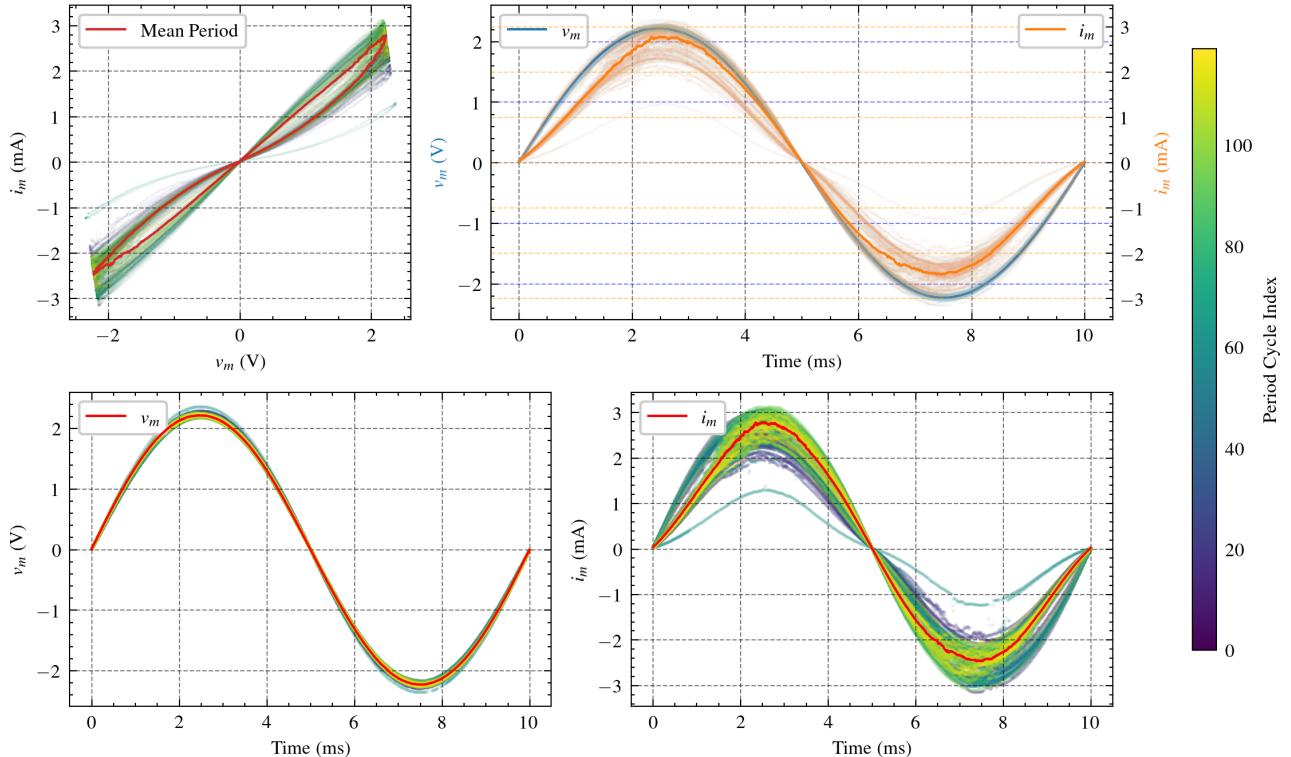
Rysunek 55

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine

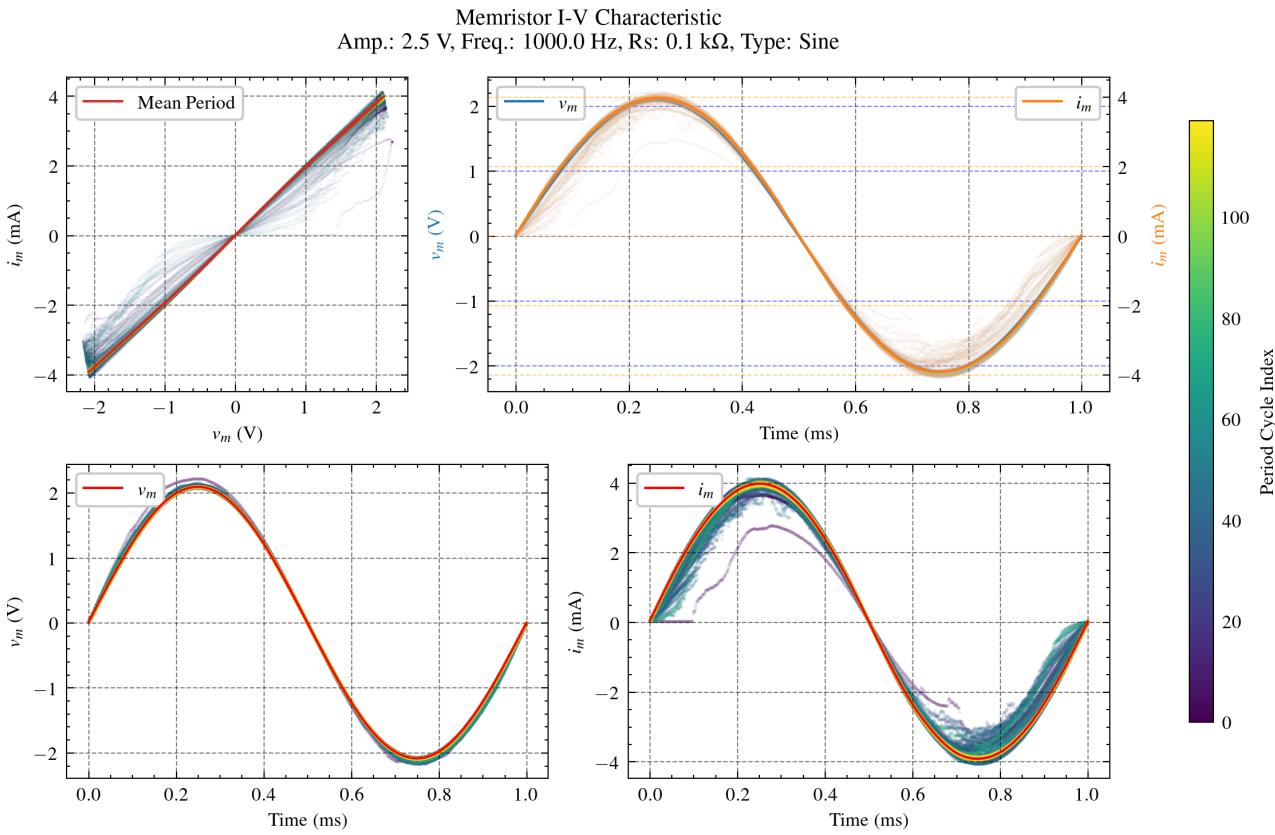


Rysunek 56

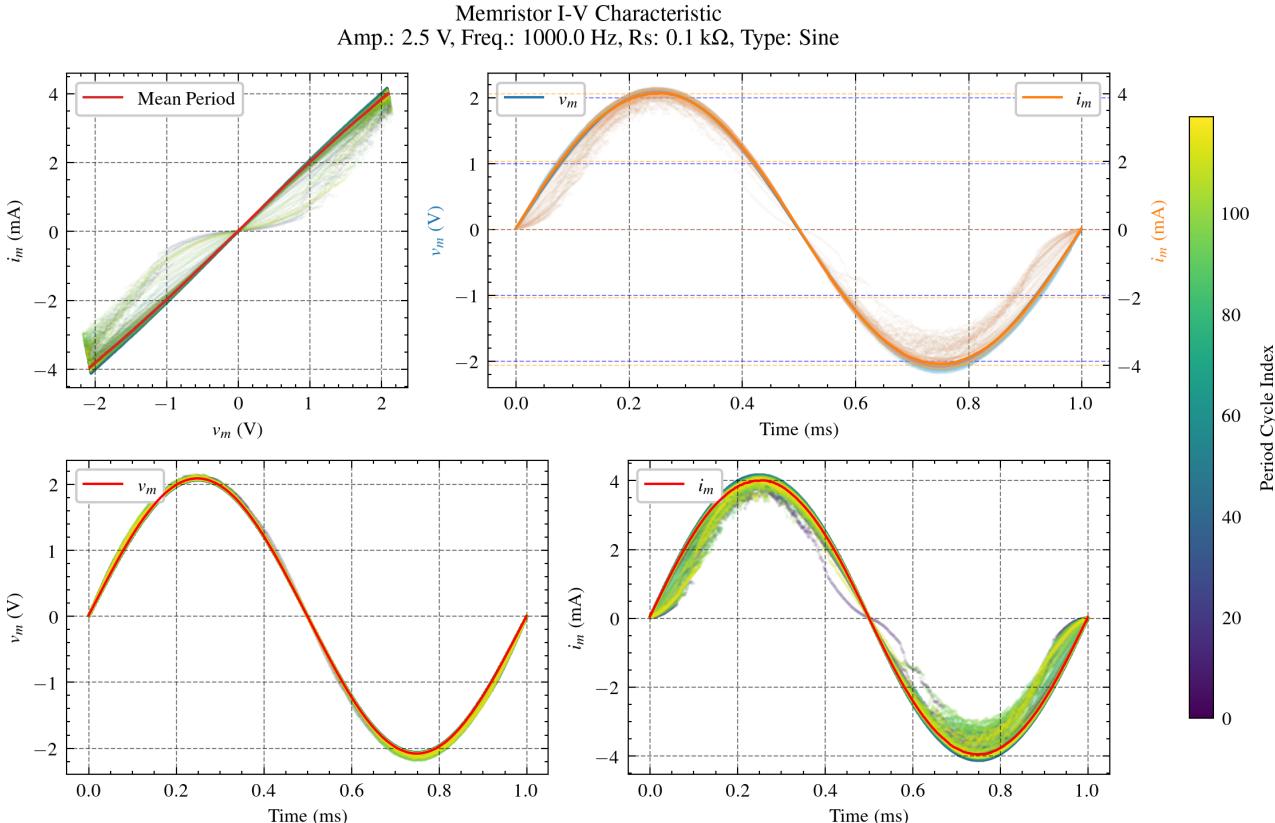
Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 100.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine



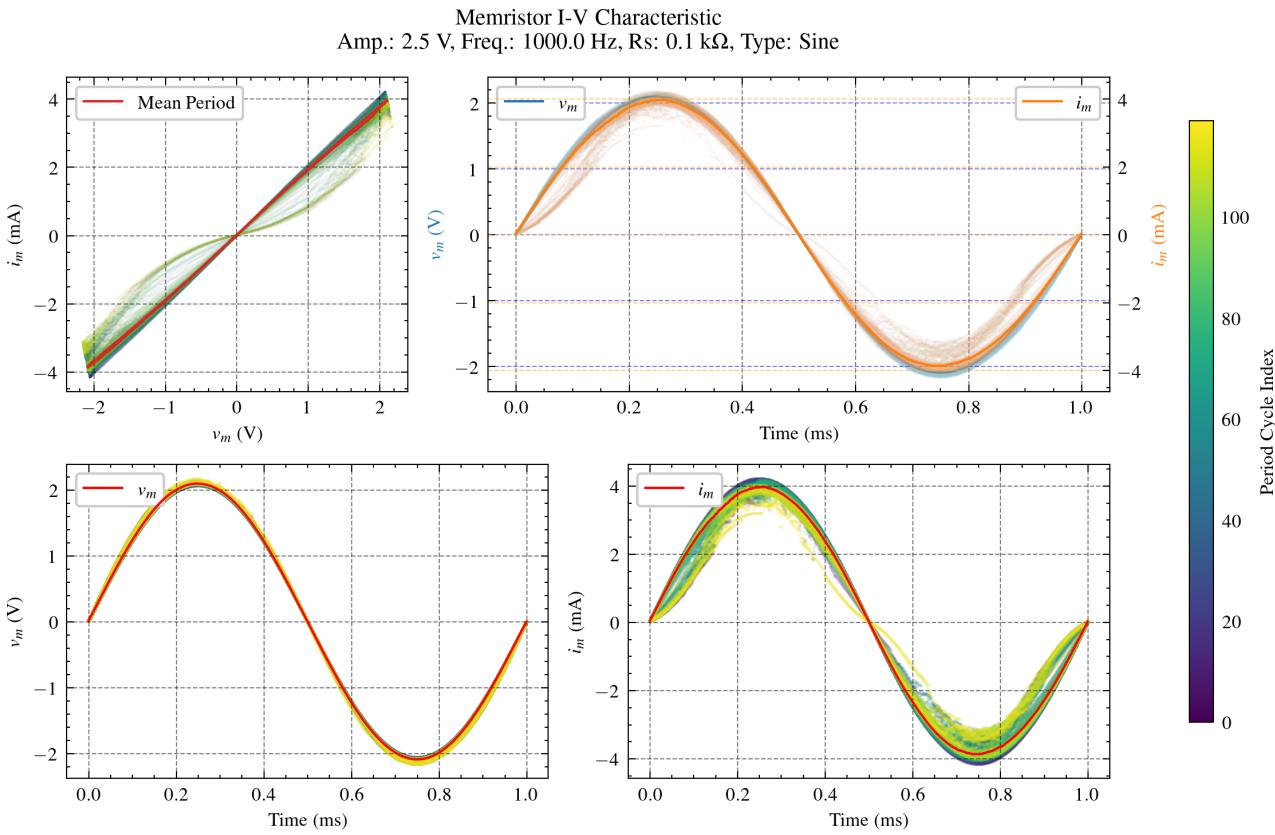
Rysunek 57



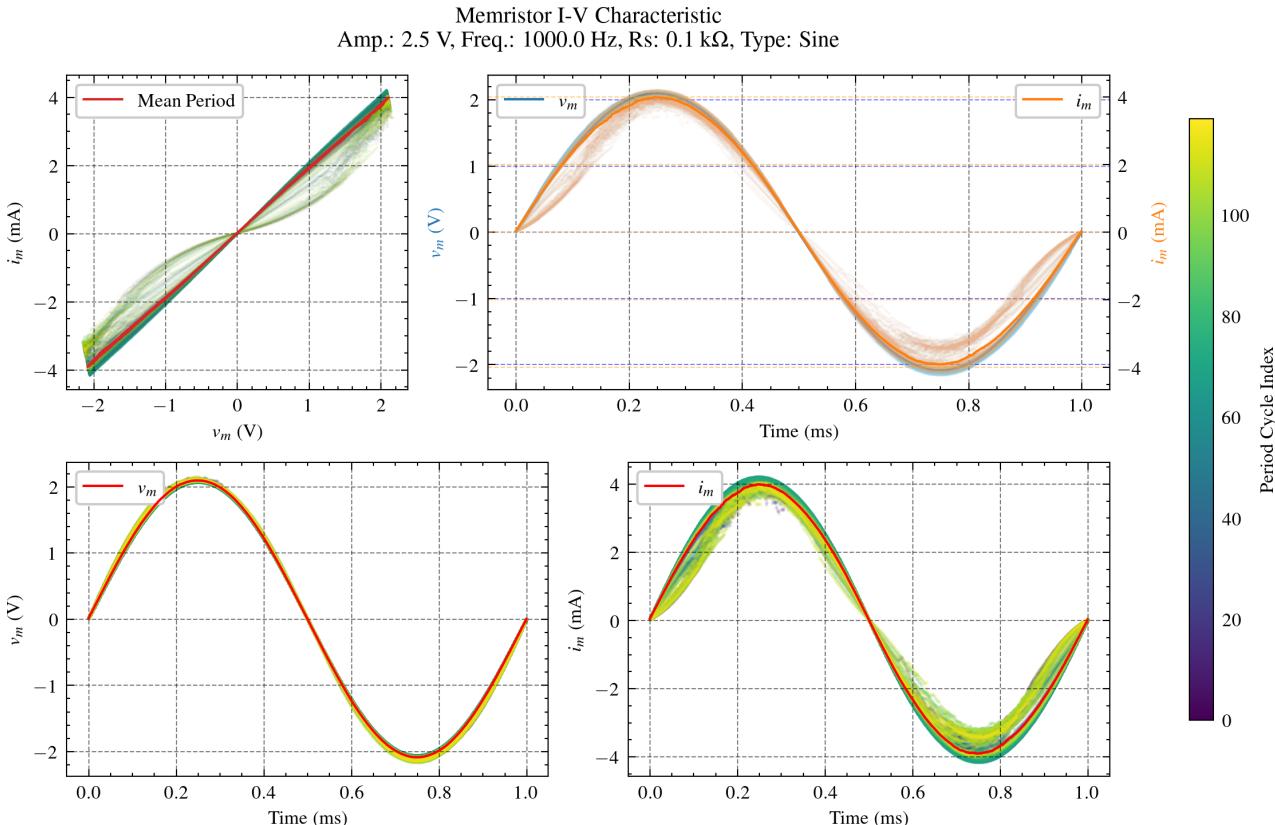
Rysunek 58



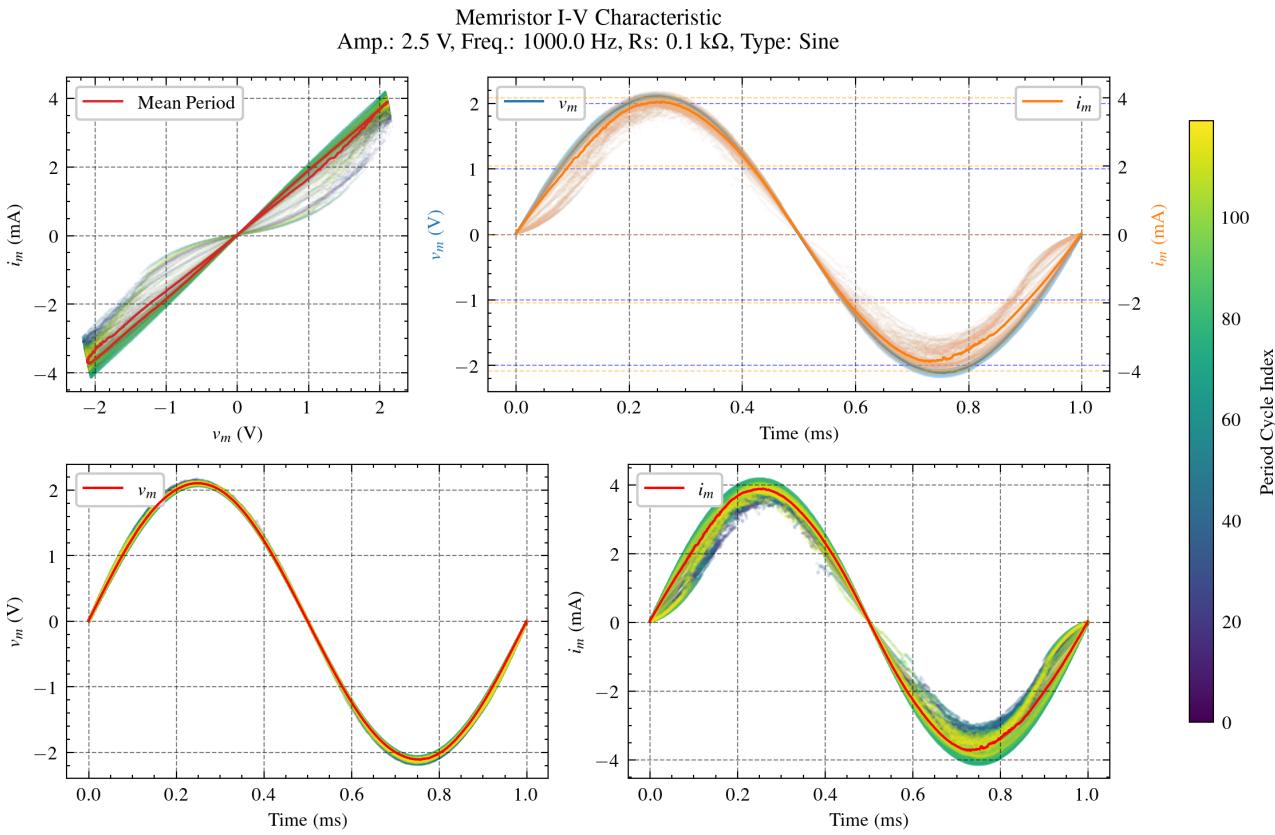
Rysunek 59



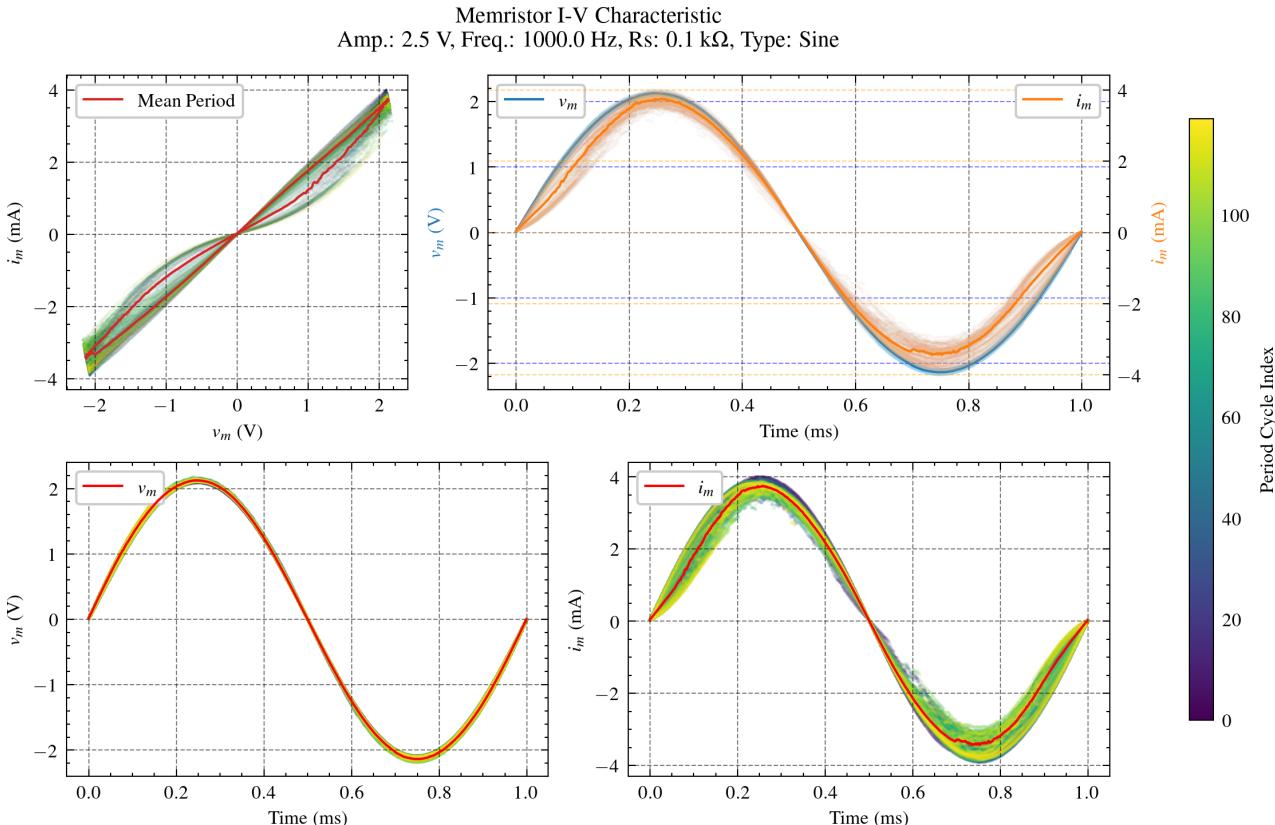
Rysunek 60



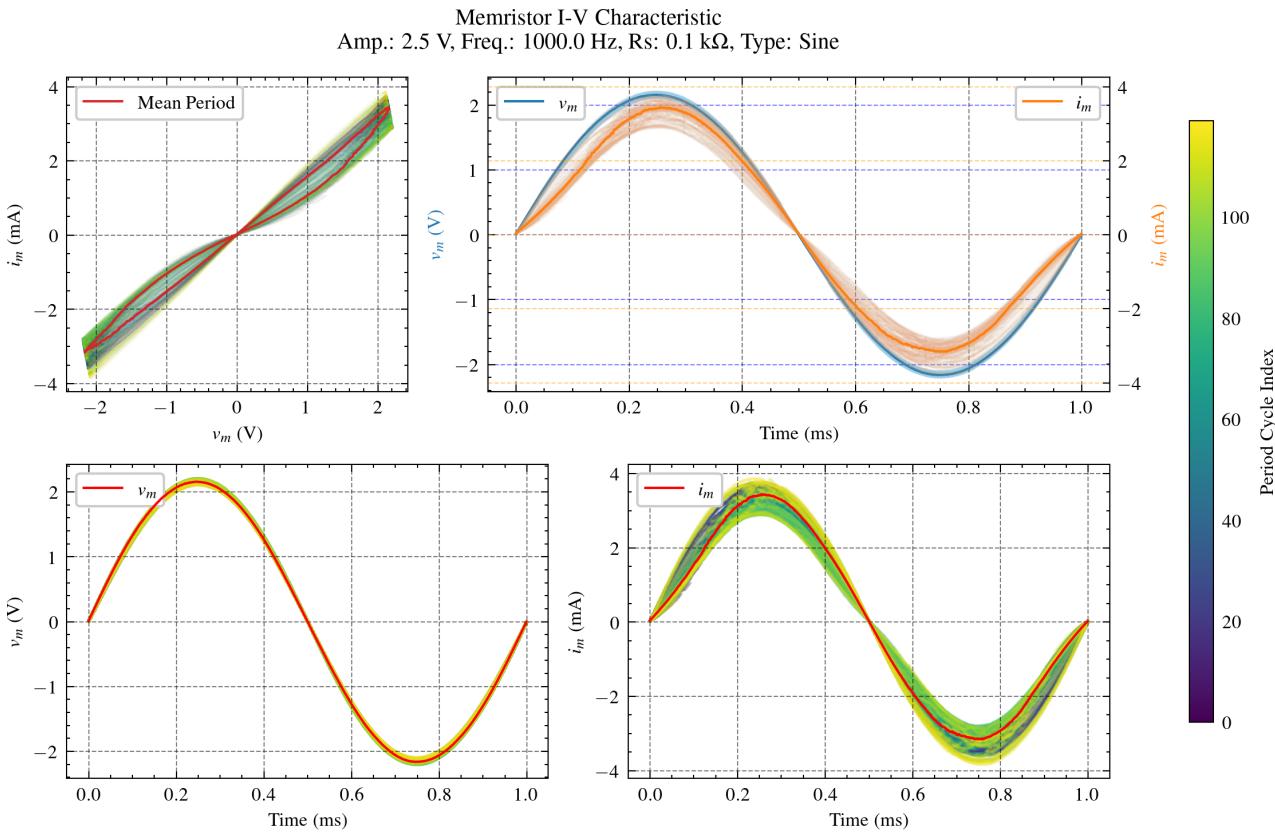
Rysunek 61



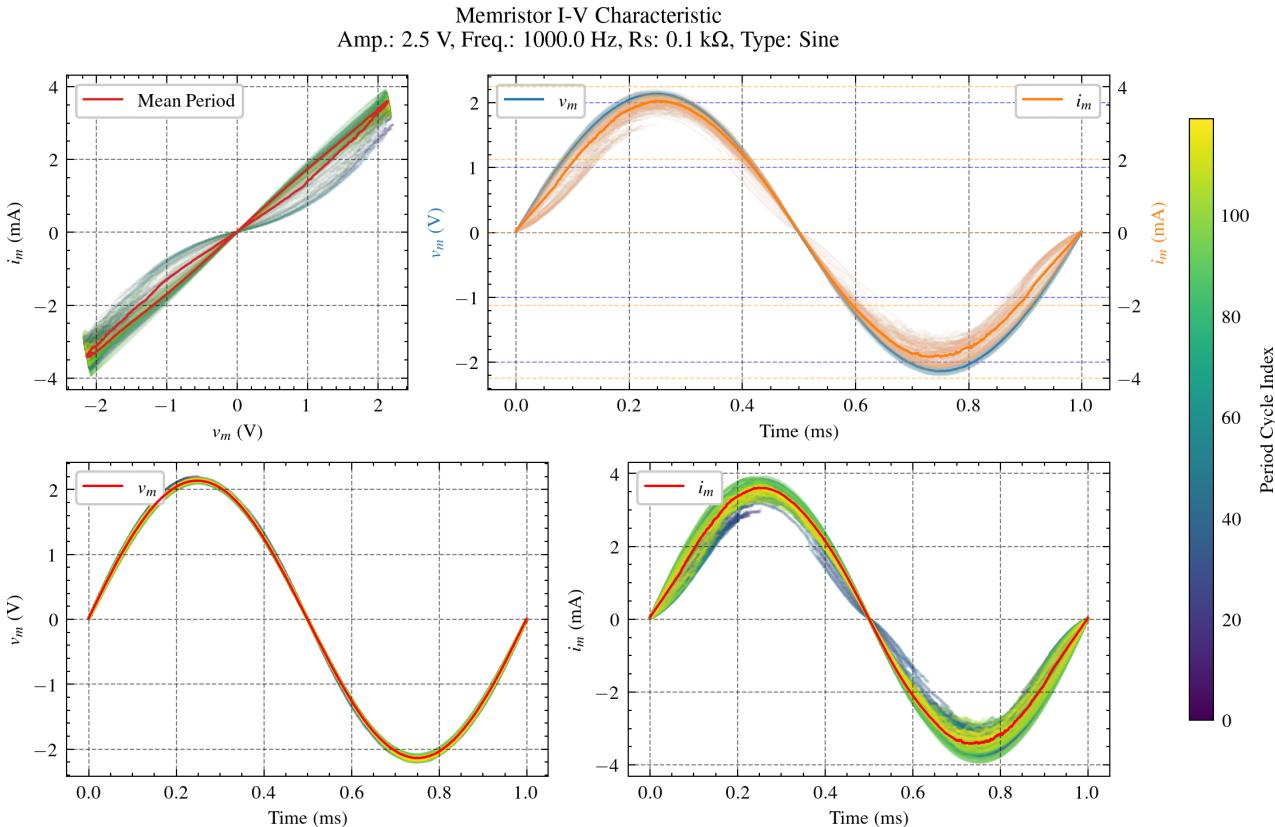
Rysunek 62



Rysunek 63

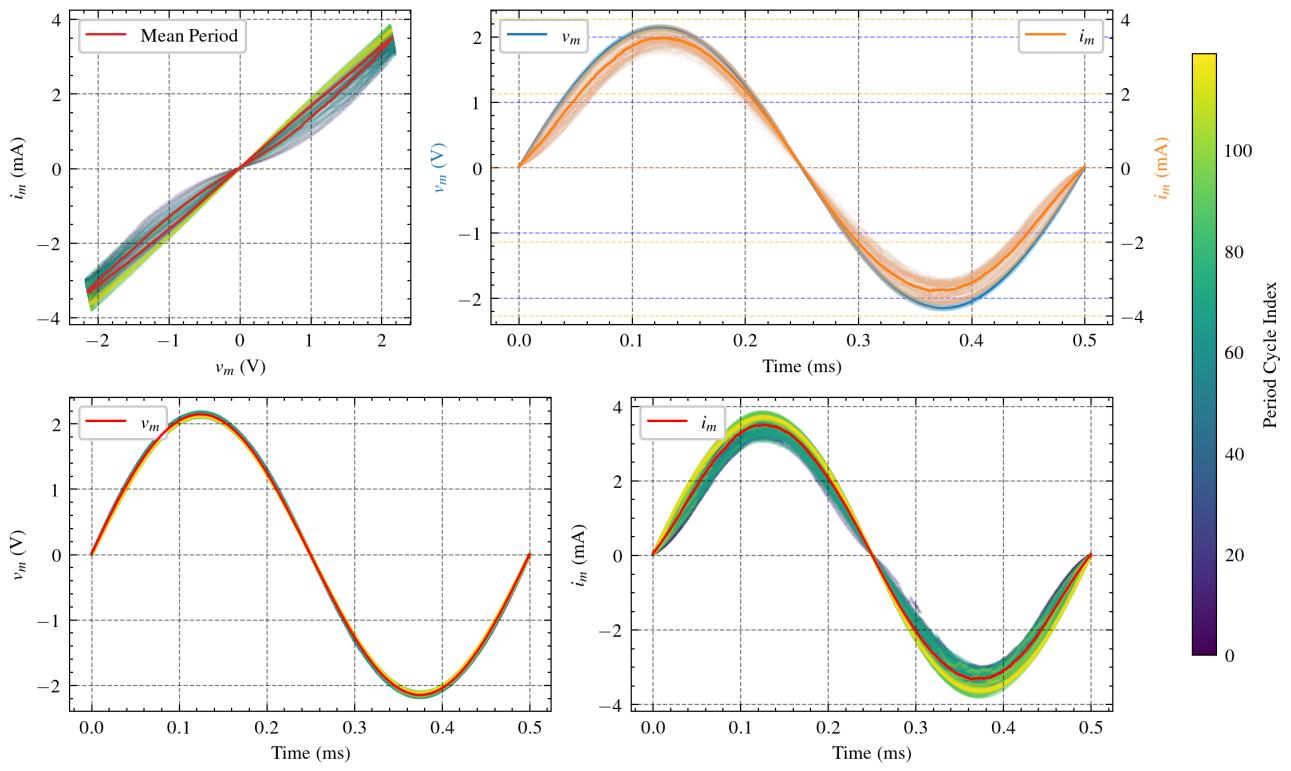


Rysunek 64



Rysunek 65

Memristor I-V Characteristic  
Amp.: 2.5 V, Freq.: 2000.0 Hz,  $R_s$ : 0.1 k $\Omega$ , Type: Sine



Rysunek 66