

Pomiary charakterystyk memrystorów

Karol Bednarz

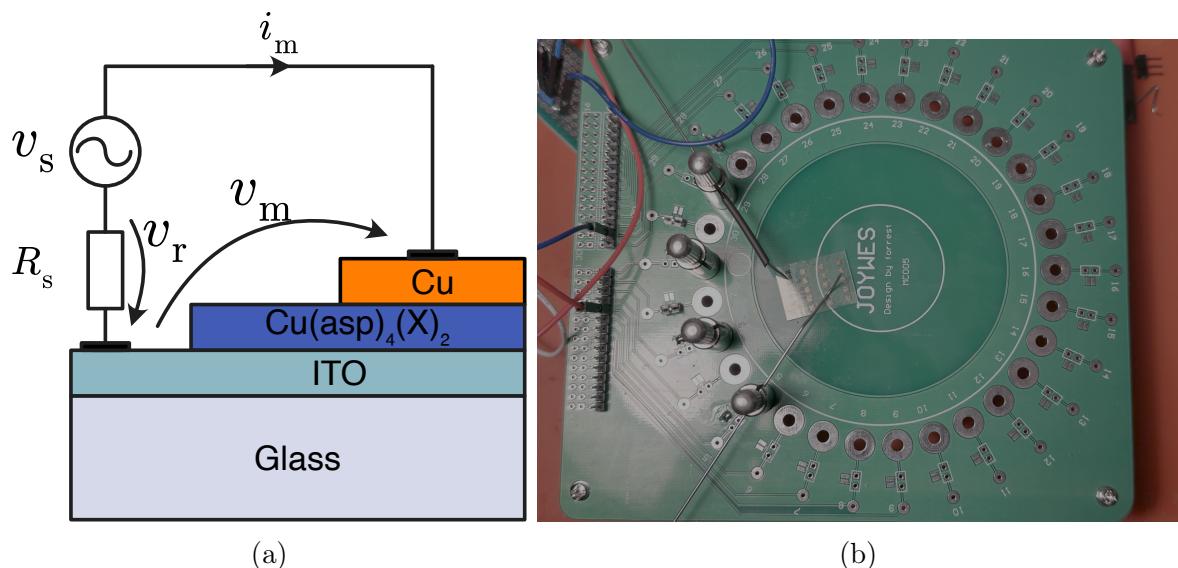
13 grudnia 2025

Spis treści

1	Wstęp	1
2	Wnioski	2
2.1	Charakter pracy memrystorów	2
2.2	Wpływ częstotliwości na histerezę	2
2.3	Dynamika zmian rezystancji	2
3	Pomiary	2
3.1	Memrystor w pozycji I (cuaspf)	3
3.2	Memrystor w pozycji II (perwen)	7
4	Wyniki pomiarów, bez sprecyzowanej pozycji memrystora	13
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 $R_s = 0.01 \text{ k}\Omega$. 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 nielinowych** 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 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz) pętla histerezy jest słabo widoczna lub nie występuje,

2.3 Dynamika zmian rezystancji

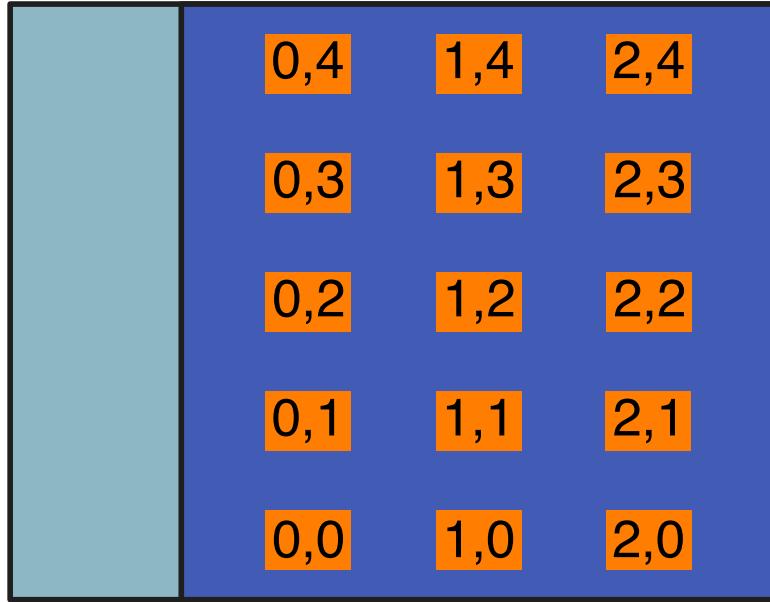
Pomimo słabej widoczności pętli histerezy przy wyższych częstotliwościach, w wielu przypadkach obserwuje się zmianę rezystancji elementu (widoczne wypełnienie części płaszczyzny na wykresach). Istotne jest, że zmiany te nie dokonują się w ciągu jednego okresu, co sugeruje powolniejszą dynamikę procesów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

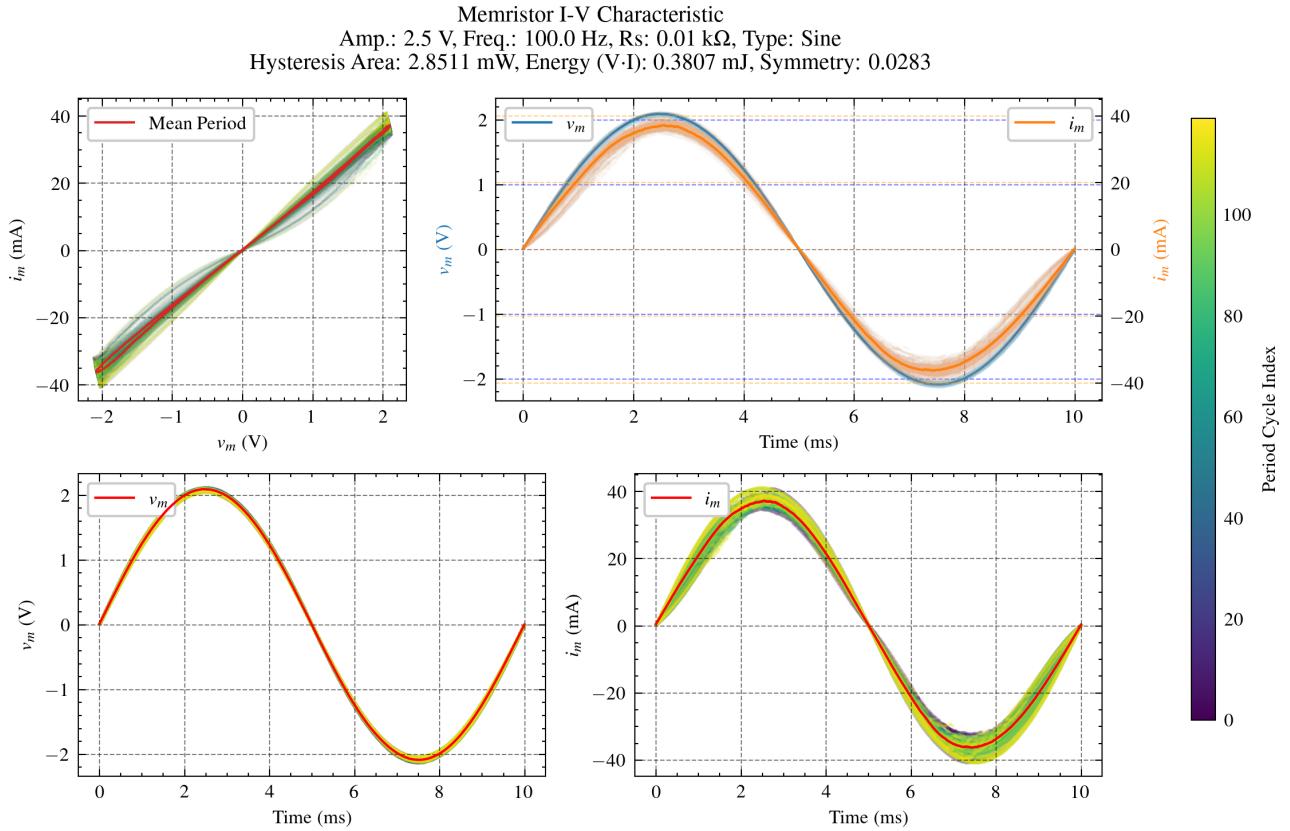
Jako, że otrzymano dużą liczbę wykresów, w niniejszym dokumencie zamieszczono jedynie wybrane przykłady ilustrujące wpływ poszczególnych parametrów sygnału wejściowego na charakterystyki memristora. Pełny zestaw wyników pomiarów wraz z plikami *.csv dostępny jest w repozytorium pod linkiem: [\[drive\]](#).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

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

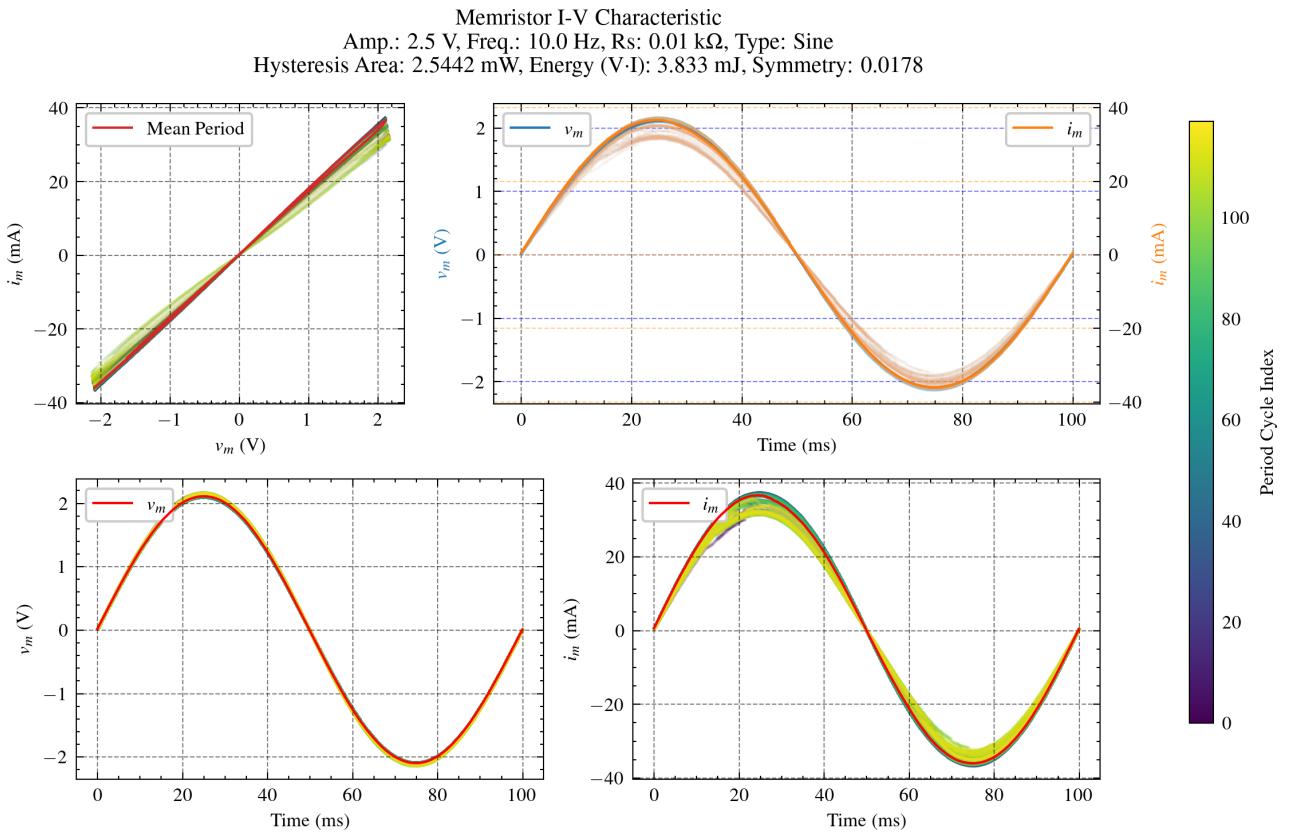


Rysunek 2: Schemat numeracji memrystorów w układzie pomiarowym.

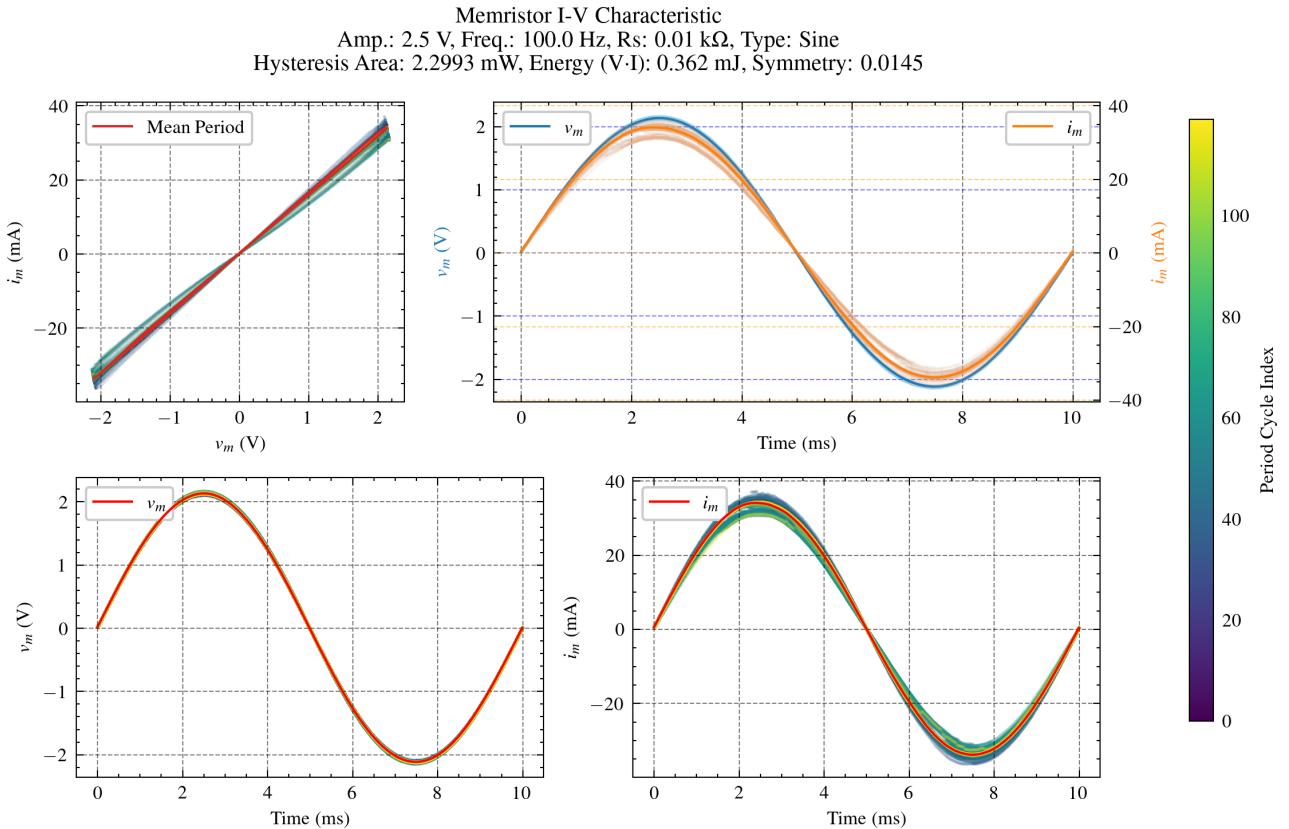
3.1 Memristor w pozycji I (cuaspf)



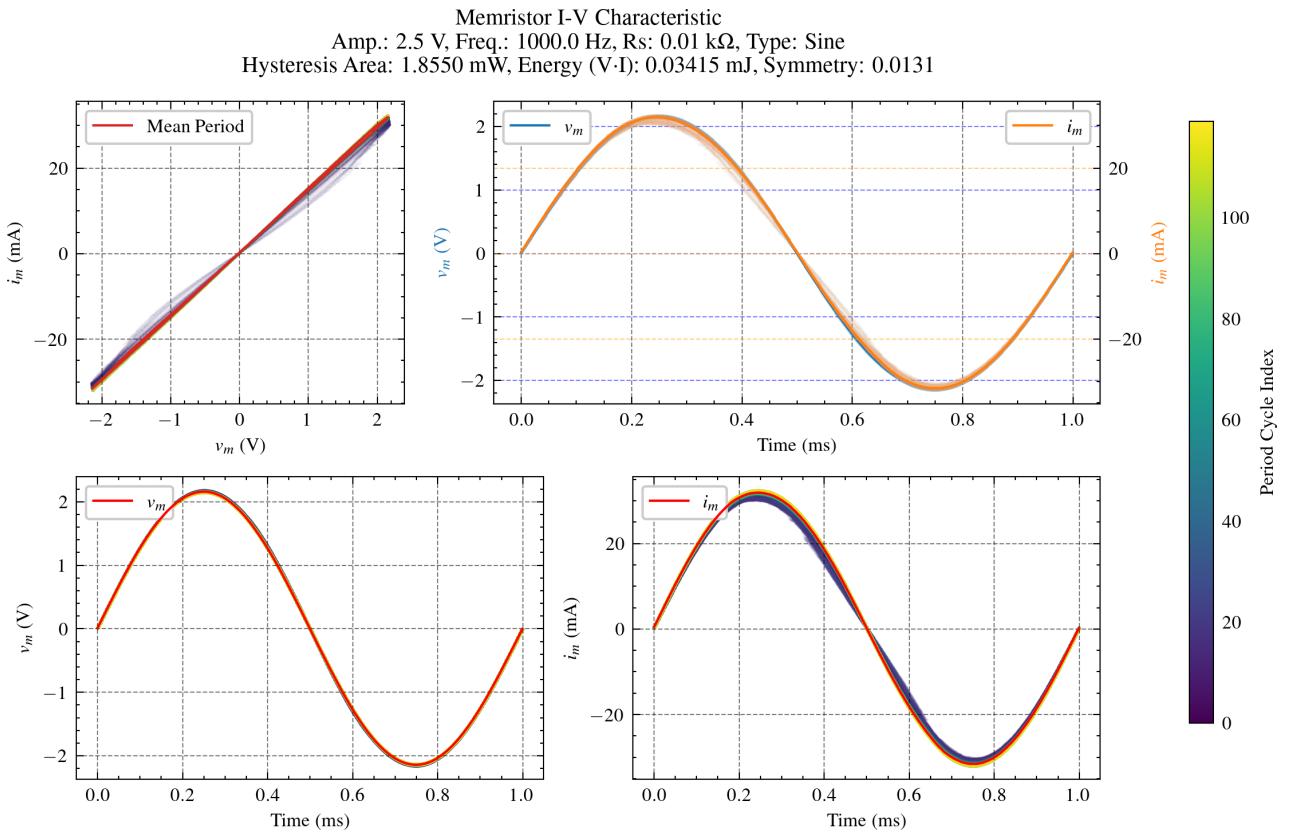
Rysunek 3: Pozycja: (1,1)



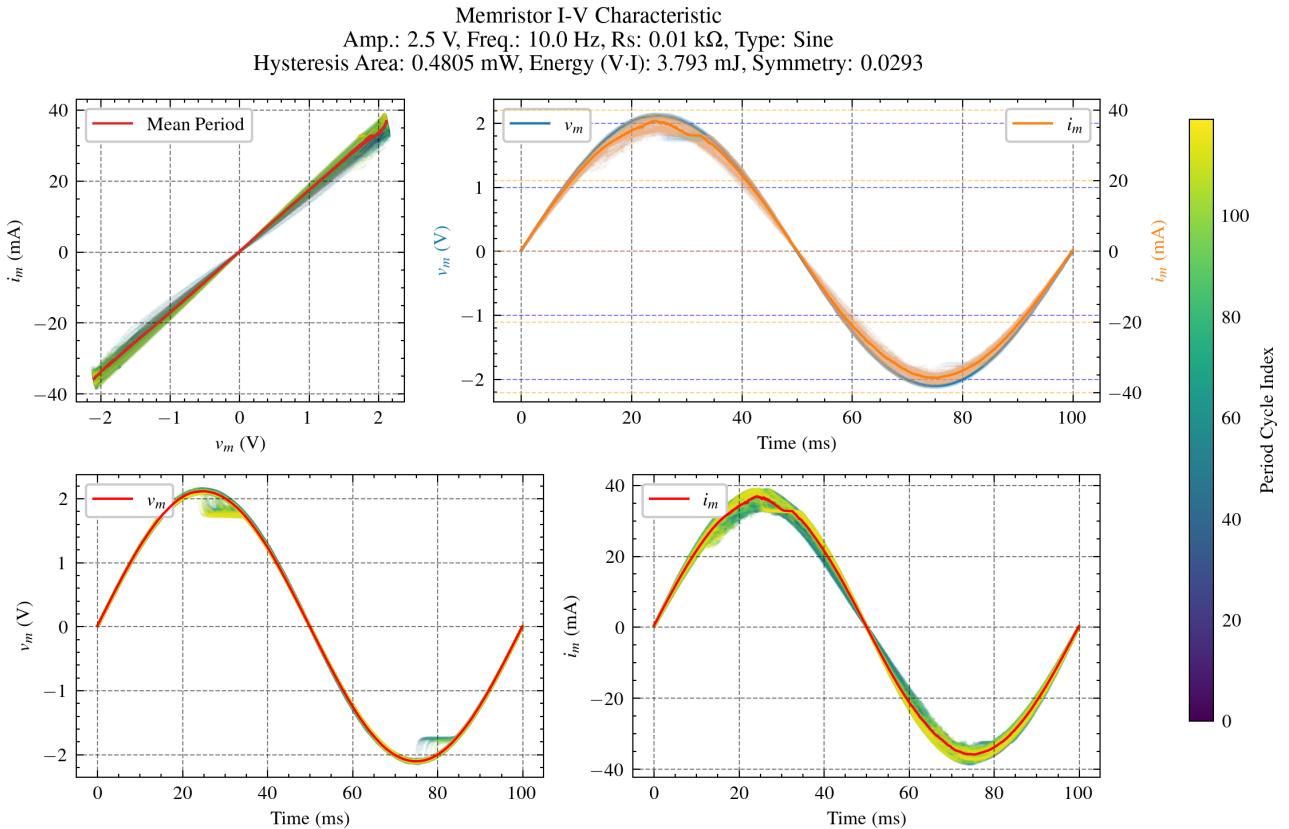
Rysunek 4: Pozycja: (2,2)



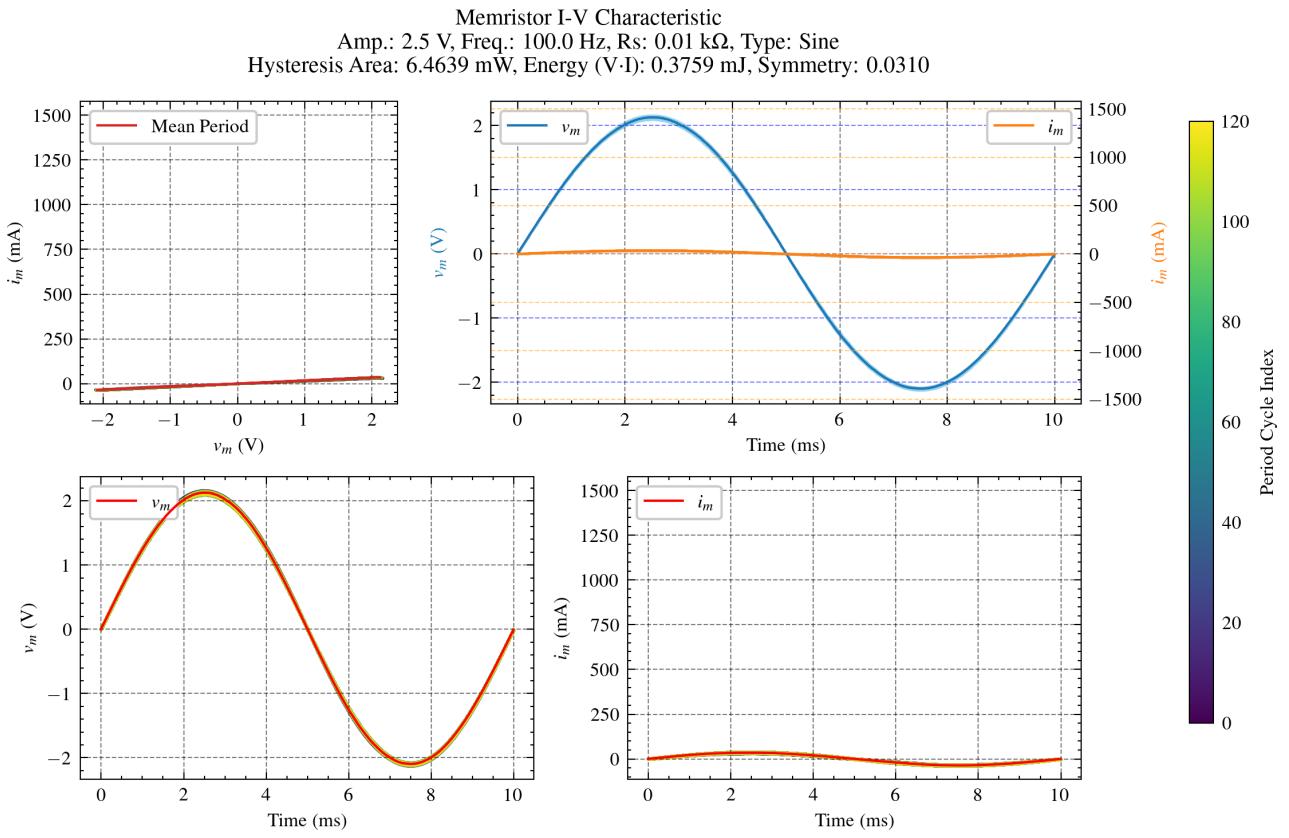
Rysunek 5: Pozycja: (2,2)



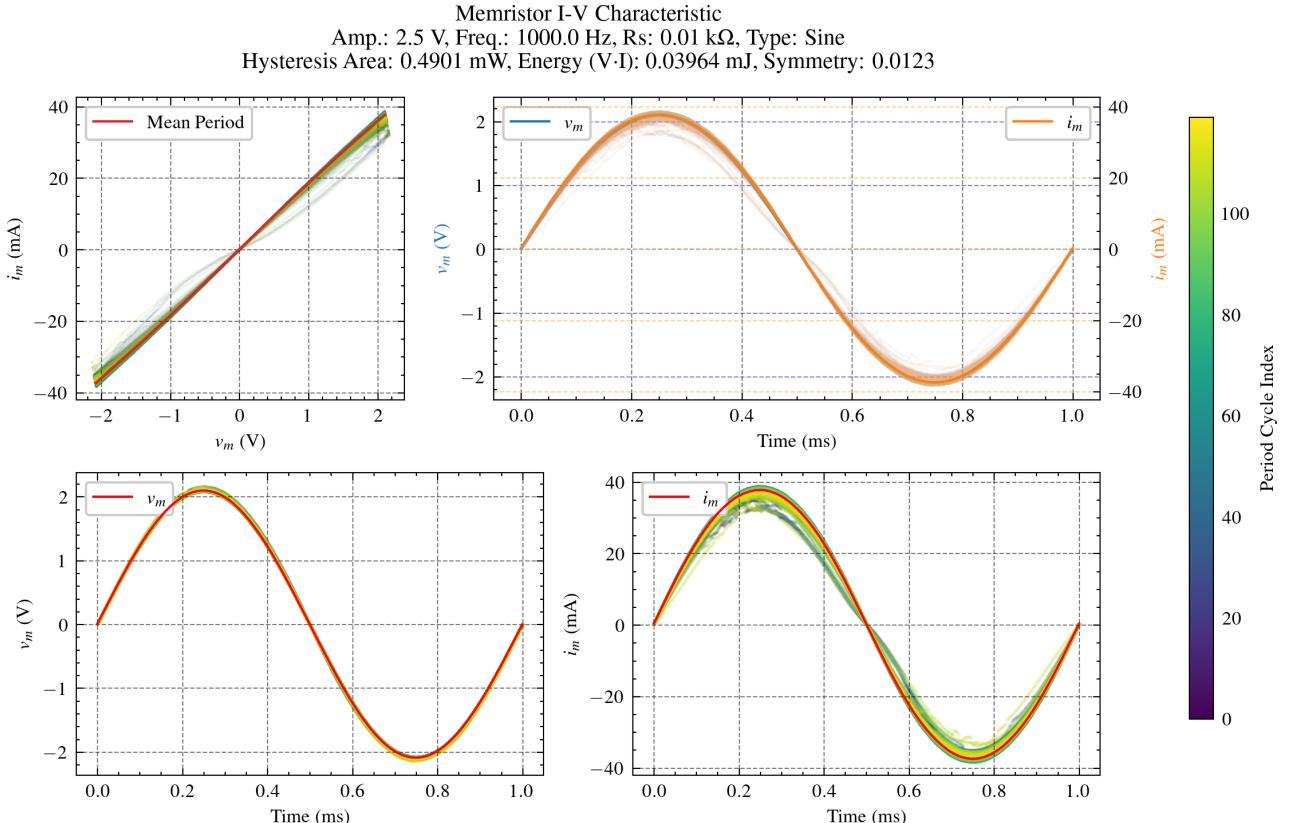
Rysunek 6: Pozycja: (2,2)



Rysunek 7: Pozycja: (2,4)

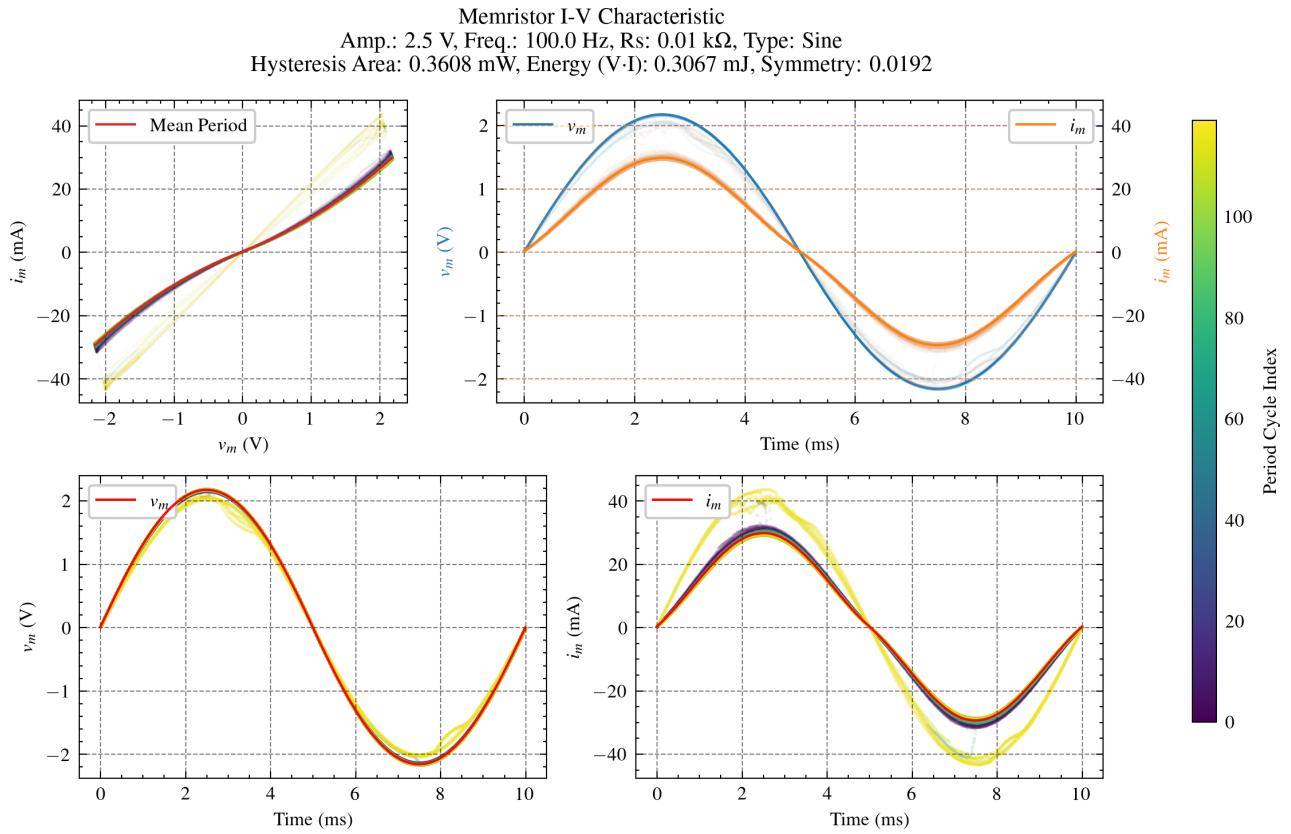


Rysunek 8: Pozycja: (2,4)

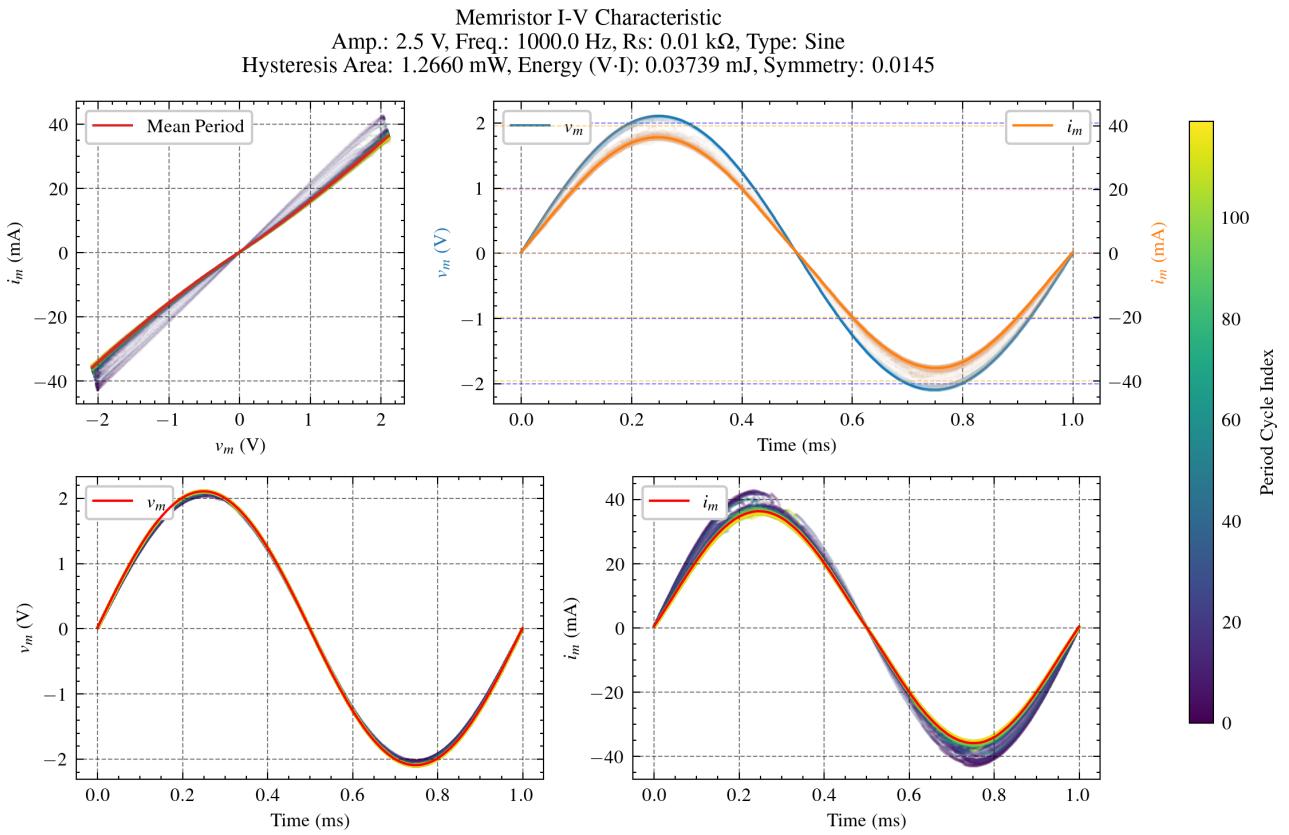


Rysunek 9: Pozycja: (2,4)

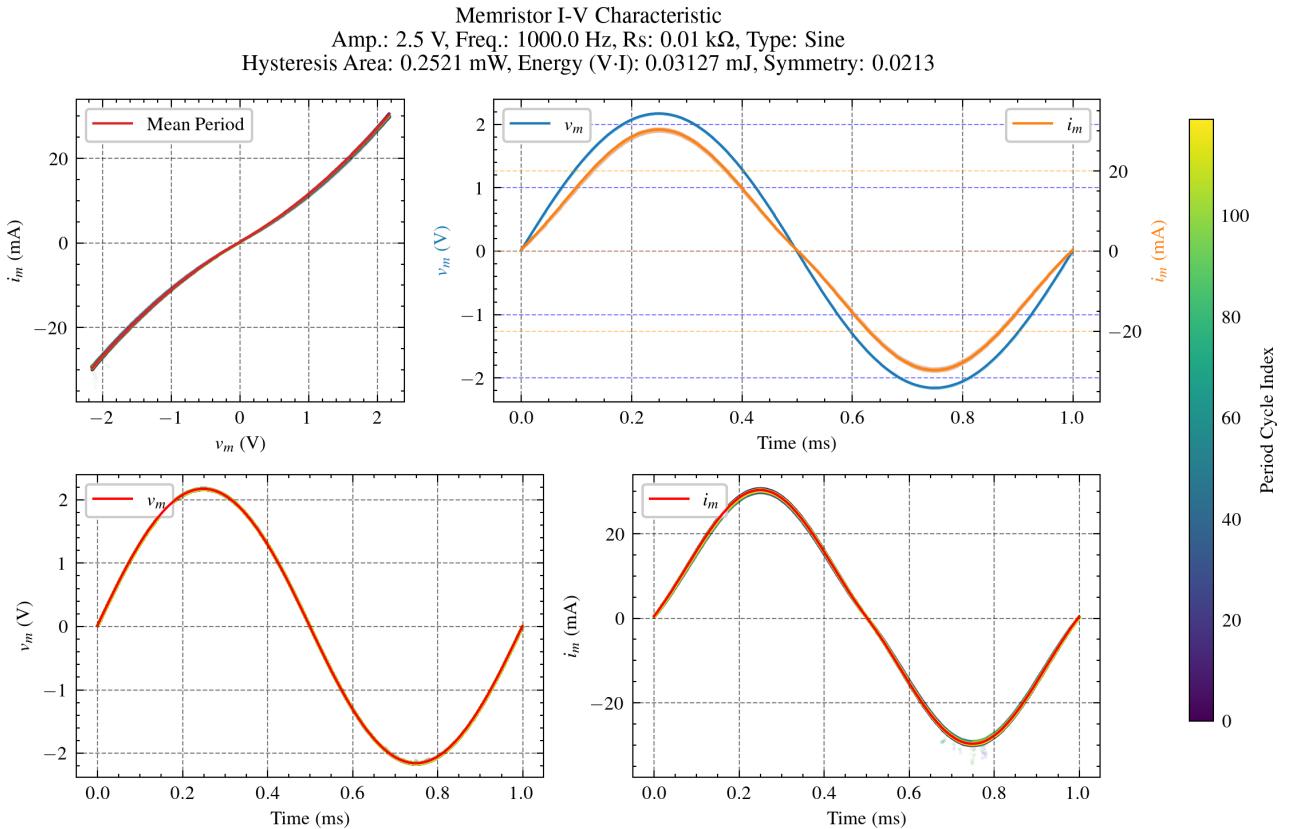
3.2 Memristor w pozycji II (perwen)



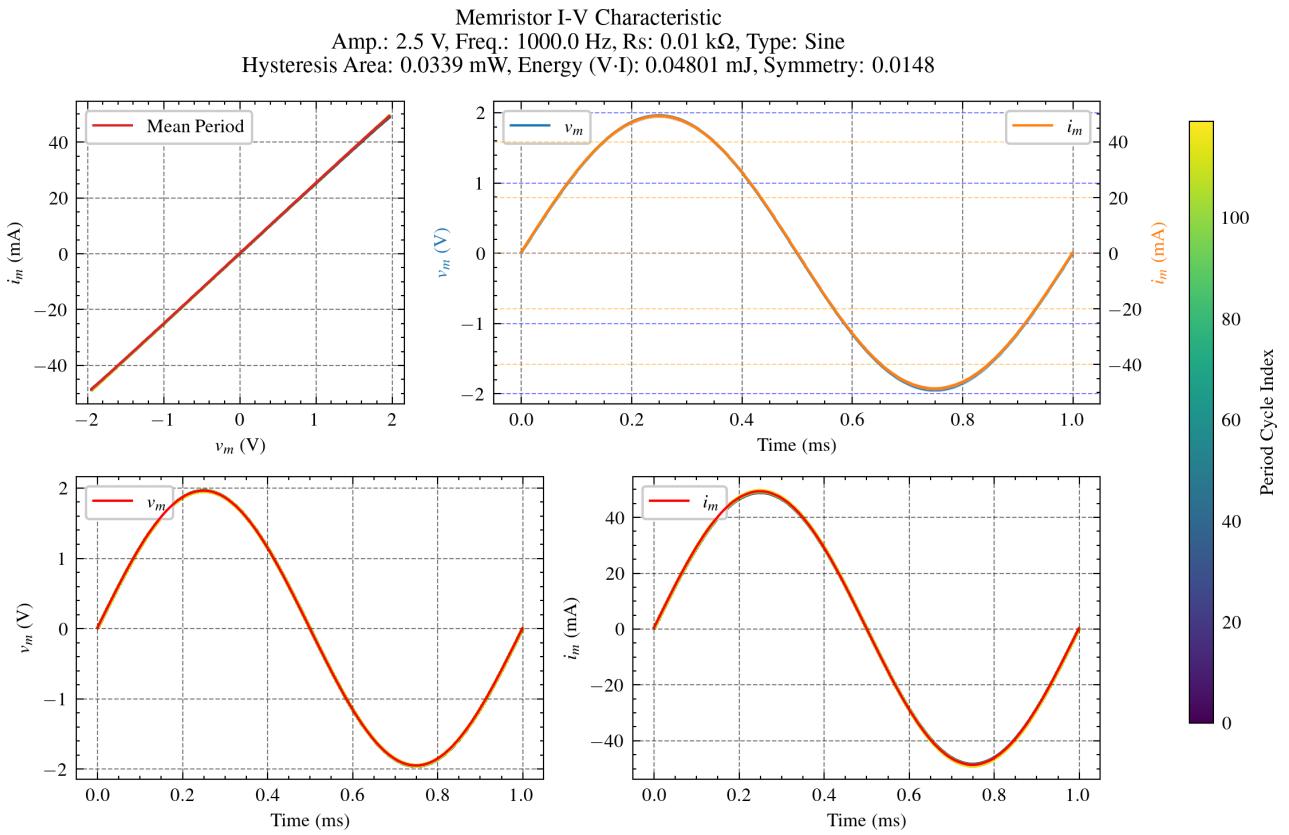
Rysunek 10: Pozycja: (1,3)



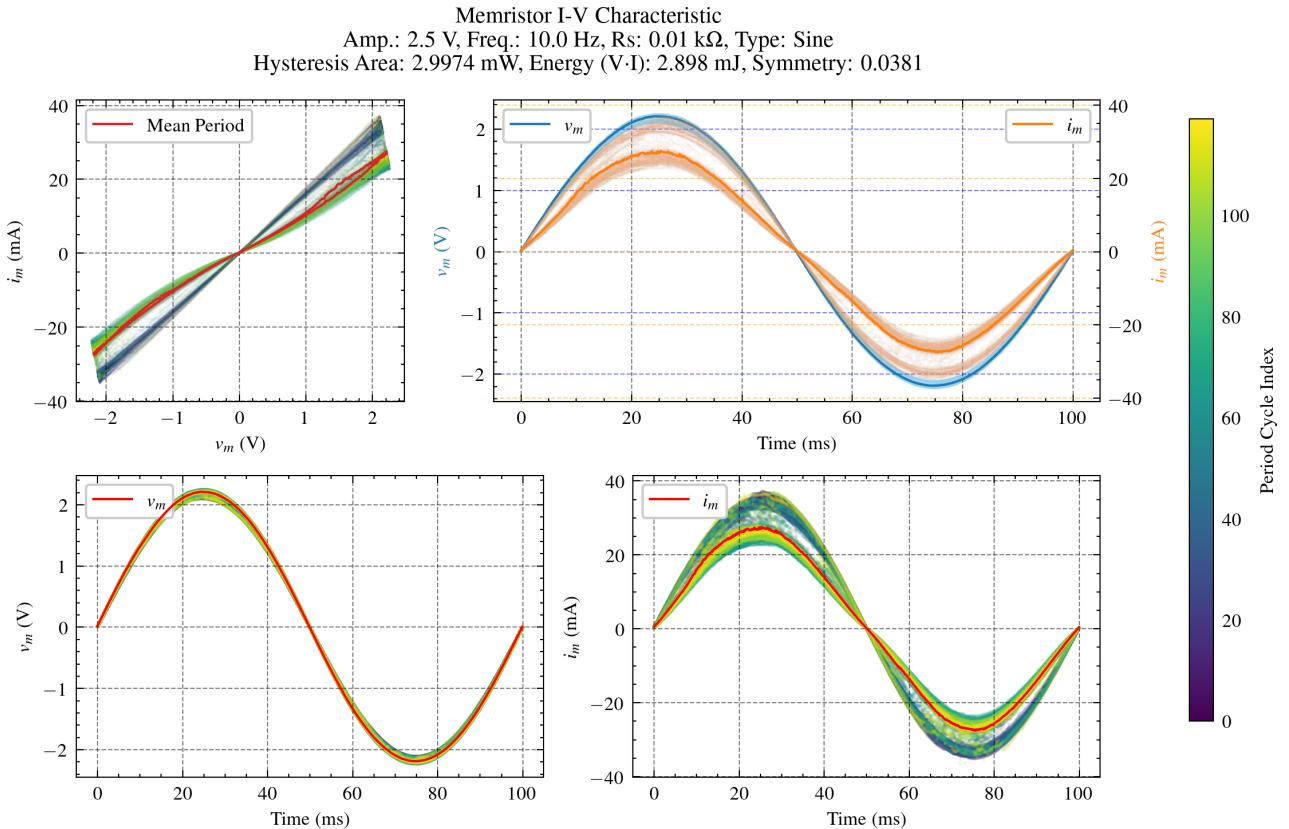
Rysunek 11: Pozycja: (1,3)



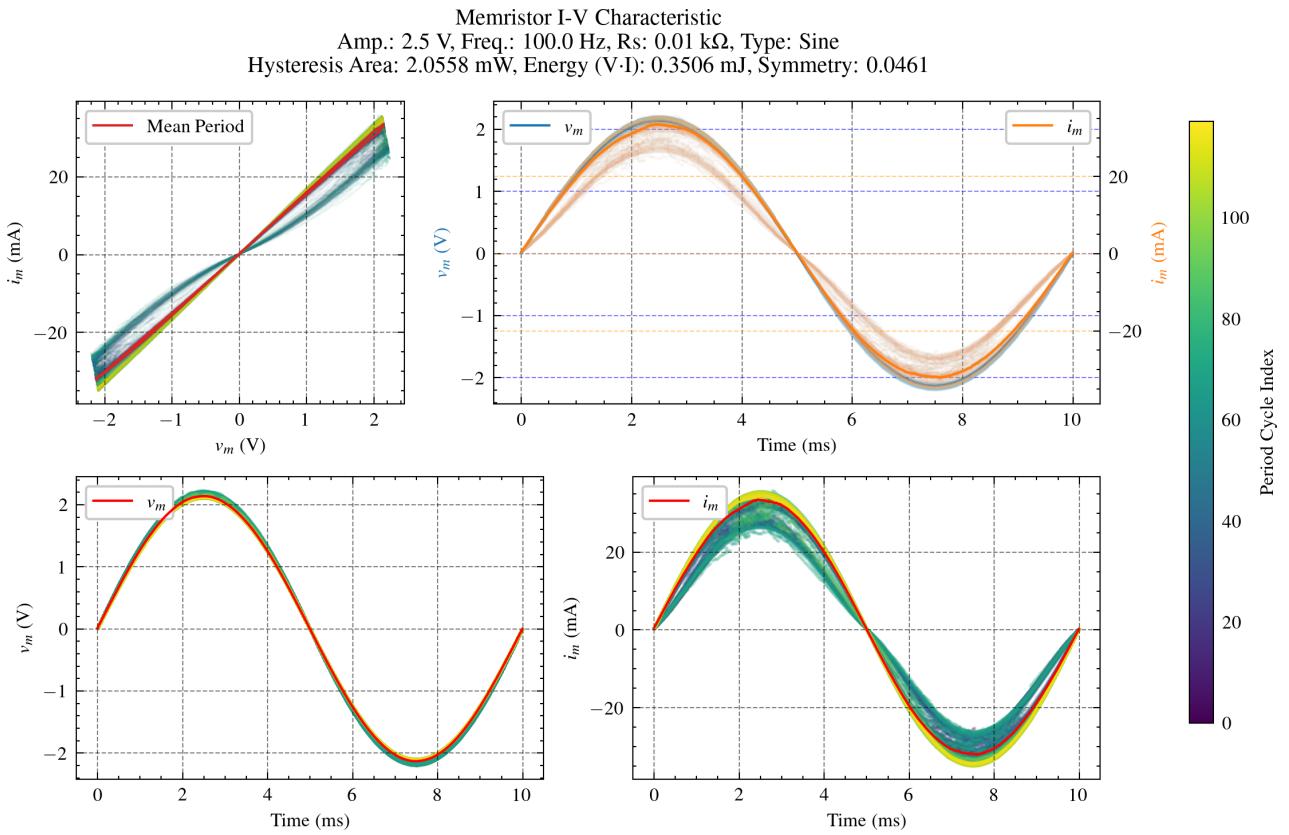
Rysunek 12: Pozycja: (1,3)



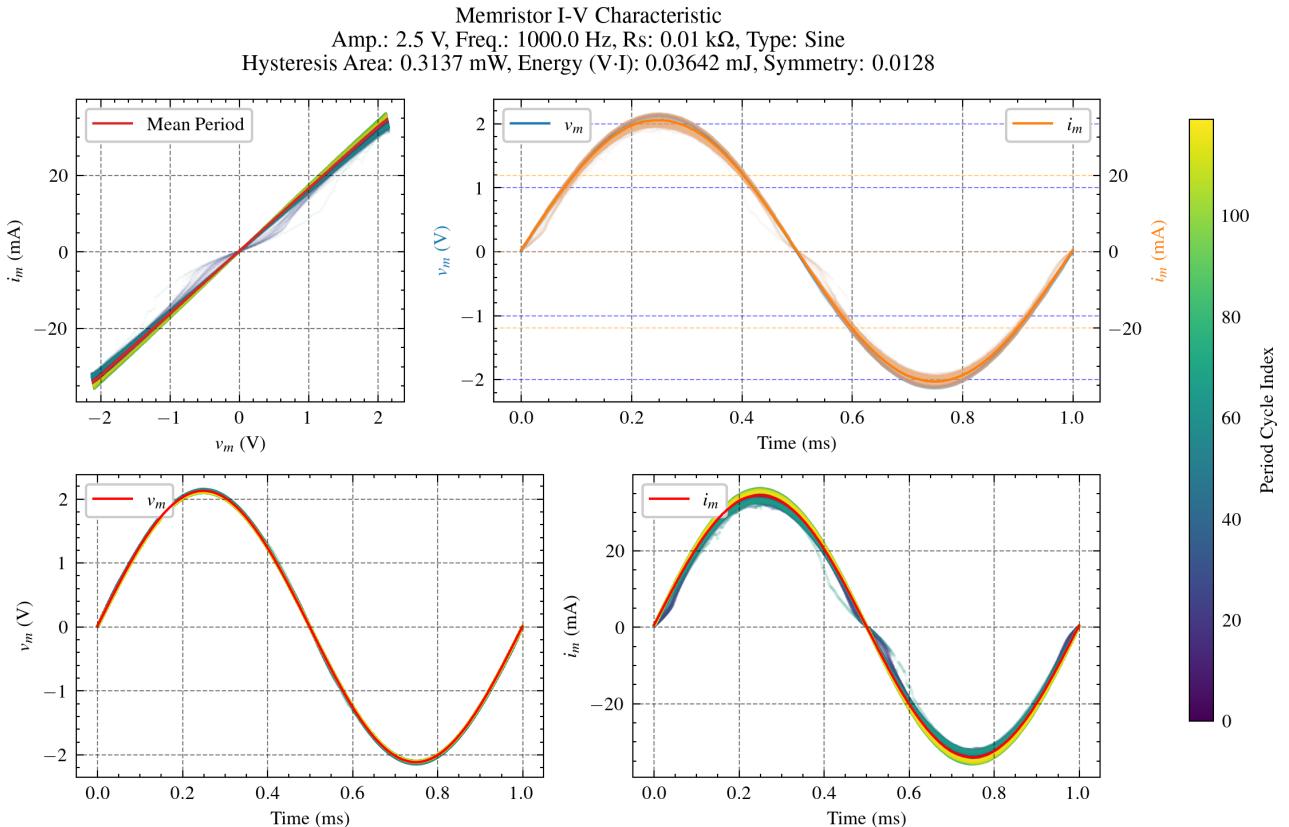
Rysunek 13: Pozycja: (1,4)



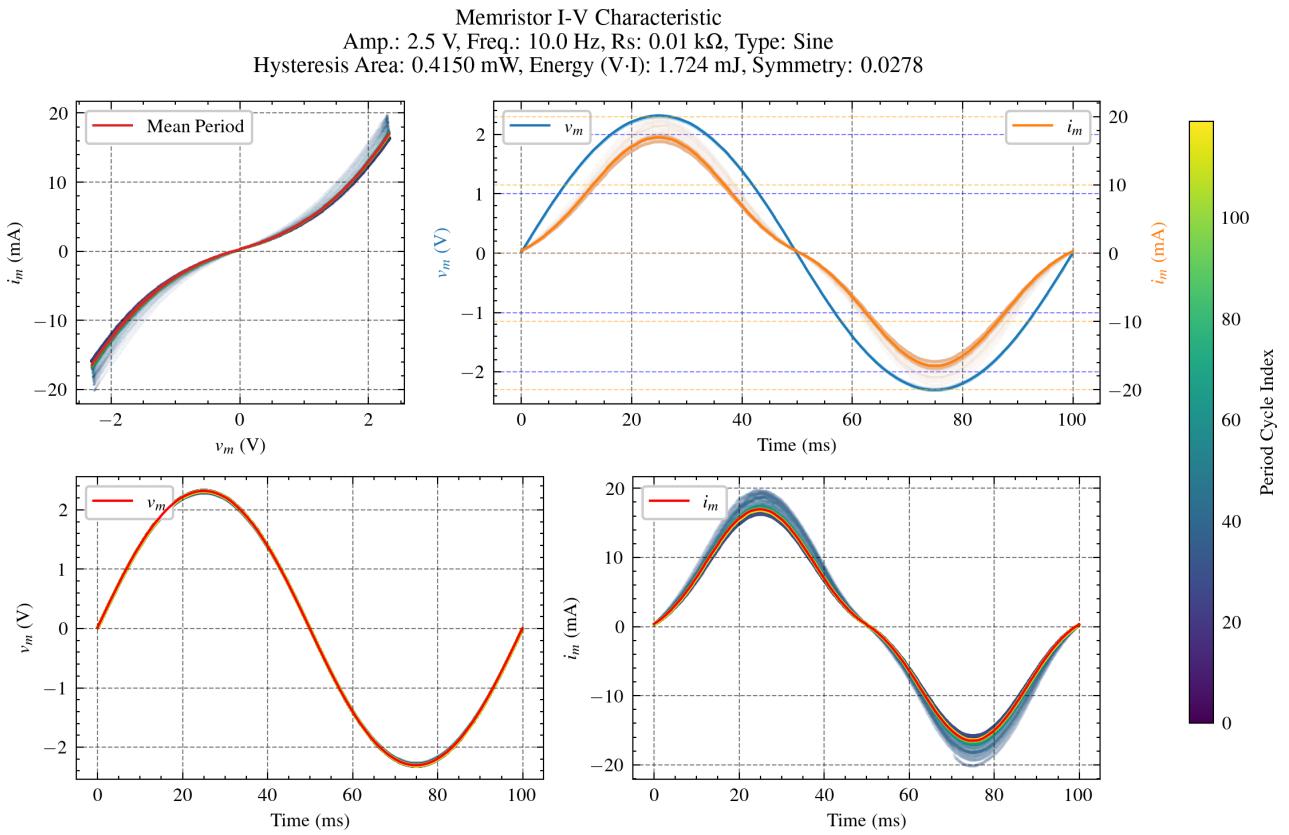
Rysunek 14: Pozycja: (2,0)



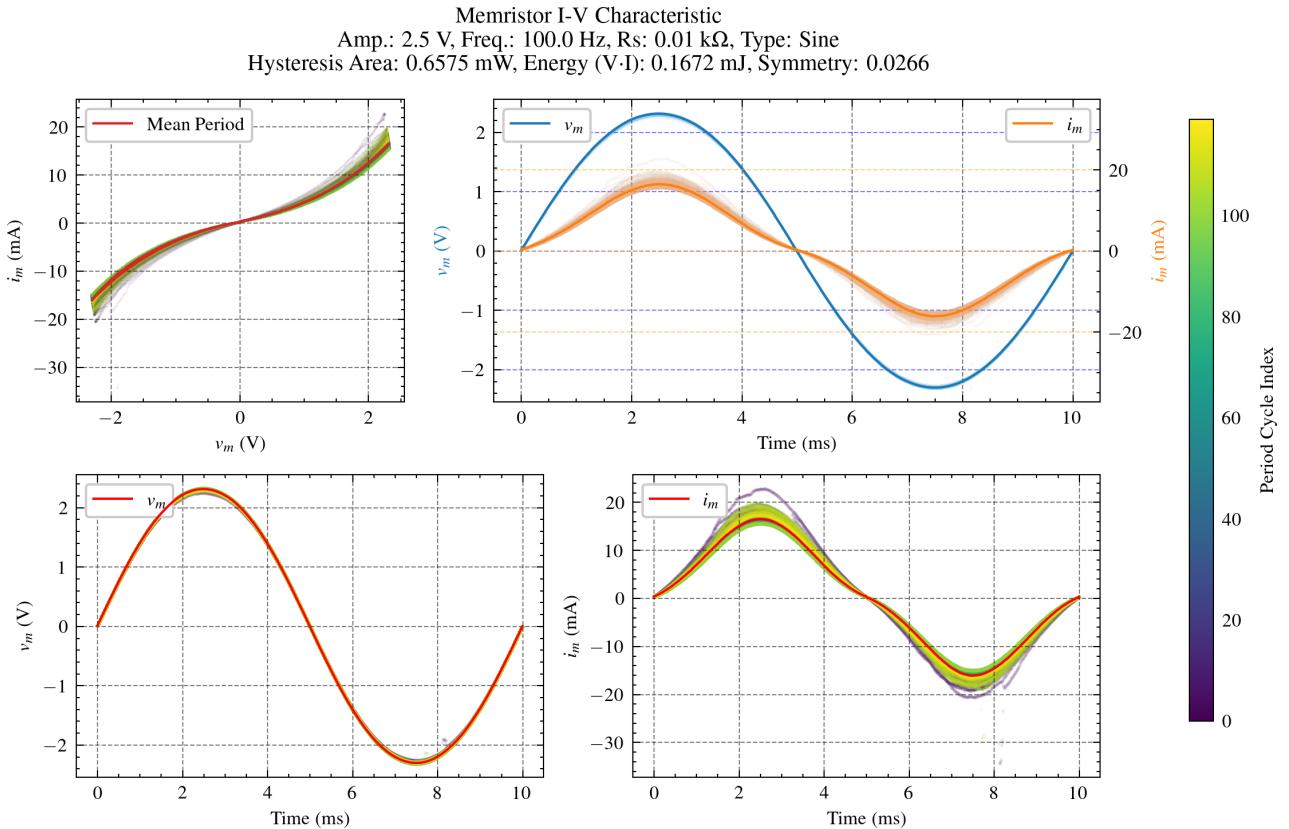
Rysunek 15: Pozycja: (2,0)



Rysunek 16: Pozycja: (2,0)

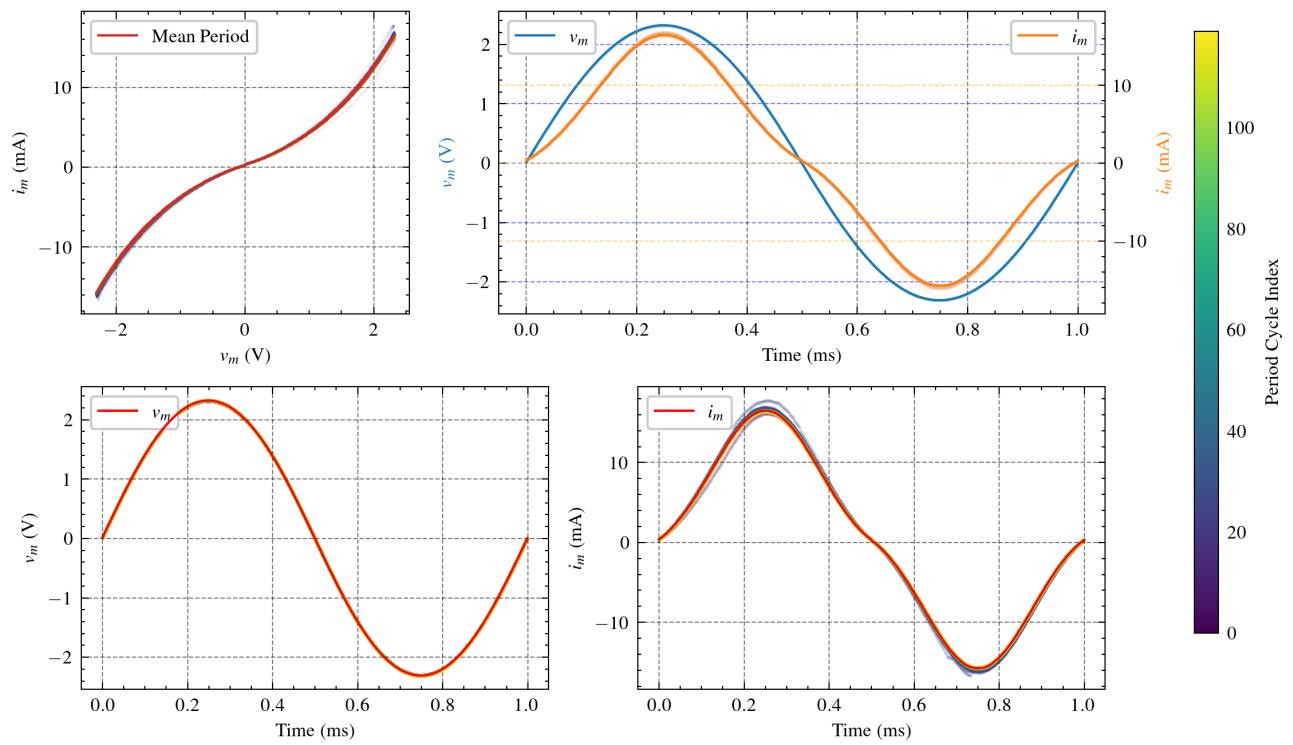


Rysunek 17: Pozycja: (2,1)



Rysunek 18: Pozycja: (2,1)

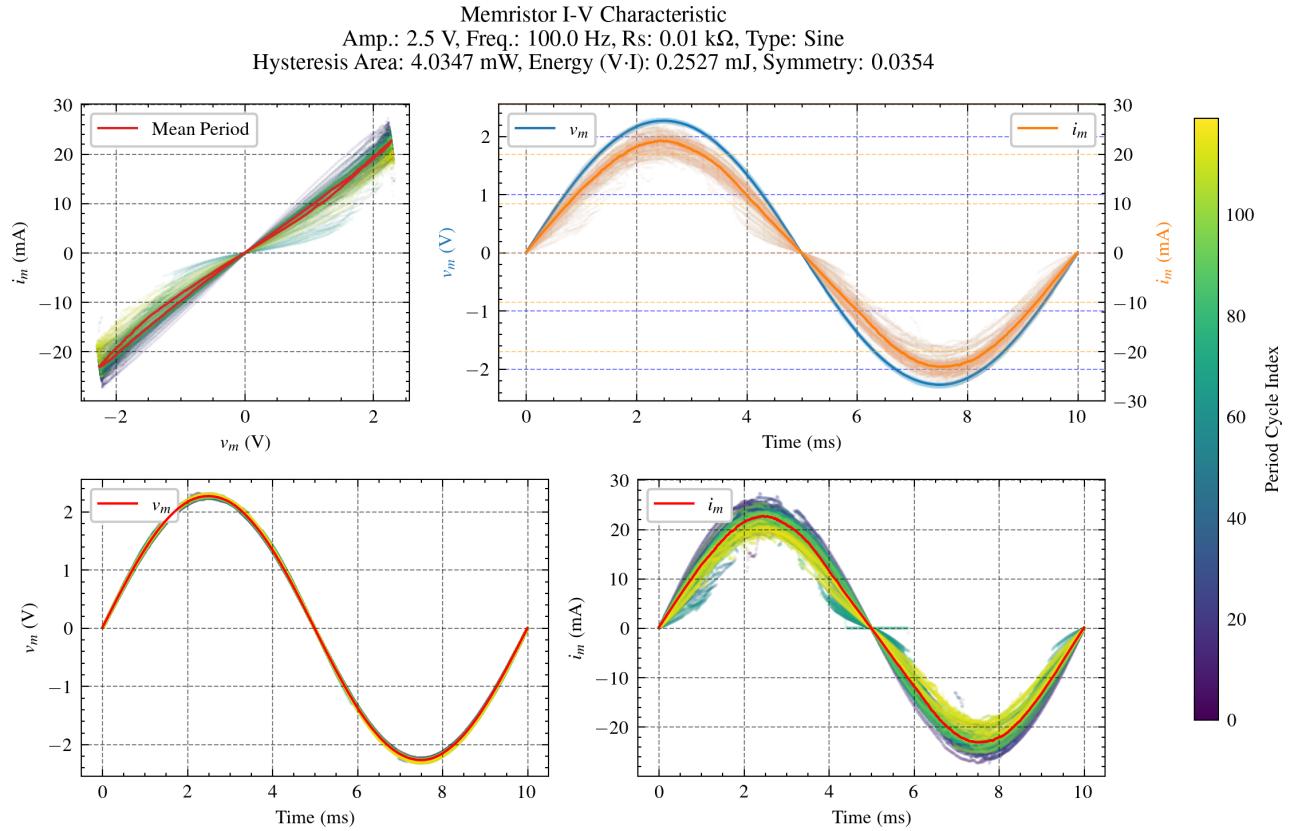
Memristor I-V Characteristic
 Amp.: 2.5 V, Freq.: 1000.0 Hz, Rs: 0.01 k Ω , Type: Sine
 Hysteresis Area: 0.6497 mW, Energy (V-I): 0.01672 mJ, Symmetry: 0.0449



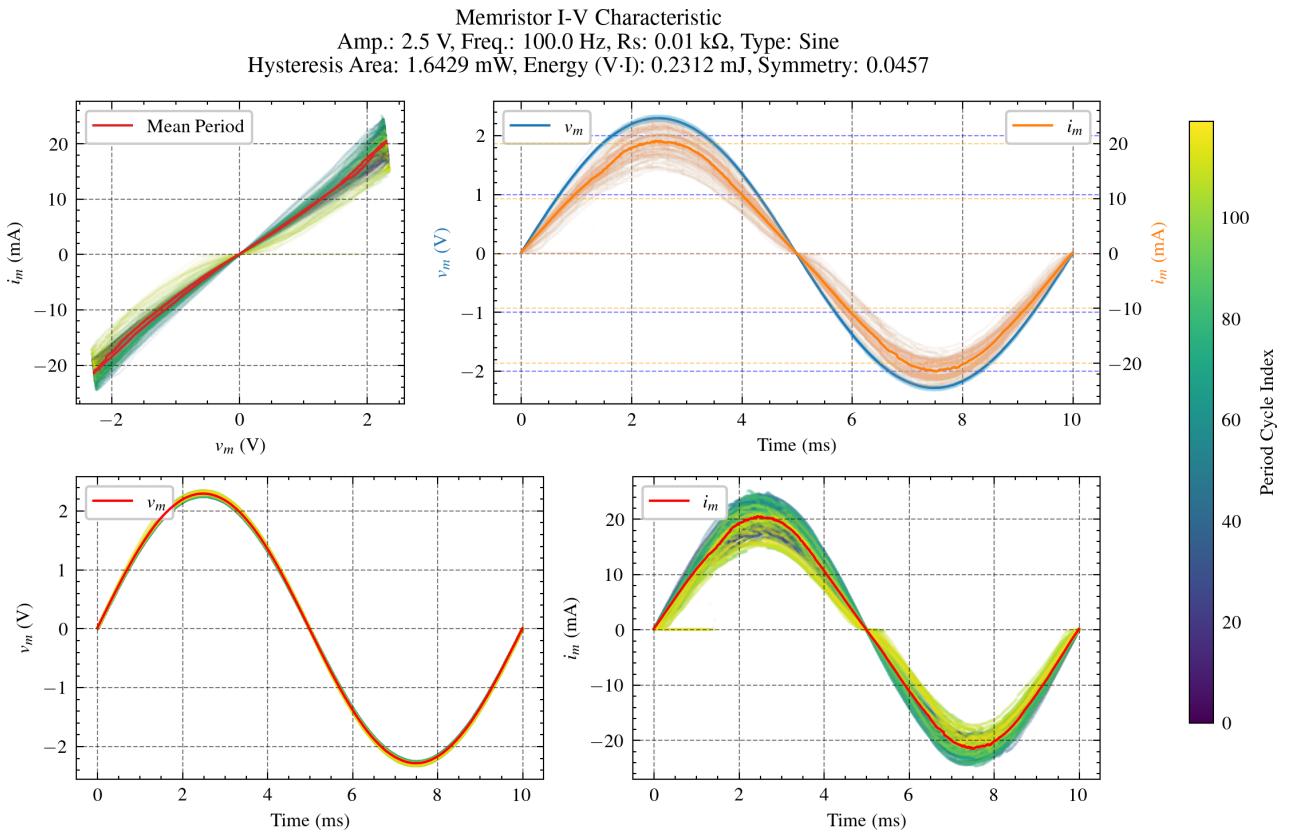
Rysunek 19: Pozycja: (2,1)

4 Wyniki pomiarów, bez sprecyzowanej pozycji memrys-tora

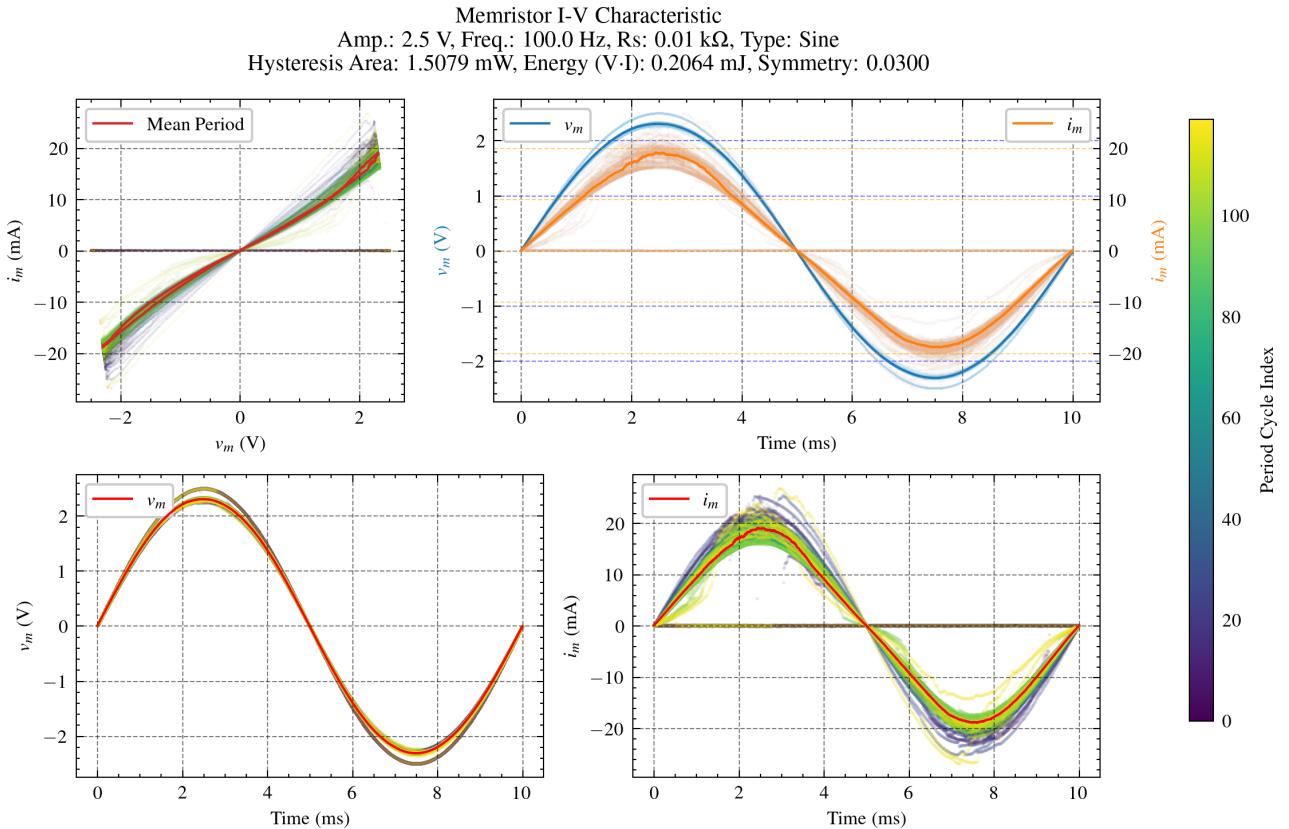
4.1 Memrystor I (cuaspf)



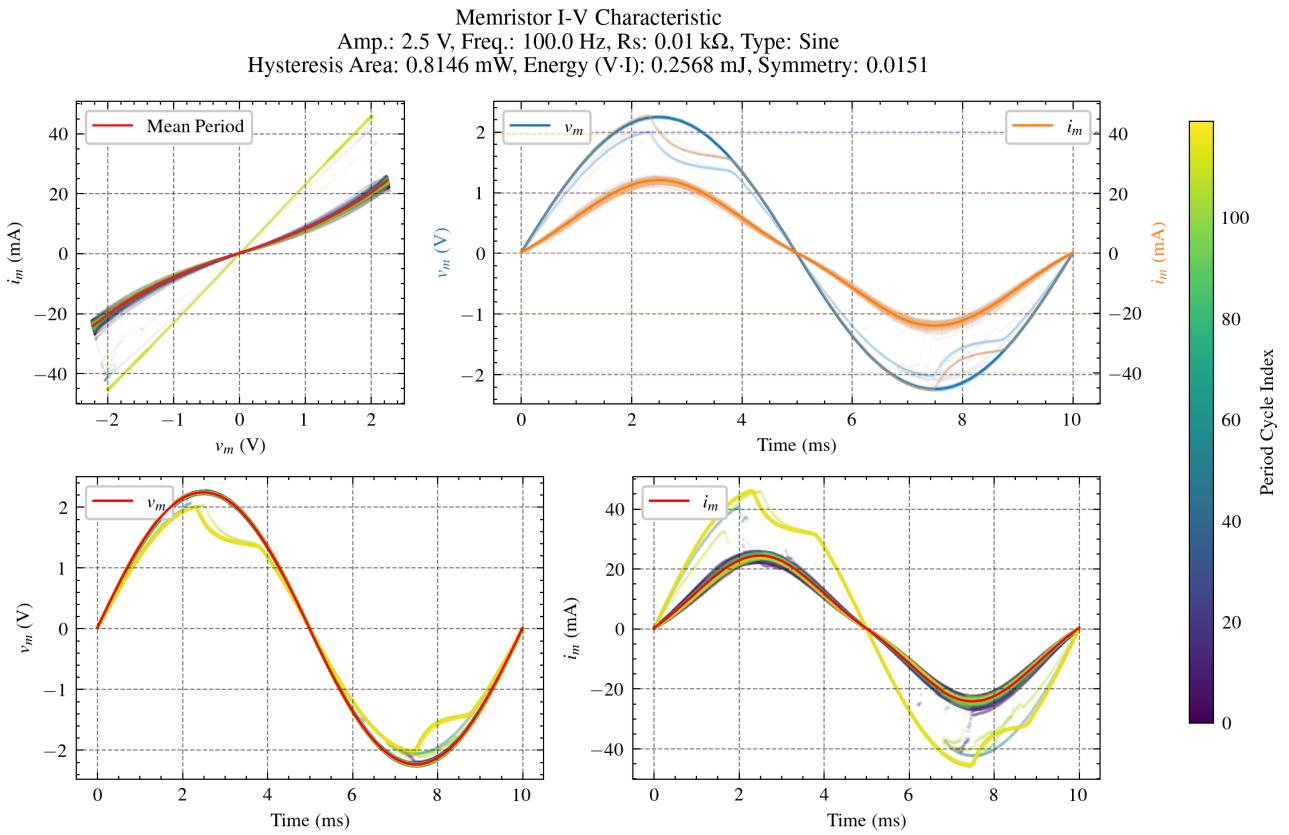
Rysunek 20



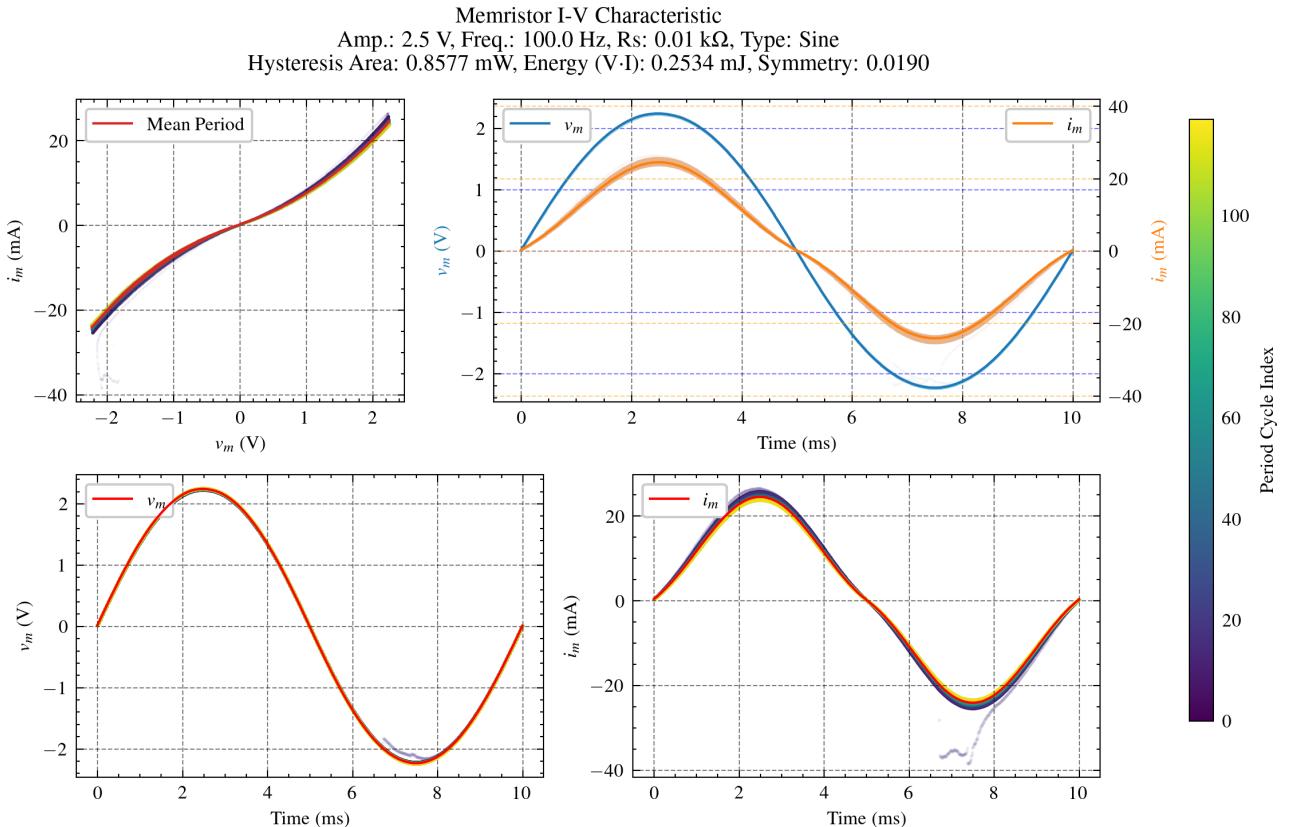
Rysunek 21



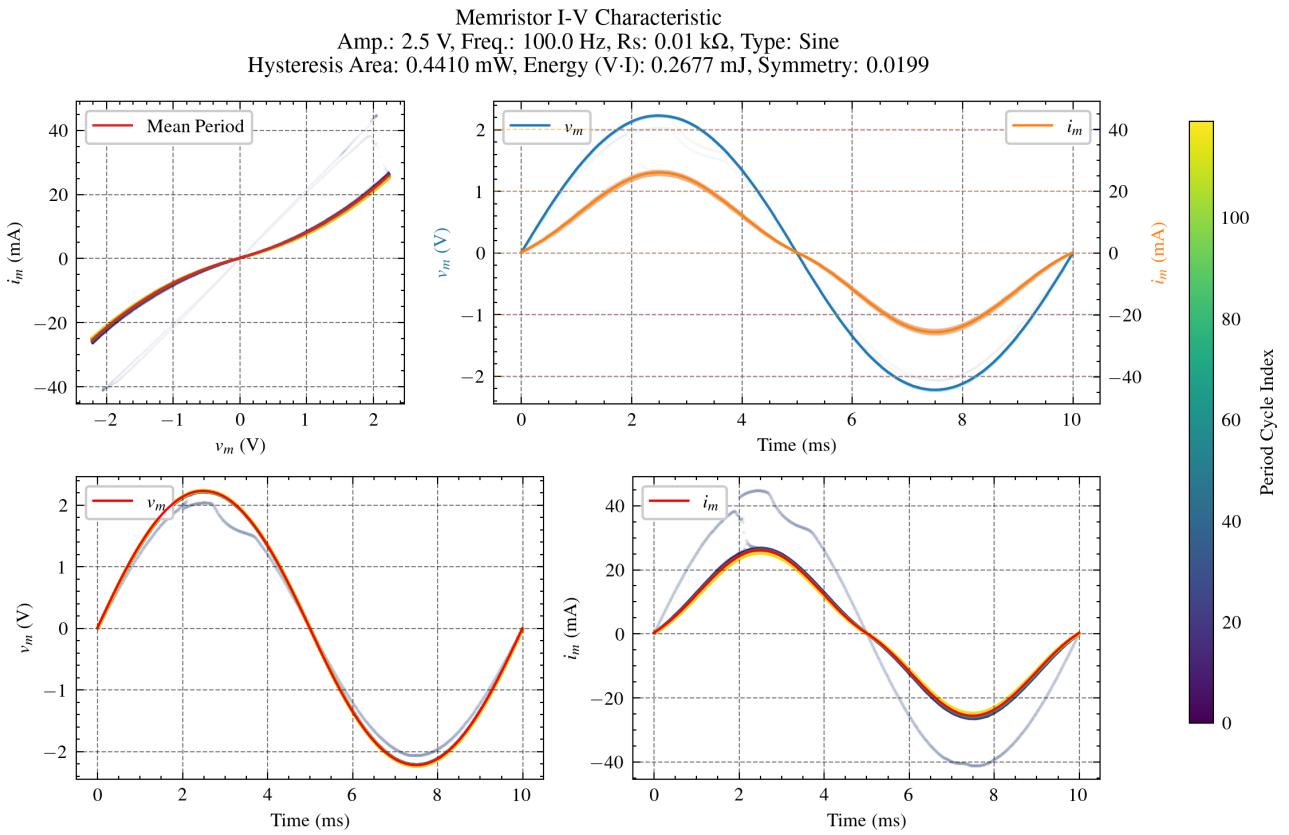
Rysunek 22



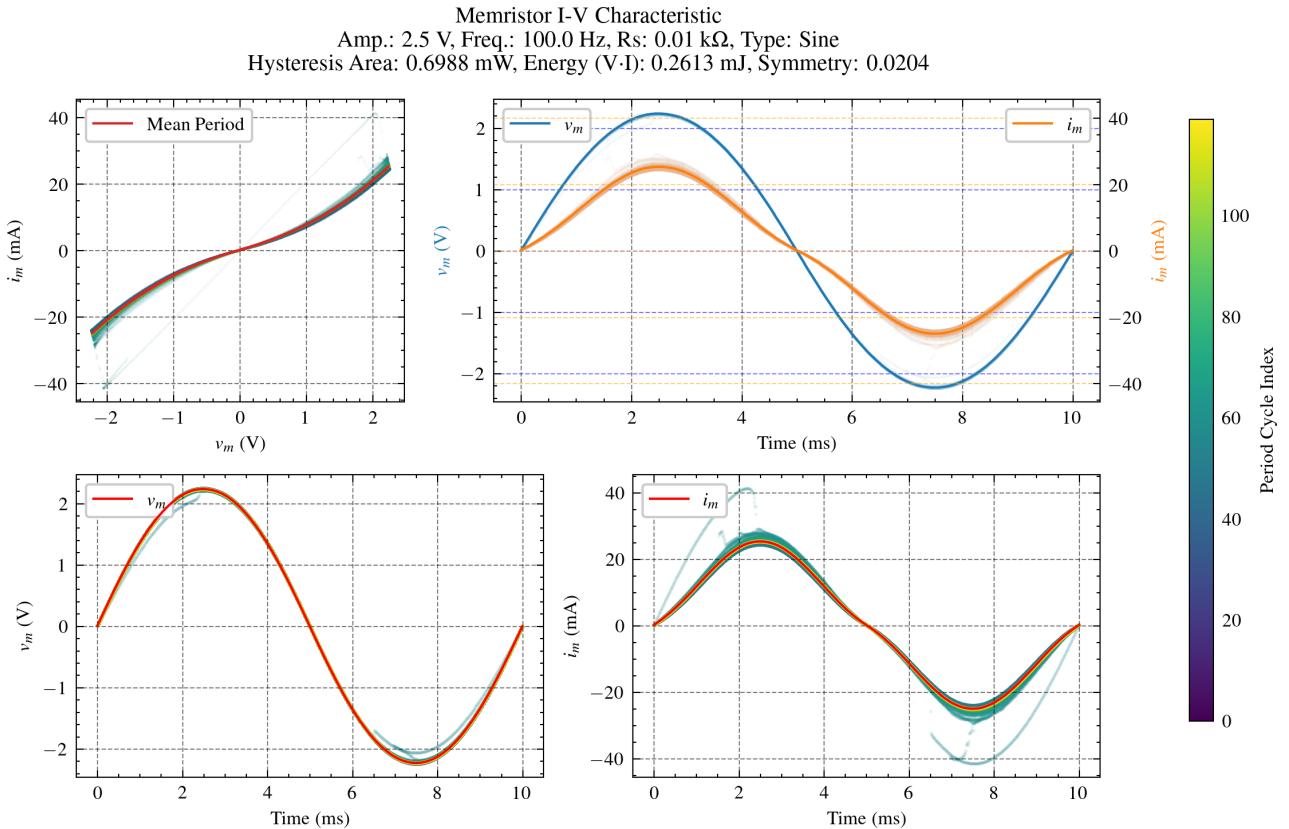
Rysunek 23



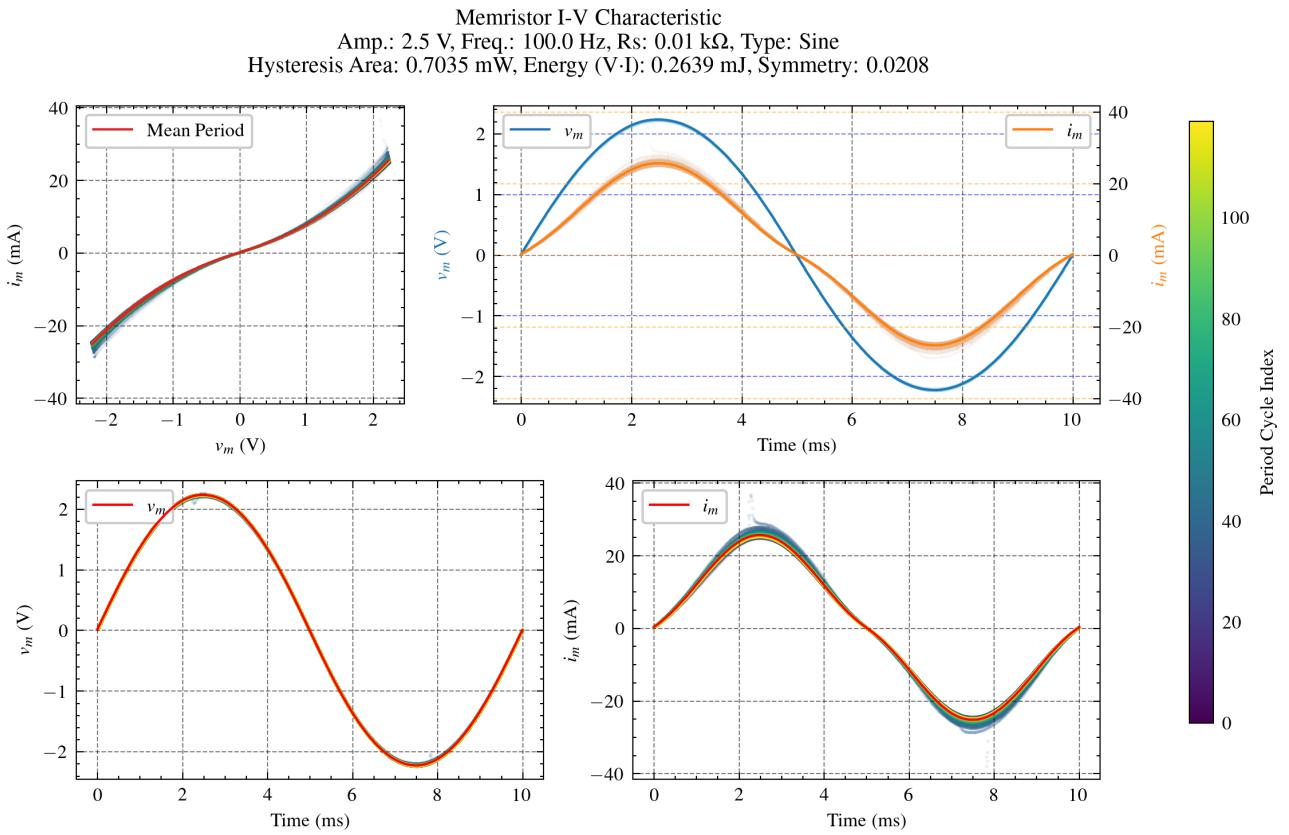
Rysunek 24



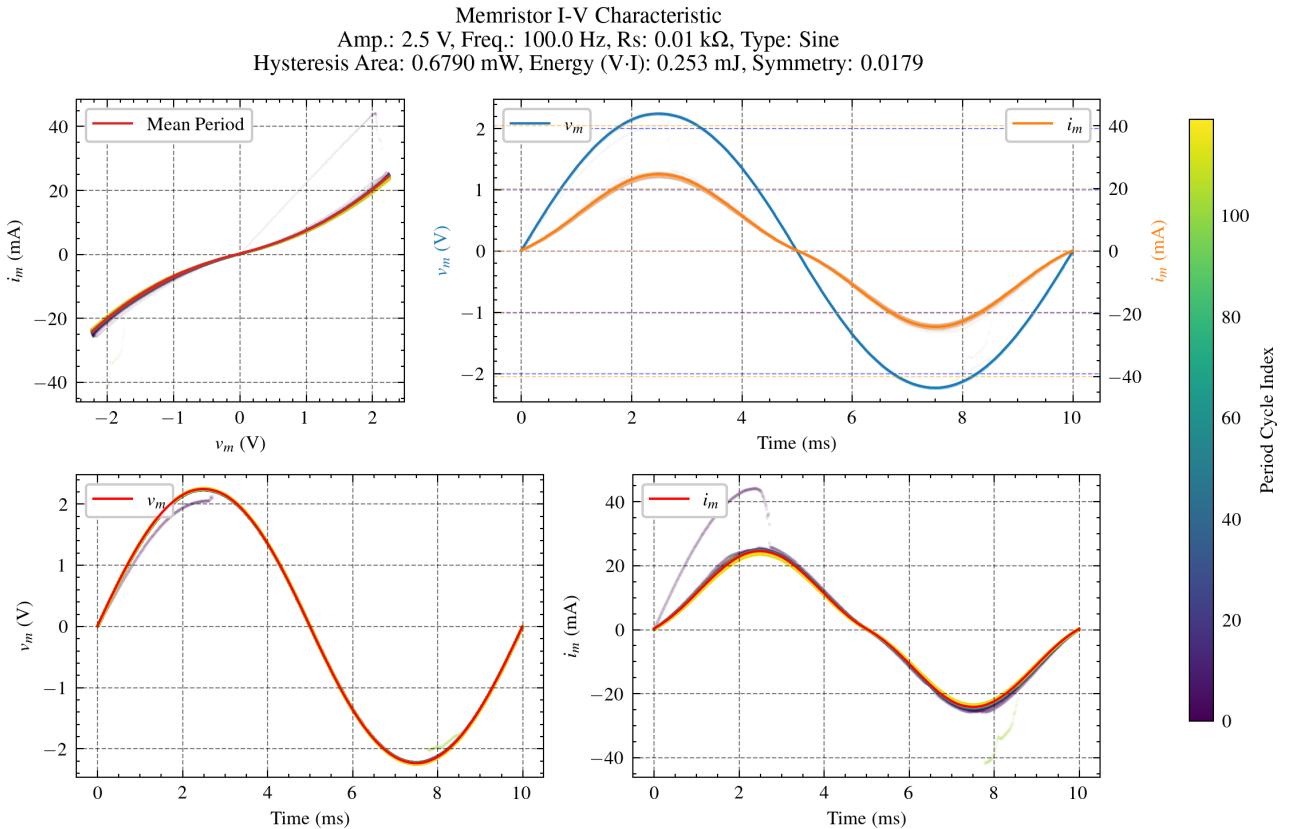
Rysunek 25



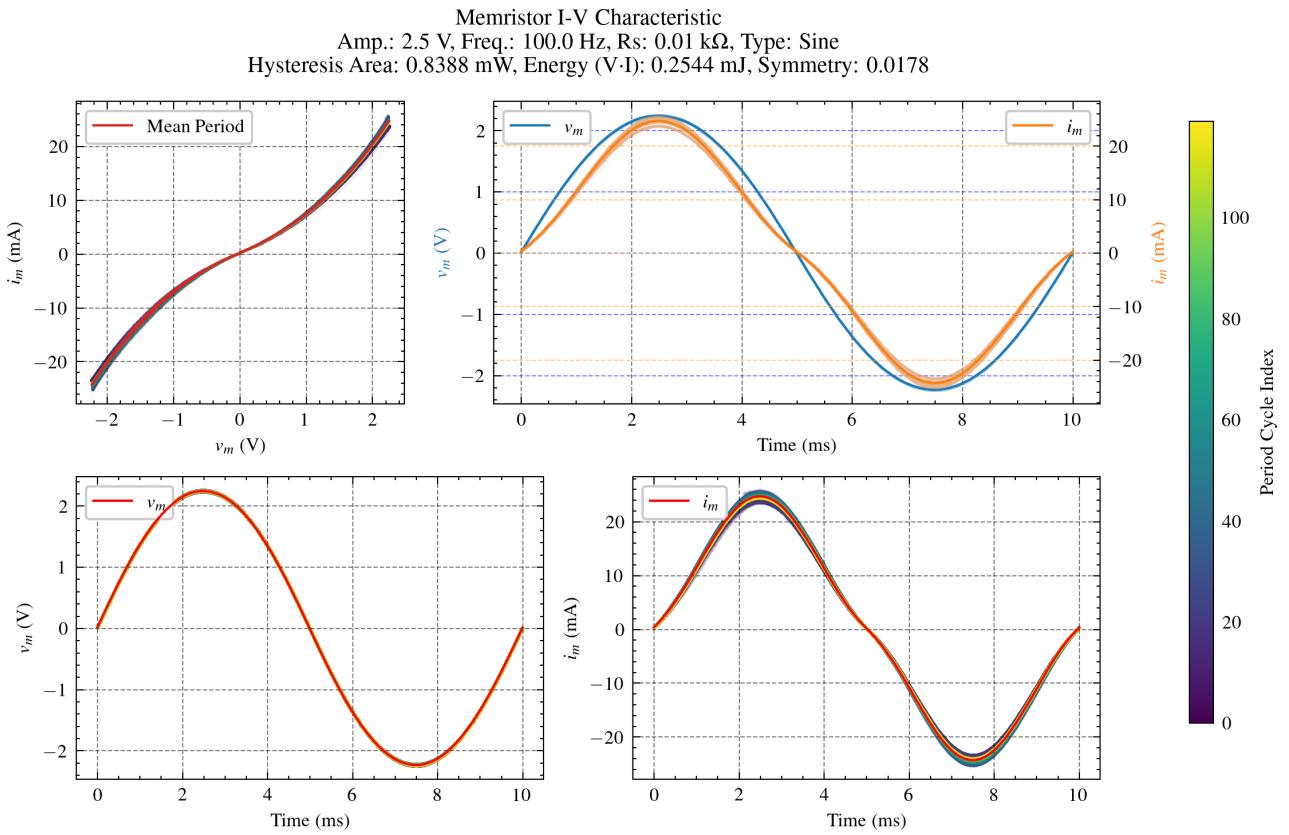
Rysunek 26



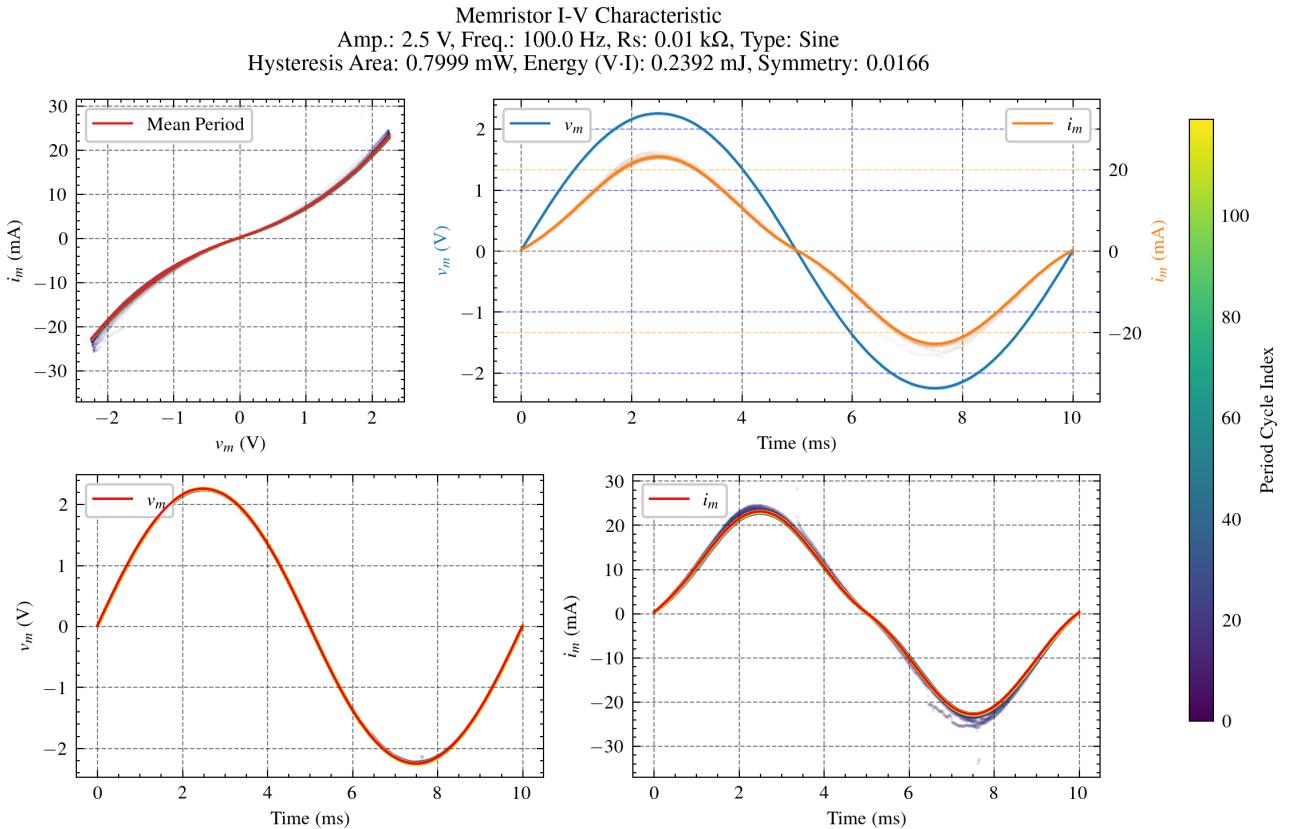
Rysunek 27



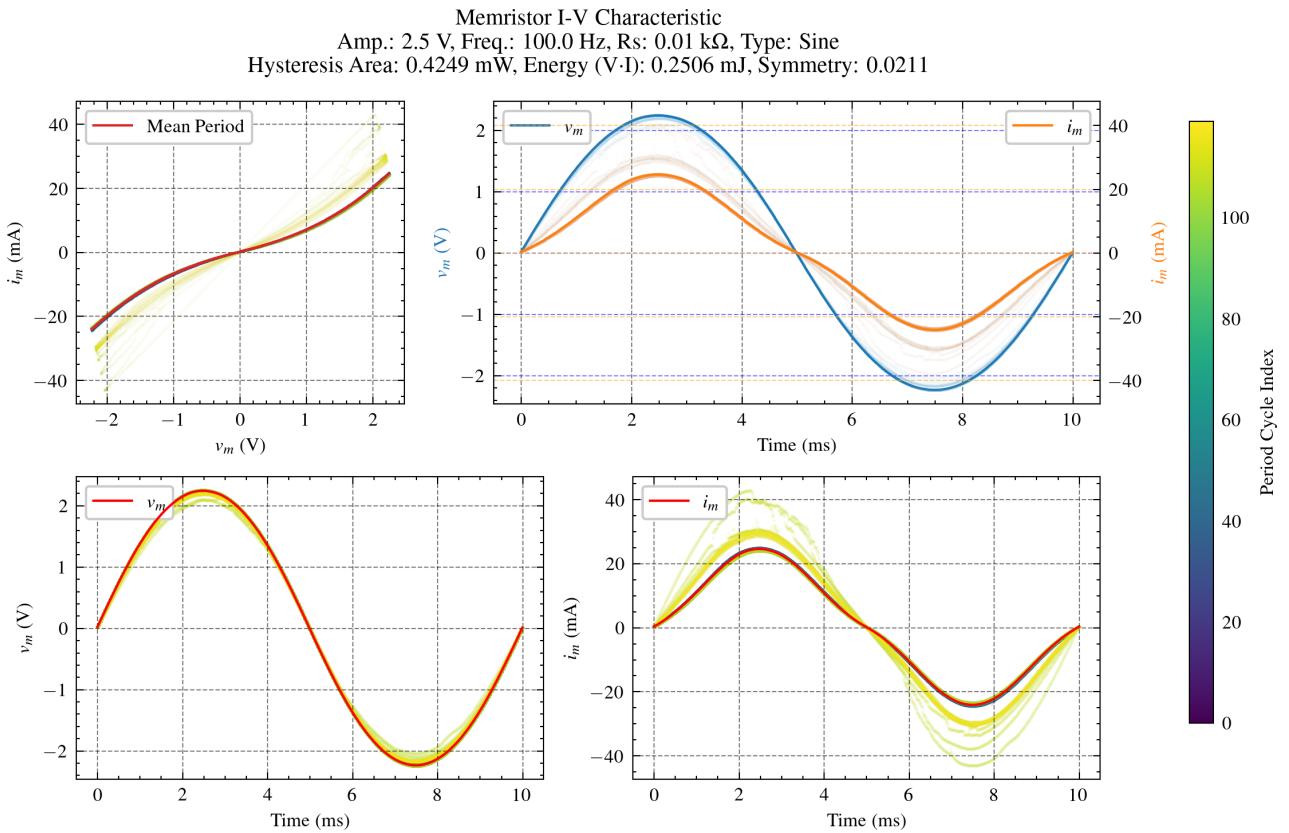
Rysunek 28



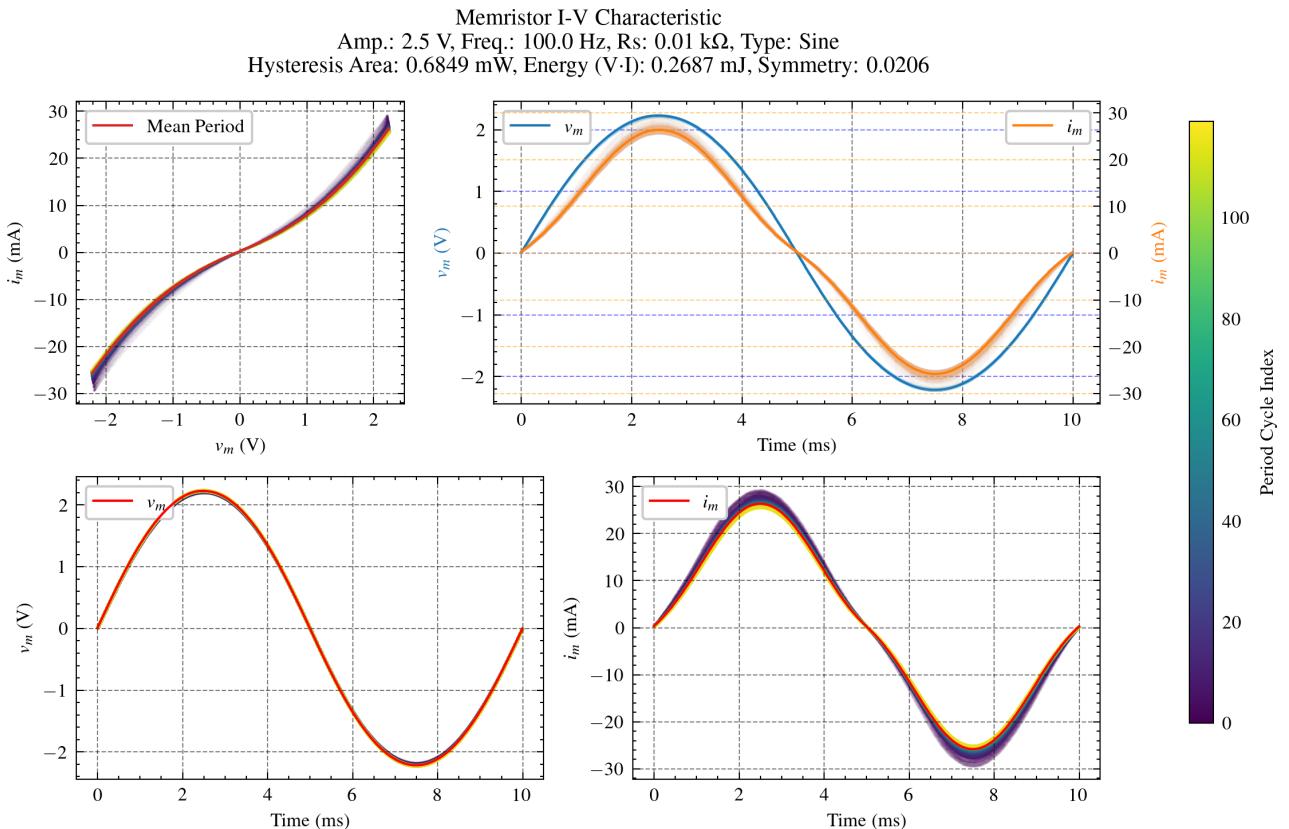
Rysunek 29



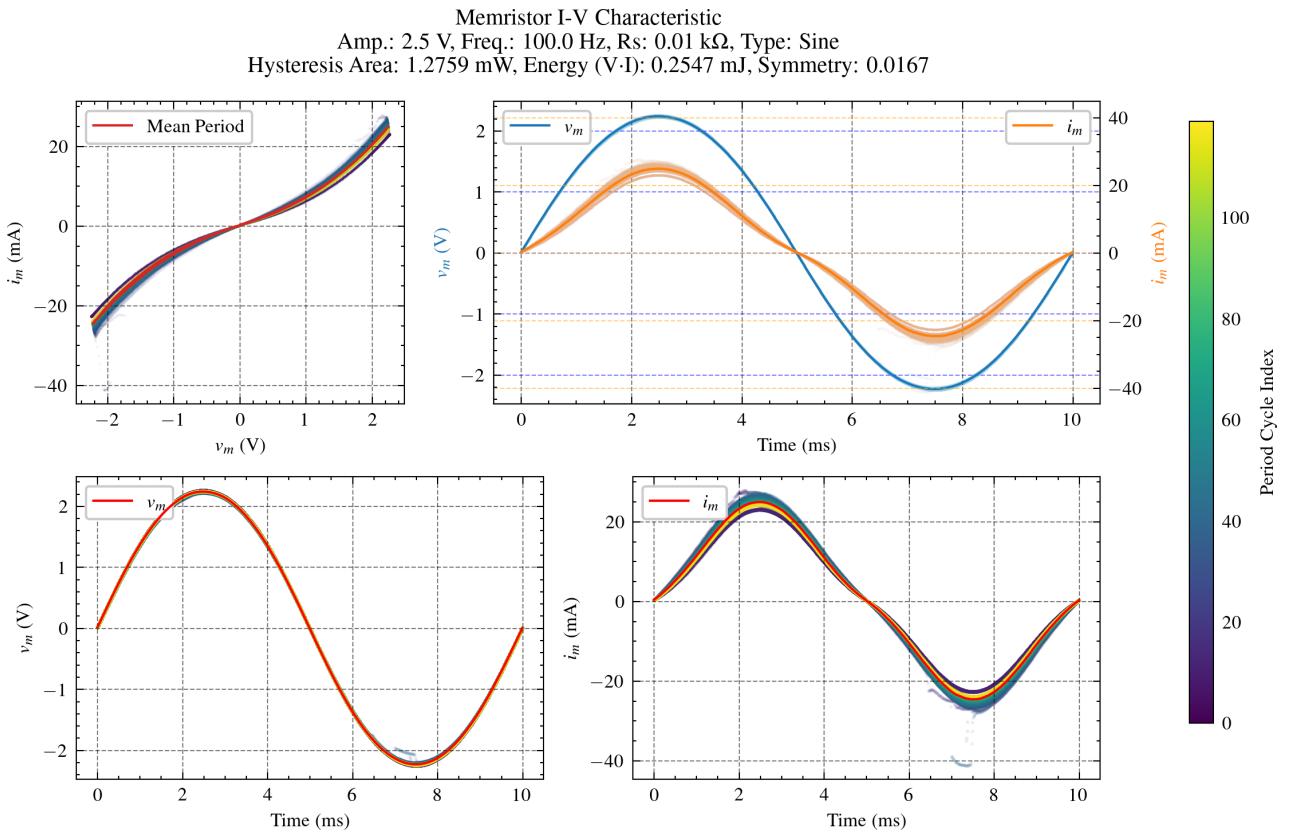
Rysunek 30



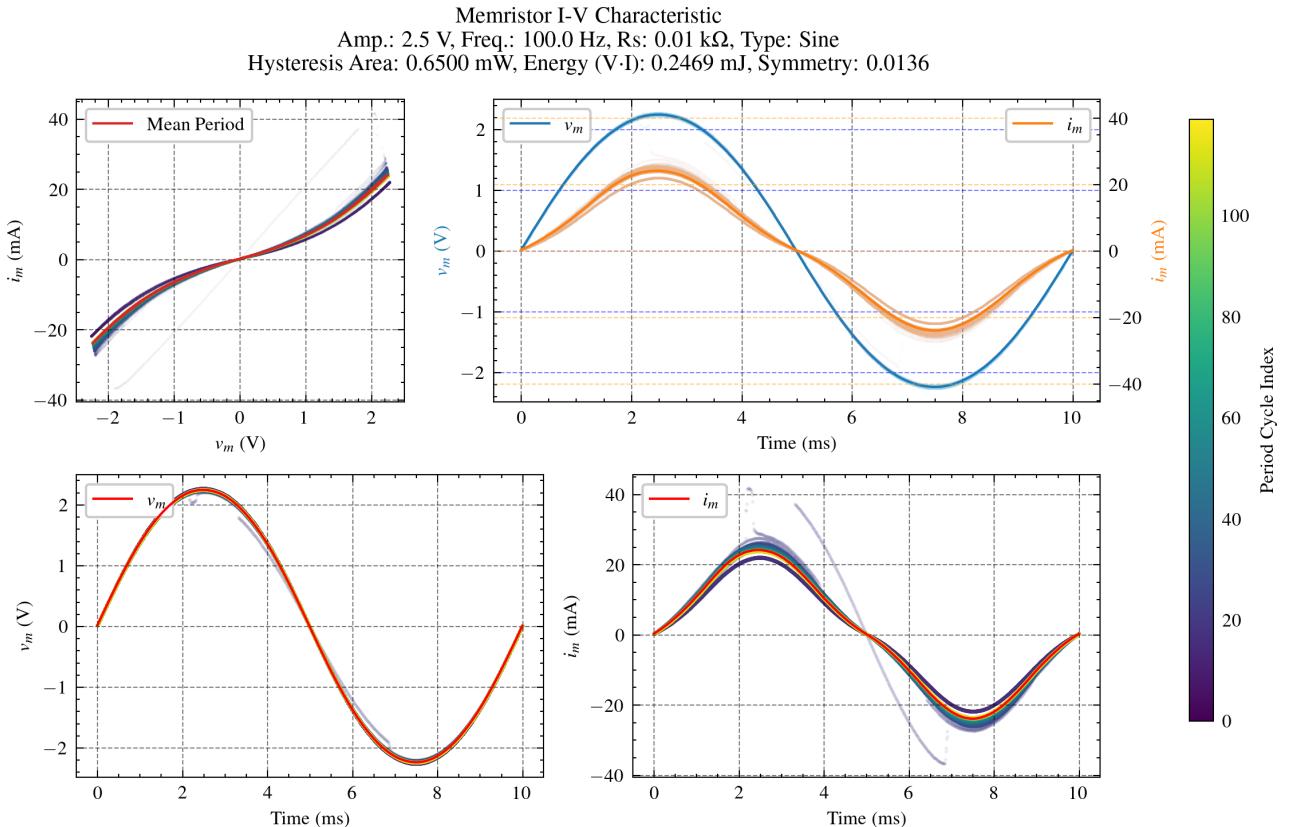
Rysunek 31



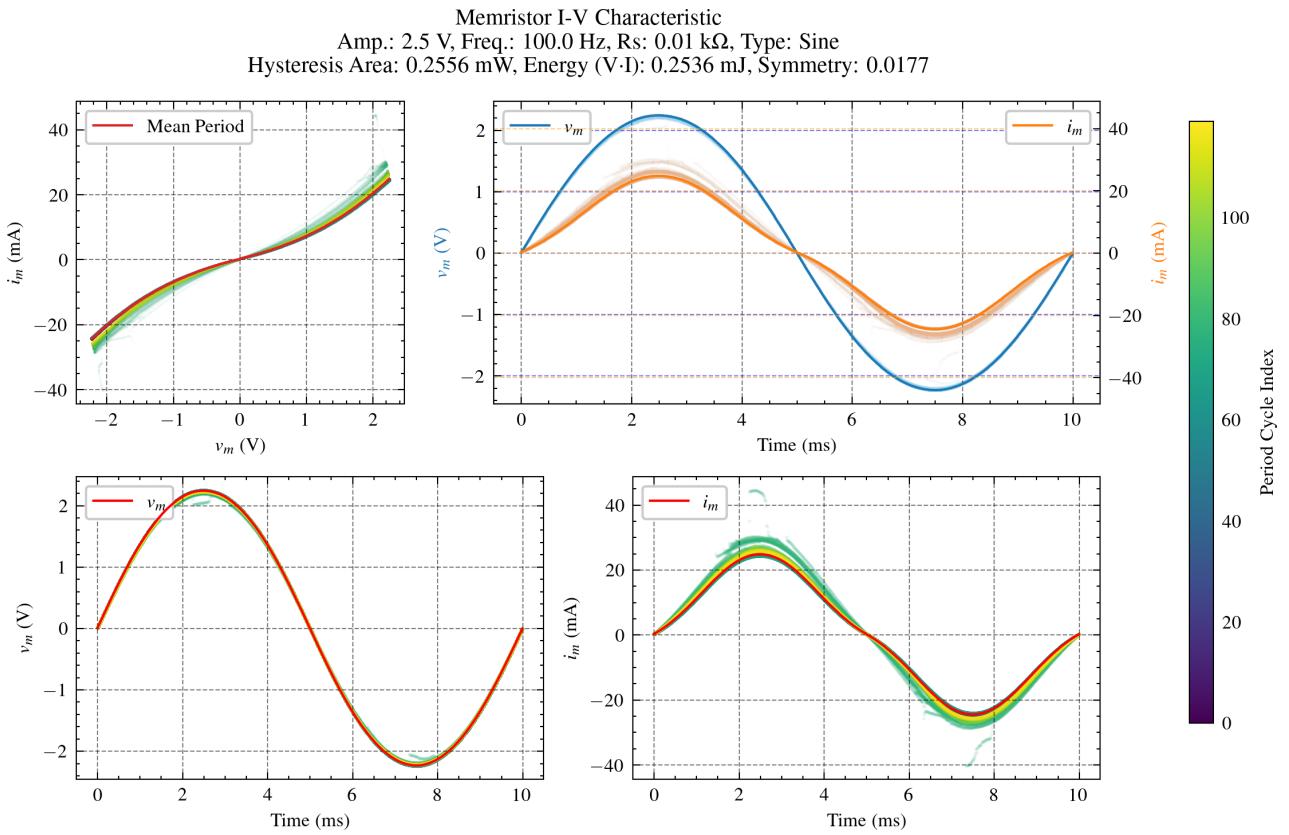
Rysunek 32



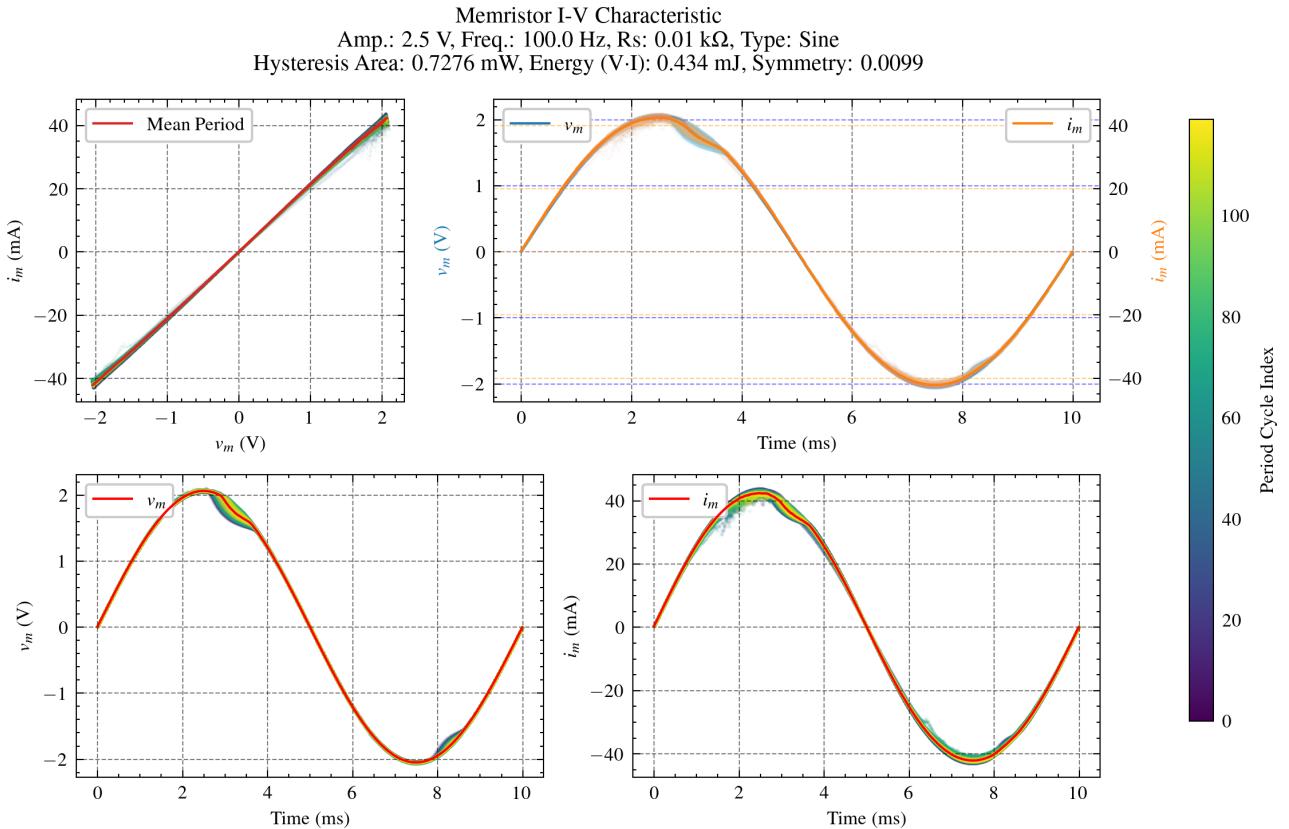
Rysunek 33



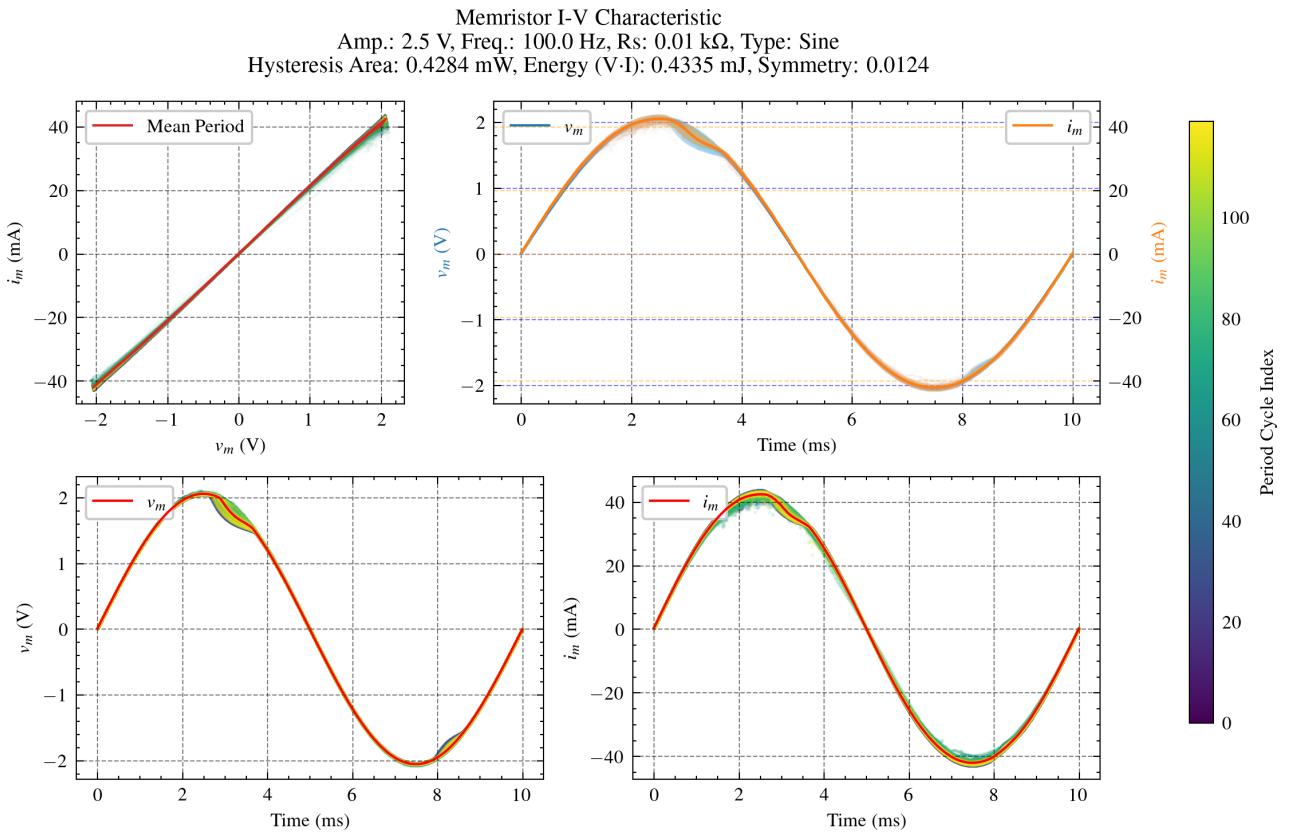
Rysunek 34



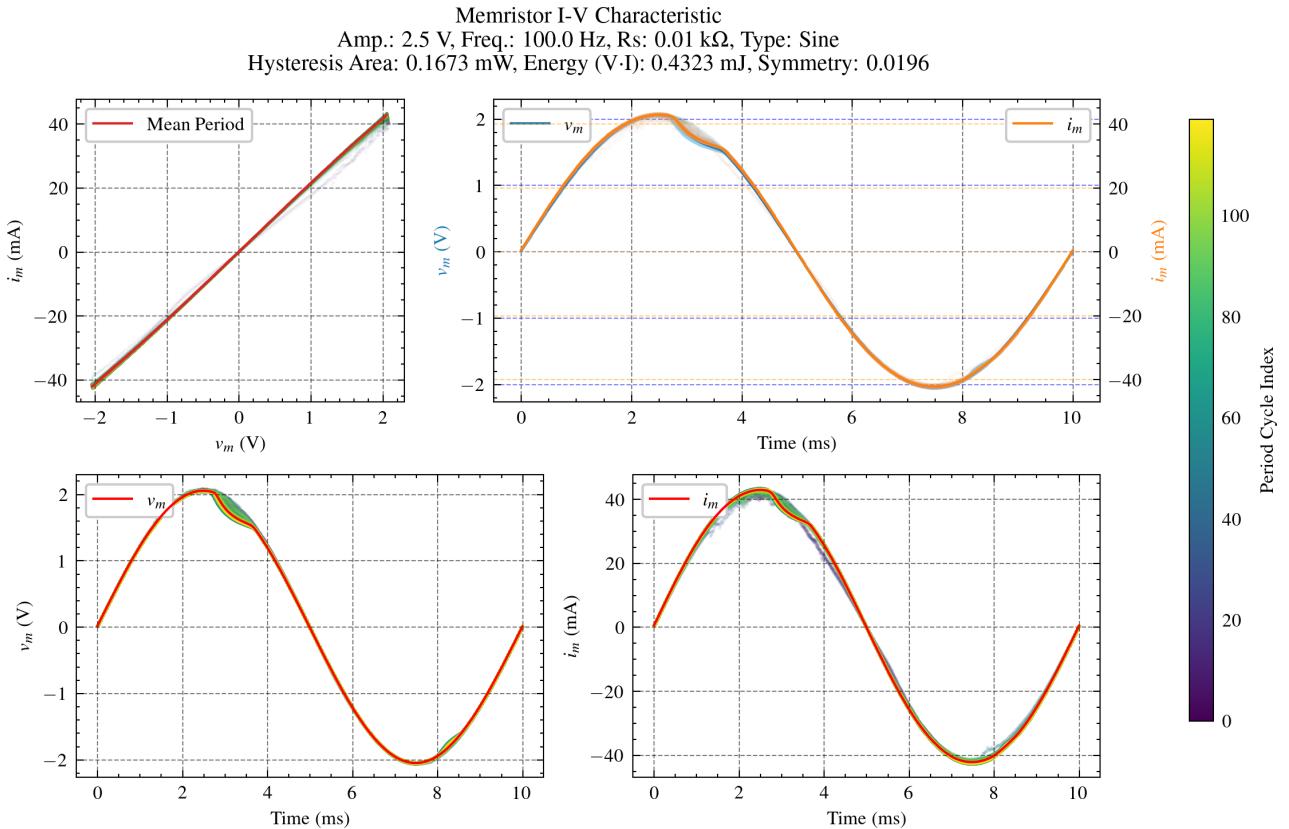
Rysunek 35



Rysunek 36

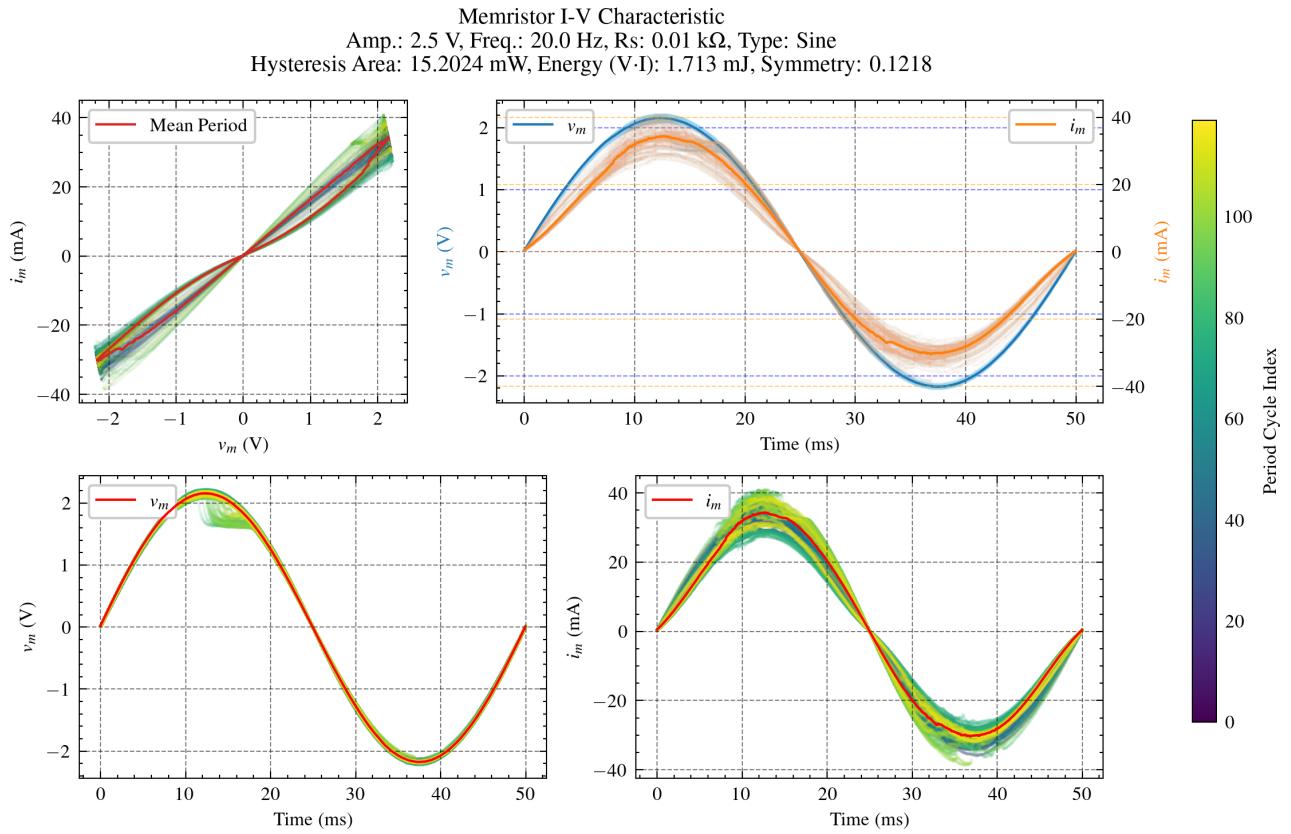


Rysunek 37

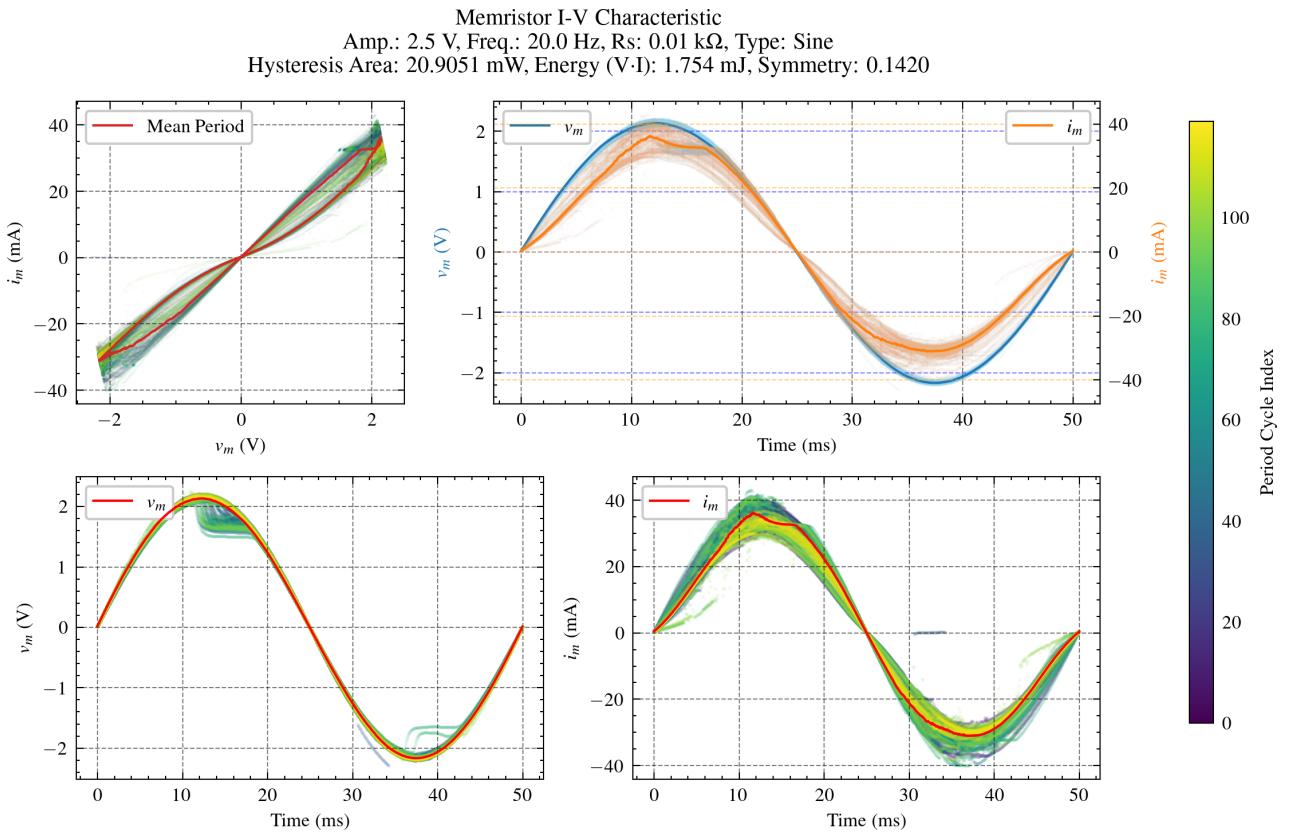


Rysunek 38

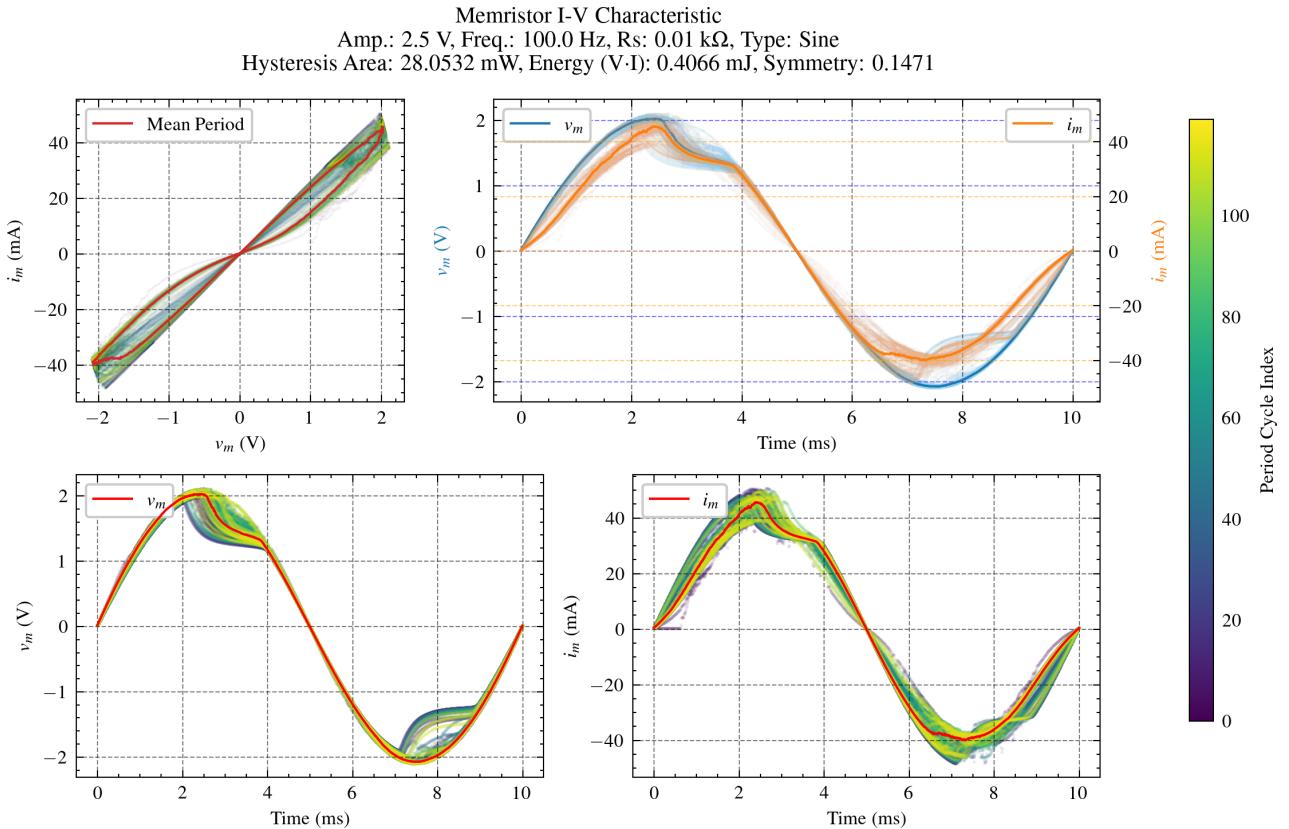
4.2 Memristor II (perwen)



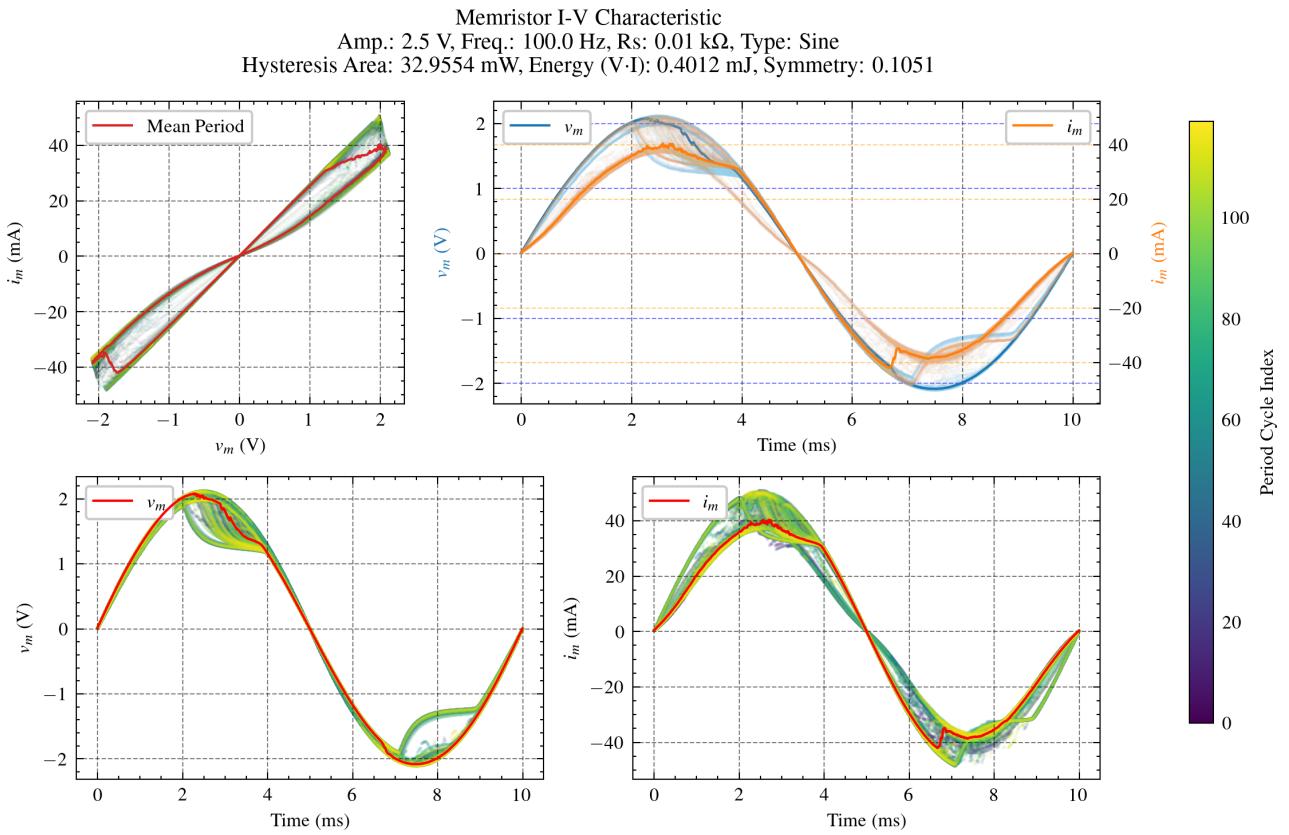
Rysunek 39



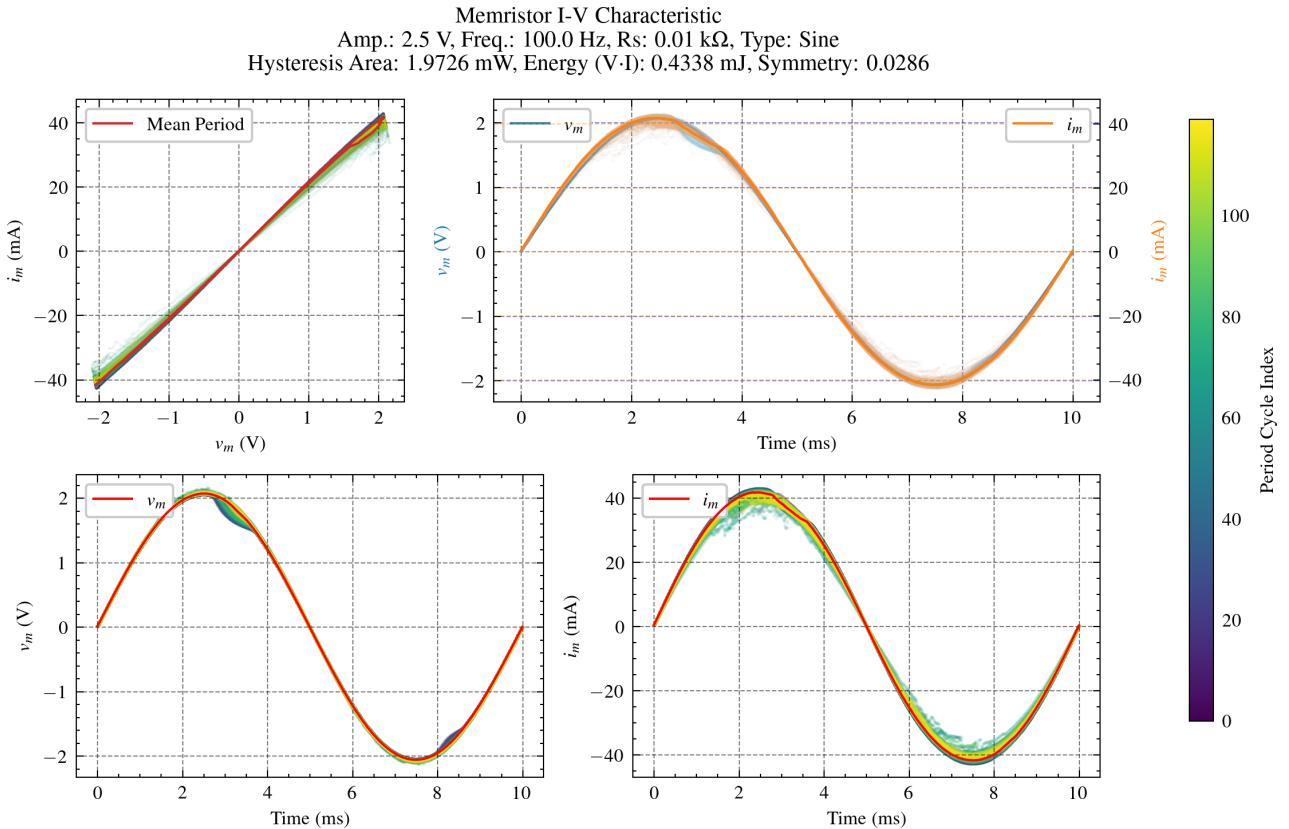
Rysunek 40



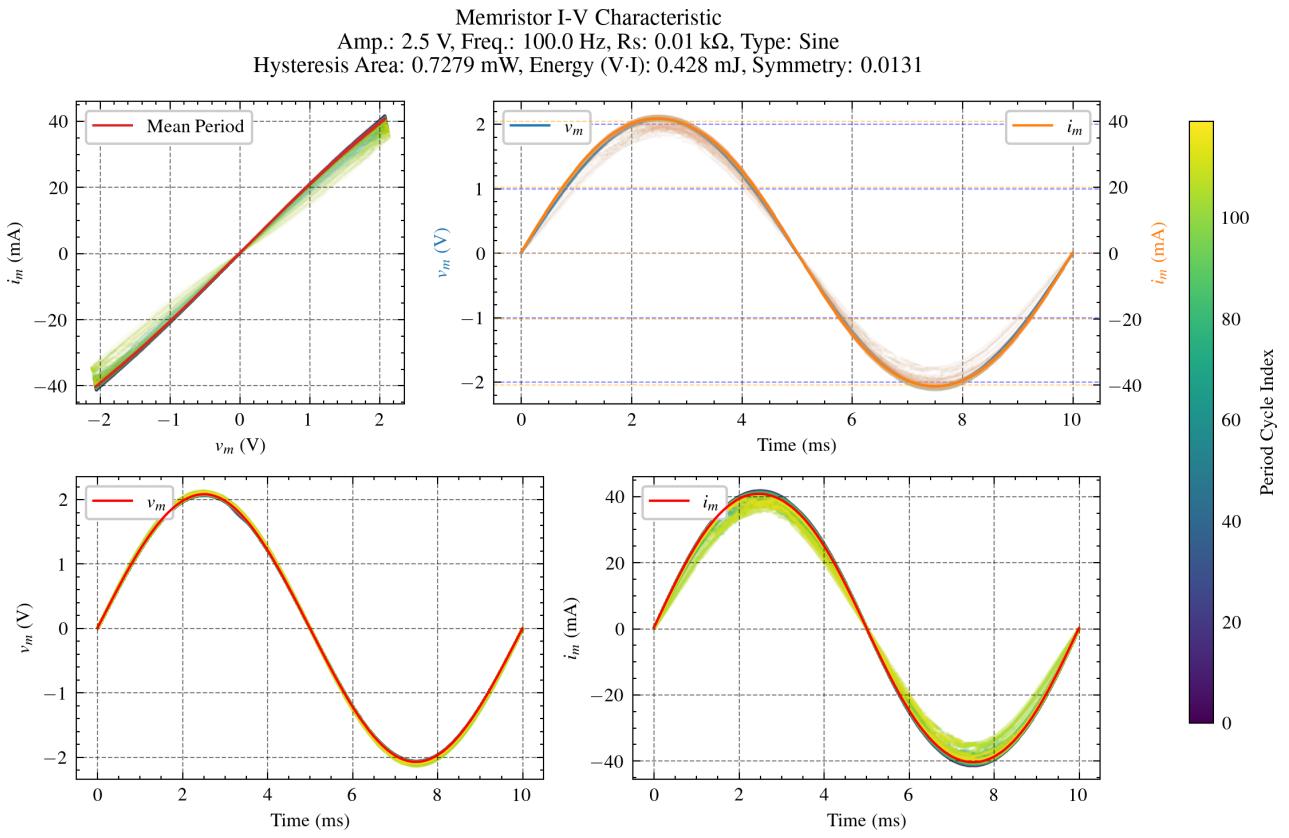
Rysunek 41



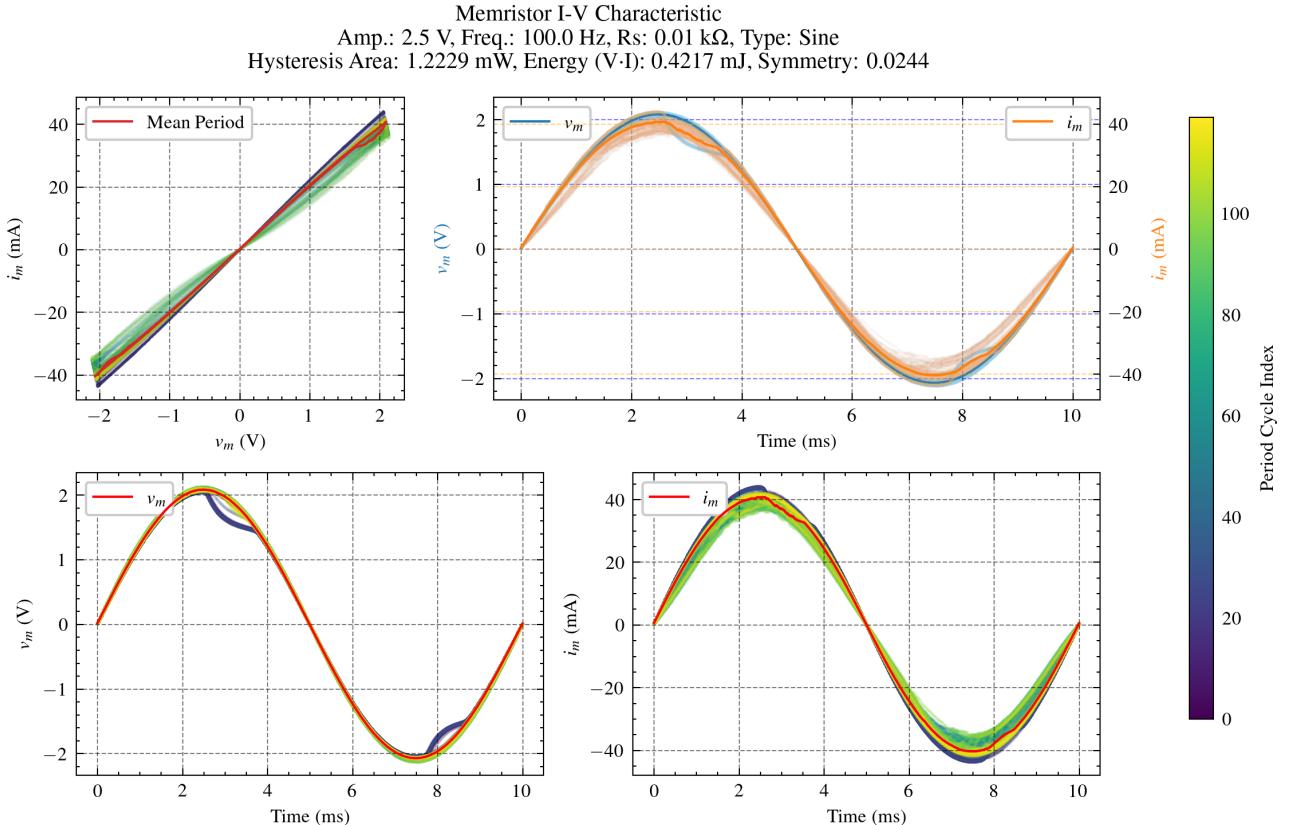
Rysunek 42



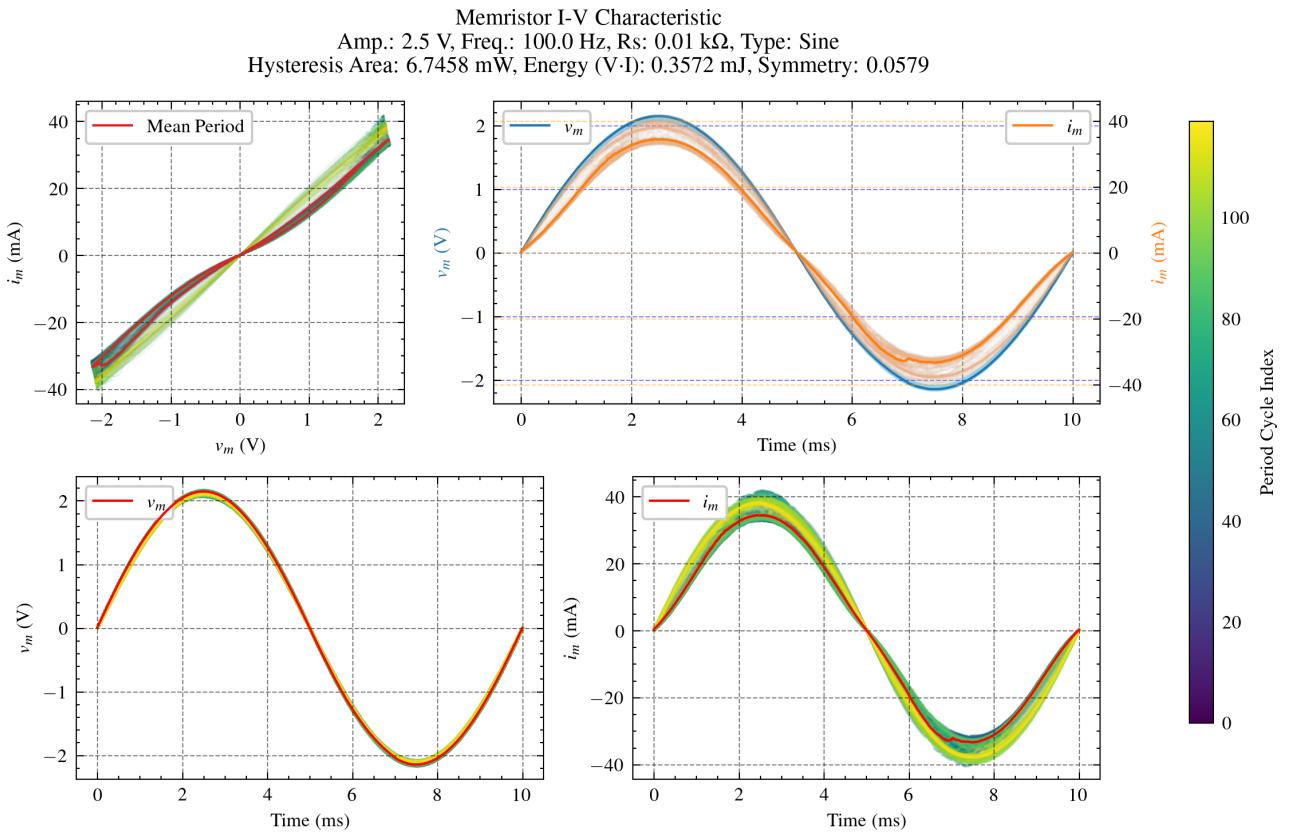
Rysunek 43



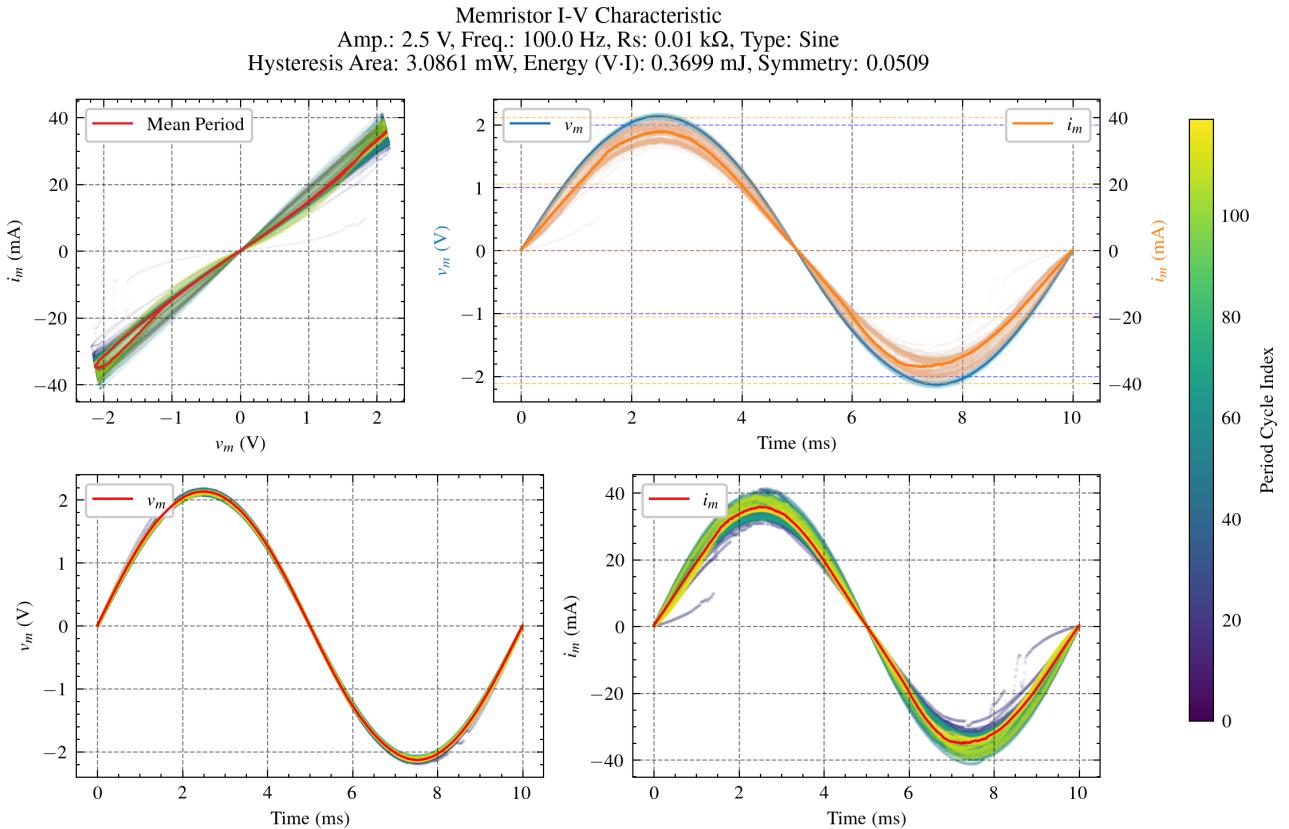
Rysunek 44



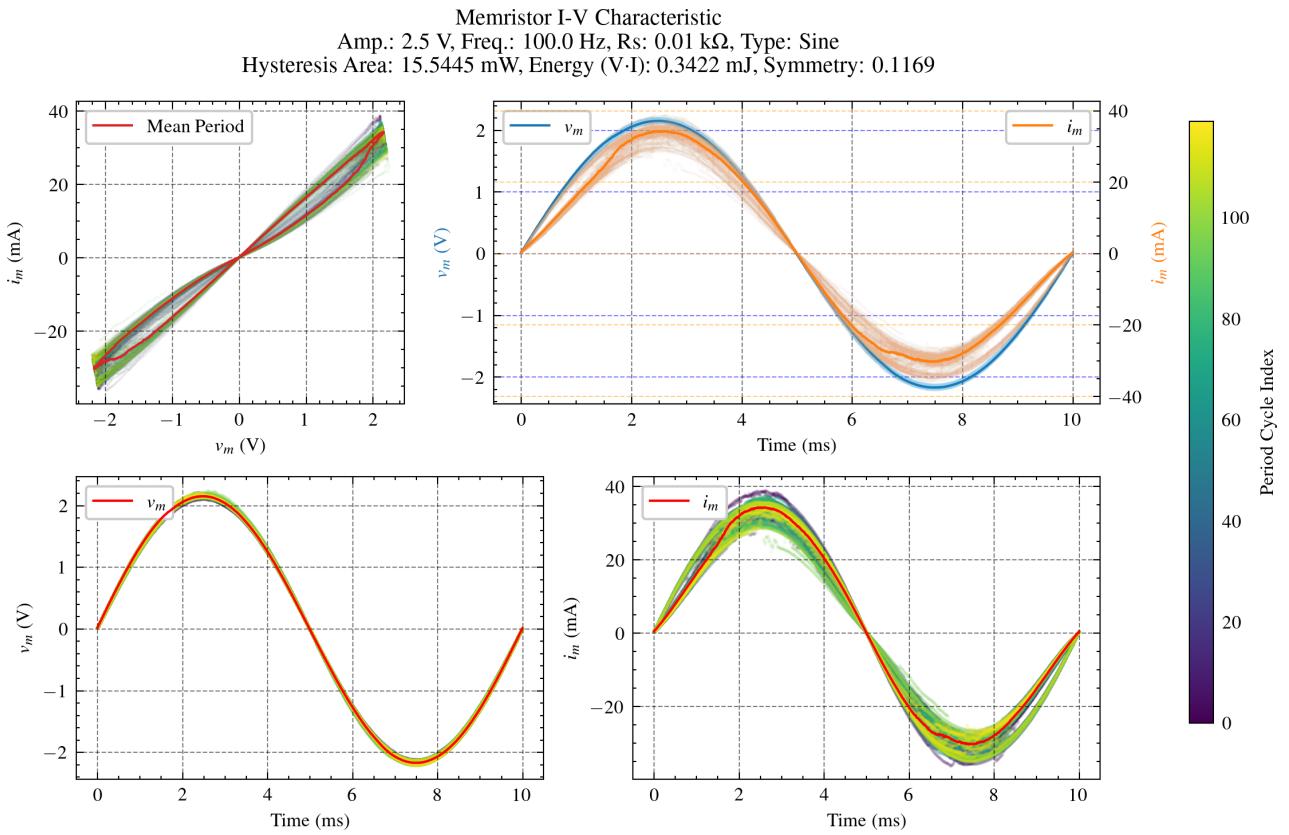
Rysunek 45



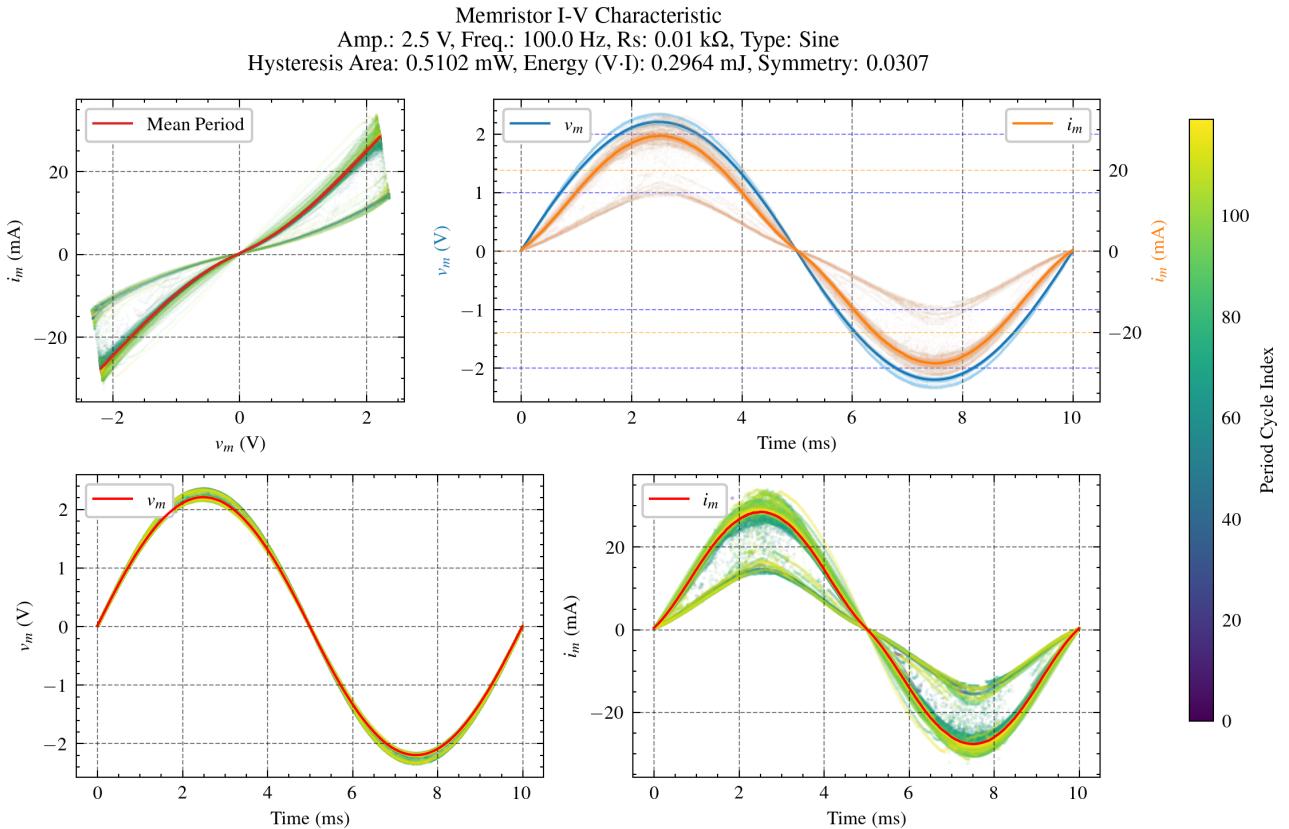
Rysunek 46



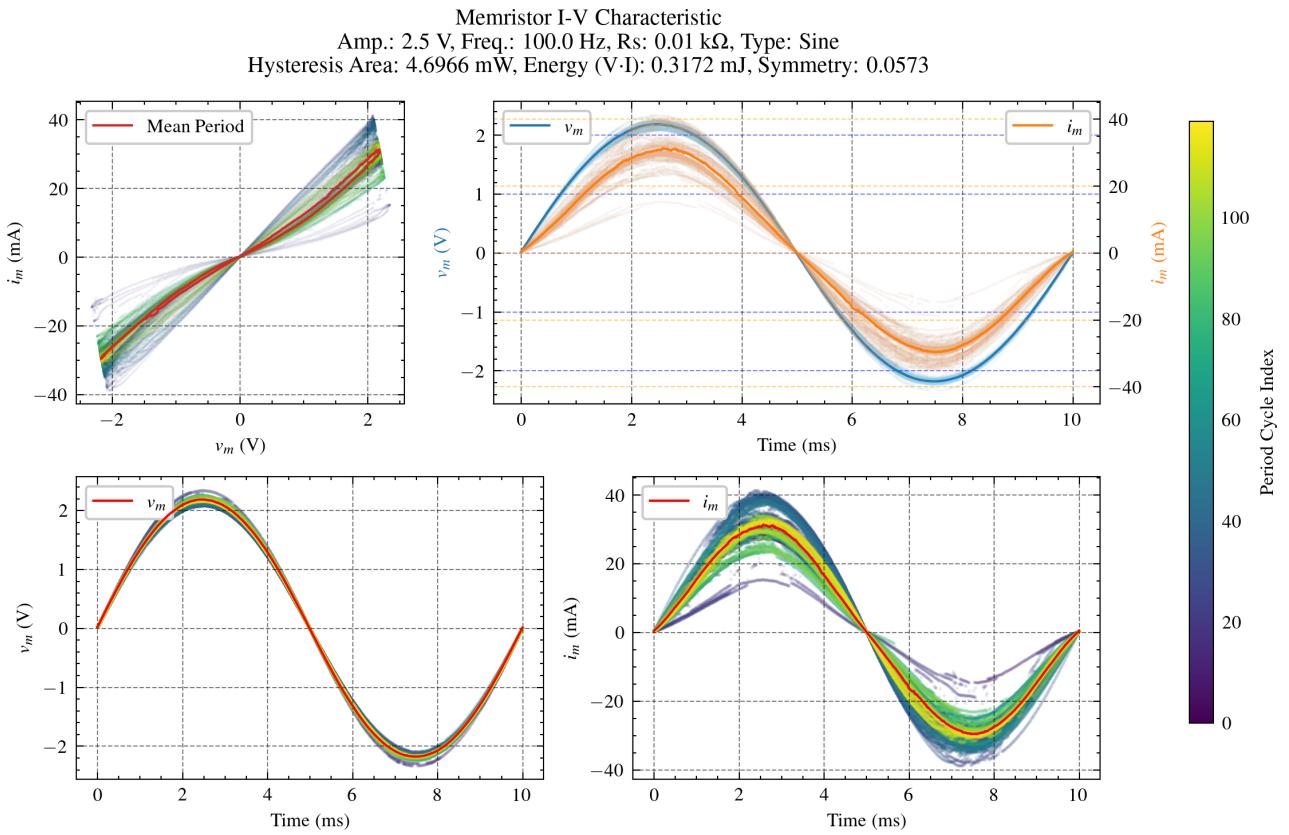
Rysunek 47



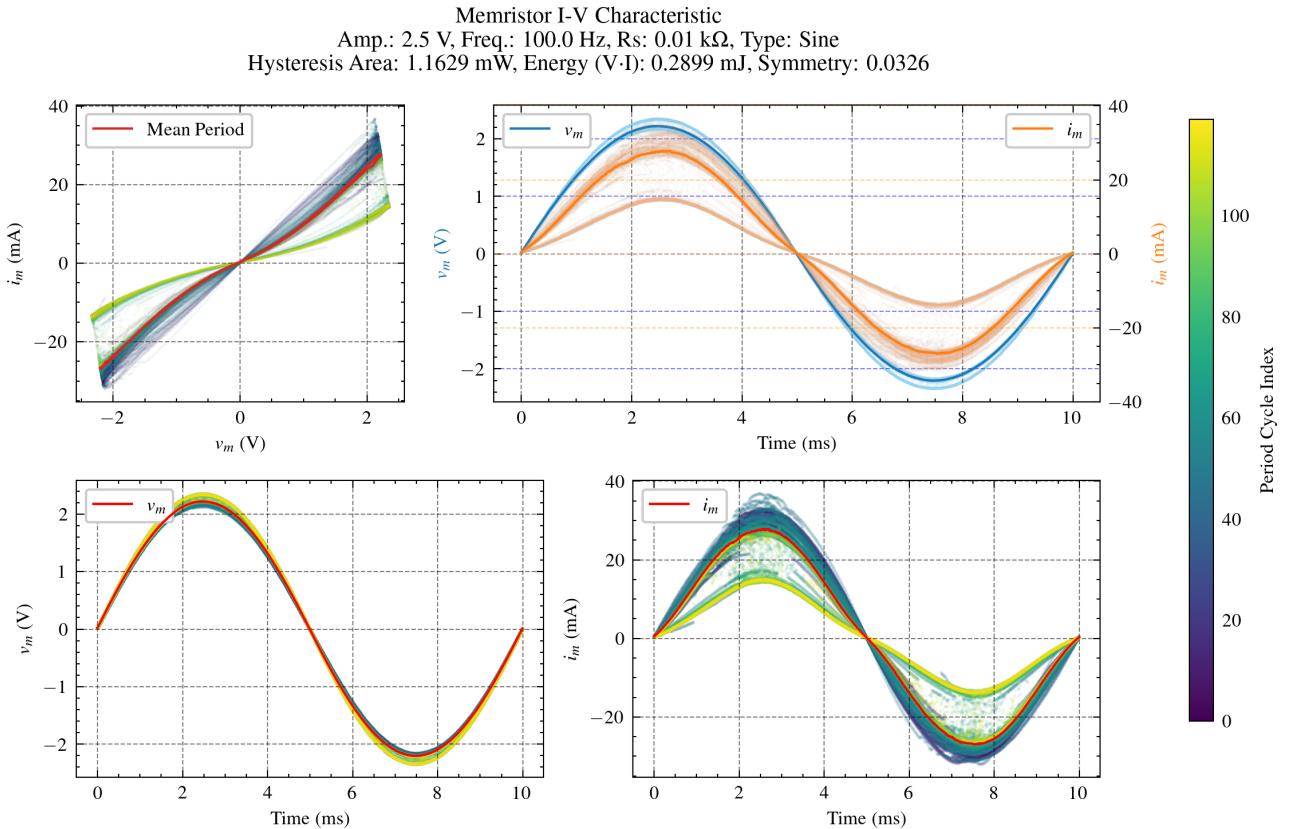
Rysunek 48



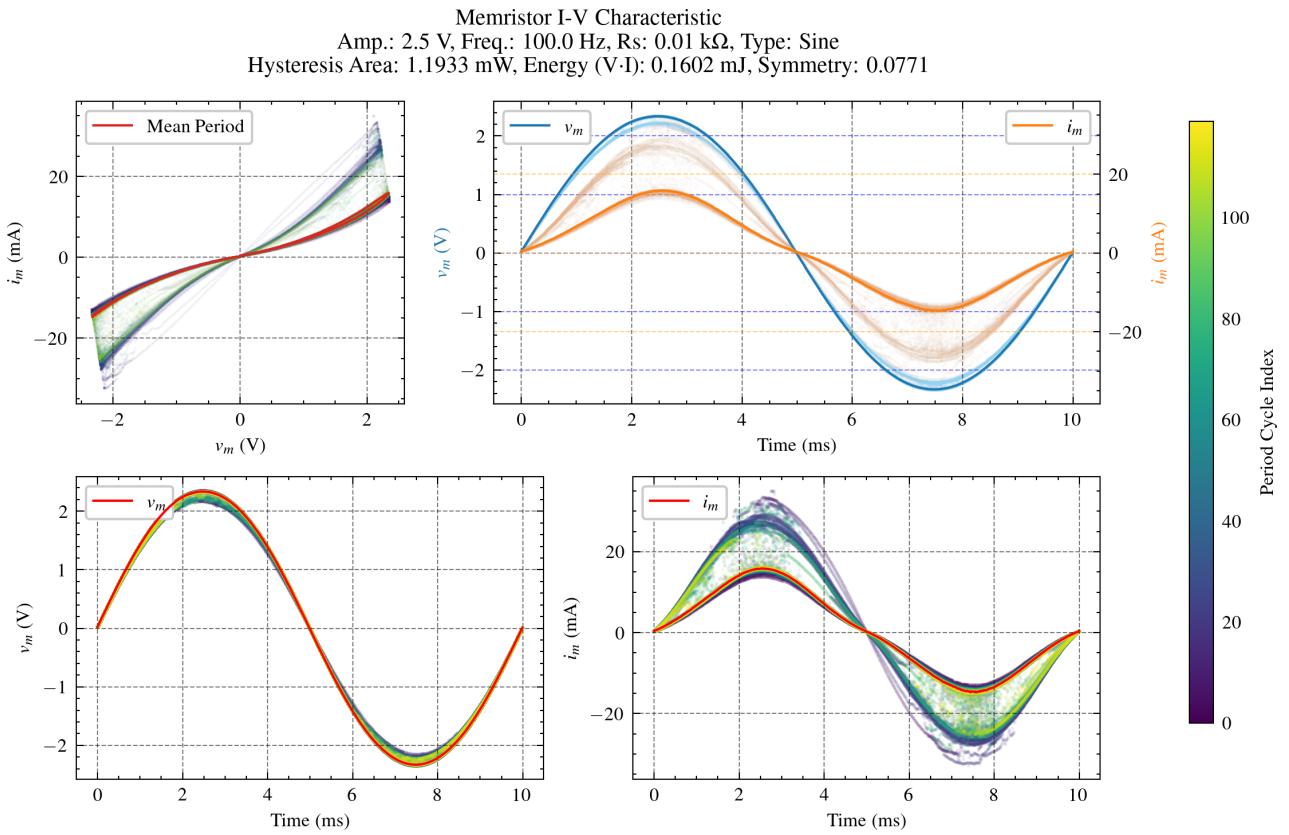
Rysunek 49



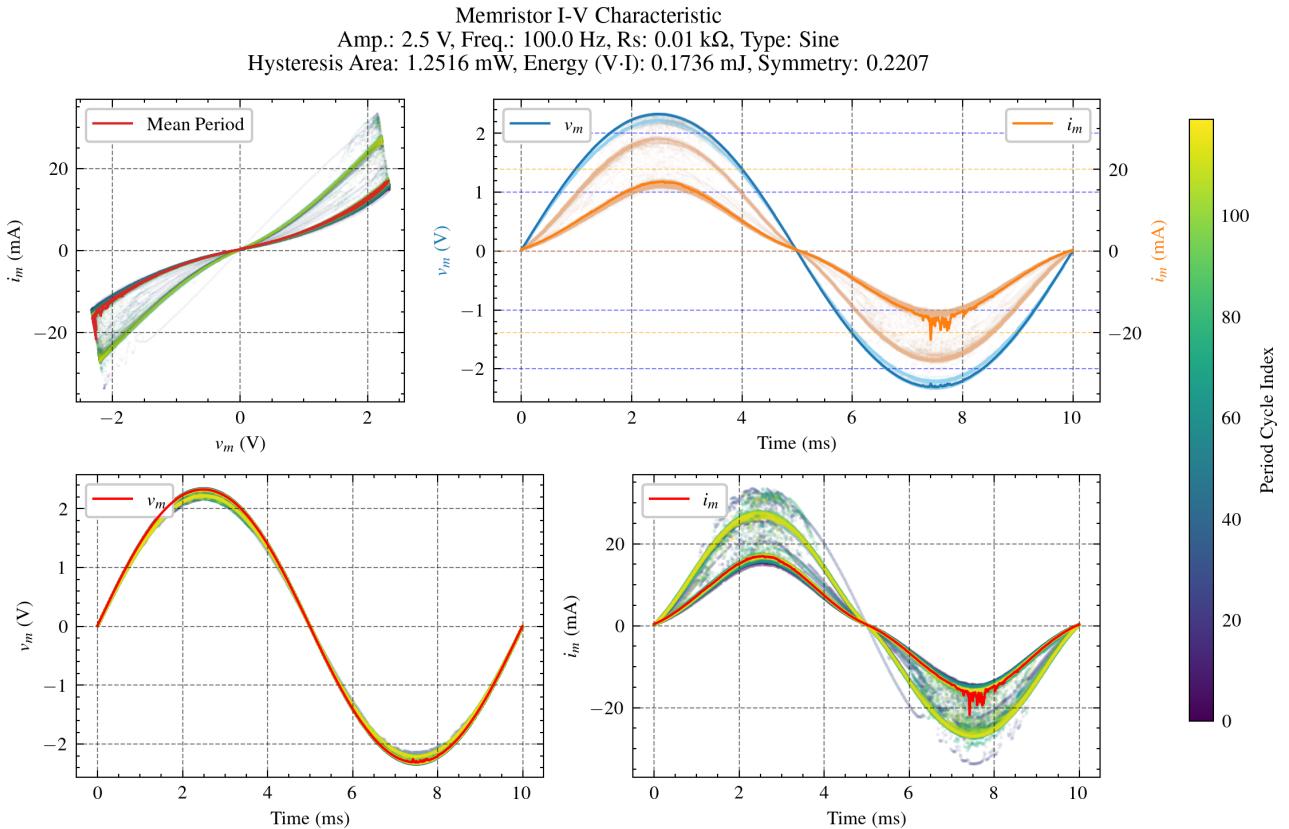
Rysunek 50



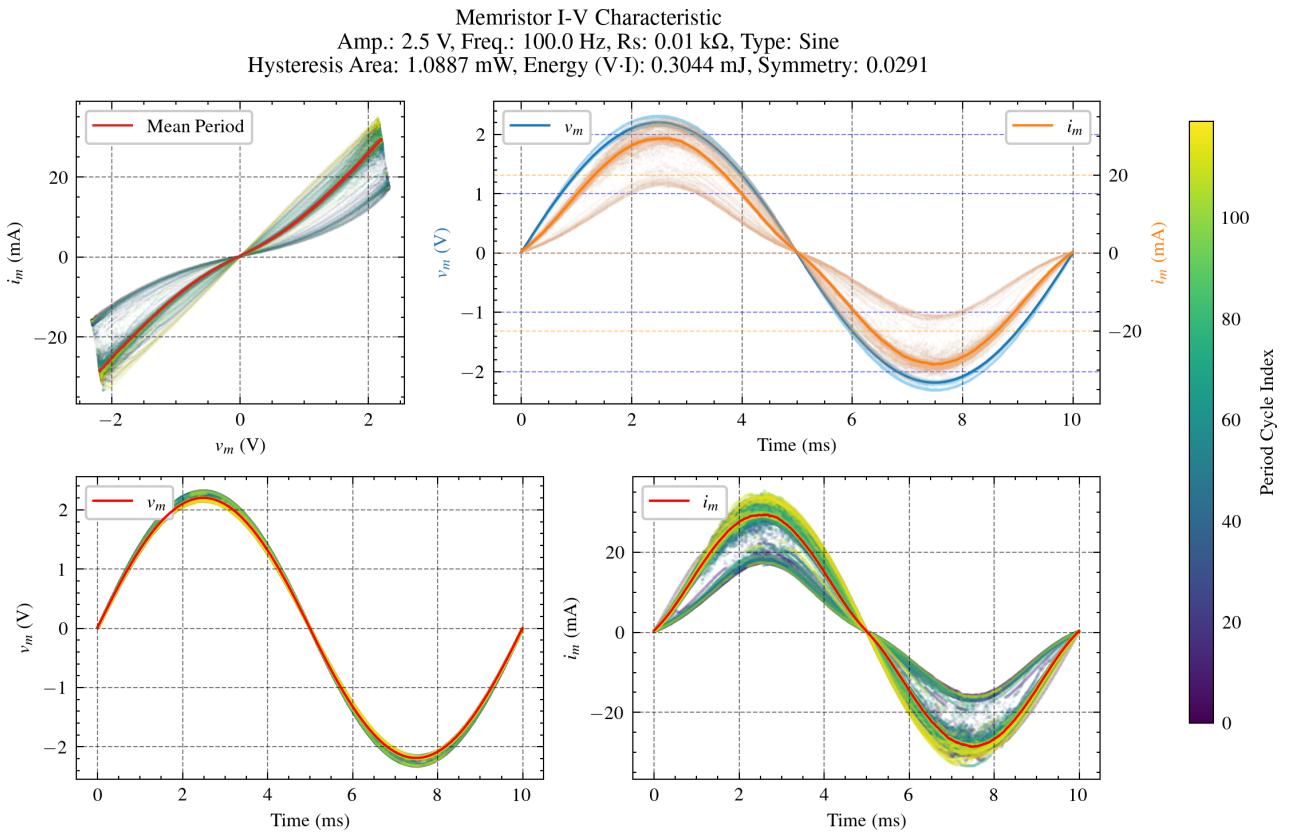
Rysunek 51



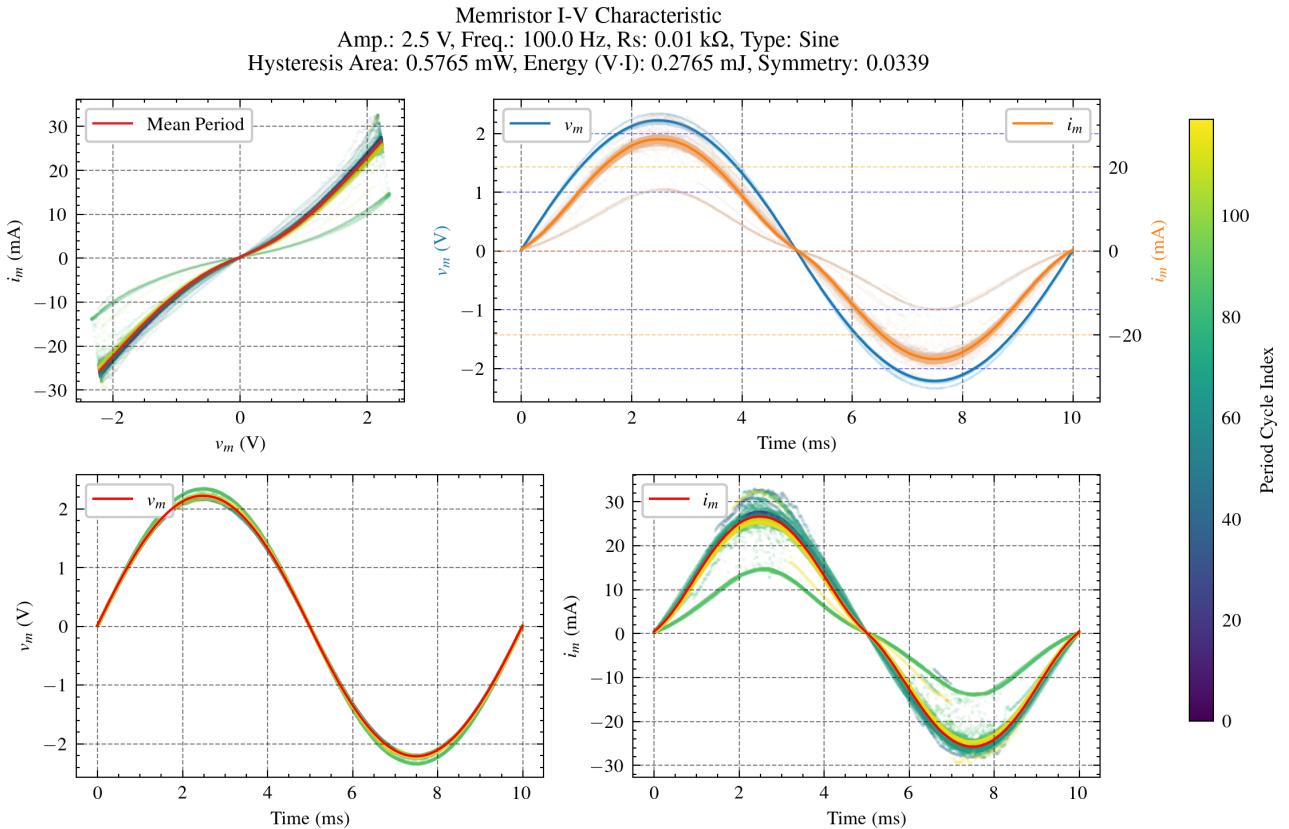
Rysunek 52



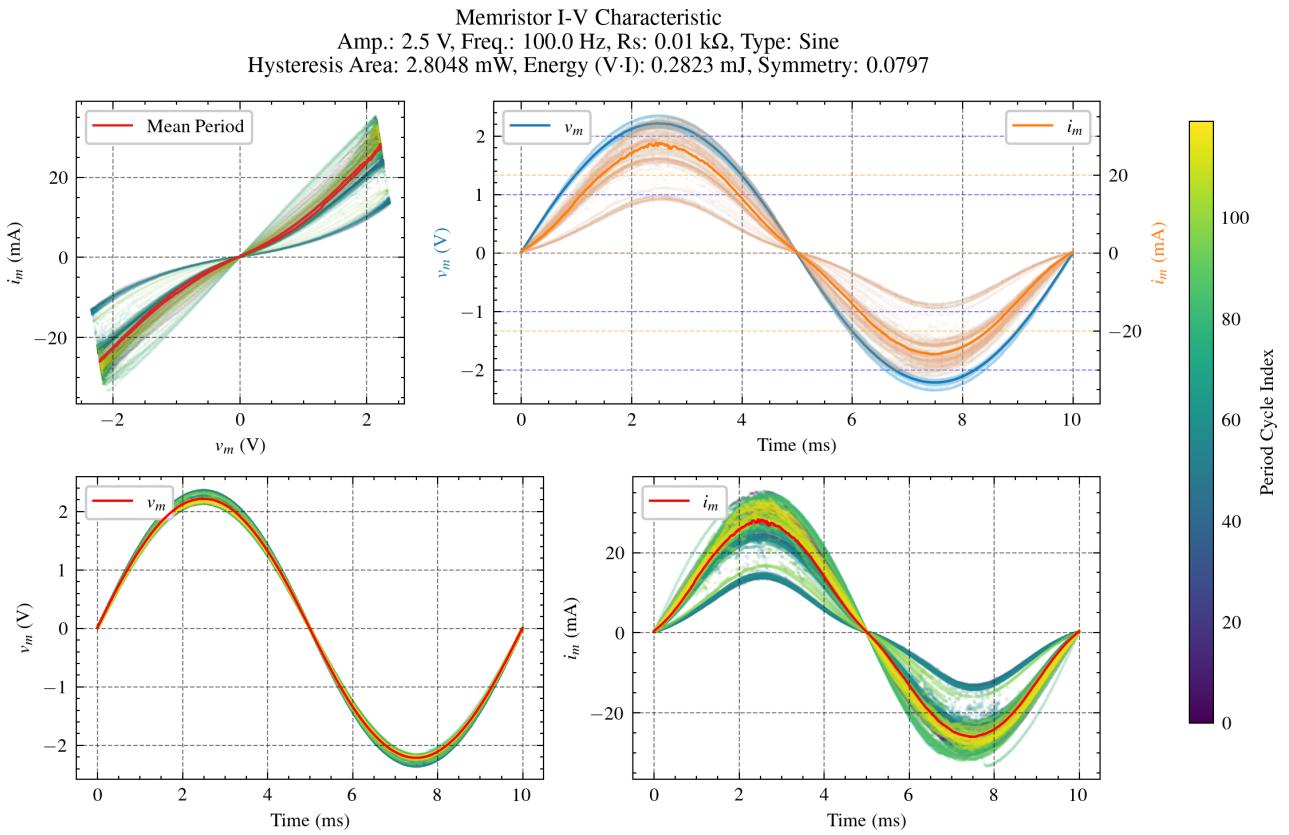
Rysunek 53



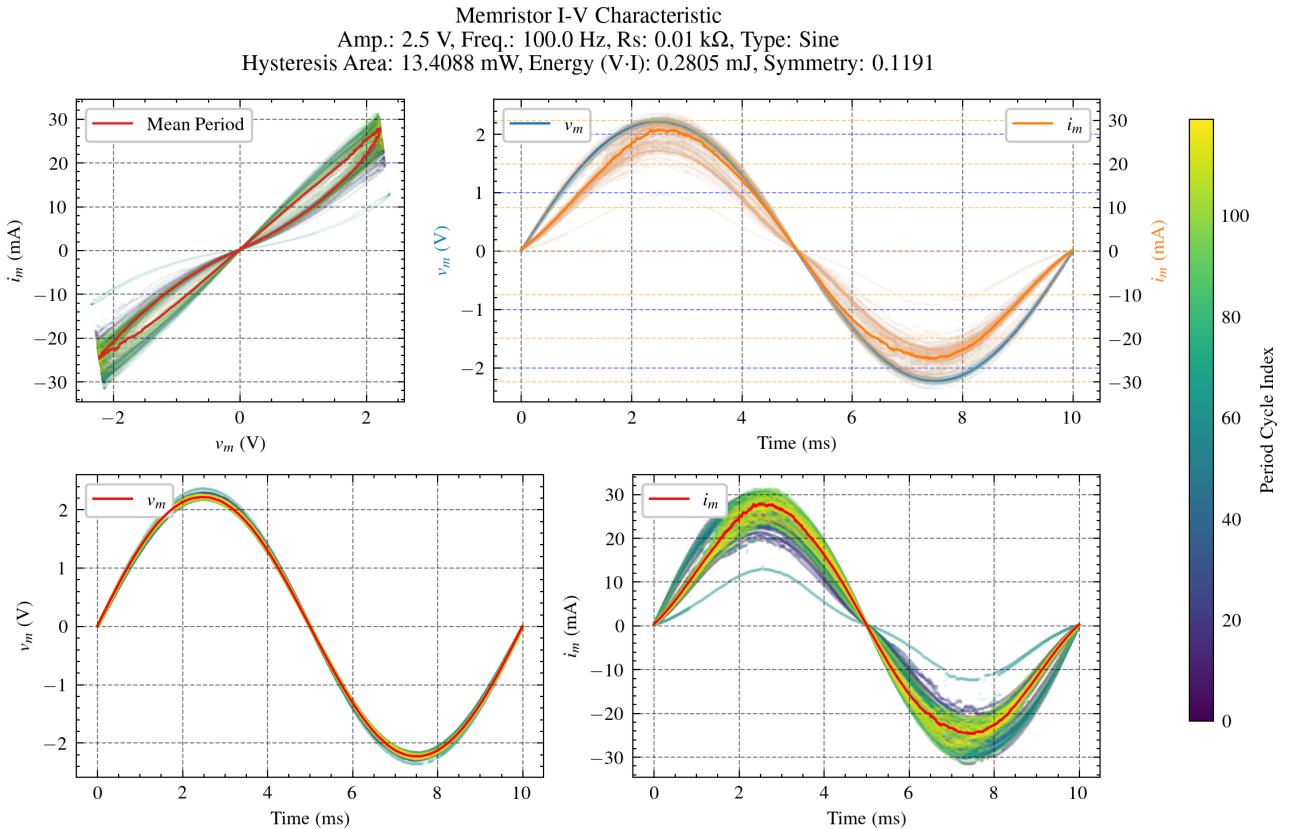
Rysunek 54



Rysunek 55

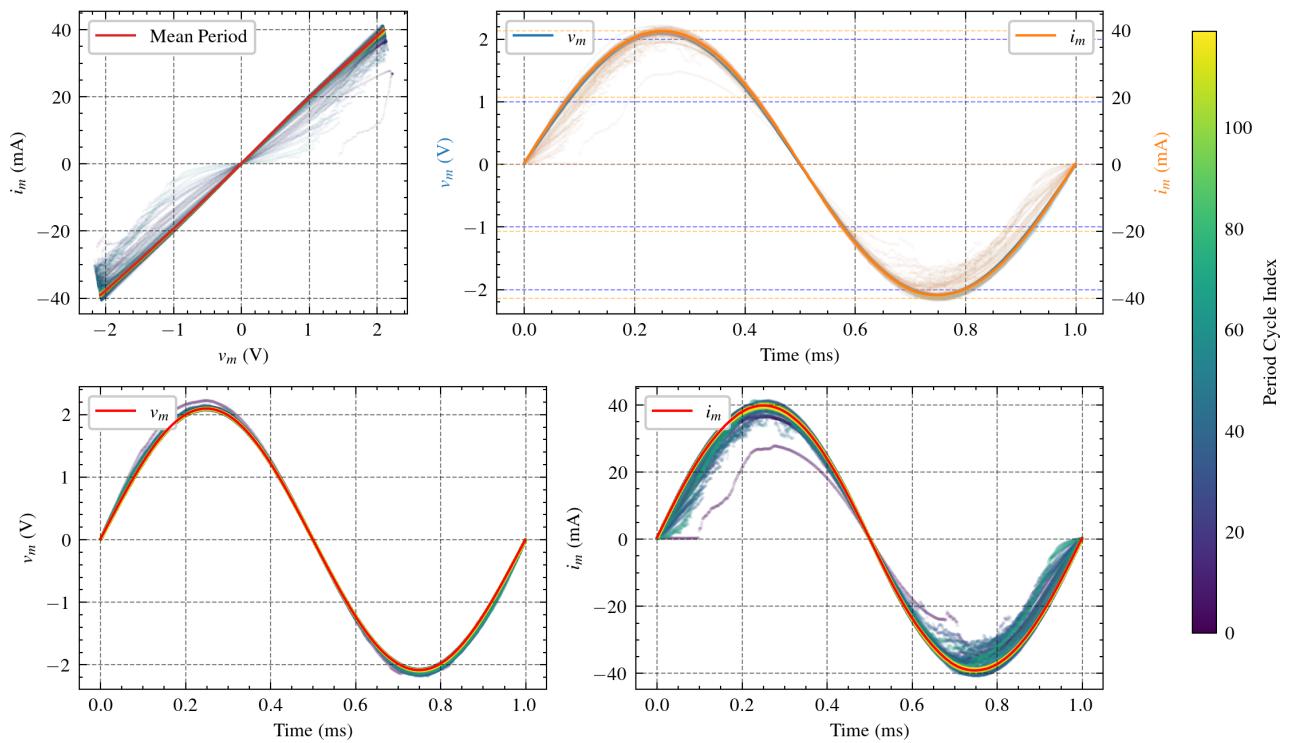


Rysunek 56



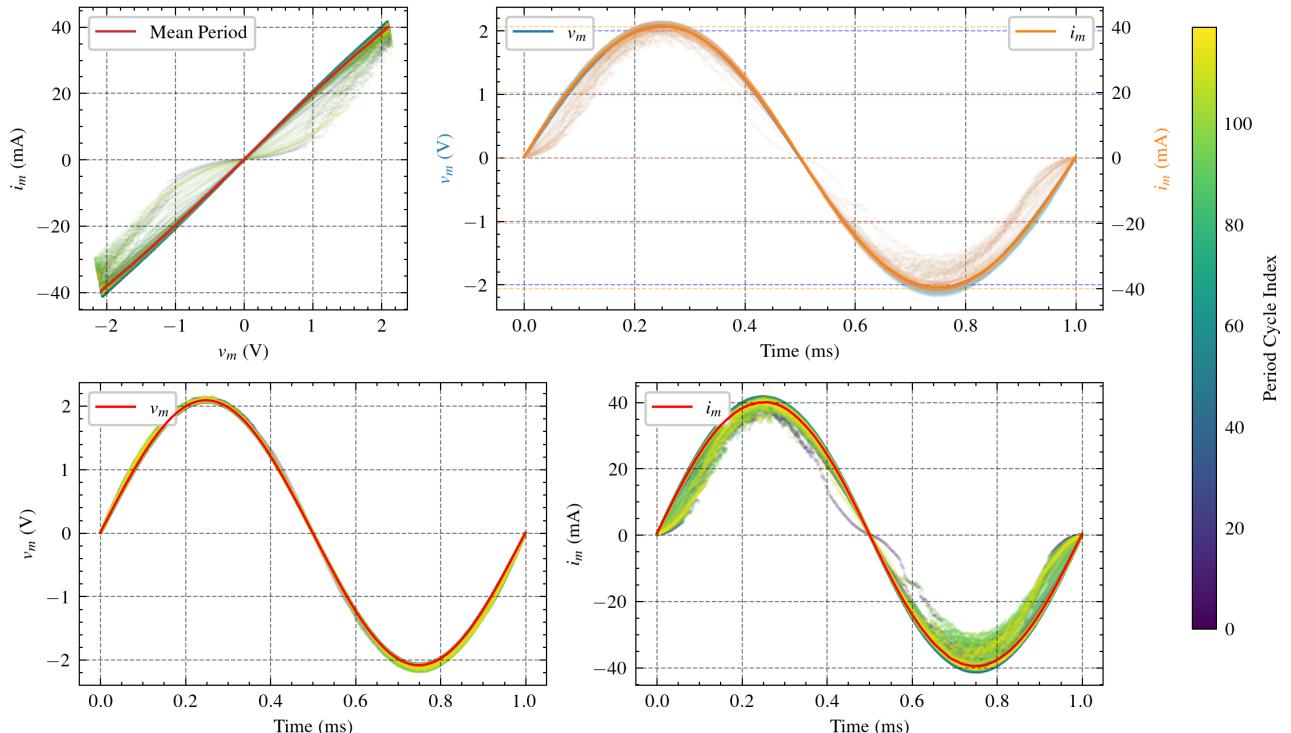
Rysunek 57

Memristor I-V Characteristic
 Amp.: 2.5 V, Freq.: 1000.0 Hz, Rs: 0.01 k Ω , Type: Sine
 Hysteresis Area: 0.3504 mW, Energy (V-I): 0.04154 mJ, Symmetry: 0.0188



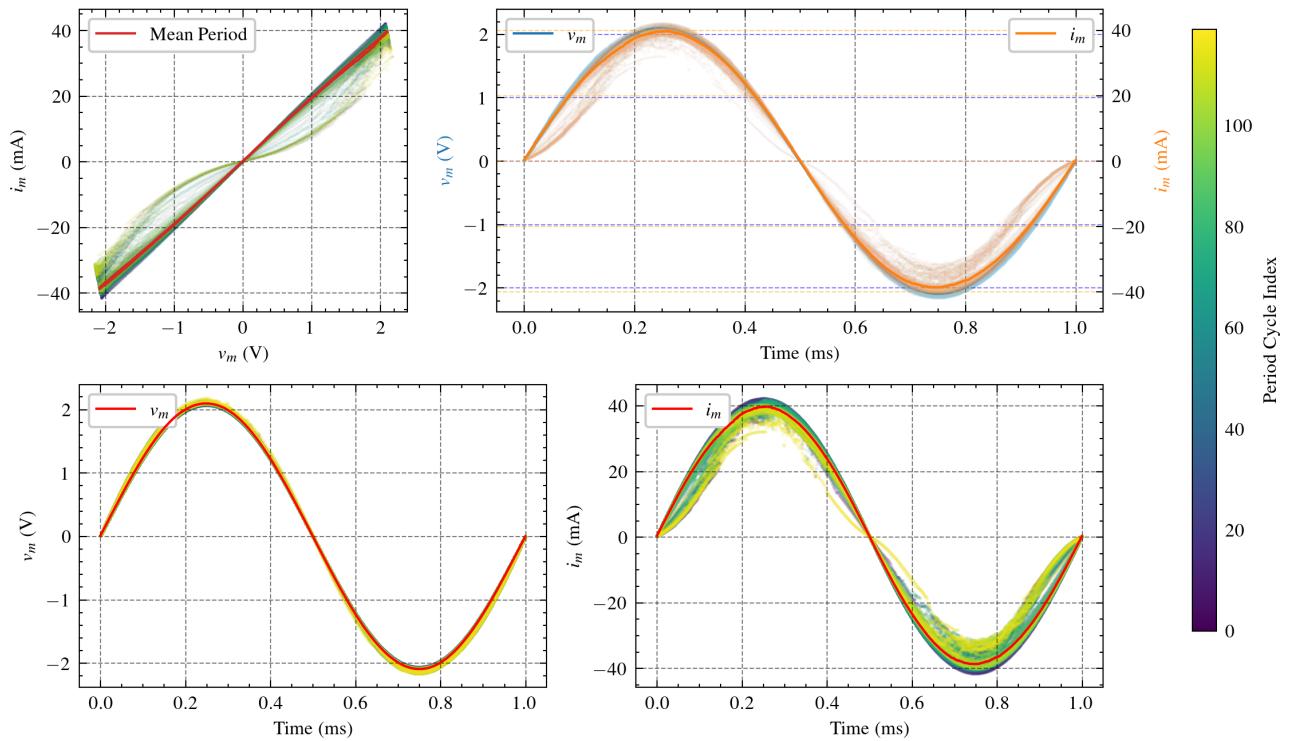
Rysunek 58

Memristor I-V Characteristic
 Amp.: 2.5 V, Freq.: 1000.0 Hz, Rs: 0.01 k Ω , Type: Sine
 Hysteresis Area: 0.1593 mW, Energy (V-I): 0.04191 mJ, Symmetry: 0.0152



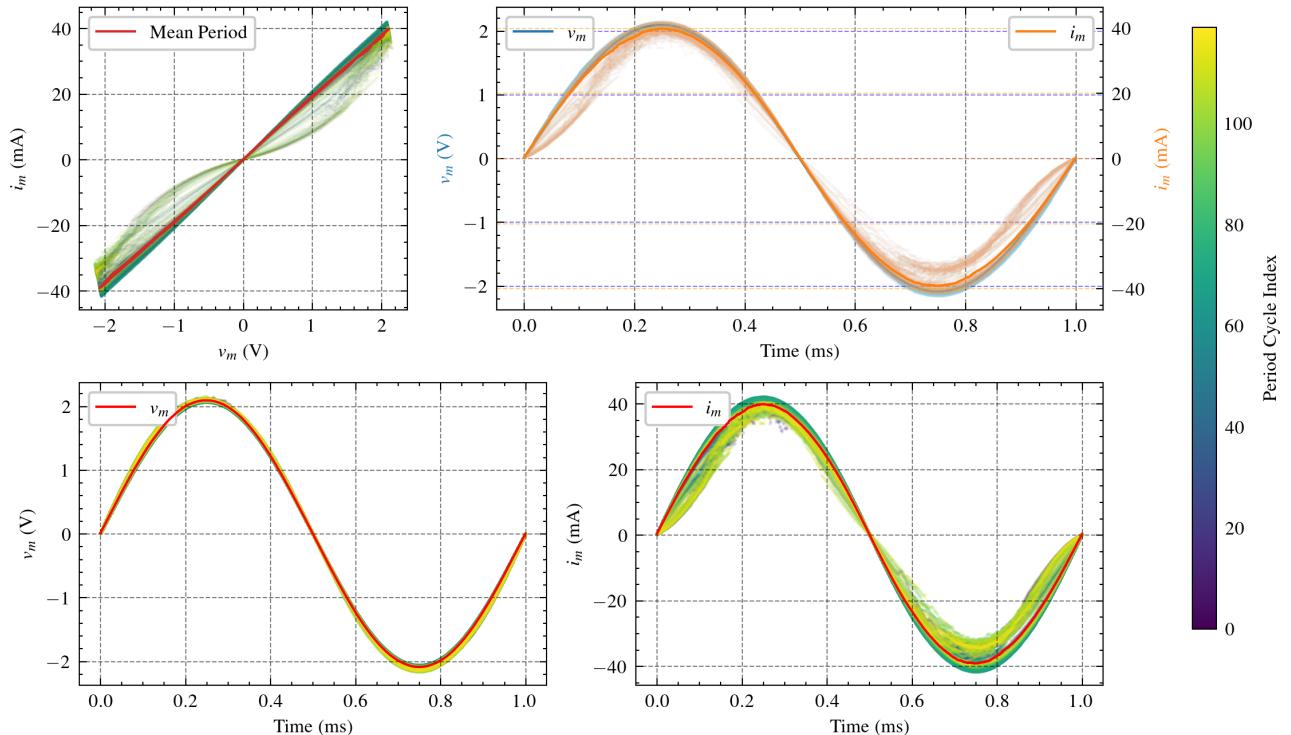
Rysunek 59

Memristor I-V Characteristic
 Amp.: 2.5 V, Freq.: 1000.0 Hz, Rs: 0.01 k Ω , Type: Sine
 Hysteresis Area: 1.7269 mW, Energy (V-I): 0.04115 mJ, Symmetry: 0.0281

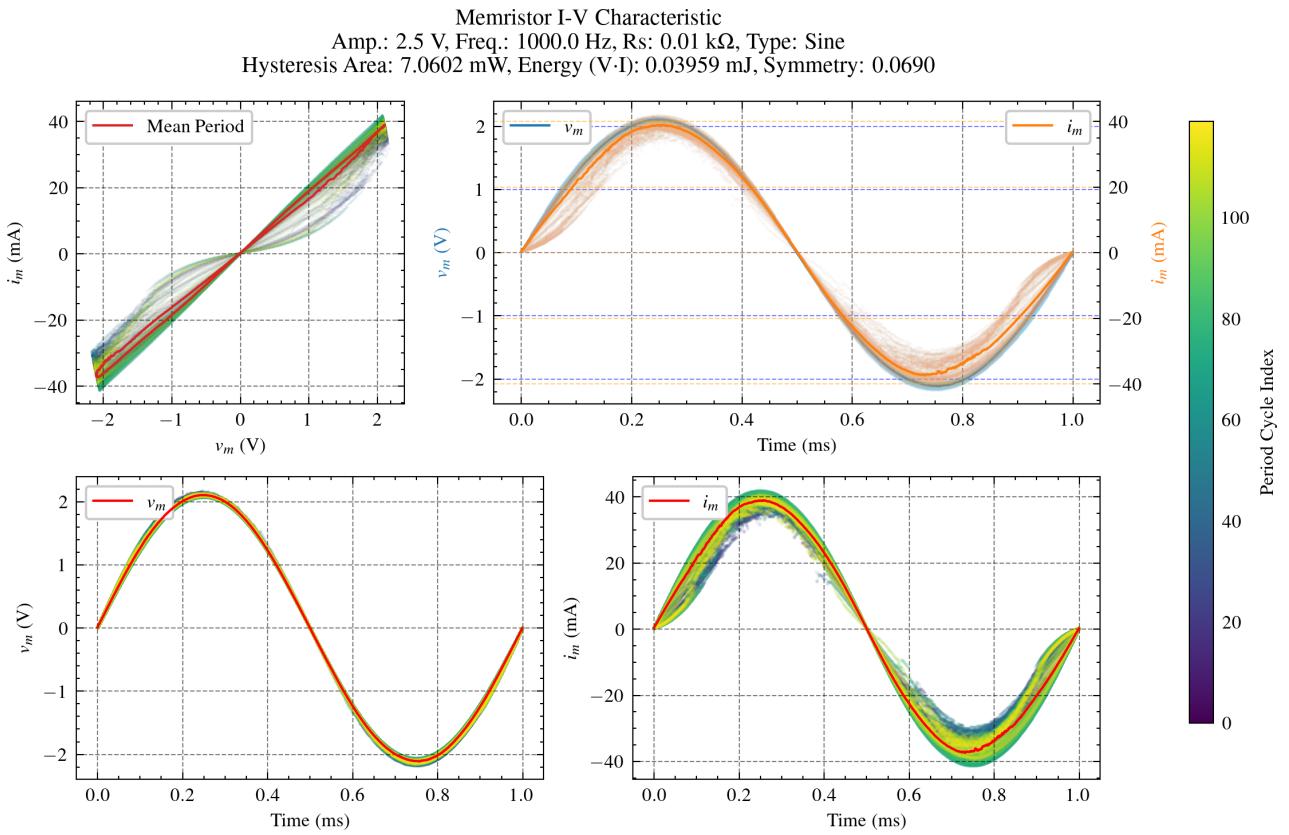


Rysunek 60

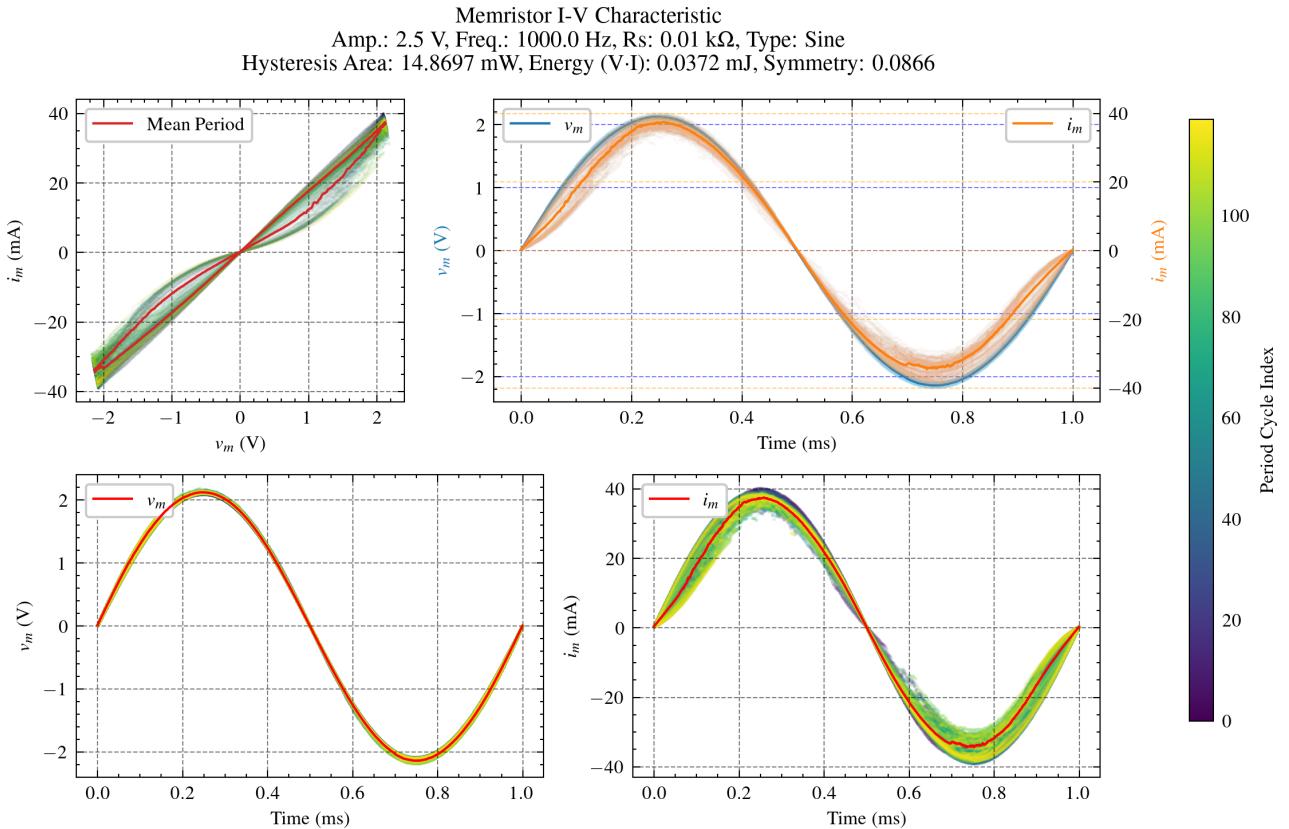
Memristor I-V Characteristic
 Amp.: 2.5 V, Freq.: 1000.0 Hz, Rs: 0.01 k Ω , Type: Sine
 Hysteresis Area: 1.5944 mW, Energy (V-I): 0.04123 mJ, Symmetry: 0.0226



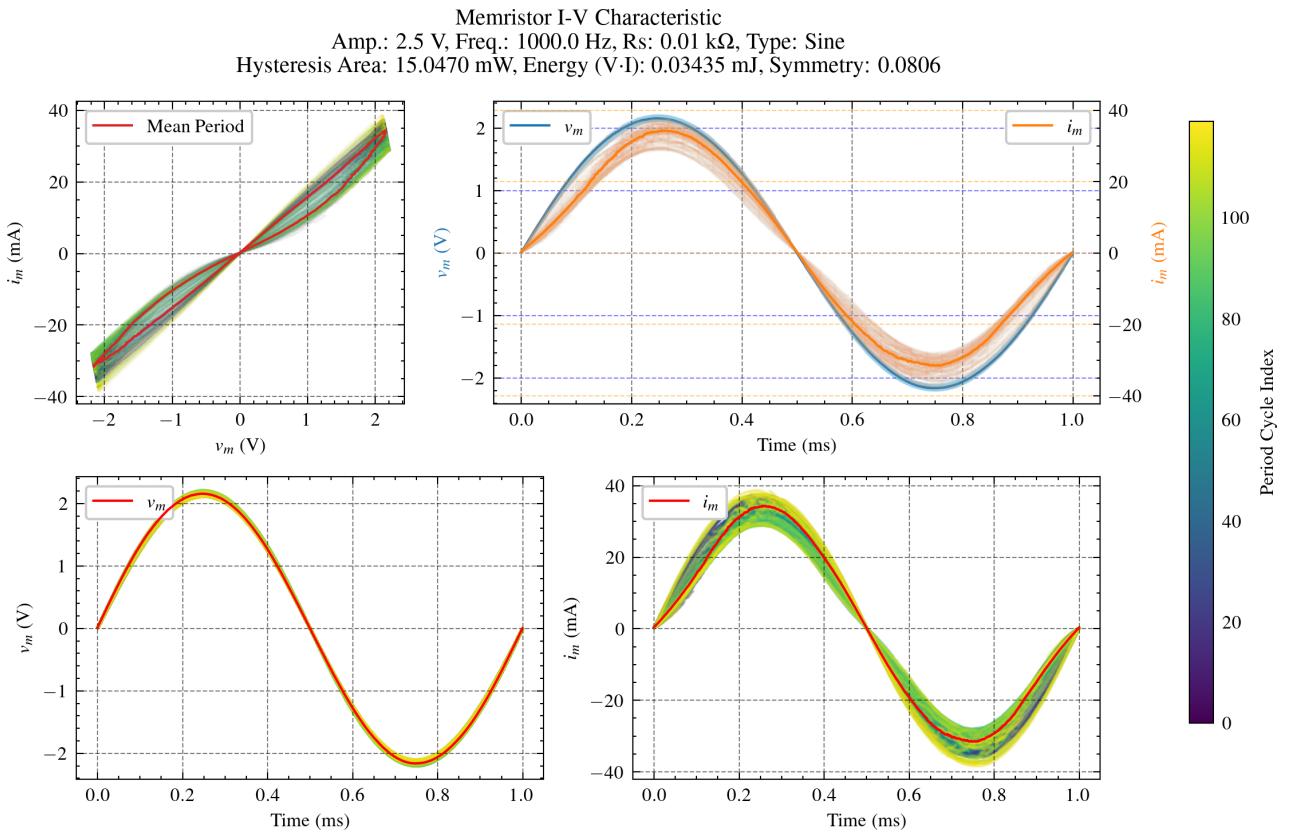
Rysunek 61



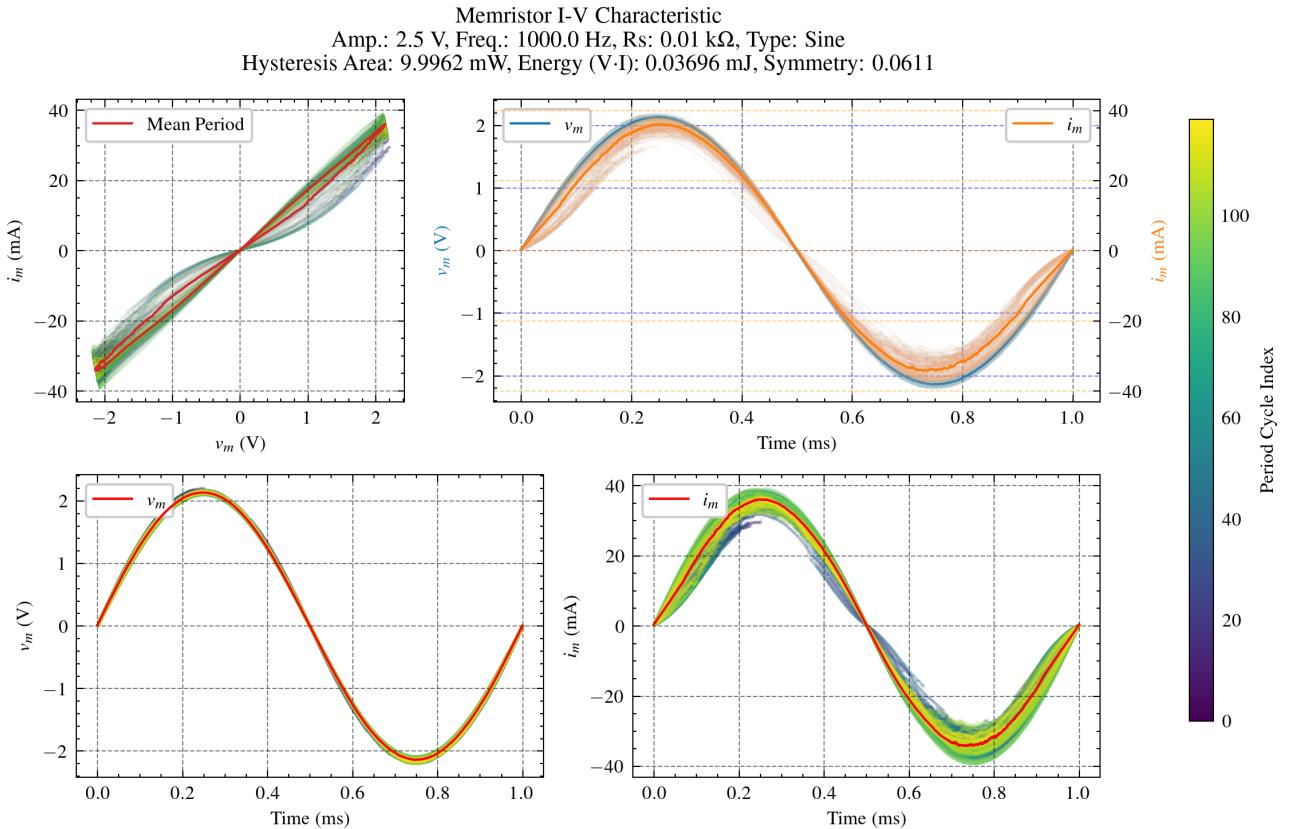
Rysunek 62



Rysunek 63

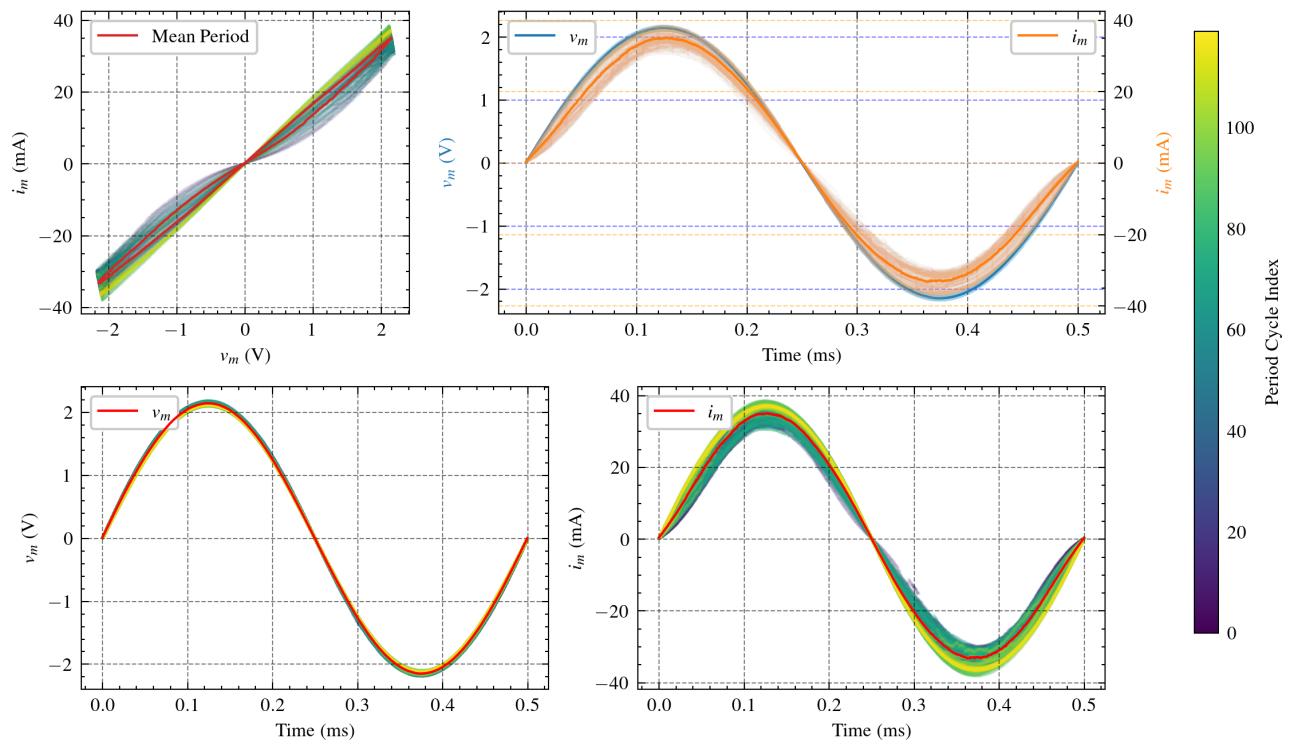


Rysunek 64



Rysunek 65

Memristor I-V Characteristic
 Amp.: 2.5 V, Freq.: 2000.0 Hz, Rs: 0.01 k Ω , Type: Sine
 Hysteresis Area: 9.2545 mW, Energy (V-I): 0.01807 mJ, Symmetry: 0.0572



Rysunek 66