

1. Wiadomości ogólne o prostownikach niesterowalnych

Układy prostownikowe niesterowalne są przekształtnikami statycznymi. Średnia wartość napięcia wyprostowanego, a tym samym średnia wartości prądu i mocy czynnej odbiornika, jest wielkością stałą, zależną jedynie od wartości napięcia zasilającego i obciążenia układu. Ich działanie opiera się na wykorzystaniu diod prostowniczych. Odpowiednie połączenie diod warunkuje o sposobie prostowania napięcia. Wyróżniamy pod tym względem prostowanie jedno- i dwupołówkowe. Pod względem ilości faz napięcia zasilania wyróżniamy układy prostownicze jedno- i trójfazowe.

W badany przez nas układ jest prostownikiem trójfazowym z zastosowanym filtrem biernym LC w układzie σ (gamma).

2. Schemat ideowy układu pomiarowego

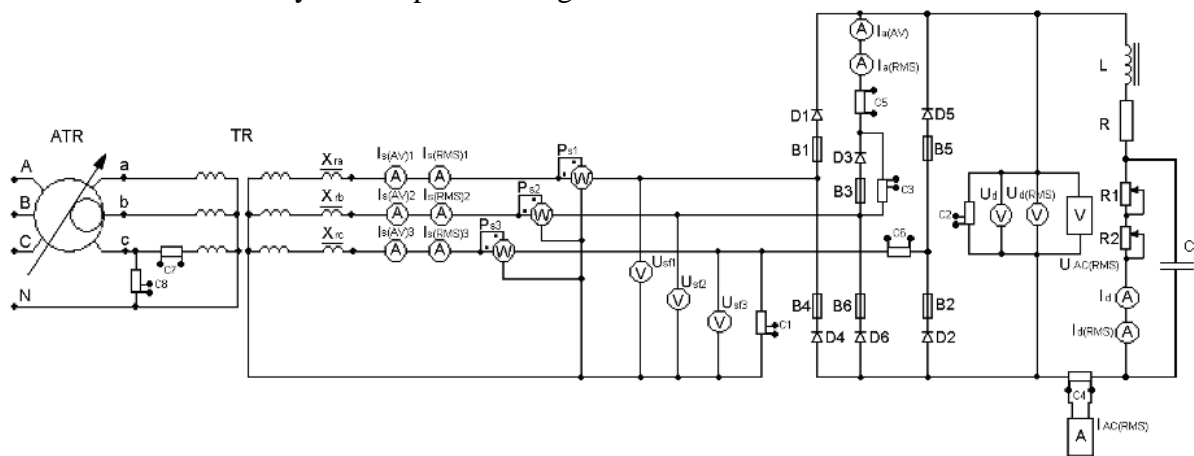


Tabela 2. Wzory obliczeniowe do Tabeli 1.

Lp.	Wielkość mierzona i obliczona	Oznaczenie	Obliczenia i pomiary do kolumny pomiarów	Uwagi
1	2	3	4	5
1	Prąd wyprostowany w obciążeniu – wartość średnia przebiegu (AV)	I_{dAV} [A]	Wartość odczytana z przyrządu	
2	Prąd wyprostowany w obciążeniu – wartość skuteczna przebiegu (RMS)	I_{dRMS} [A]	Wartość odczytana z przyrządu	
3	Prąd wyprostowany w obciążeniu – wartość skuteczna składowej zmiennej przebiegu (AC-RMS)	I_{ACRMS} [A]	Wartość odczytana z przyrządu	
4	Napięcie wyprostowane w obciążeniu – wartość średnia przebiegu (AV)	U_{dAV} [V]	Wartość odczytana z przyrządu	
5	Napięcie wyprostowane w obciążeniu – wartość skuteczna przebiegu (RMS)	U_{dRMS} [V]	Wartość odczytana z przyrządu	
6	Napięcie wyprostowane w obciążeniu – wartość skuteczna składowej zmiennej przebiegu (AC-RMS)	U_{ACRMS} [V]	Wartość odczytana z przyrządu	
7	Pulsacja prądu wyprostowanego w obciążeniu (peak – peak)	ΔI_{pp} [A]	Wartość odczytana z oscyloskopu i przeliczona do wartości rzeczywistej	
8	Względna pulsacja prądu wyprostowanego w obciążeniu (peak – peak)	$\Delta I_{pp\%}$ [A]	$\Delta I_{pp\%} = (\Delta I_{pp}/I_{dAV}) * 100\%$	
9	Pulsacja napięcia wyprostowanego w obciążeniu (peak – peak)	ΔU_{pp} [A]	Wartość odczytana z oscyloskopu i przeliczona do wartości rzeczywistej	
10	Względna pulsacja napięcia wyprostowanego w obciążeniu (peak – peak)	$\Delta U_{pp\%}$ [A]	$\Delta U_{pp\%} = (\Delta U_{pp}/U_{dAV}) * 100\%$	
11	Prąd w jednym elemencie – wartość średnia przebiegu (AV)	I_{aAV} [A]	Wartość odczytana z przyrządu	
12	Prąd w jednym elemencie – wartość skuteczna przebiegu (RMS)	I_{aRMS} [A]	Wartość odczytana z przyrządu	
13	Prąd fazy L1 zasilający – wartość średnia przebiegu (AV)	I_{fS1AV} [A]	Wartość odczytana z przyrządu	
14	Prąd fazy L1 zasilający – wartość skuteczna przebiegu (RMS)	I_{fS1RMS} [A]	Wartość odczytana z przyrządu	
15	Prąd fazy L2 zasilający – wartość skuteczna przebiegu (RMS)	I_{fS2RMS} [A]	Wartość odczytana z przyrządu	
16	Prąd fazy L3 zasilający – wartość skuteczna przebiegu (RMS)	I_{fS3RMS} [A]	Wartość odczytana z przyrządu	
17	Średnia wartość (z trzech faz) prądu zasilającego – wartość skuteczna przebiegu (RMS)	I_{fSRMS} [A]	$I_{fSRMS} = (I_{fS1RMS} + I_{fS2RMS} + I_{fS3RMS})/3$	Należy uwzględnić konfigurację prostownika
18	Napięcie fazowe fazy L1 – wartość skuteczna przebiegu (RMS)	U_{fS1RMS} [V]	Wartość odczytana z przyrządu	
19	Napięcie fazowe fazy L2 – wartość skuteczna przebiegu (RMS)	U_{fS2RMS} [V]	Wartość odczytana z przyrządu	
20	Napięcie fazowe fazy L3 – wartość skuteczna przebiegu (RMS)	U_{fS3RMS} [V]	Wartość odczytana z przyrządu	
21	Średnia wartość (z trzech faz) napięcia zasilającego – wartość skuteczna przebiegu (RMS)	U_{fSRMS} [V]	$U_{fSRMS} = (U_{fS1RMS} + U_{fS2RMS} + U_{fS3RMS})/3$	Należy uwzględnić konfigurację prostownika
22	Moc czynna fazy zasilającej L1	P_{S1} [W]	Wartość odczytana z przyrządu	
23	Moc czynna fazy zasilającej L2	P_{S2} [W]	Wartość odczytana z przyrządu	
24	Moc czynna fazy zasilającej L3	P_{S3} [W]	Wartość odczytana z przyrządu	

25	Moc czynna pobrana z transformatora	P_S [W]	$P_S = P_{S1} + P_{S2} + P_{S3}$	
26	Moc pozorna pobierana z transformatora. $S_{S\ RMS}$ – VA transformer rating	$S_{S\ RMS}$ [VA]	$S_{S\ RMS} = 3 * U_{fs\ RMS} * I_{fs\ RMS}$	
27	Współczynnik mocy energii pobranej z transformatora $\cos \varphi$	$\cos \varphi$ []	$\cos \varphi = P_S / S_{S\ RMS}$	
28	Moc średnia (wartość średnia) na obciążeniu. $P_{d\ AV}$ – the average load power.	$P_{d\ AV}$ [W]	$P_{d\ AV} = U_{d\ AV} * I_{d\ AV}$	
29	Moc skuteczna na obciążeniu. $P_{d\ RMS}$ – total load power.	$P_{d\ RMS}$ [W]	$P_{d\ RMS} = U_{d\ RMS} * I_{d\ RMS}$	
30	Współczynnik kształtu napięcia wyprostowanego na obciążeniu. FF_U - form factor of the load voltage.	FF_U	$FF_U = U_{d\ RMS} / U_{d\ AV}$	
31	Współczynnik kształtu prądu wyprostowanego na obciążeniu. FF_I - form factor of the load current.	FF_I	$FF_I = I_{d\ RMS} / I_{d\ AV}$	
32	Współczynnik pulsacji napięcia wyprostowanego na obciążeniu. RF_U – ripple factor of the load voltage.	RF_U	$RF_U = U_{AC\ RMS} / U_{d\ AV}$	
33	Współczynnik pulsacji prądu wyprostowanego na obciążeniu. RF_I – ripple factor of the load current.	RF_I	$RF_I = I_{AC\ RMS} / I_{d\ AV}$	
34	Sprawność przekształcania energii prądu stałego. η_R – the efficiency of rectification.	η_R	$\eta_R = P_{d\ AV} / (P_{d\ RMS} + 6*0,525)$	Dla n=6 elementów półprzewodnikowych
35	Stopień wykorzystania transformatora. UF – the utility factor of the transformer.	UF	$UF = FF_U / FF_I$	
36	Współczynnik wygładzania napięcia na obciążeniu, w układzie z filtrem. EF_U – elimination factor of the voltage harmonics.	EF_U	$EF_U = FF_U / FF_{Uf}$	FF_{Uf} – współczynnik dla układu z filtrem
37	. Współczynnik wygładzania napięcia na obciążeniu, w układzie z filtrem. EF_I – elimination factor of the voltage harmonics.	EF_I	$EF_I = FF_I / FF_{If}$	FF_{If} – współczynnik dla układu z filtrem

4. Zestawienie charakterystyk eksploatacyjnych badanego prostownika z filtrem i bez filtra

Tabela 3. Zestawienie funkcji regresji wielomianowej dla charakterystyk eksploatacyjnych prostownika badanego z wybranym typem filtra biernego.

Typ układu prostowniczego: niesterowalny prostownik trójfazowy

Typ filtra biernego: LC w układzie σ (gamma)

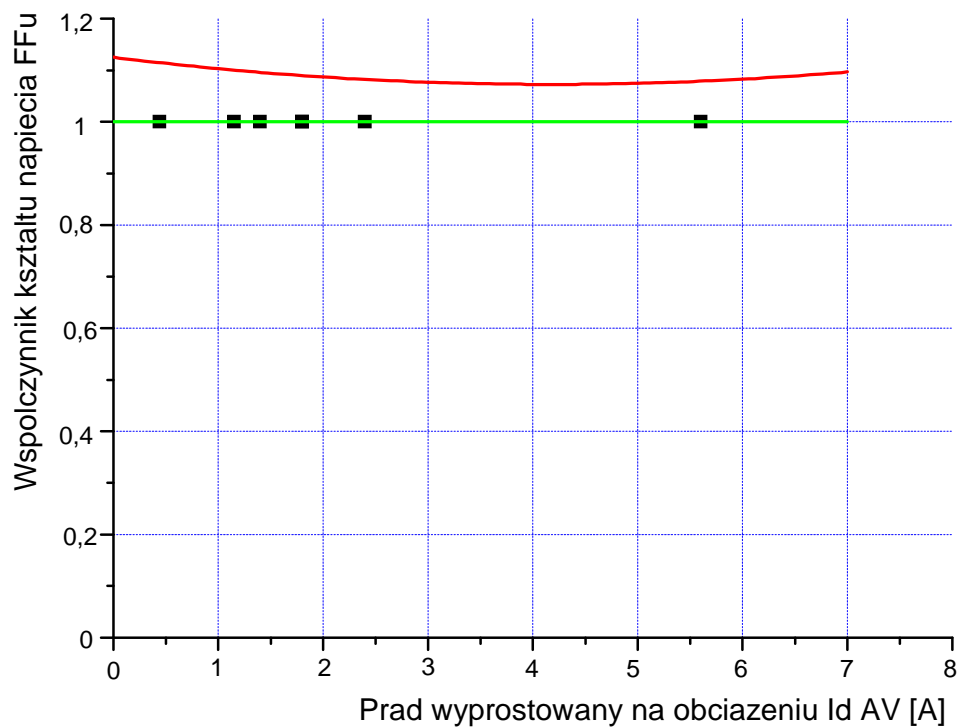
Napięcie zasilające: $U_S = \text{const.}$

Obciążenie układu: rezystancyjne, $R_O = \text{var.}$

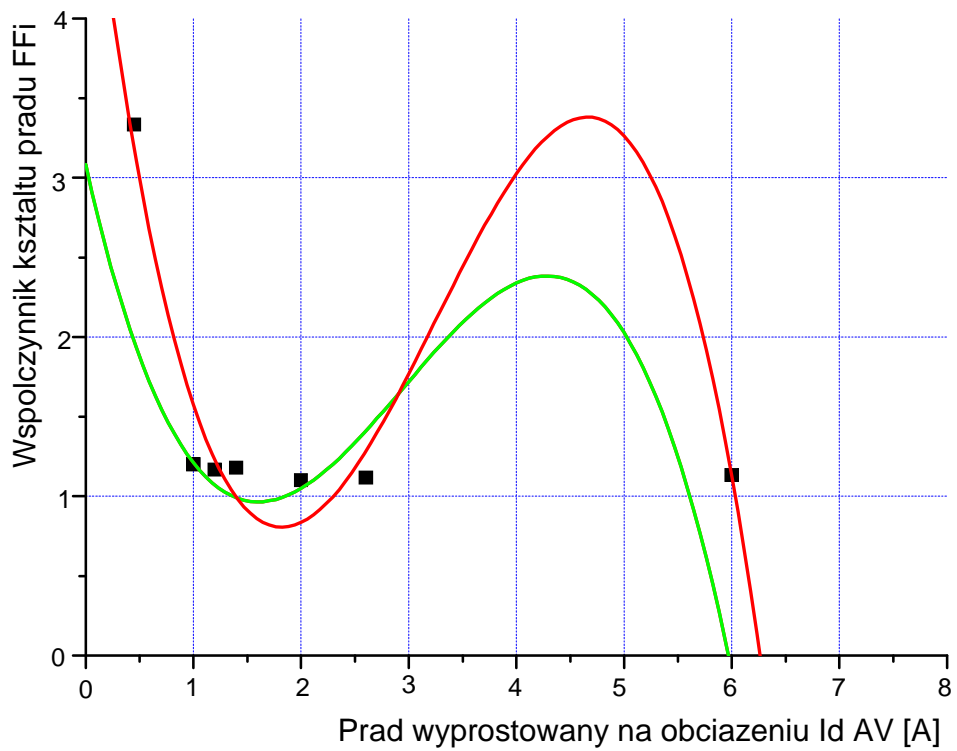
Lp.	Charakterystyka eksploatacyjna	Stan złącz filtra	Wielomian funkcji regresji		Wsp. Regresji R	Uwagi
			Postać ogólna $y = A + B \cdot x + C \cdot x^2 + D \cdot x^3$			
1	2	3	4		5	6
1	Współczynnik kształtu napięcia wyprostowanego na obciążeniu. $FF_U = f(I_{dAV})$	Wył.	A	1,13544	0,801	
			B	-0,03651		
			C	0,00494		
		Zał.	A	1,00000	1,000	
			B	0		
			C	0		
2	Współczynnik kształtu prądu wyprostowanego na obciążeniu. $FF_I = f(I_{dAV})$	Wył.	A	5,33978	0,963	
			B	-5,72452		
			C	2,18539		
			D	-0,22471		
		Zał.	A	3,08334	0,970	
			B	-3,02298		
			C	1,29689		
			D	-0,14691		
3	Współczynnik pulsacji napięcia wyprostowanego na obciążeniu. $RF_U = f(I_{dAV})$	Wył.	A	0,04300	0,999	
			B	-0,10805		
			C	0,08986		
			D	-0,01085		
		Zał.	A	0,62379	0,564	
			B	-0,37778		
			C	0,11421		
			D	-0,01059		
4	Współczynnik pulsacji prądu wyprostowanego na obciążeniu. $RF_I = f(I_{dAV})$	Wył.	A	7,03190	0,993	
			B	-6,66105		
			C	2,20679		
			D	-0,21294		
		Zał.	A	8,84386	0,985	
			B	-9,47920		
			C	3,54898		
			D	-0,37748		
5	Sprawność przekształcania energii prądu stałego. $\eta_R = f(I_{dAV})$	Wył.	A	-0,10119	0,965	
			B	1,02881		
			C	-0,34791		
			D	0,03340		
		Zał.	A	0,04250	0,980	
			B	1,21880		
			C	-0,53692		
			D	0,06192		

6	Stopień wykorzystania transformatora. $UF = f(I_{dAV})$	Wył.	A -0,13352 B 1,33398 C -0,55942 D 0,06095	0,930	
		Zał.	A 0,00152 B 1,16165 C -0,51807 D 0,06070	0,956	
7	Współczynnik wygładzania napięcia na obciążeniu, w układzie z filtrem. $EF_U = f(I_{dAV})$	Wył.	A 1,12690 B -0,03220 C 0,00447	0,749	
		Zał.	A 1,00000 B 0 C 0	1,000	
8	Współczynnik wygładzania napięcia na obciążeniu, w układzie z filtrem. $EF_I = f(I_{dAV})$	Wył.	A 1,69399 B -0,49929 C 0,06711	0,901	
		Zał.	A 1,00000 B 0 C 0	1,000	

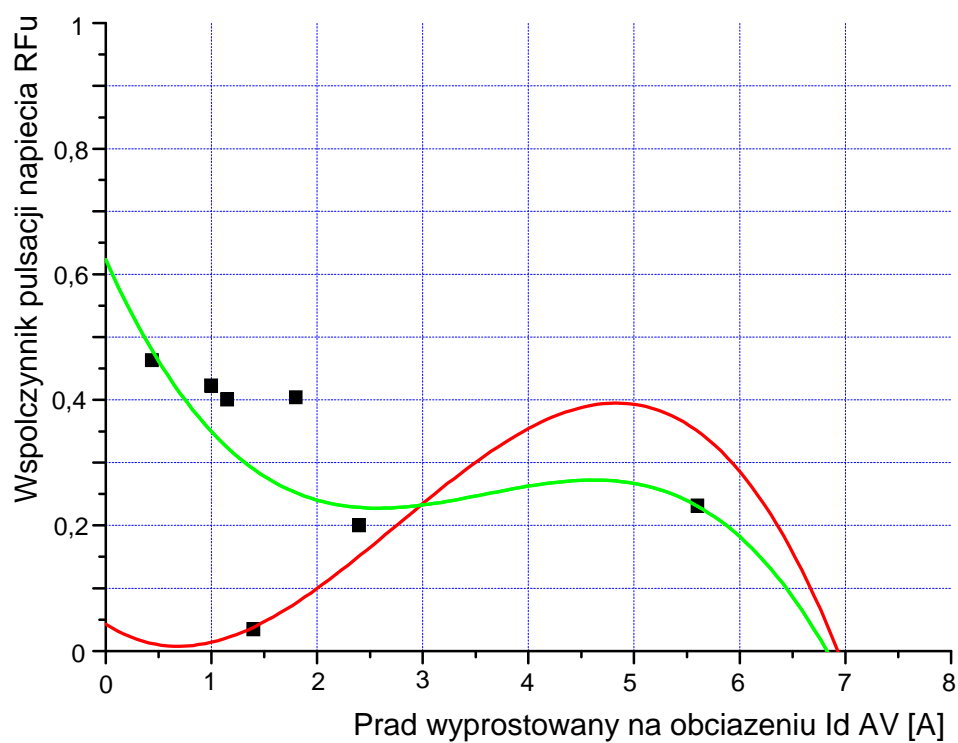
Rząd funkcji wielomianowej użytej w regresji wyznaczony został empirycznie. Dla każdej z grupy przebiegów wybrany został najmniejszy rząd wielomianu dający współczynnik regresji R możliwie najbliższy jedności.



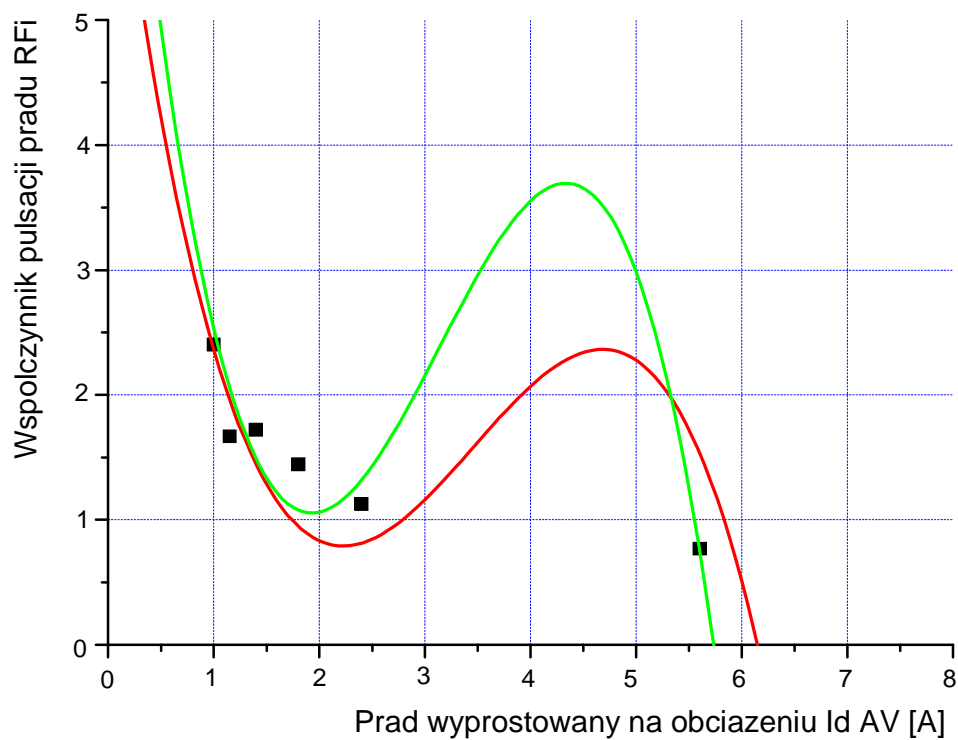
Współczynnik kształtu napięcia wyprostowanego na obciążeniu. $FF_U = f(I_{dAV})$



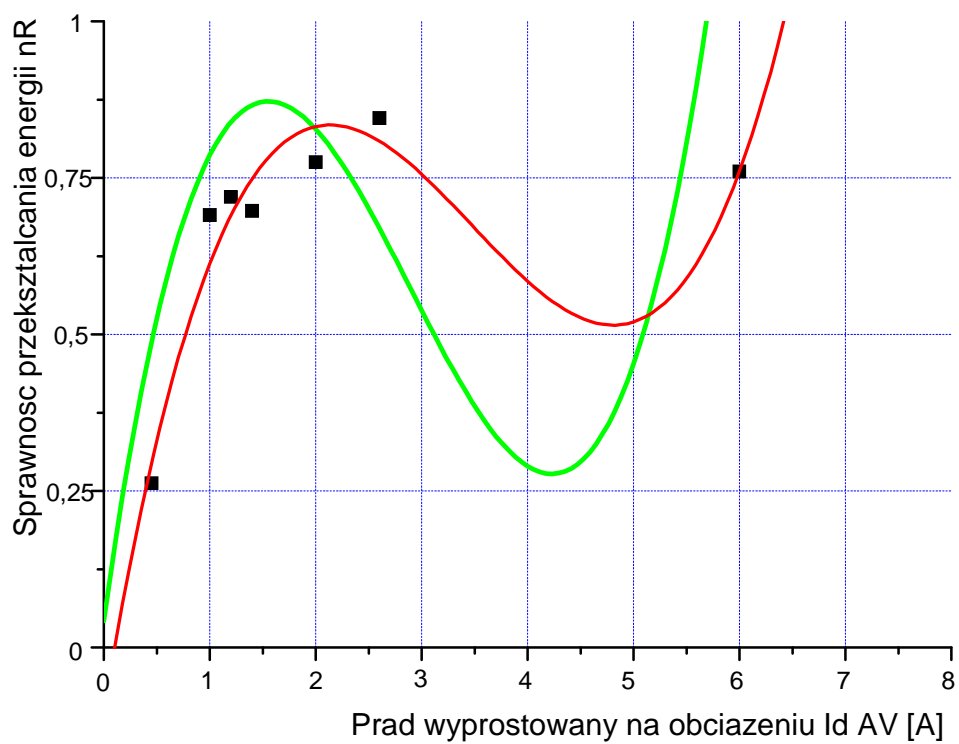
Współczynnik kształtu prądu wyprostowanego na obciążeniu. $FF_I = f(I_{dAV})$



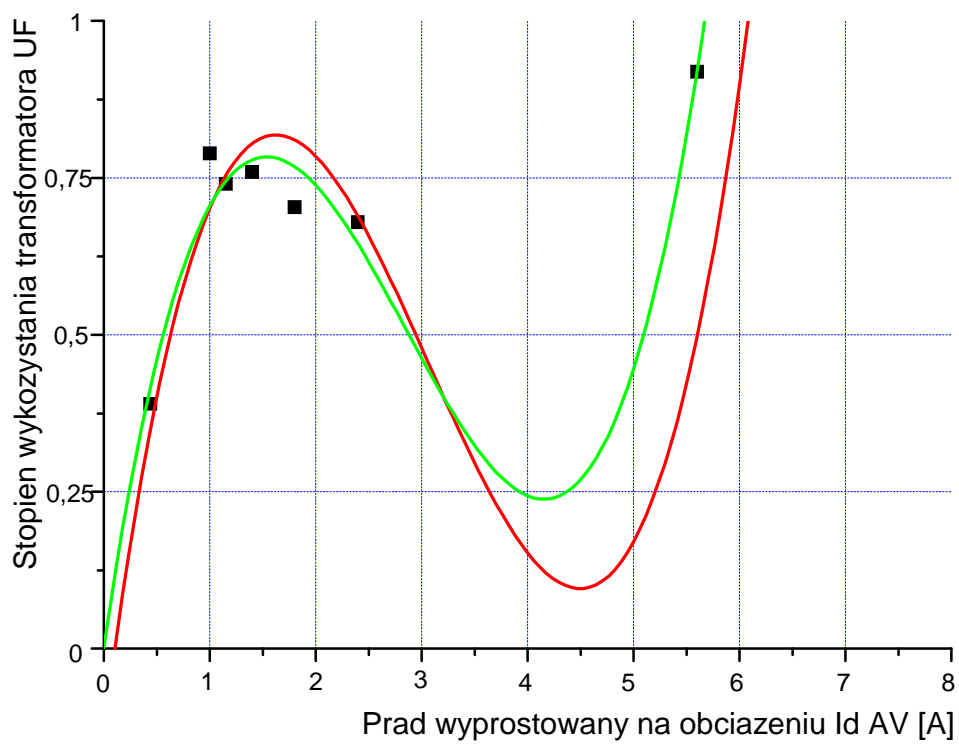
Współczynnik pulsacji napięcia wyprostowanego na obciążeniu. $RF_u = f(I_{dAV})$



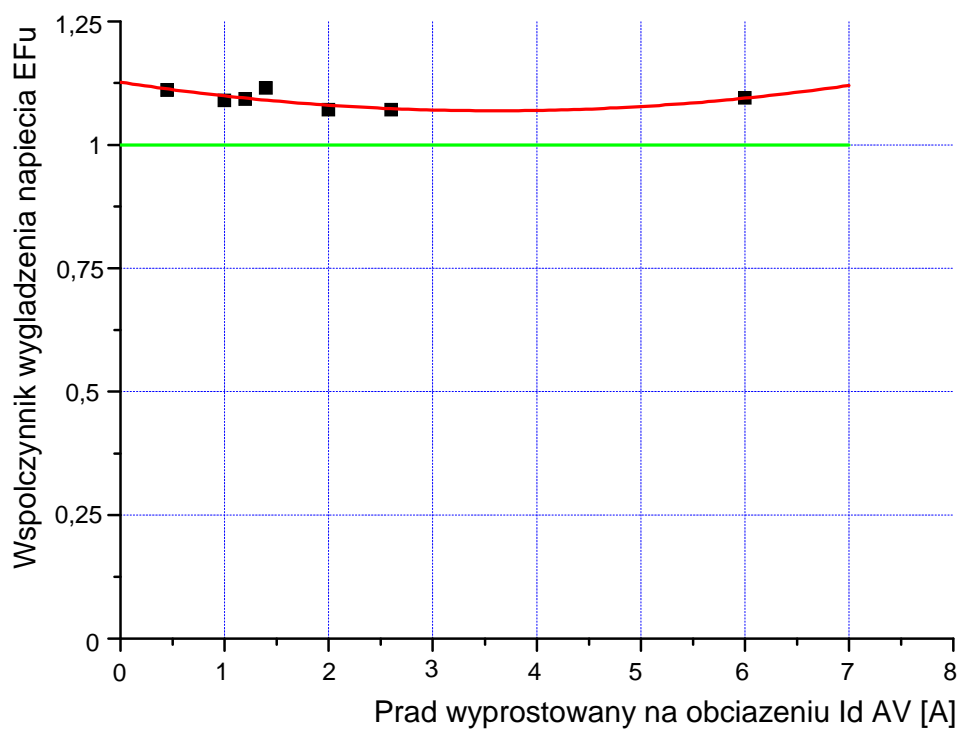
Współczynnik pulsacji prądu wyprostowanego na obciążeniu. $RF_i = f(I_{dAV})$



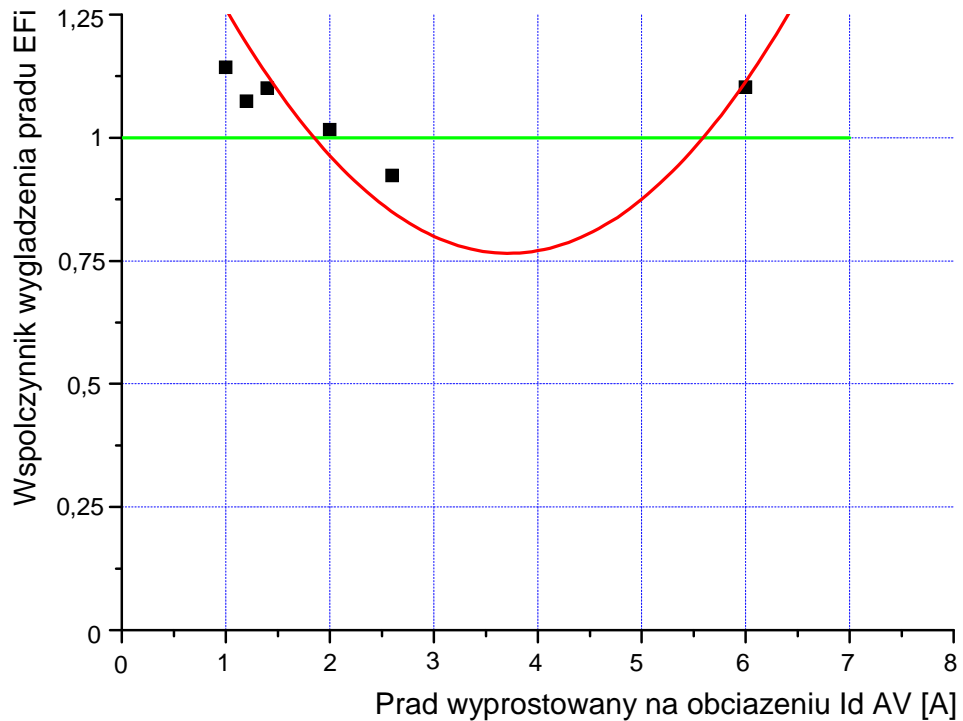
Sprawność przekształcania energii prądu stałego. $\eta_R = f(I_{dAV})$



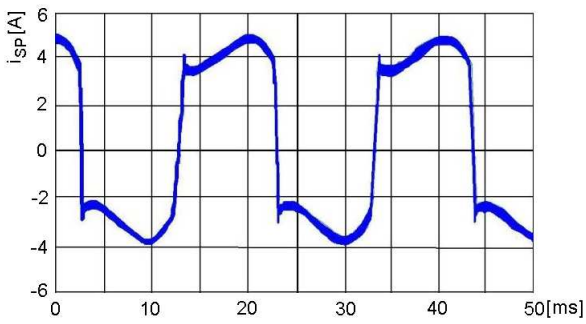
Stopień wykorzystania transformatora. $UF = f(I_{dAV})$



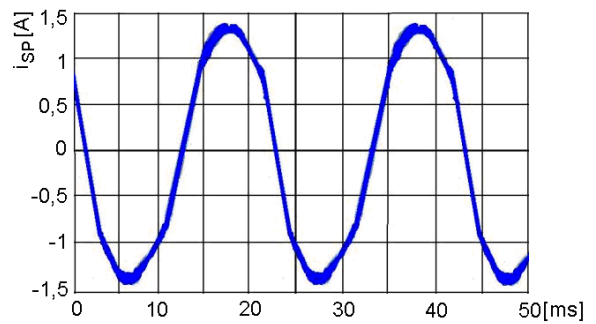
Współczynnik wygładzania napięcia na obciążeniu, w układzie z filtrem. $EF_u = f(I_{dAV})$



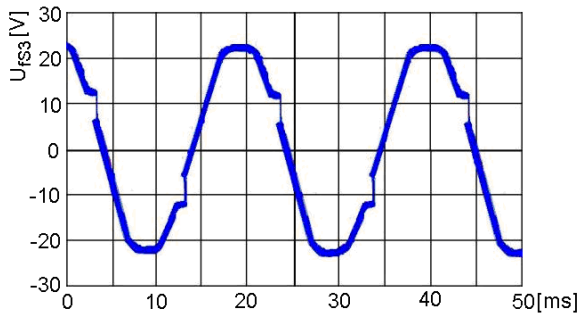
Współczynnik wygładzania napięcia na obciążeniu, w układzie z filtrem. $EF_i = f(I_{dAV})$



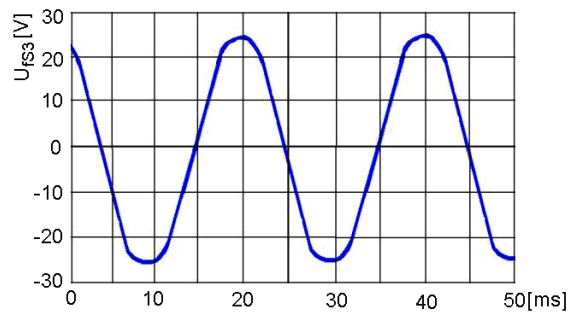
Obciążenie 7. Z filtrem; 20mV/cm, 5ms/cm



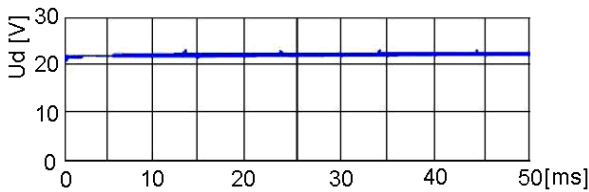
Obciążenie 7 Bez filtra; 5mV/cm, 5ms/cm



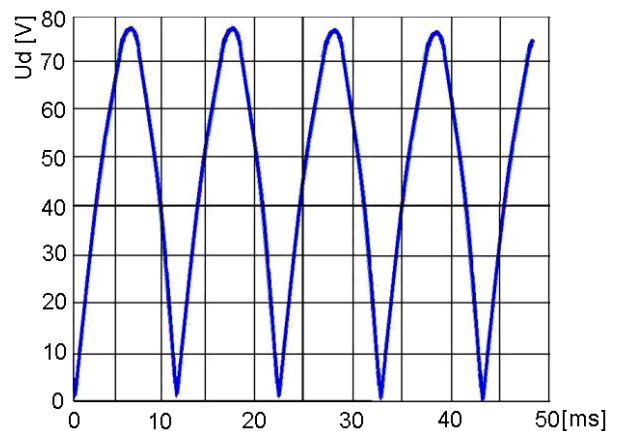
Obciążenie 7. Z filtrem; 0,1V/cm, 5ms/cm



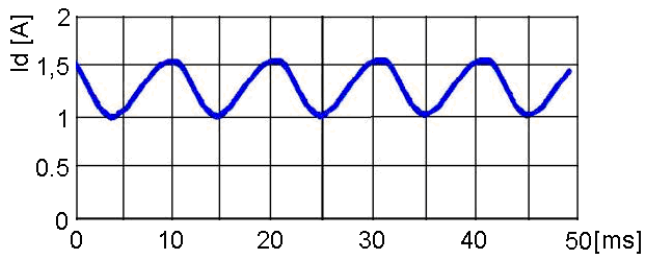
Obciążenie 7. Bez filtra; 0,1V/cm, 5ms/cm



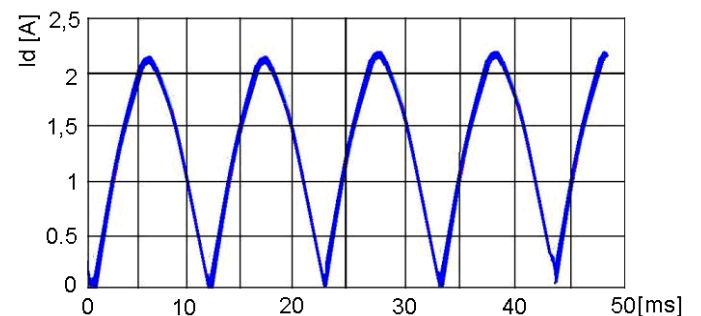
Obciążenie 7. Z filtrem; 0,1V/cm, 5ms/cm



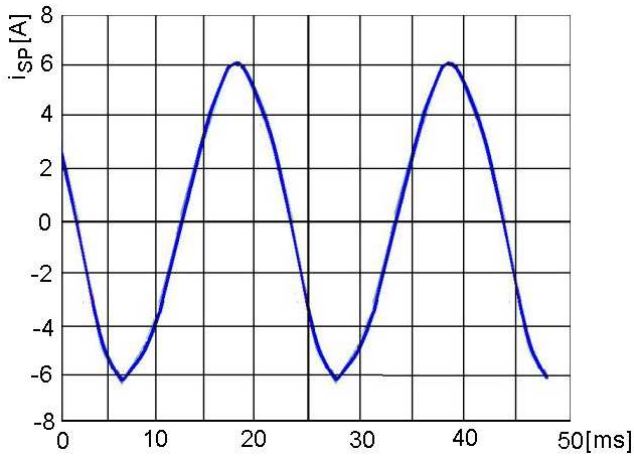
Obciążenie 7. Bez filtra; 0,1V/cm, 5ms/cm



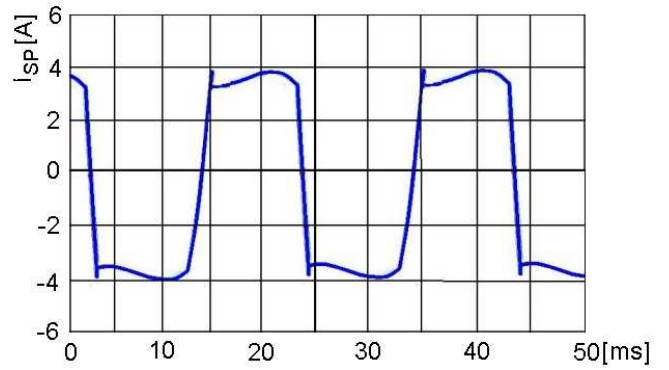
Obciążenie 7. Z filtrem; 5mV/cm, 5ms/cm



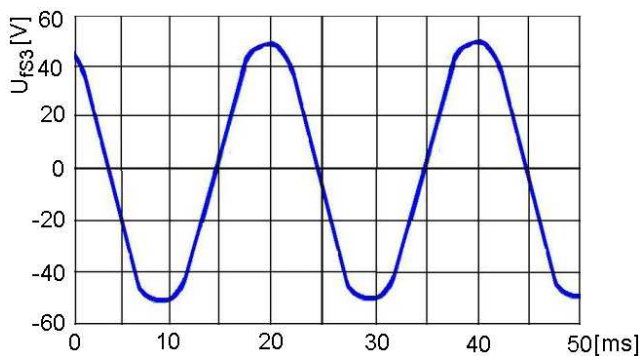
Obciążenie 7. Bez filtra; 5mV/cm, 5ms/cm



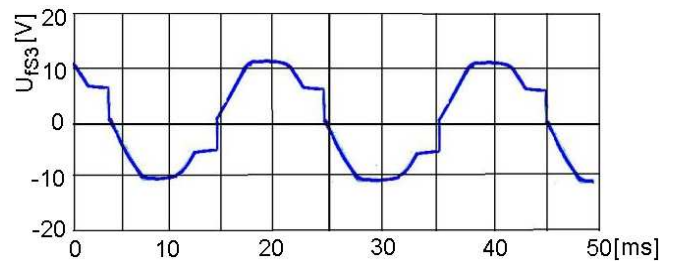
Obciążenie 1. Z filtrem; 20mV/cm, 5ms/cm



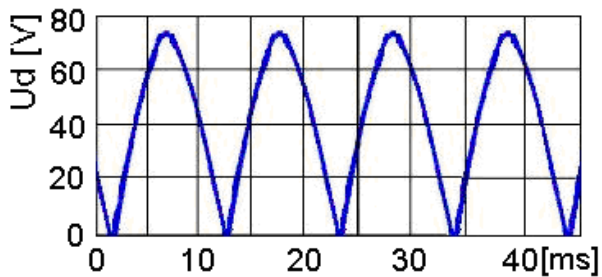
Obciążenie 1. Bez filtra; 20mV/cm, 5ms/cm



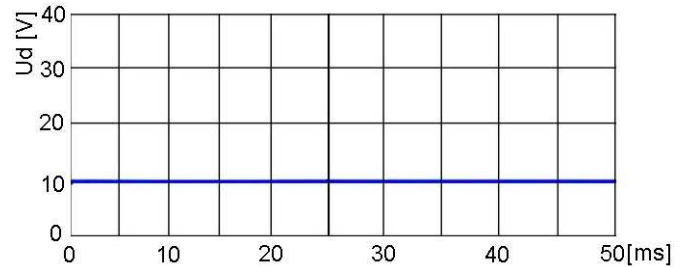
Obciążenie 1. Z filtrem; 0,2V/cm, 5ms/cm



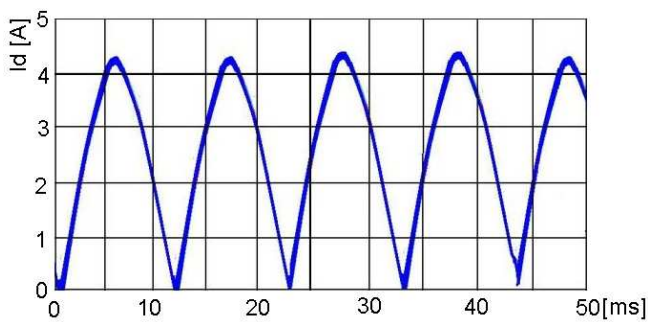
Obciążenie 1. Bez filtra; 0,1V/cm, 5ms/cm



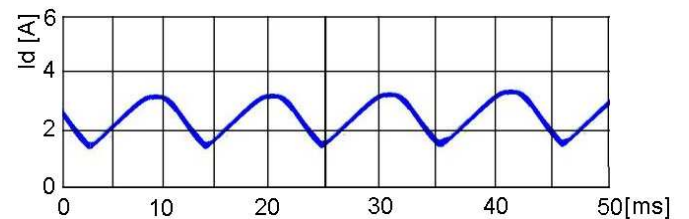
Obciążenie 1. Z filtrem; 0,2V/cm, 5ms/cm



Obciążenie 1. Bez filtra; 0,1V/cm, 5ms/cm



Obciążenie 1. Z filtrem; 10mV/cm, 5ms/cm



Obciążenie 1. Bez filtra; 20mV/cm, 5ms/cm

5. Wnioski

W ćwiczeniu badaliśmy niesterowalny falownik statyczny. Na podstawie charakterystyk wyprostowanych wielkości prądu, napięcia i mocy oraz wyznaczonych parametrów przebiegów na obciążeniu (bezwzględna i względna pulsacja *peak to peak*) możemy zaobserwować zachowanie się układu prostowniczego w zależności od wartości obciążenia. Na oscylogramach widać jest wyraźnie działanie biernego filtra LC. Zależność ta jest najbardziej zauważalna dla małych wartości obciążenia.

Otrzymane metodą regresji wielomianowej charakterystyki eksploatacyjne falownika niesterowalnego zwracają uwagę na dużą nieliniowość sprawności i obciążenia transformatora dla szeregu wartości obciążenia.

Porównując ze sobą powyższe charakterystyki zauważymy, że dla największego obciążenia transformatora układ uzyskuje najgorszą sprawność energetyczną.