

Zasilacz stabilizowany 12V

Marcin Polkowski
marcin@polkowski.eu

3 grudnia 2007

Spis treści

1	Wprowadzenie	2
2	Wykonane pomiary	2
2.1	Charakterystyka napięciowa	2
2.2	Charakterystyka prądowa	3
3	Podsumowanie	4
4	Propozycje na przyszłość	4
5	Bibliografia	4

Spis rysunków

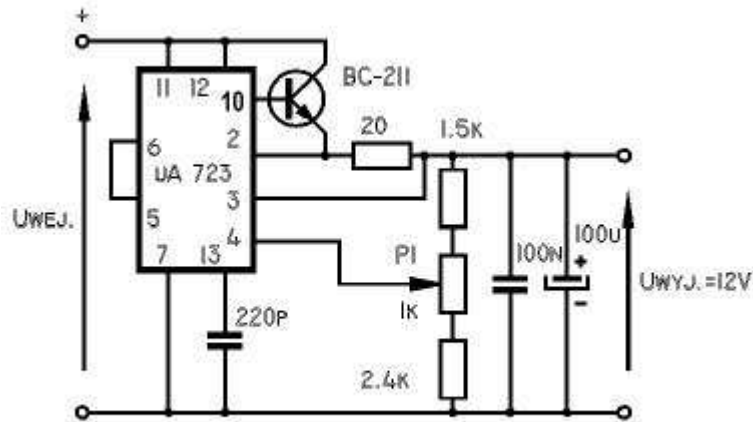
1	Układ zasilacza stabilizowanego	2
2	Charakterystyka napięciowa zasilacza	5
3	Charakterystyka napięciowa zasilacza	6
4	Charakterystyka prądowa zasilacza	7
5	Charakterystyka prądowa zasilacza	8
6	Charakterystyka prądowa zasilacza dla małych prądów	9
7	Charakterystyka obciążeniowa	10

Spis tablic

1	Pomiary charakterystyki napięciowej	11
2	Pomiary charakterystyki prądowej	15

1 Wprowadzenie

Celem ćwiczenia było zbudowanie i zbadanie prostego układu 12-voltowego zasilacza stabilizowanego. Układ został skonstruowany na bazie monolitycznego stabilizatora $\mu A723$.



Rysunek 1: Układ zasilacza stabilizowanego

Zasilacz stabilizowany to urządzenie elektroniczne służące do zasilania napięciem stałym innych obwodów i urządzeń elektrycznych. Charakteryzuje się bardzo dużą stabilnością napięcia wyjściowego. Ponieważ napięcie wyjściowe zmienia się wraz ze zmianami prądu obciążenia, układ stabilizatora "śledzi" napięcie wyjściowe, dokonując takiej zmiany wysterowaniu tranzystora szeregowego, jaka jest konieczna do utrzymania napięcia wyjściowego na stałym poziomie.

Układ został zmontowany zgodnie ze schematem pokazanym na rysunku¹ 1 (strona 2). Układ został zasilony stałym napięciem 18V (zmierzone: $17,91 \pm 0,09V$) z zasilacza, a wartość potencjometru P1 została dobrana w taki sposób, aby napięcie wyjściowe wynosiło 12V (zmierzone: $12,02 \pm 0,06V$)

Tak skonfigurowany układ posłużył do wykonania pomiarów charakterystyki amplitudowej i prądowej.

2 Wykonane pomiary

2.1 Charakterystyka napięciowa

Na wejście układu przestawionego na rysunku 1 (strona 2) wprowadzono napięcia z zakresu od 1,2V do 25,1V i zmierzono wartość napięcia na oporniku 500Ω (zmierzone: $513,00 \pm 4,10\Omega$) będącym obciążeniem wyjścia.

Wartość oporu potencjometru P1 została wcześniej dobrana w taki sposób, aby napięcie wyjściowe generowane w zasilaczu (w obszarze płaskiej charakterystyki) wynosiło 12V.

Zmierzone wartości wraz z niepewnościami zostały ujęte w tabeli 1 (strona 11). Pomiary zostały przedawnione na wykresie 2 (strona 5) - bez nanoszenia niepewności oraz na wykresie 3 (strona 6) - z niepewnościami.

Na wykresach widać, że napięcie wyjściowe nie jest stałe dla napięć wejściowych mniejszych niż 13,9V. Powyżej tej wartości napięcie wyjściowe jest stałe (12V) i nie zależy od napięcia wejściowego.

Do zbocza charakterystyki dla $U_{we} < 13,9V$ dopasowano prostą o równaniu

$$f(x) = ax + b$$

¹Rysunek pochodzi z instrukcji do ćwiczenia *Analogowe układy scalone*

i otrzymano następujące wartości parametrów a i b :

$$a = 0,9604 \pm 0,0011$$

$$b = -1,3111 \pm 0.0097$$

2.2 Charakterystyka prądowa

Aby wykonać pomiar charakterystyki prądowej zasilacza na jego wejście podano stałe napięcie $18V$ ($17,98 \pm 0,09V$), a obciążany opornik 500Ω zastąpiono opornikiem dekadowym².

Na podstawie pomiarów rezystancji obciążanego opornika dekadowego i napięcia wyjściowego wyznaczono zależność napięcia wyjściowego od prądu płynącego przez układ. Aby wyznaczyć natężenie prądu skorzystano z prawa Ohma:

$$I = \frac{U}{R}$$

gdzie U jest napięciem wejściowym podawanym z zasilacza, a R rezystancją opornika dekadowego.

Obydwie wielkości wykorzystywane do wyznaczania natężenia prądu I obarczone są niepewnościami, więc aby wyznaczyć niepewność I korzystamy ze wzoru na propagację małych błędów³:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \sigma_{x_i}}$$

W rozpatrywanym przypadku (po przekształceniach) otrzymujemy wzór na niepewność natężenia prądu I :

$$\sigma_I = \sqrt{\frac{\sigma_U R^2 + \sigma_R U^2}{R^4}}$$

Wszystkie wartości zmierzone i obliczone zostały zestawione w tabeli 2 (strona 15).

Pomiary zostały przedawnione na wykresie 4 (strona 7) - bez nanoszenia niepewności oraz na wykresie 5 (strona 8) - z niepewnościami.

Wykres 6 (strona 9) przedstawia liniowy fragment charakterystyki prądowej (dla prądów od $0,02A$ do $0,045A$)

Jak widać na wykresach napięcie wyjściowe jest stałe dla natężeń prądu poniżej $0,045A$. Dla większych prądów napięcie maleje nieliniowo. Do opadającego zbocza charakterystyki ($I > 0,045A$) można przypasować krzywą wykładniczą daną wzorem

$$f(x) = ax^b$$

Po dopasowaniu otrzymano następujące wartości parametrów a i b :

$$a = 0,6582 \pm 0,0024$$

$$b = -0,9542 \pm 0.0014$$

Kluczowe znaczenie dla charakterystyki prądowej zasilacza stabilizowanego ma spadek napięcia na oporniku przy emiterze tranzystora (20Ω , należy tutaj pamiętać że zmierzona rezystancja tego opornika wynosi $19,7 \pm 0,16\Omega$). Zgodnie z prawem Ohma:

$$U = IR$$

Opór nie zależy od przepływającego prądu (zakładamy, że temperatura opornika się nie zmienia), więc zależność spadku napięcia na oporniku od prądu jest liniowa. Zależność tą dla układu przedstawiono na wykresie 7 (strona 10).

Teoretycznie gdy spadek napięcia na oporniku jest większy od $0,7V$ (wartość z instrukcji do ćwiczenia) część prądu wyjściowego przepływa przez złącze baza-emiter tranzystora wbudowanego w układ $\mu A723$. Efektem tego

²Opornik regulowany od 0 do 1000Ω ze skokiem 10Ω

³John R. Tylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, strona 87

jest zmniejszenie rezystancji tranzystora co powoduje obniżenie potencjału sterującego bazę tranzystora BC-211. W wyniku tego zmniejsza się napięcie wyjściowe.

W przypadku mierzonego układu spadek napięcia wyjściowego nastąpił dla natężenia prądu $I > 0,045A$. Dla takiego natężenia spadek napięcia na oporniku wynosił

$$U = IR = 0,886 \pm 0,017V$$

Dla większych prądów spadek napięcia na oporniku wzrastał proporcjonalnie do natężenia, a napięcie wyjściowe malało (w przybliżeniu) przeciw proporcjonalnie do natężenia.

3 Podsumowanie

Zbadany został układ zasilacza stabilizowanego opartego na układzie $\mu A723$. Zasilacz taki jest bardziej uniwersalny i ma lepsze parametry od zwykłego stabilizatora opartego na diodzie Zenera. Niestety ze względu na małą wydajność prądową warto go stosować tylko w urządzeniach pobierających małą ilość energii.

Do zastosowań wymagających większej wydajności prądowej dużo lepsze okażą się stabilizatory impulsowe.

4 Propozycje na przyszłość

Zasilacz pracuje prawidłowo (dając na swoje wyjście oczekiwane napięcie 12V) dla napięć wejściowych od 13,9V do 25,1V (dla większych napięć wejściowych nie wykonano pomiarów) - patrz punkt 2.1 (strona 2) . Charakterystyka prądowa (patrzy punkt 2.2 (strona 3)) została zmierzona tylko dla napięcia wejściowego wynoszącego 18V.

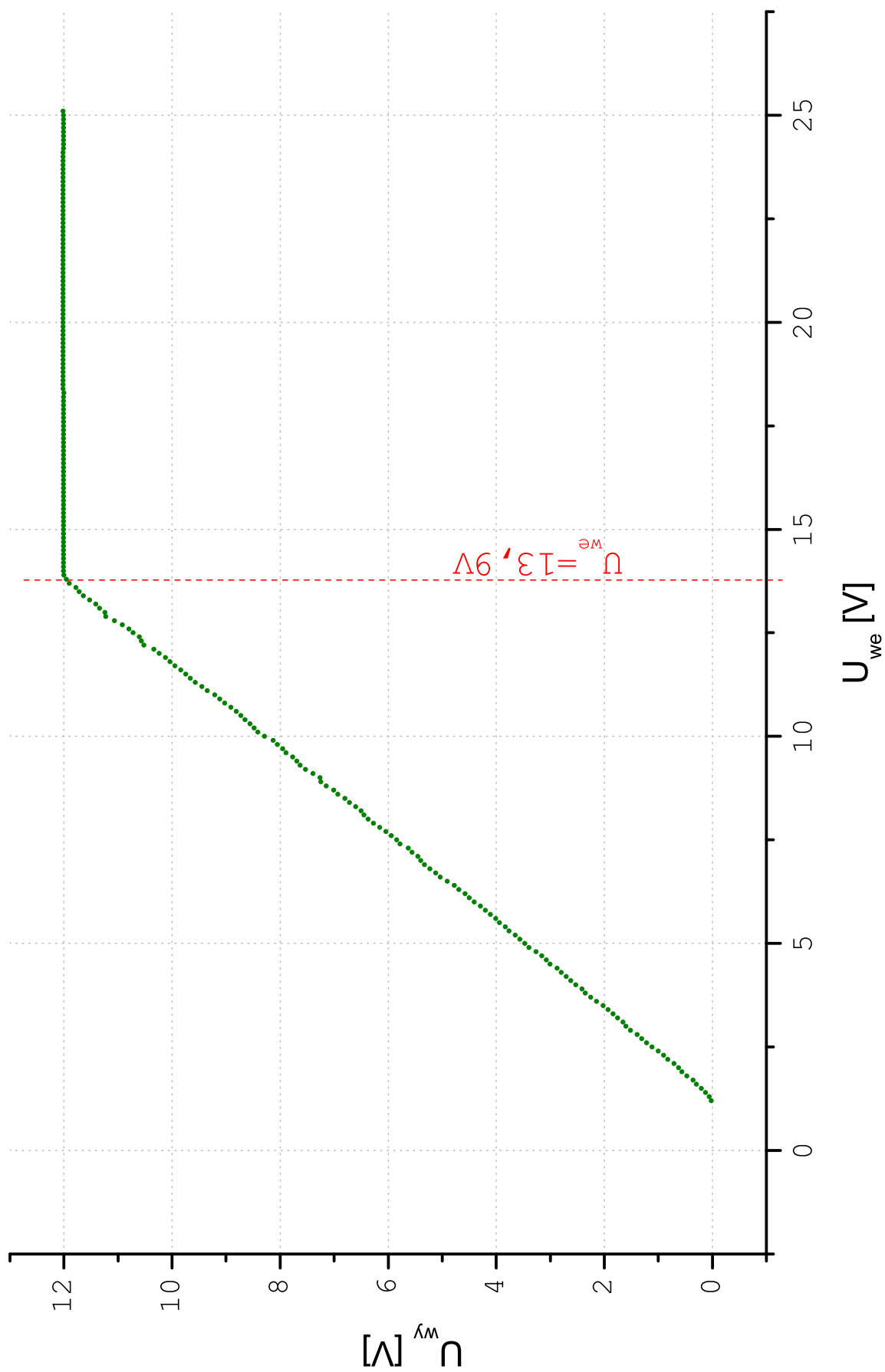
Gdyby starczyło podczas ćwiczenia czasu, interesujące byłoby sprawdzenie czy charakterystyka prądowa zależy (i w jaki sposób) od napięcia wejściowego układu.

5 Bibliografia

Do sporządzenia niniejszego raportu wykorzystane zostały wiadomości z następujących prac:

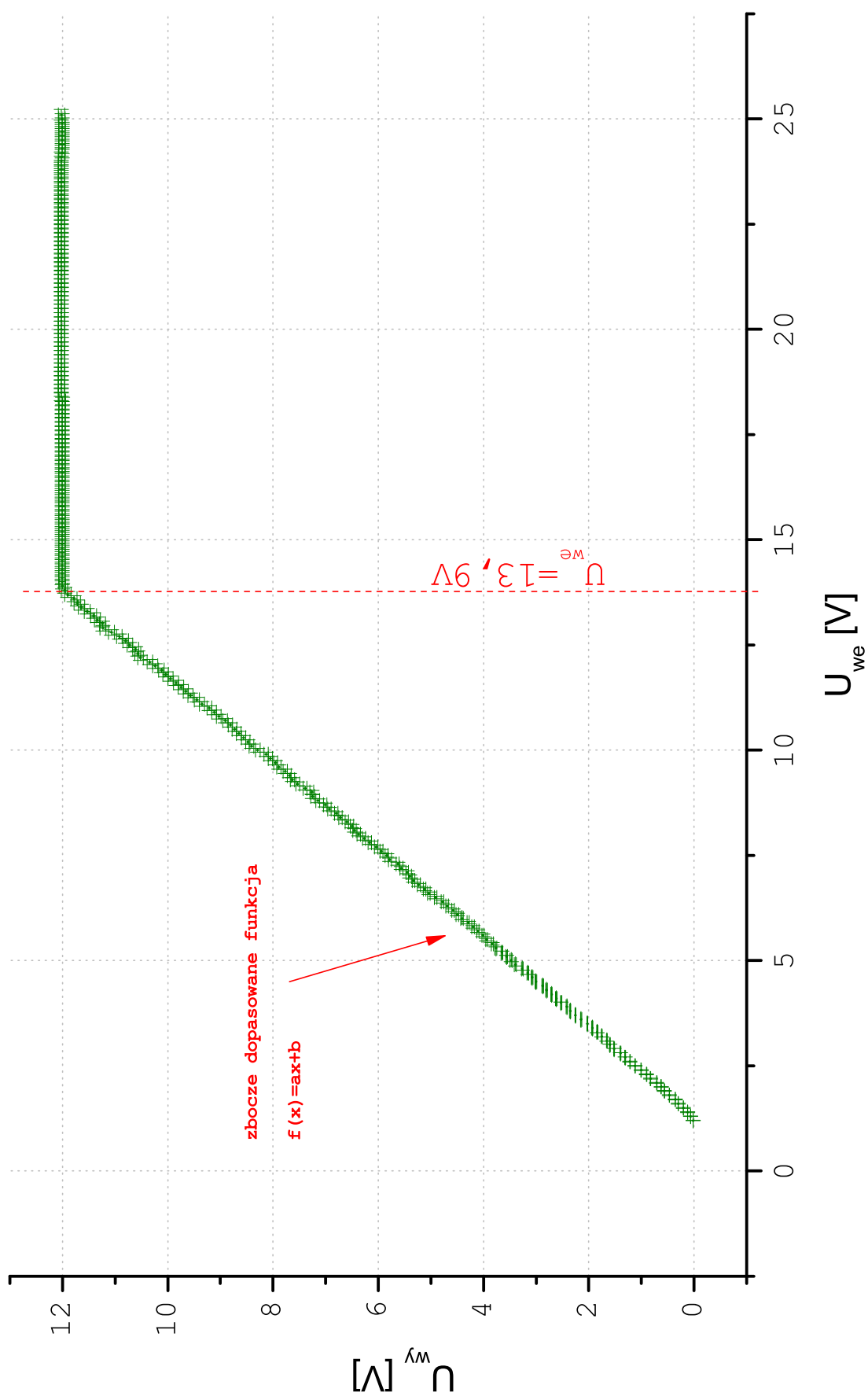
- A. Filipkowski, *Układy elektroniczne analogowe i cyfrowe*, Warszawa 1978, 1995
- wykładów Prof. W. Dominika
- John R. Tylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, Warszawa 1995
- specyfikacji technicznych użytych układów scalonych

Charakterystyka napięciowa zasilacza stabilizowanego



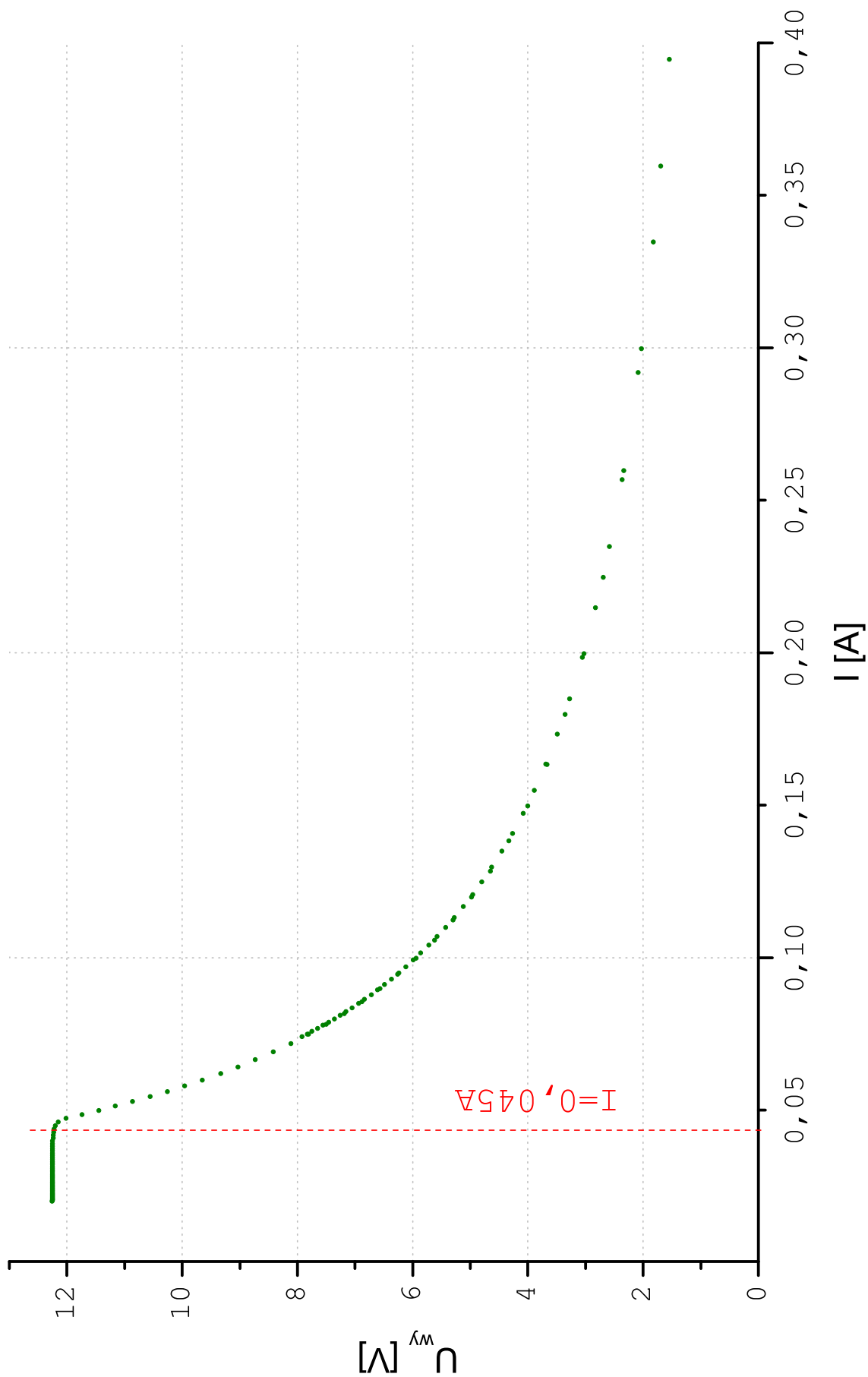
Rysunek 2: Charakterystyka napięciowa zasilacza

Charakterystyka napięciowa zasilacza stabilizowanego



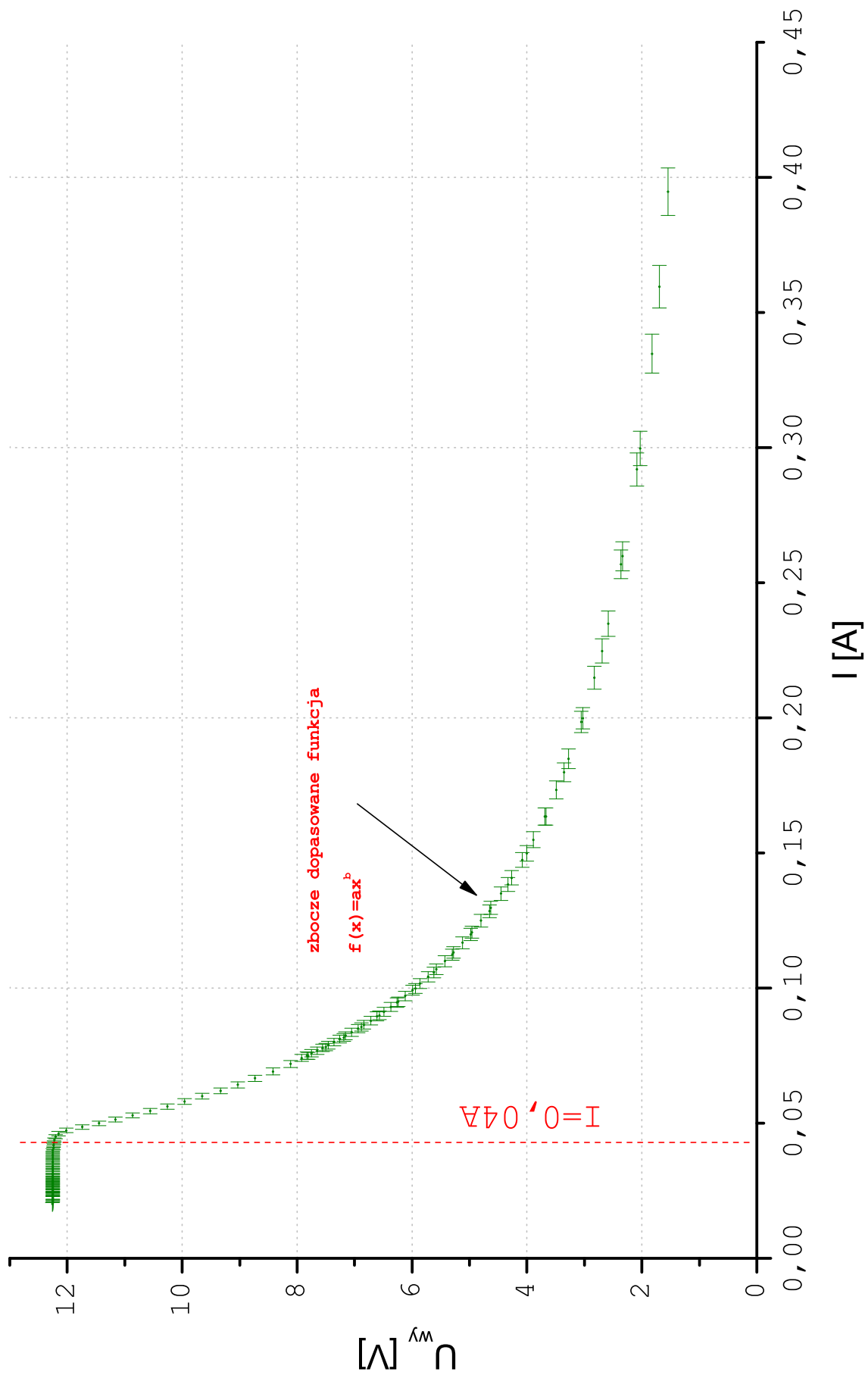
Rysunek 3: Charakterystyka napięciowa zasilacza

Charakterystyka prądowa zasilacza stabilizowanego



Rysunek 4: Charakterystyka prądowa zasilacza

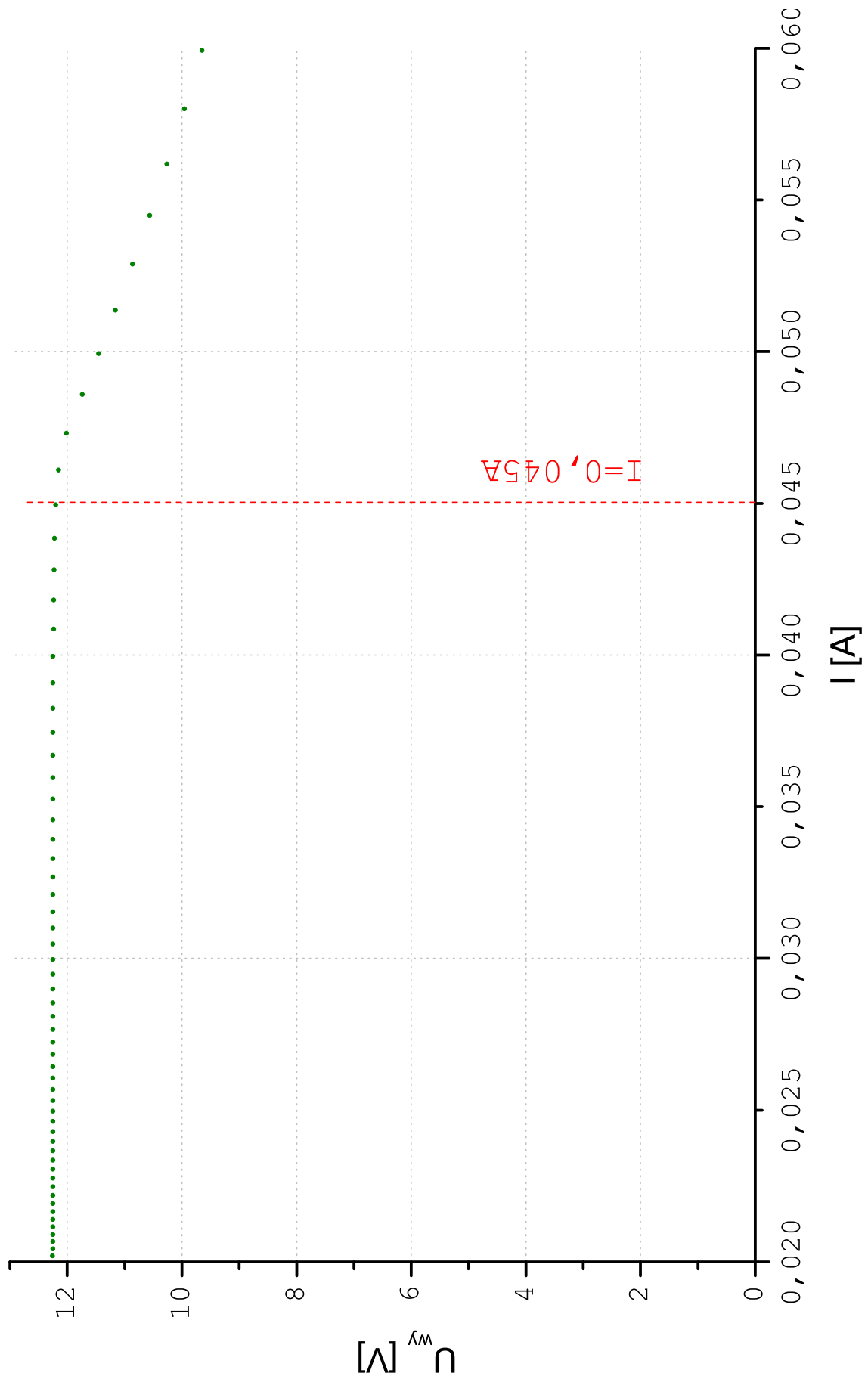
Charakterystyka prądowa zasilacza stabilizowanego



Rysunek 5: Charakterystyka prądowa zasilacza

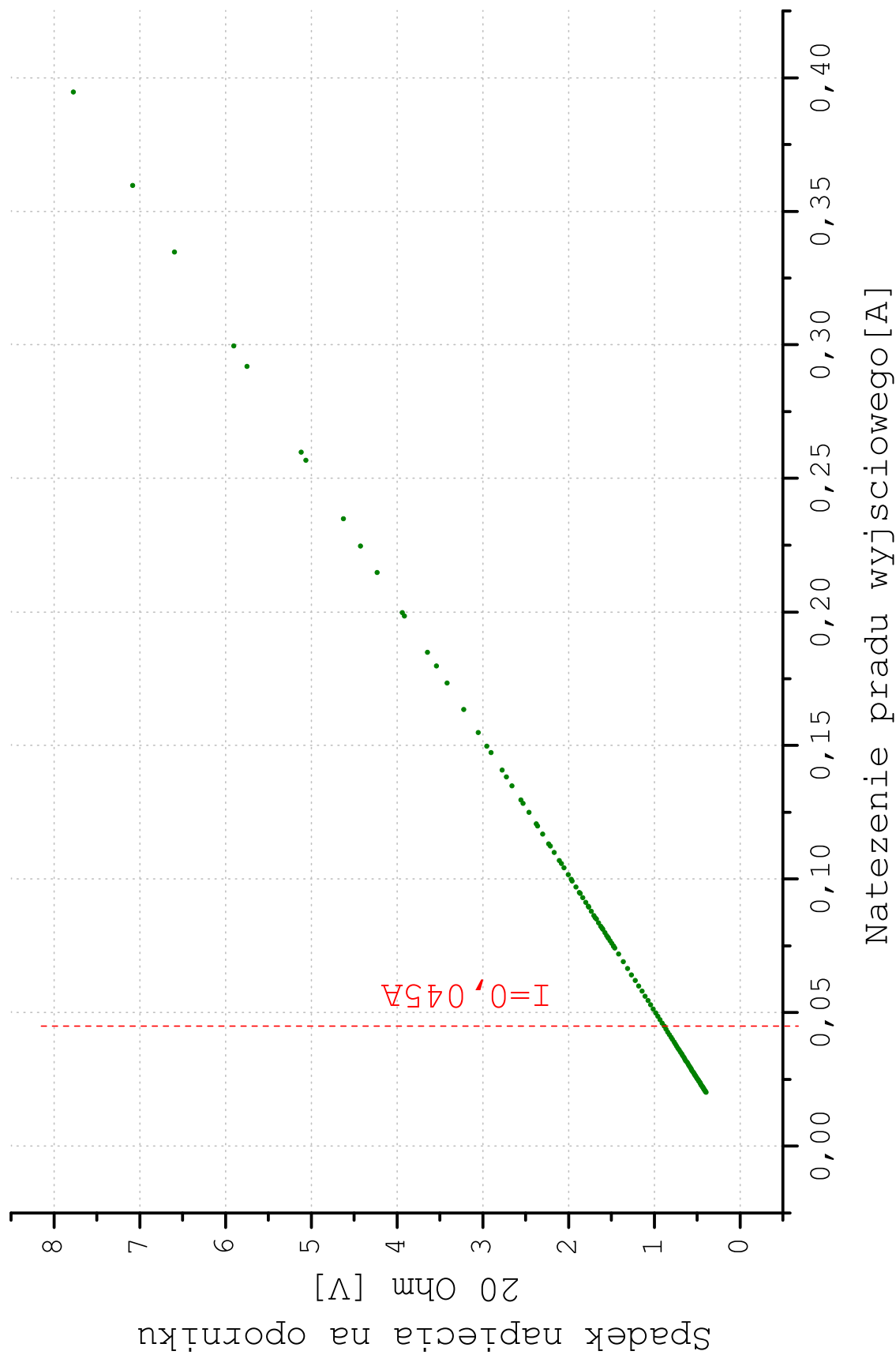
Charakterystyka prądowa zasilacza stabilizowanego

dla prądów
0,02A - 0,06A



Rysunek 6: Charakterystyka prądowa zasilacza dla małych prądów

Charakterystyka obciążeniowa



Rysunek 7: Charakterystyka obciążeniowa

Tablica 1: Pomiary charakterystyki napięciowej

Pomiar	U_{we}	błąd U_{we}	niepewność U_{we}	U_{wy}	błąd U_{wy}	niepewność U_{wy}
1	1,20	0,50%	0,01	0,0173	0,30%	0,0001
2	1,30	0,50%	0,01	0,0621	0,30%	0,0002
3	1,40	0,50%	0,01	0,1245	0,30%	0,0004
4	1,50	0,50%	0,01	0,2022	0,30%	0,0006
5	1,60	0,50%	0,01	0,3001	0,30%	0,0009
6	1,70	0,50%	0,01	0,3584	0,30%	0,0011
7	1,80	0,50%	0,01	0,4700	0,50%	0,0024
8	1,90	0,50%	0,01	0,5650	0,50%	0,0028
9	2,00	0,50%	0,01	0,6260	0,50%	0,0031
10	2,10	0,50%	0,01	0,7090	0,50%	0,0035
11	2,20	0,50%	0,01	0,8280	0,50%	0,0041
12	2,30	0,50%	0,01	0,9020	0,50%	0,0045
13	2,40	0,50%	0,01	1,0050	0,50%	0,0050
14	2,50	0,50%	0,01	1,1200	0,50%	0,0056
15	2,60	0,50%	0,01	1,2170	0,50%	0,0061
16	2,70	0,50%	0,01	1,3070	0,50%	0,0065
17	2,80	0,50%	0,01	1,3950	0,50%	0,0070
18	2,90	0,50%	0,01	1,5190	0,50%	0,0076
19	3,00	0,50%	0,02	1,6020	0,50%	0,0080
20	3,10	0,50%	0,02	1,6580	0,50%	0,0083
21	3,20	0,50%	0,02	1,7550	0,50%	0,0088
22	3,30	0,50%	0,02	1,8380	0,50%	0,0092
23	3,40	0,50%	0,02	1,9340	0,50%	0,0097
24	3,50	0,50%	0,02	2,0260	0,50%	0,0101
25	3,60	0,50%	0,02	2,1470	0,50%	0,0107
26	3,70	0,50%	0,02	2,2540	0,50%	0,0113
27	3,80	0,50%	0,02	2,3530	0,50%	0,0118
28	3,90	0,50%	0,02	2,4170	0,50%	0,0121
29	4,00	0,50%	0,02	2,5270	0,50%	0,0126
30	4,10	0,50%	0,02	2,6180	0,50%	0,0131
31	4,20	0,50%	0,02	2,7090	0,50%	0,0135
32	4,30	0,50%	0,02	2,8010	0,50%	0,0140
33	4,40	0,50%	0,02	2,8770	0,50%	0,0144
34	4,50	0,50%	0,02	3,0040	0,50%	0,0150
35	4,60	0,50%	0,02	3,0750	0,50%	0,0154
36	4,70	0,50%	0,02	3,1590	0,50%	0,0158
37	4,80	0,50%	0,02	3,2620	0,50%	0,0163
38	4,90	0,50%	0,02	3,3960	0,50%	0,0170
39	5,00	0,50%	0,03	3,4760	0,50%	0,0174
40	5,10	0,50%	0,03	3,5640	0,50%	0,0178
41	5,20	0,50%	0,03	3,6520	0,50%	0,0183
42	5,30	0,50%	0,03	3,7650	0,50%	0,0188
43	5,40	0,50%	0,03	3,8350	0,50%	0,0192
44	5,50	0,50%	0,03	3,9410	0,50%	0,0197
45	5,60	0,50%	0,03	4,0100	0,50%	0,0201
46	5,70	0,50%	0,03	4,1100	0,50%	0,0206
47	5,80	0,50%	0,03	4,2000	0,50%	0,0210
48	5,90	0,50%	0,03	4,2900	0,50%	0,0215
49	6,00	0,50%	0,03	4,4100	0,50%	0,0221
50	6,10	0,50%	0,03	4,5000	0,50%	0,0225
51	6,20	0,50%	0,03	4,5800	0,50%	0,0229
52	6,30	0,50%	0,03	4,6900	0,50%	0,0235
53	6,40	0,50%	0,03	4,7800	0,50%	0,0239
54	6,50	0,50%	0,03	4,9100	0,50%	0,0246
55	6,60	0,50%	0,03	5,0400	0,50%	0,0252
56	6,70	0,50%	0,03	5,1200	0,50%	0,0256

57	6, 80	0, 50%	0, 03	5, 2300	0, 50%	0, 0262
58	6, 90	0, 50%	0, 03	5, 3300	0, 50%	0, 0267
59	7, 00	0, 50%	0, 04	5, 4000	0, 50%	0, 0270
60	7, 10	0, 50%	0, 04	5, 4500	0, 50%	0, 0273
61	7, 20	0, 50%	0, 04	5, 5600	0, 50%	0, 0278
62	7, 30	0, 50%	0, 04	5, 6300	0, 50%	0, 0282
63	7, 40	0, 50%	0, 04	5, 7800	0, 50%	0, 0289
64	7, 50	0, 50%	0, 04	5, 8400	0, 50%	0, 0292
65	7, 60	0, 50%	0, 04	5, 9400	0, 50%	0, 0297
66	7, 70	0, 50%	0, 04	6, 0400	0, 50%	0, 0302
67	7, 80	0, 50%	0, 04	6, 1600	0, 50%	0, 0308
68	7, 90	0, 50%	0, 04	6, 2700	0, 50%	0, 0314
69	8, 00	0, 50%	0, 04	6, 3700	0, 50%	0, 0319
70	8, 10	0, 50%	0, 04	6, 4500	0, 50%	0, 0323
71	8, 20	0, 50%	0, 04	6, 5000	0, 50%	0, 0325
72	8, 30	0, 50%	0, 04	6, 6000	0, 50%	0, 0330
73	8, 40	0, 50%	0, 04	6, 7200	0, 50%	0, 0336
74	8, 50	0, 50%	0, 04	6, 8000	0, 50%	0, 0340
75	8, 60	0, 50%	0, 04	6, 9300	0, 50%	0, 0347
76	8, 70	0, 50%	0, 04	7, 0100	0, 50%	0, 0351
77	8, 80	0, 50%	0, 04	7, 1500	0, 50%	0, 0358
78	8, 90	0, 50%	0, 04	7, 2500	0, 50%	0, 0363
79	9, 00	0, 50%	0, 05	7, 2600	0, 50%	0, 0363
80	9, 10	0, 50%	0, 05	7, 3900	0, 50%	0, 0370
81	9, 20	0, 50%	0, 05	7, 5300	0, 50%	0, 0377
82	9, 30	0, 50%	0, 05	7, 6300	0, 50%	0, 0382
83	9, 40	0, 50%	0, 05	7, 6900	0, 50%	0, 0385
84	9, 50	0, 50%	0, 05	7, 7700	0, 50%	0, 0389
85	9, 60	0, 50%	0, 05	7, 8900	0, 50%	0, 0395
86	9, 70	0, 50%	0, 05	7, 9500	0, 50%	0, 0398
87	9, 80	0, 50%	0, 05	8, 0500	0, 50%	0, 0403
88	9, 90	0, 50%	0, 05	8, 1300	0, 50%	0, 0407
89	10, 00	0, 50%	0, 05	8, 2900	0, 50%	0, 0415
90	10, 10	0, 50%	0, 05	8, 4100	0, 50%	0, 0421
91	10, 20	0, 50%	0, 05	8, 4800	0, 50%	0, 0424
92	10, 30	0, 50%	0, 05	8, 5600	0, 50%	0, 0428
93	10, 40	0, 50%	0, 05	8, 6500	0, 50%	0, 0433
94	10, 50	0, 50%	0, 05	8, 7300	0, 50%	0, 0437
95	10, 60	0, 50%	0, 05	8, 8100	0, 50%	0, 0441
96	10, 70	0, 50%	0, 05	8, 9100	0, 50%	0, 0446
97	10, 80	0, 50%	0, 05	9, 0300	0, 50%	0, 0452
98	10, 90	0, 50%	0, 05	9, 1200	0, 50%	0, 0456
99	11, 00	0, 50%	0, 06	9, 2100	0, 50%	0, 0461
100	11, 10	0, 50%	0, 06	9, 3500	0, 50%	0, 0468
101	11, 20	0, 50%	0, 06	9, 4500	0, 50%	0, 0473
102	11, 30	0, 50%	0, 06	9, 5700	0, 50%	0, 0479
103	11, 40	0, 50%	0, 06	9, 6600	0, 50%	0, 0483
104	11, 50	0, 50%	0, 06	9, 7500	0, 50%	0, 0488
105	11, 60	0, 50%	0, 06	9, 8400	0, 50%	0, 0492
106	11, 70	0, 50%	0, 06	9, 9500	0, 50%	0, 0498
107	11, 80	0, 50%	0, 06	10, 0400	0, 50%	0, 0502
108	11, 90	0, 50%	0, 06	10, 1200	0, 50%	0, 0506
109	12, 00	0, 50%	0, 06	10, 2400	0, 50%	0, 0512
110	12, 10	0, 50%	0, 06	10, 3400	0, 50%	0, 0517
111	12, 20	0, 50%	0, 06	10, 5200	0, 50%	0, 0526
112	12, 30	0, 50%	0, 06	10, 5700	0, 50%	0, 0529
113	12, 40	0, 50%	0, 06	10, 6100	0, 50%	0, 0531
114	12, 50	0, 50%	0, 06	10, 7200	0, 50%	0, 0536
115	12, 60	0, 50%	0, 06	10, 8000	0, 50%	0, 0540

116	12,70	0,50%	0,06	10,9200	0,50%	0,0546
117	12,80	0,50%	0,06	11,0700	0,50%	0,0554
118	12,90	0,50%	0,06	11,2300	0,50%	0,0562
119	13,00	0,50%	0,07	11,2400	0,50%	0,0562
120	13,10	0,50%	0,07	11,3400	0,50%	0,0567
121	13,20	0,50%	0,07	11,4100	0,50%	0,0571
122	13,30	0,50%	0,07	11,5300	0,50%	0,0577
123	13,40	0,50%	0,07	11,6400	0,50%	0,0582
124	13,50	0,50%	0,07	11,7200	0,50%	0,0586
125	13,60	0,50%	0,07	11,7800	0,50%	0,0589
126	13,70	0,50%	0,07	11,9000	0,50%	0,0595
127	13,80	0,50%	0,07	11,9600	0,50%	0,0598
128	13,90	0,50%	0,07	12,0000	0,50%	0,0600
129	14,00	0,50%	0,07	12,0100	0,50%	0,0601
130	14,10	0,50%	0,07	12,0100	0,50%	0,0601
131	14,20	0,50%	0,07	12,0100	0,50%	0,0601
132	14,30	0,50%	0,07	12,0100	0,50%	0,0601
133	14,40	0,50%	0,07	12,0100	0,50%	0,0601
134	14,50	0,50%	0,07	12,0100	0,50%	0,0601
135	14,60	0,50%	0,07	12,0100	0,50%	0,0601
136	14,70	0,50%	0,07	12,0100	0,50%	0,0601
137	14,80	0,50%	0,07	12,0100	0,50%	0,0601
138	14,90	0,50%	0,07	12,0100	0,50%	0,0601
139	15,00	0,50%	0,08	12,0100	0,50%	0,0601
140	15,10	0,50%	0,08	12,0100	0,50%	0,0601
141	15,20	0,50%	0,08	12,0100	0,50%	0,0601
142	15,30	0,50%	0,08	12,0100	0,50%	0,0601
143	15,40	0,50%	0,08	12,0100	0,50%	0,0601
144	15,50	0,50%	0,08	12,0100	0,50%	0,0601
145	15,60	0,50%	0,08	12,0100	0,50%	0,0601
146	15,70	0,50%	0,08	12,0100	0,50%	0,0601
147	15,80	0,50%	0,08	12,0100	0,50%	0,0601
148	15,90	0,50%	0,08	12,0100	0,50%	0,0601
149	16,00	0,50%	0,08	12,0100	0,50%	0,0601
150	16,10	0,50%	0,08	12,0100	0,50%	0,0601
151	16,20	0,50%	0,08	12,0100	0,50%	0,0601
152	16,30	0,50%	0,08	12,0100	0,50%	0,0601
153	16,40	0,50%	0,08	12,0100	0,50%	0,0601
154	16,50	0,50%	0,08	12,0100	0,50%	0,0601
155	16,60	0,50%	0,08	12,0100	0,50%	0,0601
156	16,70	0,50%	0,08	12,0100	0,50%	0,0601
157	16,80	0,50%	0,08	12,0100	0,50%	0,0601
158	16,90	0,50%	0,08	12,0100	0,50%	0,0601
159	17,00	0,50%	0,09	12,0100	0,50%	0,0601
160	17,10	0,50%	0,09	12,0100	0,50%	0,0601
161	17,20	0,50%	0,09	12,0100	0,50%	0,0601
162	17,30	0,50%	0,09	12,0100	0,50%	0,0601
163	17,40	0,50%	0,09	12,0100	0,50%	0,0601
164	17,50	0,50%	0,09	12,0100	0,50%	0,0601
165	17,60	0,50%	0,09	12,0100	0,50%	0,0601
166	17,70	0,50%	0,09	12,0100	0,50%	0,0601
167	17,80	0,50%	0,09	12,0100	0,50%	0,0601
168	17,90	0,50%	0,09	12,0100	0,50%	0,0601
169	18,00	0,50%	0,09	12,0100	0,50%	0,0601
170	18,10	0,50%	0,09	12,0100	0,50%	0,0601
171	18,20	0,50%	0,09	12,0100	0,50%	0,0601
172	18,30	0,50%	0,09	12,0000	0,50%	0,0600
173	18,40	0,50%	0,09	12,0200	0,50%	0,0601
174	18,50	0,50%	0,09	12,0200	0,50%	0,0601

175	18,60	0,50%	0,09	12,0200	0,50%	0,0601
176	18,70	0,50%	0,09	12,0200	0,50%	0,0601
177	18,80	0,50%	0,09	12,0200	0,50%	0,0601
178	18,90	0,50%	0,09	12,0200	0,50%	0,0601
179	19,00	0,50%	0,10	12,0200	0,50%	0,0601
180	19,10	0,50%	0,10	12,0200	0,50%	0,0601
181	19,20	0,50%	0,10	12,0200	0,50%	0,0601
182	19,30	0,50%	0,10	12,0200	0,50%	0,0601
183	19,40	0,50%	0,10	12,0200	0,50%	0,0601
184	19,50	0,50%	0,10	12,0200	0,50%	0,0601
185	19,60	0,50%	0,10	12,0200	0,50%	0,0601
186	19,70	0,50%	0,10	12,0200	0,50%	0,0601
187	19,80	0,50%	0,10	12,0200	0,50%	0,0601
188	19,90	0,50%	0,10	12,0200	0,50%	0,0601
189	20,00	0,50%	0,10	12,0200	0,50%	0,0601
190	20,10	0,50%	0,10	12,0200	0,50%	0,0601
191	20,20	0,50%	0,10	12,0200	0,50%	0,0601
192	20,30	0,50%	0,10	12,0200	0,50%	0,0601
193	20,40	0,50%	0,10	12,0200	0,50%	0,0601
194	20,50	0,50%	0,10	12,0200	0,50%	0,0601
195	20,60	0,50%	0,10	12,0200	0,50%	0,0601
196	20,70	0,50%	0,10	12,0200	0,50%	0,0601
197	20,80	0,50%	0,10	12,0200	0,50%	0,0601
198	20,90	0,50%	0,10	12,0200	0,50%	0,0601
199	21,00	0,50%	0,11	12,0200	0,50%	0,0601
200	21,10	0,50%	0,11	12,0200	0,50%	0,0601
201	21,20	0,50%	0,11	12,0200	0,50%	0,0601
202	21,30	0,50%	0,11	12,0200	0,50%	0,0601
203	21,40	0,50%	0,11	12,0200	0,50%	0,0601
204	21,50	0,50%	0,11	12,0200	0,50%	0,0601
205	21,60	0,50%	0,11	12,0200	0,50%	0,0601
206	21,70	0,50%	0,11	12,0200	0,50%	0,0601
207	21,80	0,50%	0,11	12,0200	0,50%	0,0601
208	21,90	0,50%	0,11	12,0200	0,50%	0,0601
209	22,00	0,50%	0,11	12,0200	0,50%	0,0601
210	22,10	0,50%	0,11	12,0200	0,50%	0,0601
211	22,20	0,50%	0,11	12,0200	0,50%	0,0601
212	22,30	0,50%	0,11	12,0200	0,50%	0,0601
213	22,40	0,50%	0,11	12,0200	0,50%	0,0601
214	22,50	0,50%	0,11	12,0200	0,50%	0,0601
215	22,60	0,50%	0,11	12,0200	0,50%	0,0601
216	22,70	0,50%	0,11	12,0200	0,50%	0,0601
217	22,80	0,50%	0,11	12,0200	0,50%	0,0601
218	22,90	0,50%	0,11	12,0200	0,50%	0,0601
219	23,00	0,50%	0,12	12,0200	0,50%	0,0601
220	23,10	0,50%	0,12	12,0200	0,50%	0,0601
221	23,20	0,50%	0,12	12,0200	0,50%	0,0601
222	23,30	0,50%	0,12	12,0200	0,50%	0,0601
223	23,40	0,50%	0,12	12,0200	0,50%	0,0601
224	23,50	0,50%	0,12	12,0200	0,50%	0,0601
225	23,60	0,50%	0,12	12,0200	0,50%	0,0601
226	23,70	0,50%	0,12	12,0200	0,50%	0,0601
227	23,80	0,50%	0,12	12,0200	0,50%	0,0601
228	23,90	0,50%	0,12	12,0200	0,50%	0,0601
229	24,00	0,50%	0,12	12,0200	0,50%	0,0601
230	24,10	0,50%	0,12	12,0200	0,50%	0,0601
231	24,20	0,50%	0,12	12,0100	0,50%	0,0601
232	24,30	0,50%	0,12	12,0100	0,50%	0,0601
233	24,40	0,50%	0,12	12,0100	0,50%	0,0601

234	24,50	0,50%	0,12	12,0100	0,50%	0,0601
235	24,60	0,50%	0,12	12,0100	0,50%	0,0601
236	24,70	0,50%	0,12	12,0100	0,50%	0,0601
237	24,80	0,50%	0,12	12,0100	0,50%	0,0601
238	24,90	0,50%	0,12	12,0100	0,50%	0,0601
239	25,00	0,50%	0,13	12,0100	0,50%	0,0601
240	25,10	0,50%	0,13	12,0200	0,50%	0,0601

Tablica 2: Pomiary charakterystyki prądowej

Pomiar	Opór R	błąd R	niepewność R	U_{wy}	błąd U_{wy}	niepewność U_{wy}	Prąd I	niepewność I
1	45,56	1,00%	0,46	1,5480	0,50%	0,0077	0,3946	0,0088
2	50,00	1,00%	0,50	1,6970	0,50%	0,0085	0,3596	0,0079
3	53,72	1,00%	0,54	1,8210	0,50%	0,0091	0,3347	0,0072
4	60,00	1,00%	0,60	2,0310	0,50%	0,0102	0,2997	0,0063
5	61,60	1,00%	0,62	2,0850	0,50%	0,0104	0,2919	0,0061
6	69,21	1,00%	0,69	2,3390	0,50%	0,0117	0,2598	0,0053
7	70,00	1,00%	0,70	2,3640	0,50%	0,0118	0,2569	0,0053
8	76,57	1,00%	0,77	2,5850	0,50%	0,0129	0,2348	0,0047
9	80,00	1,00%	0,80	2,6960	0,50%	0,0135	0,2248	0,0045
10	83,69	1,00%	0,84	2,8270	0,50%	0,0141	0,2148	0,0043
11	90,00	1,00%	0,90	3,0260	0,50%	0,0151	0,1998	0,0039
12	90,58	1,00%	0,91	3,0560	0,50%	0,0153	0,1985	0,0039
13	97,25	1,00%	0,97	3,2770	0,50%	0,0164	0,1849	0,0036
14	100,00	1,00%	1,00	3,3520	0,50%	0,0168	0,1798	0,0035
15	103,72	1,00%	1,04	3,4900	0,50%	0,0175	0,1734	0,0034
16	109,98	1,00%	1,10	3,6900	0,50%	0,0185	0,1635	0,0031
17	110,00	1,00%	1,10	3,6700	0,50%	0,0184	0,1635	0,0031
18	116,06	1,00%	1,16	3,8900	0,50%	0,0195	0,1549	0,0030
19	120,00	1,00%	1,20	4,0000	0,50%	0,0200	0,1498	0,0028
20	121,96	1,00%	1,22	4,0800	0,50%	0,0204	0,1474	0,0028
21	127,69	1,00%	1,28	4,2700	0,50%	0,0214	0,1408	0,0027
22	130,00	1,00%	1,30	4,3300	0,50%	0,0217	0,1383	0,0026
23	133,25	1,00%	1,33	4,4500	0,50%	0,0223	0,1349	0,0025
24	138,65	1,00%	1,39	4,6300	0,50%	0,0232	0,1297	0,0024
25	140,00	1,00%	1,40	4,6500	0,50%	0,0233	0,1284	0,0024
26	143,90	1,00%	1,44	4,8000	0,50%	0,0240	0,1249	0,0023
27	149,00	1,00%	1,49	4,9600	0,50%	0,0248	0,1207	0,0022
28	150,00	1,00%	1,50	4,9800	0,50%	0,0249	0,1199	0,0022
29	153,97	1,00%	1,54	5,1200	0,50%	0,0256	0,1168	0,0022
30	158,80	1,00%	1,59	5,2800	0,50%	0,0264	0,1132	0,0021
31	160,00	1,00%	1,60	5,3000	0,50%	0,0265	0,1124	0,0021
32	163,51	1,00%	1,64	5,4300	0,50%	0,0272	0,1100	0,0020
33	168,09	1,00%	1,68	5,5800	0,50%	0,0279	0,1070	0,0020
34	170,00	1,00%	1,70	5,6200	0,50%	0,0281	0,1058	0,0019
35	172,55	1,00%	1,73	5,7200	0,50%	0,0286	0,1042	0,0019
36	176,90	1,00%	1,77	5,8600	0,50%	0,0293	0,1016	0,0019
37	180,00	1,00%	1,80	5,9400	0,50%	0,0297	0,0999	0,0018
38	181,13	1,00%	1,81	5,9900	0,50%	0,0300	0,0993	0,0018
39	185,27	1,00%	1,85	6,1200	0,50%	0,0306	0,0970	0,0018
40	189,30	1,00%	1,89	6,2400	0,50%	0,0312	0,0950	0,0017
41	190,00	1,00%	1,90	6,2600	0,50%	0,0313	0,0946	0,0017
42	193,23	1,00%	1,93	6,3700	0,50%	0,0319	0,0930	0,0017
43	197,07	1,00%	1,97	6,4900	0,50%	0,0325	0,0912	0,0017
44	200,00	1,00%	2,00	6,5700	0,50%	0,0329	0,0899	0,0016
45	200,82	1,00%	2,01	6,6100	0,50%	0,0331	0,0895	0,0016
46	204,48	1,00%	2,04	6,7200	0,50%	0,0336	0,0879	0,0016

47	208,05	1,00%	2,08	6,8400	0,50%	0,0342	0,0864	0,0016
48	210,00	1,00%	2,10	6,8800	0,50%	0,0344	0,0856	0,0015
49	211,55	1,00%	2,12	6,9400	0,50%	0,0347	0,0850	0,0015
50	214,96	1,00%	2,15	7,0500	0,50%	0,0353	0,0836	0,0015
51	218,30	1,00%	2,18	7,1600	0,50%	0,0358	0,0824	0,0015
52	220,00	1,00%	2,20	7,1900	0,50%	0,0360	0,0817	0,0015
53	221,56	1,00%	2,22	7,2600	0,50%	0,0363	0,0812	0,0015
54	224,75	1,00%	2,25	7,3600	0,50%	0,0368	0,0800	0,0014
55	227,88	1,00%	2,28	7,4600	0,50%	0,0373	0,0789	0,0014
56	230,00	1,00%	2,30	7,5000	0,50%	0,0375	0,0782	0,0014
57	230,93	1,00%	2,31	7,5600	0,50%	0,0378	0,0779	0,0014
58	233,92	1,00%	2,34	7,6500	0,50%	0,0383	0,0769	0,0014
59	236,85	1,00%	2,37	7,7500	0,50%	0,0388	0,0759	0,0014
60	239,72	1,00%	2,40	7,8300	0,50%	0,0392	0,0750	0,0013
61	240,00	1,00%	2,40	7,8100	0,50%	0,0391	0,0749	0,0013
62	242,53	1,00%	2,43	7,9200	0,50%	0,0396	0,0741	0,0013
63	250,00	1,00%	2,50	8,1100	0,50%	0,0406	0,0719	0,0013
64	260,00	1,00%	2,60	8,4200	0,50%	0,0421	0,0692	0,0012
65	270,00	1,00%	2,70	8,7300	0,50%	0,0437	0,0666	0,0012
66	280,00	1,00%	2,80	9,0300	0,50%	0,0452	0,0642	0,0011
67	290,00	1,00%	2,90	9,3300	0,50%	0,0467	0,0620	0,0011
68	300,00	1,00%	3,00	9,6500	0,50%	0,0483	0,0599	0,0011
69	310,00	1,00%	3,10	9,9600	0,50%	0,0498	0,0580	0,0010
70	320,00	1,00%	3,20	10,2600	0,50%	0,0513	0,0562	0,0010
71	330,00	1,00%	3,30	10,5600	0,50%	0,0528	0,0545	0,0010
72	340,00	1,00%	3,40	10,8600	0,50%	0,0543	0,0529	0,0009
73	350,00	1,00%	3,50	11,1600	0,50%	0,0558	0,0514	0,0009
74	360,00	1,00%	3,60	11,4500	0,50%	0,0573	0,0499	0,0009
75	370,00	1,00%	3,70	11,7400	0,50%	0,0587	0,0486	0,0008
76	380,00	1,00%	3,80	12,0200	0,50%	0,0601	0,0473	0,0008
77	390,00	1,00%	3,90	12,1500	0,50%	0,0608	0,0461	0,0008
78	400,00	1,00%	4,00	12,2000	0,50%	0,0610	0,0450	0,0008
79	410,00	1,00%	4,10	12,2200	0,50%	0,0611	0,0439	0,0008
80	420,00	1,00%	4,20	12,2300	0,50%	0,0612	0,0428	0,0007
81	430,00	1,00%	4,30	12,2400	0,50%	0,0612	0,0418	0,0007
82	440,00	1,00%	4,40	12,2400	0,50%	0,0612	0,0409	0,0007
83	450,00	1,00%	4,50	12,2500	0,50%	0,0613	0,0400	0,0007
84	460,00	1,00%	4,60	12,2500	0,50%	0,0613	0,0391	0,0007
85	470,00	1,00%	4,70	12,2500	0,50%	0,0613	0,0383	0,0007
86	480,00	1,00%	4,80	12,2500	0,50%	0,0613	0,0375	0,0006
87	490,00	1,00%	4,90	12,2500	0,50%	0,0613	0,0367	0,0006
88	500,00	1,00%	5,00	12,2500	0,50%	0,0613	0,0360	0,0006
89	510,00	1,00%	5,10	12,2500	0,50%	0,0613	0,0353	0,0006
90	520,00	1,00%	5,20	12,2500	0,50%	0,0613	0,0346	0,0006
91	530,00	1,00%	5,30	12,2500	0,50%	0,0613	0,0339	0,0006
92	540,00	1,00%	5,40	12,2500	0,50%	0,0613	0,0333	0,0006
93	550,00	1,00%	5,50	12,2500	0,50%	0,0613	0,0327	0,0006
94	560,00	1,00%	5,60	12,2500	0,50%	0,0613	0,0321	0,0006
95	570,00	1,00%	5,70	12,2500	0,50%	0,0613	0,0315	0,0005
96	580,00	1,00%	5,80	12,2500	0,50%	0,0613	0,0310	0,0005
97	590,00	1,00%	5,90	12,2500	0,50%	0,0613	0,0305	0,0005
98	600,00	1,00%	6,00	12,2500	0,50%	0,0613	0,0300	0,0005
99	610,00	1,00%	6,10	12,2500	0,50%	0,0613	0,0295	0,0005
100	620,00	1,00%	6,20	12,2500	0,50%	0,0613	0,0290	0,0005
101	630,00	1,00%	6,30	12,2500	0,50%	0,0613	0,0285	0,0005
102	640,00	1,00%	6,40	12,2500	0,50%	0,0613	0,0281	0,0005
103	650,00	1,00%	6,50	12,2500	0,50%	0,0613	0,0277	0,0005
104	660,00	1,00%	6,60	12,2500	0,50%	0,0613	0,0272	0,0005
105	670,00	1,00%	6,70	12,2500	0,50%	0,0613	0,0268	0,0005

106	680,00	1,00%	6,80	12,2500	0,50%	0,0613	0,0264	0,0005
107	690,00	1,00%	6,90	12,2500	0,50%	0,0613	0,0261	0,0004
108	700,00	1,00%	7,00	12,2500	0,50%	0,0613	0,0257	0,0004
109	710,00	1,00%	7,10	12,2500	0,50%	0,0613	0,0253	0,0004
110	720,00	1,00%	7,20	12,2500	0,50%	0,0613	0,0250	0,0004
111	730,00	1,00%	7,30	12,2500	0,50%	0,0613	0,0246	0,0004
112	740,00	1,00%	7,40	12,2500	0,50%	0,0613	0,0243	0,0004
113	750,00	1,00%	7,50	12,2500	0,50%	0,0613	0,0240	0,0004
114	760,00	1,00%	7,60	12,2500	0,50%	0,0613	0,0237	0,0004
115	770,00	1,00%	7,70	12,2500	0,50%	0,0613	0,0234	0,0004
116	780,00	1,00%	7,80	12,2500	0,50%	0,0613	0,0231	0,0004
117	790,00	1,00%	7,90	12,2500	0,50%	0,0613	0,0228	0,0004
118	800,00	1,00%	8,00	12,2500	0,50%	0,0613	0,0225	0,0004
119	810,00	1,00%	8,10	12,2500	0,50%	0,0613	0,0222	0,0004
120	820,00	1,00%	8,20	12,2500	0,50%	0,0613	0,0219	0,0004
121	830,00	1,00%	8,30	12,2500	0,50%	0,0613	0,0217	0,0004
122	840,00	1,00%	8,40	12,2500	0,50%	0,0613	0,0214	0,0004
123	850,00	1,00%	8,50	12,2500	0,50%	0,0613	0,0212	0,0004
124	860,00	1,00%	8,60	12,2500	0,50%	0,0613	0,0209	0,0004
125	870,00	1,00%	8,70	12,2500	0,50%	0,0613	0,0207	0,0004
126	880,00	1,00%	8,80	12,2500	0,50%	0,0613	0,0204	0,0003
127	890,00	1,00%	8,90	12,2600	0,50%	0,0613	0,0202	0,0003