229908

*numer albumu*

*Antoni Karwowski*

*imię i nazwisko*

2229879

*numer albumu*

*Michał Gebel*

*imię i nazwisko*

kierunek Informatyka Stosowana czwartek

*dzień tygodnia*

semestr III 14:00-15:30

*godziny zajęć*

rok akademicki 2020/21 4

*numer zespołu*

# Laboratorium elektroniki

**Ćwiczenie E-03**

**Tranzystory**

**9.11.2020r. 11.11.2020r.**

data wykonania pomiarówdata oddania raportu

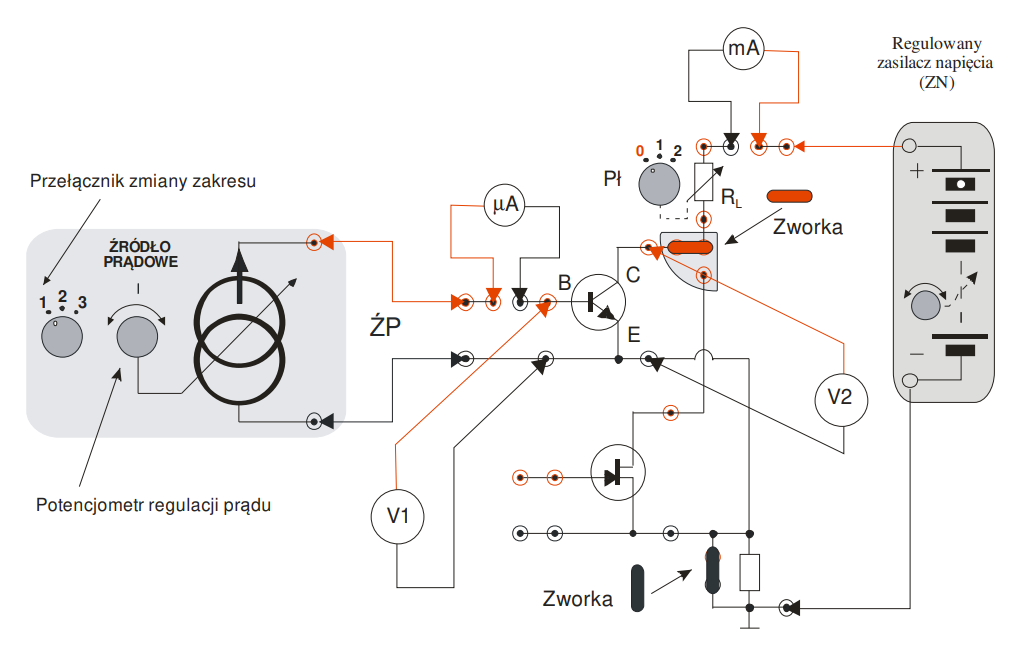
ocena \_\_\_\_\_

**1. Cel ćwiczenia**

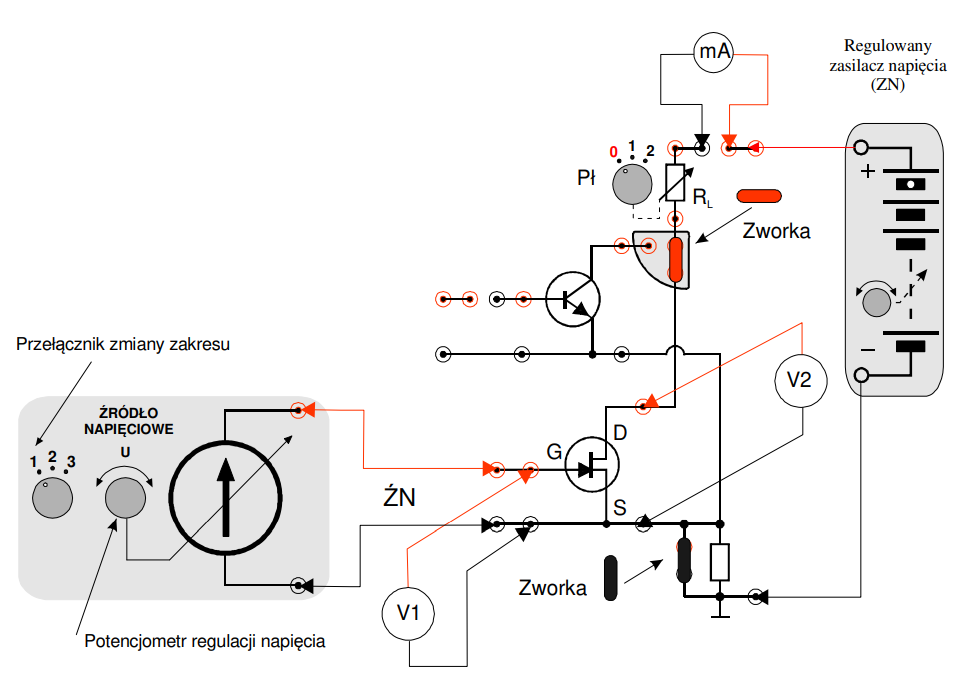
Puentą ćwiczenia jest poznanie właściwości statycznych tranzystora bipolarnego oraz unipolarnego (polowego).

**2. Schematy układów pomiarowych**

Podczas przeprowadzanego doświadczenia mamy dwa układy pomiarowe. Jeden dotyczący tranzystora bipolarnego, a drugi unipolarnego. Zostały one przedstawione na poniższych schematach.

****

**Rys. 1.** Schemat połączeń układu do wyznaczania charakterystyk wyjściowej i wejściowej tranzystora bipolarnego.



**Rys. 2.** Schemat połączeń układu do wyznaczania charakterystyk wyjściowej i wejściowej tranzystora unipolarnego.

**3. Wykaz aparatury**

W doświadczeniu użyto poniżej aparatury:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1). Moduł doświadczalny T1-13 |  |  |  |
| 2). Zespół Źródeł Sterujących ZŹS-09 | |  |  |
| 3). Zasilacz napięcia (w obwodzie kolektora): *bez*  *numeru* | | |  |
| 4). Multimetr UT-804, nr inw. WD051.01-008-203 - do pomiaru UCE oraz UDS | | | |
| 5). Multimetr UT-804, nr inw. WD054.01-003-203 - do pomiaru UBE oraz UGS | | | |
| 6). Multimetr Protek 506, nr inw. WD043.01-013-203 - do pomiaru IC | | | |
| 7). Multimetr M-3800, nr inw. I3/2.03/2017-M/2 - do pomiaru IB oraz ID | | | |
| 8). Zasilacz Siglent SPD3303D, nr inw. WD051.02-006-203 | | | |

**4. Stabelaryzowane wyniki pomiarów i wzory na niepewności**

Dla powyższej aparatury została sporządzona tabela, na podstawie której wyliczane były niepewności pomiarowe dla otrzymanych podczas eksperymentu pomiarów.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Multimetr | Wartość mierzona | Zakres | Wzór |
| M-3800 |  |  |  |
|  |  |
| Protek 506 |  |  |  |
| UT-804 |  |  |  |
|  |  |
|  |
|  |

**Tabela 1.** Wykaz wzorów na niepewność graniczną.

Wyliczone niepewności zostały umieszczone razem z wynikami pomiarów, które zostały wykonane przez dr. inż. Macieja Dłużniewskiego i dr. inż. Piotra Górskiego

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0,000 | 0,005 | 0,2 | 0,1 | 0,4589 | 0,00073 | 0,0 | 0,2 |
| 1,006 | 0,0055 | 0,2 | 0,1 | 0,5181 | 0,00076 | 0,0 | 0,2 |
| 2,007 | 0,006 | 0,3 | 0,1 | 0,5182 | 0,00076 | 0,0 | 0,2 |
| 3,009 | 0,0065 | 0,3 | 0,1 | 0,5183 | 0,00076 | 0,0 | 0,2 |
| 4,003 | 0,007 | 0,3 | 0,1 | 0,5183 | 0,00076 | 0,0 | 0,2 |
| 5,001 | 0,0075 | 0,3 | 0,1 | 0,5184 | 0,00076 | 0,0 | 0,2 |
| 6,001 | 0,008 | 0,3 | 0,1 | 0,5185 | 0,00076 | 0,0 | 0,2 |
| 7,005 | 0,0085 | 0,3 | 0,1 | 0,5185 | 0,00076 | 0,0 | 0,2 |
| 8,000 | 0,009 | 0,3 | 0,1 | 0,5185 | 0,00076 | 0,0 | 0,2 |
| 9,009 | 0,0095 | 0,3 | 0,1 | 0,5186 | 0,00076 | 0,0 | 0,2 |
| 10,002 | 0,01 | 0,3 | 0,1 | 0,5187 | 0,00076 | 0,0 | 0,2 |
| 0,004 | 0,005 | 60,0 | 0,4 | 0,5766 | 0,00079 | 0,0 | 0,2 |
| 0,020 | 0,005 | 60,0 | 0,4 | 0,5918 | 0,0008 | 0,2 | 0,2 |
| 0,040 | 0,005 | 60,0 | 0,4 | 0,6087 | 0,0008 | 0,6 | 0,2 |
| 0,060 | 0,005 | 60,0 | 0,4 | 0,6255 | 0,00081 | 1,4 | 0,21 |
| 0,080 | 0,005 | 60,0 | 0,4 | 0,6358 | 0,00082 | 2,2 | 0,22 |
| 0,100 | 0,0051 | 60,0 | 0,4 | 0,6459 | 0,00082 | 3,4 | 0,23 |
| 0,120 | 0,0051 | 60,0 | 0,4 | 0,6516 | 0,00083 | 4,4 | 0,24 |
| 0,140 | 0,0051 | 60,0 | 0,4 | 0,6563 | 0,00083 | 5,3 | 0,25 |
| 0,160 | 0,0051 | 60,0 | 0,4 | 0,6590 | 0,00083 | 5,9 | 0,26 |
| 0,180 | 0,0051 | 60,0 | 0,4 | 0,6601 | 0,00083 | 6,2 | 0,26 |
| 0,200 | 0,0051 | 60,0 | 0,4 | 0,6607 | 0,00083 | 6,4 | 0,26 |
| 1,001 | 0,0055 | 60,0 | 0,4 | 0,6605 | 0,00083 | 6,6 | 0,27 |
| 2,008 | 0,006 | 60,0 | 0,4 | 0,6591 | 0,00083 | 6,7 | 0,27 |
| 3,002 | 0,0065 | 60,0 | 0,4 | 0,6575 | 0,00083 | 6,8 | 0,27 |
| 4,008 | 0,007 | 60,0 | 0,4 | 0,6560 | 0,00083 | 6,8 | 0,27 |
| 5,000 | 0,0075 | 60,0 | 0,4 | 0,6538 | 0,00083 | 6,8 | 0,27 |
| 6,016 | 0,008 | 60,0 | 0,4 | 0,6520 | 0,00083 | 6,9 | 0,27 |
| 7,000 | 0,0085 | 60,0 | 0,4 | 0,6502 | 0,00083 | 6,9 | 0,27 |
| 8,001 | 0,009 | 60,0 | 0,4 | 0,6482 | 0,00082 | 7,0 | 0,27 |
| 9,011 | 0,0095 | 60,0 | 0,4 | 0,6463 | 0,00082 | 7,0 | 0,27 |
| 10,000 | 0,01 | 60,0 | 0,4 | 0,6446 | 0,00082 | 7,0 | 0,27 |
| 0,002 | 0,005 | 135,0 | 0,78 | 0,6053 | 0,0008 | 0,0 | 0,2 |
| 0,200 | 0,0051 | 135,0 | 0,78 | 0,6237 | 0,00081 | 0,5 | 0,21 |
| 0,040 | 0,005 | 135,0 | 0,78 | 0,6395 | 0,00082 | 2,0 | 0,22 |
| 0,060 | 0,005 | 135,0 | 0,78 | 0,6515 | 0,00083 | 3,6 | 0,24 |
| 0,080 | 0,005 | 135,0 | 0,78 | 0,6625 | 0,00083 | 6,1 | 0,26 |
| 0,100 | 0,0051 | 135,0 | 0,78 | 0,6705 | 0,00084 | 8,3 | 0,28 |
| 0,120 | 0,0051 | 135,0 | 0,78 | 0,6751 | 0,00084 | 10,3 | 0,3 |
| 0,140 | 0,0051 | 135,0 | 0,78 | 0,6782 | 0,00084 | 11,6 | 0,32 |
| 0,160 | 0,0051 | 135,0 | 0,78 | 0,6811 | 0,00084 | 12,6 | 0,33 |
| 0,180 | 0,0051 | 135,0 | 0,78 | 0,6827 | 0,00084 | 12,6 | 0,33 |
| 0,200 | 0,0051 | 135,0 | 0,78 | 0,6833 | 0,00084 | 13,5 | 0,34 |
| 1,066 | 0,0055 | 135,0 | 0,7 | 0,6815 | 0,00084 | 14,1 | 0,34 |
| 2,012 | 0,006 | 135,0 | 0,78 | 0,6787 | 0,00084 | 15,2 | 0,35 |
| 3,024 | 0,0065 | 135,0 | 0,78 | 0,6747 | 0,00084 | 15,4 | 0,35 |
| 4,011 | 0,007 | 135,0 | 0,78 | 0,6711 | 0,00084 | 15,6 | 0,36 |
| 5,000 | 0,0075 | 135,0 | 0,78 | 0,6676 | 0,00083 | 15,8 | 0,36 |
| 6,000 | 0,008 | 135,0 | 0,78 | 0,6635 | 0,00083 | 16,0 | 0,36 |
| 7,007 | 0,0085 | 135,0 | 0,78 | 0,6596 | 0,00083 | 16,3 | 0,36 |
| 8,006 | 0,009 | 135,0 | 0,78 | 0,6552 | 0,00083 | 16,5 | 0,37 |
| 9,000 | 0,0095 | 135,0 | 0,78 | 0,6510 | 0,00083 | 16,8 | 0,39 |
| 10,000 | 0,01 | 135,0 | 0,78 | 0,6464 | 0,00082 | 17,0 | 0,37 |

**Tabela. 2.** Charakterystyka wyjściowa i zwrotna dla tranzystora bipolarnego bez obciążenia wraz z wyliczonymi niepewnościami granicznymi.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3,017 | 0,007 | 0,2 | 0,1 | 0,5186 | 0,0007 | 0,0 | 0,2 |
| 3,018 | 0,007 | 10,1 | 0,15 | 0,6136 | 0,0008 | 1,1 | 0,2 |
| 3,014 | 0,007 | 20,2 | 0,2 | 0,6312 | 0,0008 | 2,2 | 0,2 |
| 3,013 | 0,007 | 30,3 | 0,25 | 0,6414 | 0,0008 | 3,4 | 0,2 |
| 3,012 | 0,007 | 40,3 | 0,3 | 0,6482 | 0,0008 | 4,5 | 0,2 |
| 3,011 | 0,007 | 50,3 | 0,35 | 0,6535 | 0,0008 | 5,6 | 0,2 |
| 3,009 | 0,007 | 60,5 | 0,4 | 0,6577 | 0,0008 | 6,8 | 0,3 |
| 3,008 | 0,007 | 70,3 | 0,45 | 0,6611 | 0,0008 | 7,9 | 0,3 |
| 3,007 | 0,007 | 80,1 | 0,5 | 0,6638 | 0,0008 | 9,1 | 0,3 |
| 3,006 | 0,007 | 90,0 | 0,55 | 0,6664 | 0,0008 | 10,2 | 0,3 |
| 3,006 | 0,007 | 100,0 | 0,6 | 0,6685 | 0,0008 | 11,4 | 0,3 |
| 3,005 | 0,007 | 110,5 | 0,65 | 0,6705 | 0,0008 | 12,6 | 0,3 |
| 3,003 | 0,007 | 120,0 | 0,7 | 0,6723 | 0,0008 | 13,7 | 0,3 |
| 3,003 | 0,007 | 130,0 | 0,75 | 0,6734 | 0,0008 | 15,0 | 0,4 |
| 3,002 | 0,007 | 140,8 | 0,8 | 0,6752 | 0,0008 | 16,2 | 0,4 |
| 3,001 | 0,007 | 150,1 | 0,85 | 0,6764 | 0,0008 | 17,3 | 0,4 |
| 3,000 | 0,007 | 160,0 | 0,9 | 0,6776 | 0,0008 | 18,5 | 0,4 |
| 8,004 | 0,009 | 0,4 | 0,1 | 0,5154 | 0,0007 | 0,0 | 0,2 |
| 8,004 | 0,009 | 9,9 | 0,15 | 0,6077 | 0,0008 | 1,1 | 0,2 |
| 8,004 | 0,009 | 20,5 | 0,20 | 0,6258 | 0,0008 | 2,3 | 0,2 |
| 8,005 | 0,009 | 30,3 | 0,25 | 0,6342 | 0,0008 | 3,4 | 0,2 |
| 8,005 | 0,009 | 40,2 | 0,3 | 0,6387 | 0,0008 | 4,6 | 0,3 |
| 8,005 | 0,009 | 50,5 | 0,35 | 0,6436 | 0,0008 | 5,9 | 0,3 |
| 8,005 | 0,009 | 60,2 | 0,4 | 0,6458 | 0,0008 | 7,1 | 0,3 |
| 7,999 | 0,009 | 69,6 | 0,45 | 0,6480 | 0,0008 | 8,2 | 0,3 |
| 7,999 | 0,009 | 80,4 | 0,5 | 0,6494 | 0,0008 | 9,5 | 0,3 |
| 7,999 | 0,009 | 89,4 | 0,55 | 0,6500 | 0,0008 | 10,7 | 0,3 |
| 7,999 | 0,009 | 100,3 | 0,6 | 0,6511 | 0,0008 | 12,1 | 0,3 |
| 7,998 | 0,009 | 110,7 | 0,65 | 0,6512 | 0,0008 | 13,4 | 0,3 |
| 7,997 | 0,009 | 120,4 | 0,7 | 0,6514 | 0,0008 | 14,7 | 0,3 |
| 7,997 | 0,009 | 129,7 | 0,75 | 0,6521 | 0,0008 | 16,0 | 0,4 |
| 7,996 | 0,009 | 140,5 | 0,8 | 0,6514 | 0,0008 | 17,4 | 0,4 |
| 7,995 | 0,009 | 150,6 | 0,85 | 0,6511 | 0,0008 | 18,8 | 0,4 |
| 7,995 | 0,009 | 160,5 | 0,9 | 0,6507 | 0,0008 | 20,1 | 0,4 |

**Tabela. 3.** Charakterystyka wejściowa i przejściowa (bramkowa) dla tranzystora bipolarnego wraz z wyliczonymi niepewnościami granicznymi.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
| 4,006 | 0,007 | -13,914 | 0,012 | 0,0 | 0,01 |
| 4,006 | 0,007 | -3,531 | 0,007 | 0,1 | 0,01 |
| 4,006 | 0,007 | -3,099 | 0,007 | 0,7 | 0,01 |
| 4,006 | 0,007 | -2,706 | 0,007 | 1,5 | 0,02 |
| 4,006 | 0,007 | -2,300 | 0,007 | 2,5 | 0,02 |
| 4,006 | 0,007 | -1,901 | 0,006 | 3,7 | 0,02 |
| 4,006 | 0,007 | -1,502 | 0,006 | 5,0 | 0,03 |
| 4,006 | 0,007 | -1,100 | 0,006 | 6,4 | 0,04 |
| 4,006 | 0,007 | -0,711 | 0,005 | 8,0 | 0,05 |
| 4,006 | 0,007 | -0,343 | 0,005 | 9,6 | 0,06 |
| 4,006 | 0,007 | 0,015 | 0,005 | 11,1 | 0,07 |
| 9,003 | 0,01 | -13,914 | 0,012 | 0,0 | 0,01 |
| 9,003 | 0,01 | -3,604 | 0,007 | 0,1 | 0,01 |
| 9,003 | 0,01 | -3,194 | 0,007 | 0,6 | 0,01 |
| 9,003 | 0,01 | -2,804 | 0,006 | 1,3 | 0,02 |
| 9,003 | 0,01 | -2,397 | 0,006 | 2,4 | 0,02 |
| 9,003 | 0,01 | -2,004 | 0,006 | 3,6 | 0,03 |
| 9,003 | 0,01 | -1,602 | 0,006 | 4,9 | 0,04 |
| 9,003 | 0,01 | -1,213 | 0,006 | 6,3 | 0,04 |
| 9,003 | 0,01 | -0,803 | 0,005 | 7,9 | 0,05 |
| 9,003 | 0,01 | -0,410 | 0,005 | 9,3 | 0,06 |
| 9,003 | 0,01 | 0,000 | 0,005 | 11,6 | 0,07 |

**Tabela. 4.** Charakterystyka przejściowa (bramkowa) dla tranzystora polowego

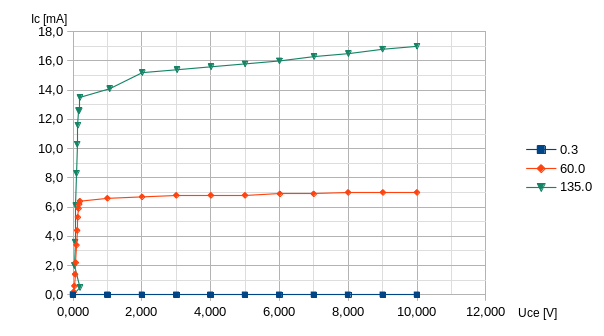
wraz z wyliczonymi niepewnościami granicznymi.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
| 0,000 | 0,01 | -3,600 | 0,007 | 0,0 | 0,01 |
| 0,402 | 0,01 | -3,600 | 0,007 | 0,0 | 0,01 |
| 0,804 | 0,01 | -3,600 | 0,007 | 0,0 | 0,01 |
| 1,206 | 0,01 | -3,600 | 0,007 | 0,0 | 0,01 |
| 1,601 | 0,01 | -3,600 | 0,007 | 0,0 | 0,01 |
| 2,004 | 0,01 | -3,600 | 0,007 | 0,0 | 0,01 |
| 2,398 | 0,01 | -3,600 | 0,007 | 0,0 | 0,01 |
| 2,804 | 0,01 | -3,600 | 0,007 | 0,0 | 0,01 |
| 3,205 | 0,01 | -3,600 | 0,007 | 0,0 | 0,01 |
| 3,602 | 0,01 | -3,600 | 0,007 | 0,0 | 0,01 |
| 4,050 | 0,01 | -3,600 | 0,007 | 0,0 | 0,01 |
| 5,005 | 0,01 | -3,600 | 0,007 | 0,0 | 0,01 |
| 6,080 | 0,01 | -3,600 | 0,007 | 0,0 | 0,01 |
| 7,004 | 0,01 | -3,600 | 0,007 | 0,0 | 0,01 |
| 8,000 | 0,01 | -3,600 | 0,007 | 0,0 | 0,01 |
| 9,066 | 0,01 | -3,600 | 0,007 | 0,0 | 0,01 |
| 10,015 | 0,01 | -3,600 | 0,00 | 0,0 | 0,01 |
| 0,000 | 0,005 | -2,001 | 0,006 | 0,0 | 0,01 |
| 0,404 | 0,005 | -2,001 | 0,006 | 1,1 | 0,02 |
| 0,811 | 0,005 | -2,001 | 0,006 | 2,0 | 0,02 |
| 1,209 | 0,006 | -2,001 | 0,006 | 2,5 | 0,02 |
| 1,610 | 0,006 | -2,001 | 0,006 | 2,8 | 0,02 |
| 2,007 | 0,006 | -2,001 | 0,006 | 3,1 | 0,03 |
| 2,404 | 0,006 | -2,001 | 0,006 | 3,2 | 0,03 |
| 2,795 | 0,006 | -2,001 | 0,006 | 3,2 | 0,03 |
| 3,205 | 0,007 | -2,001 | 0,006 | 3,3 | 0,03 |
| 3,611 | 0,007 | -2,001 | 0,006 | 3,7 | 0,03 |
| 4,001 | 0,007 | -2,001 | 0,006 | 3,7 | 0,03 |
| 5,007 | 0,008 | -2,001 | 0,006 | 3,5 | 0,03 |
| 6,000 | 0,008 | -2,001 | 0,006 | 3,5 | 0,03 |
| 7,031 | 0,008 | -2,001 | 0,006 | 3,5 | 0,03 |
| 8,037 | 0,009 | -2,001 | 0,006 | 3,5 | 0,03 |
| 9,027 | 0,01 | -2,001 | 0,006 | 3,5 | 0,03 |
| 10,020 | 0,01 | -2,001 | 0,006 | 3,6 | 0,03 |
| 0,000 | 0,005 | -0,507 | 0,005 | 0,0 | 0,01 |
| 0,405 | 0,005 | -0,507 | 0,005 | 2,1 | 0,02 |
| 0,808 | 0,005 | -0,507 | 0,005 | 4,0 | 0,03 |
| 1,198 | 0,006 | -0,507 | 0,005 | 5,4 | 0,04 |
| 1,609 | 0,006 | -0,507 | 0,005 | 6,5 | 0,04 |
| 2,008 | 0,006 | -0,507 | 0,005 | 7,3 | 0,05 |
| 2,404 | 0,006 | -0,507 | 0,005 | 7,9 | 0,05 |
| 2,804 | 0,006 | -0,507 | 0,005 | 8,3 | 0,05 |
| 3,208 | 0,007 | -0,507 | 0,005 | 8,5 | 0,05 |
| 3,601 | 0,007 | -0,507 | 0,005 | 8,7 | 0,05 |
| 4,006 | 0,007 | -0,507 | 0,005 | 8,9 | 0,05 |
| 5,003 | 0,008 | -0,507 | 0,005 | 9,0 | 0,06 |
| 6,014 | 0,008 | -0,507 | 0,005 | 9,1 | 0,06 |
| 7,016 | 0,009 | -0,507 | 0,005 | 9,1 | 0,06 |
| 8,023 | 0,009 | -0,507 | 0,005 | 9,1 | 0,06 |
| 9,033 | 0,01 | -0,507 | 0,005 | 9,2 | 0,06 |
| 10,019 | 0,01 | -0,507 | 0,005 | 9,2 | 0,06 |

**Tabela. 5.** Charakterystyka wyjściowa (drenowa) dla tranzystora polowego

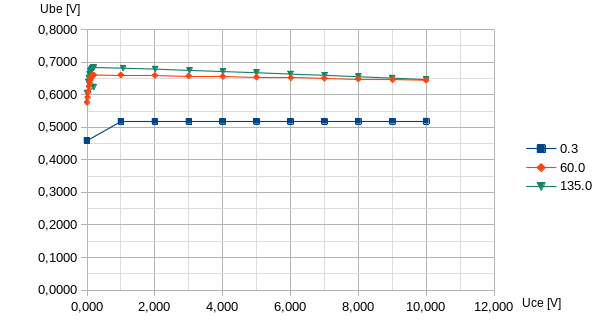
wraz z wyliczonymi niepewnościami granicznymi.

**5. Wykresy charakterystyk dla obu tranzystorów**



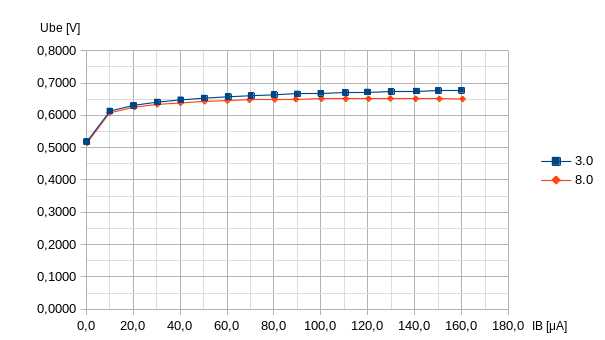
**Wykres 1.**  przedstawiający charakterystykę wyjściową tranzystora bipolarnego dla stałych (wartości w legendzie).

Z powyższego wykresu widzimy, że gwałtowny wzrost przypada dla małych wartości . Natomiast od pewnej wartości wzrost jest stały, a więc charakterystyka prądowo-napięciowa staje się w przybliżeniu liniowa. Ponadto dla bardzo niewielkich natężeń wejściowych prąd wyjściowy jest równy 0.



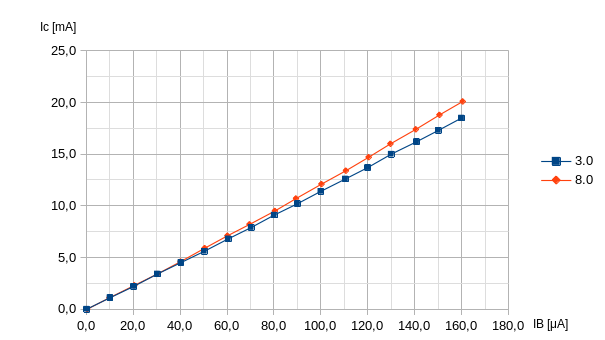
**Wykres 2.**  przedstawiający charakterystykę zwrotną tranzystora bipolarnego dla stałych (wartości w legendzie).

Z powyższego wykresu widzimy, że gwałtowny wzrost przypada dla małych wartości . Natomiast od pewnej wartości obserwujemy niewielki liniowy spadek



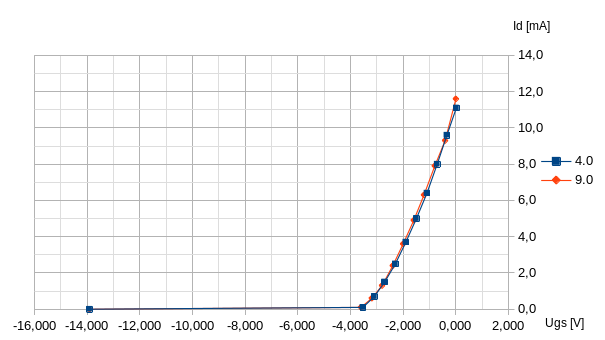
**Wykres 3.**  przedstawiający charakterystykę wejściową tranzystora bipolarnego dla stałych (wartości w legendzie).

Z powyższego wykresu widzimy, że stosunek do przypomina zależność pierwiastkową, a więc dla małych wartości rośnie znacznie, a w dalszych przyrostach zaczyna przypominać funkcję liniową stałą.



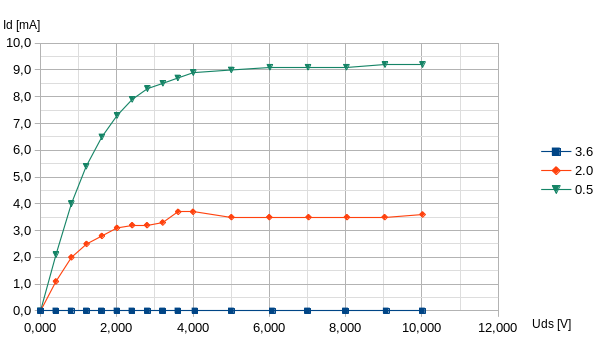
**Wykres 4.**  przedstawiający charakterystykę przejściową tranzystora bipolarnego dla stałych (wartości w legendzie).

Z powyższego wykresu widzimy, że dla całego zakresu pomiarowego stosunek do jest w przybliżeniu liniowy.



**Wykres 5.** Przedstawiający rodzinę charakterystyk przejściowych tranzystora polowego dla stałych (wartości w legendzie).

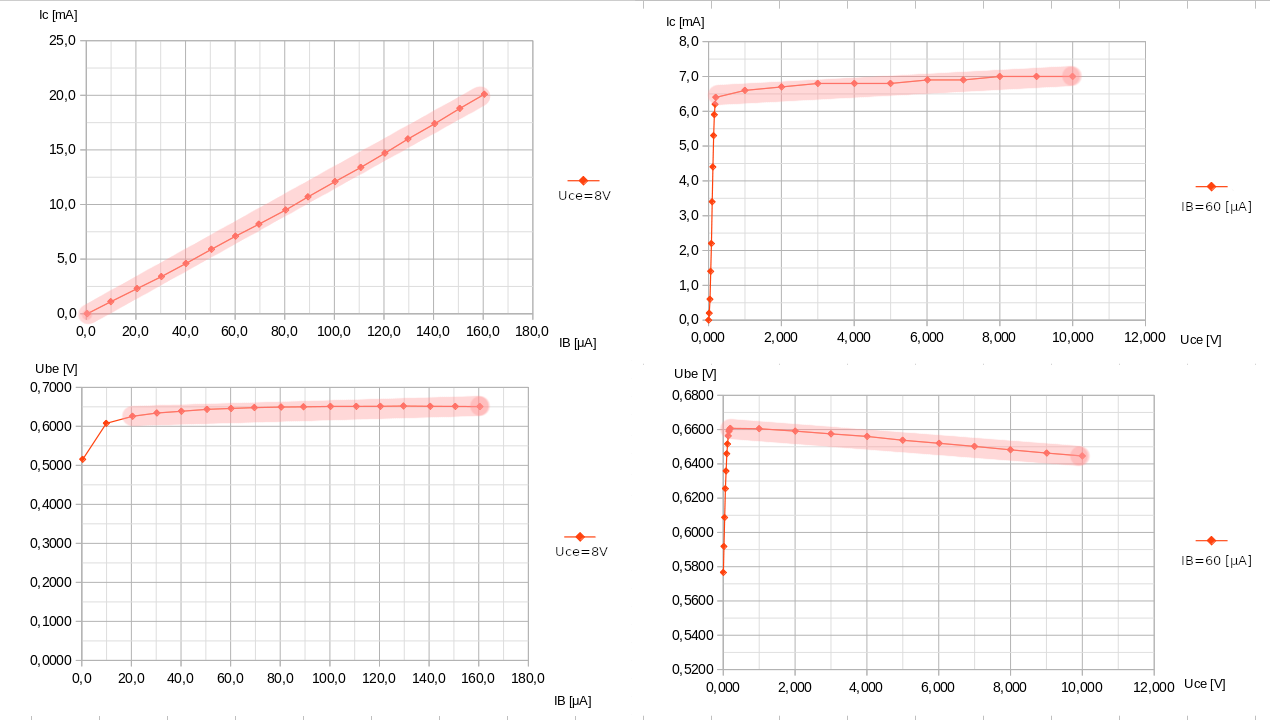
Z powyższego wykresu widzimy, że stosunek do przypomina funkcję wykładniczą, a więc dla większych wartości obserwujemy znacznie większy przyrost .



**Wykres 6.** Przedstawiający rodzinę charakterystyk wyjściowych tranzystora polowego dla stałych (wartości w legendzie).

Z powyższego wykresu widzimy, że stosunek do przypomina zależność pierwiastkową, a więc dla małych wartości rośnie znacznie, a w dalszych przyrostach zaczyna przypominać funkcję liniową stałą. Ponadto dla dużych wartości stałego parametru zauważamy, że prąd nie płynie.

**6. Współczynniki hybrydowe dla tranzystora bipolarnego**



**Wykres. 7.** Zestawienie charakterystyk prądowo-napięciowych tranzystora bipolarnego w układzie wspólnego emitera.

Na wykresach zakreślono fragmenty, które na potrzeby zadania zostają uznane za w przybliżeniu liniowe i posłużą do wyznaczenia współczynników hybrydowych tranzystora za pomocą metody najmniejszych kwadratów przy użyciu funkcji REGLINP (funkcjonalność programu LibreOffice Calc).

Wyliczone wartości współczynników hybrydowych:

Na podstawie powyższych współczynników obliczono parametry tranzystora bipolarnego:

1. Wzmocnienie prądowe =

2. Wzmocnienie napięciowe =

3. Rezystancja wejściowa =

4. Rezystancja wyjściowa =

**7. Wnioski**

Wykresy otrzymane na podstawie wyników pomiarów zgadzają się z wzorcowymi wykresami opisującymi wybrane charakterystyki prądowo-napięciowe tranzystorów bipolarnego oraz polowego, co pozwala przypuszczać, że eksperyment został przeprowadzony prawidłowo.

Również wyniki obliczeń, a więc wyznaczone współczynniki hybrydowe, a co za tym idzie parametry tranzystora bipolarnego nie tylko zawierają się w żądanych zakresach przedstawionych w instrukcji, ale także charakteryzują się niewielkimi (rzędu 0,01 lub 0,1) niepewnościami wynikającymi ze znacznego podobieństwa wybranych fragmentów wykresów do funkcji liniowych.

**8. Literatura**

[1] R. Śledziewski, Elektronika dla Fizyków, PWN, Warszawa, 1984.

[2] K. Bracławski. Antoni Siennicki, Elementy półprzewodnikowe, WSiP, Warszawa,1986.

[3] A. Rusek, Podstawy Elektroniki – tom I i II, WSiP, Warszawa, 1984.

[4] A. Sukiennicki, Alfred Zagórski, Fizyka ciała stałego, WNT, Warszawa, 1984.

[5] J. Rydzewski, Pomiary oscyloskopowe, WNT, Warszawa, 1994.

**9. Otrzymany dokument z wynikami**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ćwiczenie E03IS "Tranzystory" - wyniki pomiarów, zestaw Nr 4** | | | | | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Użyta aparatura: | |  |  |  |  |  |  |
| 1). Moduł doświadczalny T1-13 | | |  |  |  |  |  |
| 2). Zespół Źródeł Sterujących ZŹS-09 | | | |  |  |  |  |
| 3). Zasilacz napięcia (w obwodzie koletora): *bez numeru* | | | | |  |  |  |
| 4). Multimetr UT-804, nr inw. WD051.01-008-203 - do pomiaru UCE oraz UDS | | | | | | |  |
| 5). Multimetr UT-804, nr inw. WD054.01-003-203 - do pomiaru UBE oraz UGS | | | | | | |  |
| 6). Multimetr Protek 506, nr inw. WD043.01-013-203 - do pomiaru IC | | | | | |  |  |
| 7). Multimetr M-3800, nr inw. I3/2.03/2017-M/2 - do pomiaru IB oraz ID | | | | | | |  |
| 8). Zasilacz Siglent SPD3303D, nr inw. WD051.02-006-203 | | | | | |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **5.1. Charakterystyka wyjściowa i zwrotna tranzystora bipolarnego bez obciążenia** | | | | | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| UCE [V] | IB [μA] | UBE [V] | IC [mA] |  |  |  |  |
| 0,000 | 0,2 | 0,4589 | 0,0 |  | Zakresy pomiarowe | |  |
| 1,006 | 0,2 | 0,5181 | 0,0 |  | - UCE: 40 V DC | |  |
| 2,007 | 0,3 | 0,5182 | 0,0 |  | - IB: 200 μA DC | |  |
| 3,009 | 0,3 | 0,5183 | 0,0 |  | - UBE: 4 V DC | |  |
| 4,003 | 0,3 | 0,5183 | 0,0 |  | - IC: 200 mA DC | |  |
| 5,001 | 0,3 | 0,5184 | 0,0 |  |  |  |  |
| 6,001 | 0,3 | 0,5185 | 0,0 |  |  |  |  |
| 7,005 | 0,3 | 0,5185 | 0,0 |  |  |  |  |
| 8,000 | 0,3 | 0,5185 | 0,0 |  |  |  |  |
| 9,009 | 0,3 | 0,5186 | 0,0 |  |  |  |  |
| 10,002 | 0,3 | 0,5187 | 0,0 |  |  |  |  |
| 0,004 | 60,0 | 0,5766 | 0,0 |  |  |  |  |
| 0,020 | 60,0 | 0,5918 | 0,2 |  |  |  |  |
| 0,040 | 60,0 | 0,6087 | 0,6 |  |  |  |  |
| 0,060 | 60,0 | 0,6255 | 1,4 |  |  |  |  |
| 0,080 | 60,0 | 0,6358 | 2,2 |  |  |  |  |
| 0,100 | 60,0 | 0,6459 | 3,4 |  |  |  |  |
| 0,120 | 60,0 | 0,6516 | 4,4 |  |  |  |  |
| 0,140 | 60,0 | 0,6563 | 5,3 |  |  |  |  |
| 0,160 | 60,0 | 0,6590 | 5,9 |  |  |  |  |
| 0,180 | 60,0 | 0,6601 | 6,2 |  |  |  |  |
| 0,200 | 60,0 | 0,6607 | 6,4 |  |  |  |  |
| 1,001 | 60,0 | 0,6605 | 6,6 |  |  |  |  |
| 2,008 | 60,0 | 0,6591 | 6,7 |  |  |  |  |
| 3,002 | 60,0 | 0,6575 | 6,8 |  |  |  |  |
| 4,008 | 60,0 | 0,6560 | 6,8 |  |  |  |  |
| 5,000 | 60,0 | 0,6538 | 6,8 |  |  |  |  |
| 6,016 | 60,0 | 0,6520 | 6,9 |  |  |  |  |
| 7,000 | 60,0 | 0,6502 | 6,9 |  |  |  |  |
| 8,001 | 60,0 | 0,6482 | 7,0 |  |  |  |  |
| 9,011 | 60,0 | 0,6463 | 7,0 |  |  |  |  |
| 10,000 | 60,0 | 0,6446 | 7,0 |  |  |  |  |
| 0,002 | 135,0 | 0,6053 | 0,0 |  |  |  |  |
| 0,200 | 135,0 | 0,6237 | 0,5 |  |  |  |  |
| 0,040 | 135,0 | 0,6395 | 2,0 |  |  |  |  |
| 0,060 | 135,0 | 0,6515 | 3,6 |  |  |  |  |
| 0,080 | 135,0 | 0,6625 | 6,1 |  |  |  |  |
| 0,100 | 135,0 | 0,6705 | 8,3 |  |  |  |  |
| 0,120 | 135,0 | 0,6751 | 10,3 |  |  |  |  |
| 0,140 | 135,0 | 0,6782 | 11,6 |  |  |  |  |
| 0,160 | 135,0 | 0,6811 | 12,6 |  |  |  |  |
| 0,180 | 135,0 | 0,6827 | 12,6 |  |  |  |  |
| 0,200 | 135,0 | 0,6833 | 13,5 |  |  |  |  |
| 1,066 | 135,0 | 0,6815 | 14,1 |  |  |  |  |
| 2,012 | 135,0 | 0,6787 | 15,2 |  |  |  |  |
| 3,024 | 135,0 | 0,6747 | 15,4 |  |  |  |  |
| 4,011 | 135,0 | 0,6711 | 15,6 |  |  |  |  |
| 5,000 | 135,0 | 0,6676 | 15,8 |  |  |  |  |
| 6,000 | 135,0 | 0,6635 | 16,0 |  |  |  |  |
| 7,007 | 135,0 | 0,6596 | 16,3 |  |  |  |  |
| 8,006 | 135,0 | 0,6552 | 16,5 |  |  |  |  |
| 9,000 | 135,0 | 0,6510 | 16,8 |  |  |  |  |
| 10,000 | 135,0 | 0,6464 | 17,0 |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **5.2. Charakterystyka wejściowa i przejściowa tranzystora bipolarnego** | | | | | | |  |
| (zmiany UCE wynikają z niestabilności źródła napięciowego) | | | | | |  |  |
| UCE [V] | IB [μA] | UBE [V] | IC [mA] |  |  |  |  |
| 3,017 | 0,2 | 0,5186 | 0,0 |  | Zakresy pomiarowe | |  |
| 3,018 | 10,1 | 0,6136 | 1,1 |  | - UCE: 40 V DC | |  |
| 3,014 | 20,2 | 0,6312 | 2,2 |  | - IB: 200 μA DC | |  |
| 3,013 | 30,3 | 0,6414 | 3,4 |  | - UBE: 4 V DC | |  |
| 3,012 | 40,3 | 0,6482 | 4,5 |  | - IC: 200 mA DC | |  |
| 3,011 | 50,3 | 0,6535 | 5,6 |  |  |  |  |
| 3,009 | 60,5 | 0,6577 | 6,8 |  |  |  |  |
| 3,008 | 70,3 | 0,6611 | 7,9 |  |  |  |  |
| 3,007 | 80,1 | 0,6638 | 9,1 |  |  |  |  |
| 3,006 | 90,0 | 0,6664 | 10,2 |  |  |  |  |
| 3,006 | 100,0 | 0,6685 | 11,4 |  |  |  |  |
| 3,005 | 110,5 | 0,6705 | 12,6 |  |  |  |  |
| 3,003 | 120,0 | 0,6723 | 13,7 |  |  |  |  |
| 3,003 | 130,0 | 0,6734 | 15,0 |  |  |  |  |
| 3,002 | 140,8 | 0,6752 | 16,2 |  |  |  |  |
| 3,001 | 150,1 | 0,6764 | 17,3 |  |  |  |  |
| 3,000 | 160,0 | 0,6776 | 18,5 |  |  |  |  |
| 8,004 | 0,4 | 0,5154 | 0,0 |  |  |  |  |
| 8,004 | 9,9 | 0,6077 | 1,1 |  |  |  |  |
| 8,004 | 20,5 | 0,6258 | 2,3 |  |  |  |  |
| 8,005 | 30,3 | 0,6342 | 3,4 |  |  |  |  |
| 8,005 | 40,2 | 0,6387 | 4,6 |  |  |  |  |
| 8,005 | 50,5 | 0,6436 | 5,9 |  |  |  |  |
| 8,005 | 60,2 | 0,6458 | 7,1 |  |  |  |  |
| 7,999 | 69,6 | 0,6480 | 8,2 |  |  |  |  |
| 7,999 | 80,4 | 0,6494 | 9,5 |  |  |  |  |
| 7,999 | 89,4 | 0,6500 | 10,7 |  |  |  |  |
| 7,999 | 100,3 | 0,6511 | 12,1 |  |  |  |  |
| 7,998 | 110,7 | 0,6512 | 13,4 |  |  |  |  |
| 7,997 | 120,4 | 0,6514 | 14,7 |  |  |  |  |
| 7,997 | 129,7 | 0,6521 | 16,0 |  |  |  |  |
| 7,996 | 140,5 | 0,6514 | 17,4 |  |  |  |  |
| 7,995 | 150,6 | 0,6511 | 18,8 |  |  |  |  |
| 7,995 | 160,5 | 0,6507 | 20,1 |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **5.3. Charakterystyka przejściowa (bramkowa) tranzystora polowego** | | | | | | |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| UDS [V] | UGS [V] | ID [mA] |  |  |  |  |  |
| 4,006 | -13,914 | 0,0 |  | Zakresy pomiarowe | |  |  |
| 4,006 | -3,531 | 0,1 |  | - UDS: 40 V DC | |  |  |
| 4,006 | -3,099 | 0,7 |  | - UGS: 40 V DC | |  |  |
| 4,006 | -2,706 | 1,5 |  | - ID: 200 mA DC | |  |  |
| 4,006 | -2,300 | 2,5 |  |  |  |  |  |
| 4,006 | -1,901 | 3,7 |  |  |  |  |  |
| 4,006 | -1,502 | 5,0 |  |  |  |  |  |
| 4,006 | -1,100 | 6,4 |  |  |  |  |  |
| 4,006 | -0,711 | 8,0 |  |  |  |  |  |
| 4,006 | -0,343 | 9,6 |  |  |  |  |  |
| 4,006 | 0,015 | 11,1 |  |  |  |  |  |
| 9,003 | -13,914 | 0,0 |  |  |  |  |  |
| 9,003 | -3,604 | 0,1 |  |  |  |  |  |
| 9,003 | -3,194 | 0,6 |  |  |  |  |  |
| 9,003 | -2,804 | 1,3 |  |  |  |  |  |
| 9,003 | -2,397 | 2,4 |  |  |  |  |  |
| 9,003 | -2,004 | 3,6 |  |  |  |  |  |
| 9,003 | -1,602 | 4,9 |  |  |  |  |  |
| 9,003 | -1,213 | 6,3 |  |  |  |  |  |
| 9,003 | -0,803 | 7,9 |  |  |  |  |  |
| 9,003 | -0,410 | 9,3 |  |  |  |  |  |
| 9,003 | 0,000 | 11,6 |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **5.4. Charakterystyka wyjściowa (drenowa) tranzystora polowego** | | | | | | |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| UDS [V] | UGS [V] | ID [mA] |  |  |  |  |  |
| 0,000 | -3,600 | 0,0 |  | Zakresy pomiarowe | |  |  |
| 0,402 | -3,600 | 0,0 |  | - UDS: 40 V DC | |  |  |
| 0,804 | -3,600 | 0,0 |  | - UGS: 40 V DC | |  |  |
| 1,206 | -3,600 | 0,0 |  | - ID: 200 mA DC | |  |  |
| 1,601 | -3,600 | 0,0 |  |  |  |  |  |
| 2,004 | -3,600 | 0,0 |  |  |  |  |  |
| 2,398 | -3,600 | 0,0 |  |  |  |  |  |
| 2,804 | -3,600 | 0,0 |  |  |  |  |  |
| 3,205 | -3,600 | 0,0 |  |  |  |  |  |
| 3,602 | -3,600 | 0,0 |  |  |  |  |  |
| 4,050 | -3,600 | 0,0 |  |  |  |  |  |
| 5,005 | -3,600 | 0,0 |  |  |  |  |  |
| 6,080 | -3,600 | 0,0 |  |  |  |  |  |
| 7,004 | -3,600 | 0,0 |  |  |  |  |  |
| 8,000 | -3,600 | 0,0 |  |  |  |  |  |
| 9,066 | -3,600 | 0,0 |  |  |  |  |  |
| 10,015 | -3,600 | 0,0 |  |  |  |  |  |
| 0,000 | -2,001 | 0,0 |  |  |  |  |  |
| 0,404 | -2,001 | 1,1 |  |  |  |  |  |
| 0,811 | -2,001 | 2,0 |  |  |  |  |  |
| 1,209 | -2,001 | 2,5 |  |  |  |  |  |
| 1,610 | -2,001 | 2,8 |  |  |  |  |  |
| 2,007 | -2,001 | 3,1 |  |  |  |  |  |
| 2,404 | -2,001 | 3,2 |  |  |  |  |  |
| 2,795 | -2,001 | 3,2 |  |  |  |  |  |
| 3,205 | -2,001 | 3,3 |  |  |  |  |  |
| 3,611 | -2,001 | 3,7 |  |  |  |  |  |
| 4,001 | -2,001 | 3,7 |  |  |  |  |  |
| 5,007 | -2,001 | 3,5 |  |  |  |  |  |
| 6,000 | -2,001 | 3,5 |  |  |  |  |  |
| 7,031 | -2,001 | 3,5 |  |  |  |  |  |
| 8,037 | -2,001 | 3,5 |  |  |  |  |  |
| 9,027 | -2,001 | 3,5 |  |  |  |  |  |
| 10,020 | -2,001 | 3,6 |  |  |  |  |  |
| 0,000 | -0,507 | 0,0 |  |  |  |  |  |
| 0,405 | -0,507 | 2,1 |  |  |  |  |  |
| 0,808 | -0,507 | 4,0 |  |  |  |  |  |
| 1,198 | -0,507 | 5,4 |  |  |  |  |  |
| 1,609 | -0,507 | 6,5 |  |  |  |  |  |
| 2,008 | -0,507 | 7,3 |  |  |  |  |  |
| 2,404 | -0,507 | 7,9 |  |  |  |  |  |
| 2,804 | -0,507 | 8,3 |  |  |  |  |  |
| 3,208 | -0,507 | 8,5 |  |  |  |  |  |
| 3,601 | -0,507 | 8,7 |  |  |  |  |  |
| 4,006 | -0,507 | 8,9 |  |  |  |  |  |
| 5,003 | -0,507 | 9,0 |  |  |  |  |  |
| 6,014 | -0,507 | 9,1 |  |  |  |  |  |
| 7,016 | -0,507 | 9,1 |  |  |  |  |  |
| 8,023 | -0,507 | 9,1 |  |  |  |  |  |
| 9,033 | -0,507 | 9,2 |  |  |  |  |  |
| 10,019 | -0,507 | 9,2 |  |  |  |  |  |