

SPRAWOZDANIE

ćwiczenie I

dioda elektroluminescencyjna

Emilia Szymańska
Marcin Gruchała

24.03.2019r.

Cel ćwiczenia: zmierzenie charakterystyk prądowo-napięciowych dla LEDów (w kolorach świecenia niebieskim, żółtym, pomarańczowym, czerwonym i podczerwonym) w kierunku przewodzenia, wyznaczenie rezystancji szeregowej, bariery potencjału i współczynnika idealności każdej z diod.

Zestaw przyrządów pomiarowych:

- LED w kolorach świecenia: niebieskim, żółtym, pomarańczowym, czerwonym i podczerwonym
- Mierniki podłączone do diod: woltomierz (BM857) i amperomierz (BM857)

Wyniki

Mierzymy charakterystykę prądowo-napięciową dla każdego LEDa w kierunku przewodzenia.

Korzystając z informacji zawartych w kartach katalogowych multimetrów, wyników i wzorów $u(U) = \frac{\Delta U}{\sqrt{3}}$, $u(I) = \frac{\Delta I}{\sqrt{3}}$ obliczamy niepewności pomiaru dla prądu i dla napięcia, a następnie zaokrąglamy w górę (w zależności od postaci wyniku i niedokładności zazwyczaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących). Dokładność pomiaru ΔU danej wielkości w przypadku zakresów naszych pomiarów napięcia uzyskujemy poprzez podstawienie do wzoru $\Delta U = 0,03\% \cdot rdg + 2 \cdot dgt$, gdzie rdg oznacza wartość zmierzoną, a dgt rozdzielczość miernika. Dla przykładu $U = 41,4$ mV:

$$u(U) = \frac{0,03 \cdot \frac{1}{100} \cdot 41,4 + 2 \cdot 0,1}{\sqrt{3}} \text{ mV} = 0,1226... \text{ mV} \approx 0,2 \text{ mV}$$

Analogicznie postępujemy w przypadku wartości natężenia prądu. Mamy tutaj jednak wartości x i y : dla $I < 500 \mu A$ $x=0,15\%$, $y = 20$, a dla $500 \mu A < I < 5000 \mu A$ $x = 0,1\%$, $y = 20$. Do 50 mA $x = 0,15\%$ i $y = 10$. Inaczej jednak będzie z rozdzielczością, gdyż na wyniki i kartę katalogową miernika zauważamy, że rozdzielczość wynosi $0,001$ mA. Wówczas przykładowo

$$u(I) = \frac{0,15 \cdot \frac{1}{100} \cdot 19,341 + 10 \cdot 0,001}{\sqrt{3}} \text{ mA} = 0,02252... \text{ mA} \approx 0,023 \text{ mA}$$

W ten sposób otrzymaliśmy następujące wyniki dla kierunku przewodzenia dla pięciu rodzajów LEDa:

U[mV]	u(U)	I[mA]	u(I)
0,0	0,2	0,001	0,006
0,0	0,2	-0,001	0,006
0,0	0,2	0,001	0,006
0,0	0,2	-0,001	0,006
0,0	0,2	-0,001	0,006
-0,1	0,2	-0,001	0,006
15,6	0,2	0,001	0,006
30,6	0,2	0,001	0,006
33,2	0,2	0,001	0,006
41,4	0,2	0,001	0,006
3006,6	0,7	12,647	0,017
3007,7	0,7	12,743	0,017
3009,4	0,7	12,825	0,017
3010,9	0,7	12,888	0,017
3011,9	0,7	12,927	0,017
3012,2	0,7	12,971	0,018
3013,1	0,7	12,991	0,018
3013,3	0,7	12,991	0,018
3012,1	0,7	12,993	0,018
3011,8	0,7	12,992	0,018
3011,7	0,7	12,991	0,018

(a) Wyniki dla diody niebieskiej

U[mV]	u(U)	I[mA]	u(I)
0,1	0,2	-0,001	0,006
0,1	0,2	-0,001	0,006
0,1	0,2	0,001	0,006
0,1	0,2	-0,001	0,006
1,9	0,2	-0,001	0,006
8,3	0,2	-0,001	0,006
11,4	0,2	-0,002	0,006
13,6	0,2	0,001	0,006
19,8	0,2	-0,001	0,006
25,7	0,2	-0,001	0,006
2279,3	0,6	15,737	0,020
2281,9	0,6	15,870	0,020
2284,5	0,6	16,008	0,020
2289,1	0,6	16,239	0,020
2292,2	0,6	16,399	0,020
2293,5	0,6	16,504	0,021
2298,6	0,6	16,724	0,021
2305,0	0,6	17,051	0,021
2312,2	0,6	17,420	0,021
2313,0	0,6	17,470	0,021
2313,7	0,6	17,468	0,021

(b) Wyniki dla diody żółtej

U[mV]	u(U)	I[mA]	u(I)
0,2	0,2	-0,001	0,006
0,2	0,2	0,001	0,006
0,2	0,2	-0,001	0,006
10,4	0,2	0,001	0,006
25,4	0,2	0,001	0,006
34,4	0,2	-0,001	0,006
44,2	0,2	-0,001	0,006
51,3	0,2	0,002	0,006
50,9	0,2	-0,001	0,006
54,6	0,2	0,001	0,006
2068,6	0,5	17,651	0,022
2069,3	0,5	17,711	0,022
2070,0	0,5	17,860	0,022
2071,3	0,5	17,992	0,022
2072,2	0,5	18,090	0,022
2072,6	0,5	18,143	0,022
2073,7	0,5	18,382	0,022
2075,5	0,5	18,572	0,022
2076,4	0,5	18,610	0,022
2076,8	0,5	18,607	0,022
2076,8	0,5	18,615	0,022

(c) Wyniki dla diody pomarańczowej

U [mV]	u(U)	I [mA]	u(I)
0,1	0,2	0,002	0,012
5,3	0,2	0,001	0,012
14,1	0,2	-0,001	0,012
17,8	0,2	-0,001	0,012
23,0	0,2	-0,001	0,012
26,0	0,2	-0,001	0,012
32,6	0,2	-0,001	0,012
35,9	0,2	0,001	0,012
41,4	0,2	0,001	0,012
45,4	0,2	-0,001	0,012
1973,0	0,5	17,940	0,022
1974,4	0,5	18,144	0,022
1976,4	0,5	18,301	0,022
1978,5	0,5	18,467	0,022
1981,3	0,5	18,725	0,022
1982,4	0,5	18,897	0,023
1984,1	0,5	19,035	0,023
1985,6	0,5	19,218	0,023
1987,4	0,5	19,342	0,023
1988,2	0,5	19,341	0,023

(d) Wyniki dla diody czerwonej

U [mV]	u(U)	I [mA]	u(I)
0,1	0,2	-0,001	0,012
0,1	0,2	0,002	0,012
0,1	0,2	0,000	0,012
0,1	0,2	-0,001	0,012
0,1	0,2	-0,001	0,012
0,1	0,2	0,001	0,012
0,1	0,2	-0,001	0,012
7,0	0,2	-0,001	0,012
10,3	0,2	-0,001	0,012
13,5	0,2	-0,001	0,012
1310,2	0,4	22,342	0,026
1310,5	0,4	22,420	0,026
1310,9	0,4	22,497	0,026
1311,3	0,4	22,573	0,026
1311,7	0,4	22,655	0,026
1312,2	0,4	22,700	0,026
1312,6	0,4	22,823	0,026
1313,2	0,4	22,954	0,026
1313,6	0,4	22,951	0,026
1313,6	0,4	22,947	0,026

(e) Wyniki dla diody podczerwonej

Po stworzeniu dla wyników wykresu punktowego, zaznaczeniu słupków błędów i linii trendu dla punktów odpowiadających zakresowi dużych napięć otrzymaliśmy dla każdej diody wykres charakterystyki prądowo-napięciowej (wykresy pod koniec sprawozdania).

Wykorzystując funkcję regresji liniowej dla dużych napięć otrzymaliśmy następujące dane dla prostej $y=ax+b$ aproksymującej te punkty charakterystyki I-V:

- dioda niebieska

$$a = 0,455 \frac{A}{V} \quad \Delta a = 0,00036 \frac{A}{V} \quad b = -124,63 \text{ mA} \quad \Delta b = 1,06 \text{ mA}$$

- dioda żółta

$$a = 0,0486 \frac{A}{V} \quad \Delta a = 0,00009 \frac{A}{V} \quad b = -95,04 \text{ mA} \quad \Delta b = 0,208 \text{ mA}$$

- dioda pomarańczowa

$$a = 0,109 \frac{A}{V} \quad \Delta a = 0,0006 \frac{A}{V} \quad b = -208,07 \text{ mA} \quad \Delta b = 1,123 \text{ mA}$$

- dioda czerwona

$$a = 0,0902 \frac{A}{V} \quad \Delta a = 0,0002 \frac{A}{V} \quad b = -160,176 \text{ mA} \quad \Delta b = 0,446 \text{ mA}$$

- dioda podczerwona

$$a = 0,2076 \frac{A}{V} \quad \Delta a = 0,0013 \frac{A}{V} \quad b = -249,727 \text{ mA} \quad \Delta b = 1,682 \text{ mA}$$

Na tej podstawie możemy obliczyć oporność szeregową R_s ze wzoru $R_s = \frac{1}{a}$ i jej niepewność opisaną wzorem $u(R) = \frac{\Delta a}{a^2}$ oraz wysokość bariery potencjału V_{bi} ze wzoru $V_{bi} = -\frac{b}{a}$ wraz z jej niepewnością $u(V_{bi}) = \sqrt{\left[\frac{b}{a^2} \Delta a\right]^2 + \left[\frac{1}{a} \Delta b\right]^2}$ Wówczas przykładowo dla czerwonej diody:

$$u(R) = \frac{0,0002}{0,0902^2} \Omega = 0,2458... \Omega \approx 0,26 \Omega$$

$$R_s = \frac{1}{0,0902} \Omega = 11,08647... \Omega \approx 11,09 \Omega$$

$$u(V_{bi}) = \sqrt{\left[\frac{-160,176}{0,0902^2} \cdot 0,0002\right]^2 + \left[\frac{1}{0,0902} \cdot 0,446\right]^2} \text{ mV} = 39,3744... \approx 40 \text{ mV}$$

$$V_{bi} = -\frac{-160,176}{0,0902} \text{ mV} = 1775,7871... \text{ mV} \approx 1776 \text{ mV}$$

Ostatecznie:

- dioda niebieska: $R_s = 2,20 \pm 0,0017 \Omega$, $V_{bi} = 273,91 \pm 2,34 \text{ mV}$
- dioda żółta: $R_s = 20,58 \pm 0,038 \Omega$, $V_{bi} = 1995,56 \pm 5,61 \text{ mV}$
- dioda pomarańczowa: $R_s = 9,17 \pm 0,05 \Omega$, $V_{bi} = 1908,9 \pm 14,78 \text{ mV}$
- dioda czerwona: $R_s = 11,09 \pm 0,26 \Omega$, $V_{bi} = 1776 \pm 40 \text{ mV}$
- dioda podczerwona: $R_s = 4,82 \pm 0,03 \Omega$, $V_{bi} = 1203 \pm 9 \text{ mV}$

Dla każdej diody obliczamy wartość energii wzbronionej półprzewodnika, z którego jest wykonana, korzystając z zależności $E_g = \frac{hc}{\lambda}$. Obliczone wartości przerw wzbronionych porównujemy z potencjałem wbudowanym. Przykładowo dla czerwonej diody:

$$E_g = \frac{4,14 \cdot 10^{-15} \cdot 3 \cdot 10^8}{650 \cdot 10^{-9}} eV = 0,01910... \cdot 10^2 eV \approx 1,9 eV$$

$$e \cdot V_{bi} = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1776 \cdot 10^{-3} eV = 2,8416 \cdot 10^{-19} eV$$

Jak widać te wartości są skrajnie różne.

Dla każdej z diod mamy następujące wartości przerw wzbronionych:

- dioda niebieska: $E_g \approx 2,56$ eV
- dioda żółta: $E_g \approx 2,2$ eV
- dioda pomarańczowa: $E_g \approx 2,02$ eV
- dioda czerwona: $E_g \approx 1,9$ eV
- dioda podczerwona $E_g \approx 1,35$ eV

Rysujemy charakterystykę $f(U) = \ln(I)$ (wykresy pod koniec sprawozdania). Liniową część charakterystyk aproksymujemy prostą postaci $y = ax + b$. Znajdąc współczynniki kierunkowe prostych obliczamy współczynniki idealności n dla każdej z diod, korzystając ze wzoru $n = \frac{q}{k_B \cdot T \cdot a}$ wraz z niepewnością pomiaru $u(n) = \frac{q \cdot \Delta a}{k_B \cdot T \cdot a^2}$. Przykładowo dla czerwonej diody:

$$u(n) = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,9166}{1,4 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 26,2296^2} = 0,05075... \approx 0,051[1]$$

$$n = \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{1,4 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 26,2296} = 1,4523... \approx 1,452[1]$$

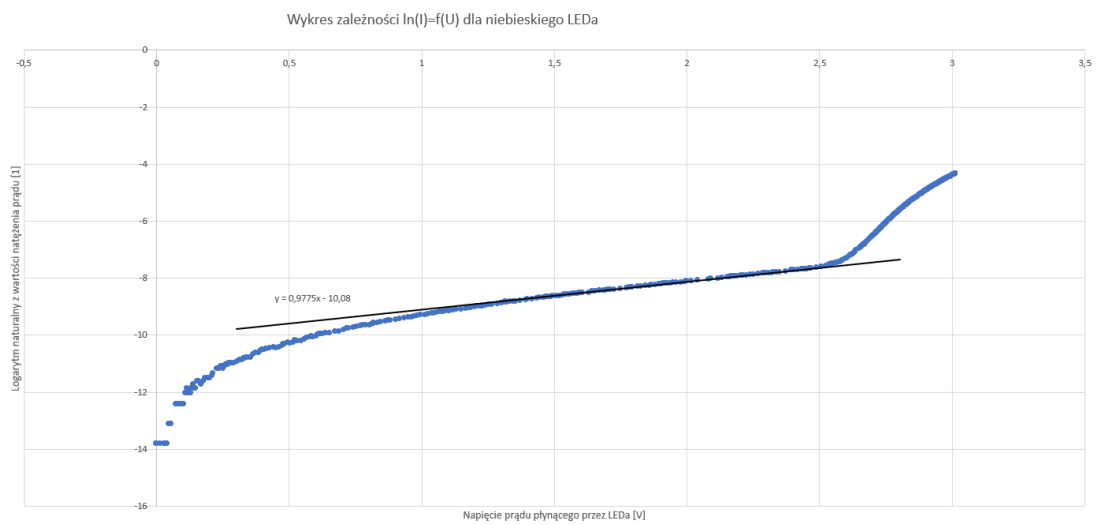
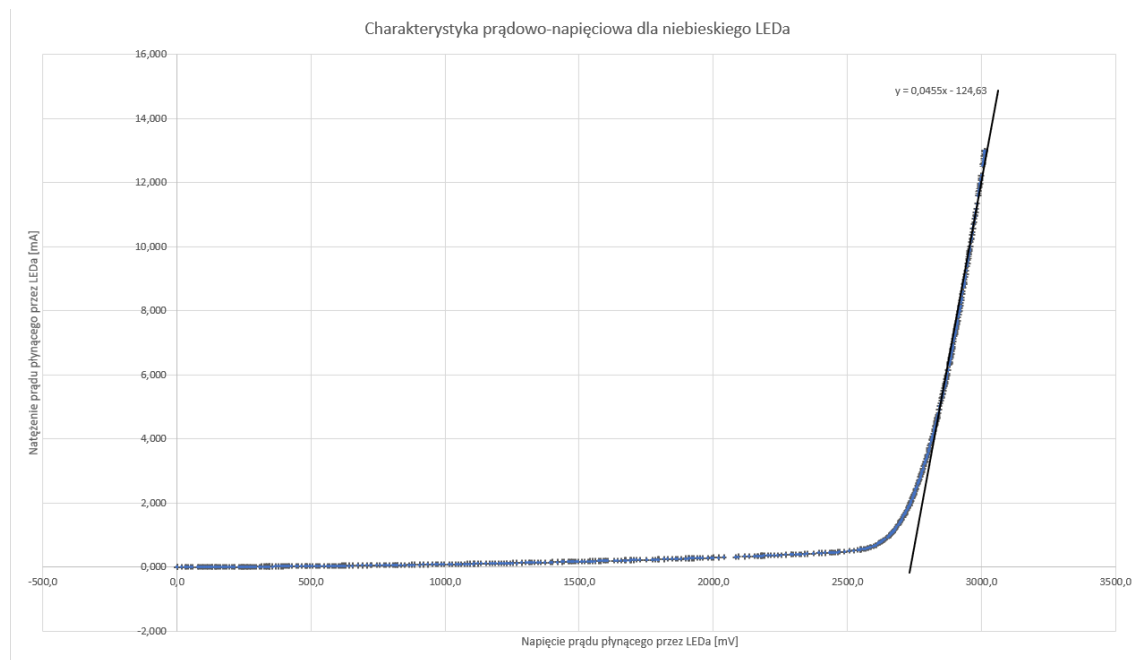
Ostatecznie:

- dioda niebieska: $n = 36,54 \pm 0,189[1]$
- dioda żółta: $n = 1,693 \pm 0,017[1]$
- dioda pomarańczowa: $n = 1,766 \pm 0,018[1]$
- dioda czerwona: $n = 1,452 \pm 0,051[1]$
- dioda podczerwona: $n = 1,803 \pm 0,044[1]$

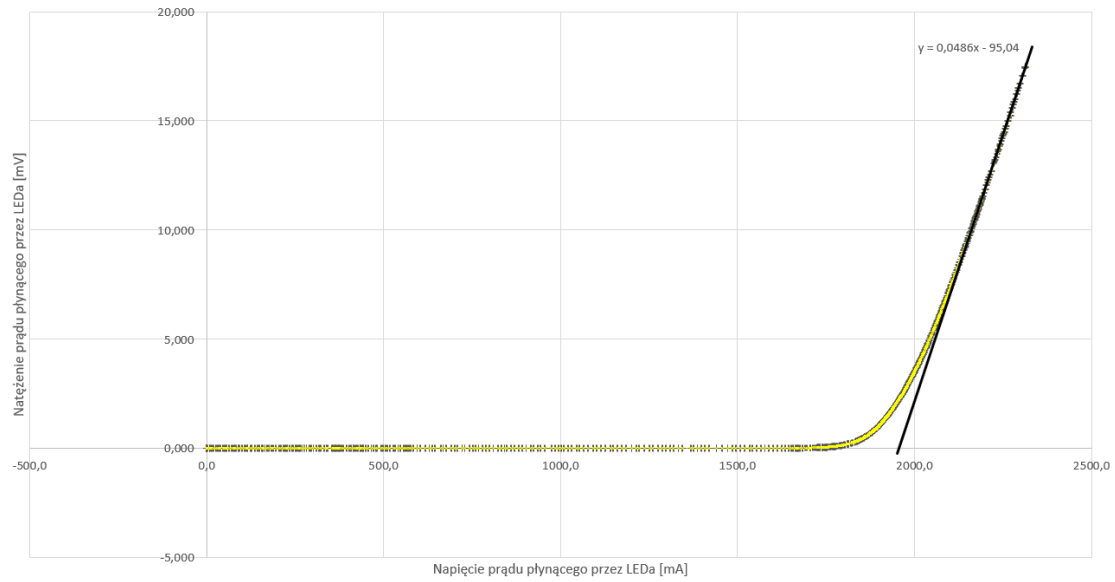
Ponadto dla każdej z diod musiały być spełnione następujące przybliżone warunki, aby zaczęły świecić:

- dioda niebieska: $U = 2,4336$ [V] $I = 0,458$ [mA]
- dioda żółta: $U = 1,8673$ [V] $I = 0,593$ [mA]
- dioda pomarańczowa: $U = 1,7389$ [V] $I = 0,119$ [mA]
- dioda czerwona: $U = 1,7020$ [V] $I = 0,457$ [mA]
- dioda podczerwona: $U = 1,1905$ [V] $I = 4,302$ [mA]

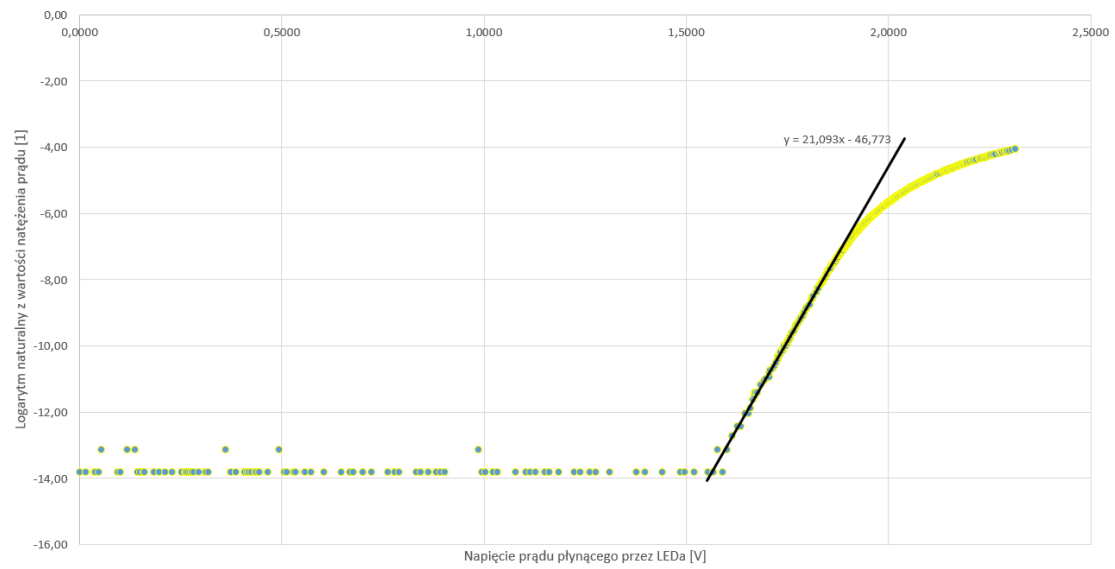
Wnioski: W zależności od tego, względem jakiej diody robiliśmy pomiary, możemy zaobserwować, że im większa jest długość fali odpowiadająca maksimum zdolności emisyjnej LEDa, tym większe potrzebne jest napięcie, które trzeba przyłożyć, by dana dioda zaczęła świecić. Ponadto im dłuższa fala, tym wyszedł nam wyższy współczynnik doskonałości, niższa wartość przerwy wzbronionej, rezystancji szeregowej oraz wysokości bariery potencjału.

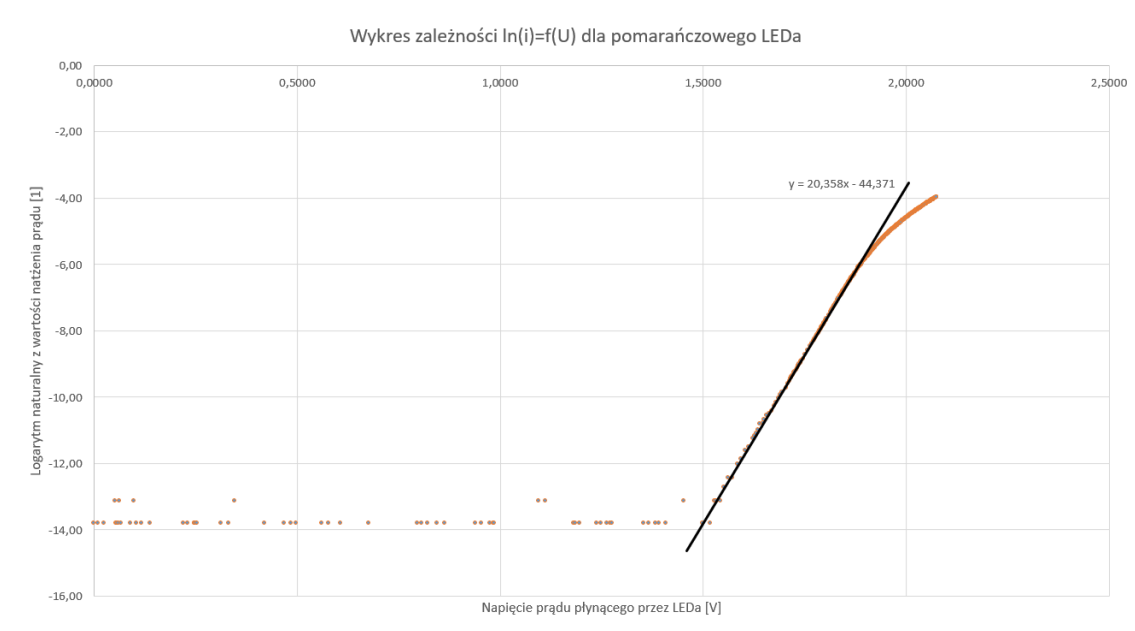
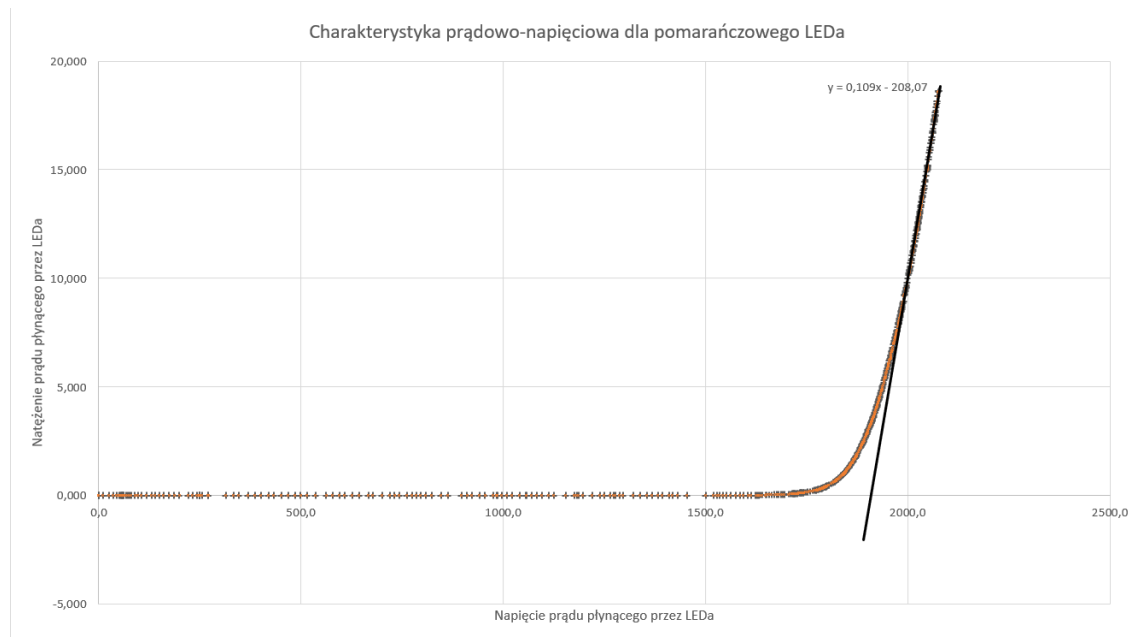


Charakterystyka prądowo-napięciowa dla żółtego LEDa

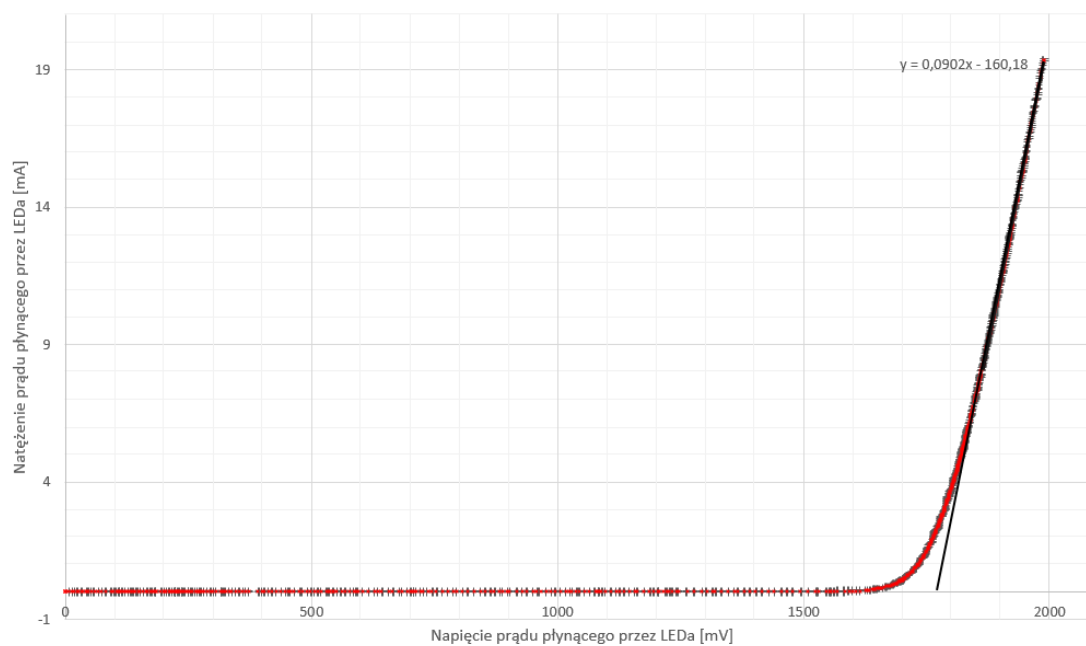


Wykres zależności $\ln(I)=f(U)$ dla żółtego LEDa

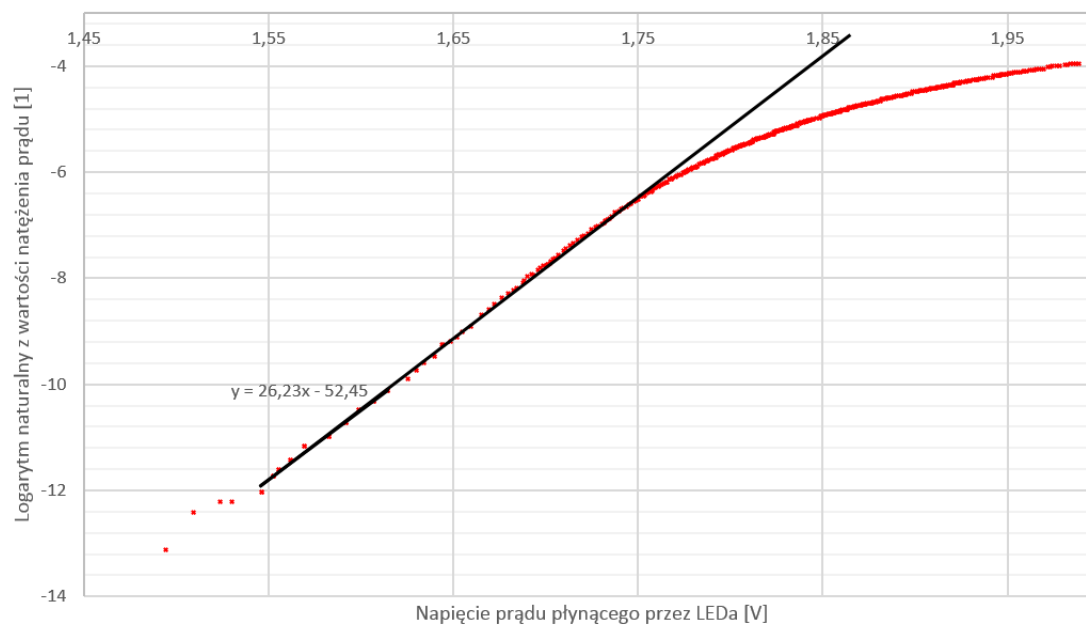




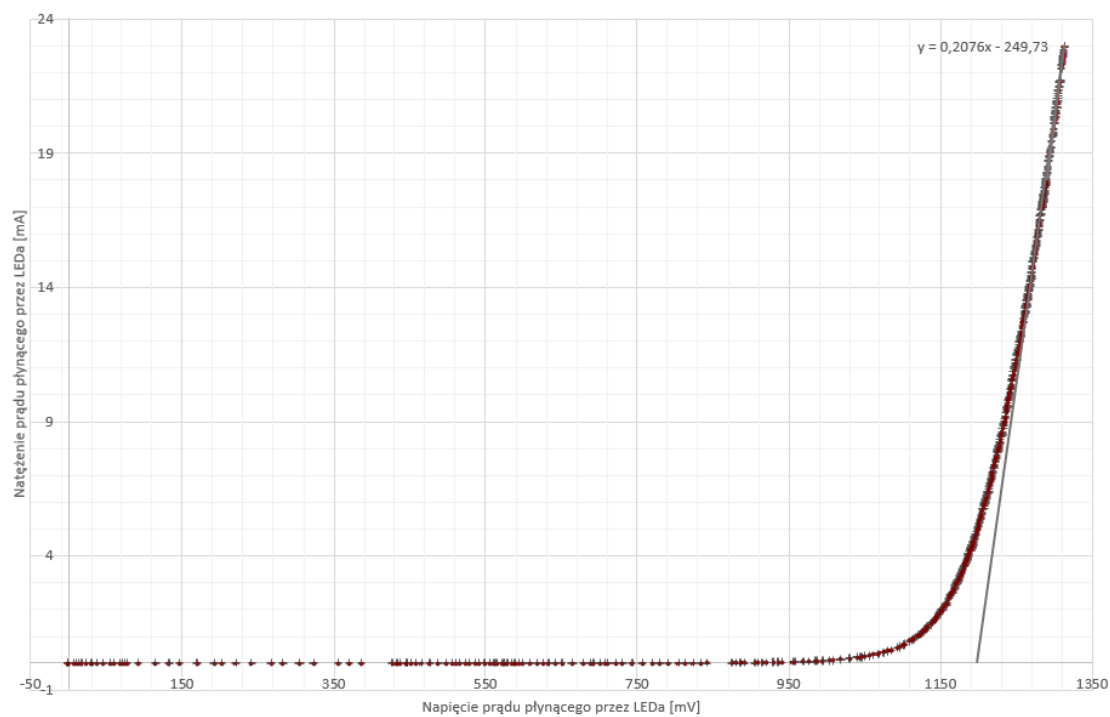
Charakterystyka prądowo-napięciowa dla czerwonego LEDa



Wykres zależności $f(U)=\ln(I)$ dla czerwonego LEDa



Charakterystyka prądowo-napięciowa dla podczerwonego LEDa



Wykres zależności $f(U)=\ln(I)$ dla podczerwonego LEDa

