



**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Politechnika  
Świętokrzyska

**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



**Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego**

**Materiały dydaktyczne pomocnicze i informacyjne do przedmiotu**  
**PODSTAWY ELEKTRONIKI**

**Część II: „Badania laboratoryjne elementów i układów elektronicznych”,**  
zrealizowana w ramach zadania nr 9 projektu:  
„Program Rozwojowy Potencjału Dydaktycznego Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach: kształcenie na miarę sukcesu.”,  
nr umowy: UDA-POKL 04.01.01. – 175/08-00.

**Ćwiczenie 1:**  
**Charakterystyki i parametry diod półprzewodnikowych.**

**dr inż. Marek Fijałkowski**

**Katedra Elektroniki i Systemów Inteligentnych**  
**Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Świętokrzyskiej**  
**Al. 1000-lecia P.P. 7, 25-314 Kielce**  
**tel.: +48 41 34 24 203, e-mail: m.fijalkowski@tu.kielce.pl**



# Spis treści

## 1. Wstęp teoretyczny

### 1.1. Diody prostownicze

### 1.2 Diody Zenera

## 2. Przebieg ćwiczenia laboratoryjnego

### 2.1. Cel ćwiczenia

### 2.2. Wyznaczanie charakterystyk diod w kierunku przewodzenia

### 2.3. Wyznaczanie charakterystyk diod w kierunku zaporowym

## 3. Opracowanie wyników pomiaru

### Symulacje charakterystyk diod półprzewodnikowych



# 1. Wstęp teoretyczny

**Diody** nazywamy element wykonany z półprzewodnika, zawierającego jedno złącze **p-n** lub złącze metal – półprzewodnik **m-s** z dwoma końcówkami wyprowadzeń. Złącze **p-n** stanowi warstwę przejściową między obszarem półprzewodnika typu **p** i półprzewodnika typu **n**.

**Diody stosowane** są w układach analogowych i cyfrowych. W układach analogowych wykorzystywana jest zależność rezystancji dynamicznej od napięcia lub prądu wejściowego, lub też zmiany pojemności w funkcji napięcia. W układach cyfrowych istotne są natomiast właściwości przełączające diody. Diody półprzewodnikowe stosuje się w układach prostowania prądu zmiennego, w układach modulacji i detekcji, przełączania, generacji i wzmacniania sygnałów elektrycznych.



## Diody można podzielić ze względu na:

- materiał, z którego dioda jest wykonana:
  - ✓ krzemowe,
  - ✓ germanowe,
  - ✓ z arsenku galu,
  - ✓ selenowe.
- konstrukcje:
  - ✓ ostrzowe,
  - ✓ warstwowe,
  - ✓ stopowe,
  - ✓ dyfuzyjne,
  - ✓ planarne,
  - ✓ epiplanarne.
- zastosowanie:
  - ✓ prostownicze,
  - ✓ uniwersalne,
  - ✓ impulsowe,
  - ✓ stabilizacyjne (Zenera),
  - ✓ pojemnościowe,
  - ✓ tunelowe,
  - ✓ mikrofalowe,
  - ✓ optoelektroniczne
    - świecące LED,
    - fotodiody.



## Zasada działania diody

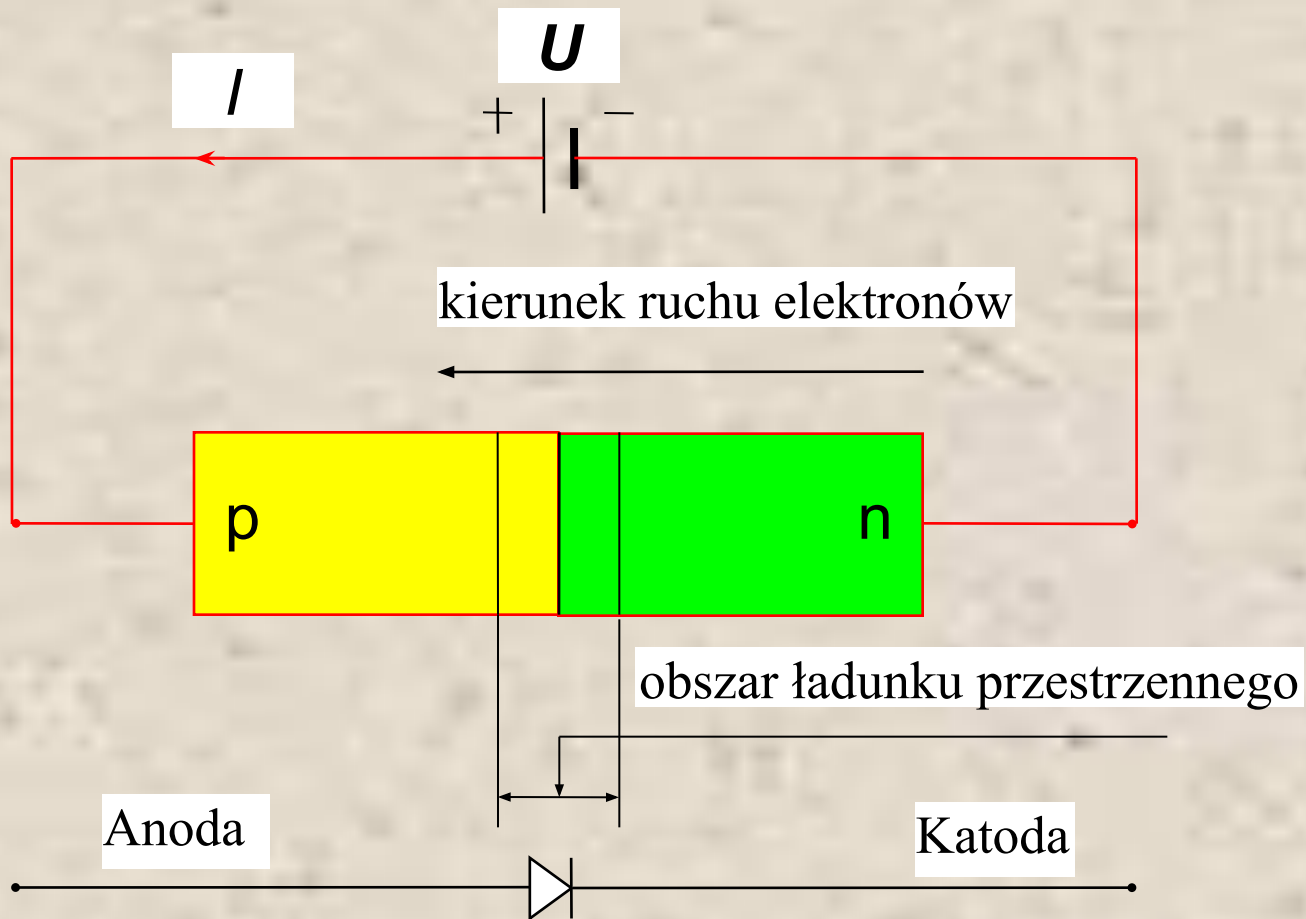
Charakterystyka diody oraz jej parametry są podobne, a niekiedy takie same jak złącza **p-n**. W momencie zetknięcia się półprzewodnika typu **p** i **n**, w wyniku dyfuzji popłyną prądy termokinetyczne. Elektrony (nośniki większościowe) będą przechodziły z półprzewodnika typu **n** do **p**, natomiast dziury (też nośniki większościowe) – z **p** do **n**. Na skutek dyfuzyjnego przepływu nośników, w obszarze przyłączeniowym tworzą się nieskompensowane ładunki (w półprzewodniku **n** – dodatni, w **p** – ujemny). W związku z tym w obszarze złącza powstaje różnica potencjałów, która tworzy barierę energetyczną (napięcie na barierze nosi nazwę napięcia dyfuzyjnego -  $U_D$ ). W temperaturze bliskiej pokojowej dla złączy krzemowych  $U_D = (0,6 - 0,8)V$ , a dla złączy germanowych  $U_D = (0,1 - 0,3)V$ . Bariera przeciwdziała dalszej dyfuzji nośników większościowych. Powstała w ten sposób jest nazywana warstwą zaporową lub warstwą ładunku przestrzennego, ewentualnie warstwą zubożoną.



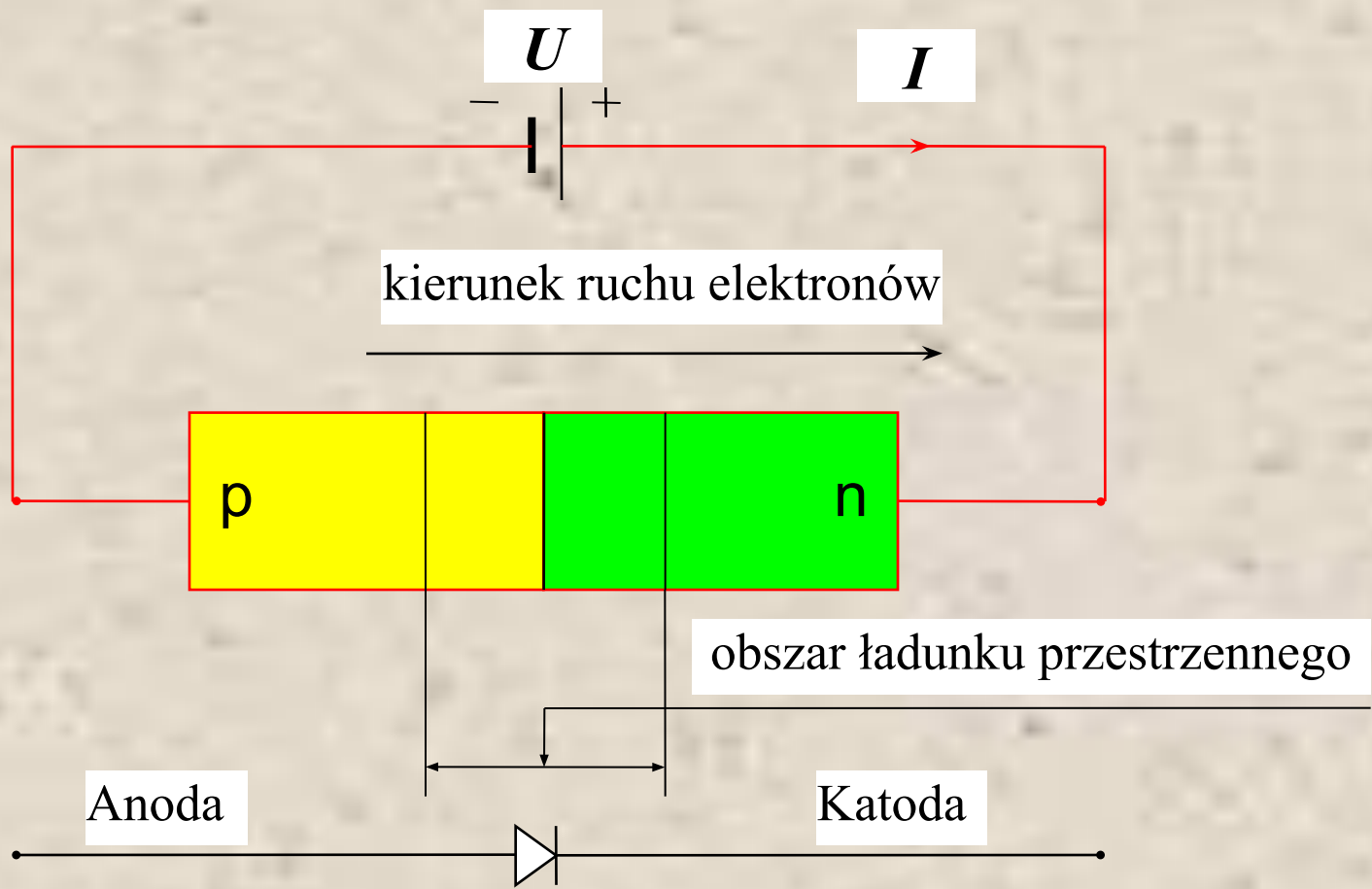
## Polaryzacja złącza p-n

Złącze p-n posiada różne właściwości w zależności od sposobu polaryzacji. Jeżeli do półprzewodnika p przyłożymy potencjał dodatni, a do n ujemny to złącze spolaryzowane będzie w kierunku przewodzenia. Zmniejsza się wówczas bariera potencjału do wartości  $U_D - U$  ( $U$  – napięcie zasilające), maleje szerokość warstwy zaporowej, maleje ładunek i natężenie pola elektrycznego. Zmniejszenie bariery potencjałów powoduje wzrost prądu dyfuzyjnego.

Przy odwrotnej polaryzacji złącza (w kierunku zaporowym) napięcie zewnętrzne ma kierunek zgodny z kierunkiem  $U_D$ . Następuje więc dalszy odpływ nośników z obszaru otaczającego warstwę zaporową. Zwiększa się jej szerokość i wzrasta bariera potencjału. Zwiększenie liczby nośników spowoduje zmniejszenie prądu dyfuzji. Przez tak spolaryzowane złącze płynie niewielki prąd związany tylko z nośnikami mniejszościowymi, nazywany prądem unoszenia. Prąd ten praktycznie nie zależy od przyłożonego napięcia.



Rys. 1. Polaryzacja złącza p-n w kierunku przewodzenia



Rys. 2. Polaryzacja złącza p-n w kierunku zaporowym



## 1.1. Diody prostownicze

Diody prostownicze są przeznaczone do prostowania napięcia lub prądu przemiennego o małej częstotliwości (z reguły chodzi o 50Hz). Są to diody pracujące przeważnie w układach prostowniczych bloków zasilania, różnych urządzeń elektronicznych i elektrycznych. Czasami diody pracują przy częstotliwości 400Hz (systemy pokładowe) lub nawet kilku kiloherców.

Rys. 3. Dioda prostownicza 1N4004 ( $U_{RWM} = 400V$   $I_{Fmax} = 1A$ )



Diody prostownicze charakteryzują się następującymi parametrami:

- Maksymalny prąd przewodzenia  $I_{Fmax}$
- Maksymalne napięcie przewodzenia  $U_{Fmax}$
- Napięcie przewodzenia (dla  $I_F=0,1I_{Fmax}$ )  $U_F$
- Dopuszczalne napięcie wsteczne  $U_{RWM}$
- Dopuszczalna moc admisyjna  $P_{ad}$
- Rezystancja statyczna w punkcie  $\mathbf{P}(U_P, I_P)$   $R$
- Rezystancja dynamiczna w punkcie  $\mathbf{P}(U_P, I_P)$   $r_d$

$$R = \frac{U_P}{I_P}$$

$$r_d = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{|U_2 - U_1|}{|I_2 - I_1|}$$



Rys. 4. Charakterystyka prądowo – napięciowa diody prostowniczej



## Charakterystyki prądowo – napięciowe diod

Na rys. 4. przedstawiono charakterystykę prądowo – napięciową diody prostowniczej z zaznaczeniem podanych wyżej parametrów diody. W katalogach podaje się znacznie większą liczbę parametrów, jednak z punktu widzenia ćwiczenia laboratoryjnego są one trudne do pomiaru lub niezbyt istotne, dlatego też wyszczególnienie ich uznano za niepotrzebne. Na rys. 5. przedstawiono charakterystyki prądowo - napięciowe diody krzemowej i germanowej. Diody zaczynają przewodzić (następuje gwałtowny wzrost prądu) dopiero po przekroczeniu pewnej wartości napięcia w kierunku przewodzenia zwanego napięciem progowym  $U_D$ . Dla diod krzemowych ok. 0,6V – 0,7V dla germanowych ok. 0,1V - 0,3V. Jest to jedyna wyższość diody germanowej nad krzemową. Diody germanowe mają znacznie mniejsze dopuszczalne napięcie wsteczne i mniejszą temperaturę dopuszczalną.

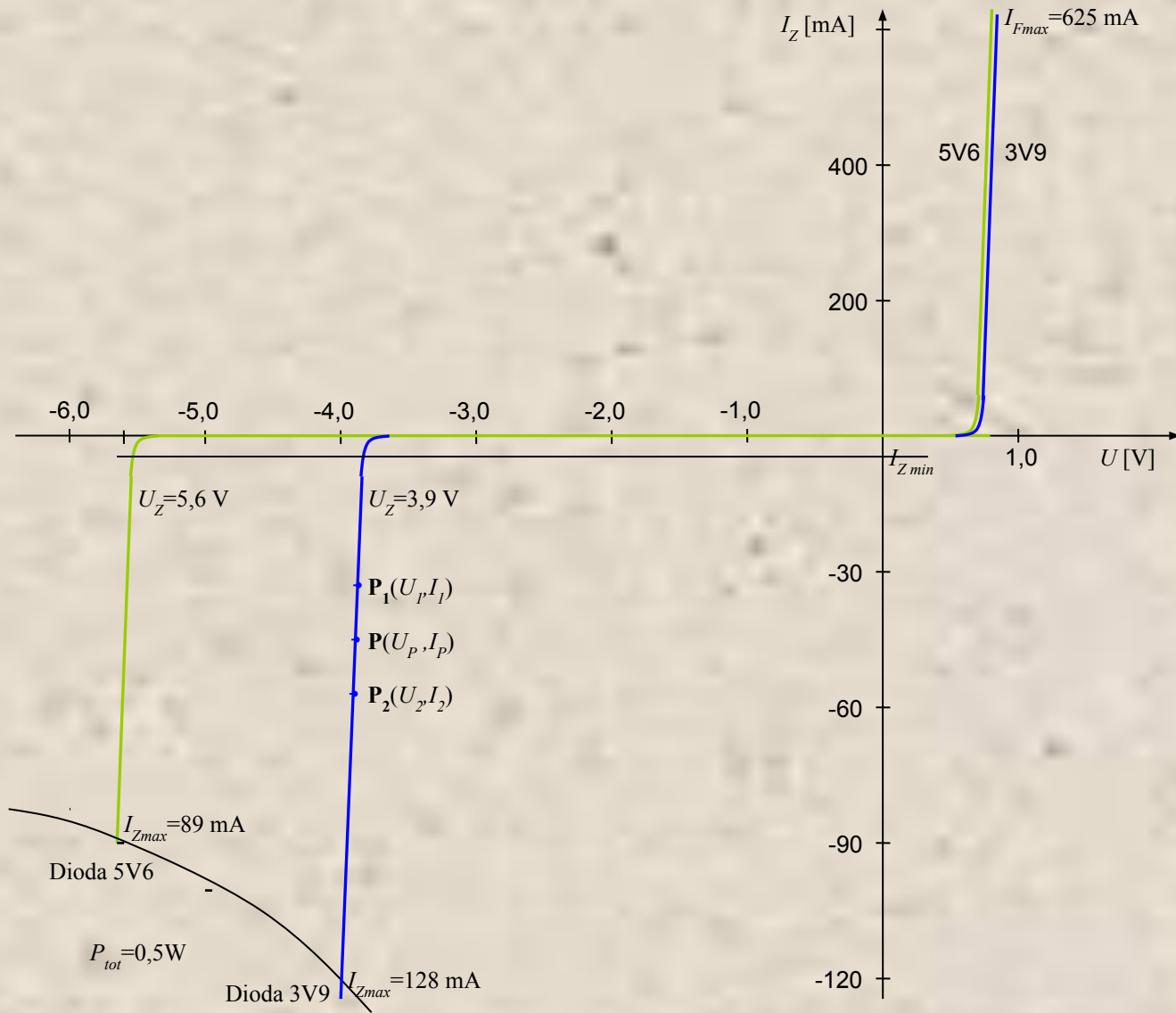


Rys. 5. Charakterystyki prądowo - napięciowe diody krzemowej i germanowej



## 1. 2 Diody Zenera

Diody Zenera są to diody stabilizacyjne, warstwowe **p-n** przeznaczone do zastosowań w układach stabilizacji napięć, w układach ograniczników napięć, jako źródła napięć odniesienia itp. Diody stabilizacyjne pracują przy polaryzacji w kierunku zaporowym. Typowy obszar pracy tych diod znajduje się na odcinku charakterystyki prądowo-napięciowej (rys. 5.) odpowiadającym gwałtownemu wzrostowi prądu wstecznego wskutek zjawiska przebicia Zenera lub (i) przebicia lawinowego. Przebicie Zenera występuje w złączach silnie domieszkowanych przy napięciach do **5V**. Przebicie lawinowe występuje w złączach słabo domieszkowanych przy napięciach powyżej **7V**. Przy napięciach od **5V** do **7V** w złączach średnio domieszkowanych występują jednocześnie oba zjawiska.



Rys 6. Charakterystyki prądowo – napięciowe diod Zenera 3V9 i 5V6



## Najważniejsze parametry statyczne diody Zenera:

- napięcie stabilizacji  $U_Z$ ;
- maksymalna moc strat  $P_{tot}$ ;
- minimalny prąd stabilizacji  $I_{Zmin}$
- maksymalny stały prąd przewodzenia  $I_{Fmax}$

$$I_{Fmax} \approx \frac{P_{tot} [W]}{0,8 [V]}$$

- maksymalny dopuszczalny prąd stabilizacji  $I_{Zmax}$ ;

$$I_{Zmax} = \frac{P_{tot}}{U_Z}$$

- rezystancja dynamiczna  $r_Z$  w punkcie  $\mathbf{P}(U_P, I_P)$

$$r_Z = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{|U_2 - U_1|}{|I_2 - I_1|}$$





## 2. Przebieg ćwiczenia laboratoryjnego

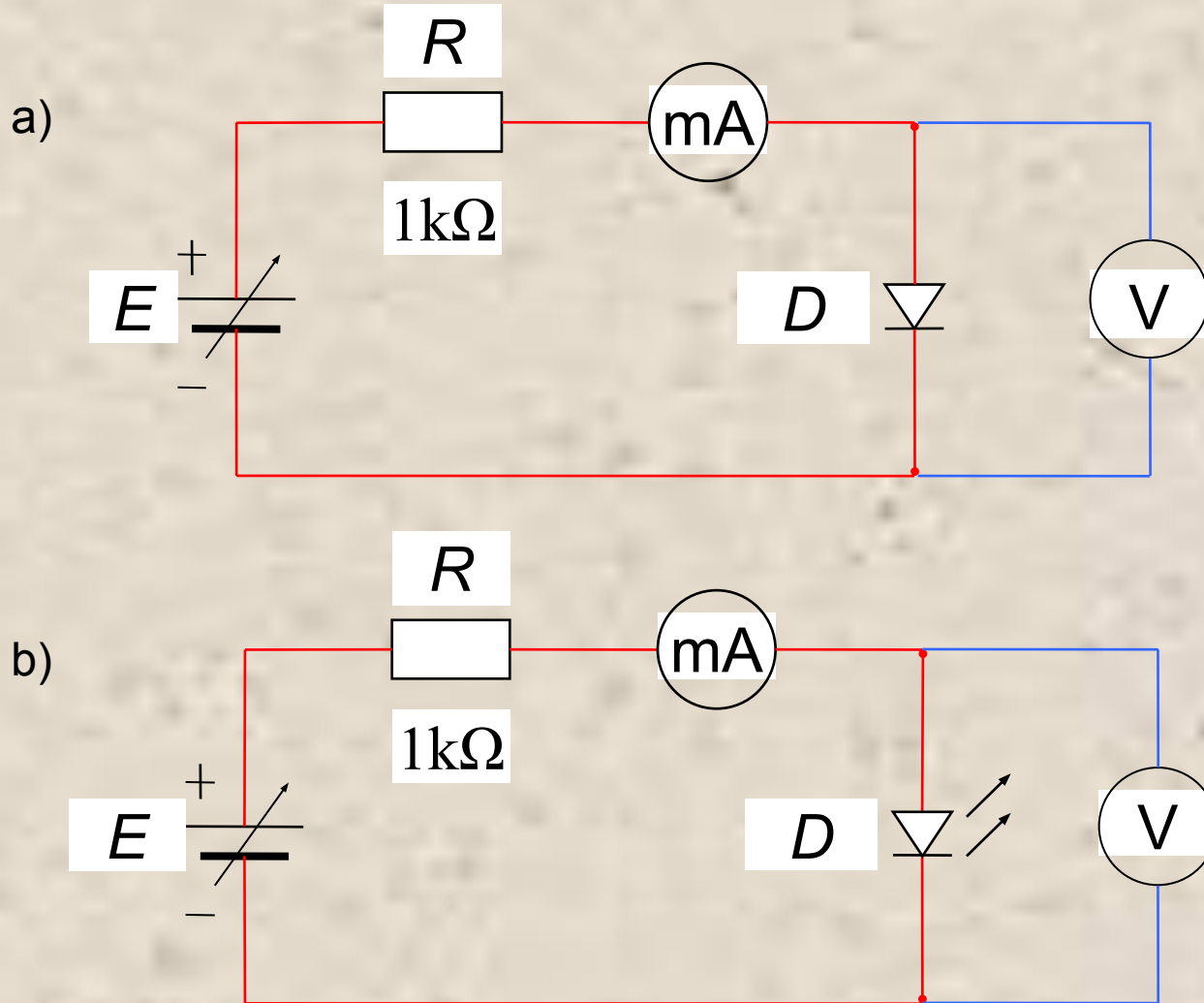
### 2.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie własności i wyznaczenie charakterystyk napięciowo-prądowych diod prostowniczych, elektroluminescencyjnych i Zenera oraz wybranych parametrów badanych elementów.

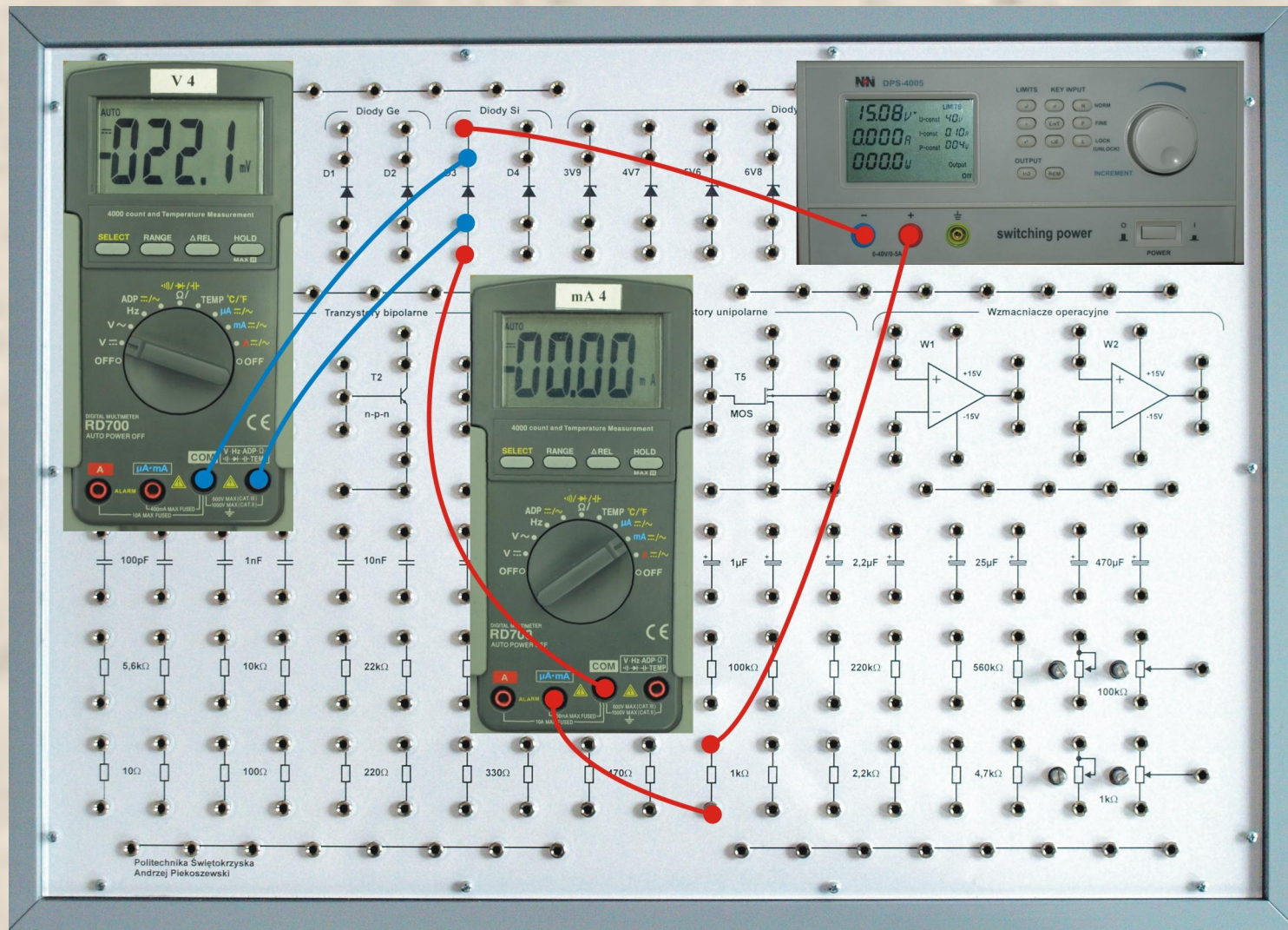
### 2.2. Wyznaczanie charakterystyk diod w kierunku przewodzenia

Charakterystyki napięciowo-prądowe diod będą wyznaczane metodą „punkt po punkcie”. W oparciu o wyniki pomiarów można wykreślić charakterystyki prądowo-napięciowe diody, obliczyć jej podstawowe parametry takie jak: napięcie progowe, rezystancja statyczna i dynamiczna. Do wyznaczania charakterystyk diod w kierunku przewodzenia będzie zastosowany układ „dokładnego pomiaru napięcia”.

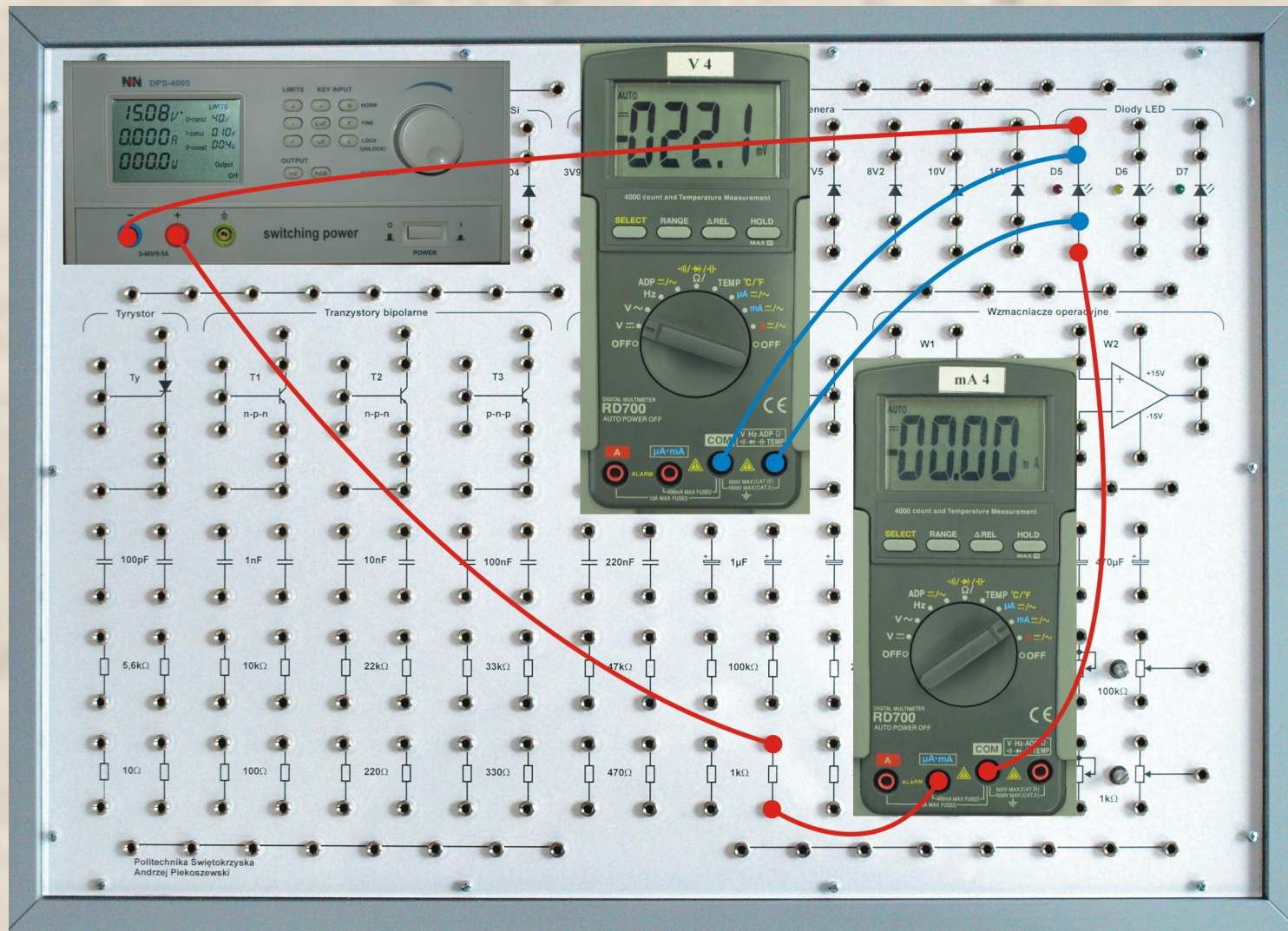
- Schematy pomiarowe



Rys. 7. Układ do pomiaru charakterystyk diod w kierunku przewodzenia  
a) dioda prostownicza b) dioda elektroluminescencyjnej



Rys. 8. Układ do pomiaru charakterystyk diody prostowniczej w kierunku przewodzenia (połączenie przyrządów pomiarowych z elementami na makiecie)



Rys. 9. Układ do pomiaru charakterystyk diody elektroluminescencyjnej w kierunku przewodzenia (połączenie przyrządów pomiarowych z elementami na makiecie)



## Sposób przeprowadzenia pomiarów

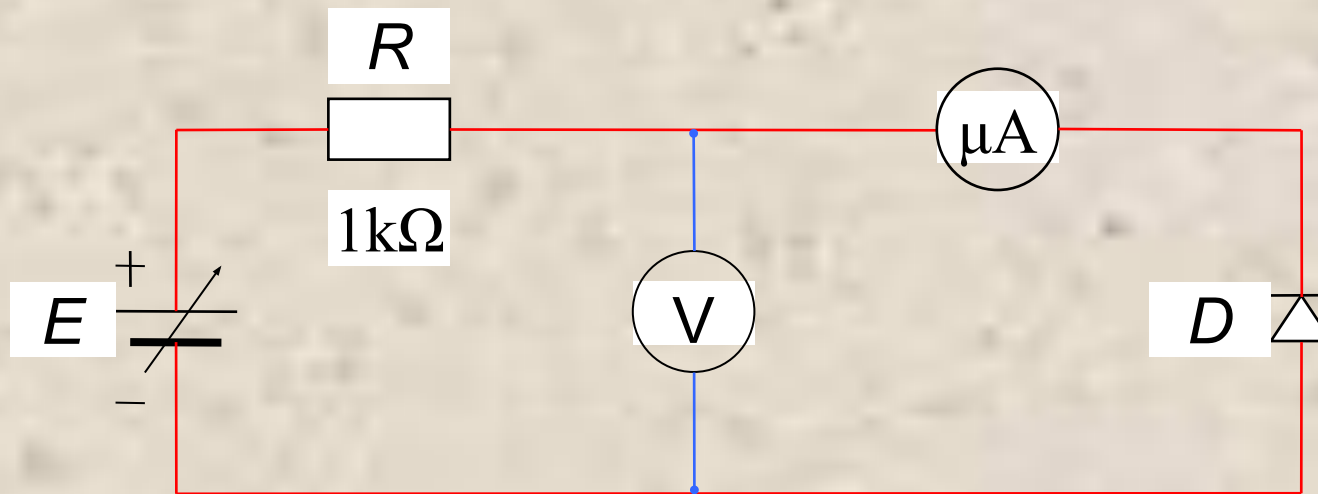
- Należy kolejno podłączać do układu:
  - ✓ diodę prostowniczą krzemową **1N4002**
  - ✓ diodę germanową **DZG7** lub **AAP 152**
  - ✓ diody elektroluminescencyjne **L-53 ID, L-53 YD, L-53 MBDL**
- Wykonać pomiary charakterystyk diod w kierunku przewodzenia.
- Pomiar polega na ustawieniu regulowanym zasilaczem  $E$  odpowiedniej wartości prądu  $I_F$  mierzonego miliamperomierzem **mA** i odczycie napięcia na diodzie  $U_F$  mierzonego woltomierzem **V**.
- Należy pamiętać, aby nie przekroczyć maksymalnego prądu  $I_{Fmax}$  badanego elementu.
- Dla diody krzemowej i germanowej wykonać pomiary dla określonych prądów  $I_F$  np. **8 mA, 10 mA, 12 mA** – w celu wyznaczenia rezystancji statycznej i dynamicznej diody.
- Wyniki pomiarów zanotować w Tabeli 1.



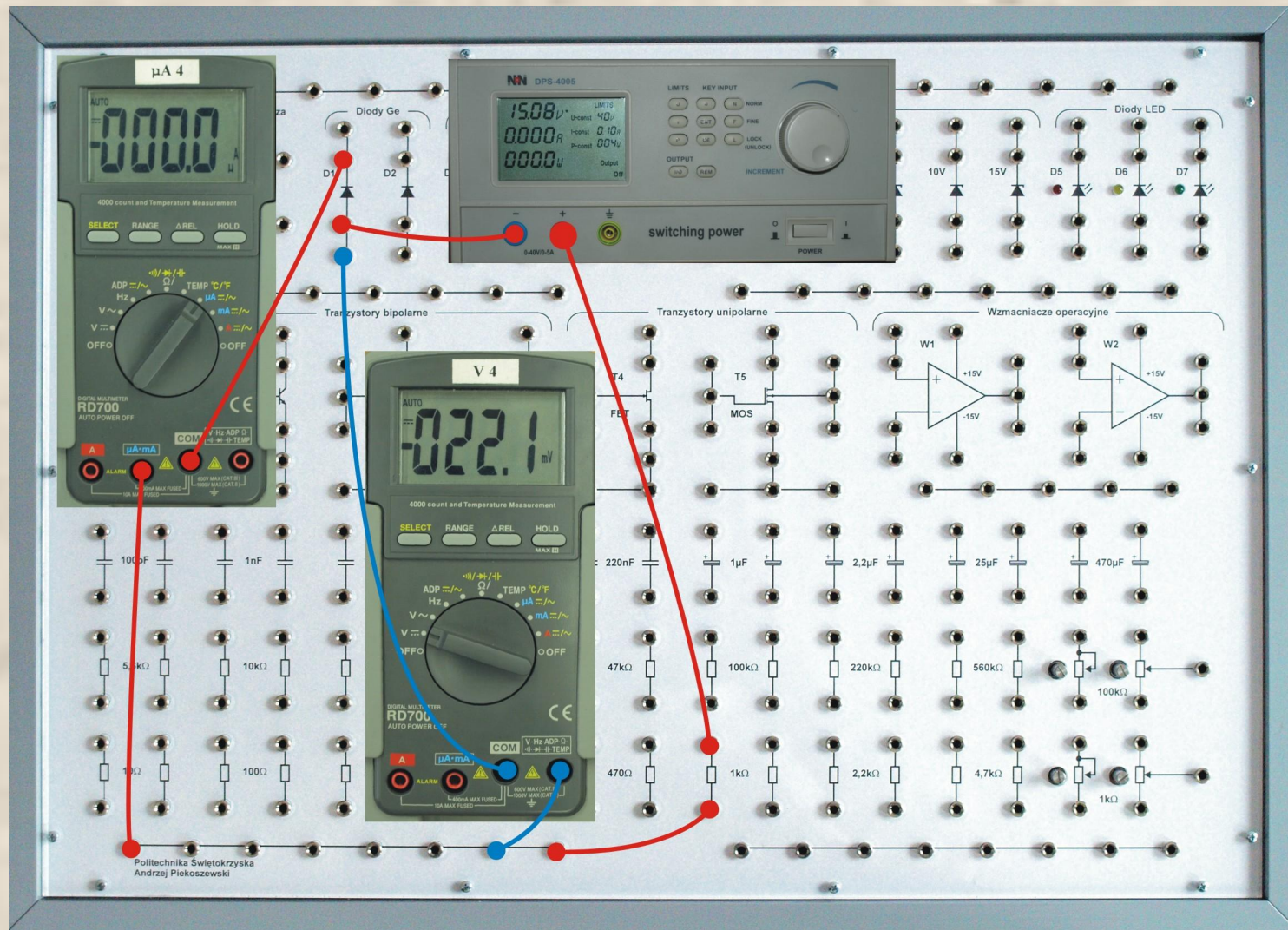
## 2.3. Wyznaczanie charakterystyk diod w kierunku zaporowym

Do wyznaczania charakterystyk diod w kierunku zaporowym będzie zastosowany układ „dokładnego pomiaru prądu”.

- Schemat pomiarowy



Rys. 10. Układ do wyznaczania charakterystyk diod w kierunku zaporowym (układ dokładnego pomiaru prądu).



Rys. 11. Układ do pomiaru charakterystyk diody prostowniczej w kierunku zaporo- wym (połączenie przyrządów pomiarowych z elementami na makiecie)





## Sposób przeprowadzenia pomiarów

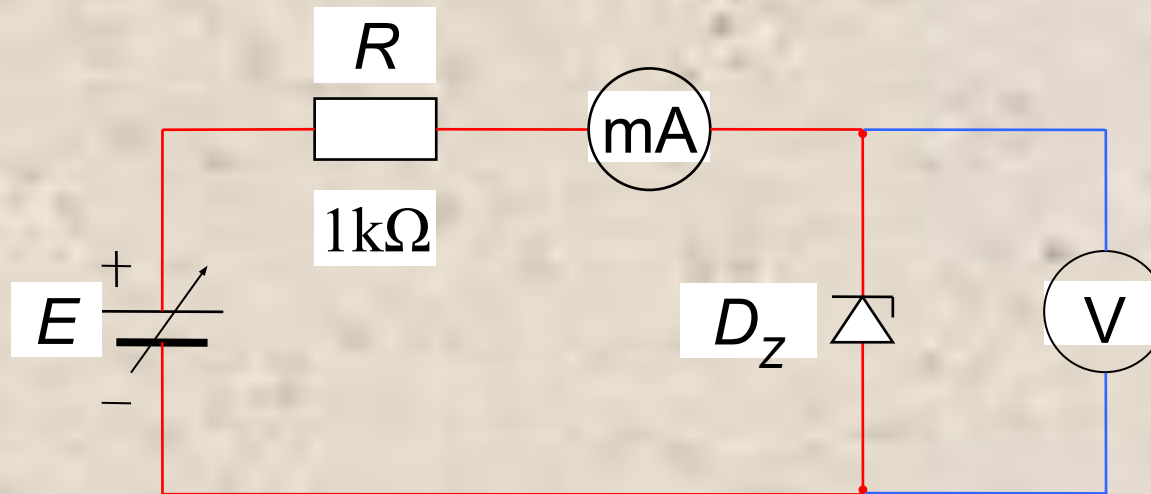
- Należy kolejno podłączać do układu:
  - ✓ diodę prostowniczą krzemową **1N4002**
  - ✓ diodę prostowniczą germanową **DZG7**,
  - ✓ diody elektroluminescencyjne **L-53 ID, L-53 YD, L-53 MBDL**.
- Wykonać pomiary charakterystyk diod w kierunku zaporowym.
- Pomiar polega na ustawieniu regulowanym zasilaczem  $E$  odpowiedniego napięcia na diodzie  $U_R$  (woltomierz  $V$ ) i odczycie prądu  $I_R$  (mikroamperomierz  $\mu A$ ).
- Należy pamiętać, aby nie przekroczyć maksymalnego napięcia  $U_{Rmax} = 30V$ .
- Wyniki pomiarów zanotować w Tabeli 2.



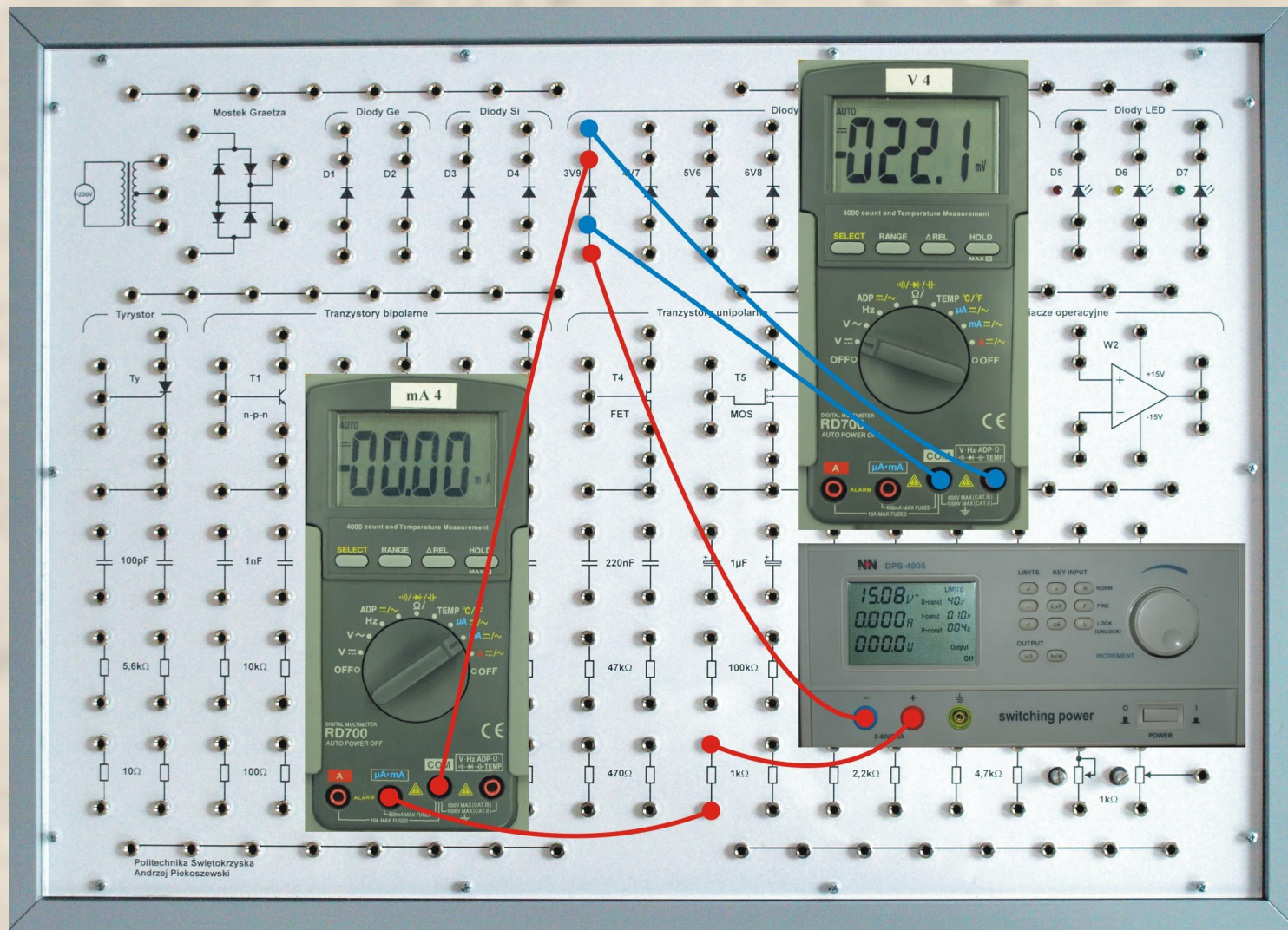
## 2.3. Wyznaczanie charakterystyki diody Zenera w kierunku zaporowym

Do wyznaczania charakterystyk diod Zenera w kierunku zaporowym będzie zastosowany układ „dokładnego pomiaru napięcia”.

- **Schemat pomiarowy**



Rys 12. Układ do wyznaczania charakterystyki diody Zenera w kierunku zaporowym.



Rys 13. Układ do wyznaczania charakterystyki diody Zenera w kierunku zaporowym. (połączenie przyrządów pomiarowych z elementami na makiecie)



## Sposób przeprowadzenia pomiarów.

- Połączyć układ do wyznaczania charakterystyki diody Zenera w kierunku zaporowym (rys. 12.);
- Wykonać pomiary charakterystyk diod Zenera w kierunku zaporowym.
- Pomiar polega na ustawieniu regulowanym zasilaczem  $E$  odpowiedniej wartości prądu  $I_Z$  (miliamperomierz **mA**) i odczycie napięcia na diodzie Zenera  $U$  (woltomierz **V**).
- Należy pamiętać, aby nie przekroczyć prądu maksymalnego  $I_{max.}=100 \text{ mA}$ .
- Wykonać pomiary dla określonych prądów np. **8 mA, 10 mA, 12 mA** w celu wyznaczenia rezystancji statycznej i dynamicznej diody.
- Wyniki pomiarów zanotować w Tabeli 3.





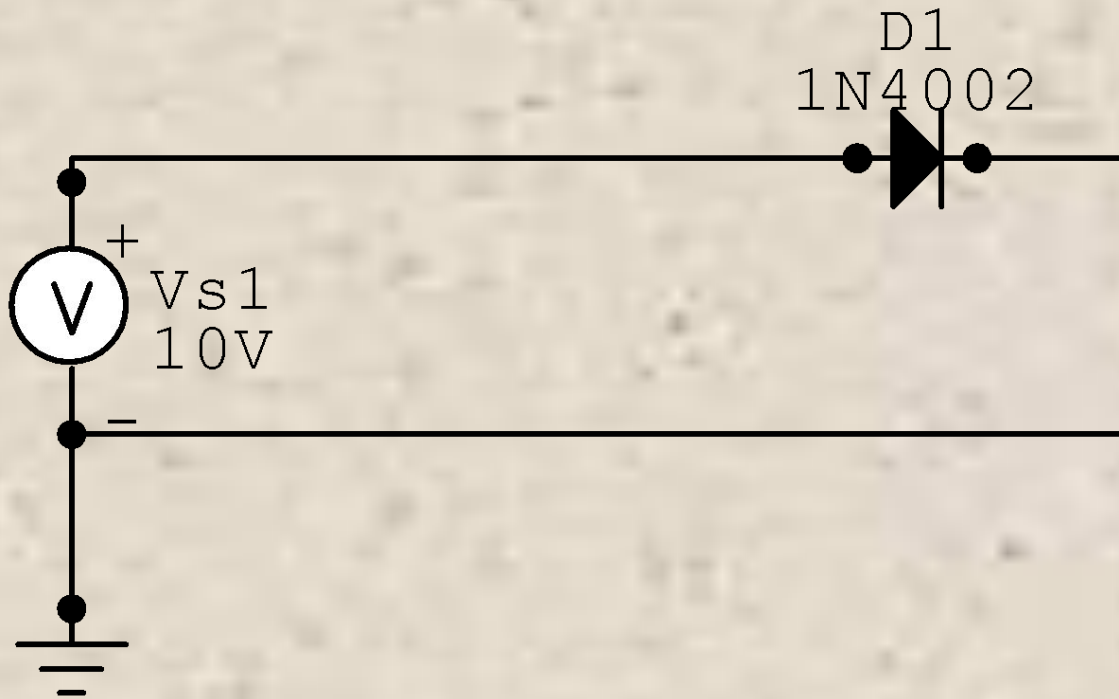
### 3. Opracowanie wyników pomiaru

W sprawozdaniu należy zamieścić:

- Schematy układów pomiarowych realizowanych na ćwiczeniu;
- Tabele pomiarowe z wynikami.
- Charakterystyki prądowo – napięciowe poszczególnych diod sporządzone na podstawie przeprowadzonych pomiarów.
- Wyznaczenie rezystancji statycznej i dynamicznej diody prostowniczej krzemowej i germanowej w kierunku przewodzenia dla określonej wartości prądu np. **10 mA** na podstawie pomiarów.
- Wyznaczenie rezystancji statycznej i dynamicznej wszystkich diod Zenera w kierunku zaporowym dla określonej wartości prądu np. **10 mA** na podstawie pomiarów.
- Wnioski.

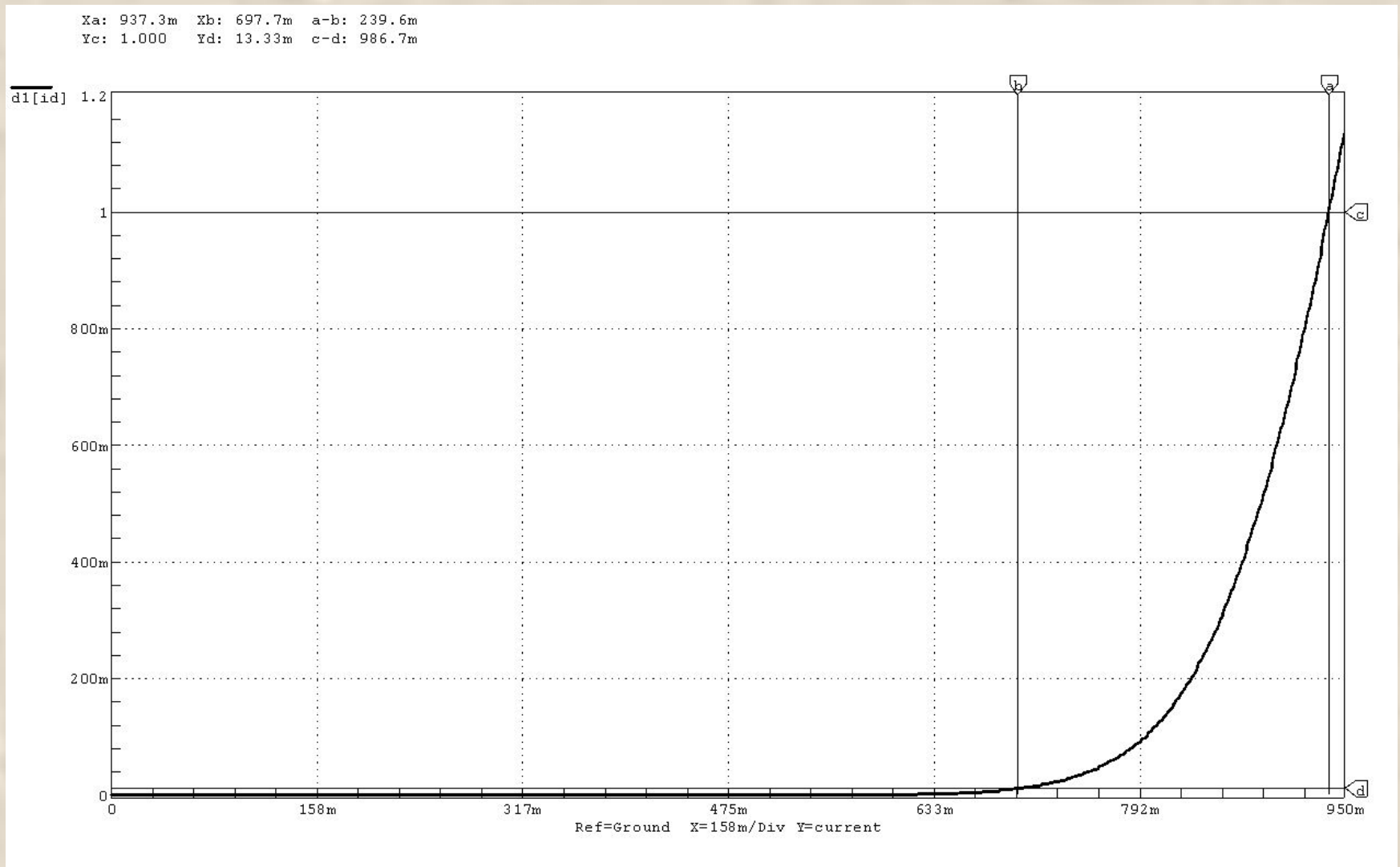


## Symulacje charakterystyk diody prostowniczej

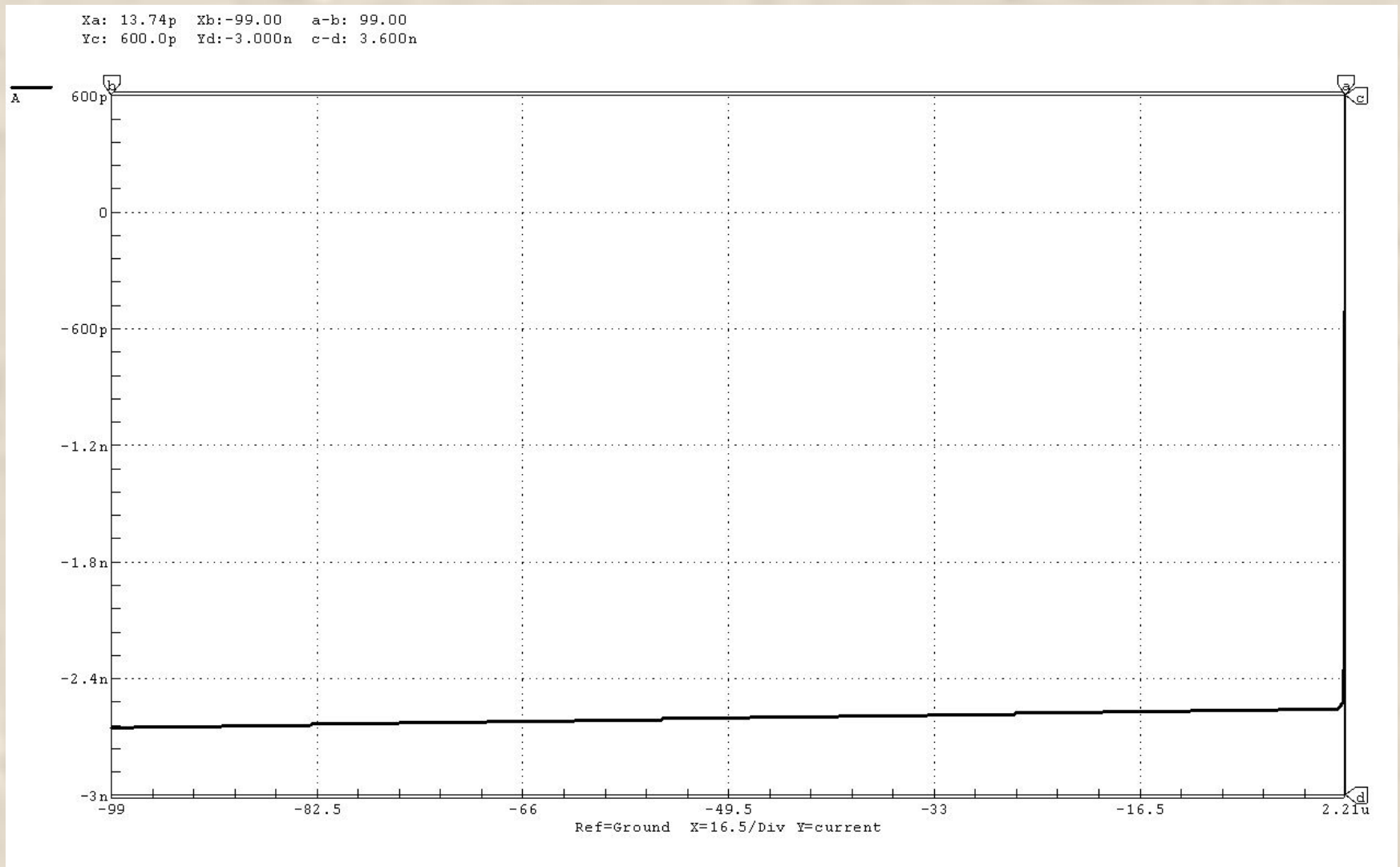


Rys 14. Układ do wyznaczania charakterystyki diody krzemowej 1N4002 (symulacja w programie CircuitMaker Student V6.2c)



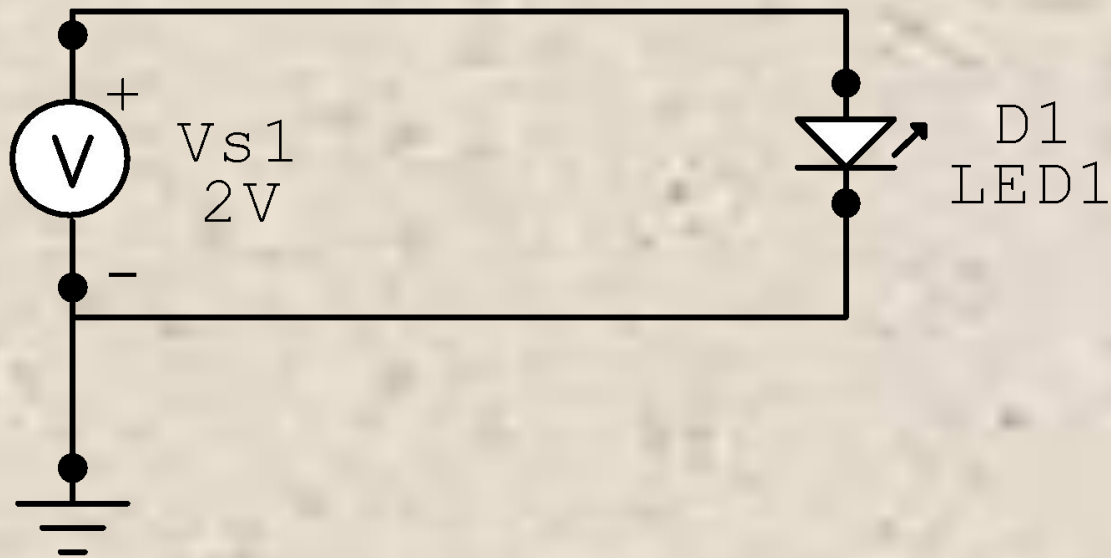


Rys 15. Charakterystyka diody krzemowej 1N4002 w kierunku przewodzenia (symulacja w programie CircuitMaker Student V6.2c)

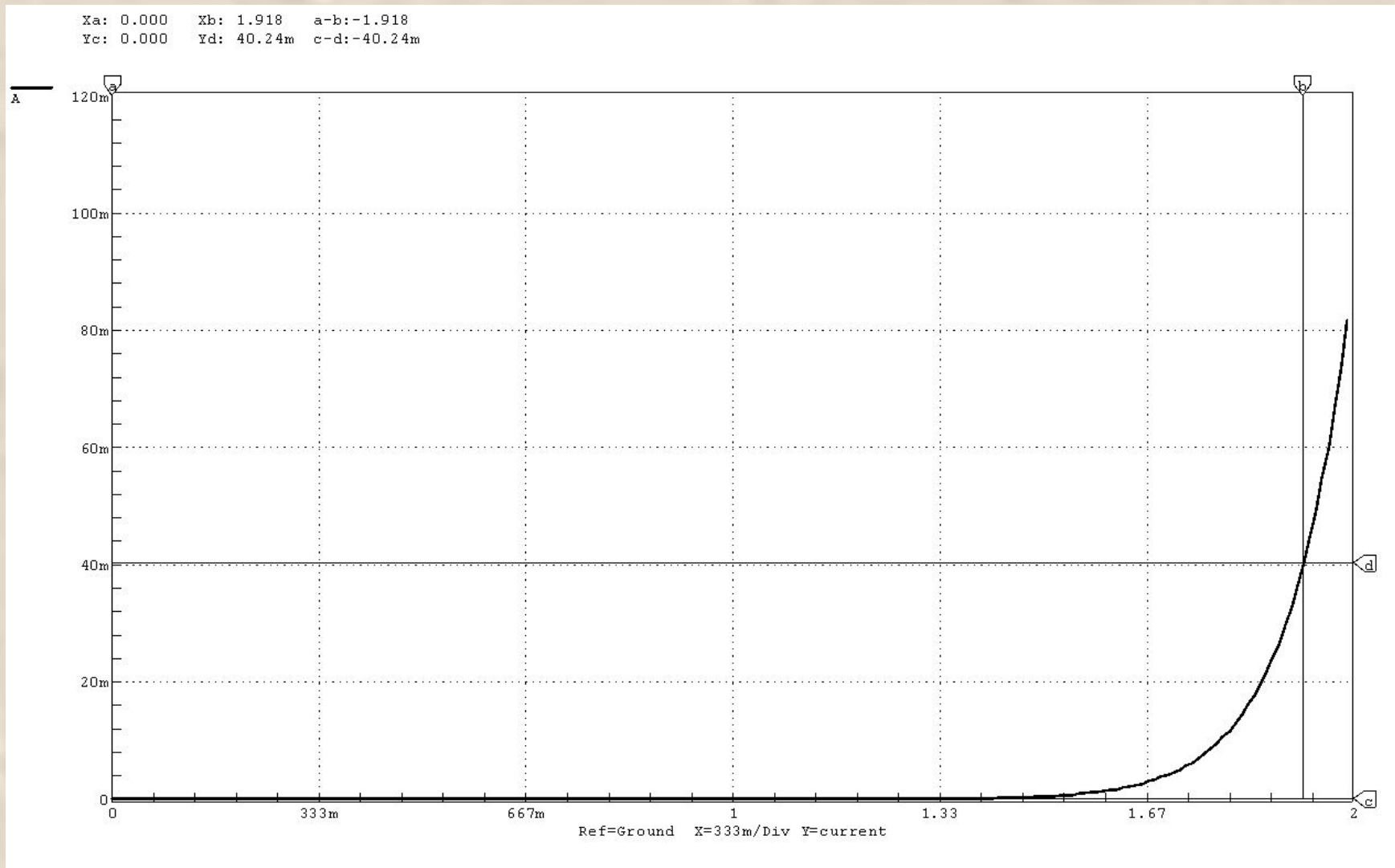


Rys 16. Charakterystyka diody krzemowej 1N4002 w kierunku zaporowym (symulacja w programie CircuitMaker Student V6.2c)

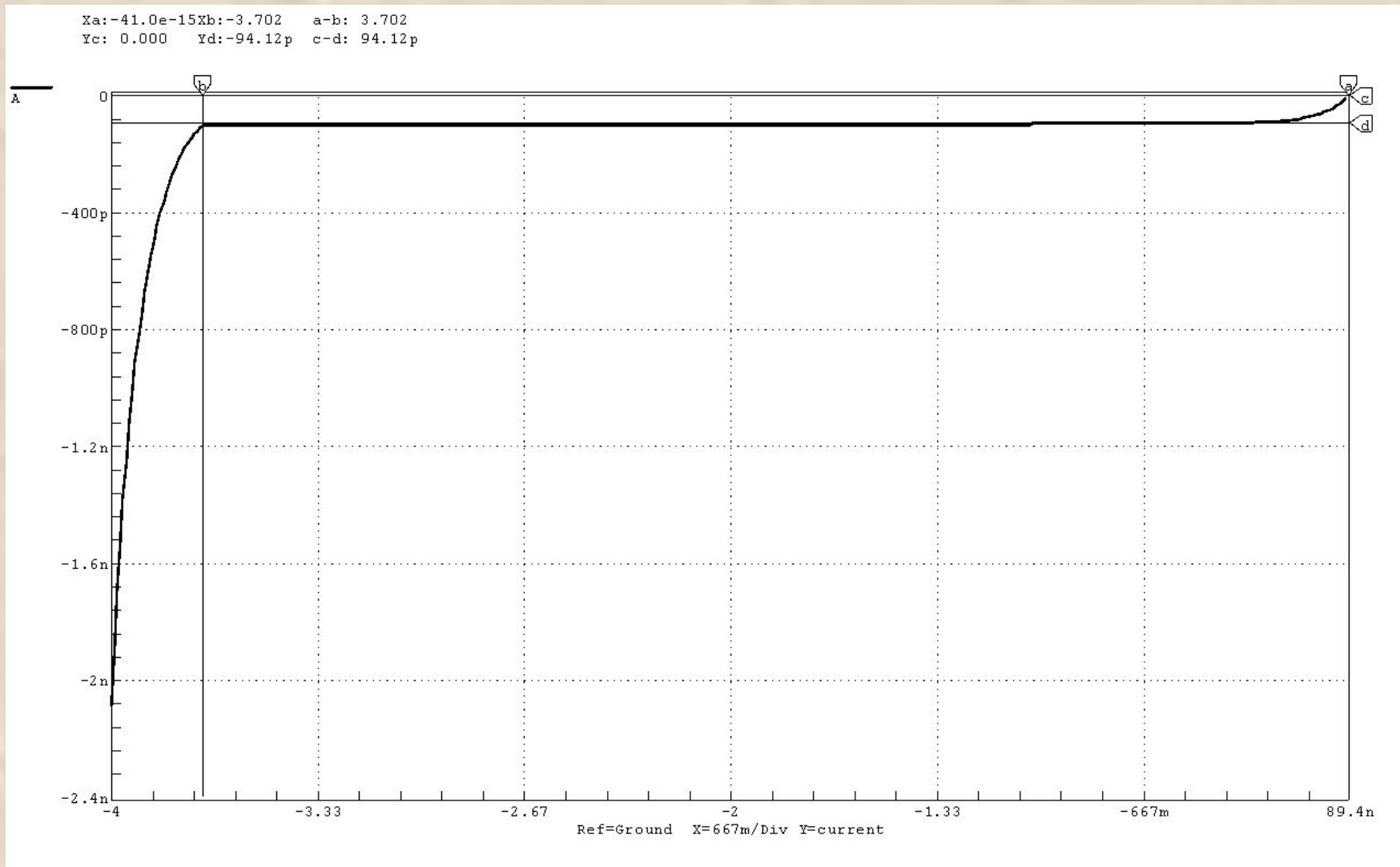
# Symulacje charakterystyk diody elektroluminescencyjnej



Rys 17. Układ do wyznaczania charakterystyki diody LED (czerwona)  
(symulacja w programie CircuitMaker Student V6.2c)

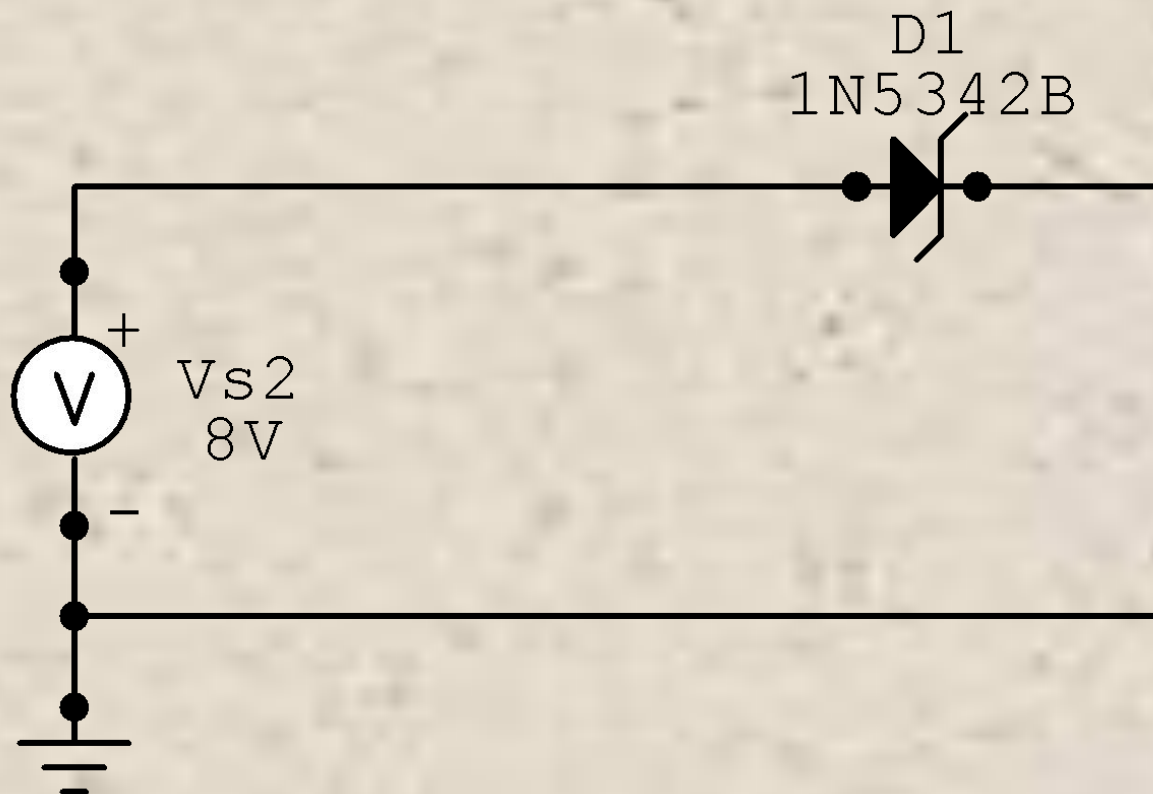


Rys 18. Charakterystyka diody LED (czerwona) w kierunku przewodzenia (symulacja w programie CircuitMaker Student V6.2c)

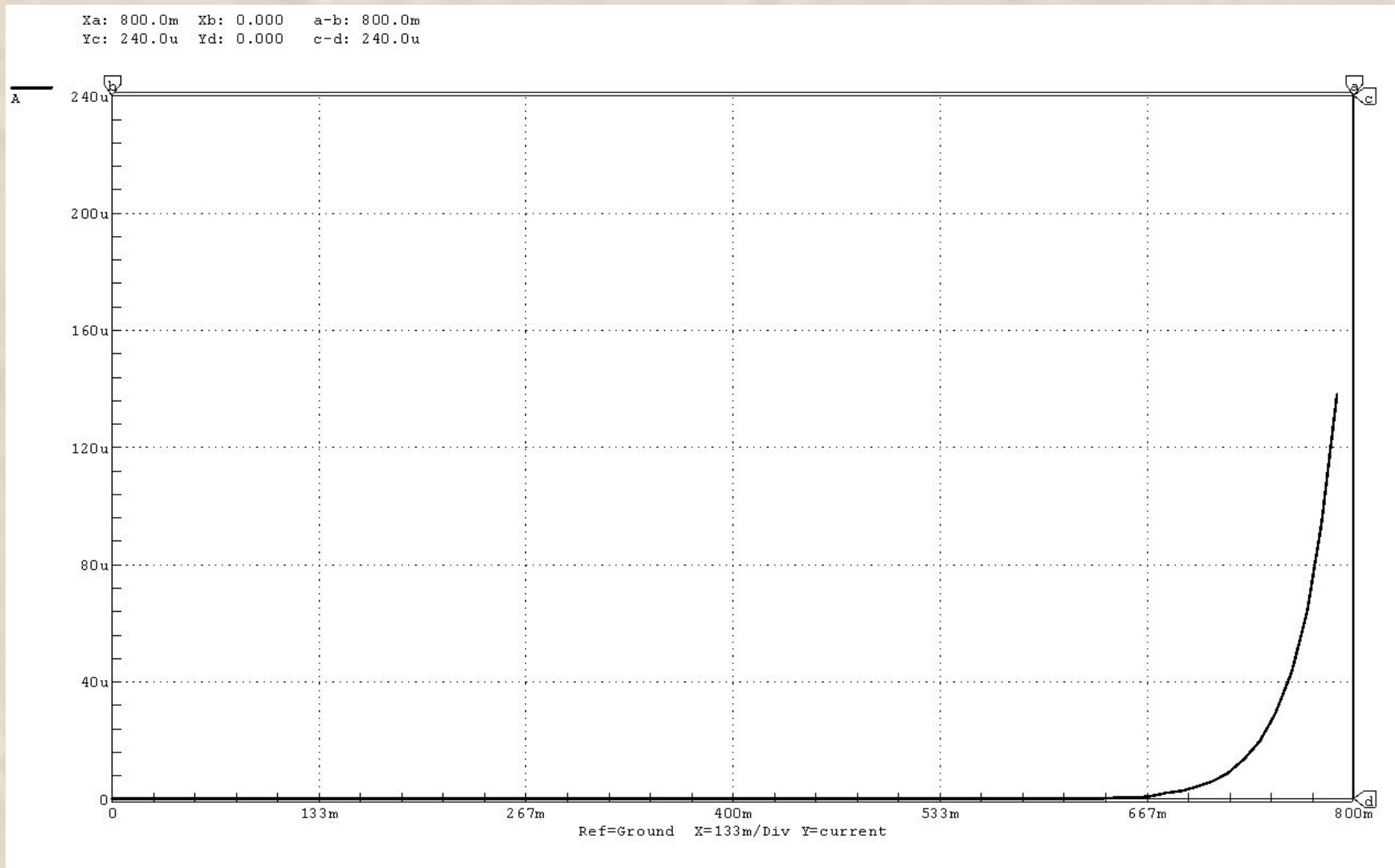


Rys 19. Charakterystyka diody LED (czerwona) w kierunku zaporowym (symulacja w programie CircuitMaker Student V6.2c)

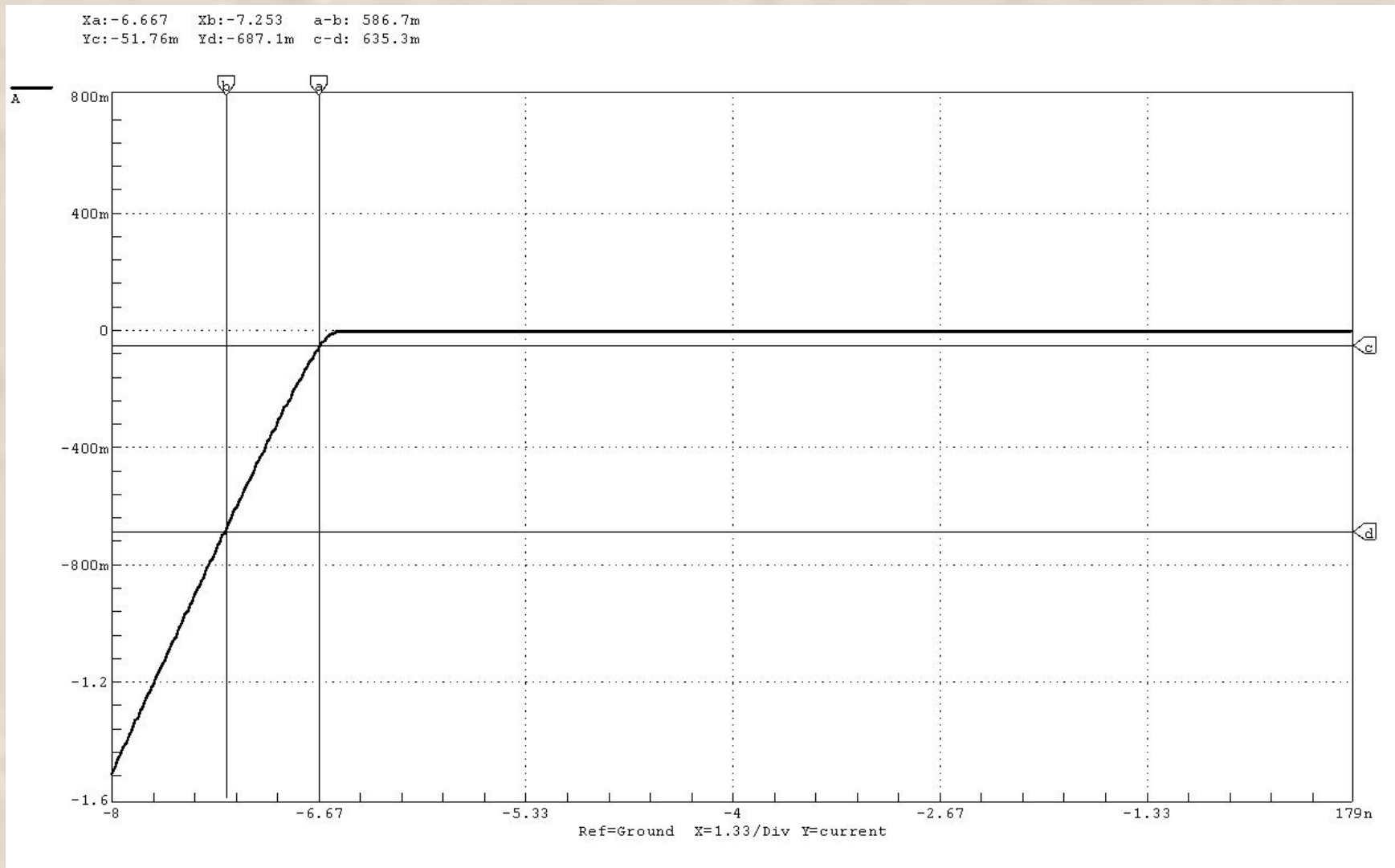
## Symulacje charakterystyk diody Zenara



Rys 20. Układ do wyznaczania charakterystyki diody Zenera 1N5342B 6V8 (symulacja w programie CircuitMaker Student V6.2c)



Rys 21. Charakterystyka diody Zenara 1N5342B 6V8 w kierunku przewodzenia (symulacja w programie CircuitMaker Student V6.2c)



Rys 22. Charakterystyka diody Zenara 1N5342B 6V8 w kierunku zaporowym (symulacja w programie CircuitMaker Student V6.2c)





**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Politechnika  
Świętokrzyska

**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



**Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego**

**Materiały dydaktyczne pomocnicze i informacyjne do przedmiotu**  
**PODSTAWY ELEKTRONIKI**

**Część II: „Badania laboratoryjne elementów i układów elektronicznych”,**  
zrealizowana w ramach zadania nr 9 projektu:  
„Program Rozwojowy Potencjału Dydaktycznego Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach: kształcenie na miarę sukcesu.”,  
nr umowy: UDA-POKL 04.01.01. – 175/08-00.

**DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ!**

Następna prezentacja pt.:

**Ćwiczenie 2:**  
**Badanie zasilaczy niestabilizowanych**