

**WOJSKOWA AKADEMIA  
TECHNICZNA  
INSTYTUT OPTOELEKTRONIKI**

**LABORATORIUM DETEKCJI SYGNAŁÓW OPTYCZNYCH**

|                         |   |                                     |
|-------------------------|---|-------------------------------------|
| <b>GRUPA:</b><br>.....  | <b>PROTOKÓŁ DO ĆWICZENIA nr .....</b>         |                                     |
| Skład podgrupy nr ..... | Temat ćwiczenia:                              |                                     |
|                         | <b>Pomiary parametrów fotodiody lawinowej</b> |                                     |
|                         | Data wykonania<br>ćwiczenia<br>.....          | Prowadzący<br>ćwiczenie<br>.....    |
|                         | Ocena<br>.....                                | Podpis<br>prowadzącego ćw.<br>..... |
| 1. ....                 |   |                                     |
| 2. ....                 |   |                                     |
| 3. ....                 |   |                                     |
| 4. ....                 |   |                                     |
| 5. ....                 |   |                                     |
| 6. ....                 |   |                                     |

Tab. 1. Dane urządzeń pomiarowych

| Lp. | Nazwa urządzenia | Marka/Typ | Numer | Podstawowe dane techniczne |
|-----|------------------|-----------|-------|----------------------------|
| 1   |                  |           |       |                            |
| 2   |                  |           |       |                            |
| 3   |                  |           |       |                            |
| 4   |                  |           |       |                            |
| 5   |                  |           |       |                            |
| 6   |                  |           |       |                            |

## 1. Wprowadzenie

W ćwiczeniu tym zostaną przebadane charakterystyki prądowo-napięciowe fotodiody lawinowej, w trzeciej ćwiartce układu współrzędnych.

Fotografię stanowiska laboratoryjnego przeznaczonego do badania tych charakterystyk przedstawiono na rys. 1.



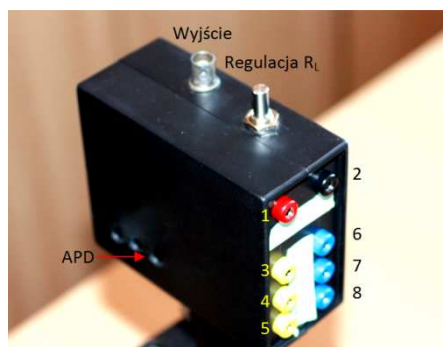
Rys. 1. Fotografia stanowiska przeznaczonego do pomiaru charakterystyk  $I$ - $V$  fotodiod lawinowych

Do wykonania ćwiczenia należy użyć następujących przyrządów:

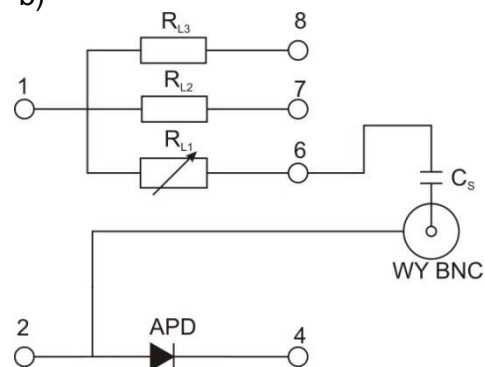
- oscyloskop RIGOL typ DS1052E,
- generator funkcyjny typ DF1641B,
- zasilacz regulowany MOTECH,
- zasilacz regulowany wysokonapięciowy POLON typ 2WN-42,
- multimetr cyfrowy,
- wzmacniacz transimpedancyjny,
- układ pomiarowy.

W celu zmierzenia charakterystyk  $I$ - $V$  fotodiody lawinowej, zbudowano układ pomiarowy, w którym umieszczono badaną fotodiode o powierzchni fotoczułej  $A = 1\text{mm}^2$ , ozn. APD. Fotografię układu pomiarowego przedstawiono na rys. 2a, natomiast schemat połączeń na rys. 2b.

a)



b)

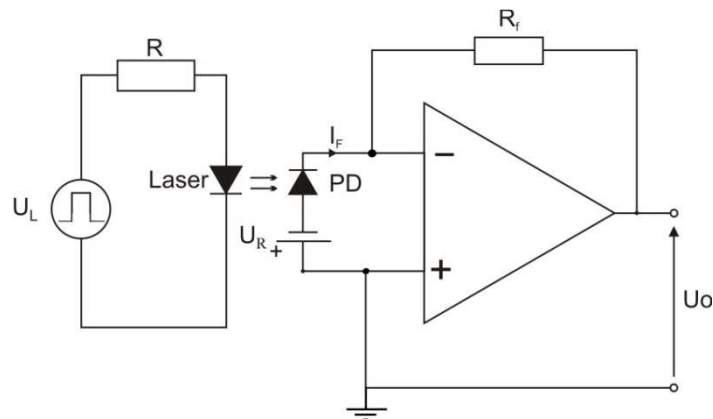


Rys. 2. Fotografia układu pomiarowego (a) i jego schemat połączeń (b)

## 2. Badanie fotodiody APD

### 2.1. Wyznaczanie charakterystyk prądowo-napięciowych fotodiody APD

Schemat ideowy układu do pomiaru charakterystyki prądowo-napięciowych fotodiody APD w III ćwiartce układu współrzędnych przedstawiono na rys. 3. Układ ten umożliwia pomiar charakterystyk  $I$ - $V$  dla różnych wartości mocy padającego promieniowania.



Rys. 3. Schemat ideowy układu do pomiaru charakterystyk prądowo-napięciowych fotodiody APD

### UWAGA!

**Nie wolno samodzielnie włączać zasilania wysokonapięciowego zasilacza regulowanego. Ze względów bezpieczeństwa, czynność ta może być wyłącznie wykonana przez prowadzącego ćwiczenie.**

W celu wykonania ćwiczenia należy połączyć układ pomiarowy wg. schematu przedstawionego na rys. 3. W tym celu należy:

- wejście sygnałowe (-) przedwzmacniacza połączyć z zaciskiem nr 4 układu pomiarowego (patrz rys. 2),
- wejście masy przedwzmacniacza połączyć zaciskiem (+) wysokonapięciowego zasilacza regulowanego,
- zacisk (-) wysokonapięciowego zasilacza regulowanego połączyć z zaciskiem nr 2 układu pomiarowego,
- wejście kanału nr 2 oscyloskopu połączyć z wyjściem przedwzmacniacza,
- przedwzmacniacz zasilić napięciem  $\pm 15V$  używając zasilacza regulowanego,
- w przedwzmacniaczu należy wybrać przełącznikiem wartość rezystora  $R_{f1}=24,9k\Omega$ ,
- wyjście generatora funkcyjnego połączyć z wejściem kanału nr 1 w oscyloskopie używając trójnika BNC-T,
- w generatorze funkcyjnym ustawić generację przebiegu prostokątnego,
- włączyć w generatorze funkcję „DC offset” oraz ustawić jej wartość na poziomie 2,5V (wartość tę należy kontrolować za pomocą oscyloskopu),

- ustawić częstotliwość generatora  $f=1\text{kHz}$ .
- ustawić wartość amplitudy generowanego przebiegu na poziomie  $U_L=4\text{V}$ ,
- po zatwierdzeniu ustawień przez prowadzącego ćwiczenie, podłączyć laser do trójnika BNC-T.
- oświetlić promieniowaniem lasera fotodiodę APD, tak aby uzyskać najwyższą wartości sygnału na wyjściu układu (sygnał należy obserwować na oscyloskopie),
- regulując za pomocą generatora funkcyjnego wartość napięcia zasilania lasera  $U_L$ , oraz wartość polaryzacji detektora za pomocą wysokonapięciowego zasilacza regulowanego w zakresie określonym w tabelach 2-4, odczytać za pomocą oscyloskopu wartość amplitudy sygnału wyjściowego oraz wartość sygnału szumów,
- wyniki zapisać w tab. 2-4.

Tab.2. Dane do wyznaczenia charakterystyki  $I$ - $V$  fotodiody APD (III ćw. układu współrzędnych).  $P_L= 0,1\text{mW}$ .

| $U_L$ [V]               | 3   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $U_R$ [V]               | 0   | 1   | 5   | 10  | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70  | 80  | 90  | 100 | 110 |
| $U_o$ [V]               |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $I_p$ [ $\mu\text{A}$ ] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $U_n$ [mV]              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $I_n$ [ $\mu\text{A}$ ] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| M                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $U_R$ [V]               | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 200 | 210 | 220 | 230 | 240 | 250 |
| $U_o$ [V]               |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $I_p$ [ $\mu\text{A}$ ] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $U_n$ [mV]              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $I_n$ [ $\mu\text{A}$ ] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| M                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

Tab. 3. Dane do wyznaczenia charakterystyki  $I$ - $V$  fotodiody APD (III ćw. układu współrzędnych).  $P_L= 0,3\text{mW}$ .

| $U_L$ [V]               | 3,2 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $U_R$ [V]               | 0   | 1   | 5   | 10  | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70  | 80  | 90  | 100 | 110 |
| $U_o$ [V]               |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $I_p$ [ $\mu\text{A}$ ] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $U_n$ [mV]              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $I_n$ [ $\mu\text{A}$ ] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| M                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $U_R$ [V]               | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 200 | 210 | 220 | 230 | 240 | 250 |
| $U_o$ [V]               |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $I_p$ [ $\mu\text{A}$ ] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $U_n$ [mV]              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $I_n$ [ $\mu\text{A}$ ] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| M                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

Tab. 4. Dane do wyznaczenia charakterystyki  $I$ - $V$  fotodiody APD (III ćw. układu współrzędnych).  $P_L = 0,4\text{mW}$ .

| $U_L$ [V]               | 4   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $U_R$ [V]               | 0   | 1   | 5   | 10  | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70  | 80  | 90  | 100 | 110 |
| $U_o$ [V]               |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $I_p$ [ $\mu\text{A}$ ] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $U_n$ [mV]              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $I_n$ [ $\mu\text{A}$ ] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| M                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $U_R$ [V]               | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 200 | 210 | 220 | 230 | 240 | 250 |
| $U_o$ [V]               |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $I_p$ [ $\mu\text{A}$ ] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $U_n$ [mV]              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $I_n$ [ $\mu\text{A}$ ] |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| M                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

## 2.2. Pomiar prądu ciemnego $I_{dark}$ fotodiody APD

W celu wykonania pomiaru prądu ciemnego fotodiody należy:

- zasłonić fotodiode ekranem,
- włączyć w oscyloskopie funkcję pomiaru napięcia  $V_{RMS}$  (f. measurement  $\rightarrow$  f. voltage  $\rightarrow V_{RMS}$ ),
- regulując napięcie polaryzacji wstecznej fotodiody  $U_R$  w zakresie określonym w tabeli 5 dokonać pomiaru napięcia nieoświetlonej fotodiody  $U_{dark}$  korzystając z funkcji pomiaru napięcia  $V_{RMS}$  oscyloskopu.

Tab. 5. Dane do wyznaczenia prądu ciemnego fotodiody APD.

| $U_R$ [V]       | 0 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 |
|-----------------|---|----|-----|-----|-----|-----|
| $U_{dark}$ [mV] |   |    |     |     |     |     |
| $I_{dark}$ [nA] |   |    |     |     |     |     |

### Opracowanie wyników pomiarów:

Na podstawie wyników pomiarów zanotowanych w tabelach 2-4 należy

- 1) wyznaczyć prąd fotodetektora  $I_p$  korzystając z zależności

$$I_p = -\frac{U_o}{R_f}, \quad (1)$$

- 2) wyznaczyć prąd szumu fotodetektora  $I_n$  korzystając z zależności

$$I_n = -\frac{U_n}{R_f}, \quad (2)$$

- 3) wyznaczyć prąd ciemny fotodetektora  $I_{dark}$  korzystając z zależności

$$I_{dark} = -\frac{U_{dark}}{R_f}, \quad (3)$$

- 4) wyznaczyć wartości współczynnika powielania  $M$  fotodiody APD korzystając z zależności

$$M = \frac{I_p - I_{dark}}{I_{ph}}, \quad (4)$$

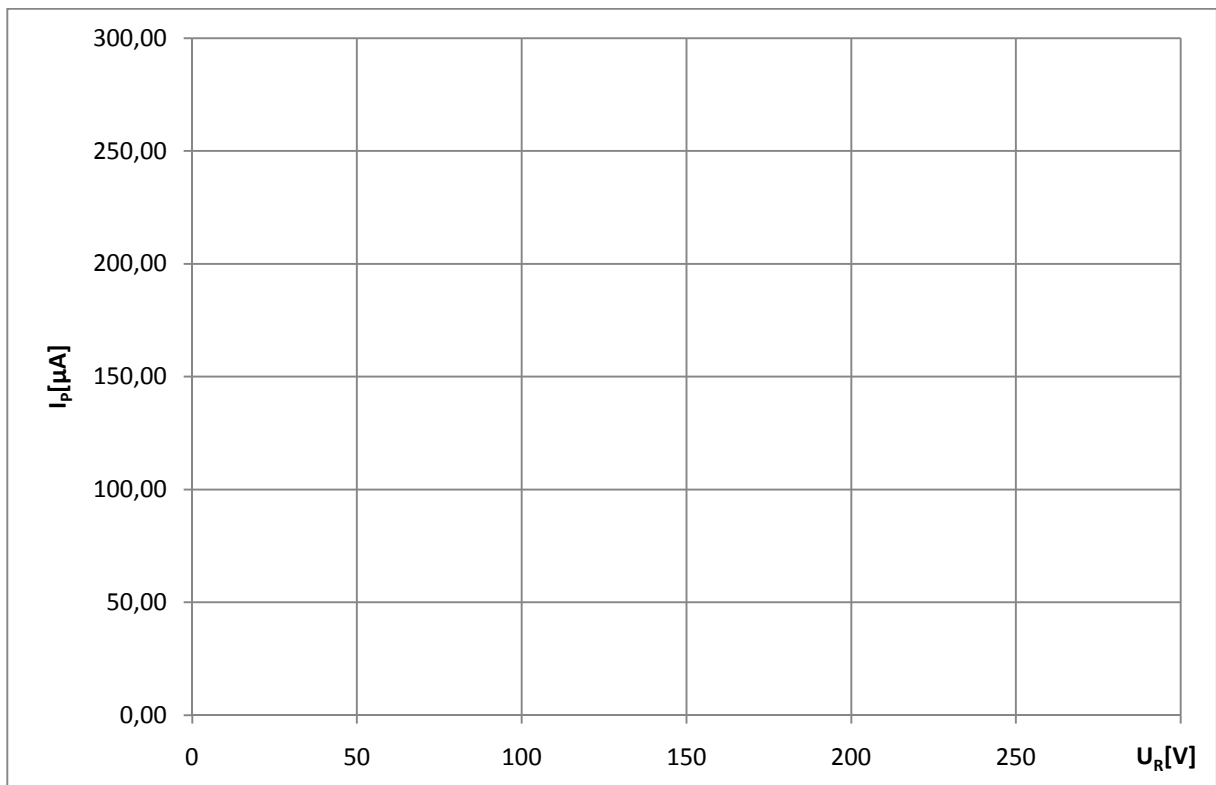
gdzie:

$I_{dark}$  - prąd ciemny fotodiody,

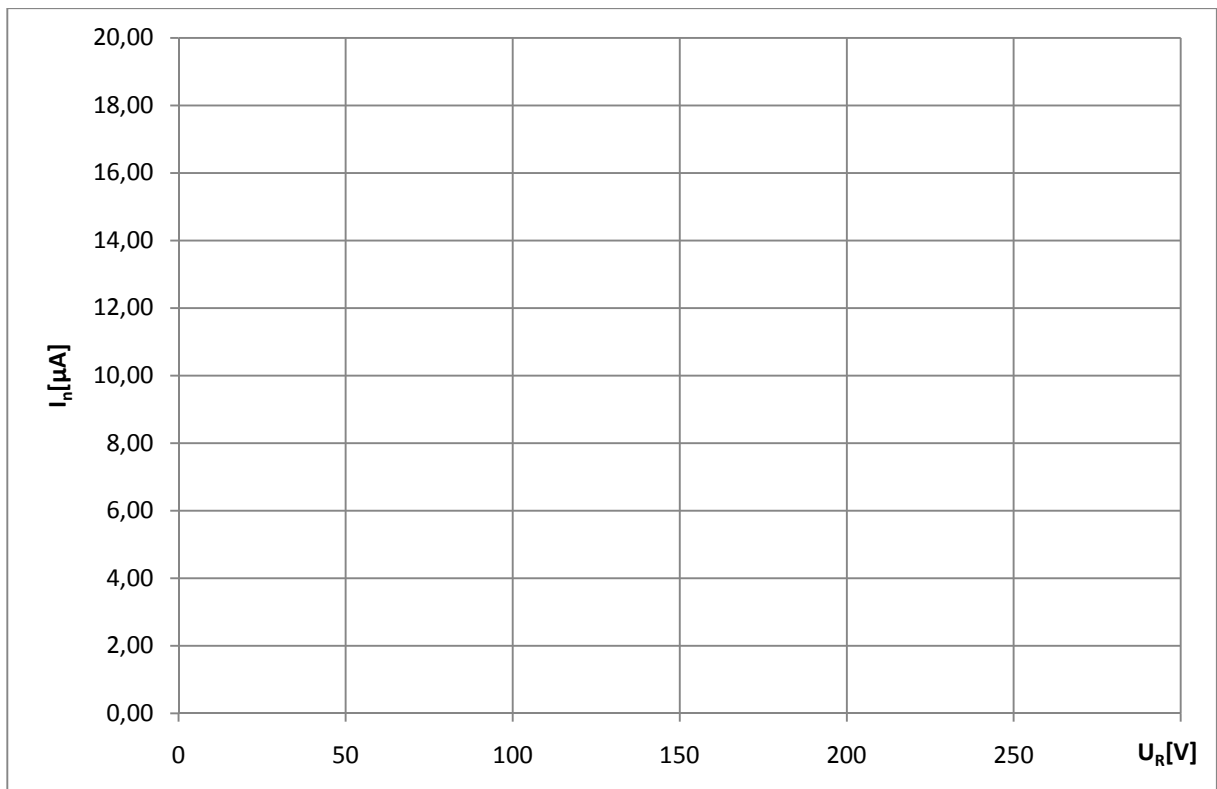
$I_{ph}$  - natężenie fotoprądu bez powielania,

$I_p$  - natężenie prądu wyjściowego fotodiody.

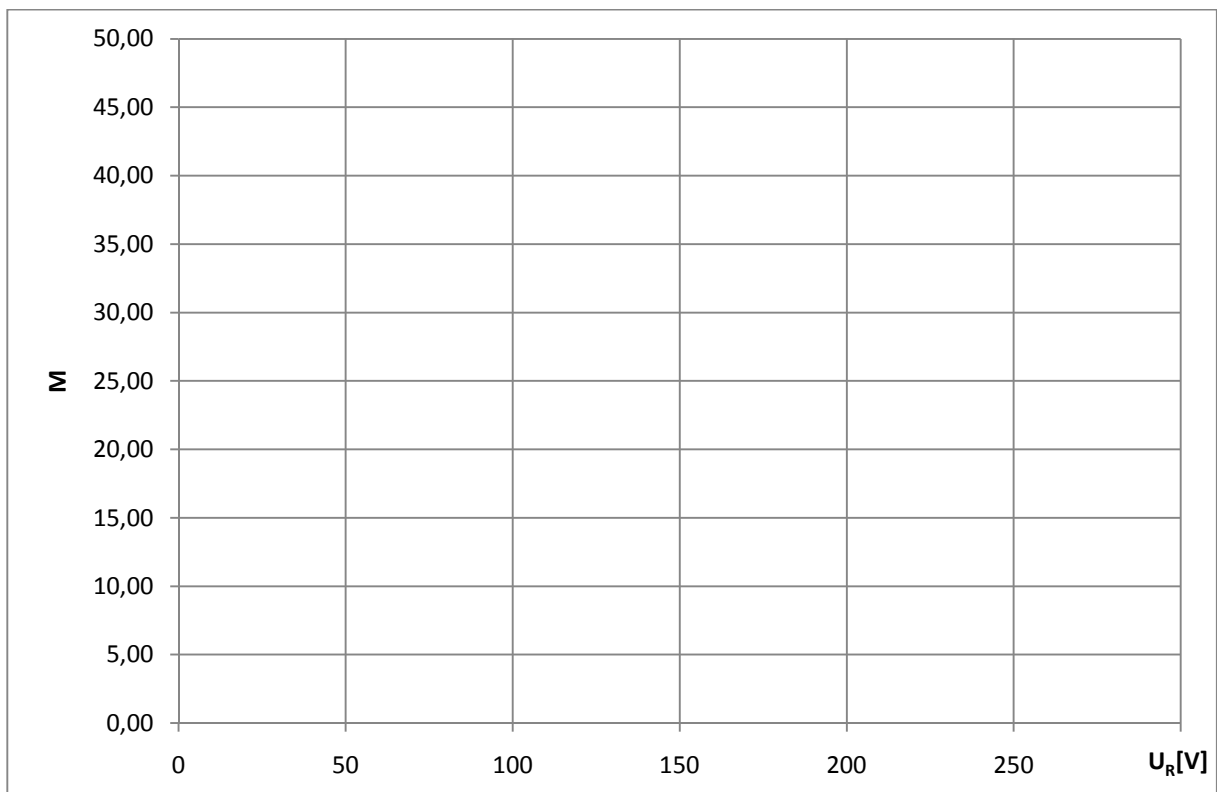
- 5) narysować wykres  $I_p = f(U_R)$  fotodiody APD dla trzech wartości mocy promieniowania lasera
- 6) narysować wykres  $I_n = f(U_R)$  fotodiody APD dla trzech wartości mocy promieniowania lasera
- 7) narysować wykres  $M = f(U_R)$  fotodiody APD dla trzech wartości mocy promieniowania lasera



Rys. 4. Charakterystyka  $I_p = f(U_R)$  fotodiody APD



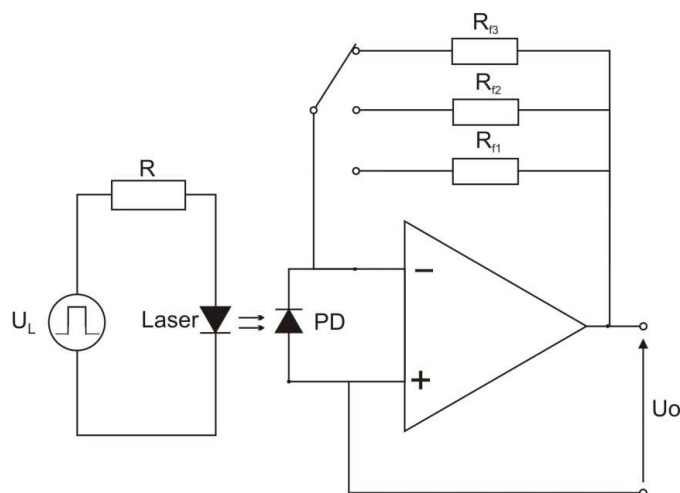
Rys. 5. Charakterystyka  $I_n = f(U_R)$  fotodiody APD



Rys. 6. Charakterystyka  $M = f(U_R)$  fotodiody APD

### 3. Wyznaczanie zakresu dynamiki układu fotodioda-przedwzmacniacz I-V

Schemat ideowy układu służącego do pomiaru zależności napięcia na wyjściu przedwzmacniacza od mocy promieniowania padającego na powierzchnię fotodiody (napięcia zasilania lasera) przedstawiono na rys. 7. Pomiary należy przeprowadzić dla 3 wartości wzmocnienia wzmacniacza (wart. rezystancji  $R_f$ ).



Rys. 7. Schemat ideowy układu do pomiaru zależności napięcia wyjściowego wzmacniacza transimpedancyjnego w funkcji mocy promieniowania padającego na powierzchnię detektora

W celu wykonania ćwiczenia należy połączyć układ wg schematu przedstawionego na rysunku nr 7. W tym celu należy:

- Wejście wzmacniacza połączyć z zaciskami nr 2 i nr 4 układu pomiarowego.
- Wejście kanału nr 2 oscyloskopu połączyć z wyjściem wzmacniacza.
- Układ wzmacniacza należy zasilić napięciem  $\pm 15V$ .
- W przedwzmacniaczu należy wybrać przełącznikiem wartość wzmocnienia określoną rezystorem  $R_{f1}$ .
- Wyjście generatora funkcyjnego należy połączyć z wejściem kanału nr 1 w oscyloskopie, używając trójnika BNC-T.
- W generatorze funkcyjnym należy ustawić generację przebiegu prostokątnego.
- Włączyć w generatorze funkcję „DC offset” oraz ustawić wartość napięcia na poziomie 2,5V (wartość tę należy kontrolować za pomocą oscyloskopu).
- Ustawić częstotliwość generatora  $f=1kHz$ .
- Ustawić wartość amplitudy generowanego przebiegu na poziomie  $U_L=4V$ .
- Po zatwierdzeniu ustawień przez prowadzącego ćwiczenie, podłączyć laser do trójnika BNC-T.



- Oświetlić promieniowaniem lasera fotodiodę APD, tak aby uzyskać najwyższą wartość sygnału na wyjściu układu (sygnał należy obserwować na oscyloskopie).
- Regulując za pomocą generatora funkcyjnego wartość napięcia zasilania lasera  $U_L$  w zakresie określonym w tabeli 6 odczytać za pomocą oscyloskopu wartość napięcia wyjściowego przedwzmacniacza.
- Wyniki zapisać w tab. 6.
- W przedwzmacniaczu należy wybrać przełącznikiem wartość wzmocnienia określoną rezystorem  $R_2$ .
- Regulując za pomocą generatora funkcyjnego wartość napięcia zasilania lasera  $U_L$  w zakresie określonym w tabeli 7, odczytać za pomocą oscyloskopu wartość napięcia wyjściowego przedwzmacniacza.
- Wyniki zapisać w tab. 7.
- W przedwzmacniaczu należy wybrać przełącznikiem wartość wzmocnienia określoną rezystorem  $R_3$ .
- Regulując za pomocą generatora funkcyjnego wartość napięcia zasilania lasera  $U_L$  w zakresie określonym w tabeli 8 odczytać za pomocą oscyloskopu wartość napięcia wyjściowego przedwzmacniacza.
- Wyniki zapisać w tab. 8.

Tab. 6.  $R_1=24,9k\Omega$

|       |   |     |     |     |     |   |     |     |     |     |   |     |     |     |     |   |
|-------|---|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|---|
| $U_L$ | 2 | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 2,8 | 3 | 3,2 | 3,4 | 3,6 | 3,8 | 4 | 4,2 | 4,4 | 4,6 | 4,8 | 5 |
| $U_o$ |   |     |     |     |     |   |     |     |     |     |   |     |     |     |     |   |

Tab.7.  $R_2=99k\Omega$

|       |   |     |     |     |     |   |     |     |     |     |   |     |     |     |     |   |
|-------|---|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|---|
| $U_L$ | 2 | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 2,8 | 3 | 3,2 | 3,4 | 3,6 | 3,8 | 4 | 4,2 | 4,4 | 4,6 | 4,8 | 5 |
| $U_o$ |   |     |     |     |     |   |     |     |     |     |   |     |     |     |     |   |

Tab.8.  $R_3=1,1M\Omega$

|       |   |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |   |
|-------|---|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|---|
| $U_L$ | 2 | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 2,8 | 3 | 3,1 | 3,2 | 3,4 | 3,6 | 3,8 | 4 | 4,2 | 4,4 | 4,6 | 4,8 | 5 |
| $U_o$ |   |     |     |     |     |   |     |     |     |     |     |   |     |     |     |     |   |

### Opracowanie wyników pomiarów:

1. Wyniki pomiarów zanotowanych w tabelach 6-8 należy przedstawić na wykresie:  
 $U_o = f(U_L)$ .
2. Opisać wpływ wzmocnienia wzmacniacza transimpedancyjnego na dynamikę pracy układu fotodetektor-przedwzmacniacz.



