

ELEMENTY PÓLPRZEWODNIKOWE	NORMA BRANŻOWA	BN-69
	Oporniki fotoelektryczne czułe na podczerwień Metody badań elektrycznych i świetlnych	3375-02
		XIX-21
		Grupa katalogowa V-99

### 1 WSTĘP

**1.1. Przedmiot normy.** Przedmiotem normy są metody badań elektrycznych i świetlnych oporników fotoelektrycznych przeznaczonych do pracy w obszarze promieniowania podczerwonego.

**1.2. Zakres stosowania normy.** Norma obejmuje metody pomiaru:

- oporu ciemnego (3.1),
- czułości (3.2),
- rozkładu widmowego czułości (3.3),
- stałej czasowej (3.4),
- napięcia szumu (3.5),
- mocy równoważnej szumowi (3.6),
- wykrywalności (3.7),
- czułości i napięcia szumu w funkcji temperatury (3.8),
- oporu izolacji opornika fotoelektrycznego (3.9),
- oraz sprawdzenia:
  - dopuszczalnego napięcia zasilania (3.10),
  - trwałości (3.11),
  - wytrzymałości izolacji (3.12).

### 1.3. Normy związane

PN-62/T-01010 Lampy elektronowe. Nazwy i określenia

BN-67/3271-46 Metody badań świetlnych i elektrycznych oporników fotoelektrycznych na promieniowanie widzialne

### 1.4. Określenia

**1.4.1. Powierzchnia czynna** - powierzchnia materiału fotoczułego zawarta pomiędzy elektrodami opornika fotoelektrycznego.

**1.4.2. Opór ciemny** - opór całkowicie zaciemnionego opornika fotoelektrycznego.

**1.4.3. Napięcie sygnału** - napięcie zmienne występujące na oporniku obciążenia połączonym szeregowo ze źródłem zasilania i z opornikiem fotoelektrycznym, gdy na jego powierzchnię czynną pada zmodulowany strumień promieniowania.

**1.4.4. Napięcie szumu** - napięcie zmienne mierzone w określonym przedziale częstotliwości na

oporniku obciążenia połączonym szeregowo z zaciemnionym opornikiem fotoelektrycznym i źródłem zasilania.

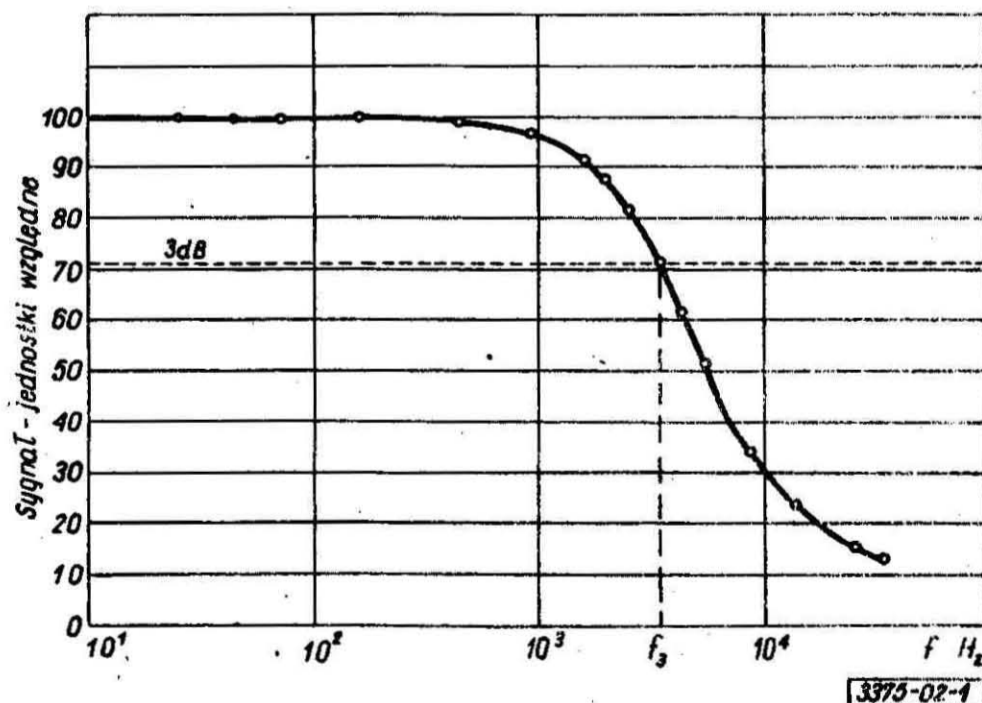
**1.4.5. Stosunek sygnału do szumu** - stosunek napięcia sygnału do napięcia szumu mierzony w określonym przedziale częstotliwości, dla którego częstość modulacji promieniowania jest częstością środkową.

**1.4.6. Ciało doskonale czarne** - termiczne źródło promieniowania, którego charakterystyka spektralna wypromieniowanej energii jest zgodna z prawem Plancka.

**1.4.7. Czulość** - stosunek napięcia sygnału do mocy padającego na powierzchnię czynną promieniowania ciała doskonale czarnego o określonej temperaturze.

**1.4.8. Rozkład widmowy czułości** - stosunek napięcia sygnału do mocy promieniowania monochromatycznego padającego na powierzchnię czynną, przedstawiony w funkcji długości fali.

**1.4.9. Stała czasowa** - odwrotność częstotliwości kołowej modulacji promieniowania, przy której napięcie sygnału spada o 3 dB w stosunku do wartości odpowiadającej częstotliwości zerowej (rys. 1).



Rys. 1. Zależność napięcia sygnału od częstotliwości modulacji promieniowania

Przemysłowy Instytut Elektroniki  
Ustanowiona przez Dyrektora Zjednoczenia Przemysłu Elektronicznego i Teletechnicznego „Unitra” dnia 21 czerwca 1969 r.  
jako norma obowiązująca w zakresie metod badań od dnia 1 stycznia 1970 r.  
(Mon. Pol. nr 40/1969 poz. 334)

**1.4.10. Moc równoważna szumowi** - moc promieniowania ciała doskonale czarnego o określonej temperaturze, padającego na powierzchnię czynną, dla której stosunek sygnału do szumu jest równy jedności.

**1.4.11. Wykrywalność  $D$**  - stosunek napięcia sygnału do napięcia szumu odpowiadający jednostkowej mocy promieniowania ciała doskonale czarnego padającego na powierzchnię czynną.

**1.4.12. Wykrywalność  $D^*$**  - wykrywalność równoważnego detektora o jednostkowej powierzchni, współpracującego z układem pomiarowym o jednostkowej szerokości pasma przenoszenia.

**1.4.13. Dopuszczalne napięcie zasilania** - górna granica przedziału napięć, w którym zależność czułości od napięcia zasilania jest liniowa.

## 2. OGÓLNE WARUNKI BADAŃ

**2.1. Pomieszczenie pomiarowe.** Badania należy przeprowadzać w pomieszczeniu zaciemnionym o temperaturze  $22 \pm 5^\circ\text{C}$  i wilgotności względnej nie przekraczającej 75%.

**2.2. Źródła promieniowania.** Podstawowym źródłem promieniowania, które należy stosować przy pomiarach czułości oporników fotoelektrycznych na podczerwień, jest model ciała doskonale czarnego. Funkcję tę spełnia mały otwór w ekranie pieca, którego wewnątrz znajduje się w stanie równowagi termicznej i ma ściśle określoną temperaturę, a mianowicie: 200, 300 lub  $500^\circ\text{K}$ .

Temperaturę należy mierzyć w sposób ciągły za pomocą termopary wprowadzonej do wnęki pieca i utrzymywać z dokładnością do  $\pm 2^\circ\text{C}$ .

Przy pomiarach rozkładu widmowego czułości należy stosować żarówki o możliwie dużej mocy z włóknem skupionym, najlepiej wstęgowe. W obszarze dalszej podczerwieni, poza granicą przepuszczalności bańki żarówki, konieczne jest stosowanie promienników otwartych z prętem silitowym (globarem) lub włóknem Nernsta.

**2.3. Modułacja promieniowania.** Należy stosować sinusoidalną modułację promieniowania z częstotliwością 1000 Hz, jeśli pozwala na to stała czasowa opornika fotoelektrycznego oraz jeśli w normie przedmiotowej na dany typ opornika nie ustalono innej częstotliwości. Modulator mechaniczny powinien być wykonany w postaci tarczy o odpowiedniej liczbie otworów, umieszczonej na wale silnika synchronicznego. W celu uzyskania sinusoidalnego kształtu modułacji otwory w tarczy modulatora powinny mieć średnicę równą średnicy otworu w ekranie, spełniającym rolę ciała doskonale czarnego. Odległości między brzegami otworów powinny być równe średnicy otworu. Tarcza modulatora powinna być poczerniona i umieszczona między dwoma zaciemnionymi, chłodzonymi ekranami.

**2.4. Wzmacnianie i detekcja sygnału.** Napięcie sygnału należy wzmacniać za pomocą selektywnego wzmacniacza o oporze wejściowym nie mniejszym niż 10-krotna wartość największego oporu stosowanych oporników obciążenia. Wzmacniacz powinien być nastrojony na częstotliwość równą częstotliwości modułacji promieniowania. Pasma przenoszenia wzmacniacza nie powinno być większe niż  $1/4$  wartości częstotliwości modułacji. Napięcie szumów własnych wzmacniacza odniesione do wejścia nie powinno przekraczać  $1/5$  najmniejszego napięcia szumu badanych oporników fotoelektrycznych. Na wejściu wzmacniacza należy podłączyć detektor o charakterystyce kwadratowej. Charakterystyka wzmocnienia wzmacniacza powinna być liniowa z dokładnością do 2% dla sinusoidalnych napięć wejściowych w zakresie od zera do 5-krotnej wartości napięcia, które przyłożone do wejścia wzmacniacza powoduje pełne wychylenie miernika załączonego na wyjściu.

Jeśli przy pomiarach rozkładu widmowego czułości ze względu na małą moc promieniowania na wyjściu monochromatora nie można uzyskać stosunku sygnału do szumu większego niż 5 w całym zakresie pomiarowym, należy stosować detekcję homodynową.

**2.5. Temperatura opornika fotoelektrycznego.** Opornik fotoelektryczny przed dokonaniem pomiaru powinien uzyskać równowagę termiczną w temperaturze określonej w normie przedmiotowej na dany typ opornika jako temperatura pracy. Jeśli dla danego typu opornika fotoelektrycznego nie jest przewidziane chłodzenie, to pomiary należy dokonywać w temperaturze  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ . W celu zapewnienia stabilności temperatury w czasie pomiarów oporniki fotoelektryczne należy umieszczać w metalowych oprawkach pomiarowych o dużej masie (rzędu 2 kg). Oprawkę z opornikiem fotoelektrycznym należy umieścić przed pomiarem w ultratermostacie na okres konieczny dla osiągnięcia wymaganej temperatury, nie krótszy jednak niż  $1/2$  godz.

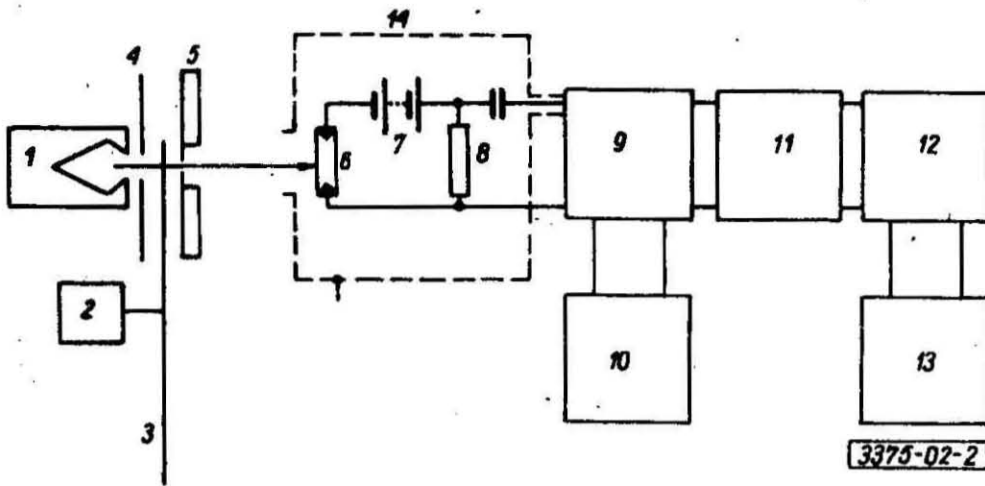
## 3. METODY BADAŃ

**3.1. Pomiar oporu ciemnego** należy przeprowadzić za pomocą mostka do pomiaru oporu lub megaomierza lampowego o dokładności pomiaru nie mniejszej niż 2%.

Opornik fotoelektryczny należy na czas pomiaru umieścić w komorze światłoszczelnej. Pomiar należy przeprowadzić w warunkach spolaryzowania napięciem stałym o wartości zbliżonej do napięcia pracy określonego w normie przedmiotowej na dany typ opornika fotoelektrycznego. W żadnym wypadku nie należy stosować przyrządu, którego napięcie pomiarowe przekracza wartość dopuszczalną napięcia zasilania opornika fotoelektrycznego.

**3.2. Pomiar czułości opornika fotoelektrycznego** należy przeprowadzić w układzie przedstawionym na rys. 2.





Rys. 2. 1 - ciało doskonale czarne; 2 - silnik modulatora; 3 - tarcza modulatora; 4 - ekran z otworem; 5 - ekran chłodzony z otworem kalibrowanym; 6 - opornik fotoelektryczny; 7 - źródło napięcia zasilającego; 8 - opornik obciążenia; 9 - wzmacniacz selektywny; 10 - oscylograf katodowy; 11 - detektor kwadratowy; 12 - filtr RC; 13 - miernik wychyłowy 14 - ekran elektrostatyczny

Powierzchnię czynną opornika fotoelektrycznego należy oświetlić promieniowaniem ciała doskonale czarnego 1 o temperaturze  $300 \pm 2^\circ\text{C}$ , zmodulowanym z częstotliwością 1000 Hz, a następnie mierzyć napięcie sygnału na oporniku obciążenia połączonym szeregowo z opornikiem fotoelektrycznym i źródłem zasilania. Wartości napięcia zasilania i oporu obciążenia określono w normie przedmiotowej na dany typ opornika fotoelektrycznego. W przypadku gdy opór obciążenia nie jest określony w normie przedmiotowej, należy dobrać wartość tego oporu tak, aby był równy oporowi ciemnemu opornika fotoelektrycznego z dokładnością do  $\pm 10\%$ .

Czułość opornika fotoelektrycznego należy obliczyć wg wzoru

$$V = \frac{U_s}{P} \left[ \frac{\text{V}}{\text{W}} \right] \quad (1)$$

w którym:

$U_s$  - napięcie sygnału zmierzone miernikiem 13 (rys. 2), V,

$P$  - moc promieniowania padającego na powierzchnię czynną, W.

Moc promieniowania padającego na powierzchnię czynną opornika należy obliczyć wg wzoru

$$P = \frac{A \cdot a \cdot \delta (T^4 - T_0^4)}{4 \pi d^2} \quad [\text{W}] \quad (2)$$

w którym:

$A$  - powierzchnia czynna opornika fotoelektrycznego,  $\text{cm}^2$ ,

$a$  - powierzchnia otworu w ekranie ciała doskonale czarnego,  $\text{cm}^2$ ,

$\delta$  - stała Stefana,  $\delta = 5,673 \cdot 10^{-13} \text{ W/cm}^2 \cdot \text{K}^4$ ,

$T$  - temperatura ciała doskonale czarnego,  $^\circ\text{K}$ ,

$T_0$  - temperatura otoczenia,  $^\circ\text{K}$ ,

$d$  - odległość powierzchni czynnej opornika fotoelektrycznego od otworu w ekranie, cm.

Odległość  $d$  nie powinna być mniejsza niż 50 średnic otworu w ekranie. Typowe wartości są następujące: średnica otworu w ekranie = 0,3 cm, odległość  $d = 25$  cm.

Moc promieniowania padającego na powierzchnię czynną opornika fotoelektrycznego powinna być wystarczająco duża, aby stosunek sygnału do szumu był większy niż 10. Jeśli osiągnięcie tego wymagania nie jest możliwe bez naruszenia poprzedniego warunku ( $d \geq 50$  średnic otworu w ekranie), to należy skorygować odczytaną wartość napięcia sygnału wg wzoru

$$U'_s = \sqrt{U_s^2 - U_n^2} \quad (3)$$

w którym:

$U'_s$  - rzeczywiste napięcie sygnału, V,

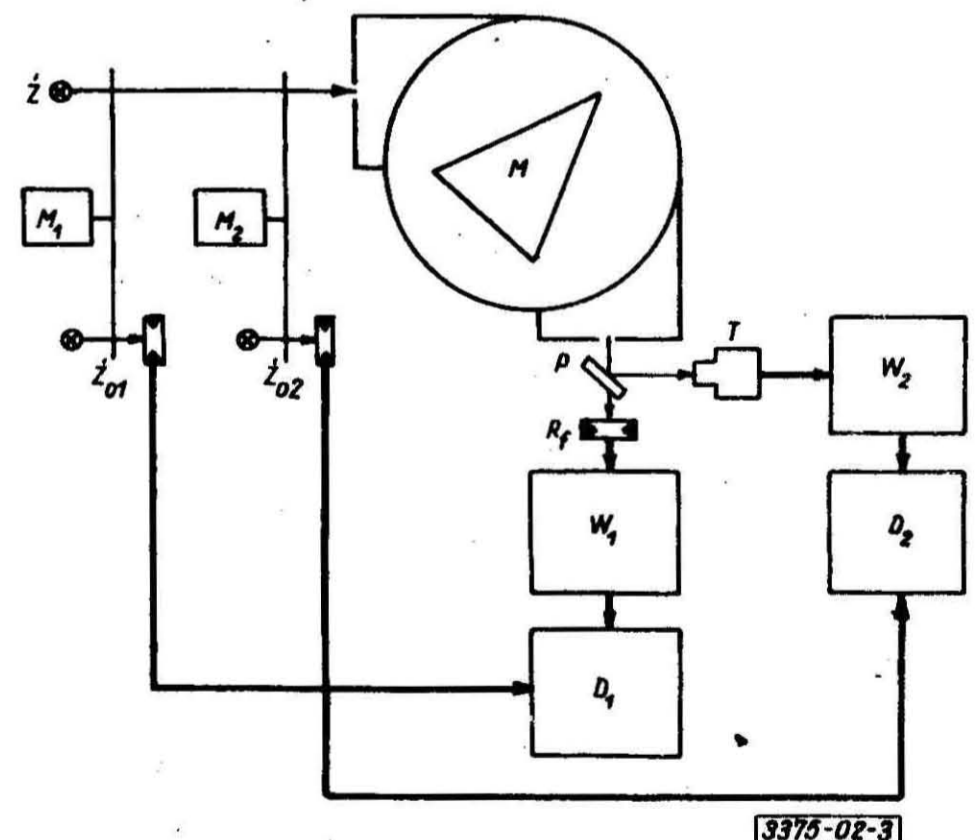
$U_s$  - odczytane z miernika napięcia sygnału, V,

$U_n$  - napięcie szumu, V.

Do wzoru (1) należy w tym przypadku podstawić wartości  $U'_s$ .

**3.3. Pomiar rozkładu widmowego czułości.** Pomiar należy przeprowadzić w układzie przedstawionym schematycznie na rys. 3. Należy mierzyć napięcie sygnału, gdy na opornik fotoelektryczny pada promieniowanie monochromatyczne i energię tego promieniowania.

Promieniowanie źródła  $Z$  powinno być dwukrotnie modułowane z częstotliwościami  $f_1$  i  $f_2$ . Częstotliwość  $f_1$  stanowi częstotliwość modulacji stosowaną przy pomiarze czułości, tzn. 1000 Hz (jeśli w normie przedmiotowej na dany typ opornika fotoelektrycznego nie ustalono innej wartości).



Rys. 3.  $Z$  - źródło promieniowania (żarówka wstęgową lub globar);  $M_1$  - modulator o częstotliwości  $f_1$ ;  $M_2$  - modulator o częstotliwości  $f_2$ ;  $Z_{01}$  i  $Z_{02}$  - źródła napięcia odniesienia o częstotliwości  $f_1$  i  $f_2$ ;  $M$  - monochromator;  $R_f$  - opornik fotoelektryczny;  $T$  - termoelement próżniowy;  $W_1$  i  $W_2$  - wzmacniacze selektywne dla częstotliwości  $f_1$  i  $f_2$ ;  $D_1$ ,  $D_2$  - detektory homodynowe dla częstotliwości  $f_1$  i  $f_2$ ;  $P$  - płytka odbijająca

Częstotliwość  $f_2$  powinna być rzędu kilku lub kilkunastu Hz. Należy tak ustalać częstotliwości modulacji, aby żadna z nich nie była harmoniczną drugiej. Szczeliny monochromatora należy ustawić na równą szerokość tak dobraną, aby szerokość pasma długości fal promieniowania monochromatycznego na wyjściu nie przekraczała 5% długości fali odpowiadającej środkowi tego pasma.

Badany opornik fotoelektryczny należy umieścić w wiązce promieniowania monochromatycznego na wyjściu monochromatora. Wymagania dotyczące napięcia zasilania i oporności obciążenia opornika fotoelektrycznego określono w normie przedmiotowej na dany typ opornika fotoelektrycznego.

Sygnal należy mierzyć tak jak przy wyznaczaniu czułości (p. 3.2) stosując przeliczenie wg wzoru (3), jeśli stosunek sygnału do szumu jest mniejszy niż 10. W zakresie wartości stosunku sygnału do szumu od  $1/10$  do 5 należy stosować detektor homodynowy z filtrem o dużej stałej czasowej. Odczyty wskazań miernika nie wymagają w tym przypadku przeliczeń wg wzoru (3). Gdy stosunek sygnału do szumu jest większy niż 5, dopuszczalne jest stosowanie normalnego detektora kwadratowego. Źródło napięcia odniesienia jest wtedy zbędne.

Część wiązki promieniowania monochromatycznego z wyjścia monochromatora należy skierować na powierzchnię czynną termoelementu próżniowego. Sygnal z termoelementu jest proporcjonalny do wartości skutecznej mocy promieniowania na wyjściu monochromatora. Wskazania dotyczące sposobu detekcji i pomiaru sygnału z termoelementu są takie same jak dla sygnału opornika fotoelektrycznego.

Zmieniając położenie bębna monochromatora należy zmierzyć sygnały z opornika fotoelektrycznego i termoelementu co najmniej w 20 równo oddalonych punktach skł. w przedziale długości fal, na które jest czuły badany opornik fotoelektryczny. Co najmniej 10 punktów pomiarowych powinno leżeć w przedziale długości fal, dla których czułość opornika fotoelektrycznego jest większa od  $1/2$  czułości maksymalnej.

Dla każdej długości fali, dla której dokonano pomiarów, należy obliczyć stosunek napięcia sygnału z opornika fotoelektrycznego do napięcia sygnału z termoelementu i podzielić przez wartość maksymalną tego stosunku. Otrzymane w ten sposób wartości należy wykreślić w funkcji długości fali w celu otrzymania względnego rozkładu widmowego czułości opornika fotoelektrycznego.

3.4. Pomiar stałej czasowej sprowadza się do pomiaru częstotliwości modulacji  $f_m$  w układzie podanym na rys. 4, a następnie jej obliczeniu wg wzoru

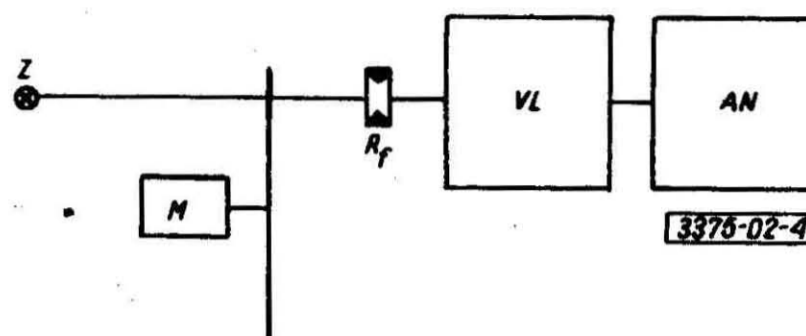
$$\tau = \frac{1}{2\pi f_m} \quad [s] \quad (4)$$

w którym:

- $\tau$  - stała czasowa, s,
- $f_m$  - częstotliwość modulacji, przy której napięcie sygnału spada o 3 dB w stosunku do napięcia sygnału przy częstotliwości bliskiej zeru, Hz.

Pomiar częstotliwości  $f_m$ . Ustalając możliwie najniższą częstotliwość modulacji należy dokonać odczytu napięcia sygnału na miliwoltomierzu lampowym. Następnie należy zwiększać częstotliwość modulacji aż do chwili, gdy napięcie sygnału spadnie do 0,71 odczytanej uprzednio wartości. Oznacza to, że promieniowanie jest modulowane z szukaną częstotliwością  $f_m$ .

Częstotliwość tą należy zmierzyć za pomocą analizatora załączonego na wyjściu sygnałowym miliwoltomierza lampowego.



Rys. 4. Z - dowolne źródło o charakterystyce promieniowania pokrywającej się z widmowym obszarem czułości opornika fotoelektrycznego; M - modulator o regulowanej częstotliwości modulacji;  $R_f$  - opornik fotoelektryczny; VL - miliwoltomierz lampowy szerokopasmowy; AN - analizator częstotliwości

Wartości napięcia zasilania i oporu obciążenia określono w normie przedmiotowej na dany typ opornika fotoelektrycznego. Przy pomiarach należy ustalić taką moc promieniowania padającego na powierzchnię czynną opornika fotoelektrycznego, aby stosunek sygnału do szumu wynosił 1000, jeśli w normie przedmiotowej nie ustalono innej wartości.

3.5. Pomiar napięcia szumów należy przeprowadzić równoległe z pomiarem sygnału w układzie przedstawionym na rys. 2. Szerokość pasma przenoszenia wzmacniacza ustalono w normie przedmiotowej na dany typ opornika fotoelektrycznego. Opornik fotoelektryczny należy na czas pomiaru szumów dokładnie zasłonić.

3.6. Pomiar mocy równoważnej szumowi. Korzystając z wyników pomiarów czułości i szumu otrzymanych wg 3.2 i 3.5 należy wyznaczyć moc równoważną szumowi wg wzoru

$$NEP = U_n \cdot R^{-1} \cdot \Delta f^{-1/2} \quad [WHz^{-1/2}] \quad (5)$$

w którym:

- $U_n$  - napięcie szumu,
- $R$  - czułość opornika fotoelektrycznego,
- $\Delta f$  - szerokość pasma przenoszenia mikrowoltomierza.

### 3.7. Pomiar wykrywalności

3.7.1. Pomiar wykrywalności D. Korzystając z wyników pomiarów napięcia szumu i napięcia sygnału otrzymanych wg 3.2 i 3.5 oraz znanej wartości mocy promieniowania padającego na powierzchnię czynną opornika fotoelektrycznego, wykrywalność D należy obliczyć wg wzoru

$$D = U_S U_N^{-1} P^{-1} \Delta f^{1/2} \quad [W^{-1} Hz^{1/2}] \quad (6)$$



w którym:

$U_N$  - napięcie szumu, V,

$U_S$  - napięcie sygnału, V,

$P$  - moc promieniowania padającego na powierzchnię czynną opornika fotoelektrycznego, W,

$\Delta f$  - szerokość pasma przenoszenia wzmacniacza, Hz.

3.7.2. Pomiar wykrywalności  $D^*$ . Wykrywalność  $D^*$  należy obliczyć wg wzoru

$$D^* = D \cdot A^{1/2} \quad [W^{-1} \text{ Hz}^{1/2} \text{ cm}] \quad (7)$$

w którym:

$D$  - wykrywalność wyznaczona zgodnie z 3.7.1,

$A$  - powierzchnia czynna detektora.

3.8. Pomiar czułości i napięcia szumu w funkcji temperatury należy przeprowadzić w układzie przedstawionym na rys. 2.

Do pomiaru czułości i szumu zgodnie z 3.2 i 3.5 należy przystąpić po upływie czasu koniecznego do osiągnięcia przez opornik fotoelektryczny wymaganej temperatury. Pomiar należy przeprowadzić od temperatury minimalnej pracy  $\pm 2^\circ\text{C}$  wzwyż dla co najmniej 10 wartości temperatur w dopuszczalnym przedziale pracy określonym w normie przedmiotowej na dany typ opornika fotoelektrycznego. Pomiar temperatury powinien być wykonany z dokładnością nie mniejszą niż  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

3.9. Pomiar oporu izolacji opornika fotoelektrycznego między korpusem a zwartymi wyprowadzeniami należy przeprowadzić za pomocą megaomierza o napięciu pomiarowym w zakresie  $100 \div 500$  V. Odczyt należy dokonać po upływie  $30 \pm 5$  s od momentu przyłożenia napięcia. Dokładność pomiaru nie powinna być mniejsza niż 5%.

3.10. Sprawdzenie dopuszczalnego napięcia zasilania opornika fotoelektrycznego należy przeprowadzić w układzie przedstawionym na rys. 2. Należy zmieniać napięcie zasilania w zakresie od  $1/10$  do pełnej wartości dopuszczalnej określonej w normie przedmiotowej na dany typ opornika fotoelek-

trycznego i mierzyć napięcie sygnału zgodnie z 2.2. Wykreślona zależność wartości napięcia sygnału od napięcia zasilania nie powinna różnić się od liniowej więcej niż o 10%.

3.11. Sprawdzenie trwałości opornika fotoelektrycznego należy przeprowadzić w warunkach pracy ciągłej, jeśli w normie przedmiotowej na dany typ opornika nie przewidziano inaczej.

Napięcie zasilania, charakterystykę, częstość modulacji i moc promieniowania oraz czas trwania badań ustala właściwa norma przedmiotowa na dany typ opornika.

Temperatura oporników fotoelektrycznych w czasie badania trwałości nie powinna różnić się od temperatury pracy określonej w normie przedmiotowej więcej niż o  $5^\circ\text{C}$ .

W odstępach czasu ustalonych w normie przedmiotowej należy dokonywać pomiarów napięcia sygnału i szumu zgodnie z 3.2 i 3.5. Przerwy w pracy, ciągłej, konieczne dla przeprowadzenia pomiarów nie powinny być dłuższe niż 2 min. Nie należy obliczać czasu przerw w pracy ciągłej spowodowanych przyczynami technicznymi, jeśli łączna długość tych przerw nie przekracza 3% wymaganego okresu badania trwałości. Dopuszczalne wartości zmian napięcia sygnału i szumu w czasie długotrwałej pracy opornika fotoelektrycznego określono w normie przedmiotowej.

3.12. Sprawdzenie wytrzymałości izolacji opornika fotoelektrycznego na przebicie należy przeprowadzić przez przyłożenie na czas  $30 \pm 2$  s napięcia próby, a wartości 500 V między korpus opornika fotoelektrycznego i zwarte wyprowadzenia. Jeśli korpus wykonany jest z materiału izolującego, odstęp między pierścieniową elektrodą przylegającą do korpusu a wyprowadzeniami opornika fotoelektrycznego nie powinien być mniejszy niż 2 mm. Napięcie należy zwiększać od zera, tak by po upływie  $5 \div 10$  s osiągnąć napięcie równe 500 V. Dokładność pomiaru przyłożonego napięcia nie powinna być mniejsza niż 2%.

K O N I E C