

# ĆWICZENIE 1

## PODSTAWOWE PRZYRZĄDY ELEKTRONICZNE

Opracował: dr inż. Waldemar Bajdecki

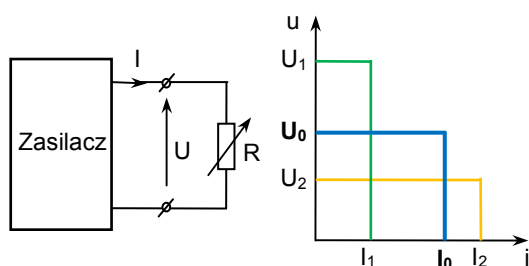
Pierwotna wersja ćwiczenia i instrukcji jest dziełem mgr inż. Leszka Widomskiego

Celem ćwiczenia jest poznanie właściwości urządzeń zasilających, zrozumienie znaczenia głównych ich parametrów oraz nauka użytkowania zasilaczy sieciowych i podstawowych przyrządów pomiarowych takich, jak mierniki uniwersalne analogowe i cyfrowe.

### WPROWADZENIE

#### Część 1. Urządzenia zasilające

Urządzenia elektroniczne wymagają zasilania energią elektryczną, pochodzącą z reguły ze źródeł napięcia stałego (bardzo rzadko ze źródeł prądu stałego). Do poprawnego działania takich urządzeń pożądane byłoby użycie idealnych źródeł napięciowych, ale z praktycznego punktu widzenia trzeba, by urządzenie zasilające miało właściwości zbliżone do ideału tylko w skończonym zakresie prądów obciążenia. Podyktowane to jest obawą o możliwość uszkodzenia, wskutek przepływu nadmiernego prądu, zarówno samego urządzenia zasilającego, jak i obciążenia, którym jest na przykład badany układ elektroniczny. W skrajnym przypadku zwarcia zacisków wyjściowych urządzenia zasilającego o właściwościach idealnego źródła napięciowego, prąd zwarcia byłby nieskończenie wielki, a w przypadku źródeł rzeczywistych – niedopuszczalnie wielki. Dlatego pożądana jest następująca charakterystyka wyjściowa urządzenia zasilającego (wyjściowa – gdyż podaje związek między napięciem i prądem dla zacisków wyjściowych urządzenia):



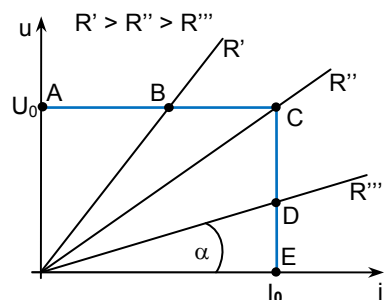
Rys.1. Charakterystyka wyjściowa urządzenia

$$u = \text{const} = U_0 \text{ dla } i < I_0$$

$$i = \text{const} = I_0 \text{ przy } u < U_0$$

co oznacza, że napięcie wyjściowe jest stałe i równe  $U_0$  przy prądach obciążenia nie przekraczających  $I_0$ , zaś przy natężeniu prądu obciążenia  $i = I_0$  napięcie wyjściowe  $u$  gwałtownie spada od  $U_0$  do zera (zasilacz zachowuje się jak idealne źródło prądowe).

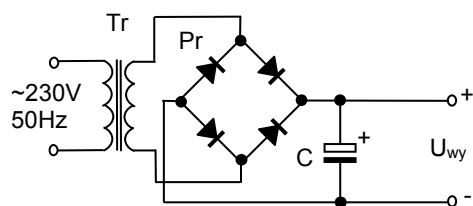
Ze względów praktycznych pożądana jest możliwość nastawiania wartości zarówno napięcia, jak i natężenia prądu. Natomiast przy już nastawionych wartościach  $U_0$ ,  $I_0$  warunki pracy zasilacza zależą jedynie od oporności  $R$  układu obciążającego zasilacz. Analizę pracy zasilacza ułatwia konstrukcja geometryczna przedstawiona na rys.2: obciążenie o oporności  $R$  reprezentuje prosta przechodząca przez początek układu współrzędnych  $u$ ,  $i$ , nachylona pod kątem  $\alpha$  takim, że  $R \sim \tan \alpha$ .



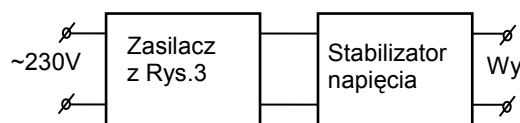
Rys.2. Analiza pracy zasilacza

Gdy źródło zasilające jest nieobciążone, to jego napięcie wyjściowe wynosi  $U_0$  (punkt A na rys.2) i utrzymuje się przy tej wartości podczas zmniejszania oporności  $R$  do wartości  $R_c$  (przy różnych wartościach  $R$  źródło dostarcza różnych prądów). W punkcie C, odpowiadającym charakterystycznej wartości  $R_c$ , natężenie prądu wynosi  $I_0$ . Przy dalszym zmniejszaniu oporności  $R$ , poniżej wartości  $R_c$ , natężenie prądu wyjściowego ma zawsze tę samą wartość, natomiast napięcie wyjściowe maleje i przy zwarcu zacisków urządzenia zasilającego (punkt E) osiąga zero woltów.

Rzeczywiste urządzenia zasilające wykazują podobne właściwości z tym, że na charakterystyce wyjściowej odcinki odpowiadające poziomemu i pionowemu odcinkowi charakterystyki idealnego zasilacza mają teraz pewne nachylenie. Wynika to z tego, że reprezentują one nie idealne, lecz rzeczywiste źródła napięciowe i prądowe.

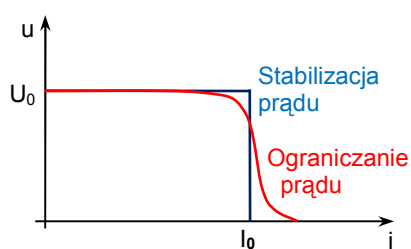


Rys.3. Zasilacz niestabilizowany



Rys.4. Zasilacz stabilizowany

Urządzenie zasilające, czerpiące energię z sieci prądu zmiennego, nazywa się zasilaczem sieciowym. W najprostszej postaci zasilacz (rys.3) zawiera transformator sieciowy, dostarczający napięcia zmiennego (zwykle obniżonego) do prostownika zbudowanego z diod półprzewodnikowych,



Rys.5. Charakterystyki zasilaczy

z dołączonym do niego filtrem wygładzającym tętnienia (kondensator C). Taki zasilacz niestabilizowany ma charakterystykę wyjściową znacznie odbiegającą od charakterystyki idealnego źródła napięciowego i dlatego często dołącza się do niego stabilizator napięcia (rys.4). Układ zasilacza stabilizowanego uzupełniają bloki ograniczające lub stabilizujące prąd wyjściowy: różnice

właściwości zasilaczy obu rodzajów widać z charakterystyk wyjściowych z rys.5.

Podstawowymi parametrami zasilaczy stabilizowanych są:

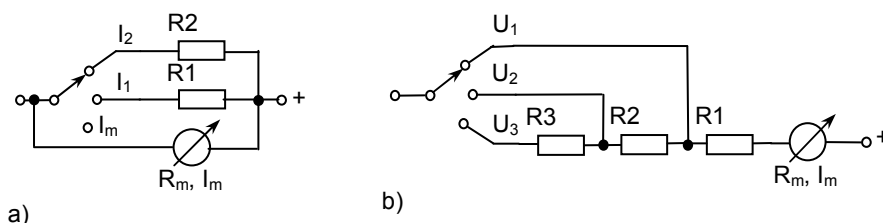
1. zakres napięć i prądów wyjściowych,
2. oporności wewnętrzne przy stabilizacji napięcia i prądu,
3. stałość napięcia i prądu wyjściowego przy zmianach napięcia sieci, różnie określana przez różnych wytwórców (na co należy zwrócić uwagę przy porównaniach), np. jako stosunek względnych zmian napięcia sieci do odpowiadających im względnych zmian napięcia (prądu) wyjściowego lub jego odwrotność, albo też jako względna zmiana napięcia (prądu) wyjściowego przy zmianach napięcia sieci w podanych granicach lub o znany procent,
4. stałość napięcia i prądu wyjściowego przy zmianach temperatury otoczenia.

## Część 2. Mierniki uniwersalne analogowe i cyfrowe

Do pomiarów napięć i prądów stałych i zmiennych oraz oporności używa się mierników uniwersalnych czyli multimetrów. Wyboru mierzonej wielkości dokonuje się zawsze przełącznikiem;

inny przełącznik służy do zmiany zakresu mierzonej wielkości, choć w droższych przyrządach zmiana ta następuje automatycznie. Jako wskaźnika używa się miernika magnetoelektrycznego – w analogowych miernikach uniwersalnych, lub wskaźnika cyfrowego – w multimetrach cyfrowych. Poniżej omówione zostaną dokładniej te pierwsze.

Miernik magnetoelektryczny jest z zasady działaniem czułym amperomierzem o stałej prądowej  $c_i$  (wyrażonej np. w mikroamperach na działkę), oporności  $R_m$  oraz zakresie  $I_m$ , zwanym też prądem nominalnym miernika, który w używanych multimetrach ma zwykle wartość od  $10 \mu A$  do około  $500 \mu A$ .



Rys.6. Zmiana zakresu: a) amperomierza, b) woltomierza

Dołączając do miernika boczniki (oporniki równoległe o odpowiedniej wartości – rys.6a) rozszerza się zakres mierzonych natężeń prądów do około 1 A lub 10 A. W innym położeniu przełącznika rodzaju pracy, do miernika magnetoelektrycznego dołączane są oporniki szeregowo, zwane niekiedy posobnikami (rys.6b), umożliwiające przekształcenie mikroamperomierza w woltomierz o różnych zakresach pomiaru napięć (zwykle od około 0,1 V do około 1000 V).

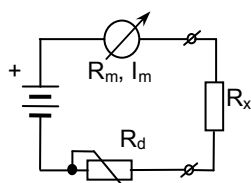
Podstawowymi parametrami analogowego miernika uniwersalnego (obok zakresów mierzonych napięć i prądów) są: oporność wejściowa i klasa dokładności przyrządu. O oporności wejściowej woltomierza  $R_v$  decyduje prąd nominalny użytego miernika magnetoelektrycznego  $I_m$  i podaje się ją jako liczbę kiloomów przypadających na 1 V dowolnego napięciowego zakresu pomiarowego. Pojęcie klasy dokładności jest bardziej złożone i objaśnia się je oddzielnie. Multimetr pracujący jako amperomierz charakteryzuje się przez podanie spadku napięcia na amperomierzu (zwykle prawie niezależnego od zakresu).

Dzięki dołączeniu prostownika uzyskuje się możliwość pomiaru napięć i prądów zmiennych przy pomocy multimetru. Przyrząd charakteryzuje wtedy inna wartość oporności wejściowej, z reguły mniejsza, nawet o rząd wielkości, oraz klasa dokładności, z reguły gorsza. Przy pomiarach napięć i prądów zmiennych należy zwrócić uwagę na ograniczenie zakresu częstotliwości mierzonych napięć i prądów, i związane z tym zwiększenie błędu pomiaru. Miernik napięć i prądów zmiennych reaguje na **wartość średnią mierzonej wielkości po wyprostowaniu, zaś wycechowany jest w wartościach skutecznych wielkości sinusoidalnie zmiennych w czasie**. Dlatego przy pomiarach napięć i prądów niesinusoidalnie zmiennych należy się liczyć z systematycznym błędem wskazań, spowodowanym tym, że współczynnik kształtu mierzonego przebiegu jest różny od współczynnika kształtu dla sinusoidy równego  $k = \pi / 2\sqrt{2} = 1,1107$  (współczynnik kształtu  $k$  definiuje się jako

stosunek wartości skutecznej  $U_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt}$  do wartości średniej  $U_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T |f(t)| dt$

przebiegu idealnie wyprostowanego, zaś współczynnik szczytu jako stosunek wartości maksymalnej do wartości skutecznej). Podziałka mierników napięć i prądów zmiennych działających według podanej powyżej zasady jest nieliniowa.

Pomiaru oporności dokonuje się miernikiem uniwersalnym pracującym jako omomierz. Wymaga to użycia pomocniczego źródła napięcia, którym jest zwykle bateria sucha 1,5 V. Omomierz może pracować w układzie szeregowym lub równoległym. Ten pierwszy układ (rys.7) jest częściej stosowany. Jego działanie opisuje równanie:  $I = c_x \alpha_x = \frac{E}{R_x + R} \Rightarrow \alpha_x = \frac{E}{c_x (R_x + R)}$ ,



Rys.7. Omomierz szeregowy

gdzie  $R = R_d + R_m$ . Ponieważ  $R_d$  dobiera się w ten sposób, by przy zwarcu zacisków omomierza płynął największy prąd (nominalny prąd miernika magnetoelektrycznego  $I_m$ ), to można stąd obliczyć współrzędne punktów na podziałce omomierza. Podziałka tego omomierza jest nierównomierna i dlatego błąd pomiaru charakteryzuje się przez podanie względnego błędu unormowanej

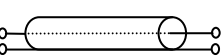
oporności  $R_x / R$ . Błąd ten jest najmniejszy dla środka podziałki i rośnie w miarę zbliżania się do końców podziałki, a ponadto zależy od klasy dokładności zastosowanego w omomierzu miernika magnetoelektrycznego. Ze względu na starzenie się baterii zasilającej omomierz, przed każdym pomiarem oporności trzeba go wyzerować przy zwartych zaciskach.

Przy używaniu analogowych mierników uniwersalnych należy zwrócić uwagę na dopuszczalne położenie miernika: pionowe (oznaczenie „ $\perp$ ”) lub poziome (oznaczenie „ $\text{—}$ ”).

Bardziej rozbudowane multimetry analogowe zawierają wzmacniacze elektroniczne. W przeciwieństwie do zwykłych, tzn. elektrycznych multimetrów, takie multimetry elektroniczne wymagają zasilania z baterii lub z sieci i dlatego mają one zwykle dodatkowy wyłącznik napięć zasilających. Multimetry elektroniczne mają znacznie większą czułość niż zwykłe mierniki uniwersalne, oporności wejściowe woltomierza są więc znacznie większe, ale pojęcie klasy dokładności nie ma wtedy zastosowania. Dokładność pomiaru jest określona w instrukcji obsługi przyrządu.

Przy pomiarach małych napięć stałych i zmiennych, a zwłaszcza napięć zmiennych o częstotliwościach akustycznych i większych, istotnym zagadnieniem staje się uziemienie jednego z zacisków woltomierza. W wielu multimetrach elektronicznych, a także w oscyloskopach, generatorach i innych przyrządach elektronicznych, jeden z zacisków przyrządu jest połączony z obudową i ten zacisk, zwany „masą” musi być dołączony jako pierwszy do badanego obwodu, zaś odłączony jako ostatni. W niektórych przyrządach (droższych) możliwe jest pozostawienie tzw. „pływającego wejścia”, co oznacza, że oba zaciski przyrządu można dołączyć do punktów obwodu o potencjale różnym od zera („masy”). Ale wtedy przyrząd ma zwykle dodatkowy trzeci zacisk służący do połączenia z masą badanego obwodu. Pełnej informacji na ten temat dostarczy instrukcja obsługi przyrządu.

Przyrządy elektroniczne łączy się z podobnymi przyrządami lub z obwodem badanym przy pomocy specjalnych przewodów ekranowanych lub kabli koncentrycznych z odpowiednią końcówką.



Rys. 8. Kabel koncentryczny

koncentryczne (rys.8) mogą mieć różne zakończenia: z wtyczkami czyli końcówkami bananowymi, ze specjalnym wtykiem współpracującym z odpowiednim gniazdem, np. w standardzie BNC,

lub mieszane: jeden koniec kabla zakończony jest wtyczkami, zaś drugi wtykiem BNC.

Przy pomiarach napięć wielkich częstotliwości (powyżej 100 kHz, czasami 10 kHz) do pomiaru napięć wykorzystuje się specjalne sondy, które dołącza się bezpośrednio do badanego obwodu, zaś z przyrządem pomiarowym połączone są one kablem koncentrycznym z wtykiem BNC. Sondy takie zawierają prostownik napięć wielkiej częstotliwości (w.cz.), dający na wyjściu napięcie stałe proporcjonalne do wartości szczytowej mierzonego napięcia. Jeśli dołączone są one do przyrządu wycechowanego w wartościach skutecznych napięć sinusoidalnych (a tak jest zazwyczaj), to przy pomiarach napięć w.cz. o innych kształtach trzeba właściwie interpretować otrzymane wyniki, aby uniknąć błędów systematycznych. Sondy pomiarowe w.cz. mają wyraźnie wyróżnioną końcówkę masy i końcówkę zwaną gorącą. Takimi sondami będziemy się posługiwać w ćwiczeniu poświęconym badaniu obwodów rezonansowych.

Do podstawowego wyposażenia laboratorium elektronicznego należy obecnie woltomierz cyfrowy. Jego działanie sprowadza się do przetworzenia wielkości analogowej, a więc ciągłej, w wielkość dyskretną. Takie przetwarzanie analogowo-cyfrowe powoduje to, że wielkość mierzona podlega kwantyzacji: przyrząd reaguje identycznie na dwie wartości wielkości mierzonej, zawarte w zakresie jednego kroku kwantowania, który decyduje o rozdzielczości woltomierza; np. w przypadku woltomierza 4-cyfrowego o zakresie 1 V rozdzielczość wynosi 0,1 mV. Dzięki tak znacznej rozdzielczości woltomierz cyfrowy jest bardzo wygodny przy pomiarach wymagających rejestracji niewielkich zmian badanego napięcia. Jednak wyświetlanie czterech cyfr znaczących na wskaźniku cyfrowym nie oznacza, że ów woltomierz cyfrowy mierzy napięcie z dokładnością równą rozdzielczości. W procesie pomiaru i tu musi bowiem nastąpić porównanie mierzonej wielkości z wzorcem o skończonej dokładności. Jeśli uwzględnić to, że zarówno sam wzorzec napięcia, jak i zależny od zasady działania układ wskaźnika zera oraz inne układy elektroniczne woltomierza wnoszą swoje błędy, to oczywiste staje się, że **dokładność pomiaru nie ma bezpośredniego związku z rozdzielczością**. Dokładność pomiaru podaje wytwórca w instrukcji obsługi woltomierza.

Woltomierze cyfrowe mają bardzo wielką oporność wejściową (10 M $\Omega$ , a często i 100 M $\Omega$ ) oraz zwykle wejście pływające, a więc trzy zaciski na płycie czołowej przyrządu, oznaczone następująco:

- czerwony – gorący, oznaczony też niekiedy „HIGH”,
- zielony – oznaczony „LOW”, łączony zwykle z masą badanego układu lub z punktem układu połączonym z masą mniejszą impedancją niż zacisk gorący,
- czarny – oznaczony „GROUND”, połączony z obudową przyrządu, do którego dołącza się ekran kabla pomiarowego.

Taki sposób dołączenia woltomierza do mierzonego układu podyktowany jest potrzebą redukcji zakłóceń zewnętrznych (indukowanie się napięć o częstotliwości sieci, napięć w.cz. itd.), łatwo ujawniających się wskutek wielkiej oporności wejściowej woltomierza cyfrowego. Często możliwe jest dodatkowe tłumienie zakłóceń przez włączenie filtra przełącznikiem oznaczonym jako „FILTER”.

Przed przystąpieniem do pomiarów należy skontrolować zero wskazań; w woltomierzach bez automatycznej korekcji zera służy do tego przełącznik oznaczony „ZERO”.

Woltomierze cyfrowe dokonują pomiarów cyklicznie z częstotliwością kilku do kilkudziesięciu pomiarów na sekundę. Niektóre mają wbudowany przetwornik napięć zmiennych na stałe (prostownik

pomiarowy) i wtedy po włączeniu przełącznika oznaczonego „AC” (od „alternating current”) woltomierz mierzy napięcia zmienne, ale w ograniczonym zakresie częstotliwości, zwykle akustycznych. Trzeba więc sięgnąć do instrukcji obsługi, w której podane też będzie, na jaką wartość mierzonego napięcia zmiennego reaguje woltomierz i w jakich wartościach jest wycechowany (zwykle w skutecznych). W laboratorium posługiwać się będziemy również cyfrowym miernikiem uniwersalnym i przy jego obsłudze stosuje się wiele z podanych powyżej zasad.

## WYKONANIE ĆWICZENIA

### Część 1. Urządzenia zasilające

1. Zapoznać się z instrukcjami obsługi zasilaczy różnych typów oraz wypisać z nich najważniejsze parametry zasilaczy.
2. Ustawić wstępnie napięcie i prąd wyjściowy zasilacza zgodnie ze wskazaniem prowadzącego. Narysować schemat układu. Do wyjścia zasilacza dołączyć opornik dekadowy połączony szeregowo z pracującym jako amperomierz miernikiem uniwersalnym oraz woltomierz cyfrowy. Po sprawdzeniu przez prowadzącego włączyć napięcie sieci i ustawić precyzyjnie punkt pracy zasilacza, tzn.  $U_0$ ,  $I_0$ .
3. Zmieniając oporność dekadową od rozwarcia do zwarcia, zdjąć charakterystykę wyjściową zasilacza tylko w gałęzi stabilizacji napięcia. Należy zwracać przy tym uwagę na dopuszczalny prąd dla każdej z dekad oraz na zmianę zakresu przyrządów. Wyniki  $U(I)$  stabelaryzować.
4. Wyłączyć zasilacz i narysować schemat układu umożliwiającego dokładniejszy pomiar prądu. Zmienić połączenia w układzie. **Nie zmieniać punktu pracy zasilacza.** Włączyć napięcie sieci. Kontynuować zdejmowanie charakterystyki wyjściowej zasilacza, tym razem tylko w gałęzi stabilizacji prądu. Wyniki  $U(I)$  stabelaryzować.

### Część 2. Mierniki uniwersalne analogowe i cyfrowe

5. Narysować schemat układu pomiarowego do badania wpływu częstotliwości na wskazania woltomierza napięć zmiennych. Do generatora funkcyjnego typu HM 8030 dołączyć oscyloskop i miernik uniwersalny pracujący jako woltomierz napięć zmiennych; korzystając z dokumentacji mierników uzasadnić dokonany wybór. Włączyć przyrządy do sieci.  
Używa się generatora napięć sinusoidalnych o odpowiedniej amplitudzie. Zmieniając częstotliwość drgań generatora (1, 2, 5, 50, 500, 5k, 50k, 100k, 200k) Hz obserwować stałość amplitudy sinusoidy na oscyloskopie i jednocześnie rejestrować wskazania miernika. Zanotować częstotliwości, przy których wskazania zmniejszą się o 30% względem części płaskiej wykresu.
6. Do badania wpływu kształtu napięć zmiennych na wskazania woltomierza napięć zmiennych, przełączać generator napięć zmiennych (włączony w układzie pomiarowym z p.5) do pracy z napięciami o kształcie sinusoidalnym, prostokątnym, a następnie trójkątnym. Amplitudy tych napięć powinny być takie same, jak w przypadku sinusoidy, zaś częstotliwość drgań należy ustawić na wartość średnią zakresu pomiarowego ustalonego przez producenta miernika. Zarejestrować wpływ kształtu napięć na wskazania miernika.

## ZADANIA DO OPRACOWANIA

### Część 1. Urządzenia zasilające

1. Wykreślić charakterystykę wyjściową badanego zasilacza w miarę możliwości na 1 wykresie.
2. Wyznaczyć oporności wyjściowe zasilacza w każdym z rodzajów pracy.
3. Podać wnioski dotyczące właściwości i możliwości zastosowania badanych zasilaczy.

### Część 2. Mierniki uniwersalne analogowe i cyfrowe

4. Wyznaczyć oporność wejściową  $R_v$  woltomierza wyrażoną w  $k\Omega/V$ , jeśli do jego budowy użyto miernika magnetoelektrycznego o prądzie nominalnym  $I_m$  wyrażonym w mA i oporności  $R_m$  wyrażonej w  $k\Omega$ . Jak zmieni się ta oporność, jeśli miernik zbocznikować opornikiem o oporności  $R$ ?
5. Podać zakres częstotliwości mierzonych przez badany woltomierz napięć zmiennych i sformułować odpowiednie wnioski.
6. Obliczyć współczynnik kształtu i współczynnik szczytu dla następujących przebiegów okresowych o zerowej wartości średniej:
  - a) prostokątnego o wypełnieniu  $t/T = 0,5$ ;
  - b) prostokątnego o wypełnieniu  $t/T = x$ ;
  - c) trójkątnego symetrycznego;
  - d)  $u = 180 \sin(\omega t) + 60 \sin(3\omega t)$ ;

uzyskane zależności wykorzystać przy opracowaniu wpływu kształtu sygnału na wartość mierzoną.

7. Określić dokładność i rozdzielczość woltomierza cyfrowego na użytych zakresach napięć stałych.

## SPRAWOZDANIE

Opisane w sekcjach „Wykonanie ćwiczenia” i „Zadania do opracowania” elementy należy przyporządkować do właściwych punktów sprawozdania wzorcowego przedstawionego na 1. zajęciach i umieszczonego na stronie przedmiotu. W ramach każdego punktu w zależności od konieczności można dla przejrzystości wydzielić 2 części. Przy opracowaniu niepewności pomiarowych należy dopilnować, aby nie mylić pojęć niepewności standardowej z niepewnościami wzorcowania i eksperymentatora.