

**Instytut Inżynierii Biomedycznej i Pomiarowej**  
**Wydział Podstawowych Problemów Techniki**  
**Politechnika Wrocławska**  
**Laboratorium Pomiarów Wielkości Nielektrycznych**

**Przyrządy wirtualne – rezystometr i termometr**

Opracował: mgr inż. Bogumił Głód

Wrocław 2010

**Cel ćwiczenia:** Zapoznanie się z wirtualnym przyrządem pomiarowym zrealizowanym w środowisku LabVIEW. Zastosowanie wirtualnego przyrządu pomiarowego do realizacji pomiarów pośrednich, na przykładzie wirtualnego rezystometru. Zrealizowanie rzeczywistego pomiaru temperatury za pomocą termometru wirtualnego współpracującego z rezystancyjnym czujnikiem temperatury.

## Program ćwiczenia

1. Zapoznać się ze stanowiskiem pomiarowym.
2. Uruchomić i zapoznać się z przyrządem wirtualnym – rezystometrem. Sprawdzić komunikację przyrządów pomiarowych z komputerem.
3. Zbadać charakterystykę rezystometru wirtualnego
4. Zbadać wpływ niepewności przyrządów pomiarowych i innych elementów na układu pomiarowego rezystometru wirtualnego na niepewność wyniku pomiaru rezystancji.
5. Wykonać termometr wirtualny z zadaniem czujnikiem rezystancyjnym temperatury. Znaleźć funkcję odwrotną  $T(R)$  [°C] do funkcji podanych w tab. 2 i tab. 3. Funkcję odwrotną znaleźć jako przygotowanie do zajęć.
6. Zbadać wpływ niepewności przyrządów pomiarowych i innych elementów układu pomiarowego na niepewność pomiaru wyniku temperatury termometrem wirtualnym.
7. Zmierzyć temperaturę wybranego obiektu rzeczywistego i określić niepewność pomiaru tej temperatury.

## Wprowadzenie

Pomiar jest procesem uzyskiwania informacji o cechach (parametrach) mierzonego obiektu. Informacja ta przenoszona jest przez sygnały. Sygnały przenoszące informacje ilościową o wielkościach mierzonych w postaci liczb nazywają się sygnałami pomiarowymi. Elementem umożliwiającym odbiór informacji z obiektu fizycznego jest czujnik pomiarowy. Czujniki są źródłem informacji dla aparatury pomiarowej. Natomiast aparatura pomiarowa zbiera sygnały pomiarowe, dokonując wstępnej normalizacji, przetworzenia na postać cyfrową, a następnie dostarcza informacje w tej postaci do bloków przetwarzania danych. Do zadań bloku przetwarzania danych, jakim obecnie jest komputer, należy cyfrowa obróbka (przetworzenie) informacji zgodnie z przyjętym algorytmem. Dotychczas funkcje takie spełniał nowoczesny przyrząd autonomiczny, który zawierał takie bloki funkcjonalne jak: zbieranie danych, przetwarzanie danych oraz prezentacja wyników. Teraz wszystkie te bloki zawiera przyrząd wirtualny, z tą różnicą, że o funkcji, jaką spełnia taki przyrząd, a więc, jaki realizuje algorytm – decyduje użytkownik.

Przyjęła się ogólna definicja, że **przyrząd wirtualny to rodzaj inteligentnego przyrządu pomiarowego, składającego się z komputera ogólnego przeznaczenia i dołączonych do niego urządzeń pomiarowych potrzebnych do akwizycji danych oraz oprogramowania umożliwiającego użytkownikowi obsługę za pomocą ekranu komputerowego i klawiatury lub myszy, z wykorzystaniem graficznego interfejsu użytkownika, tak jakby obsługiwał tradycyjny przyrząd autonomiczny.**

Nowoczesny sprzęt do akwizycji danych to:

- wielokanałowe karty przetworników analogowo-cyfrowych,
- autonomiczne przyrządy pomiarowe, ogólnego przeznaczenia, wyposażone w interfejs IEC-625 lub RS-232.

Istotną cechą przyrządu wirtualnego jest funkcjonalna elastyczność i rekonfigurowalność. Oznacza to, że ten sam sprzęt – karta przetworników lub przyrządy wyposażone w łącza komunikacyjne np. RS-232, podłączone do powszechnie występujących portów COM1 i COM2 komputerów – umożliwiają stworzenie szerokiej gamy różnych przyrządów wirtualnych, spełniających różne funkcje, zależne wyłącznie od użytkownika.

Z metrologicznego punktu widzenia przyrządy wirtualne najczęściej realizują pomiary pośrednie, w których wartość mierzona  $y$  otrzymuje się przez jej obliczenie na podstawie wartości innych wielkości mierzonych bezpośrednio i elementów składowych  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , związanych znaną zależnością funkcyjną z wielkością mierzoną  $y$ :

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

Analiza niepewności pomiarowych przyrządu wirtualnego nie różni się od analizy niepewności pomiarów pośrednich. Analiza ta daje odpowiedź na następujące pytania: jeśli znane są niepewności poszczególnych przyrządów, jaka jest niepewność obliczonego wyniku pomiaru? A także, na odwrót, jeśli obliczony wynik pomiaru musi mieć założoną niepewność, jakie są dopuszczalne niepewności poszczególnych przyrządów? Problemy te ujmuje prawo przenoszenia niepewności w pomiarach pośrednich.

Niepewność maksymalną opisano wzorem:

$$\Delta y = \left| \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2 \right| + \dots + \left| \frac{\partial f}{\partial x_n} \Delta x_n \right|. \quad (2)$$

Pochodne cząstkowe  $\partial f / \partial x_i$  nazywane są wrażliwościami (lub czułościami) wyniku pomiaru na zmiany wielkości  $x_i$ . Dla małych wartości  $\Delta x_i$  można korzystać z przybliżenia (3):

$$\frac{\partial f}{\partial x_i} \approx \frac{\Delta f}{\Delta x_i}. \quad (3)$$

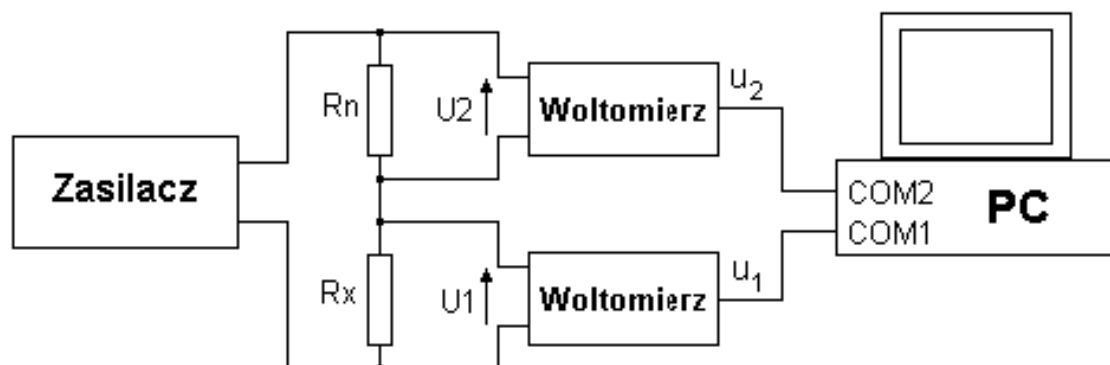
Jeśli  $n > 3$  i poszczególne niepewności są niezależne od siebie, to można obliczać niepewność średniokwadratową (4):

$$\Delta y = \sqrt{\left( \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial f}{\partial x_n} \Delta x_n \right)^2}. \quad (4)$$

## Układ pomiarowy

Przykładem realizacji wirtualnego przyrządu pomiarowego i pomiaru pośredniego jest rezystometr. Ma on praktyczne znaczenie, gdyż istnieje wiele różnorodnych rezystancyjnych czujników pomiarowych, z którymi może współpracować, tworząc wirtualny przyrząd do pomiaru np.: temperatury, ciśnienia, naprężeń mechanicznych, wilgotności itp.

Układ pomiarowy rezystometru przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Układ pomiarowy rezystometru wirtualnego

Ogólną zależność, wiążącą wielkości mierzone i elementy składowe z wartością mierzonej rezystancji, wyraża wzór (5):

$$R_{xw} = f(u_1, u_2, R_n), \quad (5)$$

gdzie:  $R_{xw}$  – wartość rezystancji wskazywana przez rezystometr wirtualny,  
 $u_1, u_2$  – wartości napięć wskazywane przez woltomierze,  
 $R_n$  – rezystancja wzorca.

Przy założeniu, że rezystancje wejściowe woltomierzy są bardzo duże a rezystancja wewnętrzna zasilacza bardzo mała, można zależność (5) przedstawić za pomocą wzoru (6):

$$R_{xw} = \frac{u_1}{u_2} R_n, \quad (6)$$

Obliczając wówczas, wg zależności (2), niepewność wskazań rezystancji, pochodzącą od niepewności pomiarów napięć  $u_1, u_2$  oraz niepewności wzorca  $R_n$ , otrzymamy wzór (7):

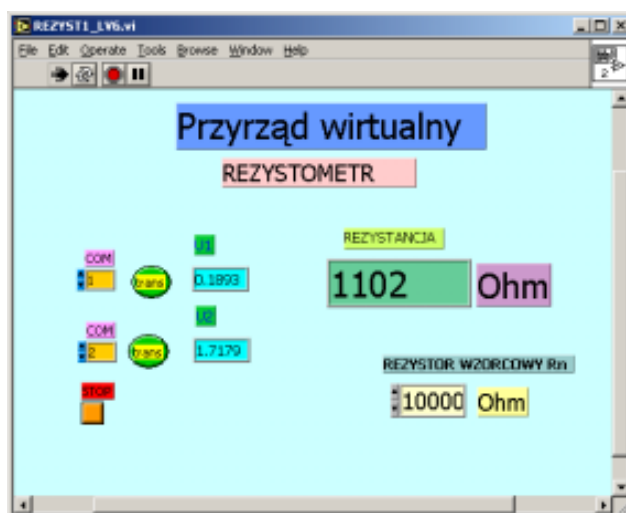
$$\Delta R_{xw} = \left| \frac{R_n}{u_2} \Delta u_1 \right| + \left| \frac{u_1 R_n}{u_2^2} \Delta u_2 \right| + \left| \frac{u_1}{u_2} \Delta R_n \right|. \quad (7)$$

Powyższe równanie stanowi podstawę obliczenia niepewności maksymalnej wskazań rezystometru wirtualnego, przedstawionego w ćwiczeniu.

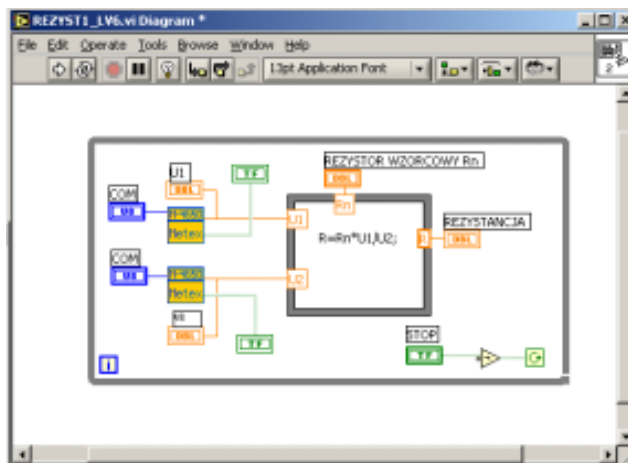
## LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) jest zintegrowanym środowiskiem programowym, umożliwiającym graficzne (tzw. język G) programowanie obsługi systemów pomiarowych. Zawiera wszystkie narzędzia do akwizycji danych, analizy i prezentacji.

Program tworzony jest w postaci diagramu – w oknie diagramu, w którym poszczególne operacje przedstawiane są w postaci symboli graficznych. Prezentacja, tj. wprowadzanie danych i wyprowadzanie wyników odbywa się w oknie panelu w postaci symboli graficznych, takich jakie występują w rzeczywistych przyrządach: przełączniki, pokrętła, suwaki, wskaźniki analogowe i cyfrowe, rejestratory itp. (rys. 2 – rys. 5).



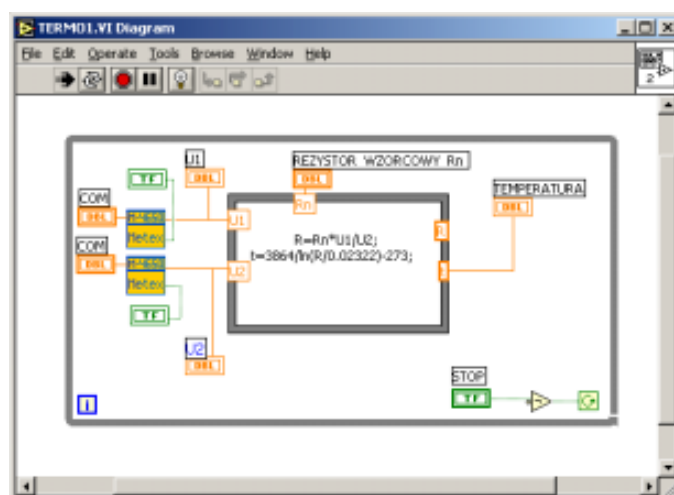
Rys. 2. Okno panelu rezystometru wirtualnego



Rys. 3. Okno diagramu rezystometru wirtualnego



Rys. 4. Okno panelu termometru wirtualnego



Rys. 5. Okno diagramu termometru wirtualnego

### Przyrządy pomiarowe

1. Multimetr METEX, typ: M-4640A (lub M-4650CR) – 2 szt.
2. Rezystor dekadowy, typ DR5b-16 – 2 szt.
3. Zasilacz, typ ZT-980-1M – 1 szt.

## Literatura

1. Winiecki W., *Organizacja Komputerowych Systemów Pomiarowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1997.
2. Chwaleba A., Poniński M., Siedlecki A., *Metrologia Elektryczna*, Warszawa, WNT 1996.

## Przebieg ćwiczenia

Ad. 1. Zapoznać się z instrukcją do ćwiczenia. Połączyć układ pomiarowy zgodnie ze schematem na rys. 1. Ustawić wartości rezystorów na 100000. Ustawić przełącznikami zakresy przyrządów pomiarowych na 200 V DCV. Włączyć zasilacz i ustawić wartość napięcia 2 V pokrętką „REGULACJA NAPIĘCIA”. Następnie włączyć przyrządy pomiarowe.

Ad. 2. Uruchomić środowisko LabVIEW (ikona LabVIEW – Student Edition), otworzyć katalog LAB\_INFO. Otworzyć plik rezysl.vi. Ustawić w oknie panelu odpowiednie numery COM (rys. 2), zgodnie z rzeczywistymi, przypisanymi do przyrządów pomiarowych z rys. 1. Uruchomić rezystometr wirtualny. Upewnić się, że istnieje komunikacja pomiędzy komputerem i przyrządami pomiarowymi.

Ad 3. Ustawić zakres pomiarowy przyrządów na 2 V DCV. Ustawić wartość rezystora wzorcowego  $R_n = 10000 \Omega$ . Odczytywać wskazania rezystometru wirtualnego  $R_{xw}$  w zależności od wartości rezystancji mierzonej  $R_x$ . Wartość  $R_x$  zmieniać od 0 do 100 k $\Omega$  (co najmniej 10 nastaw).

Odczytywać i zapisywać jednocześnie wskazania przyrządów pomiarowych. Zmienić zakresy woltomierzy na 20 V DCV i powtórzyć badania. Wyniki przedstawić wg tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki pomiarów dla  $R_n = 10\,000 \Omega$ , zakresy woltomierzy 2 V DCV

| Lp. | $R_x$<br>$\Omega$ | $R_{xw}$<br>$\Omega$ | $u_1$<br>V | $u_2$<br>V | $\Delta u_1$<br>V | $\Delta u_2$<br>V | $\Delta R_n$<br>$\Omega$ | $\Delta R_x$<br>$\Omega$ | $\Delta R_{xw,max}$<br>$\Omega$ | $\Delta R_{xw,šk}$<br>$\Omega$ |
|-----|-------------------|----------------------|------------|------------|-------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 1   |                   |                      |            |            |                   |                   |                          |                          |                                 |                                |
| 2   |                   |                      |            |            |                   |                   |                          |                          |                                 |                                |
| 3   |                   |                      |            |            |                   |                   |                          |                          |                                 |                                |
| 4   |                   |                      |            |            |                   |                   |                          |                          |                                 |                                |
| 5   |                   |                      |            |            |                   |                   |                          |                          |                                 |                                |
| 6   |                   |                      |            |            |                   |                   |                          |                          |                                 |                                |
| 7   |                   |                      |            |            |                   |                   |                          |                          |                                 |                                |
| 8   |                   |                      |            |            |                   |                   |                          |                          |                                 |                                |
| 9   |                   |                      |            |            |                   |                   |                          |                          |                                 |                                |
| 10  |                   |                      |            |            |                   |                   |                          |                          |                                 |                                |

$R_x$  – rezystancja mierzona,  
 $R_{xw}$  – rezystancja wskazywana,  
 $\Delta R_{xw}$  – niepewność wyniku,  
 $\Delta R_{xw,max}$  – niepewność wyniku maksymalna,  
 $\Delta R_{xw,šk}$  – niepewność wyniku średniokwadratowa.

Ad. 4. Na niepewność wyniku pomiaru rezystometrem wirtualnym mają wpływ niepewności przyrządów pomiarowych  $\Delta u_1$ ,  $\Delta u_2$  oraz  $\Delta R_n$ . Zbadać wpływ tych niepewności na wynik wskazań rezystometru. Niepewności  $\Delta u_1$  i  $\Delta u_2$  obliczyć dla wartości wskazywanych  $u_1$  i  $u_2$  z pkt. 3 i wstawić odpowiednio do tab. 1, korzystając z danych technicznych używanych przyrządów, wg wzoru:

$$\Delta x = \pm \left( \frac{\delta_p x}{100} + n \times \text{ziarno} \right), \quad (8)$$

gdzie:  $\Delta x$  – niepewność wartości mierzonej cyfrowo,  
 $\delta p$  – błąd analogowy miernika cyfrowego, %,  
 $x$  – wartość mierzona,  
 $n$  – błąd ziarnistości,  
 ziarno – wartość jednostki najmniej znaczącej cyfry miernika cyfrowego, dla danego zakresu.

Niepewność  $\Delta R_n$  wyliczyć z klasy użytego rezystora wg wzoru:

$$\Delta R_n = \frac{\text{kl } R_n}{100}. \quad (9)$$

Otworzyć plik rezyst2.vi. Uruchomić rezystometr (demo). W oknie panelu nastawiać odpowiednie wartości  $U_1, U_2, \Delta U_1, \Delta U_2, R_n, \Delta R_n$  (z tab. 1) i odczytywać wskazania rezystometru.

Wpływ poszczególnych niepewności na wynik pomiaru zbadać oddzielnie – uzyska się wówczas informację o wrażliwości (czułości) wskazań rezystometru na daną niepewność pomiaru bezpośredniego lub elementu składowego (wzór 3).

Obliczyć maksymalną oraz średniokwadratową niepewność wskazań rezystometru, pochodzącą od poszczególnych niepewności. Wykonać wykres zależności  $R_{\text{zw}} = f(R_x)$  oraz nanieść dla poszczególnych punktów odpowiednie niepewności  $\Delta R_{\text{zw}}$ .

Ad. 5. Otworzyć plik termol.vi. W oknie panelu dokonać nastaw wg pkt. 3. W oknie diagramu, w bloku przetwarzania danych, wpisać funkcję  $T(R_t)$  [°C], dla danego rezystancyjnego czujnika termometrycznego. Zbadać charakterystykę termometru wirtualnego (jak w pkt. 3), poprzez symulację czujnika rezystorem  $R_x$ . Zmieniać  $R_x$  wg tabeli dla danego czujnika (tab. 2 lub tab. 3).

Ad. 6. Realizacja tego punktu ćwiczenia przebiega tak jak w pkt. 3 i 4, z tą różnicą, że zamiast  $R_x$  jest  $R_t$ , a wielkością wyjściową (wskazywaną) jest temperatura  $T$  [°C]. Otworzyć plik termo2.vi. Dokonywać nastaw odpowiednich wartości uzyskanych w pkt. 5. Wykonać wykres zależności  $T_w = f(R_t)$  oraz nanieść dla poszczególnych punktów odpowiednie niepewności  $\Delta T_w$ .

Ad. 7. Odłączyć od zacisków (na płycie zaciskowej) rezystor  $R_x$  i podłączyć rezystancyjny czujnik temperatury. Zmierzyć np. temperaturę wody z sieci wodociągowej, temperaturę wrzenia wody, temperaturę mieszaniny wody z lodem itp.

## Pytania kontrolne

1. Co to jest przyrząd wirtualny?
2. W jakie dodatkowe urządzenia należy wyposażyć komputer, aby zbudować przyrząd wirtualny?
3. Co to jest pomiar pośredni?
4. Jak przenoszą się błędy narzędzi pomiarowych na wynik pomiaru w pomiarach pośrednich?
5. Do czego służy czujnik pomiarowy?
6. Jak można scharakteryzować, przedstawione (w tabelach 2 i 3), czujniki temperatury.

Tabela 2. Zależność rezystancji od temperatury czujnika termistorowego typu NC-210  
(temperatura znana z dokładnością  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

| Temperatura $t$<br>$^{\circ}\text{C}$                               | Rezystancja $R_{th}$ |           |
|---|----------------------|-----------|
|   | $\Omega$             | $\Omega$  |
|   | Czujnik 1            | Czujnik 2 |
| 0   | 37208                | 32569     |
| 5   | 28735                | 25249     |
| 10  | 22396                | 19751     |
| 15  | 17607                | 15583     |
| 20  | 13956                | 12394     |
| 25  | 11488                | 9934      |
| 30  | 8972                 | 8020      |
| 35  | 7272                 | 6521      |
| 40  | 5933                 | 5336      |
| 45  | 4872                 | 4395      |
| 50  | 4025                 | 3641      |
| 55  | 3345                 | 3034      |
| 60  | 2795                 | 2542      |
| 65  | 2348                 | 2141      |
| 70  | 1893                 | 1813      |
| 75  | 1683                 | 1542      |
| 80  | 1434                 | 1317      |
| 85  | 1228                 | 1131      |
| 90  | 1056                 | 974       |
| 95  | 912                  | 843       |
| 100   | 791                  | 733       |
| $R_{th} = A \times e^{\frac{B}{T}}$ , gdzie: $T = t + 273\text{ K}$ |                      |           |
| $A$ [ $\Omega$ ]  | 0,02145              | 0,02322   |
| $B$ [K]   | 3933                 | 3864      |

Tabela 3. Zależność rezystancji od temperatury czujnika KTY81-221

| Temperatura $t$<br>$^{\circ}\text{C}$   | Rezystancja $R_t$ |                        |          |
|---|-------------------|------------------------|----------|
|   | $\Omega$          | $\Omega$               | $\Omega$ |
|   | min               | typ                    | max      |
| 0   | 1603              | 1630                   | 1656     |
| 10  | 1748              | 1772                   | 1797     |
| 20  | 1901              | 1922                   | 1944     |
| 25  | 1980              | 2000                   | 2020     |
| 30  | 2057              | 2080                   | 2102     |
| 40  | 2217              | 2245                   | 2272     |
| 50  | 2383              | 2417                   | 2451     |
| 60  | 2557              | 2557                   | 2637     |
| 70  | 2737              | 2737                   | 2832     |
| 80  | 2924              | 2924                   | 3035     |
| 90  | 3118              | 3182                   | 3246     |
| 100   | 3318              | 3392                   | 3466     |
| $R_t = 2000 \times [1 + A \times (t - 25) + B \times (t - 25)^2]$ $\Omega$<br>$t$ – temperatura, $^{\circ}\text{C}$ |                   |                        |          |
| $A$ [ $1/\Omega$ ]  |                   | $7,874 \times 10^{-3}$ |          |
| $B$ [ $1/\Omega^2$ ]  |                   | $1,874 \times 10^{-5}$ |          |