

Lesław Zieleźnik, Anna Grabowiecka
Instytut Metrologii i Maszyn Elektrycznych

URZĄDZENIA DO POMIARÓW METEOROLOGICZNYCH

Streszczenie. W pierwszej części artykułu podano opis urządzenia dokonującego samoczynnej rejestracji temperatury powietrza i prędkości wiatru w warunkach meteorologicznych. W drugiej części omówiono wyniki badań nad opóźnieniem reakcji termometru rezystancyjnego, wywołanym ekranem meteorologicznym.

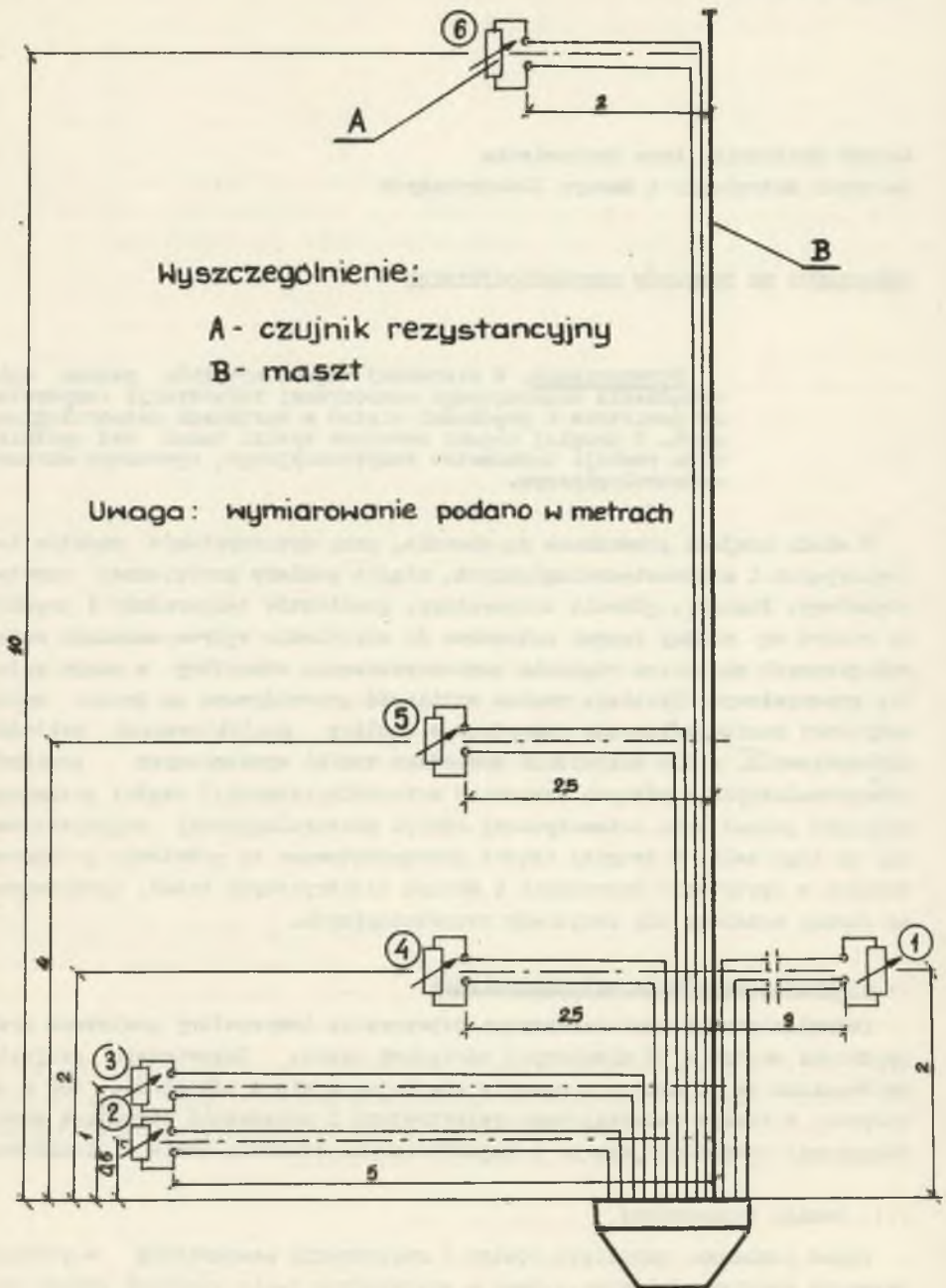
W wielu krajach prowadzone są obecnie, przy wykorzystaniu masztów telewizyjnych i mikrometeorologicznych, ciągłe pomiary przyziemnej warstwy atmosfery. Pomiary, głównie temperatury, gradientów temperatury i prędkości wiatru są między innymi potrzebne do określenia wpływu warunków meteorologicznych na poziom stężenia zanieczyszczenia atmosfery w danym rejonie przemysłowym. Istnieje realna możliwość przewidywana na drodze matematycznej zanieczyszczenia atmosfery w okolicy projektowanych zakładów przemysłowych, o ile oczywiście posiadamy wyniki wymienionych pomiarów przeprowadzonych w różnych warunkach meteorologicznych. W części pierwszej artykułu podano opis automatycznej stacji meteorologicznej zaprojektowanej do tego celu. W drugiej części przedyskutowano na podstawie przeprowadzonych w Instytucie Metrologii i Maszyn Elektrycznych badań, opracowywane ekrany metalowe dla czujników rezystancyjnych.

1. Automatyczna stacja meteorologiczna

Zadaniem stacji jest samoczynna rejestracja temperatury powietrza oraz prędkości wiatru w 30 minutowych odstępach czasu. Odpowiednie czujniki umieszczono na 10 metrowym maszcie znajdującym się w odległości 100 m od budynku, w którym zainstalowano rejestratory i urządzenie sterujące pracą. Połączenie czujników stacji z rejestratorami stanowią kable wielożyłowe.

1.1. Pomiar temperatury

Układ pomiarowy umożliwia pomiar i rejestrację temperatury w punkcie nazwanym punktem odniesienia oraz w pozostałych 5-ciu punktach pomiar gradientów temperatury Δt względem punktu odniesienia. Pomiar temperatury wykonywany jest przy pomocy termometrów rezystancyjnych platynowych umiesz-



Rys. 1

czonych w przystosowanych do celów meteorologicznych ekranach z wymuszonym przepływem powietrza. Rozmieszczenie ekranów z czujnikami rezystancyjnymi na maszcie meteorologicznym podaje rys. 1. Pomiar temperatury w punkcie odniesienia dokonuje się w klatce meteorologicznej drewnianej (pkt pomiarowy ①). Pozostałych pięć punktów pomiarowych to nowo opracowywane ekrany metalowe rozmieszczone od dołu do góry masztu (punkty pomiarowe ② ÷ ⑥). Ze względu na niewielką wysokość masztu spodziewane gradienty Δt będą rzędu kilku stopni, do rejestracji użyto więc rejestratora o szerokiej taśmie i wyższej klasie dokładności. Jest nim samoczynnie równoważący się mostek produkcji radzieckiej typu EMP - 209 M3 o następujących parametrach:

- a) kl. 0.5, najmniejsza działka $0,5^{\circ}\text{C}$
- b) pomiar temperatury w zakresie $0 \pm 50^{\circ}\text{C}$
- c) szerokość taśmy rejestracyjnej 275 mm
- d) ilość kanałów pomiarowych = 6.

Zadania stawiane układowi pomiarowemu:

- a) pomiar temperatury w punkcie odniesienia w zakresie od -20°C do $+30^{\circ}\text{C}$
- b) pomiar gradientów Δt przy 2-krotnym wzroście czułości układu
- c) współpraca z termometrami rezystancyjnymi platynowymi krajowymi typu OP -3.

Przystosowano mostek automatyczny do powyższych zadań kierując się zasadą dokonania jak najmniejszych zmian w układzie.

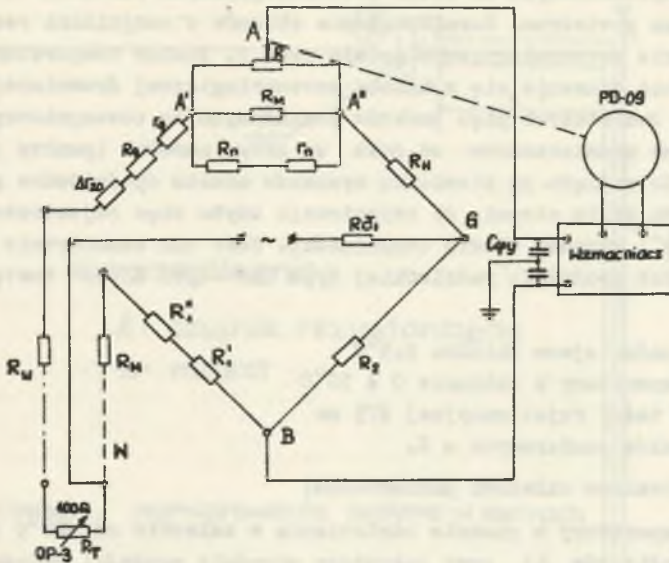
1.1.1. Pomiar temperatury w punkcie odniesienia

Schemat ideowy mostka EMP-209 M3 zmodyfikowanego podaje rys. 2. Jediną zmianą dokonaną w układzie jest włączenie w górną lewą gałąź mostka dodatkowego opornika Δr_{20} oraz umieszczenie w miejscu oporu R_1 dwu oporów R_1^* i R_1^r o sumarycznej rezystancji równej R_1 , dlatego też nie zamieszczono schematu mostka oryginalnego. Na rysunku naniesiono oznaczenia jak w schemacie oryginalnym. Dodatkowy opornik Δr_{20} , przesuwając "0" skali o 20°C , stąd jego wartość równa jest w przybliżeniu (przewody doprowadzające, styki) oporności czujnika rezystancyjnego dla przyrostu $\Delta t = 20^{\circ}\text{C}$, który wynosi

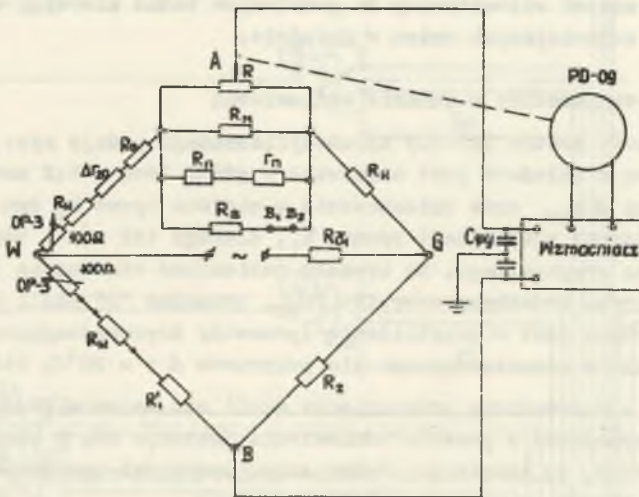
$\Delta r_{20} = 7,91\Omega$. Wprowadzone przesunięcia skali nie zmienia czułości mostka. Pomiar temperatury w punkcie odniesienia dokonuje się w układzie mostka 3-przewodowego, co eliminuje wpływ zmian oporności przewodów doprowadzających, na skutek zmian temperatury otoczenia.

1.1.2. Pomiar gradientów temperatury Δt

Jest to pomiar temperatury w punktach kolejno ②, ③, ④, ⑤, i ⑥ względem punktu odniesienia ①. Schemat ideowy przedstawiono na rys. 3. Ponieważ oporności sąsiednich lewych gałęzi mostka są sobie równe, dlatego te gałęzie wykorzystano do pomiaru gradientów. W tym też celu podzielo-



Rys. 2



Rys. 3

no opór R_1 na dwie części. W miejscu $R_1'' = 100\Omega$ włączony będzie czujnik rezystancyjny OP-3 o oporze $R_{0C} = 100\Omega$.

Jak widać pomiar Δt dokonywany jest dwu-przewodowo, co nie wniesie żadnego błędu dopóki przewody doprowadzające czujnik-mostek będą jednakowej długości i będą znajdowały się w tej samej temperaturze. W rzeczywistość-

ci przewody doprowadzające są różne co do długości i w końcowej fazie nie biegną obok siebie, gdyż doprowadzone są do różnych punktów masztu. Różnicę długości doprowadzeń zniwelują oporniki wyrównawcze R_w , jedynie więc różne położenie końcówek kabli doprowadzających może spowodować błędne wskazania. Obliczona w najniekorzystniejszym przypadku różnica oporności przewodów doprowadzających wywołana różną ich temperaturą wynosi $\Delta R = 0,0065 \Omega$, $\Delta t = 10^\circ\text{C}$ co wobec czułości mostka $\Delta r = 0,02 \Omega$ jest niezauważalne.

Na rys. 3 pokazany jest sposób włączenia opornika dodatkowego R_B , który spowoduje 2-krotny wzrost czułości mostka w wypadku pomiaru gradientów. Wartość R_B została dobrana tak, aby rezystancja równoległe połączonych oporów R , R_M i R_D zmalała o połowę, wtedy suwak potencjometru sterowanego sygnałem nierównowagi będzie musiał dla zrównoważenia zmiany rezystancji czujnika pokonać 2-krotnie większą drogę, czyli czułość pomiaru wzrośnie 2-krotnie. Opór R_B załączają zestyki $B_1 - B_2$ zwierające się synchronicznie z przełącznikiem kanałów w punktach ② + ⑥.

1.1.3. Współpraca układu z czujnikami krajowymi typu OP -3

Celem stwierdzenia możliwości współpracy czujnika rezystancyjnego OP-3 z mostkiem EMP - 209M3 wykreślono na podstawie normy OCT 6651-59 charakterystykę termometryczną wraz z dopuszczalnymi odchyłkami dla czujników produkcji radzieckiej wyznaczając linie graniczne gwarantujące poprawną pracę układu (rys. 4).

Tablica 1

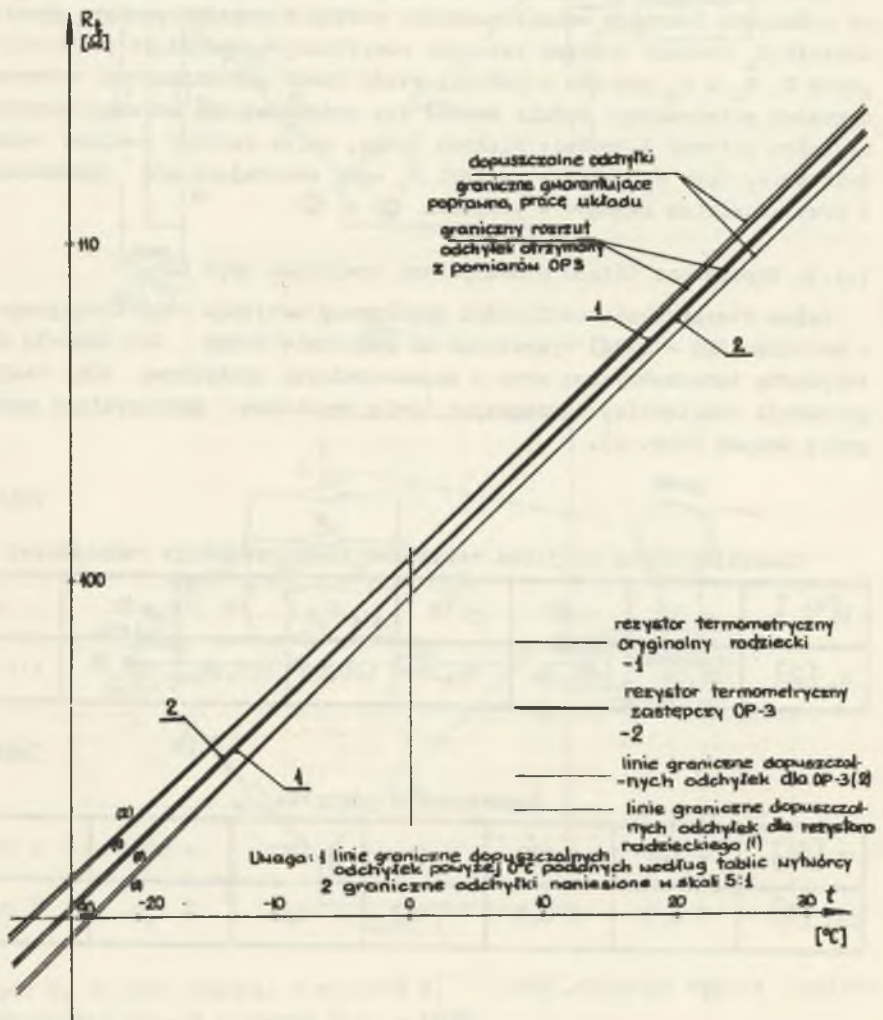
Charakterystyka czujnika rezystancyjnego produkcji radzieckiej

$t [^\circ\text{C}]$	- 30	- 20	- 10	0	10	20	30
$R_t [\Omega]$	88,04	92,04	96,03	100,00	103,96	107,91	111,85

Tablica 2

Dopuszczalne odchyłki

$t [^\circ\text{C}]$	- 200	- 100	0	+ 100	+ 500	+ 30
$\Delta R_t [\Omega]$	$\pm 0,5$	$\pm 0,3$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 1,0$	$\pm 0,13$



Rys. 4

Dopuszczalna odchyłka dla temperatury $t = + 30^{\circ}\text{C}$ wyznaczona jest metodą interpolacji liniowej. Przeprowadzono pomiary 10-ciu czujników typu OP-3 w temperaturze $t = 0^{\circ}\text{C}$ oraz $t = 30,4^{\circ}\text{C}$. W temperaturze $t = 0^{\circ}\text{C}$ wszystkie czujniki miały oporność $R_{0^{\circ}\text{C}} = 100,00\Omega$. Oporność poszczególnych czujników w temperaturze $t = 30,4^{\circ}\text{C}$, podaje tablica nr 3.

Tablica 3

Lp.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R_{30^{\circ}\text{C}}$	112,11	112,00	112,06	112,14	112,03	112,14	112,10	112,06	112,06	112,04

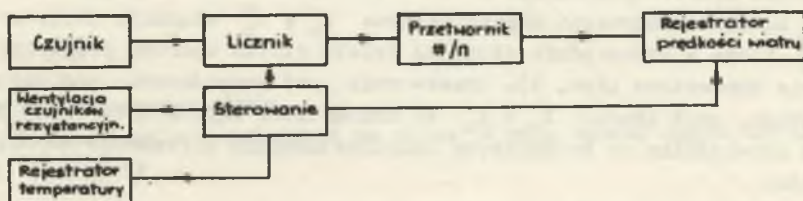
Dane techniczne czujnika OP-3 na podstawie PN-59/M-53852 oraz DIN 43760.

Klasa I: $R = 100 \pm 0,1\Omega$ $R = 138,5 \pm 0,2\Omega$
 $t = 0^{\circ}\text{C}$ $t = 100^{\circ}\text{C}$

Dopuszczalne odchyłki jak dla czujników produkcji radzieckiej (tablica nr 2). Powyższe dane techniczne oraz wyniki pomiarów naniesiono na charakterystykę temperaturową czujników produkcji radzieckiej (rys. 4). Z rysunku tego i tablicy nr 3 wynika, iż jedynie charakterystyki termometrów nr 4 i 6 nie mieszczą się w polu dopuszczalnych odchyłek wyznaczonym przez termometry oryginalne, tj. radzieckie, pozostałe termometry mogą być użyte do współpracy z mostkiem EMP-209M3 w miejsce oryginalnych.

1.2. Pomiar prędkości wiatru

Schemat blokowy urządzenia do pomiaru prędkości wiatru pokazany jest na rys. 5. Na rysunku tym zaznaczono również powiązania bloku sterującego z układem mierzącym temperaturę. Poniżej zostaną omówione poszczególne bloki urządzenia do pomiaru prędkości wiatru wraz z blokiem sterującym.



Rys. 5

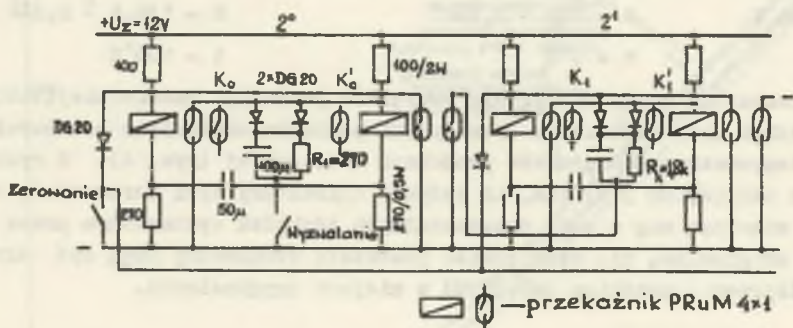
1.2.1. Czujnik

Wykorzystano produkowany seryjnie (Wytwórnia Sprzętu Zootechnicznego Kraków) nadajnik anemometru całkującego AC -1. Czujnik (wirnik czasowy) o

zakresie pomiaru prędkości 1 ± 25 m/s generuje impulsy zwarciove, których liczba w określonym odstępie czasu jest proporcjonalna do średniej prędkości wiatru.

1.2.2. Licznik

Założono pomiar temperatury powietrza w odstępach 30 min., więc ze względu na zsynchronizowanie obu pomiarów projektowane urządzenie powinno rejestrować prędkość średnią wiatru w okresie 30 min. Taki będzie czas zliczania impulsów przez licznik, który powinien cechować się doskonałą stabilnością i odpornością na zakłócenia. Wymagania te spełnił licznik zbudowany na przekaźnikach kontaktronowych [4] Rysunek 6 podaje dwa stopnie licznika.



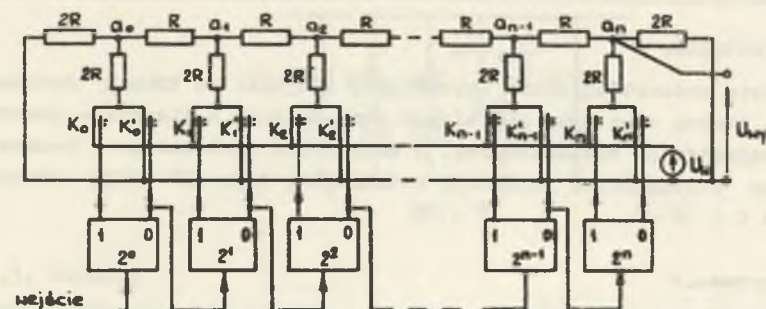
Rys. 6

1.2.3. Przetwornik cyfrowo-analogowy

Generowane przez czujnik impulsy zwarciove zostały zakumulowane w liczniku. Liczbę impulsów zamienia na proporcjonalne do niej napięcie przetwornik cyfrowo-analogowy. Jest to konwertor kodowo-napięciowy pracujący na zasadzie sumowania napięć. Klucze $K_0 \div K_n^1$ włączają napięcie wzorcowe U_w , które w odpowiednim stosunku dzieli siatka oporowa przekazując do wyjścia konwertora (rys. 7). Przetwornik jest bezpośrednio powiązany z licznikiem, gdyż klucze $K_0 \div K_n^1$ to kontaktrony umieszczone w tej samej cewce przekaźnika co kontaktrony tworzące dodatnie sprzężenie zwrotne w liczniku.

Oporność wyjściowa konwertora:

$R_{wy} = \frac{2}{3} R = \text{const}$, niezależnie od podawanej na wejście kombinacji kodowej czyli od stanu kluczy K.



Rys. 7

Napięcie na wyjściu konwertora U_{wy} (dla $R_{obc} \rightarrow \infty$):

a) włączony klucz K_n , w pozostałych pozycjach włączone klucze $K'_0 \div K'_{n-1}$

$$U_{wy} = U_w \frac{R}{2R+R} = \frac{1}{3} U_w$$

b) włączony klucz K_{n-1} w pozostałych pozycjach włączone klucze $K'_0 \div K'_{n-2}$ oraz K'_n

$$U_{wy} = \frac{U_w}{3} \cdot \frac{R}{2R} = \frac{U_w}{3} \cdot \frac{1}{2}$$

c) postępując dalej wyznaczamy:

$$U_{wy} = \frac{U_w}{3} \left(\frac{\alpha_n}{2^0} + \frac{\alpha_{n-1}}{2^1} + \dots + \frac{\alpha_1}{2^{n-1}} + \frac{\alpha_0}{2^n} \right)$$

$$U_{wy} = \frac{U_w}{3} \sum_{i=0}^{i=n} \frac{\alpha_{n-i}}{2^i}$$

gdzie

$$\alpha_{n-1} = 0 \text{ lub } 1.$$

Obliczenie liczby przerzutników.

Maksymalna liczba impulsów zwiernych za okres 30 min. wynosi około 250 dla $V = 20$ m/s. Ponieważ:

$$1 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 + \dots + 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^7 = 255$$

więc liczba przerzutników $L_p = 8, \quad n = 7.$

Napięcie wyjściowe:

$$U_{wy} = \frac{U_w}{3} \left(\frac{1}{2^0} + \frac{1}{2^1} + \dots + \frac{1}{2^7} \right) = \frac{U_w}{3} \left(1 + \frac{127}{128} \right) \approx \frac{2}{3} U_w$$

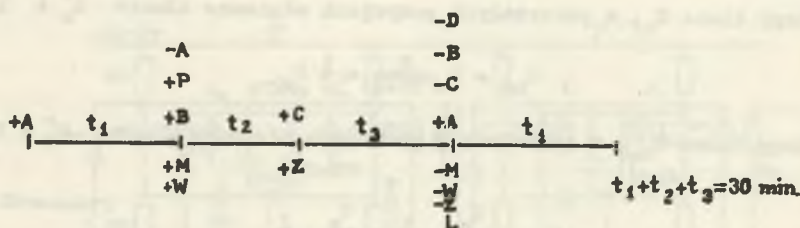
1.2.4. Rejestrator

Na maszynie meteorologicznej umieszczono czujniki na trzech poziomach. Urządzenie tworzą więc trzy niezależne tory czujnik - licznik - przetwornik oraz rejestrator wielokanałowy. W urządzeniu zastosowano 6-kanałowy kompensator automatyczny produkcji radzieckiej typu EPP -09M3 klasy 0,5 o zakresie 0 ± 10 mV.

1.2.5. Sterowanie

Różgodzinna cykliczna praca stacji zapewnia automat sekwencyjny zbudowany w oparciu o przekaźniki czasowo-zwłoczne.

Wykres czasowy pracy automatu podaje rys. 8.



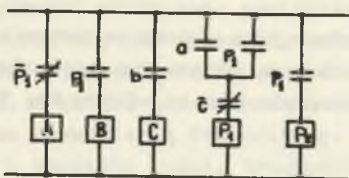
Rys. 8

Na rysunku tym oznaczono:

- A, B, C - cewki przekaźników czasowo-zwłocznych
- P - cewki przekaźnika pomocniczego bezzwłocznego
- M - zasilanie obu rejestratorów
- Z - zapis na taśmie rejestracyjnej
- W - wentylacja czujników rezystancyjnych
- L - kasowanie liczników
- +, - - oznaczają odpowiednio załączenie i wyłączenie.

Automat na określony odcinek czasu przed pomiarem ($t_2 + t_3$) załącza wentylację czujników celem wytworzenia równowagi termicznej czujnik - ekran oraz załącza zasilanie obu rejestratorów. W czasie t_3 zapisuje zmierzone wielkości na taśmie rejestracyjnej. Następnie kasuje liczniki, wyłącza rejestratory i rozpoczyna odliczanie czasu t_1 . Przekaźnik pomocniczy P ma za zadanie odciążyć najdłużej pracujący przekaźnik A.

Schemat ideowy części czasowej układu sterującego zamieszczony jest na rys. 9.



Rys. 9

1.3. Wnioski

W artykule nie podaje się wyników pomiarów, ponieważ zaprojektowane urządzenie wprowadza się obecnie do eksploatacji. Wydaje się, iż wyniki pomiarów przeprowadzonych przez to urządzenie powinny dostarczyć wiele interesujących wskazówek.

Czujniki mierzące temperaturę i prędkość wiatru umieszczono na maszcie o niewielkiej wysokości, otrzymamy więc równoczesną informację o ruchu i temperaturze przyziemnej warstwy atmosfery. Czujniki rezystancyjne mierzą temperaturę w opracowywanych obecnie ekranach metalowych z wymuszonym przepływem powietrza. Jeden z czujników (rys. 1: pkt pomiarowy ①) znajduje się w klatce meteorologicznej drewnianej, która jest obecnie powszechnie stosowana. Na tej samej wysokości na maszcie zamocowany jest czujnik w ekranie metalowym (pkt pomiarowy ②). Urządzenie w każdej serii pomiarów wykryje i zarejestruje różnicę wskazań jaka wystąpi na skutek odmiennej obudowy czujników. Pomiaru przeprowadzone w dłuższym okresie czasu i w różnych warunkach atmosferycznych wykażą przydatność nowych ekranów.

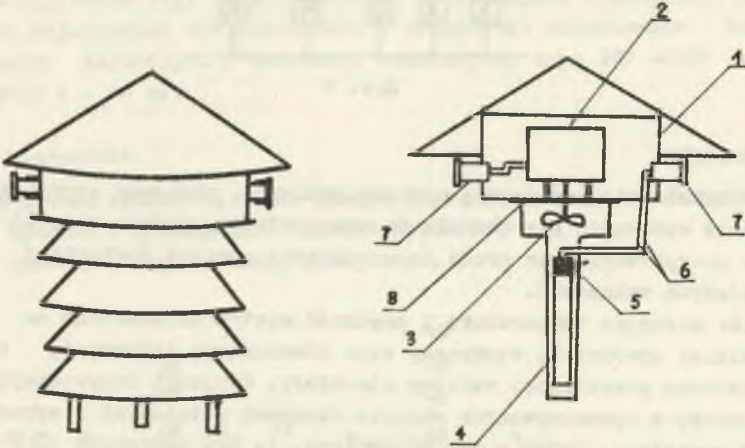
2. Badanie wpływu ekranowania termometrów rezystancyjnych oraz wpływu prędkości wiatru na ich czas opóźnienia

Niniejszy punkt artykułu podaje wyniki badań nad opóźnieniem termometru rezystancyjnego typu OP-3 umieszczonego wewnątrz ekranu metalowego. Przy pomiarach meteorologicznych szczególnie ważnym jest, aby termometr określał rzeczywistą chwilową temperaturę powietrza i reagował bardzo szybko na jej zmiany. Ponieważ termometr umieszcza się na odpowiedniej wysokości na otwartej przestrzeni, należy go więc odpowiednio ekranować, aby chronić go przed wpływami atmosferycznymi, a równocześnie zapewnić mu jak najmniejszy czas opóźnienia, wywołany wpływem ekranu meteorologicznego.

2.1. Budowa ekranu meteorologicznego

Model ekranu meteorologicznego zaczerpnięto z literatury radzieckiej z amerykańskiej z tym, że został on przystosowany do aktualnych warunków pracy. Jest to ekran metalowy (grubość blachy ok. 1 mm) ze ściankami z pojedynczych żaluzji i wymuszonym przepływem powietrza (rys. 10). Wewnątrz korpusu 1 umieszczono silnik 2 napędzający śmigło 3 o odpowiednio

dobranym kształcie, wymuszające przepływ powietrza w osłonie termometrycznej o wielkości 4 m/s. Osłoną termometru jest cienkościenna rurka 4 wykonana z mosiądzu. Przejmowanie ciepła odbywa się tu całą powierzchnią.



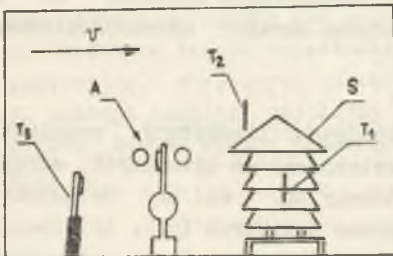
Rys. 10. Ekran meteorologiczny

1. Korpus ekranu, 2. Silnik w obudowie, 3. Śmigło, 4. Termometr rezystancyjny w osłonie, 5. Uszczelka z epidianu, 6. Przewody doprowadzające, 7. Złącze pięciowtykowe, 8. Uszczelka gumowa

2.2. Pomiar czasu opóźnienia reakcji termometru rezystancyjnego na zmiany temperatury wywołanego wpływem ekranu meteorologicznego

Układ pomiarowy mierzy temperaturę powietrza na sześciu różnych wysokościach, dlatego ustalenie optymalnego czasu opóźnienia termometru jest szczególnie ważne. Czas opóźnienia wskazuje, na jaki okres przed pomiarem należy włączyć wentylację, aby ustalić warunki pomiaru temperatury powietrza.

Badanie czasu opóźnienia termometrów rezystancyjnych, wykonywane w warunkach polowych nie pozwalało uwzględnić w sposób ścisły wpływu różnych parametrów meteorologicznych, takich jak wiatr, radiacja itp. Badania w



Rys. 11

w warunkach laboratoryjnych pozwoliły wyeliminować wpływy czynników niekontrolowanych. Metoda pomiarów (rys.11); klatkę meteorologiczną badaną z termometrem rezystancyjnym T_1 umieszczono w tunelu aerodynamicznym. Drugi termometr T_2 mierzył temperaturę bezpośrednio na zewnątrz ekranu, a trzeci T_3 umieszczono w pewnej odległości od niego. Służył on do pomiaru temperatury powietrza przepływającego tunelem. Pomiędzy T_3 a ekranem umieszco-

no anemometr do pomiaru prędkości strumienia powietrza. Ekran nakryty pokrowcem, aby powietrze w tunelu się nie nagrzało, był podgrzewany grzejnikiem, umieszczonym również pod pokrowcem, do temperatury wyższej od temperatury powietrza w tunelu. Z chwilą gdy wskazania termometrów T_1 i T_2 zrównają się, wtedy ekran ma równomierną temperaturę. Wówczas zdjęto pokrowiec, wyłączono grzejnik i włączono tunel. Uruchomiono wentylację termometru badanego i zmierzono czas, w jakim przy danej prędkości wiatru temperatura wewnątrz ekranu stawała się równa temperaturze powietrza w tunelu. Z prawa chłodzenia Newtona wynika, że

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{1}{\tau} (T - T_A).$$

Po rozwiązaniu otrzymuje się

$$\ln (T - T_A) = C - \frac{t}{\tau},$$

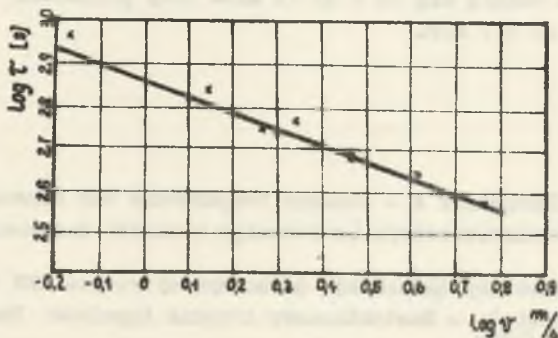
gdzie

T - temperatura ekranu $^{\circ}\text{C}$

T_A - temperatura otoczenia

τ - stała czasowa

Wyniki pomiarów ilustrują wykresy przedstawione na rys. 12 i 13.



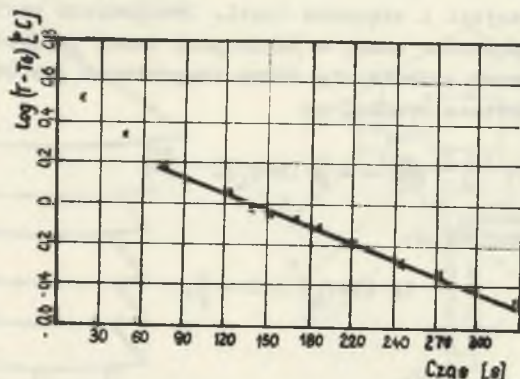
Rys. 12. Wpływ prędkości wiatru na czas opóźnienia termometru rezystancyjnego w ekranie

Z analizy wykresu na rys. 12 wynika, że w pierwszych 90 sekundach prędkość wiatru nie wpływa w sposób systematyczny na szybkość stygnięcia termometru (część krzywoliniowa charakterystyki). Do wyznaczenia czasu opóźnienia wykorzystano prostoliniową część charakterystyki o nachyleniu $-\frac{1}{\tau}$ wzrastającym z prędkością wiatru. Przy wzroście prędkości wiatru czas opóźnienia reakcji termometru w ekranie maleje. Praktyczny wzór empiryczny do obliczania czasu opóźnienia τ termometru rezystancyjnego

$$\frac{1}{r} = \frac{12}{v^3},$$

gdzie

v - prędkość wiatru w m/s.



Rys. 13. Szybkość stygnięcia termometru rezystancyjnego w ekranie dla prędkości wiatru 8,5 m/s

W przypadku ekranów dla termometrów rezystancyjnych wielkości liczbowe czasów opóźnienia wahają się od 5 do 15 min. przy prędkości wiatru odpowiednio od 9 m/s do 0,7 m/s.

LITERATURA

1. Michalski L. Eckersdorf K - Pomiary temperatury WNT Warszawa 1969
2. Kożuch W. - Awtomatyczeskije izmierenije raznosti temperatur Energija Moskwa 1969
3. Gitis J. - konwertery informacji do maszyn cyfrowych WNT Warszawa 1964
4. Pytel J., Borecki J. - Kontaktronowy licznik impulsów Pomiary Automatyka Kontrola 1/1972
5. Bryant D. - Meteorologic Magazine 97/1969

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИИ

Резюме

В первой части статьи описывается устройство для автоматической регистрации температуры воздуха и скорости ветра для метрологии. Во второй части даны результаты исследований времени запаздывания реакций термометра в метеорологическом экране.

METEOROLOGIC MEASUREMENT INSTALLATION

S u m m a r y

Air temperature and wind speed automatic registration device for meteorology is described in Part One. The results of investigations on the lag time of meteorologic thermometer screen are given in Part Two.