ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1970

Seria: ENERGETYKA z. 36 Nr kol. 281

ANDRZEJ KORCZAK
Katedra Maszyn Hydraulicznych i Powietrznych

GRZEGORZ SOWA
Instytut Metalurgii Żelaza

UKŁAD DO CIĄGŁEGO POMIARU SPRAWNOŚCI ZESPOŁÓW POMPOWYCH

Streszczenie. W pracy opisano sposób pośredniego pomiaru sprawności zespołów pompowych. Podano szczegółowy opis budowy oraz zasadę działania elektronicznego przelicznika mnożąco-dzielącego wraz z parametrami pracy i charakterystykami prototypu. Wyszczególniono zalety stosowania nowego układu pomiarowego.

1. Wstęp

Badania hydrauliczne pomp wirowych polegają na doświadczalnyv wyznaczaniu zależności funkcyjnej między wielkościami fizycznymi charakteryzującymi działanie pompy w pewnym z góry założonym zakresie zmienności parametrów podstawowych [1].

Pomiary parametrów, jak wysokość podnoszenia H, wydajność pompy Q, pobierana moc N, odbywają się przez oddzielne, dokonywane w jednym czasie przy pracy ustalonej zespołu pompowego pomiary ciśnienia na króćcu dolotowym i wylotowym pompy, natężenia przepływu przy pomocy odpowiedniego przepływomierza lub zbiornika pomiarowego i chronometru oraz mocy za pomocą układu watomierzy lub precyzyjnie za pomocą pomiaru momentu silnika oraz liczby obrotów.

Najbardziej istotną wielkością decydującą o jakości pompy, o doborze parametrów pracy a więc i o poprawności doboru zespołu pompowego do instalacji pompowej, w której pompa ma pracować, jest sprawność.

Sprawność zespołu pompowego jest wielkością pośrednią określoną równaniem:

$$\eta = \frac{Q \gamma H}{N}$$

gdzie:

Q m^3/s - wydajność pompy,

γ N/m^3 - ciężar właściwy,

H m - użyteczna wysokość podnoszenia,

N kW - moc pobierana przez silnik.

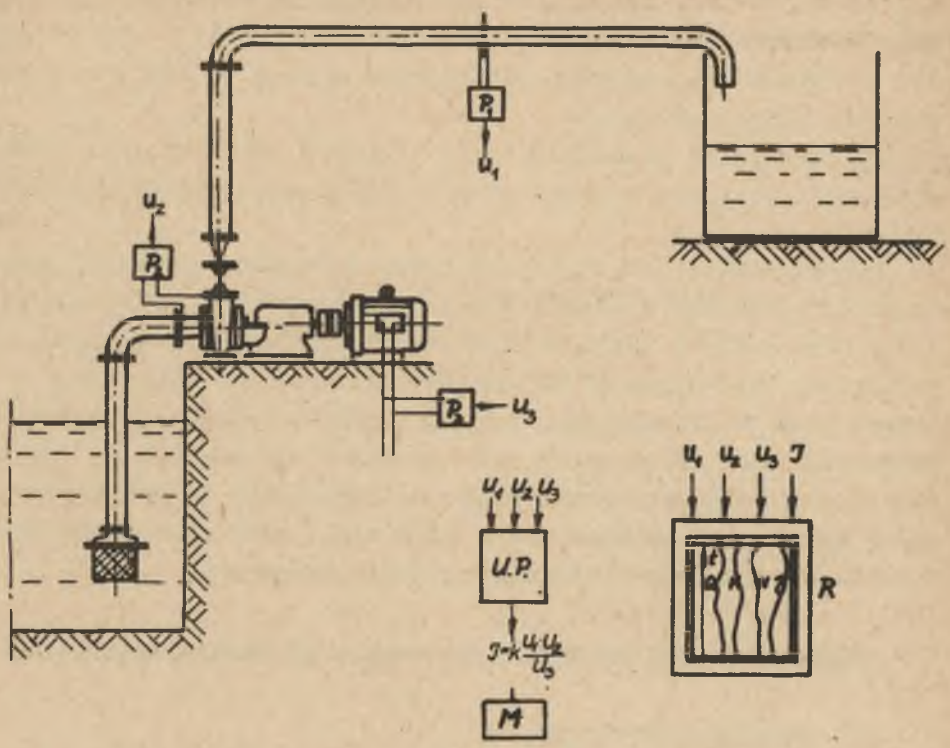
W przypadku podstawienia w przytoczonym wzorze mocy pobieranej przez silnik, wzór wyrazi sprawność zespołu pompowego, natomiast podstawiając moc zmierzoną na wale pompy - eliminuje się wpływ sprawności silnika i uzyskuje sprawność samej pompy.

Przy założeniu stałej wartości γ - ciężaru właściwego, co jest słuszne w przypadku pompowania cieczy jednorodnej, na wielkość sprawności mają wpływ pozostałe główne parametry pracy pompy.

2. Opis układu do pośredniego pomiaru sprawności zespołów pompowych

Wielkości głównych parametrów pracy pompy i silnika można przetworzyć na proporcjonalne impulsy elektryczne. Jak pokazano schematycznie na rys. 1, w nowym układzie pomiarowym pomiaru wydajności dokonuje się za pomocą zwężki miernicze j. Miernicy spadek ciśnienia zostanie przetworzony za pomocą przetwornika pomiarowego P_1 o charakterystyce pierwiastkującej na sygnał elektryczny U_1.

Pomiar wysokości podnoszenia pompy H odbywa się przy pomocy przetwornika pomiarowego P_2 o charakterystyce liniowej, przetwarzającego na impuls elektryczny U_2 różnicę ciśnienia pomiędzy wylotowym i dolotowym króćcem pompy. Wielkość mocy pobieranej przez silnik jest przetworzona przez przetwornik mocy P_3 na impuls elektryczny U_3.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego

Wielkości U_1, U_2, U_3 są przeliczane przy pomocy przelicznika mnożąco-dzielącego UP na wartość sprawności ρ ,która może być odczytana na mierniku (mikroamperomierzu) M lub zarejestrowana na rejestratorze R.

Opisany układ pozwala śledzić w sposób ciągły wpływ zmiany dowolnych parametrów pracy układu pompowego na wielkość sprawności.

Opisany układ pośredniego pomiaru sprawności zespołu pompowego daje możność wyeliminowania błędu wynikającego z niejednoczesności odczytu wielkości parametrów mierzonych sposobem tradycyjnym. Zastosowanie takiego układu do celów badawczych w dużym stopniu przyspieszy analizę wyników badań,eliminując wielokrotnie powtarzane obliczanie wartości sprawności na podstawie zmierzonych parametrów oraz pozwalając na bezpośrednią ocenę zarówno jakościową jak i ilościową wpływu dowolnych parametrów pracy układu pompowego na jego sprawność.

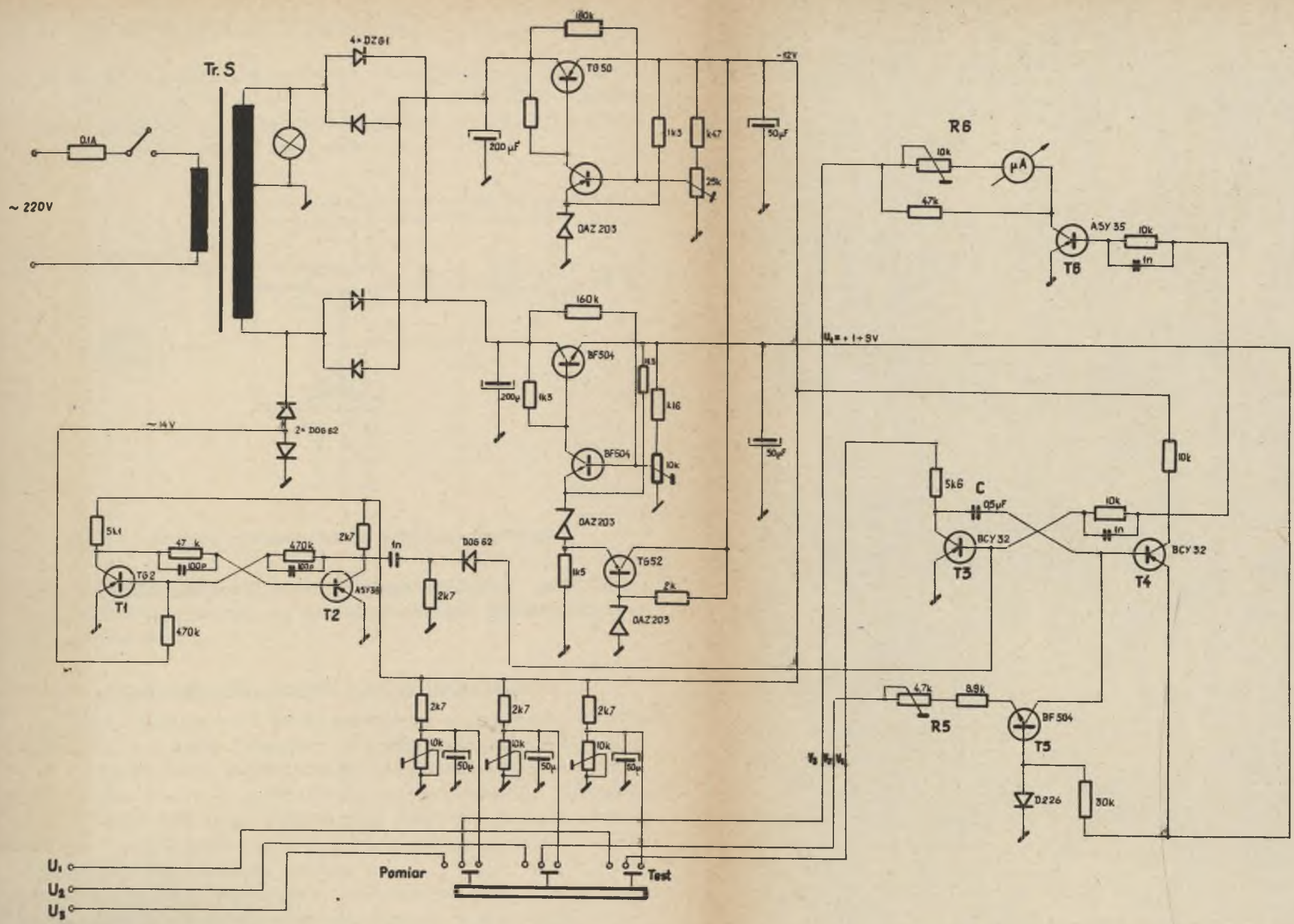
3. Budowa i zasada działania przelicznika mnożąco-dzielącego

3.1. Ogólny opis budowy

Opisany poniżej przelicznik mnożąco-dzielący pokazany na zdjęciu (rys. 5) został zbudowany z inicjatywy Katedry Pomp i Silników Wodnych Politechniki Śląskiej w Instytucie Metalurgii Żelaza.

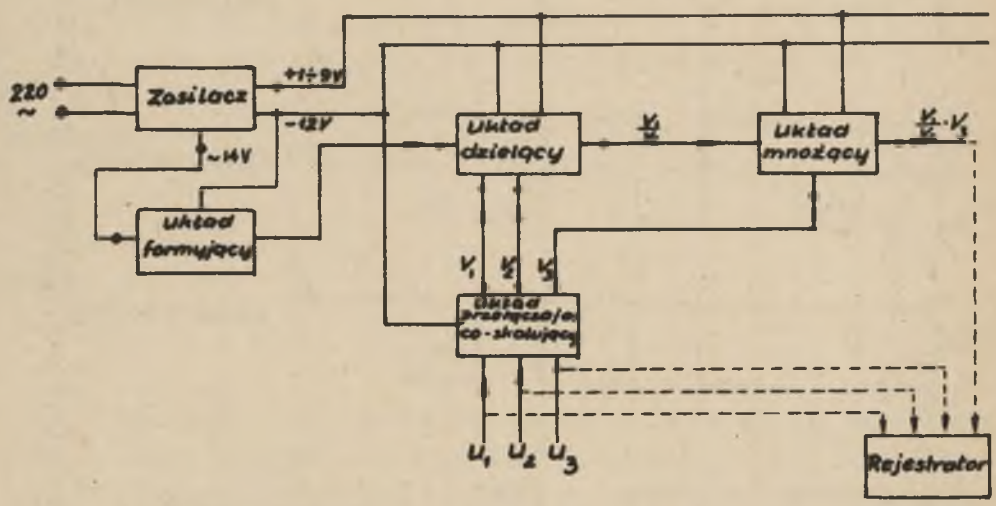
Przelicznik impulsowy mnożąco-dzielący MD-02 służący do pomiaru sprawności zespołów pompowych składa się z następujących układów:

- zasilacza dostarczającego napięć stabilizowanych - 12 V i + 1 ÷ 9 V oraz napięcia zmiennego 14 V 50 Hz,
- układu formującego wytwarzającego impulsy startowe przelicznika,
- układu dzielącego napięcia stałe V_1 i V_2 odpowiadające wydajności pompy oraz mocy pobieranej przez silnik,
- układu mnożącego impulsy V_1/V_2 przez napięcie stałe V_3 odpowiadające wysokości podnoszenia pompy,



Rys. 3. Schemat ideowy przelicznika MD-02

- układu przełączająco-skalującego umożliwiającego pracę pomiarową (dla której $V_1 = U_1$, $V_2 = U_2$, $V_3 = U_3$) lub testową pracę przelicznika, przy której napięcia V_1, V_2 i V_3 pobierane są z wewnętrznego zasilacza.



Rys. 2. Schemat blokowy układu pomiaru sprawności

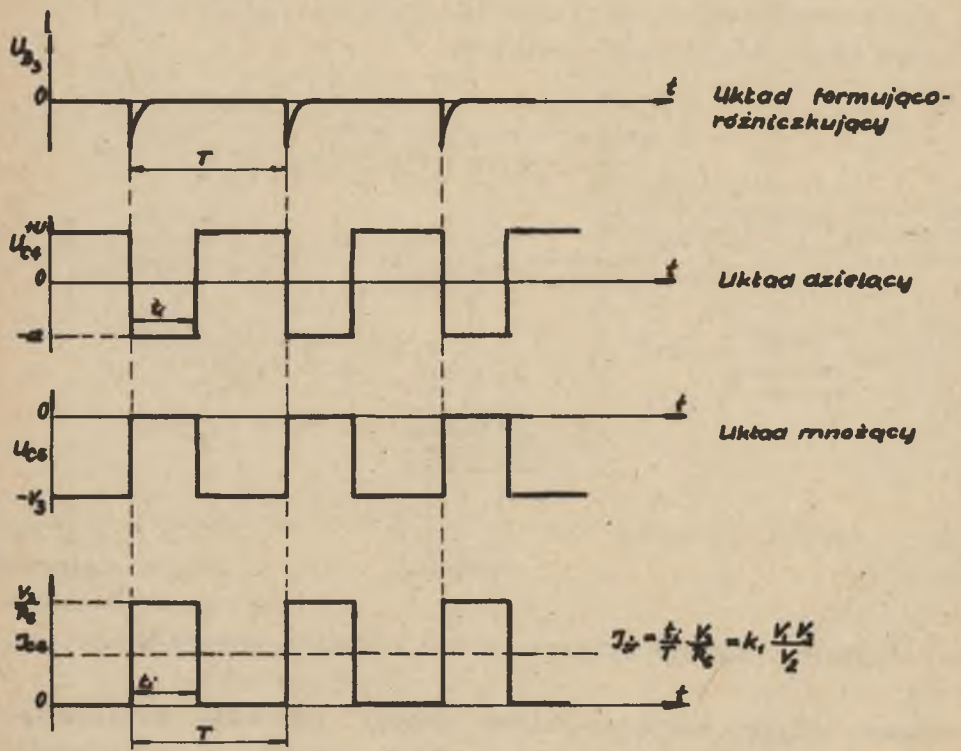
Schemat blokowy połączeń między blokami (układami) przelicznika przedstawiono na rys. 2, natomiast schemat ideowy całkowity pokazano na rys. 3.

3.2. Szczegółowy opis budowy i zasada działania

Napięcie zmienne 14 V 50 Hz uzyskiwane z zasilacza jest przetwarzane przez układ formujący (kolektor tranzystora T2) na impulsy prostokątne o częstotliwości sieci zasilającej f = 50 Hz i amplitudzie - 12 V. Impulsy te po zróżniczkowaniu podawane są do układu dzielącego jako impulsy startowe. Kształt tych impulsów, a także przebiegi w innych charakterystycznych punktach układu przedstawiono na rys. 4

Układ dzielący, zbudowany w oparciu o technikę analogowo-impulsową [2], to uniwibrator wytwarzający w odpowiedzi na im-

puls startowy impuls o czasie trwania proporcjonalnym do ilorazu napięć V_1/V_2.



Rys. 4. Przebiegi napięć i prądów

Wynika to z następującego działania układu:
W stanie ustalonym tj. przed podaniem impulsu startowego tranzystor T3 uniwibratora dzielącego nie przewodzi, przewodzi natomiast tranzystor T4.
Kondensator C jest naładowany do napięcia:

$$U_{CO} = V_1 + U_+$$

gdzie:

$U_+ = 1 \div 9$ V

Przez kolektor tranzystora T5 płynie prąd o stałej wartości

$$J_{C5} = \alpha J_{E5}$$

gdzie:

α - wzmocnienie prądowe tranzystora T5,
J_{E5} - prąd płynący przez emiter tranzystora T5

ponieważ

$$J_{E5} \approx \frac{V_2}{R_5}$$

więc

$$J_{C5} \approx \frac{\alpha}{R_5} V_2$$

Należy zaznaczyć, że wielkość prądu J_{C5} nie zależy od stanu przewodzenia tranzystorów T3 i T4. Po nadejściu impulsu startowego na bazę tranzystora T3 zmienia się stan przewodzenia tranzystorów w uniwibratorze, T3 przewodzi zaś T4 przestaje przewodzić. Na wyjściu uniwibratora (kolektor T4) pojawia się impuls - 12 V o czasie trwania t_1. Impuls ten trwa do momentu rozładowania kondensatora C do napięcia U_+. Czas t_1 obliczymy z przebiegu napięcia na kondensatorze C, przyjmując moment podania impulsu startowego jako t = 0 (kondensator rozładowuje się stałym prądem wymuszonym przez tranzystor T5).
Tak więc:

$$U_C = U_{CO} - \frac{J_{C5} \cdot t}{C} = V_1 + U_+ - \frac{\alpha V_2}{C R_5} t$$

Jeżeli $U_C = U_+$ to następuje zakończenie impulsu ($t = t_1$) stąd

$$V_1 - \frac{\alpha V_2}{C R_5} t_1 = 0$$

czyli

$$t_1 = \frac{C\ R_5}{\alpha}\ \frac{V_1}{V_2} = k\ \frac{V_1}{V_2}$$

Po zakończeniu impulsu następuje ładowanie kondensatora C do napięcia U_{C0} i układ powraca do stanu wyjściowego (przed impulsem startowym).
Jak widać czas t_1 jest proporcjonalny do ilorazu V_1/V_2 pod warunkiem zachowania stałej wartości współczynnika

$$k = \frac{C\ R_5}{\alpha}$$

tzn. stałej wartości pojemności kondensatora C, oporności R_5 oraz wzmocnienia prądowego α tranzystora T5.
Dla kompensacji wpływu temperatury na α wprowadzono w obwód bazy tranzystora T5 diodę D226.

Z powyższych rozważań wynika również możliwość zastosowania opornika R5 jako elementu skalującego układ - ustalającego wielkość k. Skalowanie odbywa się poprzez zmiany oporności R5 przy podanych na wejściu V_1 i V_2 wzorcowych napięć odniesienia z zasilacza stabilizowanego.
Impulsy o czasie trwania t_1 otrzymane z układu dzielącego podawane są na wejście układu mnożącego. Tranzystor T6 przewodzi w czasie t_1, a amplituda prądu zależy od napięcia V_3 spełniającego funkcję napięcia kolektorowego. Średnia wartość prądu kolektorowego tranzystora T6 jest proporcjonalna do czasu trwania i amplitudy impulsów prądowych (rys. 4) i wynosi:

$$J_{śr} = \frac{t_1}{T} \cdot \frac{V_3}{R_6} = \frac{C\ R_5}{\alpha R_6 T} \cdot \frac{V_1 \cdot V_3}{V_2}$$

gdzie:

$T = \frac{1}{f}$ zaś f - częstotliwość impulsów startowych.

Dla pomiaru prądu $J_{śr}$ jako miernik zastosowano mikroamperomierz prądu stałego włączony w obwód kolektora tranzystora T6.

Jeżeli napięcia wejściowe V_1, V_2 i V_3 będą odpowiednio proporcjonalne do głównych parametrów pracy Q, N, H zespołu pompowego, to wielkość prądu mierzonego mikroamperomierzem będzie proporcjonalna do sprawności zespołu pompowego

$$J = M \cdot \frac{V_1 \cdot V_3}{V_2} = M' \cdot \rho$$

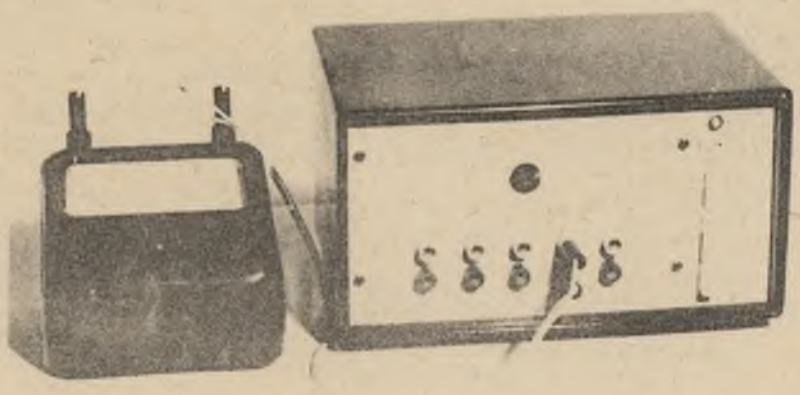
gdzie:

M i M' - współczynniki proporcjonalności.

Opisany układ może również znaleźć zastosowanie do określania innych wielkości elektrycznych związanych z wyżej opisaną funkcją.

3.3. Opis techniczny i charakterystyki przelicznika

Układ zbudowano z przeważającej części z elementów krajowych. Zastosowano obwody drukowane. Część elektroniczna przelicznika rozmieszczona została na trzech płytkach. Przewidziano wewnątrz panelu miejsce na ewentualny montaż płytki z układami przejścia dla przetworników pomiarowych.



Rys. 5. Przelicznik mnożąco-dzielący

Na płycie czołowej (rys. 5) znajdują się:

- gniazdka napięć wejściowych (U_1, U_2, U_3) oraz gniazdka do podłączenia miernika - mikroamperomierza i rejestratora R,
- przełącznik klawiszowy, którego klawisze służą kolejno od góry do:
  - włączenia urządzenia,
  - wyłączenia urządzenia,
  - przełączenia przelicznika w stan pracy testowej,
  - przełączenia przelicznika w stan pracy pomiarowej (z wyjściem na miernik),
  - przełączenia przelicznika w stan pracy pomiarowej (z wyjściem na rejestrator),
- czerwona lampka sygnalizująca włączenie zasilania,
- potencjometr skalujący.

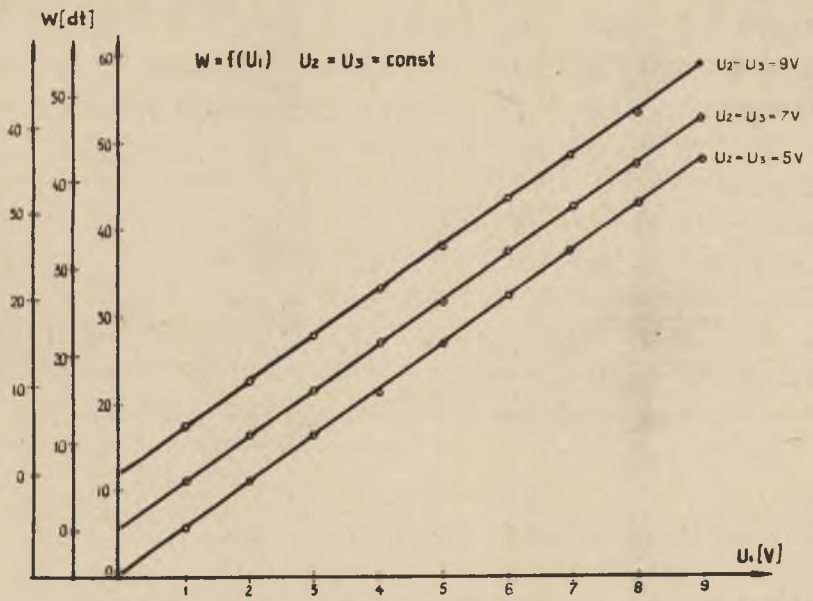
Gabaryty urządzenia: 295 x 200 x 160 mm
ciężar: 3,5 kG.

Przelicznik po zaprojektowaniu i zabudowaniu poddany został szeregowi prób i badań, na podstawie których określono charakterystyki, zakresy i parametry pracy. Na rysunkach 6, 7, 8 i 9 przedstawiono charakterystyki pomiarowe przyrządu.
Przy następujących warunkach pracy:

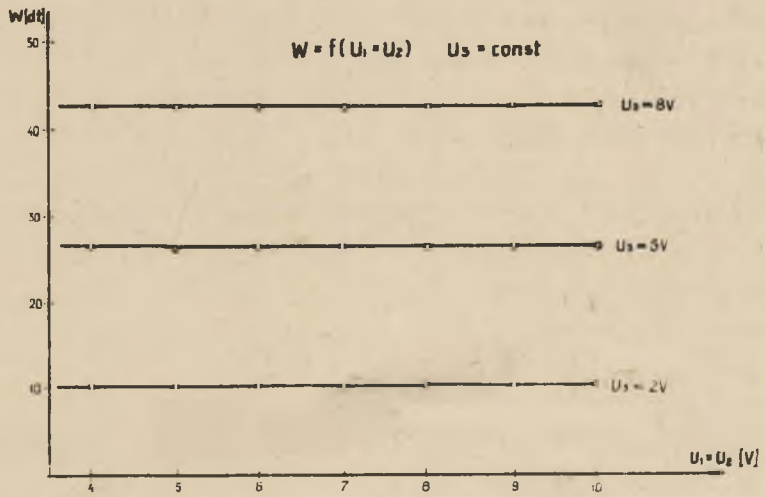
temperatura otoczenia 20°C,
napięcie sieci zasilającej 220 V, 50 Hz,
źródła napięć V_1, V_2 V_3 - zasilacze stabilizowane

określono następujące zakresy i parametry pracy:

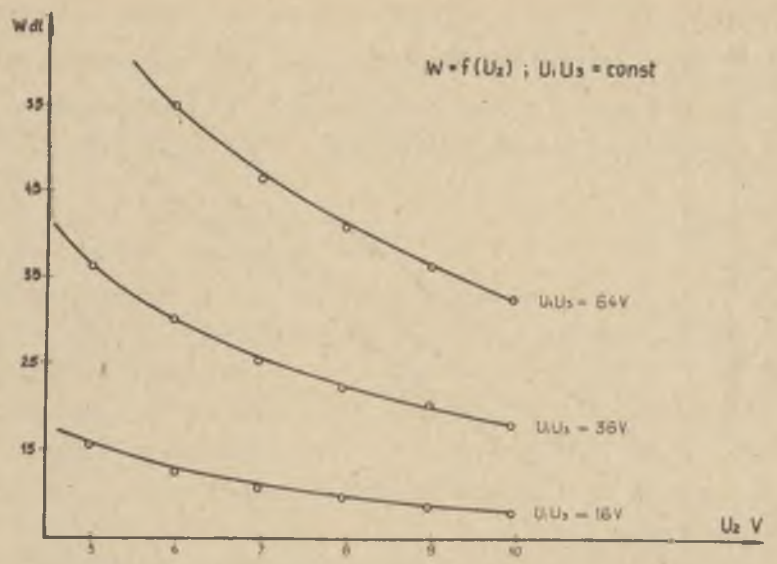
- zakres zmian napięcia V_1 - 0 ÷ - 10 V
- zakres zmian napięcia V_2 - 0 ÷ - 10 V
- zakres zmian napięcia V_3 - -5 ÷ - 10 V
- dopuszczalne zmiany napięcia sieci - 200 ÷ 230 V
- dopuszczalne zmiany temperatury otoczenia - +10 ÷ +30°C
- błąd układu mnożenia 0,5%
- klasa przelicznika (z uwzględnieniem klasy mikroamperomierza) - 1,5.



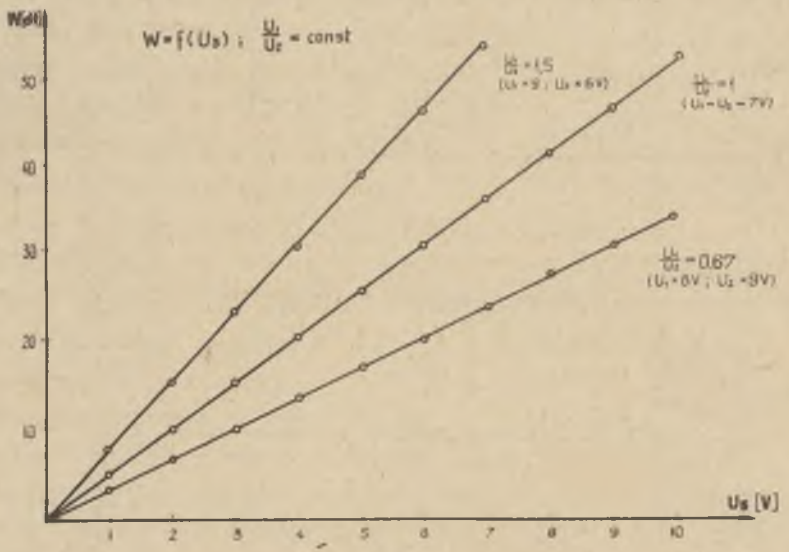
Rys. 6. Zależność prądu wyjściowego od napięcia U_1 –



Rys. 7. Zależność prądu wyjściowego od napięcia U_1 i U_2



Rys. 8. Zależność prądu wyjściowego od napięcia U_2



Rys. 9. Zależność prądu wyjściowego od napięcia U_3

4. Uwagi końcowe

Opisany układ pomiarowy może mieć szczególnie duże zastosowanie w laboratoriach maszyn hydraulicznych, na stacjach badawczych pomp. Może on być również wykorzystany jako stały układ pomiarowy do kontroli eksploatacji dużych jednostek zespołów pompowych oraz turbin wodnych względnie układów rewersyjnych.

Możliwa do osiągnięcia dokładność pomiaru sprawności daje pewność kontroli poprawności pracy całego zespołu pompowego na podstawie wskazania tylko jednego miernika.

Opisany układ pomiarowy pozwala również na określenie wielkości jednostkowego zużycia energii elektrycznej przypadającej na jednostkę transportowanej cieczy

$$e = k_z \frac{Q}{N} = k_z' \frac{V_1}{V_2}$$

W tym celu należy tylko zasilać wejście V_3 odpowiednio dobranym napięciem.

Poza pomiarem lub rejestracją wielkości sprawności zespołu pompowego w opisanym układzie pomiarowym,przez zastosowanie odpowiednich mierników elektrycznych, można zrealizować pomiar podstawowych parametrów pracy zespołu pompowego.Wielkości podstawowych parametrów mogą być odczytywane z mierników lub rejestrowane najlepiej na oscylografie.

Opisany układ w przypadku zastosowania oscylografu może znaleźć również zastosowanie do badania dynamiki układów pompowych.

LITERATURA

[1] ŁAZARKIEWICZ S., TROSKOLAŃSKI A.T. - Pompy wirowe,WNT Warszawa 1968.

[2] STEPANIENKO I.P. - Osnowy teorii tranzistorow i tranzistornych schem, Gosenergoizdat, 1963.

СИСТЕМА ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

Р е з ю м е

В работе описан способ посредственного измерения коэффициента полезного действия насосных агрегатов. Дано подробное описание конструкции, а также указан принцип действия электронного умножительно-делительного устройства для перерасчёта вместе с параметрами работы и характеристиками прототипа. Перечислено преимущества применения новой измерительной системы.

A SYSTEM FOR CONTINUOUS MEASUREMENTS OF THE EFFICIENCY OF PUMP SETS

S u m m a r y

In this paper there is described the way of the intermediate measurement of the efficiency of pump sets. The paper contains a detailed description of the structure as well as the principles of the electronic activity of the multiplication-and-division computer, together with the working parameters and the characteristics of the prototype. The advantages of applying this new measuring system are specified.