

Jerzy Dąbrowa  
Katedra Konstrukcji  
Aparatów Automatyki

## 5.1. UKŁAD POMIAROWY KĄTA OBROTU

### 1. Wstęp

Ciągły rozwój wielu gałęzi przemysłu oraz duże osiągnięcia w dziedzinie badań urządzeń przemysłowych, jak również wymagania stawiane tym urządzeniom pod względem pewności i poprawności pracy, związane są z koniecznością ciągłego rozpracowywania nowych układów pomiarowych i kontrolnych. W układach tych szerokie zastosowanie znajdują różnego typu czujniki.

Czujniki ogólnie podzielić można na stykowe i bezstykowe, zaś ze względu na zasadę działania na analogowe i dyskretne. W czujnikach analogowych wielkość mierzona określana jest przy pomocy amplitudy napięcia lub prądu wyjściowego. W czujnikach dyskretnych sygnał wyjściowy otrzymywany jest w postaci częstotliwości impulsów, długości impulsów lub ma postać kodu impulsowego.

Ponieważ w przeważającej liczbie przypadków czujniki współpracują zwykle z bezstykową aparaturą elektroniczną, dlatego korzysta się raczej z czujników bezstykowych, zapewniając przez to maksymalne wykorzystanie walorów tej aparatury.

Jednym z układów które często powinny być wykorzystane w technice pomiarowej jest układ do pomiaru kąta obrotu wału. Jest to układ zaprojektowany i wykonany w Katedrze Konstrukcji Aparatów Automatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Układ ten umożliwia rejestrację położenia wału elementu wykonawczego w stanach statycznych i dynamicznych w zakresie kąta obrotu  $0 - 80^{\circ}$ .

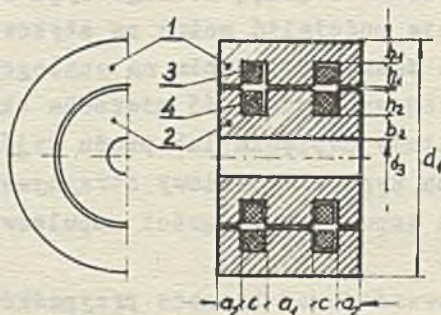
Elementem przetwarzającym ruch wału na napięcie jest czujnik indukcyjny [1], o liniowej charakterystyce wyjściowej

w podanym zakresie kąta obrótu. Liniowość charakterystyki wyjściowej  $x_{wy} = f(x_{we})$  jest podstawową właściwością czujnika indukcyjnego, dzięki której został on wykorzystany w tym układzie. Ponadto brak styków ślizgowych i trwałość konstrukcji warunkują wysoką pewność działania czujnika. Oprócz powyższych zalet, czujniki indukcyjne charakteryzują się dużym współczynnikiem wzmocnienia oraz wysoką rozróżnialnością.

Czujniki indukcyjne można wykonać z ferromagnetycznych materiałów proszkowych, dzięki czemu możliwe jest zasilanie tych czujników napięciem o dowolnie wysokiej częstotliwości. Przy tym wymiary geometryczne i ciężar czujnika znacznie maleją.

## 2. Budowa i działanie czujnika

Obwód magnetyczny zastosowanego w układzie czujnika indukcyjnego ma kształt, który w przekroju przedstawia rys. 1.



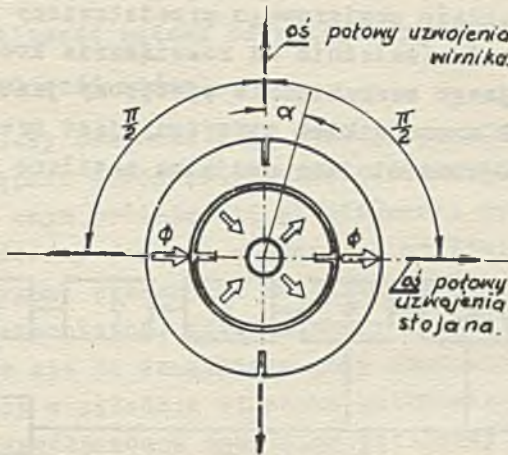
Rys. 1. Obwód magnetyczny czujnika z uzwojeniami  
 1 - obwód magnetyczny stojaka, 2 - obwód magnetyczny wirnika  
 3 - uzwojenie stojana, 4 - uzwojenie wirnika

Na środkowym pierścieniu obwodu magnetycznego stojana nawinięto uzwojenie wzbudzenia w taki sposób, by strumienie wzbudzenia w dwóch półpierścieniach były względem siebie przeciwnie skierowane.

Uzwojenie wirnika nawinięto analogicznie jak uzwojenie stojana na środkowym pierścieniu obwodu magnetycznego wirnika. Wyindukowane w dwóch oewkach siły elektromotoryczne sumują się (w każdej ohwili) dają w wyniku sygnał wyjściowy.



Czujnik zajmuje położenie zerowe, gdy osie uzwojeń wirnika i stojana przesunięte są względem siebie w przestrzeni o kąt  $\pi/2$ . Wówczas napięciowy (lub prądowy) sygnał wyjściowy czujnika równy jest zero (rys. 2).



Rys. 2. Obraz przestrzenny uzwojeń czujnika

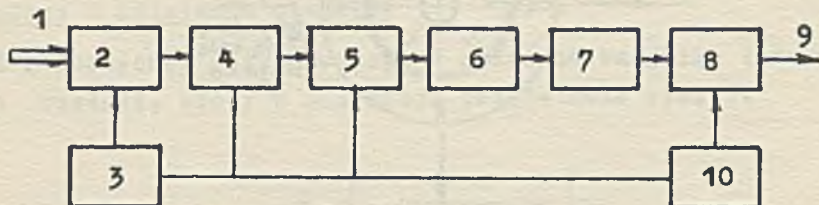
Następnie gdy wirnik zostanie obrócony o kąt  $\alpha$  wtedy osie uzwojeń są względem siebie przesunięte o  $(\pi/2 \pm \alpha)$ , na wyjściu czujnika pojawi się sygnał proporcjonalny do kąta wychylenia (przy założeniu, że charakterystyka wyjściowa  $x_{wy} = f(x_{we})$  jest liniowa w rozpatrywanym zakresie kąta obrotu  $\alpha$ ). Kąt  $\alpha$  narasta do wartości  $\pi/2$ , przy której sprzężenie magnetyczne pomiędzy uzwojeniami jest największe (osie uzwojeń pokrywają się). Na wyjściu otrzymujemy wtedy maksymalny sygnał wyjściowy.

Rdzeń obwodu magnetycznego czujnika wykonano z proszkowego materiału ferromagnetycznego. Materiał taki ma większą stałość przenikalności i stabilność własności oraz mniejszą stratność niż stopy magnetyczne stosowane w postaci cienkich blach. Dzięki zastosowaniu materiału proszkowego możliwe jest podniesienie częstotliwości nośnej czujnika nawet do MHz. W naszym przypadku wystarczająca jest granica częstotliwości 30 - 40 kHz. Obwód

magnetyczny (rdzeń) ozujnika umieszczony jest w obwodzie z duraluminium. Czujnik ma kształt wałka o wewnętrznych wymiarach geometrycznych  $\phi = 28$  mm,  $h = 33$  mm i ciężarze

### 3. Budowa układu

Schemat blokowy układu pomiarowego przedstawiony jest na rys. 3. Stożan lub wirnik (zależnie od rozwiązania konstrukcyjnego) ozujnika indukcyjnego mechanicznie sprzężony jest z wałem badanym (czasem wał z ozujnikiem sprzężony jest przez sprzęgło elastyczne). Uzwojenie stojana ozujnika zasilane jest z gene-



Rys. 3. Schemat blokowy układu pomiarowego kąta obrotu  
 1 - obiekt badany, 2 - ozujnik indukcyjny, 3 - generator fali nośnej, 4 - przedwzmacniacz, 5 - wzmacniacz, 6 - demodulator, 7 - filtr, 8 - wtórnik katodowy, 9 - do oscylografu pętlicowego, 10 - zasilacz stabilizowany

ratora falą nośną o częstotliwości  $\omega_n$ . Czujnik indukcyjny jest modulatorem fali nośnej. Znaczy to, że sygnał informacji (wejściowy - obrót wału) zmienia amplitudę sygnału nośnego. W procesie tym mogą mieć miejsce dwa rodzaje modulacji amplitudowej:

- modulacja z niestłumioną falą nośną oraz
- modulacja ze stłumioną falą nośną.

Zależy to od charakteru zmian sygnału informacji. Przyjmując w ogólnym przypadku, że sygnał informacji opisuje równanie

$$f(t) = a_1 t + a_2 \sin \omega_s t \quad (1)$$



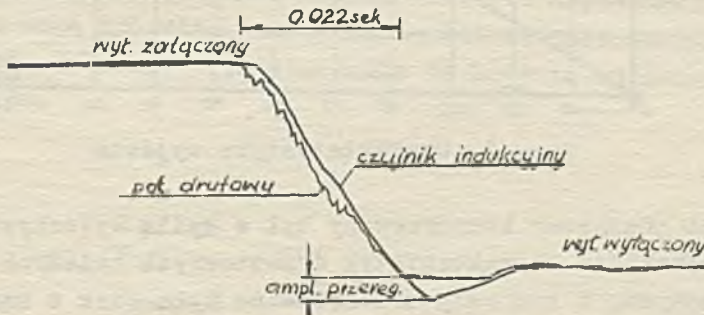
możemy zapisać wyindukowane napięcie sygnału modulowanego następująco

$$e(t) = f(t) a_3 \sin \omega_n t \quad (2)$$

gdzie:

- $a_1$  - amplituda czujnika przy  $\alpha = \frac{\pi}{2}$ ,
- $\omega_B$  - częstotliwość kątowna oscylacji sygnału,
- $\omega_n$  - częstotliwość nośna.

Sygnał wyjściowy czujnika  $e(t)$  steruje przedwzmacniacz, w którym jest wstępnie wzmocony. Dalej jest on wzmacniany we wzmacniaczu, po czym poddaje się go procesowi demodulacji. Demodulator zbudowany jest na elementach nieliniowych - diodach. Z kolei sygnał przechodzi na filtr, który tłumi niepożądane napięcia harmoniczne. Zdemodulowany i odfiltrowany sygnał wyjściowy podaje się na wzmacniacz mocy zbudowany na lampie EL 84 i pracujący w układzie wtórniaka katodowego. Z wtórniakiem katodowym współpracuje oscylator pętliowy lub jakikolwiek inny dopasowany rejestrator. Wtórnik katodowy jak i pozostałe człony elektronizne układu zasilane są z zasilacza stabilizowanego. Zasilacz stabilizowany jest koniecznym blokiem w tym układzie dla poprawnego zapisu sygnału informacji. Dotyczy to szczególnie wtórniaka katodowego, który przy niestabilizowanym zasilaniu anodowym i przy rejestracji przebiegów o czasie trwania kilkunastu milisekund daje przeregulowanie widoczne na oscylogramie (rys. 4).



Rys. 4. Oscylogram wyłóżnika typu APU

#### 4. Przykład rozwiązania ozujnika

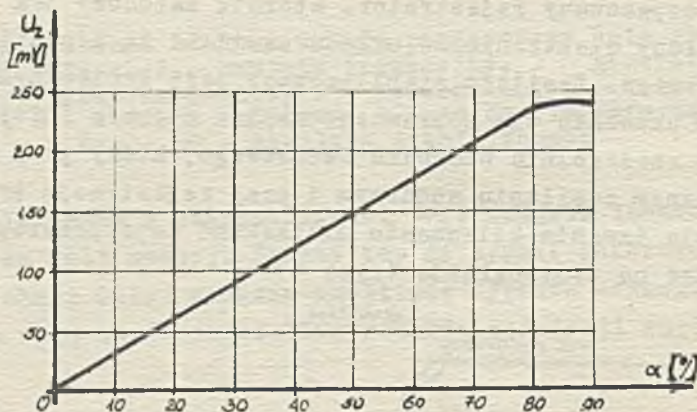
Na rys. 1 pokazano przekrój poprzeczny obliczonego i wykonane-  
go w Katedrze Konstrukcji Aparatów Automatyki ozujnika induk-  
cyjnego.

Wymiary geometryczne:  $d_1 = 30$  mm,  $d_2 = 17$  mm,  $d_3 = 7,5$  mm  
 $h_1 = h_2 = 2$  mm,  $b_1 = b_2 = 2$  mm,  
 $a_1 = 4$  mm,  $a_2 = 0 = 2$  mm,  $\delta_z \approx 0,1$  mm  
 $l = 12$  mm.

Dane znamionowe:

- napięcie zasilania                      2 V
- prąd pierwotny                          10 mA
- częstotliwość znamionowa          16 kHz
- napięcie wyjściowe przy  
  pełnym wychyleniu                      240 mV.

Zdjęta doświadczalnie charakterystyka wyjściowa pokazana  
jest na rys. 5. Z wykresu widać, że charakterystyka ta jest li-  
niowa w zakresie kąta obrotu wału od  $0 - 80^\circ$ .

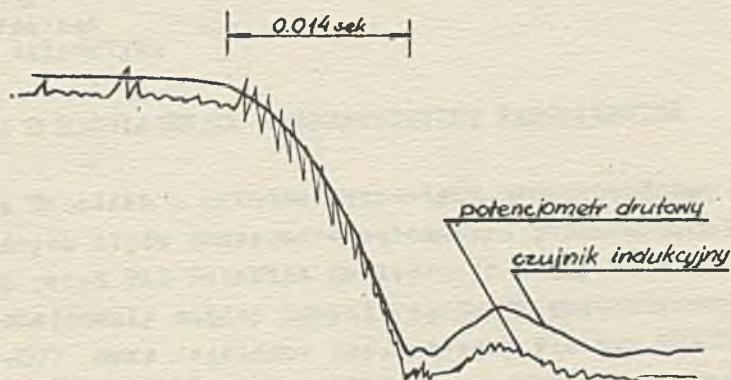


Rys. 5. Charakterystyka wyjścia

Układ pomiarowy konstruowany był z myślą wykorzystania go  
dla zdejmowania charakterystyk dynamicznych badanych ozłonów  
wykonawczych. W tym celu zamodelowano wyłącznik o kącie obrotu  
wału  $70^\circ$ . Do jednego z końców wału wyłącznika przymocowano  
czujnik indukcyjny, do drugiego - potencjometr drutowy.



Potencjometr drutowy zasilano ze źródła prądu stałego o napięciu 4 V. Celem doświadczenia było porównanie czujnika i potencjometru obrazujących ruch wału. Oscylogram pokazano na rys. 6.



Rys. 6. Oscylogram wyłączenia modelu wyłącznika

Z otrzymanego oscylogramu wynika, że przebiegi uzyskane przy wyłączeniu wyłącznika mają kształt identyczny. Krzywa czujnika indukcyjnego ma tę wyższość nad krzywą potencjometru drutowego, że jest ciągła i bardziej jednoznacznie opisuje ruch wału badanego wyłącznika. Krzywa uzyskana z potencjometru drutowego jest nieciągła, ma szereg przerw w wielu punktach zdjętego przebiegu niejednoznacznie opisuje położenie wału.

Stąd wniosek, że układy pomiarowe z zastosowaniem czujników indukcyjnych o liniowej charakterystyce wyjściowej, z powodzeniem mogą być stosowane w wielu dziedzinach automatyki pomiarowej. Całkowicie potwierdziły to badania opisanego układu pomiarowego.

## LITERATURA

- [1] Dąbrowa J. - Bezstykowy indukcyjny przetwornik kąta obrotu na liniowy sygnał elektryczny (BIPL) dla układów automatyki. Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 20-24 czerwca 1967 r. Tom 6 str. 29-40.