

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW  
MERA-PIAP

Al. Jerozolimskie 202 02-222 Warszawa Telefon 23-70-81

OŚRODEK POMIARÓW RUCHU I CZASU

442

BE 10

Główny wykonawca mgr inż. Piotr Karkoszka

Założenia konstrukcyjne uzgodniono z OBRMHiR

UNITRA-TELPOD  
OŚRODEK BADAWCZO-ROZWOJOWY  
Mikroelektroniki Hybrydowej i Rezystorów  
Z-ca DYREKTORA

Konsultant dr inż. J. Piskorz

  
inż. Edward Stec

Nr zlecenia 1933

"Czujnik położenia i prędkości wału korbowego dla układu zapłonowego z pamięcią wykonywanego przez OBRMHiR" Etap 1.

"Rozeznanie stanu techniki i opracowanie założeń konstrukcyjnych uzgodnionych z OBRMHiR"

Zleceniodawca Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Samochodów Osobowych w Warszawie

Pracę rozpoczęto dnia 03.85r.

zakończono dnia 06.85r.

Kierownik Pracowni

Kierownik Ośrodka

  
inż. S. Pietrzykowski

Dyrektor

  
prof. dr inż. St. Dwojak

  
dr inż. J. Winieski

Praca zawiera:

Rozdzielnik - ilość egz: 4

stron 24

Egz. 1 BOINTE

rysunków 14

Egz. 2 OBR-SO

fotografii

Egz. 3 ORC-2

tabel

Egz. 4 TELPOD

tablic 1

Egz. 5

załączników

Egz. 6

Nr rejestr. 5438

**Analiza deskryptorowa** Czujniki i mierniki samochodowe, stan techniki,  
rozeznanie patentowe.

**Analiza dokumentacyjna** Przedstawiono stan techniki światowej, sformułowano  
założenia oraz przedstawiono wstępne rozeznanie  
patentowe.

**Tytuły poprzednich sprawozdań** "Koncepcja elektronizacji samochodu w zakresie  
doboru czujników i przetworników" nr rejestracyjny 5304

628.11 Samochody

681.586

Czujniki ~~powiazane~~

UKD

MERA-PIAP/TW 331/78 5000

SPIS TREŚCI :

1. WSTĘP . . . . .	str. 3
1.1. Przedmiot opracowania. . . . .	3
1.2. Formalne uzasadnienie podjęcia pracy. . . . .	3
1.3. Merytoryczne uzasadnienie podjęcia pracy. . . . .	3
1.4. Materiały wykorzystane przy opracowaniu założeń technicznych. . . . .	4
2. PRZEGLĄD CZUJNIKÓW PRĘDKOŚCI I POŁOŻENIA WAŁU. . . . .	5
2.1. Stan techniki. . . . .	5
2.1.1. Czujnik reluktancyjny. . . . .	6
2.1.2. Czujnik Wieganda. . . . .	8
2.1.3. Czujniki amorficzne. . . . .	9
2.1.4. Czujnik hallotronowy. . . . .	10
2.1.5. Czujnik magnetorezystancyjny. . . . .	11
2.1.6. Czujnik transformatorowy. . . . .	12
2.1.7. Czujnik optoelektryczny. . . . .	13
2.1.8. Czujniki tranzystorowe. . . . .	13
2.1.9. Wyłącznik magnetyczny. . . . .	14
2.2. Porównanie właściwości czujników. . . . .	14
3. ZAŁOŻENIA TECHNICZNE. . . . .	16
3.1. Wybór rodzaju czujnika. . . . .	16
3.2. Wymagania ogólne i wytyczne konstrukcji. . . . .	17
3.3. Podstawowe wymagania odnośnie czujnika i wytwarza- nego przezeń sygnału. . . . .	17
4. STAN TECHNIKI. . . . .	19
4.1. Przykłady konstrukcji czujników reluktancyjnych. . . . .	19
4.1.1. Konstrukcje obwodu magnetycznego. . . . .	19
4.1.1.1. Konstrukcje krajowe. . . . .	19
4.1.1.2. Konstrukcje zagraniczne. . . . .	20
4.2. Konstrukcja i rozmieszczenie znaczników charakte- rystycznych położenia wału. . . . .	20

SPIS TREŚCI:

str

4.3. Pozostałe cechy konstrukcji czujników. . . . .	21
4.3.1. Uzwojenie. . . . .	21
4.3.2. Wyprowadzenie końcówki lub końcówek sygnałowych. . .	21
5. WSTĘPNE ROZESZNANIE PATENTOWE. . . . .	22
6. ANALIZA POTRZEB RYNKOWYCH. . . . .	22
7. OCENA MOŻLIWOŚCI EKSPORTOWYCH. . . . .	23
8. OCENA WIELKOŚCI PRODUKCJI. . . . .	24

## 1. WSTĘP.

### 1.1. Przedmiot opracowania.

Przedmiotem opracowania jest czujnik prędkości obrotowej i położenia kąowego wału w silnikach spalinowych.

### 1.2. Formalne uzasadnienie podjęcia pracy.

Podstawą niniejszych założeń jest umowa Nr.58/83 z dnia 25.08.83r. pt."Czujnik położenia i prędkości wału korbowego dla układu zapłonowego z pamięcią wykonanego przez OBRMH i R" zawartą pomiędzy ~~MERA~~ MERA-PIAP z jednej strony, a OBR-SO w Warszawie z drugiej strony.

Niniejsze opracowanie ma na celu rozeznanie stanu techniki w zakresie czujników prędkości i położenia wału i sformułowanie wymagań technicznych niezbędnych przy projektowaniu modeli laboratoryjnych a następnie prototypów.

### 1.3. Merytoryczne uzasadnienie podjęcia pracy.

Czujnik prędkości i położenia wału w silniku spalinowym stanowi nieodzowny element każdego elektronicznego systemu sterowania zapłonem, wtryskiem paliwa, przełożeniem w skrzyni przekładniowej, pracą sprzęgła itp. W związku z podjęciem przez OBR-SO i OBR-FSM prac nad mikroprocesorowymi systemami zapłonu oraz nad mikrokomputerami pokładowymi, które powinny być zastosowane w samochodach, opracowanie czujnika prędkości i położenia wału spełniającego również wymagania wynikające z warunków działania w cyfrowych systemach sterowania i kontroli, stało się nieodzowne. Należy podkreślić, że w kraju praktycznie do dziś /z wyjątkiem czujników przeznaczonych do zabudowy w aparatach zapłonowych/ nie skonstruowano uniwersalnego czujnika prędkości i położenia wału, który pozwalałby realizować obie funkcje jednocześnie i generowałby sygnały impulsowe lub znormalizowane sygnały ~~sygn~~ cyfrowe o minimalnym opóźnieniu fazowym. Wydaje się, że wykorzystanie opracowa

nego czujnika nie powinno być ograniczone do obszaru zastosowań w technice motoryzacyjnej.

1.4. Materiały wykorzystane przy opracowaniu założeń technicznych.

Podstawą opracowania jest przegląd biuletynów patentowych PRL, USA, RFN, Francji, Japonii, Wielkiej Brytanii, ZSRR, następnie przegląd dostępnej literatury naukowo-technicznej oraz informacje uzyskane w Instytucie Miernictwa Elektronicznego Politechniki Warszawskiej, w Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Fabryki Samochodów Osobowych, w Instytucie Systemów Pomiarowych i Automatyki Wojskowej Akademii Technicznej, w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk, Biuletyny patentowe:

1. Wydawnictwa PRL z lat 1976 + 1983
2. Wydawnictwa ZSRR z lat 1977 + 1983 zawierające również przedruki biuletynów patentowych USA, Wielkiej Brytanii, RFN, Francji, Japonii.
3. Wydawnictwa USA 1975 + 1981  
Publikacje naukowo techniczne
4. Publikacje Society of Automotive Engineers z lat 1975 + 1983  
w tym:
  - a/ SAE Transactions,
  - b/ SAE paper,
  - c/ SAE Technical paper,
  - d/ Automotive Engineering.
5. Publikacje BOSCH z lat 1973 + 1981 /Bosch Technische Berichte
6. Międzynarodowa Konferencja EUROCON 80
7. Publikacje IEE - Instytut of Electrical Engineering w tym:
  - Second International Conference on Automobile Electronics  
1979
  - Third International Conference on Automotive Electronics  
1981
8. Międzynarodowa konferencja ISATA 1981

6

9. Opracowania ORC MERA-PIAP z lat 1979, 1980
10. Publikacje udostępnione przez Instytut Miernictwa Elektrycznego PW, Instytut Fizyki PAN, Instytut Systemów Pomiarów<sup>ych</sup> i Automatyki WAT.

Informacje ustne:

11. Prof. dr hab. Waldemar Kwiatkowski - Instytut Miernictwa Elektrycznego PW.
12. doc. dr hab. Z. Lachowicz - Instytut Fizyki PAN,
13. dr Senatorski, dr Baszun - Instytut Systemów Pomiarowych i Automatyki WAT.

## 2. PRZEGLĄD CZUJNIKÓW PRĘDKOŚCI I POŁOŻENIA WAŁUŚ

### 2.1. Stan techniki.

W rozwoju czujników prędkości i położenia wału można wyodrębnić etapy ściśle związane z ~~klas~~ ewolucją systemów zapłonowych i koncepcji zapłonu mieszanki w cylindrach. Pierwszym krokiem było ograniczenie liczby funkcji spełnianych przez przerywacz mechaniczny. W pierwszych zmodyfikowanych elektronicznie systemach przerywacz wykorzystano do sygnalizacji rozwarcia styków i wyzwalania impulsów zapłonowych. Prąd w uzwojeniu pierwotnym cewki zapłonowej zaczęto przerywać przy pomocy tranzystorów mocy, które sterowano przetworzonym sygnałem rozwarcia styków przerywacza.

Drugi krok polegał na całkowitym wyeliminowaniu przerywacza i zastąpieniu go czujnikiem prędkości i położenia wału, który osadzono na wałku aparatu zapłonowego.

Następnie zaczęto przenosić czujniki prędkości i położenia z wnętrza aparatu zapłonowego w sąsiedztwo koła zamachowego, ściślej, w pobliże wieńca zębatego współpracującego z rozrusznikiem. Spowodowało to zwiększenie dokładności pomiaru położenia charakterystycznych wału korbowego, umożliwiło skrócenie czasu

miaru prędkości obrotowej, pozwoliło zrealizować kolejną ważką funkcję - pomiar chwilowego położenia kąтового wału, wykorzystywany najpierw w cyfrowych systemach zapłonu bez pamięci, a później w systemach mikroprocesorowych.

Obecnie projektanci systemów sterowania i kontroli podstawowych zespołów i układów samochodowych mogą korzystać z szerokiej gamy czujników prędkości i położenia wału przeznaczonych do pracy zarówno w aparatach zapłonowych jak też w budowie silnika w pobliżu wieńca zębatego na kole zamachowym.

Do najważniejszych zalicza się czujniki:

- reluktacyjne,
- Wieganda,
- z materiałów amorficznych wykorzystujących zjawisko skokowych przemagnesowań domen w strukturze wewnętrznej elementu sensorowego,
- hallotronowy,
- magnetorezystancyjny / Gaussotronowy/,
- indukcyjny /transformatorowy/,
- optoelektroniczny,
- tranzystorowy
- wyłącznik magnetyczny.

Spośród nich najlepszymi właściwościami odznaczają się czujniki reluktancyjne, Wieganda i z materiałów amorficznych /tablica 1/.

Podstawą do wysnucia tego wniosku są następujące<sup>(ich</sup> zalety:

- nie wymagają zasilania energią elektryczną,
- dają silne, ostre, łatwo odróżnialne od tła i zakłóceń impulsy napięciowe,
- impulsy te nie wymagają praktycznie /poza impulsami czujnika reluktancyjnego/ dodatkowego przetwarzania, to jest wzmacniania, formowania, odkłócania,



- odznaczają się prostą konstrukcją,
- zasada pracy w porównaniu z innymi czujnikami prędkości i położenia jest bardzo prosta,
- przetwarzanie wielkości pomiarowych na odpowiednie wielkości elektryczne /napięcie i prąd/ odbywa się bezpośrednio,
- są odporne na zanieczyszczenia, powolne i szybkie zmiany temperatury, drgania mechaniczne itp, mogą pracować w szerokim zakresie temperatury /czujniki Wieganda w zakresie  $-196 +175^{\circ}\text{C}$ /.

Spośród pozostałych czujników najlepszymi właściwościami odznaczają się: hallotronowe, magnetorezystancyjne, tranzystorowe, gorszymi: optoelektryczne, transformatorowe. Natomiast wyłączniki magnetyczne przewidziane do pracy w aparatach zapłonowych ze względu na stosunkowo niską graniczną częstotliwość skutecznego przełączania znajduje się praktycznie na etapie prób i badań.

### 2.1.1. Czujnik reluktacyjny.

Jest w zasadzie najbardziej sprawdzonym w praktyce czujnikiem prędkości i położenia wału. Odznacza się prostą konstrukcją. Wytwarzanie sygnału napięciowego zachodzi pod wpływem zmiany strumienia magnetycznego, przepływającego przez rdzeń z uzwojeniem. Zmianę tę wywołuje się najczęściej zmniejszaniem lub zwiększaniem reluktacji szczeliny powietrznej. Wytwarzaną siłą elektromagnetyczną definiuje się wzorem:

$$e_{ind} = -L \frac{d\Phi}{dt}$$

Amplituda sygnału zależy od prędkości obrotowej, która decyduje o szybkości zmian  $d\Phi/dt$ . Powoduje to, że czujnik nie pozwala określić położenia wału obracającego się z prędkością bliską zeru. Ponadto na charakter zmian amplitudy sygnału w funkcji prędkości obrotowej wpływa prąd obciążenia czujnika, charakter impedancji

wewnętrznej czujnika oraz wzniecane w elementach czujnika i w otoczeniu prądu wirowe.

Dokładność pomiaru prędkości obrotowej zależy od stosowanego sposobu zliczania i przetwarzania impulsów napięciowych oraz od czasu ich zliczania. Rozdzielczość pomiaru kąтового położenia wału dochodzi do  $0,3 \dots 0,5^\circ$ . Dokładność zależy od wartości prądów wirowych, oraz prądu pobieranego z uzwojenia czujnika. Wzrost obu prądów wywołuje wzrost systematycznego błędu kąowego. Podobnymi właściwościami metrologicznymi odznaczają się praktycznie wszystkie czujniki, których działanie oparto na zasadzie detekcji zmian strumienia magnetycznego.

Przykładowe konstrukcje czujników przeznaczonych do pracy w aparacie zapłonowym oraz do współpracy z kołem zamachowym przedstawiono na rysunku 1.

#### 2.1.2. Czujnik Wieganda.

Czujnik Wieganda składa się z modułu Wieganda; i jednego lub dwóch magnesów trwałych. Modułem jest miękki magnetycznie rdzeń otoczony powłoką z materiału magnetycznie trwałego, na który nawinięto uzwojenie.

Zarówno rdzeń jak i powłoka posiadają niezależnie od siebie orientacje magnetyczne, co uzyskuje się na drodze odpowiedniej technologii wykonania i doboru materiałów o odpowiednich właściwościach magnetycznych. Zasadę działania wyjaśniono na rysunku 2. Jeżeli przyjąć, że w stanie początkowym orientacja magnetyczna rdzenia i powłoki jest jednakowa, linie sił pola zamykają się przez powietrze. Przyłożenie zewnętrznego pola o przeciwnej biegunowości spowoduje praktycznie skokową zmianę ~~w kierunku~~ orientacji rdzenia. W konsekwencji linie sił pola powłoki zamkną się przez rdzeń, strumień  $\Phi$  wzrośnie, zatem w cewce wyindukuje się impuls napięcia. Szerokość impulsu wynosi około  $20 \mu s$ . Opisane zjawisko zachodzi pod warunkiem, że zewnętrzne

pole magnetyczne jest na tyle silne, aby spowodować przemagnesowanie rdzenia, lecz na tyle słabe, aby nie prowadziło do przemagnesowania powłoki.

Idea wykorzystania czujnika Wieganda jest przedstawiona na rysunku 3.

Właściwości czujnika Wieganda:

- amplituda i szerokość impulsu <sup>(nie)</sup> zależą od prędkości obrotowej.
- obserwuje się niewielki wpływ temperatury na wartość amplitudy:  $\pm 10\%$  w zakresie  $-196 + 175^{\circ}\text{C}$ .

Moduły Wieganda firmy Echlin wytwarza się w postaci pręta o średnicy 0,25 mm i długości 15, 30, 40 mm. Są to moduły asymetryczne i symetryczne. Moduły symetryczne generują impulsy o przeciwnych polaryzacjach. Cewka zależnie od wersji modułu liczy 1300, 1800, 2400 zwojów. Rezystancja wewnętrzna wynosi około  $500 + 900\Omega$ . Obciążenie czujnika impedancją  $Z=1000\Omega$  wywołuje je spadek amplitudy o około 25 ... 35%. Czujnik Wieganda umożliwia określenie położenia wału w zakresie bliskich zeru wartości prędkości obrotowej.

### 2.1.3. Czujniki amorficzne.

Magnetyki amorficzne są materiałami o strukturze bezpostaciowej, którą uzyskuje się przez szybkie schładzanie stopów podczas procesu produkcyjnego. Odznaczają się silnymi właściwościami magnetostrykcyjnymi, wśród których należy wymienić wzmocniony efekt Barkhausena /LB - Effect/ oraz efekt Mateucciego /szersze omówienie w publikacji Instytutu Fizyki PAN z roku 1983/ Występowanie wymienionych efektów umożliwia konstruowanie czujników dostarczających silne impulsy napięciowe o stałej amplitudzie oraz szerokości, które to parametry nie zależą od prędkości obrotowej wału i od natężenia zewnętrznego pola magnetycznego wymuszającego przemagnesowanie elementu sensorowego, jeśli jego wartość nie przekracza

M

6 Hc /Hc natężenie koercji/. Sposób wykorzystania czujników z elementami amorficznymi jest praktycznie taki sam jak czujników Wieganda. Idea konstrukcji jest identyczna jak przedstawiona na rysunku 3.

#### 2.1.4. Czujnik hallotronowy.

Sygnał napięciowy wytwarzany przez element Halla zależy od indukcji pola magnetycznego przenikającego ten element.

Jeżeli zorientować go prostopadle do linii sił pola, wówczas wartości napięcia Halla wyniesie:

$$U_H = \frac{R_H \cdot I}{d} \cdot B = \text{const} \cdot B$$

gdzie:

$R_H$  - sumaryczna rezystancja płytki Halla,

$I$  - prąd płynący przez płytkę międzyzaciskami x - x,

$B$  - indukcja strumienia magnetycznego,

$d$  - szerokość płytki

$U_A$  - napięcie Halla pobierane z zacisków y - y.

Zmianę indukcji  $B$  w czujniku prędkości i położenia wału osiąga się zwyczajnie przez zmianę szerokości szczeliny powietrznej /rys.4/. Prezentowane w publikacjach [4, 6, 7] czujniki działają w temperaturze  $-40 + 125^{\circ}\text{C}$ , przez około 1000 godzin.

Większość elementów Halla pracuje w układzie zintegrowanego czujnika prędkości i położenia. W skład układu wchodzi zazwyczaj wzmacniacze napięciowe, obwody formowania impulsu cyfrowego, obwód kompensacji temperaturowej elementu Halla i ewentualnie stabilizator napięcia zasilającego.

Czujniki Halla ~~powodują~~ pozwalają określić położenie wału przy prędkości obrotowej bliskiej zera.

Typowa konfiguracja zintegrowanego czujnika Halla jest przedstawiona na rys.4. Zależność amplitudy sygnału wyjściowego w funkcji  $B$  oraz  $B$  w funkcji szerokości szczeliny przedstawiono na rysunku 5, 6. Wpływ prądów wirowych na wypieranie stru-

12

mienia magnetycznego ze szczeliny powietrznej między zębami a nabiegunkiem dla różnych wartości prędkości obrotowej przedstawiono na rysunku 6c.

### 2.1.5. Czujnik magnetorezystancyjny.

Do budowy tego rodzaju czujnika wykorzystuje się elementy, których rezystancja uzależniona jest od wartości indukcji pola magnetycznego. Zależność tą w przypadku cienkowieńcowych magnetorezystorów opisują w przybliżeniu wyrażenia:

$$R = R_0 (1 + \lambda B^p); \quad \frac{\Delta R}{R} = \lambda B^p$$

gdzie:

$$R_0 = R / B = 0/$$

$\lambda$  - współczynnik magnetorezystancji,

$p$  - wykładnik zależny od  $B$  i kształtu elementu.

Zwykle przyjmuje się:

$$p = 1; \quad \mu^2 B^2 \gg 1 \quad \text{/mocne pole magnetyczne/}$$

$$p = 2; \quad \mu^2 B^2 \ll 1 \quad \text{/słabe pole magnetyczne/}$$

W przypadku czujników magnetorezystancyjnych należy przyjmować  $p = 2$ .

Elementy magnetorezystancyjne pracują zwykle w układzie mostka Wheatstonea. Zasadę działania czujnika przedstawiono na rys. 7.

Zmiana rezystancji całkowitej użytych elementów zachodząca pod wpływem zbliżenia magnesu wynosi przy założeniu  $p = 2$

$$R = 4 \lambda R_0 B_0 \Delta B$$

gdzie:

$B_0$  - indukcja pola magnetycznego wytwarzanego przez cewkę,

$\Delta B$  - zmiana indukcji wywołana zbliżeniem wirującego magnesu, płytki itp.

Sygnal napięciowy uzyskiwany z czujnika osiąga wartość:

$$U_{wy} = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_1 - R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_0$$

gdzie:  $U_0$  - napięcie odniesienia podane na drugą przekątną mostka /zaciski zasilające/

Przebieg impulsu podano na rys.8. Obwód zintegrowanego czujnika SIEMENSA podano na rys.8.

Połączenie magnetorezystancji w mostek Wheatstone'a umożliwia osiągnięcie większej amplitudy sygnału napięciowego, pozwala uzyskać kompensację temperaturową.

Amplituda sygnału nie zależy od prędkości obrotowej, Czujnik umożliwia określenie położenia katowego wału przy prędkości obrotowej bliskiej zeru, jednakże szerokość impulsu rośnie odwrotnie proporcjonalnie do tej prędkości, co może powodować obniżenie dokładności tego pomiaru.

#### 2.1.6 Czujnik transformatorowy.

Zasada pracy czujnika sprowadza się do wywoływania zmian reakcji indukcyjnej transformatora przez zmianę sumarycznej szerokości szczeliny powietrznej między nabiegownikami spowodowanej przejściem metalowej przesłony lub bardziej ogólnie - reluktancji tej szczeliny, gdy przesłona zawiera magnes trwały.

W systemie OPUS 1 oscylacje powstają podczas największego zbliżenia występów do rdzenia transformatora /rys.9a/. W systemie OPUS 3 oscylacje utrzymywane są w sposób ciągły, a ich amplituda służy do wyzwania przerzutnika monostabilnego. W chwili największego zbliżenia wycięć i czoł rdzenia amplituda osiąga wartość maksymalną. System OPUS 3 przedstawiono na rys.9b.

Ponieważ amplituda sygnału nie zależy od prędkości obrotowej

14

czujnik umożliwia pomiar położenia kąowego wału przy prędkości obrotowej bliskiej zeru.

#### 2.1.7. Czujnik optoelektroniczny.

Zasada działania czujnika polega na modulacji strumienia świetlnego, za pomocą tarczy i wycięciami. Przerywany strumień światła padający na fotodiode, fototranzystor lub fotoopornik wywołuje impulsową zmianę wartości odpowiednich parametrów elektrycznych tych elementów, które mogą być wykorzystane przy formowaniu impulsów. Zasadę działania ilustruje rys.10a/.

Czujnik jest podatny na zanieczyszczenia osadzające się na powierzchni źródła światła i fotoelementu. Ograniczenie wpływu zanieczyszczeń uzyskuje się przez hermetyzację miejsca pomiarowego. Wpływ ograniczenia natężenia światła na uchyb pomiaru kąowego położenia wału przedstawiono na rys.10b/.

Czujnik pozwala określić położenie wału przy prędkości obrotowej bliskiej zeru. Przesunięcie fazowe sygnału względem rzeczywistego położenia wału zależy wyłącznie od bezwładności elektrycznej fotoelementów.

Czujniki optoelektroniczne montuje się zazwyczaj w aparatach zapłonowych.

#### 2.1.8. Czujnik tranzystorowy.

W charakterze czujnika prędkości i położenia wału można wykorzystać tranzystory polowe FET /Field-Effect-Transistor/ których prąd odcięcia  $I_{Dc}$  - zależy również od zmiany natężenia pola magnetycznego. Tranzystory te generują silniejsze sygnały aniżeli elementy Halla.

Ostatnio opracowano tranzystor planarny o dwóch kolektorach, w którym uzyskano liniową zależność:

$$\Delta I_c = \text{const} \cdot H$$

gdzie:  $\Delta I_c = |I_{c1} - I_{c2}|$

$I_{c1}$ ,  $I_{c2}$  - prądy kolektorowe pierwszego i drugiego kolektora  
 $H$  - natężenie pola magnetycznego, wektor jest prostopadły  
do powierzchni tranzystora.

Generowany sygnał jest rzędu kilku V i nie wymaga praktycznie  
dodatkowego przetwarzania.

#### 2.1.9. Wyłącznik magnetyczny.

Wyłącznik magnetyczny pracuje jako element sygnalizujący dwa  
stany: zwarcia/największe zbliżenie elementów obwodu magne-  
tycznego/, rozwarcia - /rozejście się elementów obwodu ma-  
gnetycznego/. Sygnał wyjściowy ma postać cyfrową, nie wymaga  
zatem dodatkowego przetwarzania. Ze względu na niską często-  
tliwość graniczną pracy wyłącznik nadaje się do stosowania  
jedynie w aparatach zapłonowych.

#### 2.2. Porównanie właściwości czujników.

Zestawienie właściwości omawianych czujników zostało dokonane  
w tablicy 1.

1. W zestawieniu tym uwzględniono:

- miejsce pomiaru,
- konieczność i ewentualny sposób zasilania czujnika,
- konieczność i charakter obróbki sygnału czujnika w celu  
jego dostosowania do wejść systemu mikroprocesorowego,
- parametry sygnału wyjściowego: charakter, amplituda,  
stosunek pomiaru sygnału i szumów, szerokość impulsu,

- zakres temperatury pracy,
- możliwość pomiaru położenia wału przy prędkości obroto-  
wej bliskiej zeru.



Ze względu na charakter porównania pominięto właściwości czujników związane z podatnością na zanieczyszczenia, drgania, odpornością na warunki fizyczno-chemiczne itp. Jednakże można stwierdzić, że czujniki, w których wykorzystuje się zjawiska wywołane z występowaniem pola magnetycznego, są zwykle odporne na zanieczyszczenia, oraz istotne zmiany szerokości szczeliny powietrznych rzędu 50% szerokości nominalnej. Natomiast prostota konstrukcji, w tym przypadku czujników reluktancyjnych, Wieganda i z materiałów amorficznych, zapewnia odporność na drgania mechaniczne.

Jeśli przyjąć, że czujnik prędkości i położenia wału powinien:

1.- mierzyć prędkość obrotową i położenie wału korbowego, a w szczególności wykrywać charakterystyczne jego położenia odpowiadające GMP tłoków,

2 - odznaczać się prostą konstrukcją,

3 - generować sygnał impulsowy o amplitudzie rzędu kilku V, wybitnie odróżniający się od tła szumów i zakłóceń,

to na podstawie tabl. 1 stwierdza się, że wspomniane wymagania najlepiej spełniają:

- czujniki Wieganda oraz czujniki z materiałów amorficznych,

- nieco gorzej ze względu na / 1 / czujniki reluktancyjne,

- w mniejszym natomiast stopniu: czujnik tranzystorowy, czujnik gaussotronowy / magnetorezystancyjny /, czujnik hallotronowy.

Cechą charakterystyczną wymienionych czujników jest ich wysokie zaawansowanie konstrukcyjne i technologiczne, szczególnie czujników reluktancyjnych, Wieganda, magnetorezystancyjnych. Czujnik hallotronowy, mimo znacznych osiągnięć, nie gwarantuje wciąż wymaganej trwałości w warunkach normalnej eksploatacji pojazdu.

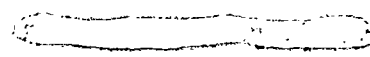
W chwili obecnej, należy sądzić, że spośród analizowanych czujników, najlepsze perspektywy wykorzystania w technice motoryzacyjnej mają czujniki: z magnetyków amorficznych, Wieganda i, nadal, reluktancyjne. Wspólną cechą wymienionych czujników jest to, że

17

nie wymagają zasilania energią elektryczną, co wydatnie wpływa na uproszczenie ich konstrukcji oraz na technologię wytwarzania.

Zastosowanie czujników amorficznych i Wieganda wywołuje techniczny problem realizacji ich przemagnesowywania w trakcie pomiaru, ponieważ tylko przemagnesowywanie powodujące odwracanie domen magnetycznych w strukturze materiału magnetycznego pozwala uzyskać prawie skokową zmianę orientacji magnetycznej, a co za tym idzie, ostry, wąski, odznaczający się dużą amplitudą impuls napięcia.

Istnieją, jak się wydaje, dwa sposoby rozwiązania tego problemu:

- montowanie magnesów na obwodzie koła zamachowego ~~wak~~, aby magnesy bezpośrednio sąsiadujące miały odwrócone wzajemnie bieguny, bądź <sup>pojedynczego magnesu</sup> na czole wału korbowego, 

- wywoływanie przemagnesowania przez zmianę rozplywu strumienia magnetycznego / rys. 11 /.

Ponieważ warunki eksploatacji pojazdu wykluczają stosowanie magnesów na kole zamachowym, do wykorzystania pozostaje drugi sposób. W publikacjach / 4 / jest co prawda podane, że moduły Wieganda wykorzystuje się w czujnikach prędkości i położenia wału, jednakże nie ujawnia się rozwiązania konstrukcyjnego. Idea drugiego sposobu jest zatem oparta na domysłach.

### 3. Założenia techniczne.

#### 3.1. Wybór rodzaju czujnika.

Z uwagi na właściwości przytoczone w tabl. 1 wydaje się, że najbardziej przydatne są czujniki Wieganda, z magnetyków amorficznych i reluktancyjne. Spośród nich wybrano do dalszej realizacji czujnik reluktancyjny. Uzasadnienie jest następujące. Moduły Wieganda nie są wytwarzane w kraju. Z dokonanego rozpoznania wynika, że praktycznie nikt w kraju nie zainteresował się wykorzystaniem efektu Wieganda. W związku z tym jedynym źródłem pozyskania tych modułów może być zakup w krajach kapitalistycznych, między innymi

w firmie Echlin / USA /. W przypadku materiałów amorficznych istnieje możliwość ich wytwarzania w kraju. Przemawiają za tym prace Instytutu Fizyki PAN oraz Instytutu Miernictwa Elektrycznego PW. Jednakże na ich końcowe rezultaty należy czekać jeszcze około roku.

### 3.2. Wymagania ogólne i wytyczne konstrukcji.

Wymagają się, aby:

- konstrukcja czujnika odpowiadała aktualnemu stanowi techniki światowej w zakresie czujników prędkości i położenia wału,
- technologia wytwarzania czujnika była dostosowana do warunków produkcji wielkoseryjnej,
- konstrukcja czujnika miała cechy konstrukcji nierozbieralnej,
- czujnik odznaczał się dużą odpornością na urazy mechaniczne, między innymi na zgniatanie, uderzenia itp,
- czujnik był w miarę możliwości wykonywany z materiałów krajowych, a w przypadku braku odpowiednich ferromagnesów trwałych należało by uzyskać je drogą importu z krajów RWPG,
- sposób mocowania czujnika zapewniał jego natychmiastową wymianę,
- trwałość czujnika gwarantowała niezawodne działanie co najmniej podczas 100 tys. km przebiegu pojazdu.

### 3.3. Podstawowe wymagania odnośnie czujnika i wytwarzanego sygnału

a/ Czujnik powinien umożliwiać:

- pomiar prędkości obrotowej w zakresie 50 + 8000 obr/min,
- wykrywanie GMP / przewidziano jeden znacznik GMP /.

b/ Czujnik powinien generować impulsy napięciowe o kształcie podanym na rys. 12. Ponadto impuls ten powinien mieć następujące właściwości:

- amplituda przy  $n = 50$  obr/min - 1 V

przy  $n = 8000$  obr/min - nie większa niż 60 V

- szybkość narastania impulsu / czoła /: od 0,1 do 0,9 amplitudy przy zmianie położenia wału o  $0,1^{\circ}$  / b. trudne do osiągnięcia z uwagi na to, że wymagany zakres częstotliwości składowych harmonicznych generowanego sygnału kilkakrotnie przekracza częstotliwość maksymalną generowanych impulsów wynoszącą ok. 17 kHz. Zakres ten może nie być osiągnięty, ponieważ nie wyeliminuje się prądów wirowych w litych częściach obwodu magnetycznego, to jest w zębach wieńca zębatego rozrusznika. / na kole zamachowym /.
- różnica amplitud impulsów po sobie następujących przy stałej prędkości obrotowej spowodowana drganiami koła zamachowego i czujnika nie większa niż  $\pm 5\%$  w stosunku do wartości średniej,
- c/ czujnik powinien mieć impedancję wyjściową  $Z_o = 600$  omów o charakterze indukcyjnym,
- d/ czujnik powinien być obciążony impedancją wejścia pomiarowego  $Z_p = 6000$  omów zapewniającą dopasowania: impedancyjne i fazowe,
- e/ czujnik będzie współpracował z wieńcem zębatym osadzonym na kole zamachowym ~~wzrost~~ o 128 zębach / szerokość czoła zęba - 2,107 mm, moduł - 3 mm /,
- f/ błąd pomiaru kąтового położenia wału spowodowany fazowym opóźnieniem sygnału nie jest ograniczony, ale powinien być powtarzalny w tych samych warunkach pomiaru i systematyczny,
- g/ czujnik winien wytwarzać dwa sygnały: jeden przy pomiarze prędkości obrotowej, drugi przy detekcji GMP. Oba sygnały powinny być dostarczane do systemu mikroprocesorowego dwoma ekranowanymi przewodami,
- h/ dodatkowo czujnik powinien:
  - pracować w temperaturze  $-40 + 125$   $^{\circ}\text{C}$ ,
  - nie wymagać zasilania energią elektryczną,
  - wykazywać trwałą odporność na wstrząsy o przyspieszeniu 20 g,
  - wykazywać trwałą odporność na warunki klimatyczne i środowiskowe

#### 4. Stan techniki.

##### 4.1. Przykłady konstrukcji czujników reluktancyjnych.

###### 4.1.1. Konstrukcje obwodu magnetycznego.

Przegląd konstrukcji ograniczono do czujników współpracujących z tarczami lub z kołami zębatymi wykonanymi z materiałów o znacznej przenikalności magnetycznej. Z przeglądu wyłączono czujniki umieszczone w aparatach zapłonowych lub takie, które wytwarzają jeden lub kilka impulsów na pojedynczy obrót wału.

###### 4.1.1.1. Konstrukcje krajowe.

Najbardziej szczegółowe opracowanie na ten temat znaleziono w WAT, gdzie prowadzone były prace związane z antypoślizgowymi układami hamulcowymi. Szczegółowe badania opracowywanych konstrukcji dotyczyły:

- wpływu mimosrodowego osadzenia tarczy zębatej na parametry generowanych impulsów,
- wpływu drgań na szerokość efektywną szczelin, a tym samym na przebieg generowanych impulsów.

Nie badano wpływu prądów wirowych na opóźnienie sygnału. Nie badano również wpływu prądu obciążenia na to opóźnienie.

Typowe konstrukcje obwodów magnetycznych, których wzorem pierwotnym były reluktancyjne czujniki firmy LUMEL, przedstawiono na rys. 13.

Ogólnie można stwierdzić, że różnice pomiędzy czujnikami reluktancyjnymi wynikają przede wszystkim z różnic między ich obwodami magnetycznymi. W czujnikach tych stosuje się zarówno proste jak i rozgałęzione obwody magnetyczne. Ponadto konstrukcje tych obwodów bywają otwarte jak i zamknięte. W przypadku konstrukcji otwartych strumień magnetyczny zamyka się przez powietrze, na zewnątrz czujnika. Jednakże mimo prostoty czujniki te generują słabsze impulsy,

niż czujniki o zamkniętych obwodach magnetycznych, oraz nie gwarantują uzyskania minimalnego opóźnienia fazowego sygnału względem rzeczywistego położenia wału. Potwierdzeniem tego faktu mogą być właściwości czujnika opracowanego przez PIMOT dla potrzeb OBR-FSM w Bielsku, którego schematyczną konstrukcję przedstawiono na rys.14.

#### 4.1.1.2 Konstrukcje zagraniczne.

Sposób zagranicznych reluktancyjnych czujników prędkości i położenia wału najbardziej reprezentatywny jest czujnik BOSCH stosowany w samochodowych elektronicznych systemach zapłonu i wtrysku paliwa, również produkowanych przez tę firmę.

Czujniki te posiadają nierozgałęziony obwód magnetyczny o konstrukcji otwartej /rys.1/. Nie natrafiono na bliższe dane dotyczące konstrukcji oraz charakterystyk techniczno-eksploatacyjnych tego czujnika. Nie natrafiono również na charakterystykę generowanego impulsu napięciowego. W systemach BOSCH wykorzystuje się zwykle dwa czujniki reluktancyjne: jeden do pomiaru prędkości obrotowej i chwilowego położenia wału, drugi do wykrywania charakterystycznych położenia tego wału. Ograniczenie prądów wirowych uzyskano dzięki temu, że strumień magnetyczny przenikający otoczenie czujnika nie natrafia na swojej drodze obszarów przewodzących /zamyka się wyłącznie przez powietrze/.

#### 4.2 Konstrukcja i rozmieszczenie znaczników charakterystycznych położenia wału.

Rozmieszczenie i konstrukcja znaczników charakterystycznych położenia wału jest przedmiotem odrębnych patentów, między innymi Boscha.

Cechy charakterystyczne stosowanego rozmieszczenia znaczników są następujące:

- oznacza się punkty GMP pierwszego lub wszystkich tłoków /cylindrów/
- nanosi się niekiedy punkt synchronizujący, który poprzedza GMP pierwszego tłoka /cylindra/.

Znaczniki wykonuje się przez:

- przytwierdzanie magnesów trwałych na kole zamachowym,
- mocowanie kołków z materiałów o dużej przenikalności magnetycznej na kole zamachowym /patenty LUCASA/,
- odcinanie fragmentu wybranego zęba na wieńcu zębatym koła zamachowego /patenty Boscha/.

Należy podkreślić, że konstrukcja znaczników może w istotny sposób zaważyć na konstrukcji obwodu magnetycznego.

#### 4.3. Pozostałe cechy konstrukcji czujników.

##### 4.3.1. Uzwojenie.

Uzwojenie bywa nawijane na karkasy lub bezpośrednio na rdzenie magnetyczne po uprzednim ich pokryciu lakierem izolacyjnym.

Liczbę zwojów uzależnia się od energii magnetycznej magnesu, przewidywanej wielkości zmian strumienia magnetycznego, amplitudy impulsu przy założonej minimalnej prędkości obrotowej.

##### 4.3.2. Wyprowadzenie końcówki lub końcówek sygnałowych.

Sygnał czujnika bywa odbierany i przesyłany przy pomocy przewodu w osłonie teflonowej i w ekranie. Dzięki temu minimalizuje się oddziaływanie zakłóceń wywołanych przez zewnętrzne pole elektromagnetyczne /ekran uziemiony/ i zwiększa ~~xxxx~~ trwałość przewodu /teflon i ekran/. Końcówka przewodu powinna być tak

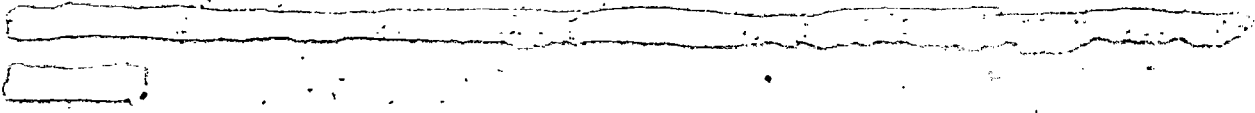
umocowana w czujniku, aby przewód nie urwał się przy obciążeniu go siłą 10 kg / 100N/.

Ekran przewodu uziemia się poprzez obudowę czujnika.

5. Wstępne rozeznanie patentowe.

Celem wstępnego rozeznania patentowego było zebranie ~~innych~~ informacji o aktualnych tendencjach w dziedzinie budowy czujników prędkości i położenia wału.

Ze względu na ewentualny eksport samochodów z tego rodzaju czujnikami konieczne jest przeprowadzenie szczegółowych badań patentowych poprzedzające etap opracowania prototypów.



6. Analiza potrzeb rynkowych.

Zastosowanie czujników prędkości i położenia wału korbowego w silnikach spalinowych jest uzależnione od wprowadzenia do powszechnego użytku elektronicznych samochodowych systemów sterowania i kontroli, w szczególności: systemów zapłonowych, wtryskowych, regulatorów wyprzedzenia wtrysku przeznaczonych dla silników ZS, regulatorów pomp paliwa, samochodowych komputerów pokładowych itp. Czujniki prędkości i położenia wału mogą być wykorzystywane również we wszelkich urządzeniach i maszynach napędzanych turbinami, silnikami spalinowymi i elektrycznymi itp., których praca jest sterowana automatycznie.

Na podstawie informacji uzyskanych od przedstawicieli FSO przewiduje się, że mikroprocesorowe systemy zapłonowe będą sukcesywnie wprowadzane do samochodów osobowych od 1988r., najpierw do Polonezów, a następnie do samochodu 1,2 który powinien zastąpić obecnie produkowanego Polskiego Fiata 125P.

Najprawdopodobniej początkowe zapotrzebowanie na czujniki prę-

24



kości i położenia wału wyniesie ok 40 tys. sztuk rocznie, po czym, w miarę pomyślnego rozwoju produkcji mikroprocesorowych systemów zapłonowych, powinno osiągnąć poziom odpowiadający podwojonej wielkości produkcji samochodów z silnikami ZI, to jest ok. 200 - 240 tys. sztuk rocznie /prędkość obrotowa i położenie kątowe wału powinny być mierzone prz pomocy takich samych czujników/.

Czujniki prędkości i położenia wału wzbudziły także zainteresowanie przedstawicieli FSM w Bielsku-Białej. W przypadku uruchomienia produkcji nowego samochodu wyposażonego w elektroniczny system zapłonowy /elektronizacja zapłonu w Fiacie 126P nie wydaje się prawdopodobna/. należałoby liczyć się z zapotrzebowaniem na ok. 400 - 440 tys. sztuk rocznie.

Z uwagi na to, że czujniki prędkości i położenia wału mogą być wykorzystane również w innych dziedzinach techniki, potencjalne zapotrzebowanie krajowe może kilkakrotnie przekroczyć podane liczby.

#### 7. Ocena możliwości eksportowych.

Czujniki prędkości i położenia wału korbowego można eksportować do krajów socjalistycznych w sposób pośredni, to jest w gotowych samochodach lub urządzeniach, oraz bezpośrednio. Możliwości eksportu bezpośredniego wydają się wielce prawdopodobne, ponieważ w krajach RWPG posiadających przemysł samochodowy, zwłaszcza w ZSRR, podjęto działania zmierzające do zastosowania mikroprocesorowych systemów zapłonowych w samochodach osobowych. Wielkość potencjalnego eksportu jest rzędu kilku milionów sztuk rocznie. Godny podkreślenia jest fakt, że w krajach RWPG nie uruchomiono jeszcze produkcji tego rodzaju czujników.

Eksport do wysoko rozwiniętych krajów kapitalistycznych może mieć tylko charakter pośredni, bowiem od wielu lat są tam produkowane sprawdzone w warunkach normalnej eksploatacji czujniki reluktancyjne, hallotronowe i Wieganda.

8. Ocena wielkości produkcji.

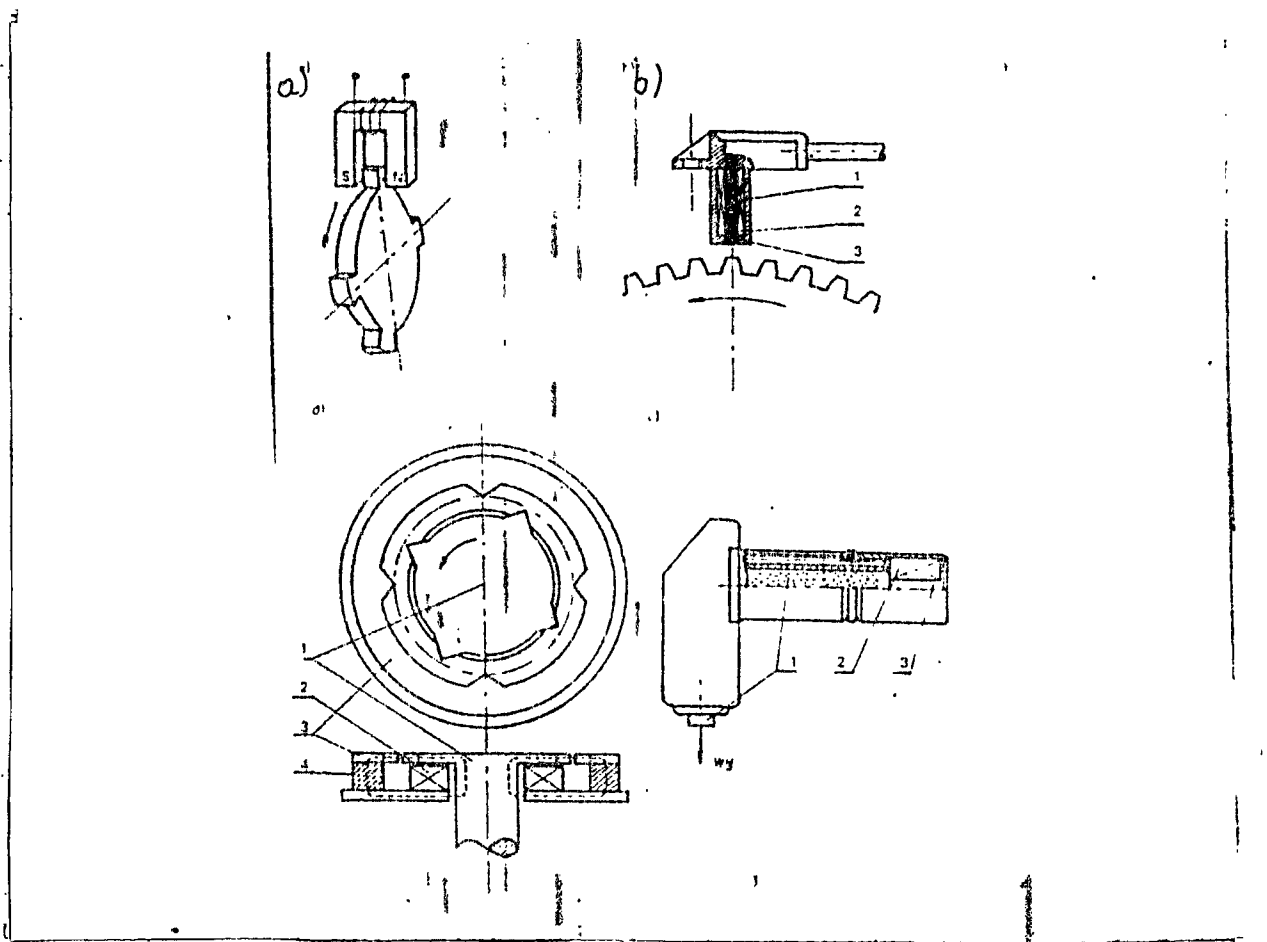
Biorąc pod uwagę szacunkowe dane dotyczące zapotrzebowania FSO i FSM na czujniki prędkości i położenia wału oraz uwzględniając założenie, że produkcja powinna przewyższyć o około 30 + 40 % / założono 30 % / potencjalne zapotrzebowanie producentów samochodów celem zabezpieczenia wymiany zużytych czujników na nowe, można oszacować, że rocznie powinno się wykonać ok. 260 + 320 tys. sztuk dla FSO i ok. 520 + 580 tys. sztuk dla FSM.

Trzeba jednak zastrzec, że przytoczona wielkość produkcji będzie osiągnięta dopiero wtedy, gdy wszystkie samochody będą wyposażone w mikroprocesorowe systemy zapłonowe.

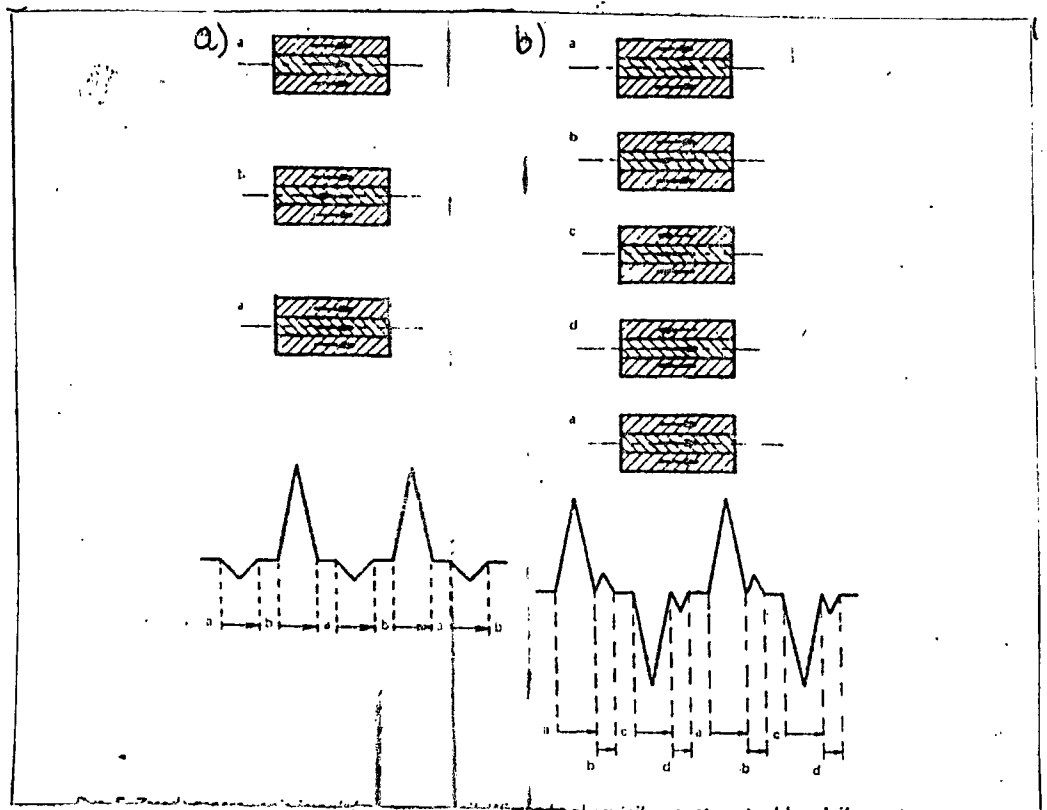
Szacując wielkość produkcji czujników prędkości i położenia wału nie uwzględniono potencjalnych potrzeb związanych z elektryfikacją samochodów dostawczych, ciężarowych, autobusów, traktorów, maszyn roboczych napędzanych silnikami spalinowymi itp. ponieważ nie są znane informacje dotyczące perspektyw elektryfikacji tych pojazdów i urządzeń, a w szczególności informacje dotyczące planów związanych z zastosowaniem elektronicznych regulatorów wyprzedzenia wtrysku w silnikach ZS / wysokoprężnych /, systemów wtrysku paliwa w silnikach ZI, regulatorów pomp paliwowych, systemów sterujących zespołami przeniesienia i rozdzielania napędu, komputerów pokładowych itp.

Tabl. 1. Niektóre właściwości czujników położenia i prędkości wału korbowego silnika spalinowego.

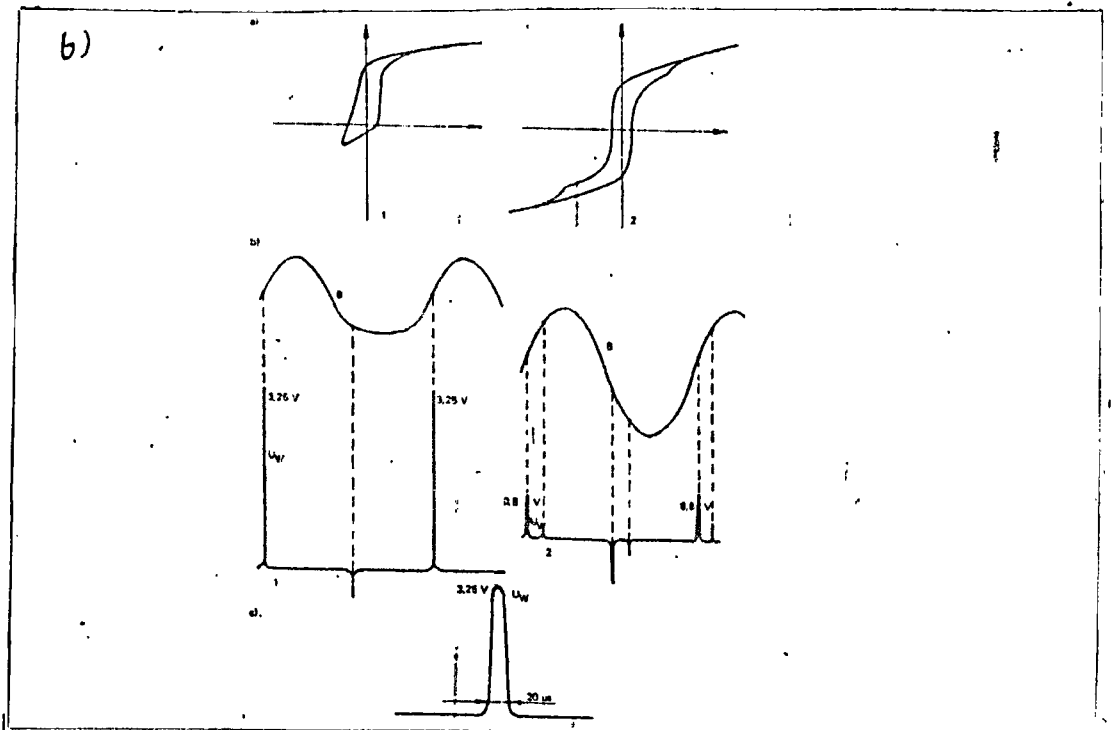
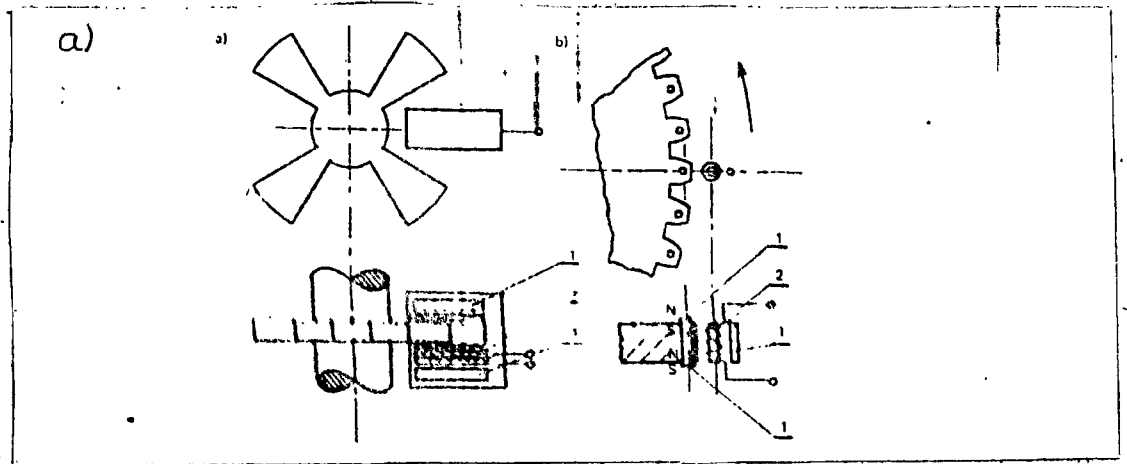
Nazwa	Zastosowanie.	Miejsce pomiaru	Zasilanie czujnika	Przetwarzanie sygnału czujnika	Sygnał wyjściowy czujnika	Amplituda / rząd wielkości /	Stosunek sygnał / szum	Częstotliwość graniczna.	Zakres temperatury pracy.	Położenie statyczne wału.	Uwagi
Reluktancyjny	Produkcja	KZ, AP	Zbędne	Zbędne	$U_{ind}/n/$ $t_i = k \cdot n^{-1}$	V	duży	zależna od szczeliny	$-40 + 150^{\circ}\text{C}$	Nie wykrywa.	KZ - koło zamachowe, AP - aparat zapłonowy, $t_i$ - czas trwania impulsu,
Wieganda	Produkcja	KZ, AP	Zbędne	Zbędne	$U_{ind} = k$ $t_i = k$	V	duży	ok. 25 kHz	$-200 + 175^{\circ}\text{C}$	Wykrywa	n - prędkość obrotowa, k - stała liczbowa: k = const.
Amorficzny	Badania	KZ, AP	Zbędne	Zbędne	$U_{ind} = k$ $t_i = k$	V	duży	ok. 25 kHz	$-200 + 175^{\circ}\text{C}$	Wykrywa	A/C - analogowo-cyfrowe
Hallotronowy.	Produkcja	KZ, AP	Konieczne	Wzmocnienie Normalizowanie lub przetw. A/C	$U = k$ $t_i = k \cdot n^{-1}$	mV	mały	ok. 100kHz	$-40 + 150^{\circ}\text{C}$	Wykrywa	
Magneto- rezystancyjny	Produkcja	KZ, AP	Konieczne	Wzmocnienie Normalizowanie. Przetw. A/C	$U = k$ $t_i = k \cdot n^{-1}$	mV	mały	ok. 25 kHz	$-40 + 150^{\circ}\text{C}$	Wykrywa	
Transformatorowy	Produkcja	AP	Konieczne	Detekcja. Normalizowanie. Przetw. A/C	$U = k$ $t_i = k \cdot n^{-1}$	V	średni	ok. 1kHz	$-40 + 150^{\circ}\text{C}$	Wykrywa	
Optoelektroniczny	Produkcja	AP	Konieczne	Wzmocnienie Normalizowanie. Przetw. A/C	$U = k$ $t_i = k \cdot n^{-1}$	mV	mały	ok. 50kHz	$-20 + 100^{\circ}\text{C}$	Wykrywa	
Tranzystorowy	Produkcja	AP, KZ	Konieczne	Wzmocnienie Normalizowanie. Przetw. A/C	$U = k$ $t_i = k \cdot n^{-1}$	mV	mały	ok. 100 kHz	$-20 + 125^{\circ}\text{C}$	Wykrywa	



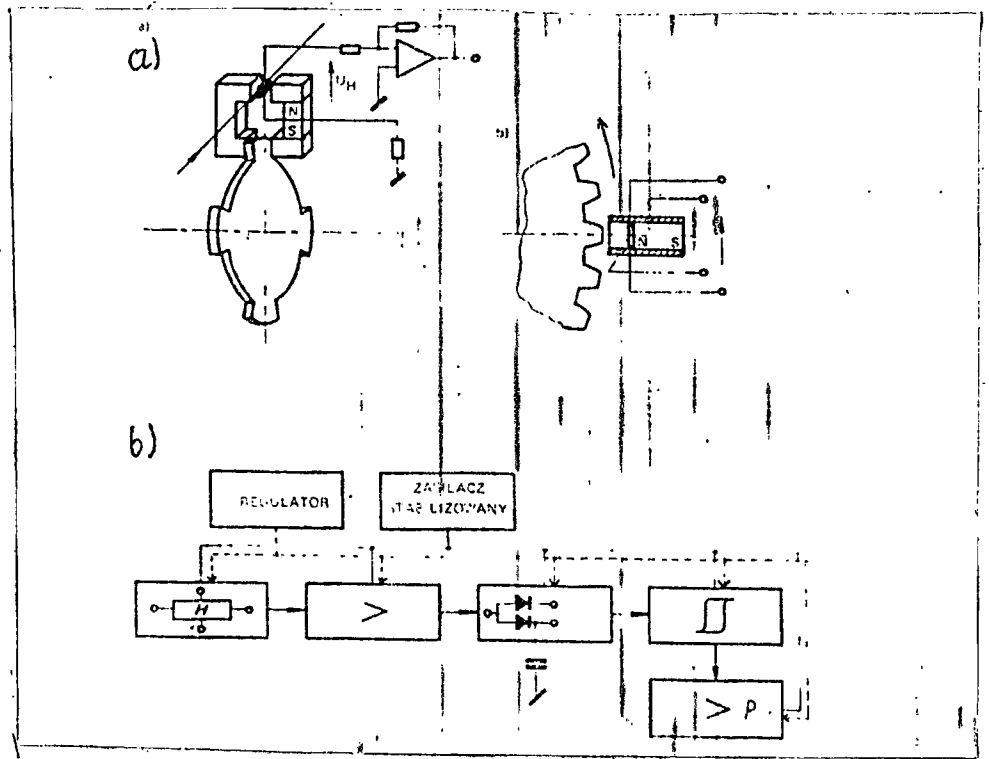
Rys. 1. Czujnik reluktancyjny; a/ przeznaczony do pracy w aparacie zapłonowym, b/ współpracujący z wieńcem zębatym koła zamachowego.



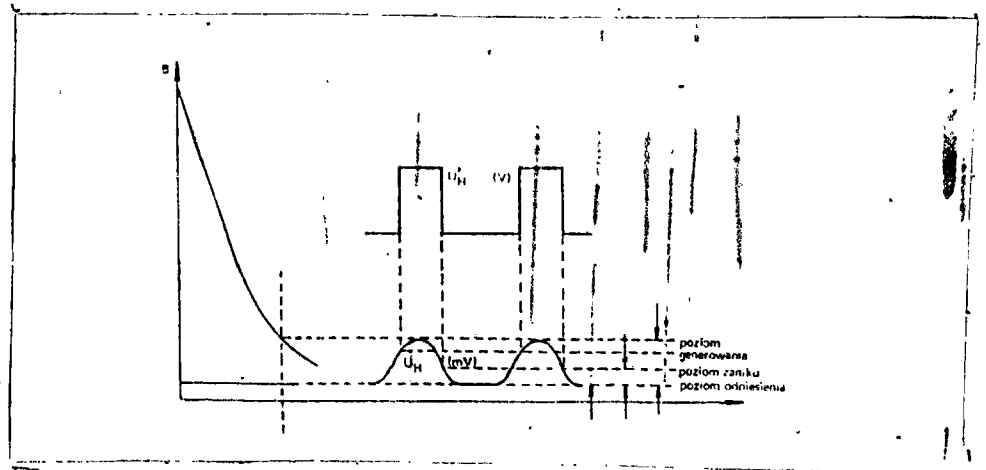
Rys. 2. Zasada działania czujnika Wieganda; a/ z modułem asymetrycznym, b/ z modułem symetrycznym.



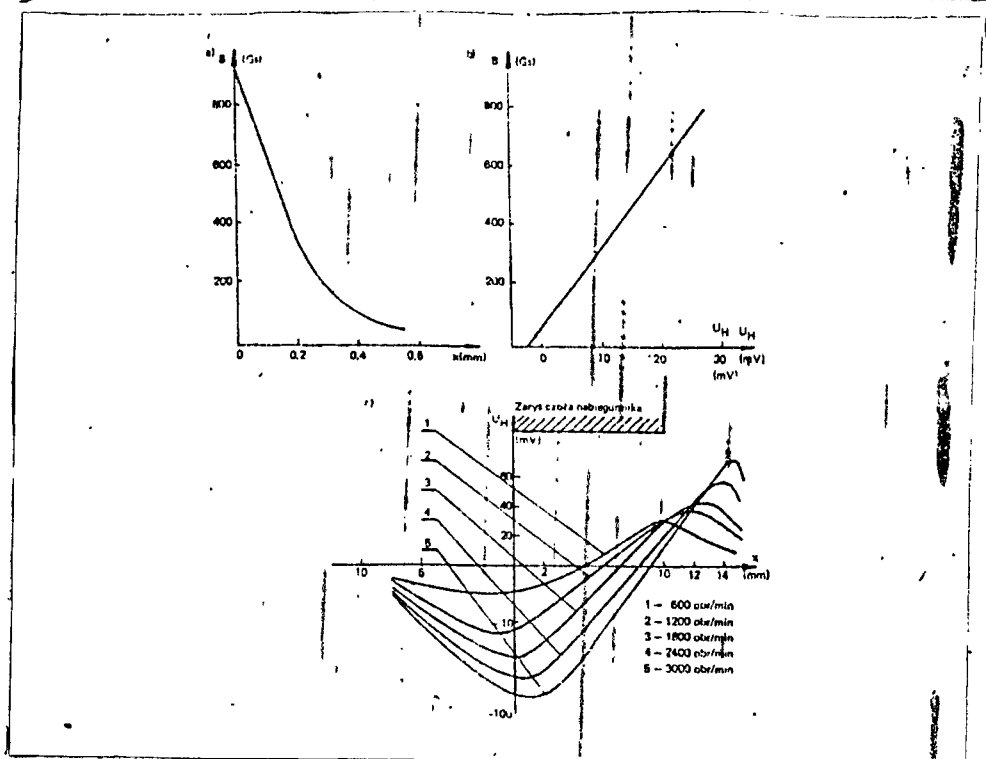
Rys. 3. Czujnik Wieganda; a/ idea konstrukcji czujnika, b/ charakterystyki modułów Wieganda / pętle hysterezy, generowane impulsy pod wpływem zmian indukcji B pola magnetycznego, kształt pojedynczego impulsu /.



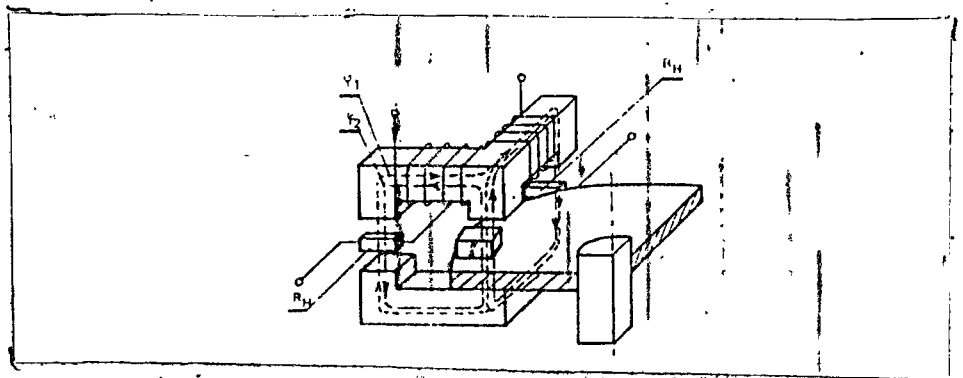
Rys. 4. Czujnik hallotronowy; a/ zasada działania, b/ schemat blokowy zintegrowanego czujnika Halla.



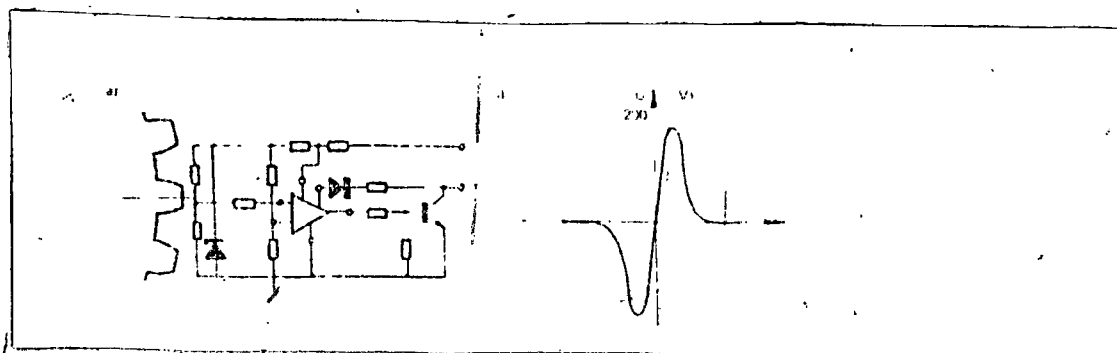
Rys. 5. Zasada generowania impulsów napięciowych w zintegrowanym czujniku Halla.



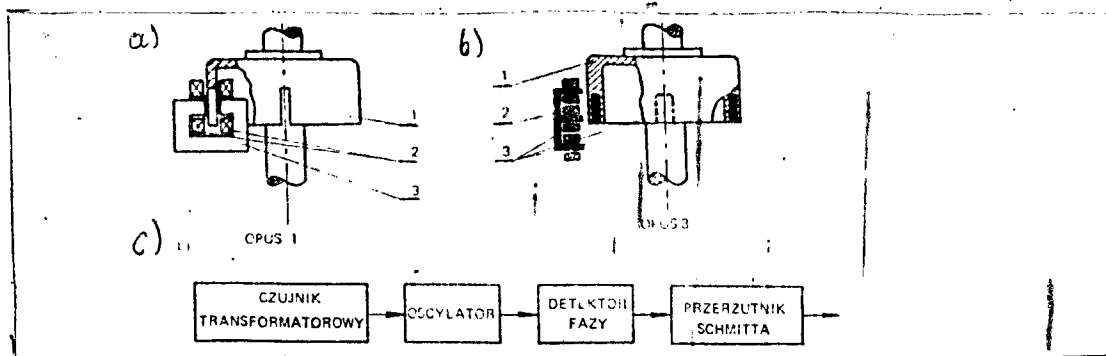
Rys. 6. Charakterystyki elementów Halla; a/ wpływ szczeliny powietrznej na czułość elementu, b/ charakterystyka przetwarzania, c/ wpływ prądów wirowych na przebieg napięcia Halla we współrzędnej przestrzennej x.



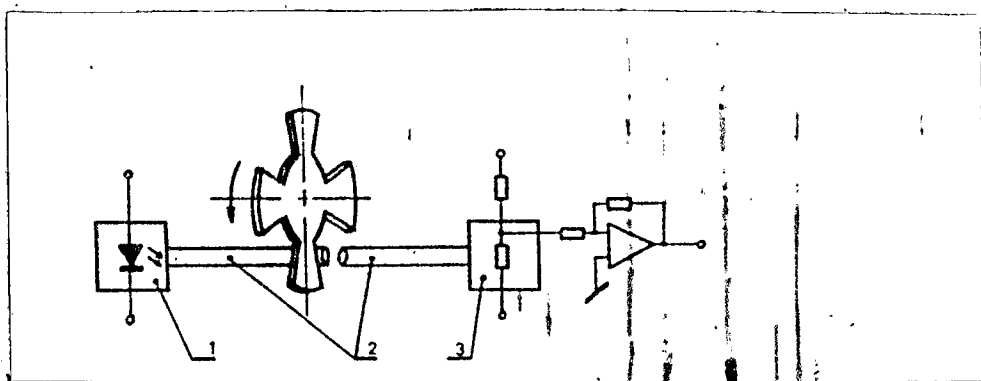
Rys. 7. Zasada działania czujnika magnetorezystancyjnego.



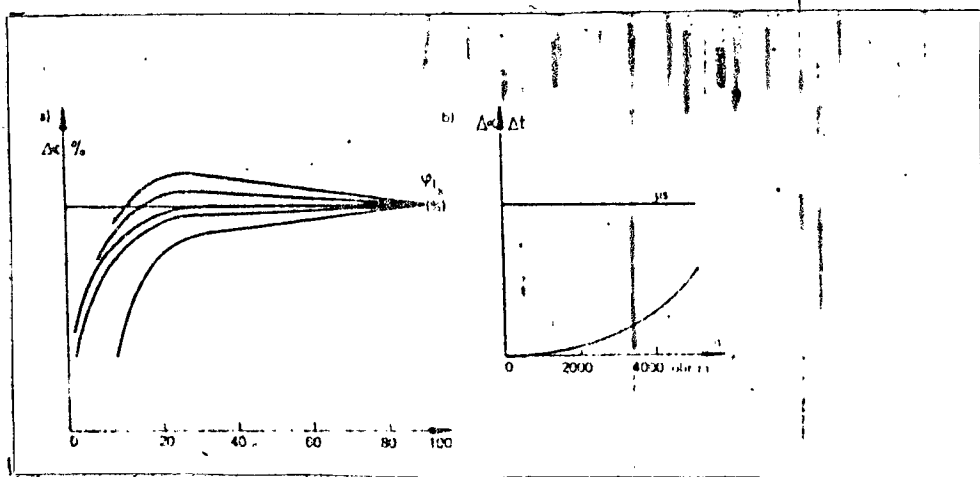
Rys. 8. Czujnik magnetorezystancyjny SIEMENS; a/ schemat czujnika z przetwornikiem elektrycznym, b/ przebieg generowanego sygnału napięciowego.



Rys. 9. Czujnik transformatorowy; a/ OPUS 1, b/ OPUS 3.  
c/ schemat blokowy czujnika z przetwornikiem analogo-  
wo-cyfrowym.

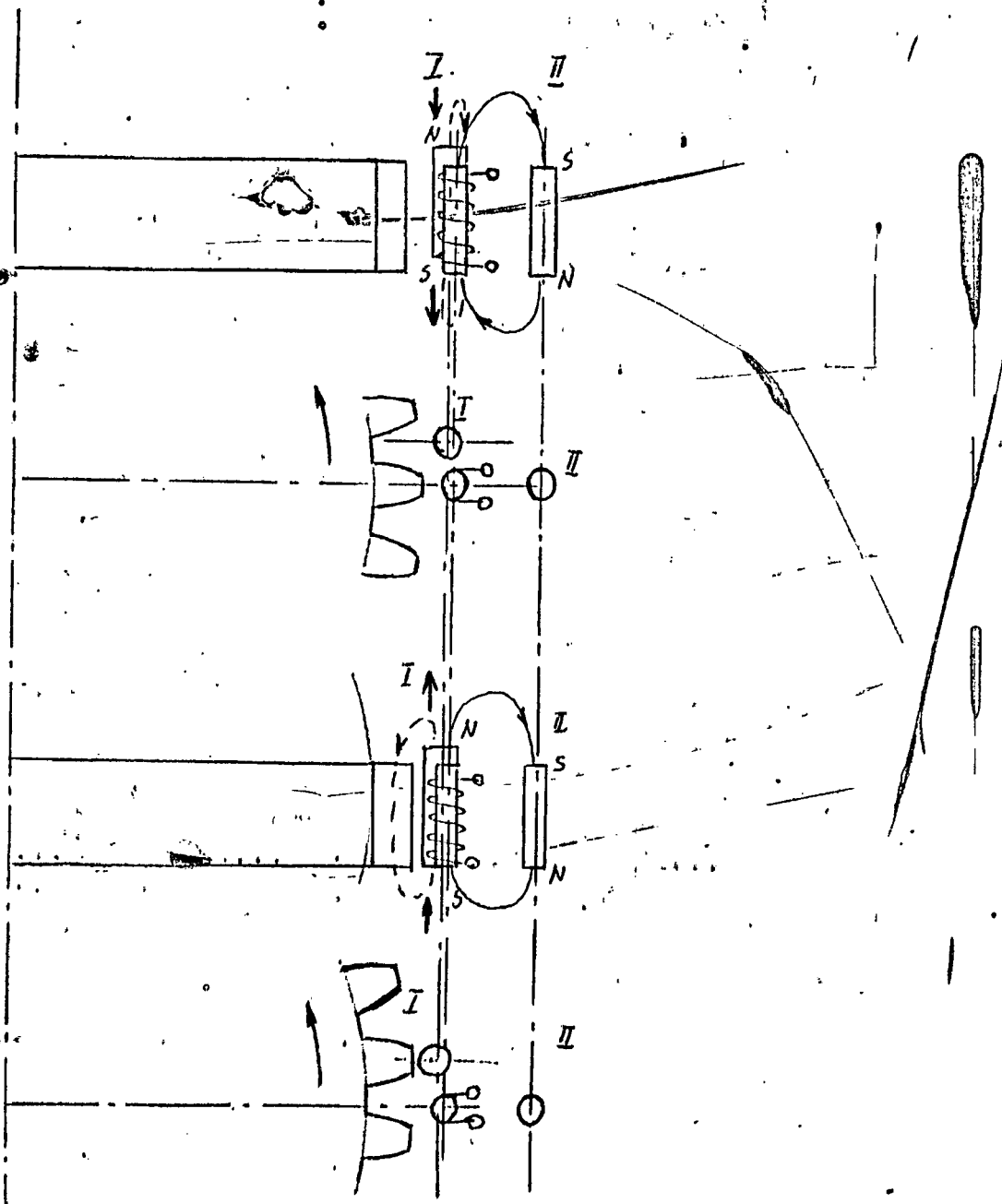


Rys. 10 a. Zasada działania czujnika optoelektronicznego.  
1 - dioda luminescencyjna, 2 - światłowodowy,  
3 - fotoelement.



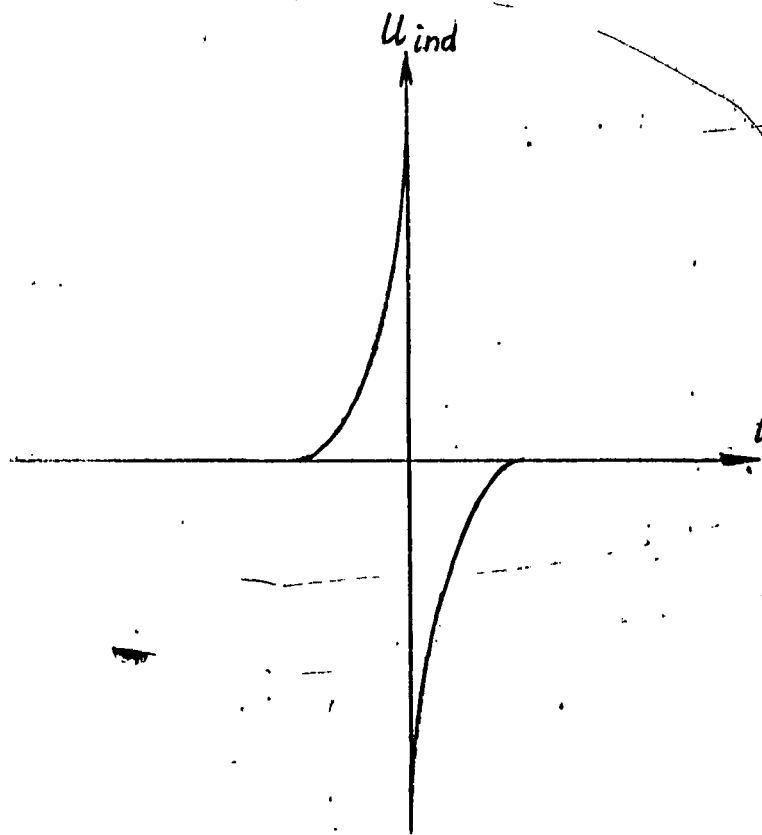
Rys. 10 b. Charakterystyka błędów w funkcji strumienia światła  
czujnika optoelektronicznego i charakterystyka opó-  
nienia fazowego sygnału generowanego.





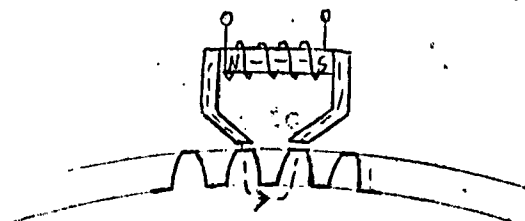
↑ - kierunek orientacji magnetycznej modułu

Rys. 11. Zasada generowania sygnału przez czujnik Wieganda współpracujący z wieńcem zębatym koła zamachowego. I, II - magnesy trwałe, N, S - oznaczenia biegunów magnetycznych.

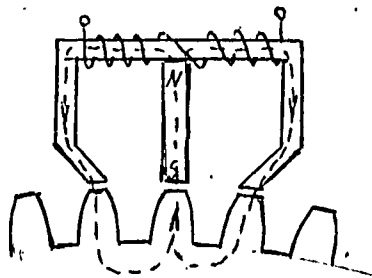


Rys. 12. Idealizowany kształt sygnału generowanego przez czujnik reluktancyjny.

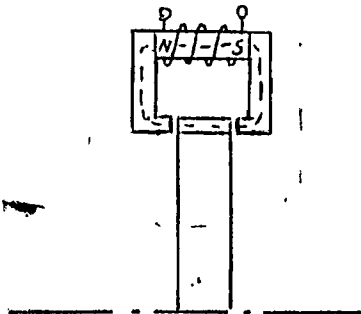
a)



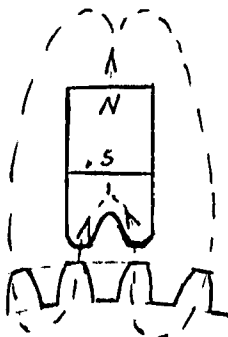
b)



c)

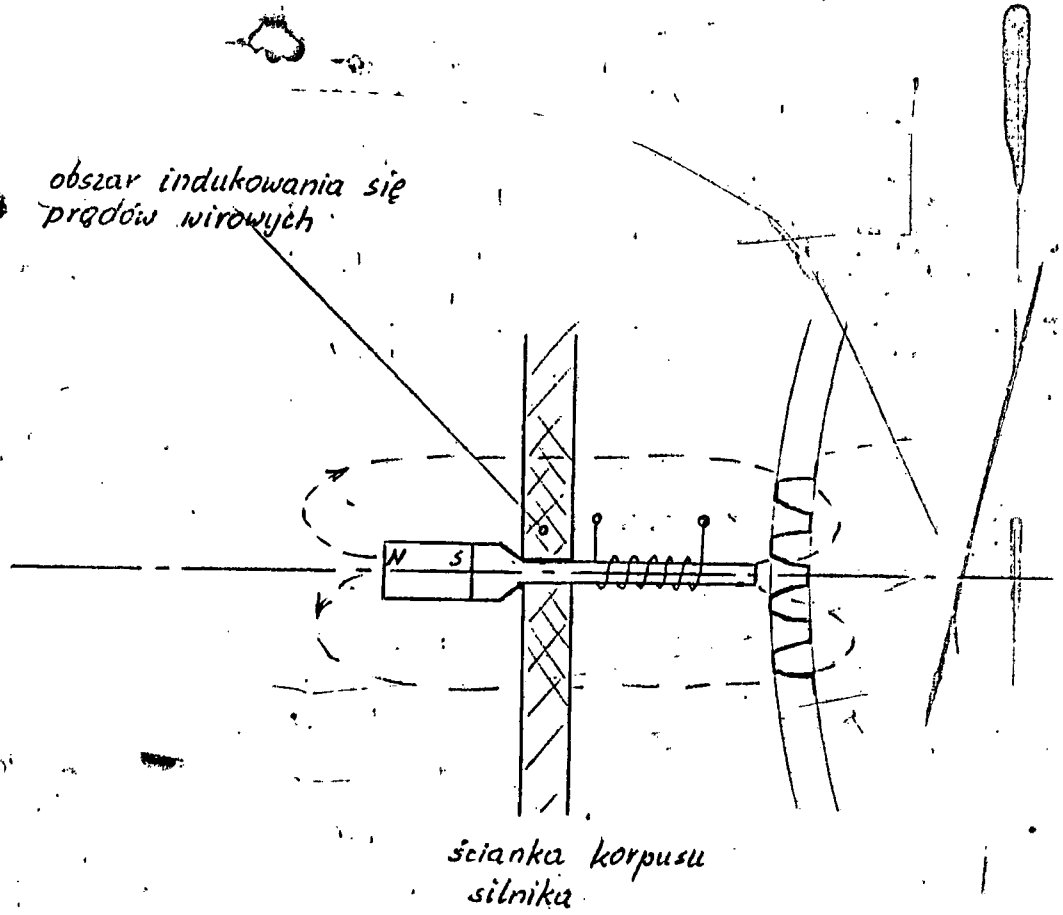


d)



Rys. 13. Przykładowe konstrukcje obwodów magnetycznych w czujnikach reluktancyjnych współpracujących z kołami zębatymi.

obszar indukowania się  
prądów wirowych



Rys. 14. Konstrukcja czujnika reluktancyjnego wykonanego przez PIMOT dla OBR-FSM w Bielsku.