

mgr inż. Jan Goska  
mgr inż. Marek Maciąg  
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów

## DETEKTOR WODY W OLEJU SMARUJĄCYM

*W niniejszym artykule opisano konstrukcję i badania detektora wody w oleju smarującym. Detektor sygnalizuje obecność wody w oleju smarującym powyżej określonego progu. Wykrywanie obecności wody oparte jest na wykorzystaniu znacznej różnicy przenikalności elektrycznej względnej wody i olejów smarujących. W artykule opisano również praktyczne obserwacje i wyniki pomiarów z wykonanych prób.*

### DETECTOR OF WATER IN THE LUBRICATING OIL

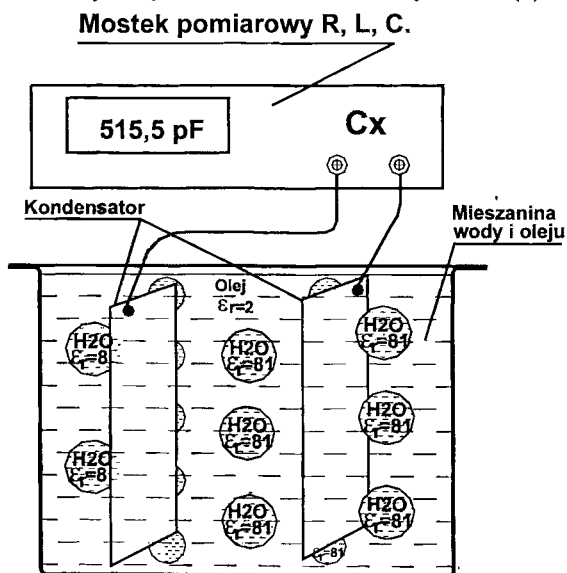
*The following article presents the construction and research on the detector of water in the lubricating oil. The detector signals the presence of water in the lubricating oil above a specific threshold. Detection of the presence of water is based on the use of a significant difference of the dielectrical constants of water and lubricating oils. Practical observations and results of the measurement performed during tests are also described in the article.*

### 1. WSTĘP

Podczas eksploatacji maszyn mających olejowe układy smarowania, wskutek uszkodzenia uszczelnienia istnieje niebezpieczeństwo przedostania się wody do oleju smarującego. Zagrożenie takie występuje w maszynach pracujących w zanurzeniu (w wodzie) lub mających wodne układy chłodzenia. Woda w oleju smarującym może pojawić się również w sprężarkach, pompach próżniowych gdzie wskutek zmian temperatury i ciśnienia występuje zjawisko skraplania się pary wodnej zawartej w przepływającym powietrzu. Taka sytuacja występuje np. przy pakowaniu próżniowym produktów żywnościowych, kiedy pompa pobiera z atmosfery bardzo wilgotne powietrze, a na wylocie pompy skroplona woda zatrzymywana jest przez filtr (zapobiegający przedostawaniu się oleju do atmosfery) i wraz z cząsteczkami oleju kierowana z powrotem do zbiornika oleju smarującego. Duża ilość wody w oleju pogarsza jego właściwości smarujące i może doprowadzić do awarii. Dlatego zwłaszcza w przypadku maszyn, drogich lub spełniających szczególnie ważne funkcje pożądane jest wprowadzenie układu sygnalizującego pojawienie się takiej niebezpiecznej sytuacji. W niniejszym artykule opisano próby potwierdzające możliwość oceny zawartości wody w oleju przez pomiar przenikalności elektrycznej  $\epsilon_m$  mieszaniny. Opisano ponadto układ sygnalizatora reagującego na przekroczenie zawartości wody w oleju smarującym powyżej nastawionego progu sygnalizacji oraz próby z praktycznie wykonanymi czujnikami.

## 2. METODA POMIARU I KONSTRUKCJA CZUJNIKA OBECNOŚCI WODY W OLEJU SMARUJĄCYM.

Do wykrycia obecności wody w mieszaninie oleju nie można wykorzystać przewodności wody. Oleje smarujące, co zresztą jest ich podstawową zaletą mają duże siły przylegania, znacznie większe od wody. Zatem elektrody wprowadzone do mieszaniny (oleju z wodą) bardzo szybko pokrywają się szczelną warstewką oleju, która je izoluje. Woda charakteryzuje się natomiast bardzo wysoką przenikalnością elektryczną. Wartość przenikalności elektrycznej względnej, wody wynosi  $\epsilon_r = 81,1$  [1] (stosunku do próżni ~ powietrza), podczas gdy przenikalność elektryczna względna, oleju wynosi  $\epsilon_r \sim 2$  (np. mineralny olej transformatorowy ma  $\epsilon_r \sim 2,2$  [1]). Możliwość wykorzystania tych cech wody i oleju tj. dużej różnicy wartości przenikalności została sprawdzona najpierw w serii prób, które pozwoliły ocenić przydatność tej metody. Na Rys 1 przedstawiono ideę pracy czujnika, który wykorzystuje wyżej opisane cechy wody i oleju. Pomiedzy elektrodami płaskimi stanowiącymi okładziny kondensatora znajduje się mieszanina wody i oleju. Pojemność elektryczną kondensatora określa wyrażenie (1).



Rys. 1. Ilustracja pomiaru wpływu zawartości wody w mieszaninie z olejem na pojemność mierzoną pomiędzy okładkami kondensatora.

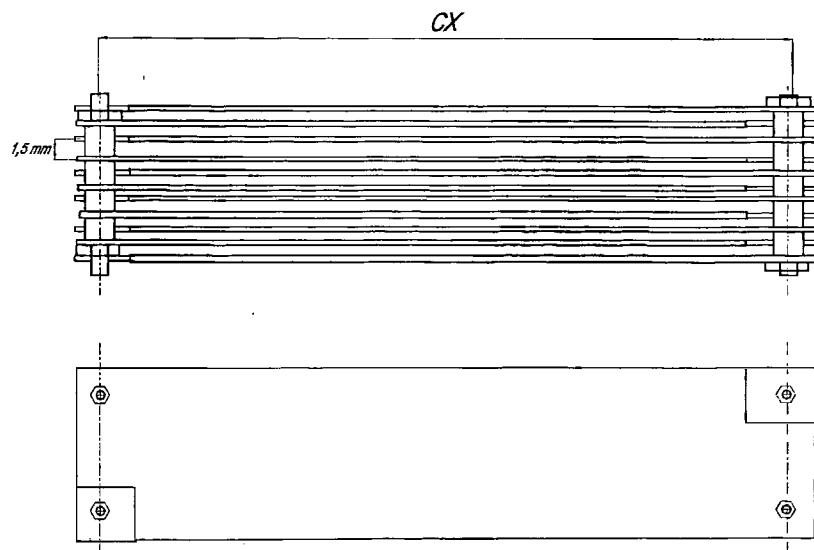
$$C_x = \frac{S}{d^2} \times \epsilon_0 \times \epsilon_r \quad (1)$$

- $C_x$  – pojemność elektryczna czujnika;
- $S$  – powierzchnia okładzin czujnika;
- $d$  – odległość pomiędzy okładzinami;
- $\epsilon_0$  – przenikalność elektryczna próżni;
- $\epsilon_r$  – przenikalność elektryczna względna

Parametry  $S$ ,  $d$  są dla danej konstrukcji mają wartości stałe. Pojemność  $C_x$  czujnika zależy od przenikalności elektrycznej dielektryka. Efektywna przenikalność mieszaniny wody i oleju zależy od procentowego udziału oleju o przenikalności względnej  $\epsilon_r \sim 2$  i wody o przenikalności względnej  $\epsilon_r = 80$ . Można zatem założyć, że im większa zawartość wody w mieszaninie tym większa pojemność elektryczna  $C_x$  takiego kondensatora, który może pełnić rolę czujnika. Należy zauważyć, że taki stan, jaki ilustruje Rys. 1 występuje wtedy, gdy olej jest dobrze wymieszany z wodą. Taka sytuacja ma miejsce wówczas, gdy smarowanie jest wymuszone. Wtedy najkorzystniej jest umieścić czujnik w przestrzeni, skąd olej jest zasysany lub tam gdzie jest tłoczony, do przewodów smarujących. Jeżeli smarowanie nie jest wymuszone, obie ciecze ze względu na różnice masy właściwej, z upływem czasu rozwarstwiają się. W takim przypadku czujnik powinien być umieszczony tak, aby możliwie wcześniej wykrył nadmierną ilość wody w oleju smarującym.

### 2.1. Czujnik w formie kondensatora z okładkami płaskimi

Aby ocenić ilościowy wpływ zanieczyszczenia wodą oleju na zmiany pojemności przeprowadzone zostały próby mieszanin o różnej zawartości wody. Do tego celu został wykonany kondensator, z płaskimi okładkami metalowymi. Aby zapewnić możliwie swobodne wprowadzenie i wyprowadzenie oleju spomiędzy okładek, odległości pomiędzy nimi wynosiła 1,5 [mm]. Pojemność tego kondensatora (czujnika) w powietrzu wynosiła 244 [pF]. Następnie tak sporządzony czujnik (kondensator) zanurzany był kolejno w mieszaninach oleju z wodą o różnej zawartości wody.

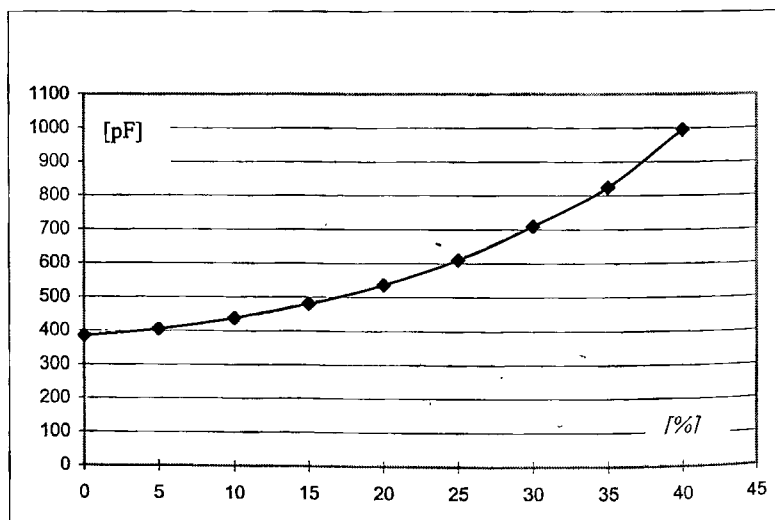


Rys. 2. Czujnik (kondensator płaski) dla sprawdzenia wpływu obecności wody w oleju smarującym na pojemność elektryczną.

Po zanurzeniu czujnika mierzono jego pojemność. Wyniki pomiarów zestawiono w tablicy 1. Poszczególne mieszaniny były sporządzane przez dokładne wymieszanie odmierzonej ilości wody i oleju w proporcji objętościowej określonej w [%] w kolumnie 4. W kolumnie 5 podane są wartości pojemności w [pF] zmierzonej mostkiem RLC. W wierszu 1 podano pojemność kondensatora w powietrzu. W wierszu 2 podano pojemność w czystym oleju silnikowym LOTOS 10W40. Przeprowadzono również z próby w oleju Mobil 1 oraz z olejami przekładniowymi. Pojemność w czystym oleju praktycznie nie różniła się dla różnych gatunków olejów. Należy zauważyć, że na zmianę pojemności zmierzonej między zaciskami kondensatora ma wpływ jedynie przestrzeń, którą wypełnia olej. Prócz tego istnieje pewna stała wartość pojemności pomiędzy płytkami kondensatora, gdzie dielektrykiem są przekładki dystansowe zapewniające stabilność konstrukcji mechanicznej kondensatora (czujnika).

Tablica 1

LP.	objętość oleju	objętość wody	% woda/olej	pojemność elektr.
	[ml]	[ml]	[%]	[pF]
1	powietrze	powietrze	powietrze	244
2	280	0	0	385
3	266	14	5	405
4	252	28	10	437
5	238	42	15	480
6	224	56	20	536
7	247,5	82,5	25	610
8	196	84	30	710
9	182	98	35	824
10	168	112	40	995



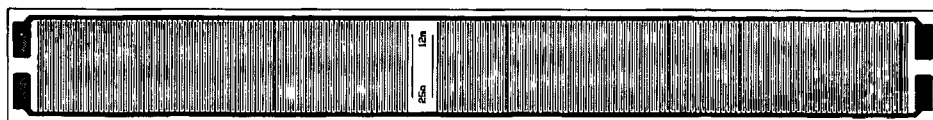
Rys. 3. Wpływ zawartości wody w oleju smarującym na pojemność elektryczną czujnika wykonanego wg Rys. 2.

Aby zyskać jak najwyższą czułość należy dążyć tego, aby wartość tej stałej pojemności była jak najmniejsza. Jednocześnie jednak konstrukcja powinna zapewniać stabilność kształtu wymiarów. Dlatego płytki mocowane są w czterech rogach.

Wykonane pomiary pojemności przy zanurzeniu kondensatora próbnego w różnych mieszaninach wykazały, że ze wzrostem zawartości wody następuje wzrost pojemności. Przedstawia to Tablica 1. i Rys. 3. Poziom zmian umożliwia wykorzystanie tej cechy do budowy praktycznego układu pozwalającego wykryć obecność wody w oleju smarującym.

## 2.2. Czujnik w formie obwodu drukowanego.

Opisany w p. 2.1 czujnik w postaci kondensatora montowanego z płaskich płytek jest pracochłonny w wykonaniu. Dlatego sprawdzona została możliwość wykonania prostszej, mniej kłopotliwej, przy powtarzalnym wykonaniu konstrukcji. Został wykonany czujnik w postaci elastycznego obwodu drukowanego, z materiału olejoodpornego. Czujnik taki przedstawia Rys. 4. Druk miedziany został wykonany w postaci dużej liczby blisko siebie położonych ścieżek (0,25mm) stanowiących kondensatory połączone równolegle. Miedziane ścieżki zostały pokryte warstwą niklu. Powiększenie grubości ścieżek zwiększyło wpływ przenikalności elektrycznej ośrodka, w którym znajdzie się czujnik. Ponadto pokrycie ścieżek, niklem poprawiło mechaniczną i chemiczną odporność nadruku.



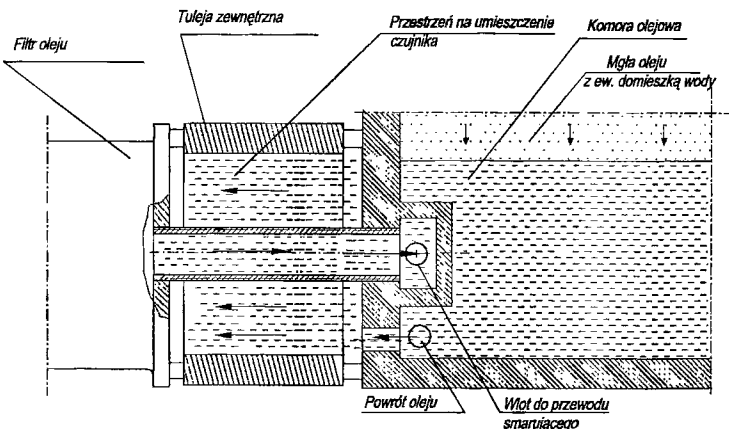
Rys. 4. Czujnik w postaci elastycznego obwodu drukowanego

Pomiary właściwości tego czujnika sprawdzanego w podobny sposób wykazały, że ma on mniejszą czułość, tzn. względne zmiany pojemności spowodowane identycznymi zmianami zawartości wody w oleju są mniejsze. Wynika to stąd, iż na zmiany pojemności ma wpływ środowisko od strony ścieżek. Natomiast folia stanowiąca bazę druku elastycznego, separuje i osłabia bardzo wpływ środowiska. Mimo to obserwowane zmiany i ich powtarzalność była zadowalająca i wystarczająca do praktycznego wykorzystania. W przypadku tego czujnika zaobserwowano, że przy ułożeniu czujnika nadrukiem do góry i pozostawieniu mieszaniny bez mieszania, po dłuższym czasie (1/2h) następuje znaczny wzrost pojemności. Zjawisko wynika stąd, że opadające cząsteczki wody gromadzą się nad powierzchnią druku, izolowane filmem olejowym. Daje to efekt odpowiadający bardzo dużej zawartości wody. Wymieszanie oleju stan ten usuwa, lecz w przypadku słabego mieszania w czasie pracy zjawisko to może zakłócić ocenę stanu oleju. Przy wyborze usytuowania tego czujnika należy uwzględnić powyżej opisane zjawisko.

## 2.3. Czujnik przepływowy z okładkami spiralnymi.

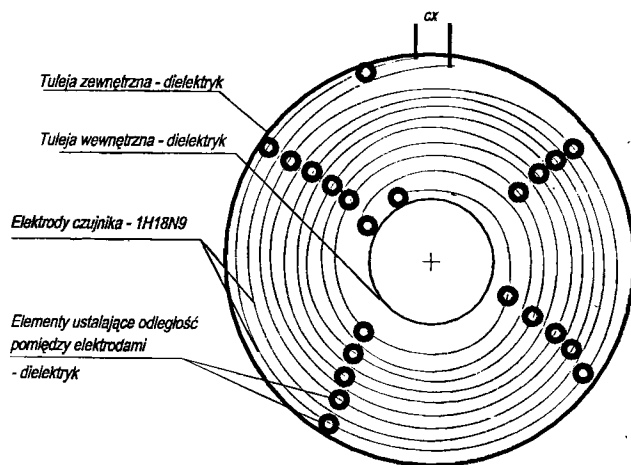
Miejscem, w którym występuje ciągły przepływ mieszaniny wody i oleju, w trakcie pracy urządzenia jest filtru oleju. Stąd powstał pomysł umieszczenia czujnika w tej strefie. Przedstawia to Rys.5. Początkowo w tulei był umieszczony czujnik z elastycznego obwodu drukowanego. Jednak w momencie zatrzymania przepływu (po wyłącze-

niu pompy) potwierdziły się problemy opisane w p. 2.2 . Aby wyeliminować to wadę postanowiono zmodyfikować konstrukcję kondensatora tak, aby był bardziej odporny na rozwarstwienie mieszaniny wody i oleju. Tak powstał pomysł czujnika z okładkami spiralnymi. Okładki kondensatora musiały się zmieścić w przestrzeni pomiędzy wewnętrzną i zewnętrzną tuleją czujnika.



Rys. 5 Przepływ oleju w układzie smarującym pompy

Po przeanalizowaniu kilku rozwiązań powstała koncepcja budowy czujnika, który ma okładki zwinięte spiralnie z dwóch taśm metalowych. Jedna z tych taśm ma nałożone elementy izolacyjne, ustalające odstęp pomiędzy okładkami jak to pokazano na Rys. 6.

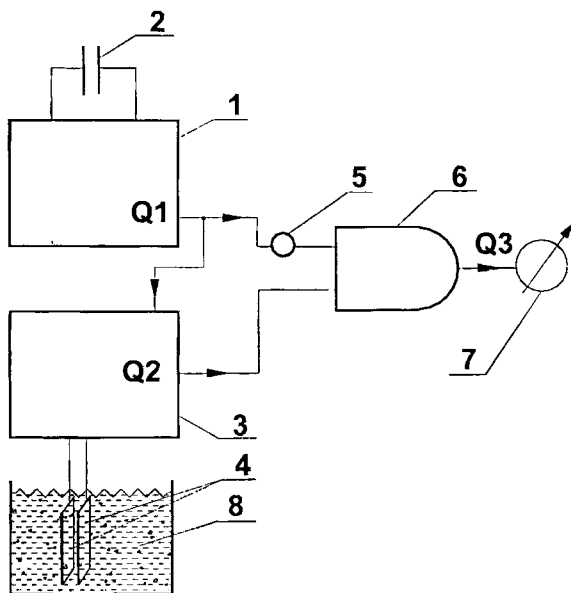


Rys. 6 Czujnik z okładkami w postaci dwóch taśm zwiniętych spiralnie.

W ten sposób powstał kondensator z okładkami w postaci spiralnie ułożonych okładek, pomiędzy którymi podczas pracy pompy przepływa olej zasasyany do filtru, a następnie z filtru do przewodu smarującego. Każda z okładek wykonana w postaci taśmy wymagała połączeń elektrycznych do wejścia przetwornika tylko w jednym punkcie.

### 3. SYGNALIZATOR ZMIAN POJEMNOŚCI ELEKTRYCZNEJ

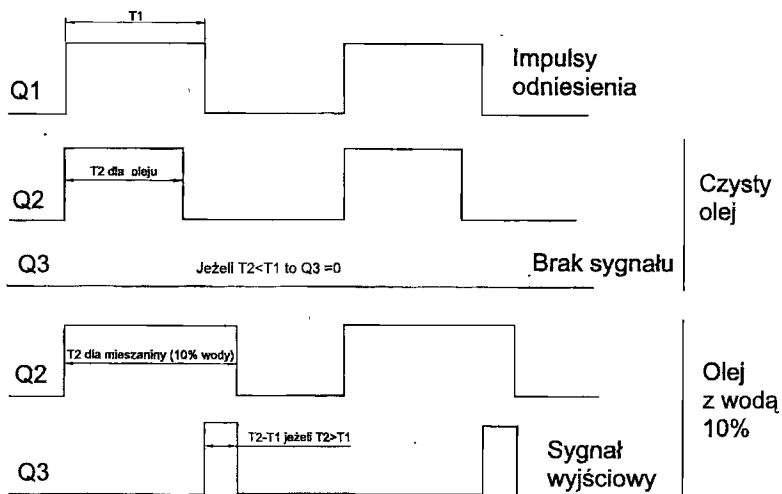
Wykorzystanie opisanych w p. 2.1. 2.3. właściwości czujników, reagujących zmianą pojemności na obecność wody w oleju smarującym wymagało zbudowania prostego i pewnego w działaniu układu elektronicznego. Przy tym układ taki powinien być tani. Problem pomiaru sprowadza się przypadku obu czujników do stwierdzenia stosunkowo niewielkich zmian pojemności rzędu  $20 \div 30$  pF przy obecności stałej pojemności na poziomie  $\sim 400$  pF w przypadku czujnika opisanego w p. 2.1. W przypadku czujnika z nadrukiem na folii pojemność stała wynosi ok. 120 pF natomiast wykrywalne powinny być zmiany już na poziomie  $5 \div 10$  pF. Typowe rozwiązania przyrządów do pomiaru pojemności zapewniające wystarczającą rozdzielczość i dokładność są drogie. Dlatego zastosowano rozwiązanie, w którym pomiar dokonywany jest przez porównanie zmian pojemności czujnika w stosunku do obwodu z pojemnością odniesienia. Idea budowy takiego układu przedstawiona jest na Rys. 7.



Rys. 7. Schemat ideowy układu sygnalizatora obecności wody w oleju

Generator impulsów 1 wytwarza ciąg impulsów o stałym czasie trwania określonym wartością kondensatora odniesienia 2. Impulsy wyjściowe z tego generatora służą do wyzwania generatora monostabilnego 3. Czas trwania impulsów wytwarzanych przez generator monostabilny zależy od pojemności kondensatora 4, który zbudowany jest w postaci jednej z wersji czujników opisanych w p.2. Kondensator ten jest zanurzony w

kontrolowanym oleju. Pojemność kondensatora 4 wzrasta wraz ze wzrostem zawartości wody w oleju. Wzrost pojemności powoduje wydłużenie czasu trwania impulsów generatora monostabilnego Q2. Układ antykoincydencji złożony z negatora 5 i układu iloczynu logicznego 6 zapewnia pojawienie się sygnałów na wyjściu Q3 wtedy i tylko wtedy, gdy czas trwania impulsów Q2 jest większy niż czas trwania impulsów Q1. Pojawienie się impulsów na wyjściu Q3 rejestrowane jest przez układ sygnalizacji 7.



Rys. 8. Przebiegi sygnałów w układzie wg rys. 7.

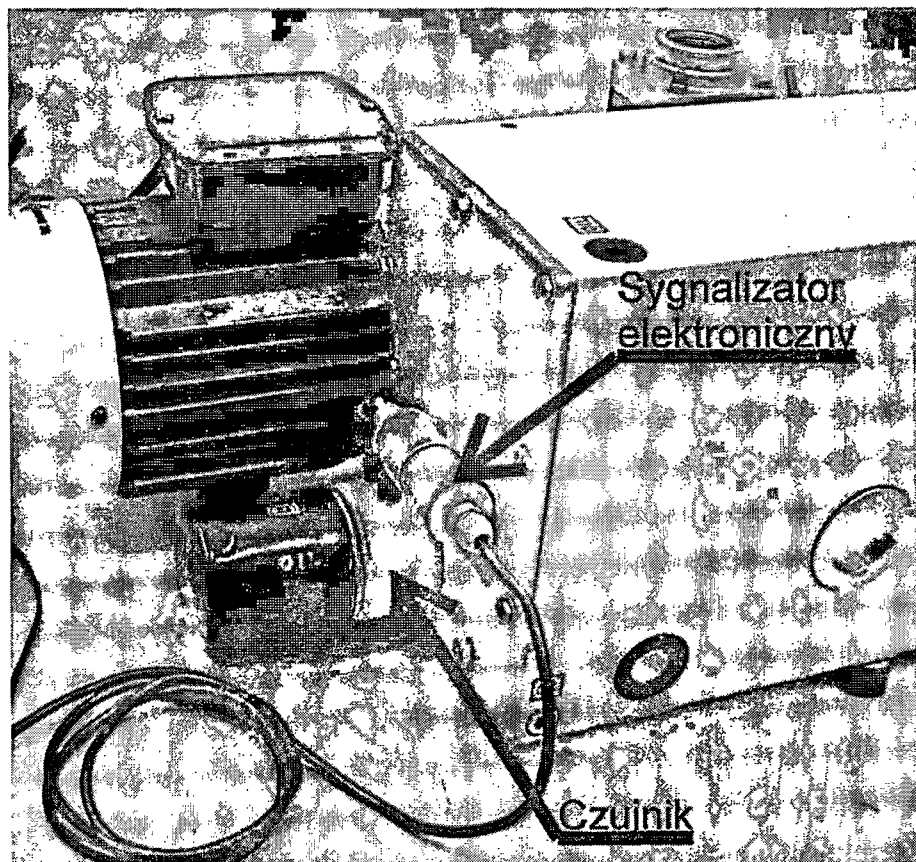
Na Rys. 8. przedstawione zostały przebiegi impulsów. Sygnał Q1 jest sygnałem z generatora astabilnego. Czas trwania impulsu jest ustalony tak, aby dla był dłuższy niż impuls Q2 dla czystego oleju. Kiedy wzrasta zawartość wody (wzrasta pojemność czujnika) to wzrasta czas trwania impulsów Q2. Gdy czas trwania impulsu Q2 jest większy niż czas trwania Q1 na wyjściu Q4 pojawiają się impulsy, które sygnalizują przekroczenie nastawionego progu. Sygnał może być wykorzystany do sterowania urządzeniem sygnalizującym zwiększoną zawartość wody.

#### 4. PODSUMOWANIE

Opisany czujnik i sygnalizator został wykonany praktycznie i zainstalowany w układzie smarującym pompy próżniowej. Przedstawia to Rys 9. Wykonane próby potwierdziły prawidłowe działanie sygnalizacji w momencie pojawienia się wody w oleju. Przy czym jako wartość progową ustawiono poziom 10% zawartości wody w stosunku objętości oleju. W powyższym artykule starano się przedstawić wybrane problemy związane z pomiarem bądź sygnalizacją zawartości wody w oleju smarującym oraz sposoby ich rozwiązania.

W praktycznie spotykanych układach smarujących mieszanina wody i oleju rzadko jest jednorodna, co utrudnia prawidłową sygnalizację. Kluczowym zagadnieniem jest wybór miejsca zainstalowania czujnika aby możliwie wcześniej wykryć zagrożenie uszkodzeniem smarowanego urządzenia.





Rys. 9. Czujnik oleju wraz z układem elektronicznym zamontowanym w układzie smarującym pompy próżniowej

W wyniku nagrzewania się urządzenia następuje także częściowe odparowanie wody z komory olejowej, co stanowi dodatkowy problem podczas badań, ze względu na dodatkowo zmieniającą się ilość wody w oleju w komorze olejowej. Dlatego istotne jest skontrolowanie tej części, która wprowadzana jest bezpośrednio do układu smarowania. Przyjęte rozwiązanie czujnika umieszczonego na drodze zasysania oleju do układu smarującego spełnia takie wymagania.

Układ detektora progowego jest przedmiotem zgłoszenia patentowego „Sygnalizator obecności w olejowych układach smarujących” oznaczonego numerem P- 347597.

#### LITERATURA

- [1] Tadeusz Masewicz, Sławomir Wenda – Materiałoznawstwo radiotechniczne; WKŁ; Warszawa 1973.
- [2] Eustachy S. Burka – Mechanika płynów w przykładach; Wyd.: WN PWN 2002
- [3] Ulrich Titze, Christoph Schenk – Układy półprzewodnikowe; WNT; Warszawa 1997.