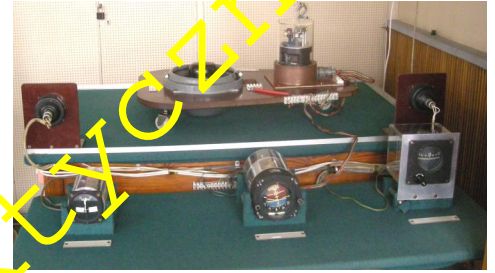


Ćwiczenie 9



ZASTOSOWANIE ŻYROSKOPÓW W NAWIGACJI

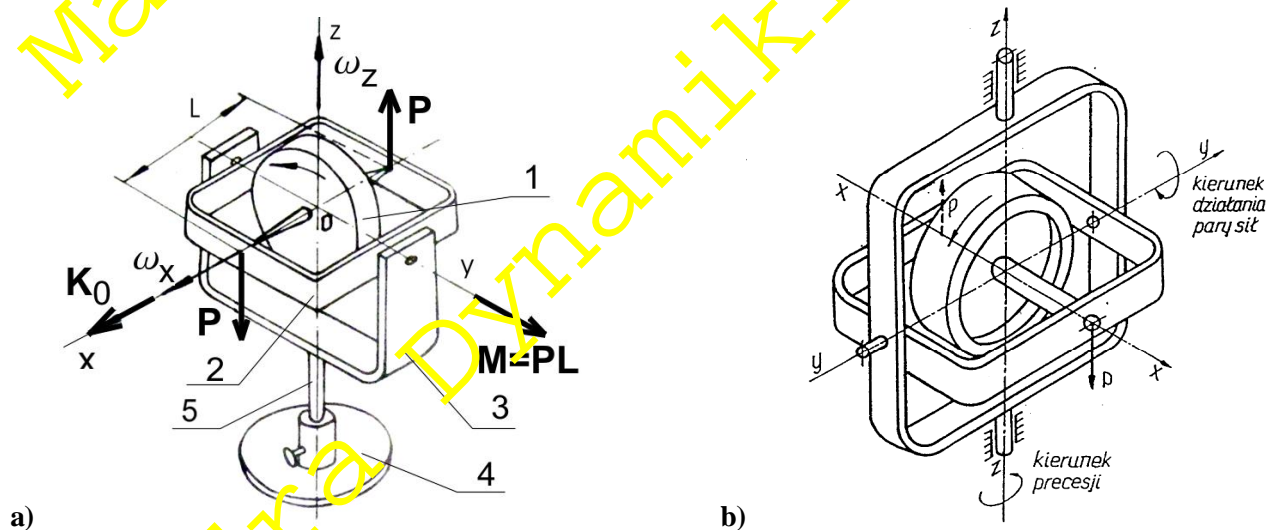
9.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest prezentacja praktycznego wykorzystania efektu żyroskopowego w lotniczych przyrządach nawigacyjnych.

9.2. Wprowadzenie

Żyroskopy znajdują szerokie zastosowanie w technice. W ćwiczeniu niniejszym przedstawiono wykorzystanie ich w nawigacji lotniczej. Urządzenia żyroskopowe stosuje się w samolotach jako przyrządy samodzielne, na przykład skrzętomiernik, sztuczny horyzont, żyroskopowy wskaźnik kursu lub wchodzące w skład innych bardziej złożonych urządzeń jak busola żyromagnetyczna i pilot automatyczny.

Żyroskopem nazywamy szybko obracające się ciało materialne o kształcie bryły obrotowej, którego jeden punkt (środek masy) leżący na osi symetrii jest unieruchomiony - można to użyć za pomocą tzw. zawieszenia Cardana pokazanego na rys. 9.1. (Inny sposób zamocowania zastosowany jest w modelu badanym w Ćwiczeniu 7.)



Rys. 9.1. Schemat żyroskopu o trzech stopniach swobody:

1 - wirnik, 2 - ramka wewnętrzna, 3 - ramka zewnętrzna, 4 – podstawa (obudowa), 5 – oś

Zasadniczym elementem w omawianym żyroskopie jest masywny, szybko obracający się wirnik (1), którego oś Ox (oś żyroskopowa) jest osadzona w dwóch łożyskach znajdujących się w ramce (2) zwanej *ramką wewnętrzną*. Ramka ta może obracać się wokół osi Oy względem *ramki zewnętrznej* (3). Ta z kolei obraca się dookoła osi Oz (rys. 9.1-a oś pionowa (5) wychodząca z ramki zewnętrznej ma swobodę obrotu w podstawie (4)). Jak widać na rysunku, punkt O w którym przecinają się wszystkie trzy wymienione osie pozostaje nieruchomy - jest on *środkiem ruchu kulistego* dla wirującego ciała.

Wprowadzony w ruch obrotowy wirnik żyroskopu o trzech stopniach swobody charakteryzuje się tym, że oś Ox zachowuje **niezmiennie położenie w przestrzeni**. Ta cecha żyroskopu zyskała szerokie praktyczne zastosowanie w różnego rodzaju przyrządach i urządzeniach przeznaczonych do utrzymania zadanego kierunku na ruchomych obiektach, na przykład w nawigacji lotniczej, morskiej, itp.

Przy niskich obrotach wirnika żyroskop nie wykazuje wyraźnie swoich własności. Ujawniają się one w pełni po osiągnięciu przez wirnik wysokich szybkości, rzędu kilkudziesięciu tysięcy obrotów na minutę. W praktyce, z uwagi na nieidealne wyważenie wirnika i występujące w łożyskach opory (siły tarcia) z biegiem czasu oś żyroskopu będzie się odchylała od ustalonego położenia początkowego. Do naprowadzania osi żyroskopu do pierwotnego położenia służą specjalne mechanizmy korekcyjne.

Drugą istotną cechą żyroskopu o trzech stopniach swobody jest - objaśnione poniżej - **zjawisko precesji**. Jeżeli wirnik żyroskopu nie obraca się, wówczas moment sił zewnętrznych (przyłożonych do jednej z ramek (zewnętrznej lub wewnętrznej) powoduje obrót tylko tej ramki. Natomiast, gdy wirnik obraca się ze znaczną prędkością, wówczas taki sam jak poprzednio moment przyłożony do jednej ramki, wywołuje obrót drugiej z ramek.

Jeżeli w żyroskopie o trzech stopniach swobody przedstawionym na rys.9.1-b, przyłożymy parę sił (w płaszczyźnie pionowej) o momencie $M_y = P L$, to żyroskop zacznie obracać się, ale nie wokół osi Oy , lecz wokół osi Oz . Po usunięciu pary sił precesja natychmiast ustaje.

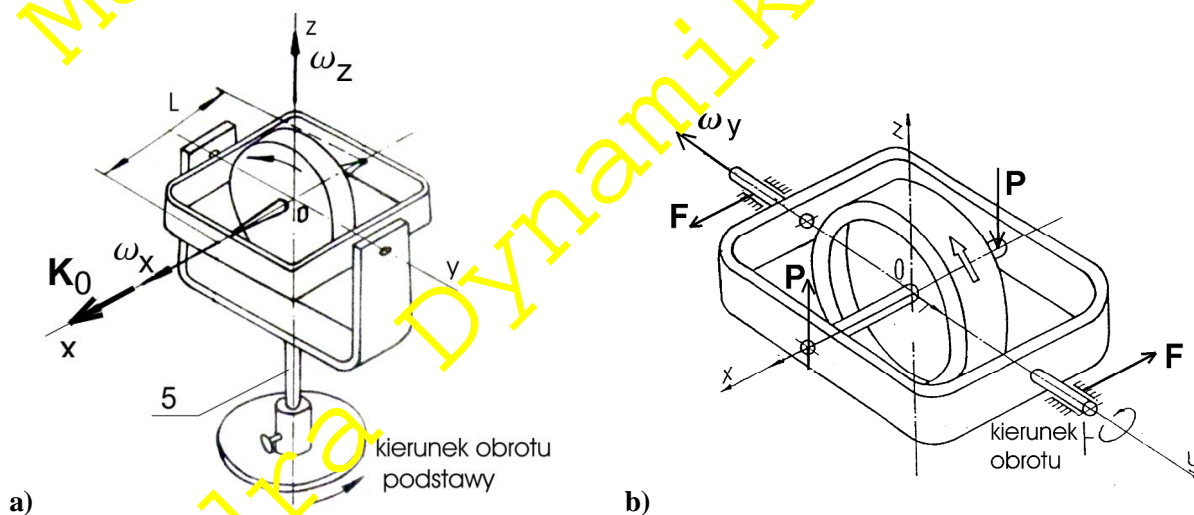
Prędkość kątowna precesji żyroskopu wynosi:

$$\omega_z = \frac{M_y}{J_x \omega_x}, \quad (9.1)$$

gdzie: ω_z - prędkość kątowna precesji,
 M_y - moment sił zewnętrznych,
 J_x - moment bezwładności wirnika żyroskopu względem osi Ox ,
 ω_x - prędkość kątowna wirnika żyroskopu.

Dla uzyskania bardzo małej prędkości kątownej precesji żyroskopu należy przede wszystkim dążyć do zwiększenia wartości iloczynu $J_x \omega_x$ (krętu wirnika).

W żyroskopach o dwóch stopniach swobody (w żyroskopie pokazanym na rys. 9.2-a oś pionowa (5) zablokowana w podstawie) para sił zewnętrznych P przyłożona do osi wirnika wywołuje jej obrót zgodnie z kierunkiem momentu pary sił.



Rys. 9.2. Schemat żyroskopu o dwóch stopniach swobody

Obrót osi wirnika Ox żyroskopu o dwóch stopniach swobody można wywołać także obracając podstawę żyroskopu z rys. 9.2-a (przy zablokowanej osi (5) i w kierunku pokazanym na rysunku). Jest to równoznaczne z przyłożeniem pary sił F do ramki (rys. 9.2-b).

Przy opisie zjawisk żyroskopowych często używane jest pojęcie: **moment żyroskopowy** (albo **moment żyrostacyjny**). Jest to wielkość określająca zmianę wektora krętu wirnika wywołaną wymuszonym obrotem żyroskopu.

Jeśli równanie opisujące ruch wirnika żyroskopu ($\frac{d\dot{\mathbf{K}}_O}{dt} = \mathbf{M}_O$) przedstawimy w postaci $\mathbf{M}_O - \frac{d\dot{\mathbf{K}}_O}{dt} = \mathbf{0}$, to momentem żyroskopowym¹ będziemy nazywać wielkość:

$$\mathbf{M}_{z\text{yr}} = -\frac{d\dot{\mathbf{K}}_O}{dt} \cong -\boldsymbol{\omega}_z \times J_x \boldsymbol{\omega}_x \quad (9.2)$$

Wprowadzając takie oznaczenia równanie $\frac{d\dot{\mathbf{K}}_O}{dt} = \mathbf{M}_O$ możemy zapisać w formie równania równowagi jako

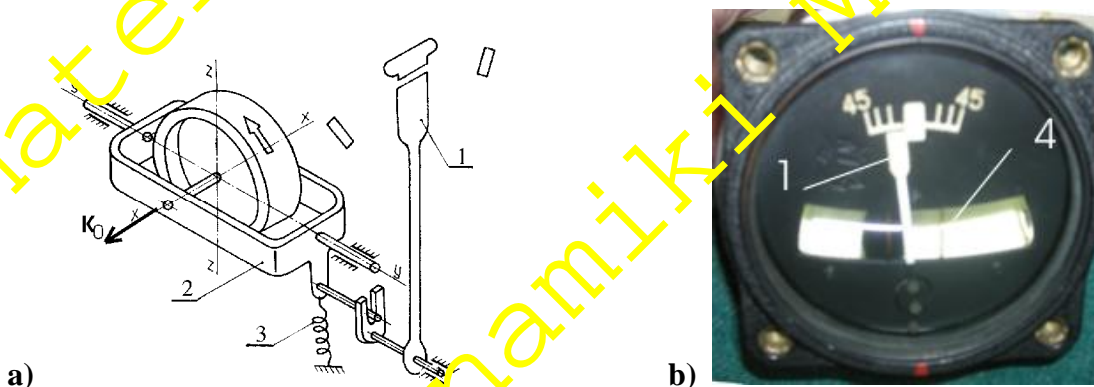
$$\dot{\mathbf{M}}_O + \dot{\mathbf{M}}_{z\text{,r}} = \mathbf{0} \quad (9.3)$$

9.3. Omówienie zasad działania niektórych przyrządów nawigacji lotniczej

9.3.1. Skrętomierz

Służy on do określania kierunków i szybkości kątowej skrętu samolotu. W skrętomierzu zastosowany jest żyroskop o dwóch stopniach swobody, przy czym oś obrotu ramki (Oy na rys. 9.3-a) jest równoległa do podłużnej osi samolotu.

Wyobraźmy sobie, że w chwili początkowej mamy do czynienia tylko z ruchem wirnika wokół osi Ox z prędkością kątową ω_x , a ramka ruchoma, w której ułożyskowana jest jego oś znajduje się w płaszczyźnie poziomej. W czasie lotu, gdy samolot wykonuje skręt wokół pionowej osi, skrętomierz również obraca się wokół tej osi. Wektor prędkości kątowej wirnika żyroskopu ω_x zaczyna się wówczas odchylać z płaszczyzny poziomej, na skutek wywołanej prędkości kątowej ω_z w kierunku wektora w_z . Powoduje to ruch obrotowy ramki, który z kolei przez mechanizm dźwigniowy jest przekazywany na wskazówkę przyrządu.



Rys. 9.3. Skrętomierz:

1 - wskazówka, 2 - ramka skrętomierza, 3 - sprężyna, 4 - chylomierz poprzeczny

Wychylenie wskazówki z położenia środkowego (zerowego) sygnalizuje pilotowi o skręcie samolotu wokół osi pionowej, czyli odchylenie od zamierzonego kierunku lotu. Dla zapewnienia powrotu wskazówki do zerowego położenia służy zamocowana do ramki sprężyna (3), która spełnia w skrętomierzu rolę korektora – porównaj wzór (9.3).

Przykładowo, w czasie skrętu samolotu w lewo wektor krętu \mathbf{K}_O – wraz z osią wirnika - odchylił się z płaszczyzny poziomej (rys. 9.3-a) do góry i dozna obrotu wokół osi Oz . W wyniku obrotu ramki oraz widocznego na rysunku mechanizmu dźwigniowego wskazówka skrętomierza wychyliła się w lewo i wskazuje skręt samolotu w tę samą stronę (rys. 9.3-b).

Przy skłacie w prawo koniec wektora krętu wirnika \mathbf{K}_O przemieści się w dół. Wskazówka skrętomierza odchyliła się wówczas w prawo wskazując skręt samolotu w prawo.

¹ Jest to pojęcie analogiczne do znanego pojęcia siły bezwładności ($\dot{\mathbf{B}} = -m\dot{\mathbf{p}}_C$), które pozwala zapisać równanie dynamiki ($m\dot{\mathbf{p}}_C = \dot{\mathbf{P}}$) w formie równania równowagi $\dot{\mathbf{P}} + \dot{\mathbf{B}} = \mathbf{0}$.

Wchylenie wskazówki staje tym większe, im wyższa jest prędkość kątowna samolotu w skłęb. Należy dodać, że gdy prędkość kątowna jest znikoma, to na skębomierz działa tylko niewielki moment żyroskopowy, który nie jest w stanie przewyciężyć momentu oporowego sprężyny korekcyjnej. Praktycznie stwierdzono, że skębomierz nie reaguje na skęb samolotu, jeśli przy promieniu skęb 12 km jego prędkość nie przekracza 800 km/h. Oznacza to, że przyrząd nie określa żadnych widocznych wskazań dla wartości szybkości skęb 10/s.

Skębomierz nie reaguje na obroty samolotu wokół osi podłużnej i poprzecznej.

Chyłomierz poprzeczny

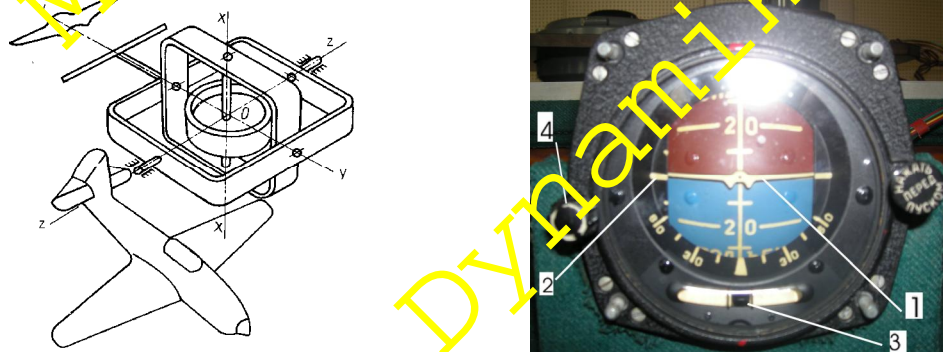
Należy dodatkowo wyjaśnić, jaką rolę odgrywa rurka szklana z kulką wewnątrz – zwana chyłomierzem – umieszczona na czołowej ścianie skębomierza (jak i sztucznego horyzontu). W nawigacji lotniczej spełnia ona bardzo ważne zadanie. Ułatwia pilotowi poprawne wykonywanie skęb, służy do kontroli przemieszczania się samolotu w kierunku prostopadłym do lotu (to znaczy *ślizgu samolotu*). Chyłomierz działa na zasadzie wykorzystania własności wahadła fizycznego i jego zdolności wskazywania kierunku działania siły wypadkowej w czasie przechylania i skęb samolotu.

9.3.2. Sztuczny horyzont

Przyrząd ten służy do określania położenia samolotu względem płaszczyzny rzeczywistego horyzontu, tzn. do określania pochylenia jak i przechyłu samolotu. **Pochyleniem** nazywamy kąt między podłużną osią samolotu a płaszczyzną poziomą. **Przechylem** nazywamy kąt między poprzeczną osią samolotu a linią horyzontu (tj. płaszczyzną poziomą).

Przy *dobrej widoczności* powierzchni ziemi pilot określa położenie samolotu według widocznej linii horyzontu. W takich warunkach może on nawet bez użycia przyrządów określić położenie samolotu względem ziemi, tj. określić przybliżoną wartość pochylenia i przechyłu samolotu. Sztuczny horyzont jest jednym z przyrządów, który umożliwia bieżącą kontrolę: lotu poziomego przy *braku widoczności* oraz określa wartość kątów pochylenia i przechyłu samolotu. Konstrukcja jego jest oparta na wykorzystaniu własności żyroskopu o trzech stopniach swobody, którego główna oś obrotu zachowuje niezmiennie położenie w przestrzeni, niezależnie od położenia samolotu.

W przyrządzie tym oś obrotu wirnika żyroskopu Ox jest umieszczona pionowo. Po zamontowaniu sztucznego horyzontu w samolocie oś obrotu ramki wewnętrznej Oz jest równoległa do *podłużnej* osi samolotu, a oś obrotu ramki zewnętrznej Oy jest równoległa do *poprzecznej* osi samolotu, jak to widać na rys. 9.4.



Rys. 9.4. Sztuczny horyzont:

1 - sylwetka samolotu, 2 - linia horyzontu, 3 - chyłomierz poprzeczny, 4 – pokrętko regulacyjne

Na czołowej ścianie przyrządu znajduje się sylwetka samolotu, którą pilot po uruchomieniu przyrządu ustawia tak, aby pokryła ona się z linią sztucznego horyzontu, jak na rys. 9.4. W czasie lotu sylwetka ta, związana z obudową przyrządu (czyli z kadłubem samolotu) określa położenie lecącego samolotu względem linii sztucznego horyzontu.

Dzięki wymienionym poprzednio własnościom żyroskopu o trzech stopniach swobody położenie linii sztucznego horyzontu względem sylwetki samolotu odzwierciedla położenie linii horyzontu (względem samolotu).

Dla zapewnienia właściwych wskazań główna oś żyroskopu powinna zajmować w czasie lotu położenie pionowe (wynika to z konstrukcji przyrządu). W locie poziomym (bez pochyień) obydwie ramki żyroskopu: wewnętrzna i zewnętrzna utrzymują niezmiennie położenie względem obudowy sztucznego horyzontu, która pokrywa się wtedy z sylwetką samolotu przyrządu.

Przy *pochyleniach* samolotu związana z żyroskopem linia sztucznego horyzontu utrzymuje niezmiennie swoje położenie poziome, przemieszcza się jednak względem sylwetki samolotu - związanej z obudową sztucznego horyzontu - w górę lub w dół. Odstęp między linią sztucznego horyzontu, a sylwetką samolotu wskazuje jego położenie względem linii horyzontu. Na przykład, w locie nurkowym wraz z samolotem pochyla się do przodu obudowa sztucznego horyzontu (wraz z sylwetką samolotu), zaś związana z żyroskopem pozioma linia wyobrażająca linię horyzontu pozostaje pozioma - pod sylwetką samolotu.



Rys. 9.5. Sztuczny horyzont - wzajemne położenie linii horyzontu (1) i sylwetki samolotu (2) podczas: a) lotu nurkowego, b) przechyłu samolotu

Przy *przechyłach* samolotu działanie sztucznego horyzontu jest nieco inne. Oś obrotu ramki zewnętrznej jest skierowana (jak podano wyżej) równoległe do poprzecznej osi samolotu. W związku z tym, podczas przechyłu samolotu wraz z nim przechyla się obudowa sztucznego horyzontu i oś obrotu ramki zewnętrznej.

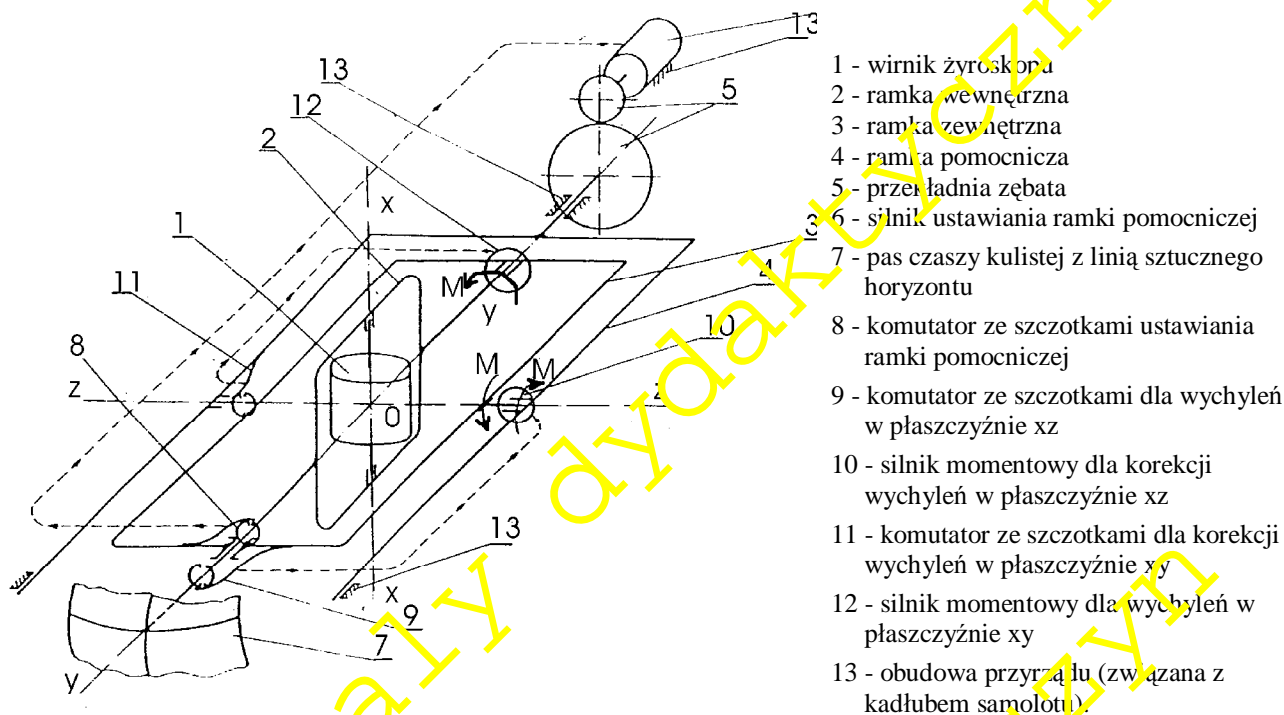
W tym czasie ramka wewnętrzna utrzymuje niezmiennie położenie (oś wirnika jest pionowa), a zatem obraca się ona względem osłony przyrządu; dzięki temu obraca się również linia sztucznego horyzontu, a to w konsekwencji wskazuje przechył samolotu.

Aby wskazania sztucznego horyzontu nie były obciążone zbyt dużym błędem, stosuje się urządzenia korekcyjne. W omawianym przypadku sztucznego horyzontu zastosowano dwa mechanizmy korekcyjne, umożliwiające prawidłowe działanie przyrządu. Pierwszy z nich zapewnia właściwe wskazania przyrządu nawet przy pełnym obrocie samolotu wokół osi podłużnej (oś $y-y$ na rys.9.6), drugi natomiast utrzymuje pionowe położenie osi wirnika żyroskopu.

Oto skróty opis działania tych dwóch urządzeń korekcyjnych, których ideowy schemat pokazuje rys. 9.6.

Pierwszy z systemów korekcji działa następująco. Załóżmy, że ramka pomocnicza (4) byłaby nieruchomo związana z obudową przyrządu (lub jej w ogóle nie było). Wtedy przy przechyłach samolotu (obrotach dookoła podłużnej osi samolotu, równoległej do osi $y-y$) pas czaszy kulistej (7) - wyobrażający sztuczny horyzont - oparłby się o łożyska osi $z-z$, uniemożliwiając prawidłowe wskazania przyrządu. Wobec tego ramka pomocnicza musi obracać się (usuwać), umożliwiając w ten sposób obrót pasa kulistego wokół osi $y-y$.

Zrealizowano to w ten sposób, że na osi $y-y$ ramki wewnętrznej (2) umieszczono komutator dwusegmentowy (8) ze szczotkami związanymi z ramką zewnętrzną (3). Wówczas nawet bardzo mały przechył samolotu powoduje obrót komutatora względem szczotek. Pojawiający się w tym czasie na szczotkach sygnał elektryczny przekazywany jest do silnika elektrycznego (6). Powoduje on poprzez przekładnię zębatą (5) obrót (usuwanie się) ramki pomocniczej (4), umożliwiając nieograniczony obrót pasa kulistego. Obrót ramki pomocniczej zmienia z kolei położenie komutatora względem szczotek i tym samym znika sygnał uruchamiający silnik elektryczny (6). Omówiona wyżej korekcja spełnia rolę pomocniczą, a jej charakter zależy od konstrukcji przyrządu.



Rys. 9.6. Schemat ideowy sztucznego horyzontu – systemy korekcji

Drugi system korekcji jest konieczny dla utrzymania pionowego położenia osi żyroskopu, bowiem wskutek istniejących oporów łożysk następuje z biegiem czasu odchylenie się osi wirnika żyroskopu od położenia początkowego (ustalonego).

Załóżmy, że oś żyroskopu $x-x$ wychyliła się w płaszczyźnie xz od pionu, a pozostałe ramki nie zmieniły w tym czasie swojego położenia. Wówczas komutator dwusegmentowy (9) osadzony na osi $y-y$ obraca się względem szczotek połączonych z ramką zewnętrzną (3). Sygnał elektryczny pojawiający się na szczotkach na skutek obrotu komutatora przekazywany zostaje następnie do silnika korekcyjnego (10), którego stojan związany jest z ramką pomocniczą (4), a wirnik z osią obrotu $z-z$ ramki zewnętrznej (3).

Moment obrotowy M o odpowiednim zwrocie wywołany przez silnik (10) działa na ramkę (3) i zgodnie z zasadą akcji i reakcji również na ramkę pomocniczą (4). Ramka ta nie może zmienić swego położenia względem przyrządu, natomiast pod wpływem momentu M ramka zewnętrzna (3) ma tendencje do obrotu względem osi $z-z$. Pojawiający się wówczas efekt żyroskopowy powoduje, że ramka wewnętrzna (2) obraca się wokół osi $y-y$, a to z kolei umożliwia obrót osi żyroskopu $x-x$ do chwil. zajęcia właściwego położenia (pionowego). Po osiągnięciu przez oś wirnika wspomnianej pozycji komutator zajmuje położenie neutralne wobec szczotek i tym samym znika sygnał elektryczny przekazywany do silnika momentowego.

Analogicznie przebiega korekcja przy wychyleniu się osi wirnika z położenia pionowego w płaszczyźnie xy . Sygnał elektryczny ze szczotek komutatora (11) przekazywany jest do silnika korekcyjnego (12), który z kolei wywiera moment na ramkę wewnętrzną. Dalszy przebieg korekcji osi wirnika w płaszczyźnie xy jest podobny do tego w płaszczyźnie xz .

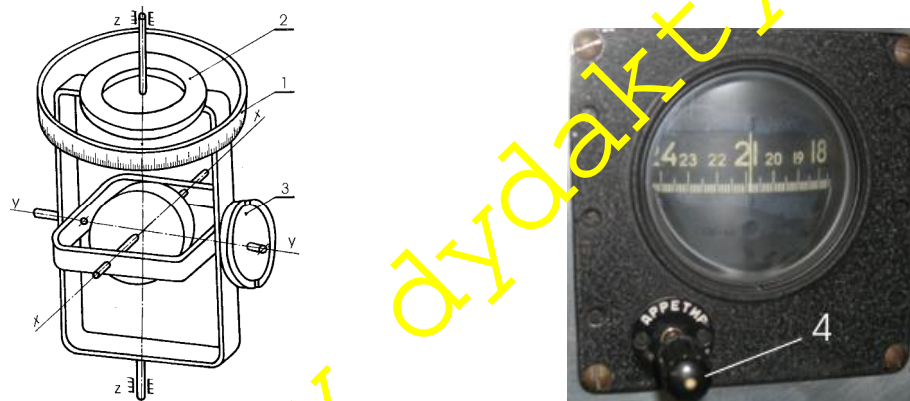
Zastosowane w omawianych urządzeniach korekcyjnych silniki mogą pracować przy poślizgu 100% (moment silnika jest tak mały, że nie wywołuje zauważalnego obrotu) i z tego względu noszą one nazwę *silników momentowych*. Dodac należy jeszcze, że oba silniki korekcyjne mogą działać jednocześnie, niezależnie od siebie.

Na zakończenie omawiania urządzeń korekcyjnych trzeba wspomnieć jeszcze o tzw. *zgrubnej korekcji*. Aby ułatwić pracę silników korekcyjnych i skrócić czas korekcji, do ramek wewnętrznej i zewnętrznej podwiesza się ciężarki, które ustawiają zgrubnie oś wirnika w położenie zbliżone do pionowego, nawet przy niepracującym urządzeniu.

9.3.3. Elektryczny żyroskopowy wskaźnik kursu

Służy on do dodatkowej kontroli utrzymywania w czasie lotu zaplanowanego kierunku lotu (kursu). Przed startem samolotu, w celu zrealizowania zaplanowanego lotu pilot ustawia pierścień kursu (skalę obrotową na kresce kursowej) w odpowiednie położenie wg busoli magnetycznej, a następnie realizuje ustalony kierunek lotu.

Konstrukcja przyrządu oparta jest na żyroskopie o trzech stopniach swobody, jak pokazuje to rys. 9.7.



Rys. 9.7. Elektryczny żyroskopowy wskaźnik kursu:

1 – pierścień kursu, 2 – silniczek korekcji, 3 – komutator, 4 – pokrętko ustawiania pierścienia kursu

Ze względu na brak możliwości technicznych całkowitego wyważenia wirnika żyroskopu oraz na występujące siły tarcia w łożyskach, oś wirnika żyroskopu w czasie lotu będzie stale odchylała się z płaszczyzny poziomej od ustalonego położenia. W celu naprowadzania jej do pierwotnego położenia zamontowany jest w górnej części ramki zewnętrznej silniczek korekcyjny oraz komutator osadzony na osi ramki wewnętrznej. Silniczek ten ma za zadanie ciągle naprowadzanie osi wirnika w takie położenie, aby zawsze była ona prostopadła do osi obrotu ramki zewnętrznej. Realizuje się to w następujący sposób.

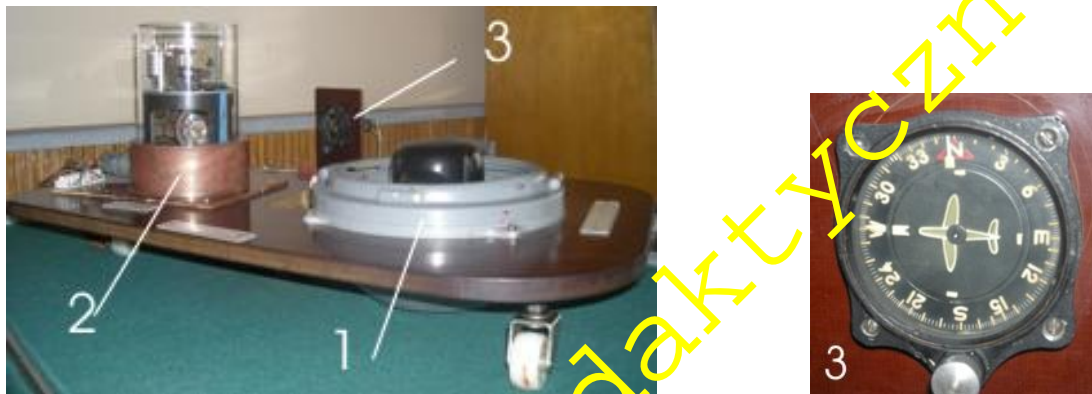
Z chwilą, gdy oś wirnika Ox odchyli się ze swego położenia poziomego – na przykład w dół, wówczas poprzez styki komutatora podawane jest napięcie do uzwojenia wirnika silniczka korekcji. Wirnik silniczka ma wtedy tendencję do obrotu i usiłuje obrócić ramkę zewnętrzną. Można sobie wyobrazić, że silnik ten wywołuje pewien (niewielki) moment sił zewnętrznych, który chce obrócić ramkę zewnętrzną. Wówczas pojawia się zjawisko precesji i oś wirnika żyroskopu obraca się w kierunku prostopadłym do zamierzonego kierunku obrotu ramki zewnętrznej. Po osiągnięciu przez oś wirnika położenia poziomego (jest ona wówczas prostopadła do osi ramki zewnętrznej) znika napięcie na stykach wirnika silniczka korekcyjnego i tym samym przestaje on działać.

9.3.4. Busola żyromagnetyczna

Określa ona i utrzymuje kurs magnetyczny. Służy także do określania kątów skreću samolotu wokół osi pionowej. Konstrukcja busoli jest skomplikowana ze względu na dużą liczbę współpracujących elementów. Wyróżnia się dwa zespoły mające decydujący wpływ na jej pracę:

nadajnik magnetyczny - busola magnetyczna,

żyroagregat, składający się z żyroskopu o trzech stopniach swobody i elektrycznego (potencjometrycznego) układu przekazywania.



Rys. 9.8. Busola żyromagnetyczna:

1 - nadajnik magnetyczny - busola magnetyczna, 2 - żyroagregat, 3 - wskaźnik kursu

Nadajnik magnetyczny - busola magnetyczna

Określa ona, a następnie utrzymuje kurs magnetyczny samolotu dzięki właściwościom ustawiania się igły magnetycznej w kierunku południka magnetycznego danego miejsca.

Zawieszeniu Cardana zapewnia poziome położenie obudowy igły magnetycznej (róży). Zewnętrzny pierścień Cardana jest podwieszony na sprężynach, służących do amortyzacji wstrząsów powstałych przy lądowaniu samolotu i jego wibracji. Czas uspokojenia igły (róży) wynosi około 20 sekund, a dopuszczalne pochyczenie obudowy nadajnika do 17 stopni w każdą stronę. Przed większymi wychyleniami igły chronią ją zderzaki gumowe. Na pokrywie obudowy busoli są umieszczone cztery magnesy stałe kompensacyjne.

Nadajnik magnetyczny ma m.in. następujące wady:

- dużą bezwładność igły,
- błędy wynikające z wychylenia igły z położenia poziomego w czasie skrętów i ewolucji samolotu,
- brak wskazań igły przy obrocie samolotu wokół osi poziomej,
- wrażliwość na części ferromagnetyczne, osprzęt elektryczny oraz na zewnętrzne pola magnetyczne (anomalie magnetyczne).

W celu wyeliminowania lub ograniczenia do minimum powyższych wad zastosowano żyroagregat wraz ze wskaźnikami kursu. Pozwoliło to między innymi na umieszczenie nadajnika daleko od części ferromagnetycznych i osprzętu elektrycznego (tj. własnego pola magnetycznego). Umieszcza się go zazwyczaj w tylnej części samolotu.

Za pomocą przewodów elektrycznych nadajnik magnetyczny (posiadający pierścień potencjometryczny) jest połączony poprzez wzmacniacz i silniczek uzgodnienia ze szczotkami potencjometru żyroagregatu.

Żyroagregat

Służy on do podawania względnej wartości wskazań nadajnika magnetycznego i dokładnego określania kąta skrętu samolotu wokół osi pionowej (poprzez wskaźniki kursu). Wskaźniki są umieszczone na desce rozdzielczej w kabine pilotów. Żyroagregat składa się z żyroskopolu o trzech stopniach swobody, pierścieniowego potencjometru osadzonego na osi ramki zewnętrznej żyroskopolu i silniczka uzgodnienia (korekcji).

Przedstawiamy teraz współdziałanie żyroagregatu z nadajnikiem magnetycznym (busolą) w czasie lotu samolotu.

Jeśli istnieje zgodność wskazań kierunku lotu samolotu przez nadajnik magnetyczny i żyroagregat, wówczas do silniczka uzgodnienia nie jest podawane napięcie. W momencie pojawienia się różnicy (nawet bardzo nieznacznej) między kierunkiem lotu wskazanym przez nadajnik magnetyczny (busolę) i kierunkiem wskazanym przez żyroagregat, wtedy na wejściu wzmacniacza jest podawane napięcie z potencjometrów żyroagregatu i nadajnika magnetycznego. Napięcie to, po jego wzmocnieniu, uruchamia silniczek uzgodnienia (korekcji), który poprzez przekładnię zębata obraca szczotki potencjometru w żyroagregacie tak, aby napięcie na wejściu wzmacniacza było równe zeru. Oznacza to, że kierunek lotu wskazywany przez żyroagregat i nadajnik magnetyczny jest taki sam. Korekcja ta będzie się zawsze powtarzała, gdy tylko kierunek lotu wskazywany przez nadajnik magnetyczny będzie różny od wskazywanego przez żyroagregat.

Przycisk uzgodnienia

Prędkość uzgodnienia żyroagregatu z nadajnikiem wynosi około $2 - 3^{\circ}/min$, więc na przykład po wykonaniu figur wyższego pilotażu, kiedy układ może być nieuzgodniony nawet o kąt 180° - uzgodnienie nastąpiłoby wówczas dopiero po ponad *60 minutach* od wykonania ewolucji. W celu zwiększenia szybkości uzgodnienia wskaźników kursu (sterowanych żyroagregatem) ze wskazaniem nadajnika magnetycznego używany jest przycisk uzgodnienia. Wciśnięcie go powoduj zmianę przełożenia przekładni zębatej silniczka uzgodnienia, dzięki czemu proces uzgodnienie odbywa się z prędkością $20^{\circ}/s$.

Wskaźnik kursu

Służy do wskazywania kierunku lotu (kursu) i kątów skreśu samolotu wokół osi pionowej. Wskazówka przyrządu w postaci tarczy, na której jest narysowana sylwetka samolotu i linia kursu jest sterowana przez żyroagregat.

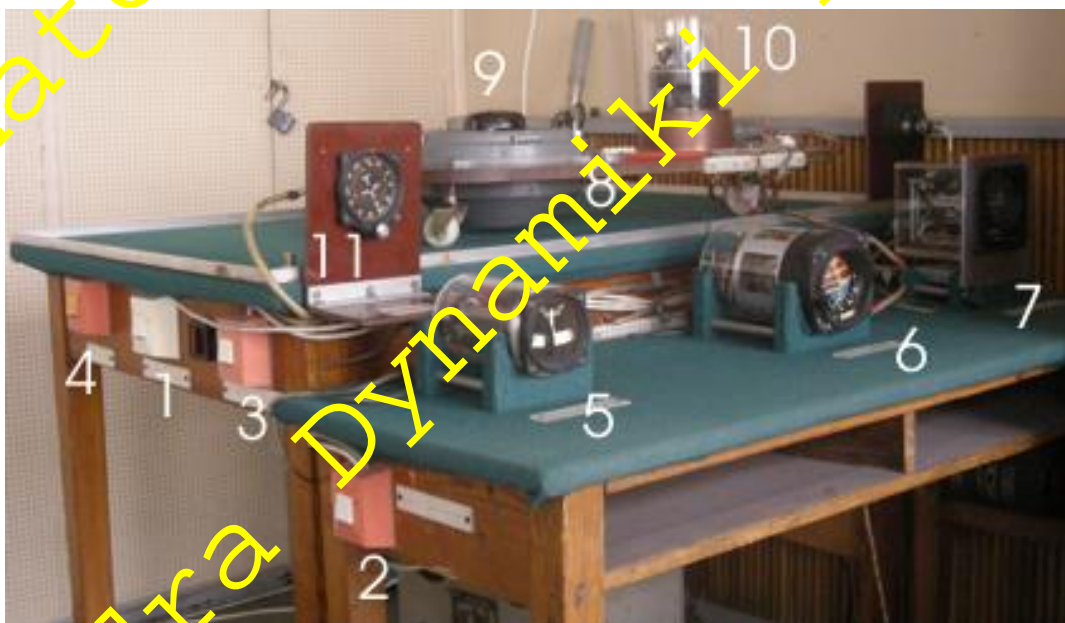
Przetwornica

Przekształca prąd stały na przemienny trójfazowy. W przyrządach żyroskopowych są stosowane silniki o wysokich obrotach (rzędu kilkudziesięciu tysięcy obrotów na minutę) i dużym momencie bezwładności wirnika. Są to silniki asynchroniczne klatkowe z zewnętrznym wirnikiem, zasilane prądem przemiennym trójfazowym o podwyższonej częstotliwości. Zainstalowane w stoisku przetwornice przekształcają prąd stały o napięciu 24 V na przemienny trójfazowy o napięciu 36 V i częstotliwości, około 400 Hz.

9.4. Przebieg ćwiczenia

Kolejno włączyć:

- zasilanie prostownika – rys.9.9 włącznik (1),
- zasilanie przetwornicy dla wybranej grupy przyrządów: skreśtomierz, sztuczny horyzont i elektryczny żyroskopowy wskaźnik kursu - rys.9.9 włącznik (2).



Rys. 9.9. Widok stoiska – rozmieszczenie włączników i przyrządów:

- 1 – włącznik prostownika, 2 i 3 – włączniki przetwornicy, 4 – przycisk szybkiego uzgodnienia,
5 – skreśtomierz, 6 – sztuczny horyzont, 7 – elektryczny żyroskopowy wskaźnik kursu,
8 – wózek, 9 – busola magnetyczna, 10 – żyroagregat, 11 – wskaźnik kursu

Uwaga. Nie wolno włączać obu przetwornic jednocześnie ze względu na zbyt duże obciążenie prostownika.

Po upływie około dwóch minut od włączenia przetwornicy należy przystąpić do wykonywania opisanych poniżej czynności.

9.4.1. Skrętomierz

1. Wykonywać skrętomierzem - nie unosząc go z siedziska - ruchy posuwiste (lot poziomy samolotu). Podczas poruszania przyrządem należy obserwować jego wskazówkę oraz chyłomierz.
 - Powtórzyć obserwacje wskazówki i chyłomierza, ale dokonując obrotów skrętomierza (przechylenie samolotu).
2. Unieść skrętomierz i obracać nim wokół poziomej osi poprzecznej (pochylenie samolotu), zwracając uwagę na to, co poprzednio.
3. Trzymając przyrząd w dłoni obracać nim *delikatnie* wokół osi pionowej w jedną i drugą stronę (skręt samolotu), co pewien czas wstrzymując ruch i zmieniając jego szybkość.
 - Obserwować wskazówkę oraz chyłomierz, jak również ramkę wewnętrzną żyroskopu.
 - Należy także zwrócić uwagę na sprężynę zamontowaną w przyrządzie, a szczególnie na jej rolę korektora.
4. Odłożyć skrętomierz na miejsce.

9.4.2. Sztuczny horyzont

1. Wykonywać przyrządem - nie unosząc go z siedziska - ruchy posuwiste (lot poziomy samolotu). Obserwować w tym czasie:
 - linię sztucznego horyzontu,
 - ruchy ramek,
 - włączenie się głównego silniczka korekcyjnego (poprzez przekładnię zębata) oraz silniczków korekcyjnych ramek,
 - zwrócić uwagę na rolę ciężarka przymocowanego do ramki zewnętrznej.
2. Wykonywać ruchy obrotowe (przechylenie samolotu) i ponowić obserwacje tych samych elementów.
3. Unieść przyrząd i wykonywać nim łagodne obroty – w obie strony - wokół jego osi poprzecznej (pochylenie samolotu), zwracając uwagę na to, co poprzednio.
4. Trzymając przyrząd w dłoni poziomo obracać nim wokół osi pionowej w jedną i drugą stronę (skręcanie samolotu).
5. Odstawić przyrząd na miejsce.

9.4.3. Elektryczny żyroskopowy wskaźnik kursu

1. Wcisnąć pokrętkę i obracając nim ustawić nieświecący kursowy na zadany kurs.
2. Unieść przyrząd i wykonywać nim *łagodne* ruchy. Obserwować zachowanie się pierścienia kursu w trakcie poruszania przyrządem.
 - Odstawić przyrząd na miejsce i porównać jego wskazanie z ustawieniem początkowym.
3. Wykonać następnie szybkie ruchy przyrządem i ponowić czynności wymienione poprzednio.

Po zakończeniu tej części ćwiczenia należy:

- wyłączyć zasilanie przetwornicy dla badanych wcześniej przyrządów – rys. 9.9 włącznik (2),
- włącznikiem (3) uruchomić przetwornicę dla busoli żyromagnetycznej,
- po upływie około dwóch minut od jej włączenia można przystąpić do badania busoli żyromagnetycznej.

9.4.4. Busola żyromagnetyczna

1. Wykonywać wózką ruchy postępowe (np. przemieszczać go wzdłuż krawędzi stołu) i obserwować wskaźniki kursu.
2. Obracać *lagodnie* wózką, a następnie w taki sam sposób wykonywać nim dowolne ruchy i obserwować wskaźniki kursu. Porównać ich wskazania z tym, co pokazuje busola magnetyczna.
3. Wcisnąć na kilka sekund przycisk szybkiego uzgodnienia - rys. 9.9 przycisk (4) i zanotować kurs pokazywany przez wskaźniki.
 - Zdjąć żyroagregat z wózka i wykonać nim *lagodnie* w powietrzu dowolne ruchy, a następnie postawić go na stole obok nieruchomego wózka. Zanotować to, co pokazują wskaźniki kursu.
 - Po około 5 minutach odczytać ponownie wskazywany kurs. Powinien on powoli zbliżyć się do wartości pierwotnej, gdyż busola magnetyczna pozostawała cały czas w spoczynku.
 - Powtórzyć ruchy żyroagregatem i po jego odstawieniu użyć przycisk szybkiego uzgodnienia. Zwrócić uwagę na czas trwania tym razem procesu uzgodnienia kursu.
4. Zdjąć żyroagregat z wózka i postawić go w pobliżu krawędzi stołu. Przycisnąć na kilka chwil przycisk szybkiego uzgadniania i zanotować kurs wskazywany przez wskaźnik kursu.
 - Obrócić wózek około 60° (uwaga na przewody).
 - Obserwować przez pewien czas wskaźniki kursu; ich wskazania będą dążyły do tego, co widać na skali busoli magnetycznej.
 - Powtórzyć to samo, co poprzednio, ale z użyciem przycisku szybkiego uzgodnienia.
5. Wyłączyć zasilanie przetwornicy i obserwować wnętrze żyroagregatu.
 - Silnik żyroskopu wytracając obroty zmienia położenie osi wirnika, z poziomego (w czasie pracy żyroagregatu) do *prawie* pionowego - przy nieruchomym wirniku. Zjawisko to jest wynikiem celowego nie wyważenia ramki wewnętrznej (obudowy silniczka).
 - Należy zwrócić uwagę na kierunek działania momentu zewnętrznego i kierunek prędkości precesji ramki zewnętrznej.
6. Po wyłączeniu żyroagregatu odnaleźć dysze na bocznej powierzchni obudowy silnika.
 - Wyloty dyszy usytuowane są w płaszczyźnie prostopadłej do osi obrotu wirnika żyroskopu i przechodzącej przez oś obrotu ramki wewnętrznej żyroskopu, jaką jest obudowa silnika.
 - Dyszami wypływa część powietrza z wentylatora wirnika. Uzyskany w ten sposób moment od sił reakcji odpowiada zewnętrznej parze sił przyłożonej do obudowy silnika, czyli do ramki wewnętrznej. Ta para sił nie może wywołać bezpośrednio obrotu ramki wewnętrznej, gdyż działa ona w płaszczyźnie przechodzącej przez oś obrotu tejże ramki. Istnienie jej powoduje jednak obrót ramki zewnętrznej, nadając jej wymuszoną prędkość kątową precesji wokół osi pionowej. Wynikiem tego jest precesja ramki wewnętrznej (wokół osi poziomej), ustawiająca oś własną wirnika żyroskopu w położeniu poziomym (docelowym).
 - Należy zauważyć, że moment pary sił reakcji (strumienia powietrza) względem osi pionowej zanika z chwilą zajęcia przez oś wirnika żyroskopu poziomej pozycji.
 - Celem zaobserwowania omówionego wyżej zjawiska należy włączyć zasilanie przetwornicy na około 2 sekundy. Operację tę można powtórzyć kilka razy, co ułatwi zanotowanie kierunku precesji ramki zewnętrznej oraz ramki wewnętrznej w chwili uruchamiania silnika.