

Budowa, zasada działania i obsługa autopilotów

Literatura:

Maciej Gucma, Jakub Montewka, Antoni Zieziula – Urządzenia nawigacji technicznej

Krajczyński Edward – Urządzenia elektronawigacyjne

Krajczyński Edward – Urządzenia nawigacji technicznej

Fransiszek Wróbel – Vademecum nawigatora

...

Plan prezentacji:

- Wprowadzenie
 - Korzyści płynące z wykorzystania autopilotów
 - Sterowność statku
- Zaburzenia powodujące odchylenie się statku z kursu
- Sterowanie kursem
- Budowa i zasada działania układu sterowania statkiem
 - Schemat blokowy układu
 - Zasada działania, regulator PID
 - Najczęściej spotykane parametry podlegające regulacji
 - Ogólne zasady doboru parametrów
- Wymogi IMO

Wprowadzenie

Autopilot – urządzenie służące do wykonywania określonego zestawu zadań umożliwiających automatyczne sterowanie statkiem

Wymagania stawiane autopilotom:

- Utrzymanie statku na kursie w sposób optymalny
- Optymalna praca przy zmianach kursu – wprowadzenie statku na nowy kurs szybko i bez przeregulowań



Właściwości autopilotów:

- Znaczna bezwładność regulowanego obiektu zależna od stanu załadowania, prędkości statku, zanurzenia, itd.
- Szczególnie mała prędkość działania steru, złożona zależność momentu na płetwie sterowej w funkcji kąta jej wychylenia, niesymetryczne przebiegi przy wychyleniach i powrotach steru
- Różnorodny charakter zewnętrznych oddziaływań na statek (zakłócenia środowiskowe) związanych z działaniem na kadłub statku prądów wody, wiatru itd.
- Złożone warunki eksploatacyjne układów regulacji znajdujących się na statku, od których wymaga się sprawnej, bezawaryjnej pracy w różnorodnych warunkach środowiskowych

Korzyści płynące z zastosowania autopilotów:

- Wzrost średniej prędkości statku
- Oszczędności w eksploatacji statku
- Skrócenie czasu rejsu
- Zmniejszenie zużycia paliwa

Automatyczne sterowanie pozwala – w porównaniu do sterowania ręcznego – na zmniejszenie liczby i rozmiaru wychyleń steru. Dzięki temu uzyskuje się wzrost średniej prędkości statku, a więc oszczędności w jego eksploatacji.

Obecnie pełnomorskie statki sterowane są ręcznie w zasadzie tylko podczas manewrowania, przejścia przez kanały i cieśniny oraz w czasie wyjątkowo ciężkiej, sztormowej pogody.

Sterowność statku

Bardzo ważną cechą statku wynikającą z jego właściwości dynamicznych jest stateczność kursowa oraz zwrotność:

Statek stateczny kursowo to taki, który przy sterze leżącym w płaszczyźnie diametralnej, po odchyleniu się statku od kursu na skutek wpływu czynników zewnętrznych, kontynuuje ruch po nowym kursie.

Statek niestateczny kursowo, raz odchylony od kursu, z czasem zwiększa to odchylenie. Sterowanie statkiem niestatecznym kursowo jest bardzo trudne i uciążliwe.

Zwrotność statku jest cechą określającą zdolność reakcji statku na wychylenie steru. Statki zwrotne posiadają mniejszą średnicę cyrkulacji.

Sterowność statku

Zdolność manewrowa statku określana jest na podstawie próby spiralnej, dzięki której uzyskuje się krzywe dynamicznej stateczności sterowej statku (krzywe Dieudonne'a).

Próba spiralna polega na wykreśleniu zależności ustalonej prędkości obrotowej statku w funkcji wychylenia steru na lewą i prawą burzę przy ustalonej prędkości początkowej statku.

Dokonuje się tego podczas wykonywania cyrkulacji statku dla kilku wybranych prędkości. Wyniki tej próby są podstawą do obliczenia bezwymiarowego współczynnika stateczności kursowej oraz bezwymiarowego współczynnika zwrotności.

Bezwymiarowy współczynnik stateczności kursowej:

$$E = V_o \frac{t_m}{L_p}$$

gdzie:

V_o – prędkość początkowa statku przy próbie A,Kempfa

t_m – średni czas wykonania jednego cyklu próby A.Kempfa

L_p – długość statku między pionami

Bezwymiarowy współczynnik zwrotności:

$$K = \frac{D_u}{L_p}$$

gdzie:

D_u – ustalona średnica cyrkulacji statku

Znajomość wskaźników E i K umożliwia określenie liczby Nomoto, którą wyraża stosunek:

$$n' = \frac{K}{E}$$

Liczba Nomoto umożliwia dokonanie analizy własności manewrowych statku. Minimalna wartość liczby Nomoto dla średni zwrotnego i stabilnego kursowo statku wynosi 0,45.

Zwiększona wartość liczby Nomoto świadczy o dobrej zwrotności statku przy zmniejszonej stateczności kursowej, zaś zmniejszona wartość o dobrej stateczności kursowej, lecz zmniejszonej zdolności manewrowej

Przyczyny odchylania się statku od kursu:

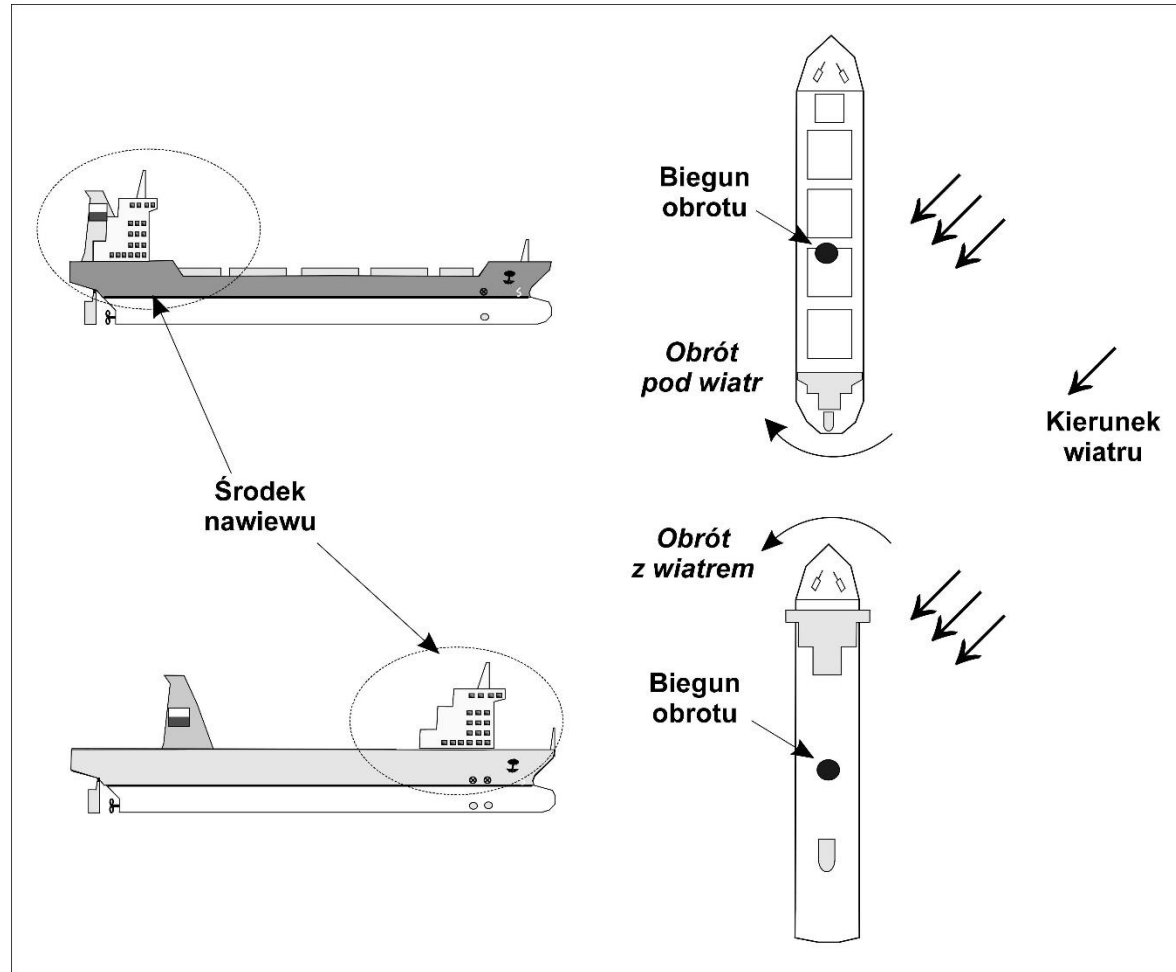
Zaburzenia o charakterze ciągłym

- Statyczne działanie wiatru
- Przechyły statku
- Działanie śruby

Zaburzenia o charakterze doraźnym

- Oddziaływanie fali na statek
- Praca steru

Wiatr:



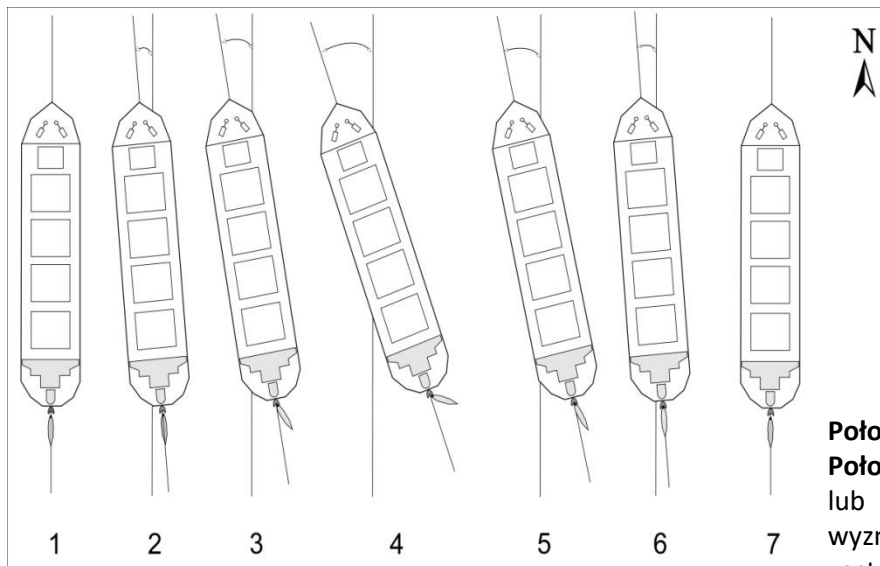
Wiatr:



Falowanie:

Oddziaływanie dynamiczne fali na statek przejawia się w uderzeniach fali o burty statku, powodując doraźne odchylenia statku w obydwu kierunkach, zwane potocznie myszkowaniem statku (z ang. *yaw*). Przy różnych kątach ułożenia kadłuba statku w stosunku do fali, zmienia się amplituda oraz częstotliwość siły wymuszającej myszkowanie.

Sterowanie kursem.....



Położenie 1: statek podąża wyznaczonym kursem.

Położenie 2: na skutek oddziaływania czynników zewnętrznych (prąd, wiatr) lub wewnętrznych (przechył boczny, praca śruby) odchyła się od wyznaczonego kursu. Ze względu na małą wartości odchylenia statku, ster nie zostaje uruchomiony.

Położenie 3: statek nadal odchyła się od kursu, jego prędkość kątowna obrotu wzrasta, sternik reaguje na taką sytuację wychylając ster na burtę przeciwną do obrotu.

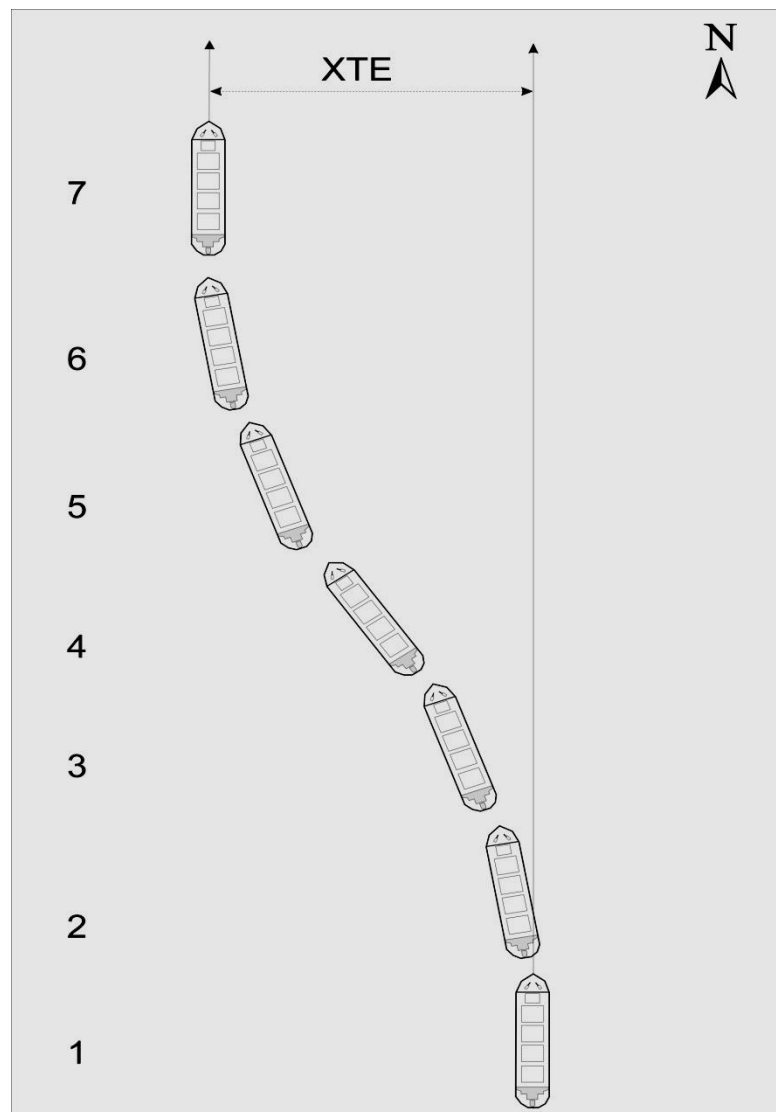
Położenie 4: mimo wychylonego steru, statek nadal zwiększa kąt odchylenia od kursu, sternik równocześnie zwiększa wychylenie steru, prędkość kątowna obrotu statku spada do zera i statek zaczyna wykazywać tendencje do obrotu w drugą stronę, powracając tym samym na poprzedni kurs.

Położenie 5: w związku z tendencją do powrotu na kurs wychylenie steru zostaje zmniejszone.

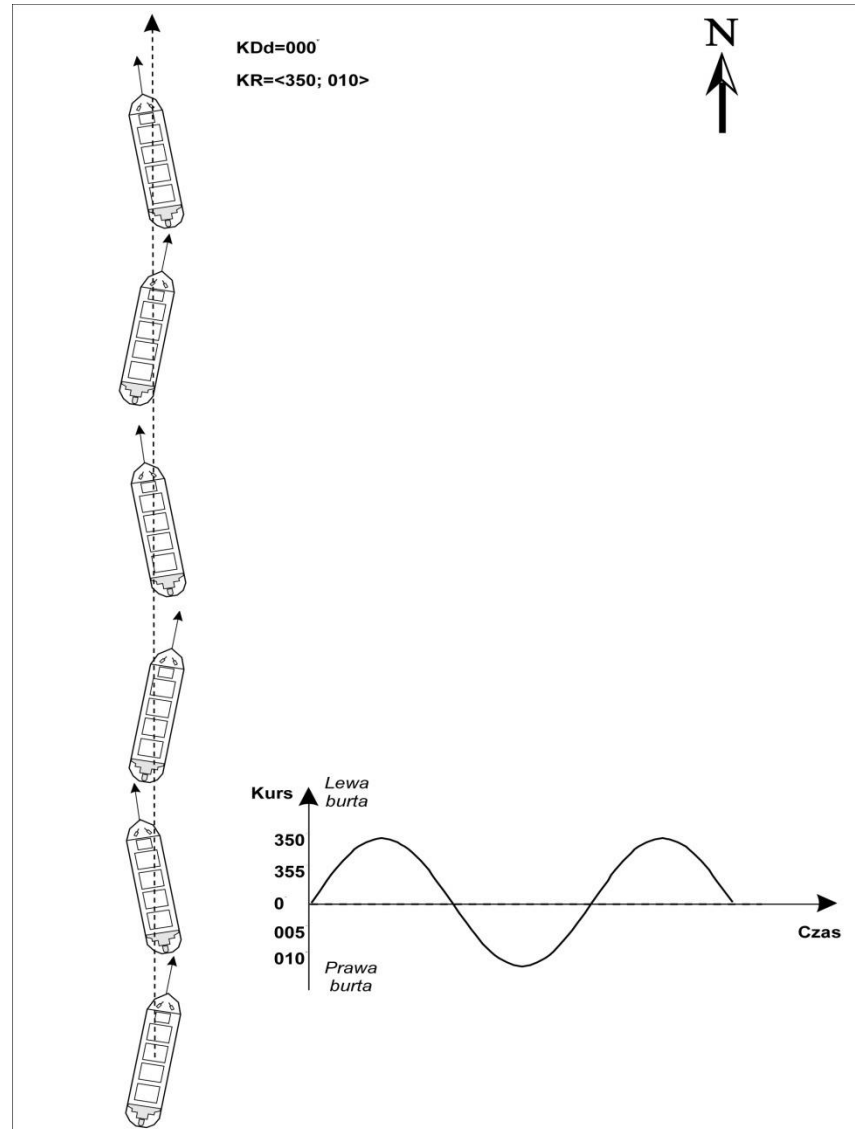
Położenie 6: statek dochodzi do kursu. Mimo iż statek nie znajduje się jeszcze na kursie to płetwa sterowa powraca w położenie środkowe (*midship*).

Położenie 7: statek na skutek inercji samodzielnie dochodzi do wyznaczonego kursu.

Sterowanie kursem.....



KR a KDd



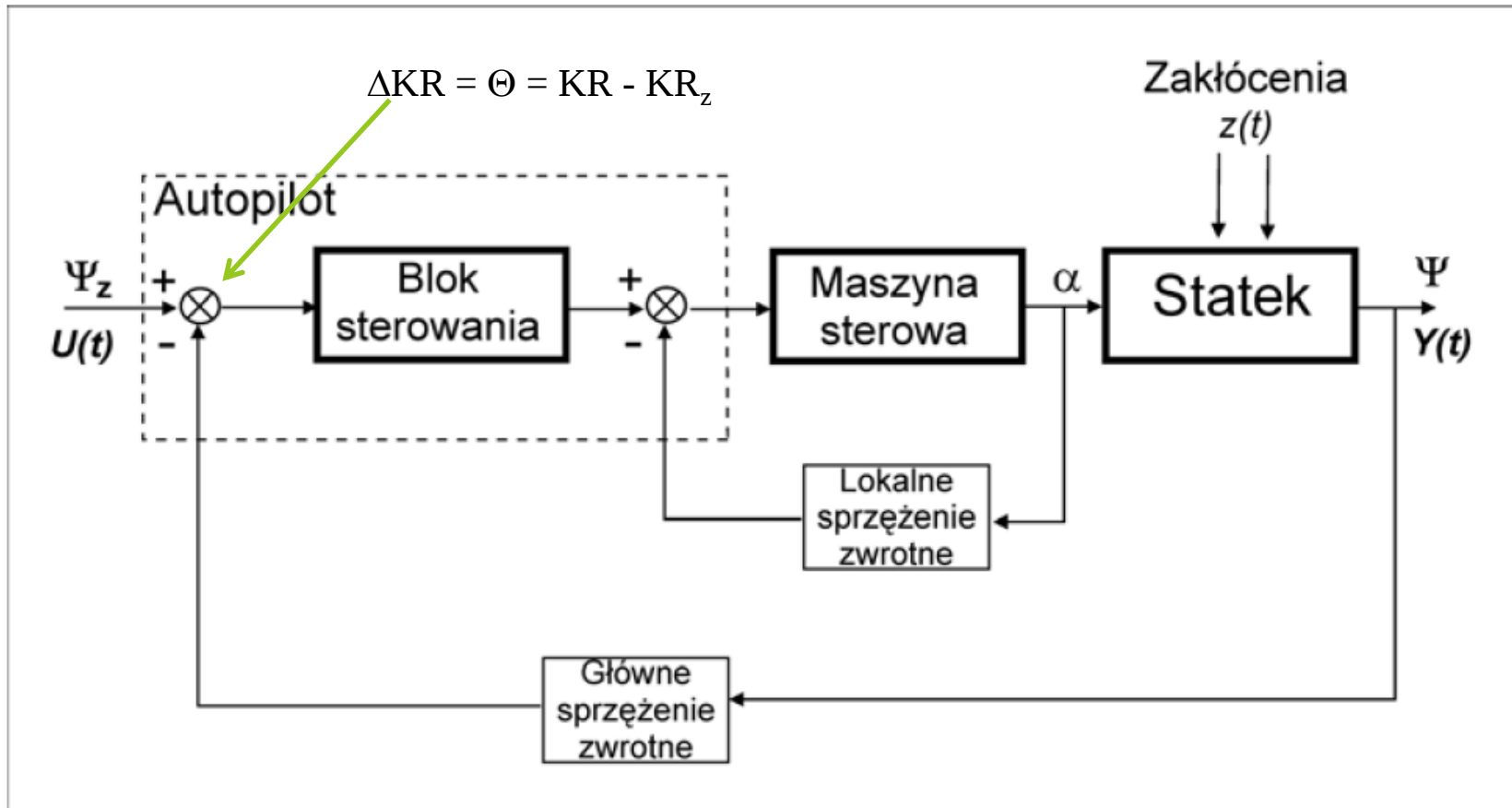
Budowa:

W celu uzyskania kontroli nad systemem (statek), należy zastosować układ regulacji, który będzie określał wpływ sygnału $v(t)$ na sygnał wyjścia $y(t)$ oraz na podstawie porównania sygnałów $u(t)$ i $y(t)$ będzie wypracowywał decyzję.

Statek jako obiekt sterowania składa się z następujących bloków:

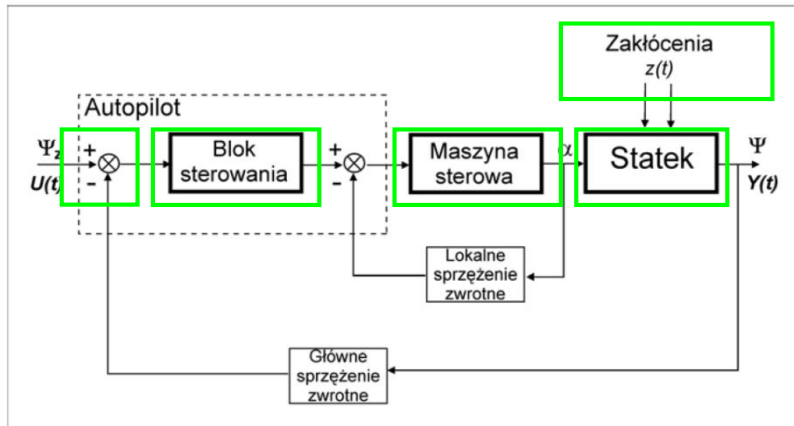
- bloku sterowania, którym jest autopilot,
- bloku maszyny sterowej jako członu wykonawczego,
- bloku sprzężenia zwrotnego,
- bloku lokalnego sprzężenia zwrotnego, pełniącego rolę pomocniczą, zwiększając stabilność całego układu.

Budowa:



$U(t), \Psi_z$ – kurs zadany (K_z)
 $Y(t), \Psi$ – kurs rzeczywisty (KR)
 α – kąt wychylenia steru

Zasada działania:



1. Na skutek działania zakłóceń lub niesymetrii hydrodynamicznej pojawia się odchyłka kursowa (uchyb kursowy).
2. Uchyb wyliczany jest w węźle sumującym.
3. Blok sterowania wytwarza sygnał sterujący powodujący wychylenie steru odpowiadające danemu uchybowi
4. Maszyna sterowa zmienia wychylenie płetwy sterowej
5. Statek zmienia kurs

Zasada działania:

Regulator – urządzenie, które porównuje sygnał przychodzący z urządzenia pomiarowego z wartością zadaną i w zależności od tej różnicy działa na urządzenie wykonawcze w takim kierunku, aby tę różnicę zmniejszyć

Regulatory stosowane w autopilotach morskich, są najczęściej **typu adaptacyjnego**. Regulatory adaptacyjne, to takie, których własności dynamiczne są optymalizowane przez automatyczne dostosowanie się warunków pracy obiektu. Adaptacja dotyczy tu nastrajania parametrów regulatora, zawierającego tor adaptacji, do zmiennych parametrów statku jako obiektu sterowania.

Zasada działania:

$$\alpha = - \left(A\theta + B \int_0^t \theta dt + C \frac{d\theta}{dt} \right)$$

α – nastawiony kąt wychylenia steru

$A\Theta$ – składowa proporcjonalna - **P**

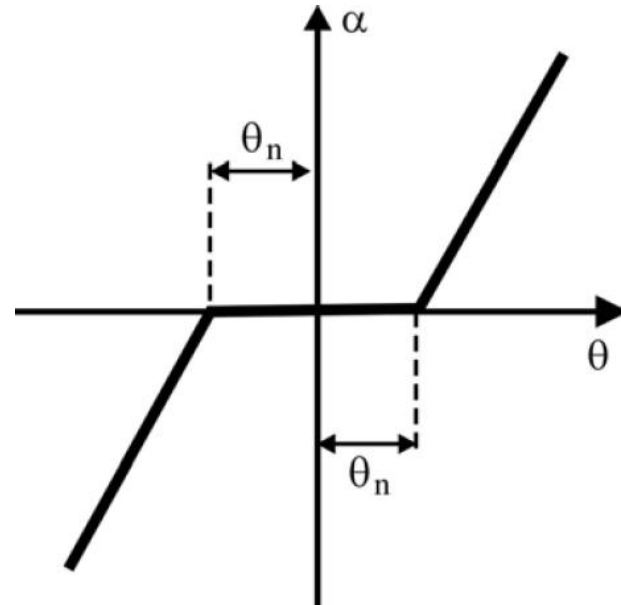
$B \int_0^t \Theta dt$ – składowa całkująca - **I**

$C \frac{d\Theta}{dt}$ – składowa różniczkująca - **D**

A, B, C – współczynniki uwzględniające wpływ poszczególnych składowych

Zasada działania:

$$\alpha = - \left(A\theta + B \int_0^t \theta dt + C \frac{d\theta}{dt} \right)$$



Składowa proporcjonalna P – uwzględnia odchylenia statku od kursu, przy czym we wszystkich typach autopilotów działanie członu „P” nie jest ściśle proporcjonalne do tych odchyżeń. Istnieje w nim strefa martwa, dopuszczająca myszkowanie statku (z ang. *yaw*) w określonym kącie bez uruchamiania urządzenia sterowego.

Zasada działania:

$$\alpha = - \left(A\theta + B \int_0^t \theta dt + C \frac{d\theta}{dt} \right)$$

Składowa różniczkująca D tego regulatora uwzględnia prędkość odchylenia się statku od kursu i powoduje odpowiednie wyprzedzenie ruchu steru w stosunku do ruchu statku. Wyrażenie jest prędkością kątową odchylenia się statku od kursu.

Zasada działania:

$$\alpha = - \left(A\theta + B \int_0^t \theta dt + C \frac{d\theta}{dt} \right)$$

Składowa całkująca I – uwzględnia wielkość czynników będących przyczyną stałego odchylenia statku od kursu. Całka obliczana za określony czas dt , jest sumą powierzchni, wyznaczonych przez krzywą kąta odchylenia statku od kursu w funkcji czasu. Jeśli suma powierzchni powyżej osi czasu (odchylenia w lewo) jest równa sumie powierzchni poniżej osi czasu (odchylenia w prawo), to całka ma wartość zero i sygnał członu „I” równa się zero.

Jeśli sumy powierzchni wynikających z odchylen w lewo i w prawo nie są sobie równe, to całka ma określoną wartość i człon „I” podaje do układu regulacyjnego sygnał, który powoduje odpowiednie stałe wychylenie steru.

Regulacja:

Najczęściej spotykane parametry podlegające regulacji:

- Współczynnik wzmocnienia (rudder) – wpływa na wartość kąta wychylenia steru oraz czas pozostawania płetwy sterowej w wychyleniu skrajnym.
- Czułość (yaw) – powoduje zmianę strefy martwej regulatora, związanej z myśkowaniem statku.
- Współczynnik całkowania (trim) – wpływa na zakres stałego, automatycznego wychylenia steru.
- Tłumienie – powoduje zmianę wartości współczynnika wagowego członu D
- Ograniczenie wychylenia steru – pozwala na ograniczenie maksymalnego kąta wychylenia płetwy sterowej podczas pełnej prędkości statku w czasie automatycznej pracy urządzenia sterowego.

Regulacja:

Ogólne zasady doboru parametrów regulacyjnych autopilota:

- Przy spokojnym morzu nastawę czułość (yaw) należy ustawić na wartość minimalną, tak aby ograniczyć strefę martwą statku
- Przy średnich stanach morza strefę martwą (czułość) należy stosunkowo zwiększać, natomiast tłumienie ustawić tak, aby statek oscylował możliwie blisko wyznaczonego kursu średniego
- Przy wysokich stanach morza wartości tłumienia oraz czułości należy ustawić na poziomie minimalnym
- W przypadku fali nadążającej, czyli fali z kierunku rufy, należy zdecydowanie zwiększyć wartość współczynnika wzmocnienia (rudder)

Regulacja:

- **W autonomicznych autopilotach adaptacyjnych** odpowiedź realizowana jest na podstawie analizy jakości utrzymywania statku na kursie według obserwowanych lub modelowanych sygnałów wyjściowych samego układu sterowania.
- **W nieautonomicznych autopilotach adaptacyjnych** wykorzystywane są wcześniej ustalone zależności jakości sterowania od warunków zewnętrznych (zapasu wody pod stępką, prędkości, falowania). Autopilot łącząc się z odpowiednimi czujnikami (echosondą, logiem, miernikami kołysań) otrzymuje informacje o warunkach zewnętrznych, przy ich zmianie parametry sterowania przestrajają się automatycznie w celu uzyskania żądanej jakości utrzymywania statku na kursie.