



### 4.3 Formula za proračun kursa broda

Uvođenjem supstitucije:

$$T = T_1 + T_2 - T_3 \quad (4.14)$$

opće rješenje za kutnu brzinu  $r(t)$  u (4.13) poprima oblik:

$$r(t) = K[\delta_0 + \varpi_R(t - T)] + r_1 e^{-\frac{t}{T_1}} + r_2 e^{-\frac{t}{T_2}} \quad (4.15)$$

Ovaj izraz sadrži dvije nepoznate konstante integracije,  $r_1$  i  $r_2$ , koje ovise o početnim uvjetima. Općenito rješenje konstanti integracije dobit će se ako se omogući da brod u početnom trenutku vremena  $t = 0$  ima proizvoljno gibanje s trenutnom kutnom brzinom  $r_0$  i trenutnim kutnim ubrzanjem  $\dot{r}_0$ , tj:

$$\begin{aligned} r(0) &= r_0 \\ \dot{r}(0) &= \dot{r}_0 \end{aligned} \quad (4.16)$$

Deriviranjem (4.15) po vremenu dobiva se izraz za kutnu brzinu:

$$\dot{r}(t) = K\varpi_R - \frac{r_1}{T_1} e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{r_2}{T_2} e^{-\frac{t}{T_2}} \quad (4.17)$$

Uvrštenjem početnih uvjeta (4.16) u (4.15) i (4.17) i rješenjem po  $r_1$  i  $r_2$  dobiva se:

$$\begin{aligned} r_1 &= \frac{T_1}{T_1 - T_2} [r_0 + T_2 \dot{r}_0 - K\delta_0 + K\varpi_R(T - T_2)] \\ r_2 &= \frac{T_2}{T_2 - T_1} [r_0 + T_1 \dot{r}_0 - K\delta_0 + K\varpi_R(T - T_1)] \end{aligned} \quad (4.18)$$

Vremenska promjena kursa broda dobiva se po definiciji:

$$\psi(t) = \int r(t) dt \quad (4.19)$$

Ako, općenito, u početnom trenutku vremena brod plovi u početnom kursu

$$\psi(0) = \psi_0 \quad (4.20)$$

integracijom (4.15) po vremenu dobiva se:

$$\psi(t) = \psi_0 + K \left[ \delta_0 t + \varpi_R \left( \frac{1}{2} t^2 - tT \right) \right] + r_1 T_1 \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_1}} \right) + r_2 T_2 \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_2}} \right) \quad (4.21)$$

Ako su poznate hidrodinamičke značajke sustava trup-vijak-kormilo (4.3) moguće je izračunati konstante broda kao linearnog sustava (4.7) i (4.14). Najčešće se pretpostavlja da u manevru sudjeluju samo hidrodinamičke sile trupa i kormila, pa će gradijenti sila biti sume:

$$\begin{aligned} Y_v &= Y_{Hv} + Y_{Rv} & N_v &= N_{Hv} + N_{Rv} \\ Y_r &= Y_{Hr} + Y_{Rr} & N_r &= N_{Hr} + N_{Rr} \end{aligned}$$

Odabiranjem ili određivanjem početnih uvjeta (4.16) i (4.20) određene su i konstante integracije (4.18) čime su, konačno, potpuno određene i formule za proračun kutne brzine (4.15), kutnog ubrzanja (4.17) i kursa broda (4.21).

Svaka vremenska funkcija otklona kormila  $\delta(t)$  može po želji dovoljno točno opisati poligonalnom krivuljom, dakle neprekinutim nizom linearnih segmenata.

Na početku prvog segmenta brod se nalazi u poznatom stanju, najčešće u ustaljenom ravnoctrnom gibanju brzinom  $u_0$  s kormilom u sredini:

$$\begin{aligned} v_0 &= r_0 = \psi_0 = \delta_0 = 0 \\ u &= u_0 \end{aligned}$$

Tijekom prvog segmenta koji završava u trenutku  $t = t_R$ , kormilo se okreće na kut  $\delta_R$ , konstantnom brzinom  $\varpi_R$ :

$$\varpi_R = \frac{\delta_R}{t_R}$$

Unutar vremenskog intervala  $0 \leq t \leq t_R$ , primjenom formula (4.15), (4.17) i (4.21) moguće je izračunati vrijednosti funkcija  $r(t)$ ,  $\dot{r}(t)$  i  $\psi(t)$ . Vrijednosti ovih funkcija na kraju intervala postaju početne vrijednosti za drugi segment funkcije otklona kormila, tj.

$$\begin{aligned} r(t_R) &\rightarrow r_0 \\ \dot{r}(t_R) &\rightarrow \dot{r}_0 \end{aligned}$$

iz prvog segmenta  $\psi(t_R) \rightarrow \psi_0$  za drugi segment

Drugi segment računa se dalje jednako kao prvi segment, pri čemu se vrijeme  $t$  unutar drugog segmenta mjeri od početka segmenata - a ne od početka pokusa !

Opisanim postupkom moguće je proračunati osnovne parametre Z-manevra dinamički stabilnih brodova. Pouzdanost proračuna ovisit će o pouzdanosti ulaznih podataka - hidrodinamičkih koeficijenata (4.3). Modeliranje i određivanje hidrodinamičkih značajki sustava trup-vijak kormilo čini osnovni problem kompletnog područja upravljivost kao grane hidrodinamike broda..