

Tato Příloha **950** je součástí článku [19. Návrh axiálních a diagonálních stupňů lopatkových strojů](http://www.transformacni-technologie.cz/19.html),
<http://www.transformacni-technologie.cz/19.html>.

Odvození rovnice obvodové účinnosti Curtisova stupně

Předpoklady řešení jsou:

(1) Předpoklad čisté rovnotlakosti všech lopatkových kanálů tzn. že sklon relativních rychlostí na jedné rotorové řadě je stejný jen zrcadlově otočený ($\beta_1 = 180^\circ - \beta_2$; $\beta_3 = 180^\circ - \beta_4 \dots$).

(2) Předpokládáme, že součinitel rychlosti pro všechny lopatkové řady jsou přibližně stejné $\psi = \varphi = \varphi_3 = \varphi_4 \dots$

Obecná obvodová účinnost *dvouvěncového Curtisova stupně* přibližně odpovídá vztahu:

$$\eta_E = \frac{l_E}{h_0} = \frac{u \cdot (c_{1u} - c_{2u})}{\frac{c_{1,iz}^2}{2}} + \frac{u \cdot (c_{3u} - c_{4u})}{\frac{c_{1,iz}^2}{2}} = \frac{2 \cdot u}{c_{1,iz}^2} (c_{1u} + c_{3u} - c_{2u} - c_{4u}) \quad (a),$$

pro $\kappa_0 = 1$ a $\kappa_2 = 0$ [14. id876]; [12. id284], [20. id913]

$$c_{1u} = c_1 \cos \alpha_1, \quad [19. id913]$$

$$c_1 = \varphi \cdot c_{1,iz}$$

$$c_{2u} = w_{2u} + u$$

$$w_{2u} = w_2 \cdot \cos \beta_2; \quad w_2 = \varphi \cdot w_1; \quad \cos \beta_2 = \cos(180^\circ - \beta_1) = -\cos \beta_1$$

[17. id178]

$$w_{2u} = -\varphi \cdot w_1 \cdot \cos \beta_1$$

$$W_1 \cdot \cos \beta_1 = C_1 \cdot \cos \alpha_1 - u$$

$$W_{2u} = -\varphi (C_1 \cdot \cos \alpha_1 - u)$$

$$C_{2u} = -\varphi (C_1 \cdot \cos \alpha_1 - u) + u$$

$$C_{3u} = C_3 \cos \alpha_3$$

$$C_3 = \varphi \cdot C_2$$

$$C_{3u} = \varphi \cdot C_2 \cos \alpha_3$$

$$C_2 \cos \alpha_3 = -(W_{2u} + u) = \varphi (C_1 \cdot \cos \alpha_1 - u) - u$$

$$C_{3u} = \varphi \cdot (\varphi (C_1 \cdot \cos \alpha_1 - u) - u)$$

$$C_{4u} = W_{4u} + u$$

$$W_{4u} = W_4 \cdot \cos \beta_4$$

$$W_4 = \varphi \cdot W_3$$

$$\cos \beta_4 = \cos (180^\circ - \beta_3) = -\cos \beta_3$$

$$W_{4u} = -\varphi \cdot W_3 \cdot \cos \beta_3$$

$$W_3 \cdot \cos \beta_3 = C_{3u} - u = \varphi \cdot (\varphi (C_1 \cdot \cos \alpha_1 - u) - u) - u$$

$$W_{4u} = -\varphi (\varphi \cdot (\varphi (C_1 \cdot \cos \alpha_1 - u) - u) - u)$$

$$C_{4u} = -\varphi (\varphi \cdot (\varphi (C_1 \cdot \cos \alpha_1 - u) - u) - u) + u$$

$$\eta_E = 2 \cdot x \left((1 + \varphi + \varphi^2 + \varphi^3) \varphi \cdot \cos \alpha_1 - x (2 + 3 \cdot \varphi + 2 \cdot \varphi^2 + \varphi^3) \right) \quad (b),$$

$$\text{kde } x = \frac{u}{C_{1,iz}}, [18. id345].$$

Odvození optimálního rychlostního poměru, při kterém dosahuje Curtisův stupeň maximální obvodové účinnosti

Úhly i rychlostní součinitele jsou u všech stupňů velmi

podobné a lze významně ovlivňovat pouze rychlostní součinitel. Optimální velikost rychlostního součinitele se vypočítá z derivace rovnice obvodové účinnosti stupně (b). Pro dvouvěncový Curtisův stupeň lze tedy odvodit:

$$0 = \frac{d\eta_E}{dx} = 2(1 + \varphi + \varphi^2 + \varphi^3) \varphi \cdot \cos \alpha_1 - 4 \cdot x (2 + 3 \cdot \varphi + 2 \cdot \varphi^2 + \varphi^3)$$

$$x_{\text{opt}} = \frac{(1 + \varphi + \varphi^2 + \varphi^3) \varphi \cdot \cos \alpha_1}{2(2 + 3 \cdot \varphi + 2 \cdot \varphi^2 + \varphi^3)} \quad (c).$$

Odvození entalpického spádu Curtisova stupně při optimálním rychlostním poměru

Velikost optimálního entalpického spádu lze odvodit dosazením rovnice (c) do (b), která se dosadí do rovnice (a):

$$\eta_{E,\text{max}} = \frac{l_E}{h_{0,\text{opt}}} \rightarrow h_{0,\text{opt}} = \frac{l_E}{\eta_{E,\text{max}}},$$

$$\eta_{E,\text{max}} = 2 \cdot x_{\text{opt}} ((1 + \varphi + \varphi^2 + \varphi^3) \varphi \cdot \cos \alpha_1 - x_{\text{opt}} (2 + 3 \cdot \varphi + 2 \cdot \varphi^2 + \varphi^3)).$$

Zavedením zjednodušení $\varphi = 1$ a $\cos \alpha_1 \approx 1$ a $c_{4u} = 0$ poslední rovnice bude ve tvaru:

$$\eta_{E,\text{max}} = 2 \cdot x_{\text{opt}} (4 \cdot \cos \alpha_1 - 8 \cdot x_{\text{opt}}) \approx 1$$

$$l_E = u(4 \cdot c_1 \cdot \cos \alpha_1 - 8 \cdot u)$$

$$c_1 \cdot \cos \alpha_1 = 4 \cdot u \quad \text{pro } c_{4u} = 0$$

$$l_E \approx 8 \cdot u^2$$

$$h_{0,\text{opt}} \approx 8 \cdot u^2.$$

Stejný postup, který je uvedený v [1, s. 189].

Odkazy

1. KADRNOŽKA, Jaroslav. *Tepelné turbíny a turbokompresory*, 2004. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., ISBN 80–7204–346–3.