

Regulační obvod a pochod

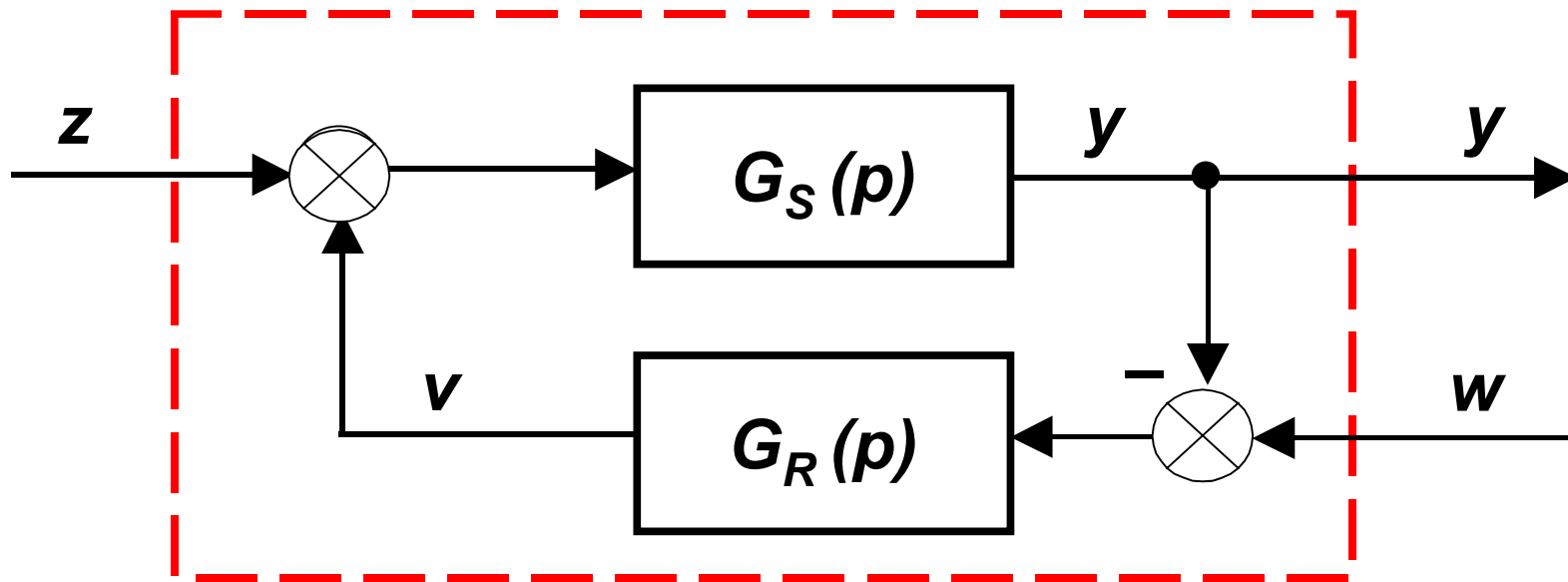
Regulační obvod

- na základě analýzy chování jednotlivých bloků provádíme **syntézu regulačního obvodu**
- budeme studovat dynamické chování zpětnovazebního regulačního obvodu, tj. regulační pochod

Regulační pochod

- proces probíhající v regulačním obvodu od vzniku regulační odchylky až do jejího odstranění regulátorem
- k popisu regulačního pochodu potřebujeme znát diferenciální **rovnici nebo přenos regulačního obvodu**
- popis provádíme zpravidla graficky znázorněním časové závislosti regulované veličiny jako odezvy na skokovou změnu poruchové nebo řídicí veličiny
- zjišťujeme vlastně **přechodovou charakteristikou regulačního obvodu**

Popis chování regulačního obvodu přenosem



Regulační odchylka může vzniknout buď vlivem poruchové veličiny, nebo změnou žádané hodnoty řídicí veličiny.

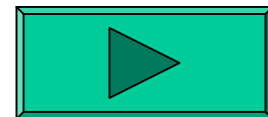
Přenos poruchy:

$$G_Z(p) = \frac{Y(p)}{Z(p)} = \frac{G_S(p)}{1 + G_S(p) \cdot G_R(p)}$$

Přenos řízení:

$$G_W(p) = \frac{Y(p)}{W(p)} = \frac{G_S(p) \cdot G_R(p)}{1 + G_S(p) \cdot G_R(p)}$$

Výklad přenosů



Příklad: Soustava 1. řádu a P-regulátor

Přenos soustavy: $G_s(p) = \frac{k}{T \cdot p + 1}$

Přenos regulátoru: $G_R(p) = r_0$

Přenos poruchy: $G_z(p) = \frac{\frac{k}{T \cdot p + 1}}{1 + \frac{k}{T \cdot p + 1} \cdot r_0} = \frac{k}{T \cdot p + (1 + k \cdot r_0)}$

Přenos řízení: $G_w(p) = \frac{\frac{k}{T \cdot p + 1} \cdot r_0}{1 + \frac{k}{T \cdot p + 1} \cdot r_0} = \frac{k \cdot r_0}{T \cdot p + (1 + k \cdot r_0)}$

Diferenciální rovnice obvodu při působení poruchy:

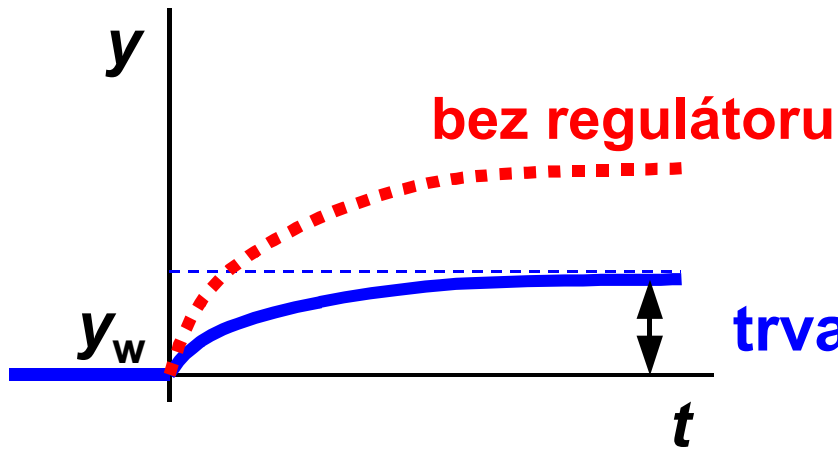
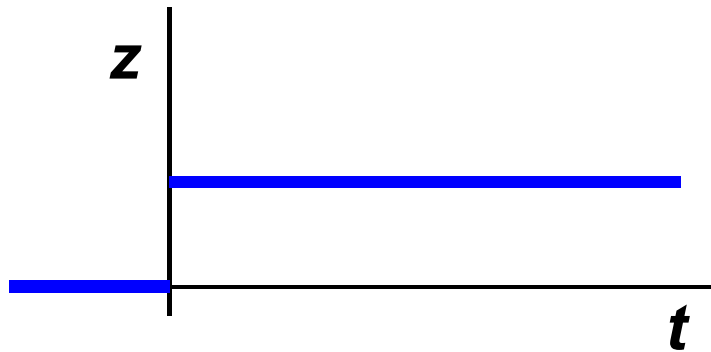
$$T.y' + (1 + k.r_0).y = k.z$$

Uvažujeme $w = 0$, $y_w = 0$ Pro $t \rightarrow \infty$ $y \rightarrow \frac{k.z}{1 + k.r_0}$

$$e = y - w$$

Velikost regulační odchylky je možno ovlivnit

nastavením zesílení r_0



Obvod s P-regulátorem pracuje s trvalou regulační odchylkou

Diferenciální rovnice obvodu při působení řídicí veličiny:

$$T.y' + (1 + k.r_0).y = k.r_0.w$$

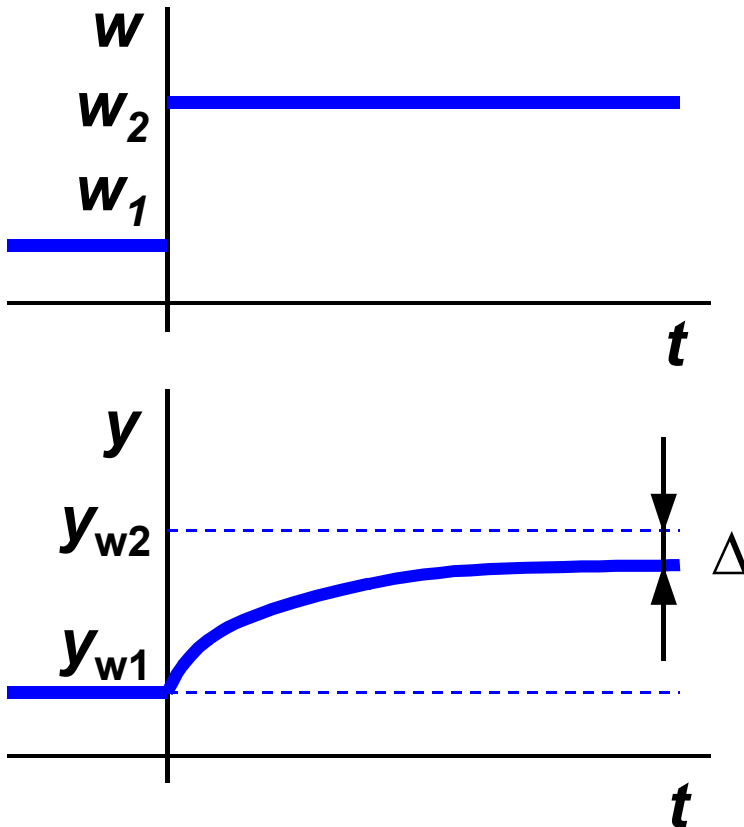
Uvažujeme $z = 0$

$$\text{Pro } t \rightarrow \infty \quad y \rightarrow \frac{k.r_0.w}{1 + k.r_0}$$

$$e = y - w$$

Pro regulátor, který by nevykazoval regulační odchylku by platilo:

$$y \rightarrow w$$



Po změně řídicí veličiny
vykazuje obvod s P-regulátorem
trvalou regulační odchylkou

Příklad: Soustava 1. řádu a PI-regulátor

Nejprve budeme uvažovat **změny poruchové veličiny**.

Přenos soustavy: $G_s(p) = \frac{k}{T \cdot p + 1}$

Přenos regulátoru: $G_R(p) = r_0 + r_{-1} \cdot p^{-1}$

$$G_z(p) = \frac{\frac{k}{T \cdot p + 1}}{1 + \frac{k}{T \cdot p + 1} \cdot (r_0 + r_{-1} \cdot p^{-1})} = \frac{k}{T \cdot p + 1 + k \cdot r_0 + k \cdot r_{-1} \cdot p^{-1}}$$

Přenos poruchy: $G_z(p) = \frac{k \cdot p}{T \cdot p^2 + (1 + k \cdot r_0)p + k \cdot r_{-1}}$

Diferenciální rovnice obvodu při působení poruchy:

$$T.y'' + (1 + k.r_0).y' + k.r_{-1}.y = k.z'$$

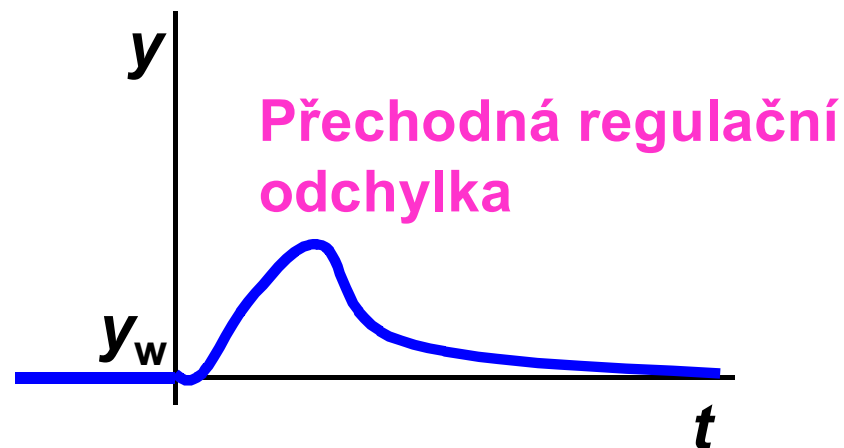
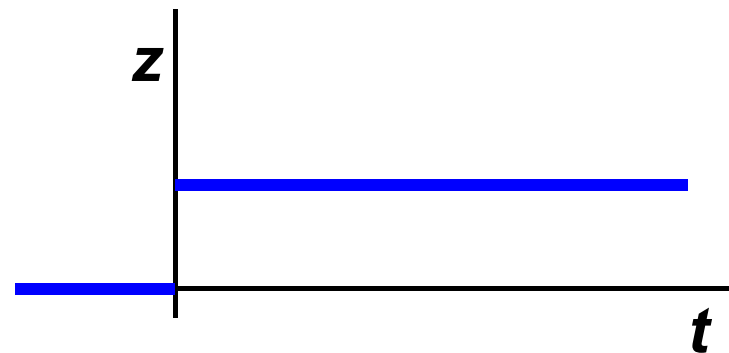
Uvažujeme $w = 0$, $y_w = 0$ Pro $t \rightarrow \infty$, $y \rightarrow 0$

$$e = y - w = 0$$

Obvod s I-regulátorem pracuje s **nulovou regulační odchylkou**

Průběh regulačního pochodu:

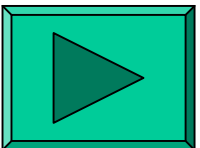
- průběh regulačního pochodu odpovídá dynamickému chování systému 2. řádu
- průběh přechodové charakteristiky závisí na kořenech charakteristické rovnice
- naznačený průběh odpovídá reálným kořenům



Stabilita regulačního pochodu

- Regulační pochod je **stabilní**, jestliže všechny **reálné kořeny** a reálné části komplexních kořenů charakteristické rovnice jsou **záporné**
- Stabilita regulačního pochodu závisí jen **na výrazu ve jmenovateli přenosu**
- **Algebraická kriteria stability** vychází z **koeficientů** charakteristické rovnice
- Nutnou podmínkou stability regulačního pochodu je, aby **všechny koeficienty** charakteristické rovnice byly **kladné a nenulové**. Pro 1. a 2. řád je tato podmínka i podmínkou postačující.

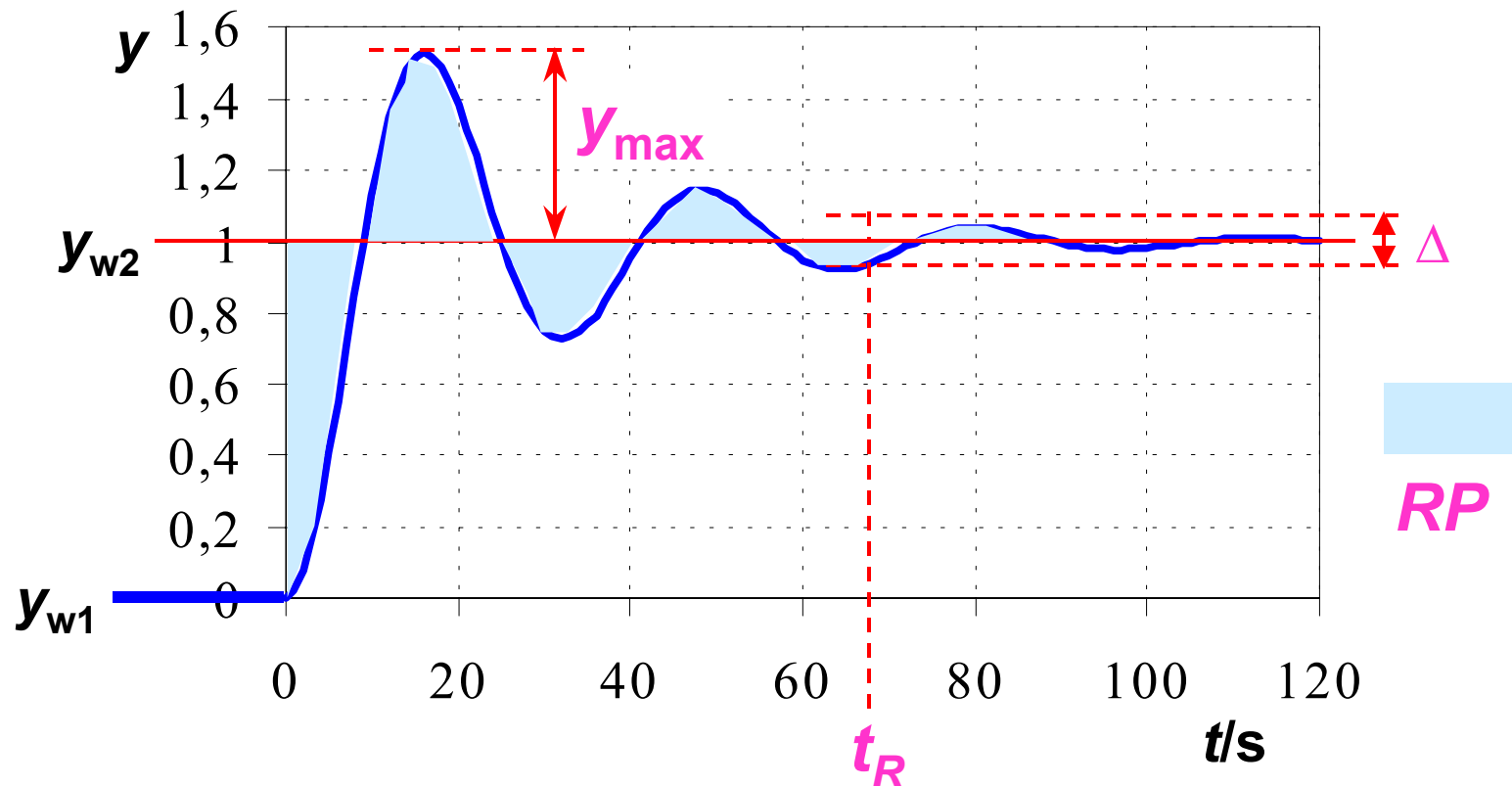
Opakování teorie stability =>



Kvalita regulačního pochodu

Pro posouzení kvality regulace se používají různá **kritéria optimálního regulačního pochodu**

Ukázka průběhu regulačního pochodu při skokové změně žádané hodnoty:

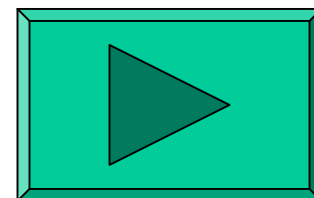


Nastavení konstant regulátoru

Metoda podle Zieglera a Nicholse

- na regulátoru vyřadíme složky **I** a **D**
- zvyšujeme zesílení r_0 tak dlouho, až obvod začne kmitat netlumenými kmity - zjistíme $r_{0 \text{ krit.}}$
- ze záznamu průběhu regulované veličiny zjistíme periodu netlumených kmitů $T_{\text{krit.}}$
- nastavení konstant určíme podle tabulky:

	r_0	T_i	T_d
P	$0,5 \cdot r_{0 \text{ krit.}}$	-	-
PI	$0,45 \cdot r_{0 \text{ krit.}}$	$0,83 \cdot T_{\text{krit.}}$	-
PID	$0,6 \cdot r_{0 \text{ krit.}}$	$0,5 \cdot T_{\text{krit.}}$	$0,12 \cdot T_{\text{krit.}}$

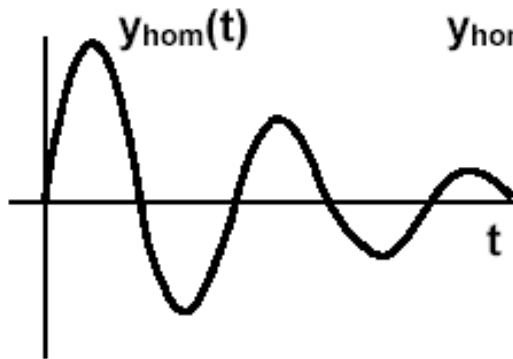


Nastavení konstant podle přechodové charakteristiky soustavy:

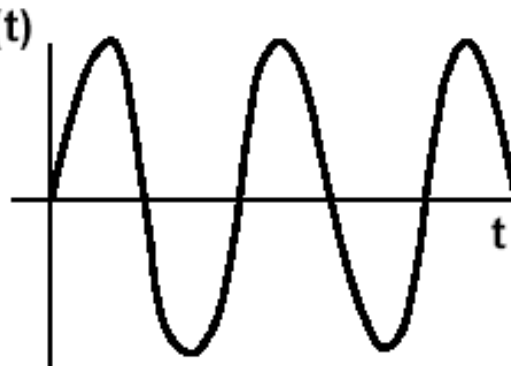
- vhodné pro statické soustavy vyššího řádu
- z přechodové charakteristiky určíme zesílení k , dobu průtahu T_u , dobu náběhu T_n
- nastavení konstant určíme podle tabulky:

	r_0	T_i	T_d
P	$\frac{1}{k} \cdot \frac{T_n}{T_u}$	-	-
PI	$\frac{0.9}{k} \cdot \frac{T_n}{T_u}$	$3,5 \cdot T_u$	-
PID	$\frac{1.25}{k} \cdot \frac{T_n}{T_u}$	$2,0 \cdot T_u$	$0,5 \cdot T_u$

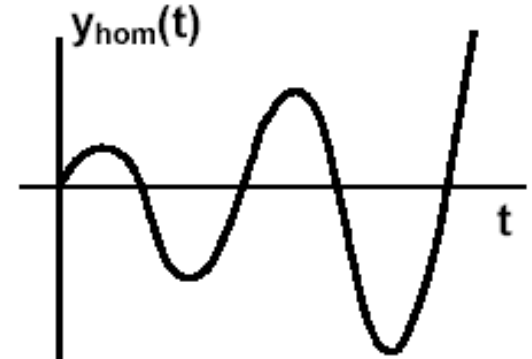
Stabilita regulačního obvodu



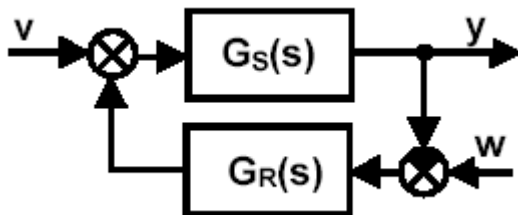
stabilní obvod



obvod na hranici stability



nestabilní obvod



Přenos řízení

Poznámka: zde operátor (p) označen (s), obdobně jako v programu Matlab

$$G_w(s) = \frac{Y(s)}{W(s)} = \frac{G_0(s)}{1 + G_0(s)} = \frac{b_m s^m + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + \dots + a_1 s + a_0}$$

Přenos poruchy

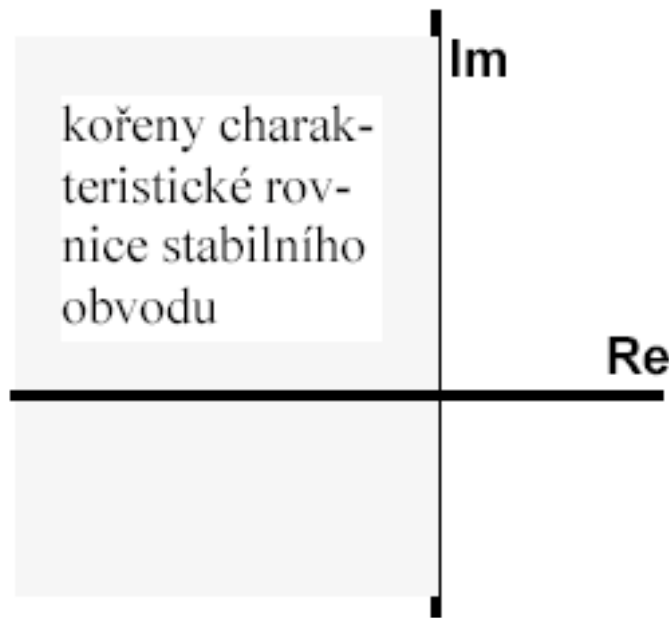
$$G_v(s) = \frac{Y(s)}{V(s)} = \frac{G_S(s)}{1 + G_0(s)} = \frac{c_m s^m + \dots + c_1 s + c_0}{a_n s^n + \dots + a_1 s + a_0}$$

$$1 + G_0(s) = 0$$

$$a_n s^n + \dots + a_1 s + a_0 = 0$$

<= Jmenovatel přenosu = 0 ... charakteristická rovnice ,
 G_0 ... přenos otevřeného regulačního obvodu

Charakteristická rovnice



Regulační obvod je stabilní, jestliže všechny kořeny s_1, s_2, \dots, s_n charakteristické rovnice jsou záporná čísla a v případě komplexních kořenů mají tyto kořeny zápornou reálnou část.

Praktický postup při sestavení charakteristické rovnice:

Přenos rozpojeného regulačního obvodu, který jak víme je součinem přenosu soustavy a přenosu regulátoru, vyjádříme ve tvaru podílu polynomů $M(s), N(s) \Rightarrow$

$$1 + G_0(s) = 1 + \frac{M(s)}{N(s)} = \frac{M(s) + N(s)}{N(s)} = 0 \quad \Leftrightarrow \text{pak} \quad G_0(s) = G_R(s) \cdot G_S(s) = \frac{M(s)}{N(s)}$$

protože zlomek je roven nule když jeho čítec je roven nule, můžeme charakteristickou rovnici psát jako součet polynomů čitatele a jmenovatele rozpojeného obvodu

$$\Rightarrow \quad M(s) + N(s) = 0$$

Kritéria stability

Vyčíslení kořenů charakteristické rovnice vyššího než druhého stupně je **pracná záležitost** i s použitím výpočetní techniky. **Proto byla sestavena matematická kritéria**, která **umožňují z charakteristické rovnice určit**, zdali jsou její kořeny se zápornou reálnou částí nebo ne, a tím **stabilitu obvodu**, aniž bychom museli danou rovnici řešit.



stupeň	Nutná podmínka	Další nutná podmínka
2.	kladnost koeficientů	-
3.		$H_2 > 0$
4.		$H_3 > 0$
5.		$H_2 > 0; H_4 > 0$

< =

***Hurwitzovo
kritérium***