

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ**



ZÁKLADY AUTOMATICKÉHO ŘÍZENÍ

9. týden

doc. Ing. Renata WAGNEROVÁ, Ph.D.

Ostrava 2013

© doc. Ing. Renata WAGNEROVÁ, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3054-4



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

OBSAH

1	ALGEBRA BLOKOVÝCH SCHÉMÁT	3
1.1	Úvod	4
1.1.1	Sériové zapojení	4
1.1.2	Paralelní zapojení	4
1.1.3	Zpětnovazební zapojení (antiparalelní).....	5
1.2	Pravidla pro úpravu blokového schématu.....	5
1.2.1	Příklad 2.1 Algebra blokových schémat	6
1.2.2	Příklad 2.2 Algebra blokových schémat	7
1.3	Základní přenosy RO.	9
1.3.1	Příklad 2.3 Základní přenosy regulačního obvodu	11
1.3.2	Příklad 2.4 Základní přenosy regulačního obvodu	11
2	POUŽITÁ LITERATURA	13



1 ALGEBRA BLOKOVÝCH SCHÉMAT



OBSAH KAPITOLY:

Blokové schéma

Základní zapojení bloků

Úprava blokových schémat

Základní přenosy regulačního obvodu



MOTIVACE:

Výsledný tvar matematického popisu dynamického chování systémů lze odvodit zjednodušováním rovnic a eliminací proměnných, což je velmi náročné. Druhou možností, jak lze získat výsledný tvar rovnice, je použití algebry blokových schémat a znalosti základních pravidel pro jejich zjednodušování.



CÍL:

Po prostudování budete umět

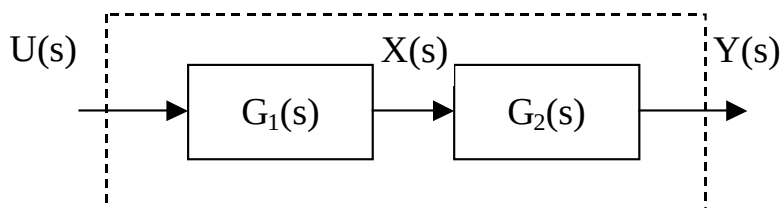
- definovat výsledné přenosy základních zapojení systémů, regulační obvod a jeho základní prvky.
- vyřešit výsledný přenos libovolně složitěho blokového schématu.
- vypočítat základní přenosy regulačního obvodu.



1.1 ÚVOD

Blokovým schématem lze popsat vlastnosti systémů, je to ekvivalentní zápis k rovnicím. Blokové schéma je tvořeno bloky (vlastnosti lze popsat matematickými výrazy, nejčastěji obrazovými přenosy) a šipkami (veličiny). Algebra blokových schémat jsou pravidla, podle nichž vytváříme matematický model systému tvořeným z více bloků. Nejdříve je nutné v blokových schématech určit základní zapojení bloků. Rozlišujeme tři základní zapojení bloků v blokových schématech a to: sériové, paralelní a zpětnovazební (antiparalelní) zapojení. Budeme předpokládat, že vlastnosti systémů jsou popsány obrazovými přenosy.

1.1.1 Sériové zapojení



Obrázek 2.75 - Blokové schéma sériového zapojení

Pro jednotlivé členy platí vztahy:

$$X(s) = G_1(s)U(s); Y(s) = G_2(s)X(s).$$

Vztah pro výstupní veličinu odvodíme eliminací proměnné $X(s)$

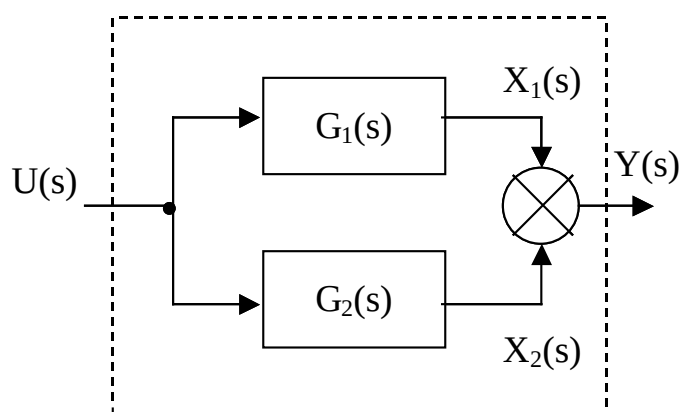
$$Y(s) = G_2(s)X(s) = G_2(s)G_1(s)U(s).$$

Je tedy možno sériově zapojené členy nahradit jedním členem s přenosem

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = G_1(s) \cdot G_2(s) \quad (2.22)$$

Při zapojení členů za sebou je výsledný přenos dán součinem přenosů jednotlivých členů.

1.1.2 Paralelní zapojení



Obrázek 2.76 - Blokové schéma paralelního zapojení

Pro jednotlivé členy a pro součtový uzel platí vztahy:

$$X_1(s) = G_1(s)U(s), X_2(s) = G_2(s)U(s), Y(s) = X_1(s) + X_2(s)$$

Eliminací $X_1(s)$, $X_2(s)$ vypočítáme výstupní veličinu $Y(s)$



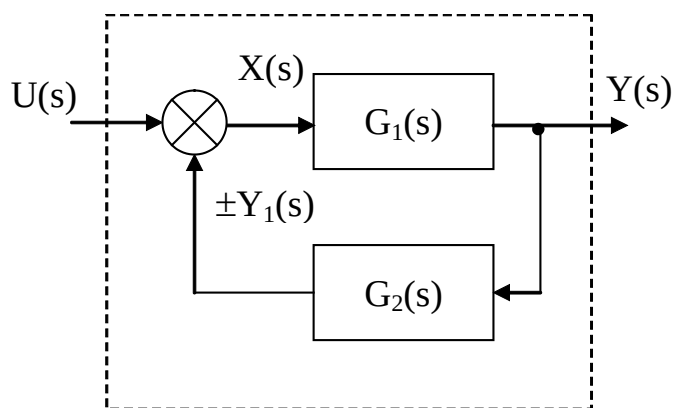
$$Y(s) = G_1(s) U(s) + G_2(s) U(s) = [G_1(s) + G_2(s)] U(s).$$

Při paralelním zapojení členů je možné je nahradit jedním členem s přenosem

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = G_1(s) + G_2(s). \quad (2.23)$$

Při paralelním zapojení je výsledný přenos dán součtem (respektive rozdílem) přenosů jednotlivých členů.

1.1.3 Zpětnovazební zapojení (antiparalelní)



Obrázek 2.77 - Blokové schéma zpětnovazebního zapojení

Pro jednotlivé členy a rozdílový uzel platí následující vztahy:

$$Y(s) = G_1(s) X(s), Y_1(s) = G_2(s) Y(s), X(s) = U(s) \pm Y_1(s).$$

Eliminací $X(s)$ a $Y_1(s)$ obdržíme vztah pro výstupní veličinu $Y(s)$

$$Y(s) = G_1(s) X(s) = [U(s) \pm Y_1(s)] G_1(s) = [U(s) \pm G_2(s) Y(s)] G_1(s),$$

$$Y(s) \mp G_1(s) G_2(s) Y(s) = G_1(s) U(s).$$

Při zpětnovazebním zapojení je možno takto zapojené členy nahradit jedním členem s přenosem

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{G_1(s)}{1 \mp G_1(s) G_2(s)}. \quad (2.24)$$

Při zpětnovazebním zapojení je výsledný přenos dán zlomkem, kdy v čitateli je tzv. přenos přímé větve a ve jmenovateli $1 \mp$ součin přenosů přímé větve a zpětné vazby:

$$\text{celkový přenos} = \frac{\text{přenos přímé větve}}{1 \mp (\text{přenos přímé větve}) \cdot (\text{přenos zpětné vazby})}$$

Znalost blokové algebry umožňuje zjednodušovat složitá bloková schémata a stanovit výsledný přenos zapojení. Zjednodušovat je nejlépe tak, že uvnitř blokového schématu hledáme některé z uvedených základních zapojení a postupně nahazujeme tato zapojení jediným členem. [ŠVARC 1992]

1.2 PRAVIDLA PRO ÚPRAVU BLOKOVÉHO SCHÉMATU

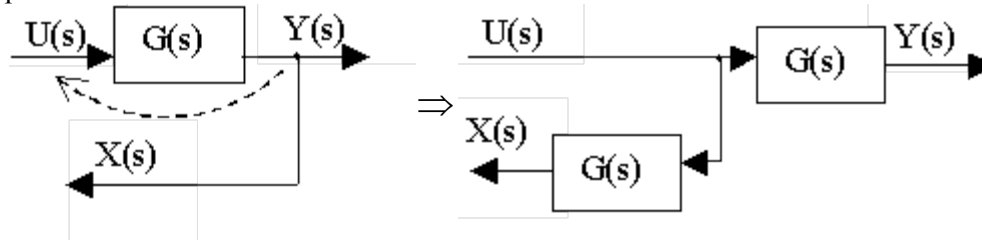
Při zjednodušení blokového schématu se vychází z náhradních přenosů pro základní zapojení (sériové, paralelní, zpětnovazební). Avšak často je nutno upravit blokové schéma, aby byla



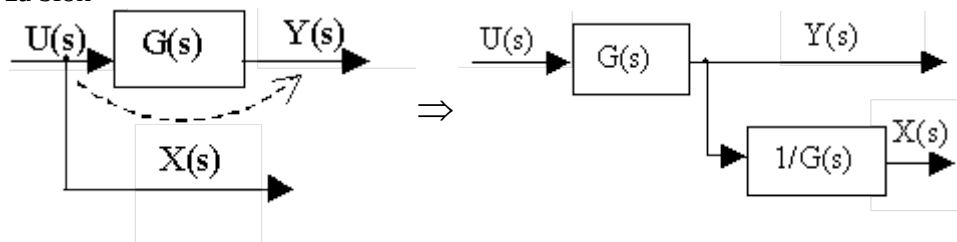
základní zapojení jednoznačně určena. Při úpravě blokových schémat se využívají dvě základní pravidla, a to:

1. Pravidlo pro přesun uzlu

- před blok

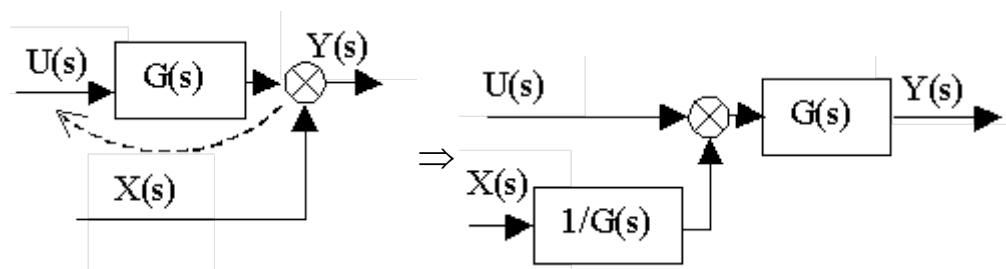


- za blok

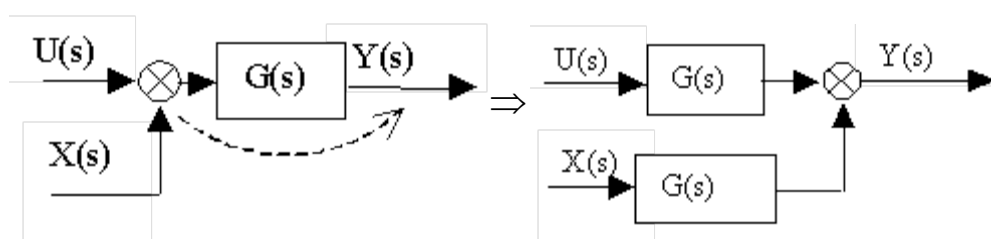


2. Pravidlo pro přesun sumačního členu:

- před blok



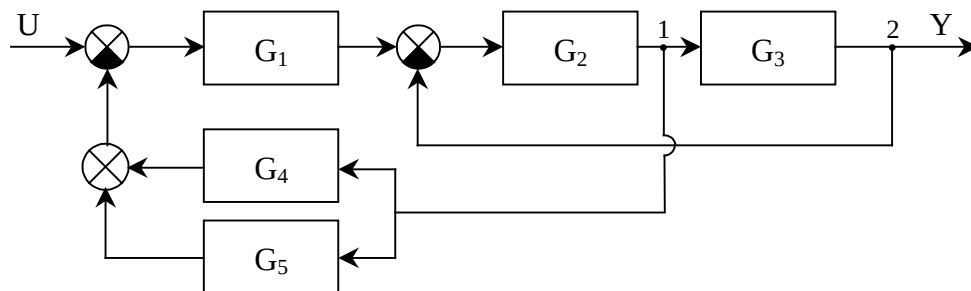
- za blok



1.2.1 Příklad 2.1 Algebra blokových schémat

Určete výsledný přenos systému, jehož blokové schéma je na obr. 2.71.

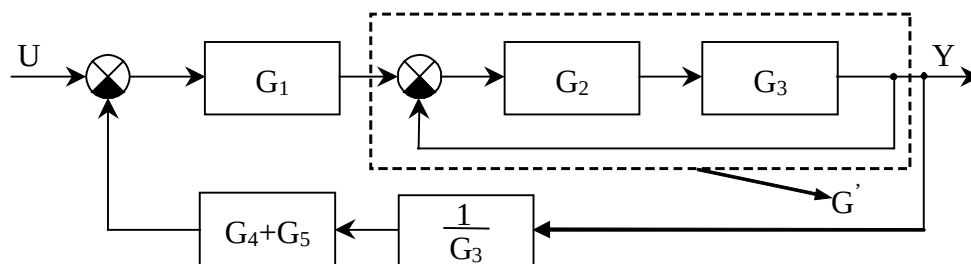




Obrázek 2.78 - Blokové schéma

Řešení:

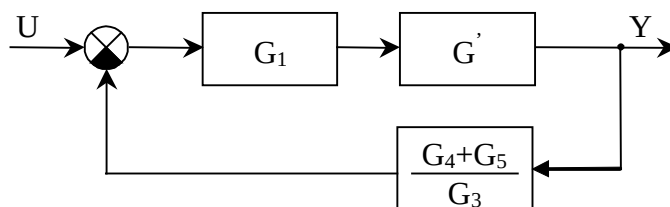
Zadané blokové schéma je tvořeno paralelním (bloky G_4, G_5), sériovým a dvěma zpětnovazebními zapojeními. Zpětné vazby se nám však kříží, proto budeme muset přesunout uzel (1) za G_3 nebo uzel (2) před G_3 . Dostaneme upravené blokové schéma:



Nyní lze vypočítat náhradní přenos G' vnitřního zpětnovazebního zapojení:

$$G' = \frac{G_2 G_3}{1 + G_2 G_3}$$

Pak blokové schéma má tvar



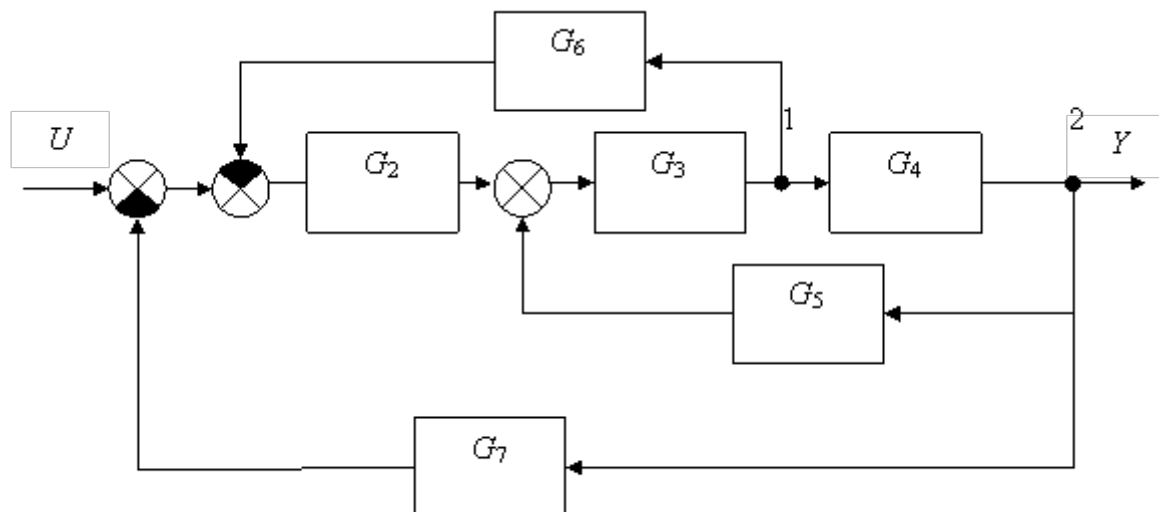
Výsledný přenos systému je:

$$G = \frac{G_1 G'}{1 + G_1 G' (G_4 + G_5) \frac{1}{G_3}} = \frac{G_1 G_2 G_3}{1 + G_2 G_3 + G_1 G_2 G_4 + G_1 G_2 G_5}$$

1.2.2 Příklad 2.2 Algebra blokových schémat

Určete výsledný přenos systému, jehož blokové schéma je na obr. 2.8.

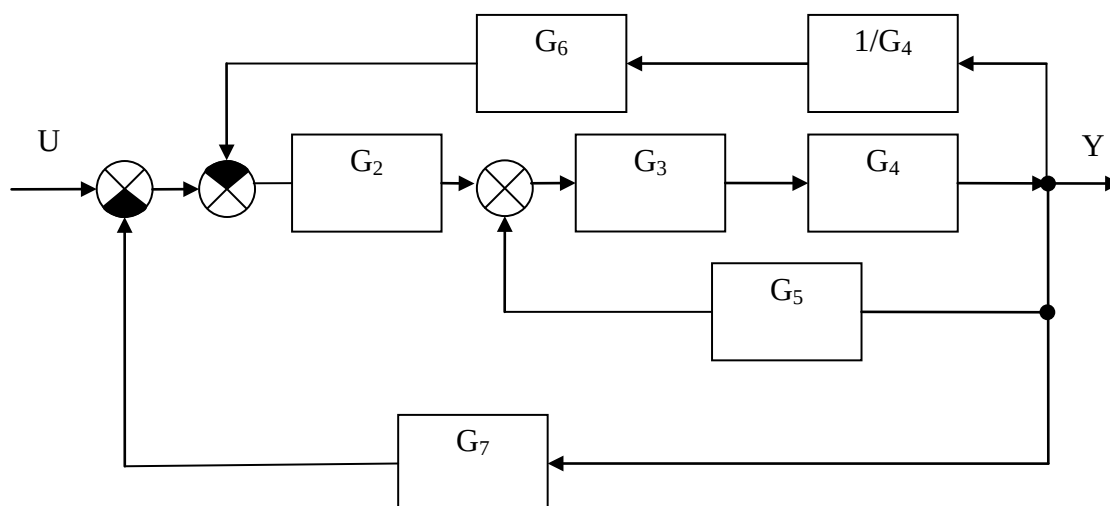




Obrázek 2.79 - Blokové schéma

Řešení:

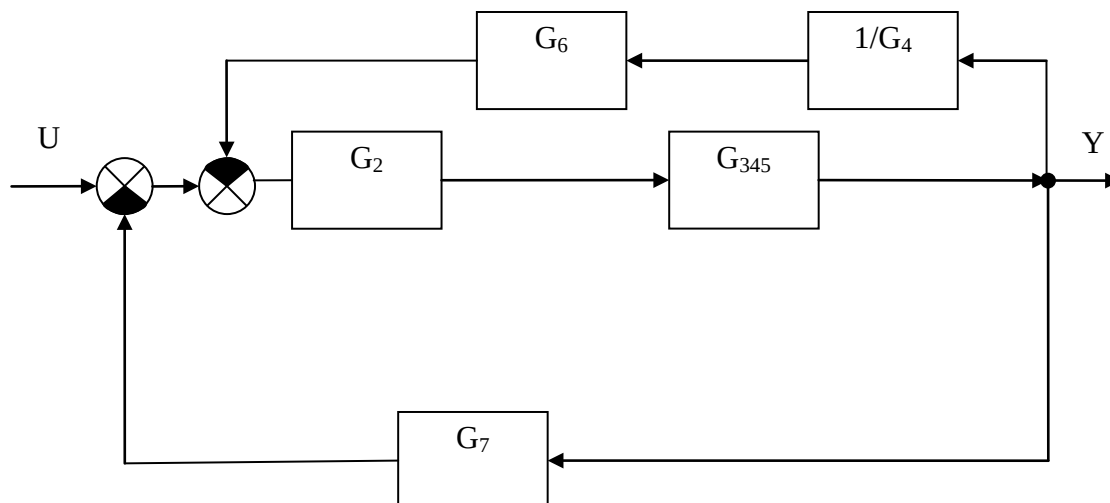
Zadané blokové schéma je tvořeno sériovým a třemi zpětnovazebními zapojeními. Zpětné vazby se nám však kříží, proto budeme muset přesunout uzel (1) za G_3 nebo uzel (2) před G_3 . Dostaneme upravené blokové schéma: Přesuneme uzel od přenosu G_4 .



Vypočítáme přenos G_{345}

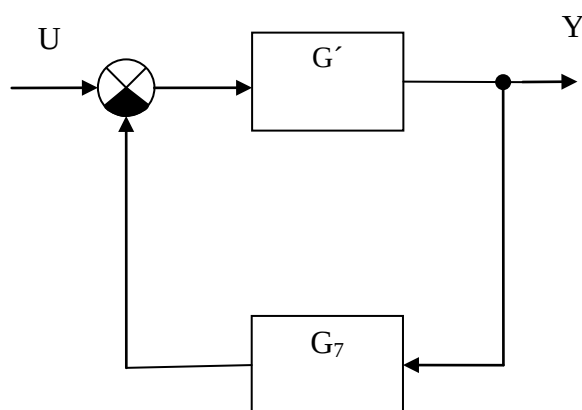
$$G_{345} = \frac{G_3 G_4}{1 - G_3 G_4 G_5}$$





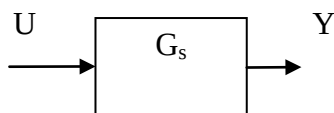
Vypočítáme přenos G' .

$$G' = \frac{G_2 G_{345}}{1 + G_2 G_{345} G_6 \frac{1}{G_4}}$$



Vypočítáme konečný přenos G_s .

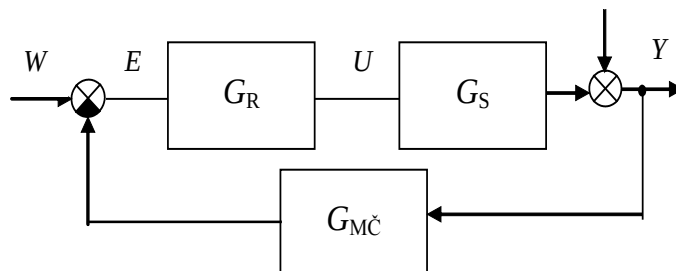
$$G_s = \frac{G'}{1 + G_7 G'}$$



1.3 ZÁKLADNÍ PŘENOSY RO.

Předpokládejme, že vlastnosti jednotlivých členů RO jsou popsány obrazovými přenosy, viz obrázek 2.71.





W – žádaná veličina, Y – regulovaná veličina, U – řídicí veličina, E – regulační odchylka, V – poruchová veličina, G_R – přenos regulátoru, G_S – přenos regulované soustavy, $G_{MČ}$ – přenos měřicího členu

Obrázek 2.80 - Blokové schéma regulačního obvodu

Uvažujme vstupní veličinu regulačního obvodu žádanou veličinu w a výstupní veličinu regulačního obvodu regulovanou veličinu y . Za předpokladu, že poruchová veličina bude rovna nule, tedy $v = 0$, dostáváme přenos mezi řídicí veličinou a regulovanou veličinou, nazývaný jako **přenos řízení**

$$G_{wy} = \frac{Y}{W} = \frac{G_S G_R}{1 + G_S G_R G_{MČ}}. \quad (2.25)$$

Jestliže uvažujeme jako vstupní veličinu regulačního obvodu poruchovou veličinu v a výstupní veličinu opět regulovanou veličinu y , za předpokladu, že žádaná veličina je rovna nule, tedy $w = 0$, dostáváme přenos mezi poruchovou a regulovanou veličinou, nazývaný jako **přenos poruchy**.

$$G_{vy} = \frac{Y}{V} = \frac{1}{1 + G_S G_R G_{MČ}}. \quad (2.26)$$

Pro vyšetřování vlastností regulačních obvodů je nutná znalost obou přenosů, přenosu řízení i poruchy. Druhou možností popisu vlastností regulačních obvodů je znalost odchylkových přenosů. Uvažujme vstupní veličinu regulačního obvodu žádanou veličinu w a výstupní veličinu regulačního obvodu regulační odchylku e . Za předpokladu, že poruchová veličina bude rovna nule, tedy $v = 0$, dostáváme přenos mezi řídicí veličinou a regulační odchylkou, nazývaný jako **odchylkový přenos řízení**

$$G_{we} = \frac{E}{W} = \frac{1}{1 + G_S G_R G_{MČ}}. \quad (2.27)$$

Jestliže uvažujeme jako vstupní veličinu regulačního obvodu poruchovou veličinu v a výstupní veličinu opět regulační odchylku e , za předpokladu, že žádaná veličina je rovna nule, tedy $w = 0$, dostáváme přenos mezi poruchovou a regulační odchylkou, nazývaný jako **odchylkový přenos poruchy**.

$$G_{ve} = \frac{Y}{V} = \frac{-G_{MČ}}{1 + G_S G_R G_{MČ}}. \quad (2.28)$$

Regulátor působí na regulovanou soustavu tak, aby byl splněn **cíl regulace**, tj. $y \rightarrow w$, resp. $e(t) \rightarrow 0$. Při znalosti základních přenosů řízení lze vypočítat regulovanou veličinu a regulační odchylku podle vztahů

$$Y = G_w W + G_v V, \quad E = G_{we} W + G_{ve} V. \quad (2.29)$$

Aby byl splněn cíl regulace, musí pro základní přenosy platit:



$$G_W \rightarrow 1, G_V \rightarrow 0, G_{WE} \rightarrow 0, G_{VE} \rightarrow 0. \quad (2.30)$$

Ve všech základních přenosech regulačního obvodu se vyskytuje součin přenosů regulované soustavy, regulátoru a měřicího členu, který je nazýván jako **přenos otevřeného regulačního obvodu (ORO)**

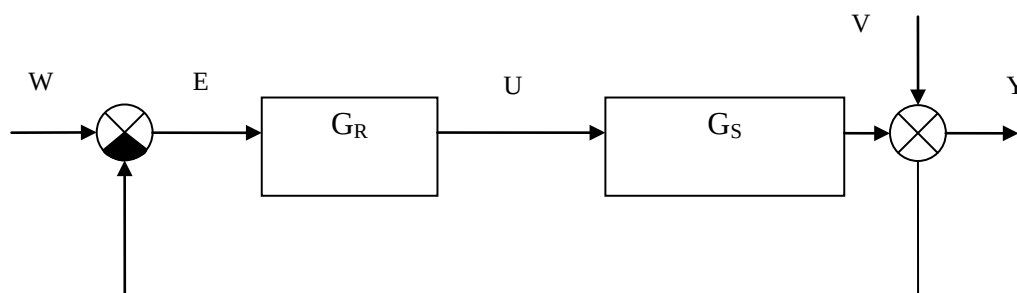
$$G_0 = G_S G_R G_{M\check{C}}. \quad (2.31)$$

Ve všech základních přenosech regulačního obvodu je stejný výraz ve jmenovateli, který rozhoduje o stabilitě a nazývá se **charakteristický mnohočlen**. Pokud jej položíme roven nule, dostaneme **charakteristickou rovnici**. [ŠVARC 1992]

$$1 + G_0 = 0. \quad (2.32)$$

1.3.1 Příklad 2.3 Základní přenosy regulačního obvodu

Vypočítejte všechny základní přenosy regulačního obvodu dle schématu.



$$G_R = 5(1 + 0,25s) \quad G_S = \frac{2}{(s + 0,3)^2}$$

Řešení:

Přenos řízení:

$$G_{wy} = \frac{G_R G_S}{1 + G_R G_S} = \frac{(5 + s) \frac{2}{(s + 0,3)^2}}{1 + (5 + s) \frac{2}{(s + 0,3)^2}} = \frac{2(5 + s)}{(s + 0,3)^2 + 2(5 + s)} = \frac{10(0,2s + 1)}{s^2 + 2,6s + 10,09}$$

Přenos poruchy:

$$G_{vy} = \frac{1}{1 + G_R G_S} = \frac{1}{1 + (5 + s) \frac{2}{(s + 0,3)^2}} = \frac{(s + 0,3)^2}{10 + 2s + (s + 0,3)^2} = \frac{(s + 0,3)^2}{s^2 + 2,6s + 10,09}$$

Odchylový přenos řízení:

$$G_{we} = G_{vy}$$

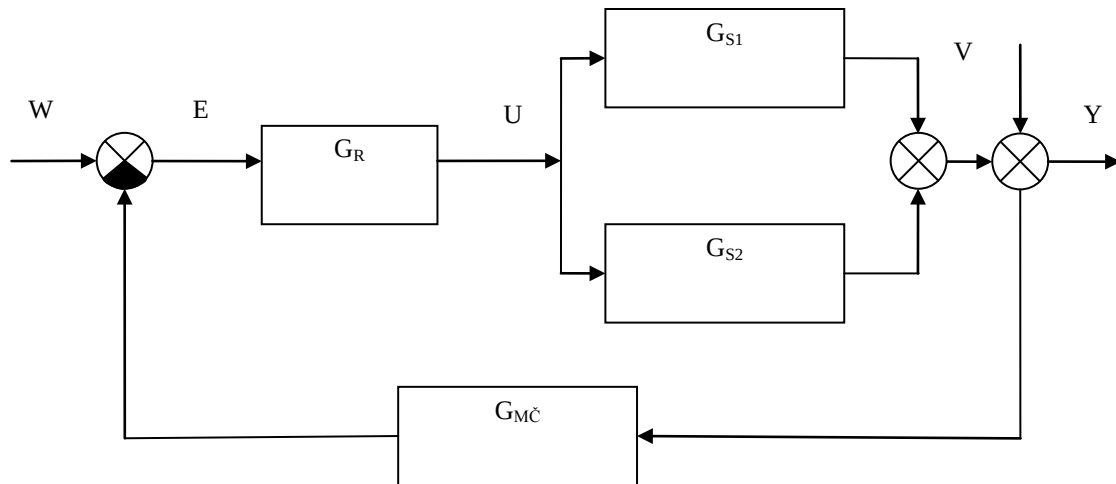
Odchylový přenos poruchy:

$$G_{ve} = -G_{vy}$$

1.3.2 Příklad 2.4 Základní přenosy regulačního obvodu

Vypočítejte všechny základní přenosy regulačního obvodu dle schématu.



**Řešení:**

Přenos regulované soustavy:

$$G_S = G_{S1} + G_{S2}$$

Přenos řízení:

$$G_{wy} = \frac{G_R G_S}{1 + G_R G_S G_{M\check{c}}}$$

Přenos poruchy:

$$G_{vy} = \frac{1}{1 + G_R G_S G_{M\check{c}}}$$

Odchytkový přenos řízení:

$$G_{we} = \frac{1}{1 + G_R G_S G_{M\check{c}}}$$

Odchytkový přenos poruchy

$$G_{ve} = -\frac{G_{M\check{c}}}{1 + G_R G_S G_{M\check{c}}}$$



2 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BALÁTEĚ, J. 2003. AUTOMATICKÉ ŘÍZENÍ. PRAHA: NAKLADATELSTVÍ BEN, 2003, 654 s. ISBN 80-7300-020-2.
- [2] BOLTON, W. 1992. CONTROL ENGINEERING. NEW YORK: LONGMAN SCIENTIFIC & TECHNICAL, 1992. 327s. ISBN 0-582-09729-0.
- [3] DORF, R. C. & BISHOP, R. H. 1998. MODERN CONTROL SYSTEMS. ADDISON-WESLEY : HARLOW ENGLAND 1998. ISBN 0-201-30864-9.
- [4] ŠVARC, I. 2002. AUTOMATIZACE/AUTOMATICKÉ ŘÍZENÍ. BRNO: NAKLADATELSTVÍ CERM, 2002, ISBN 80-214-2087-1.
- [5] VÍTEČKOVÁ, M. & POLOKOVÁ, J. 1989. *Logaritmické kmitočtové charakteristiky*. Ostrava: VŠB-TUO, 1989. 54s. Doplnkový učební text
- [6] VÍTEČKOVÁ, M. ~~ANOTACE~~ PŘÍKLADY AUTOMATICKÉ REGULACE. OSTRAVA: VŠB-TU OSTRAVA 2006. 198 s. ISBN 80-248-1068-9.

