

ÉRZÉKELŐK ÉS BEAVATKOZÓK II.

6. DC MOTOROK

SZABÁLYOZÁS – SZERVO-SZABÁLYOZÁS



Dr. Soumelidis Alexandros

2020.03.11.

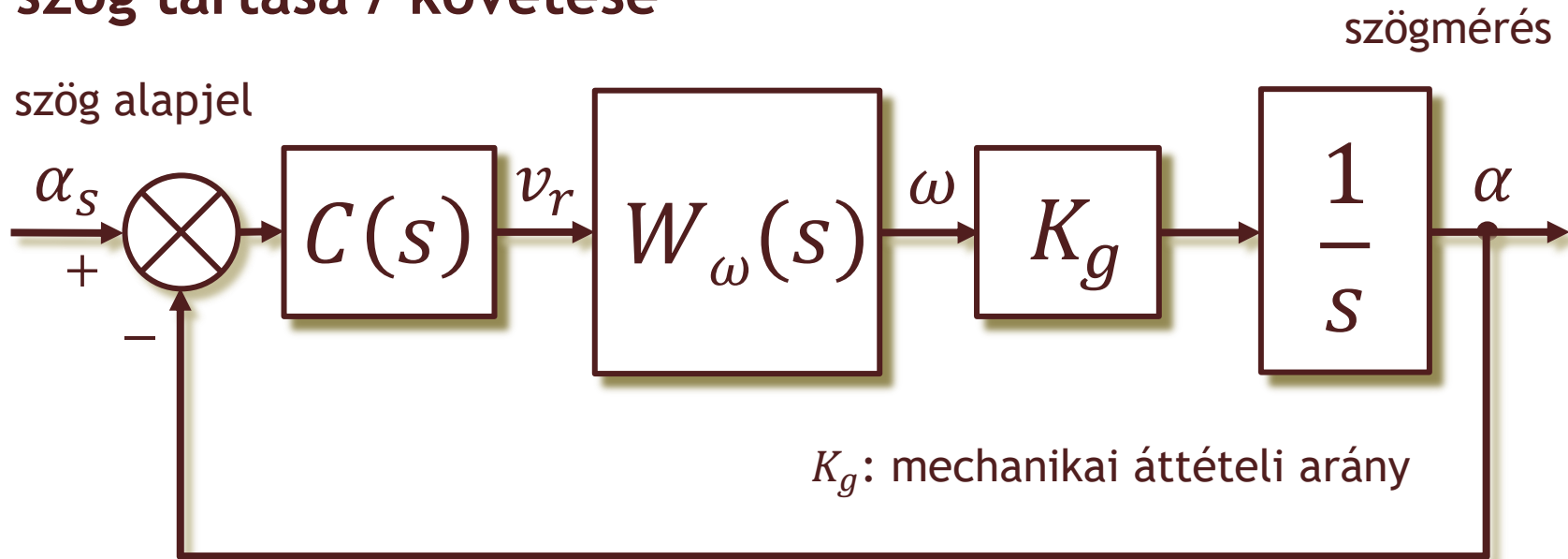


BME KÖZLEKEDÉSMÉRNÖKI ÉS JÁRMŰMÉRNÖKI KAR
32708-2/2017/INTFIN SZÁMÚ EMMI ÁLTAL TÁMOGATOTT TANANYAG

DC szervo szabályozás

Szervo szabályozás

cél: a kimeneti tengely valamilyen szögbe állítása, szög tartása / követése



Lineáris szervo:

Általában a forgó mozgásból indulunk ki; a forgást megfelelő áttétellel (pl. fogaskerék - fogasléc) alakítjuk át lineáris mozgássá.



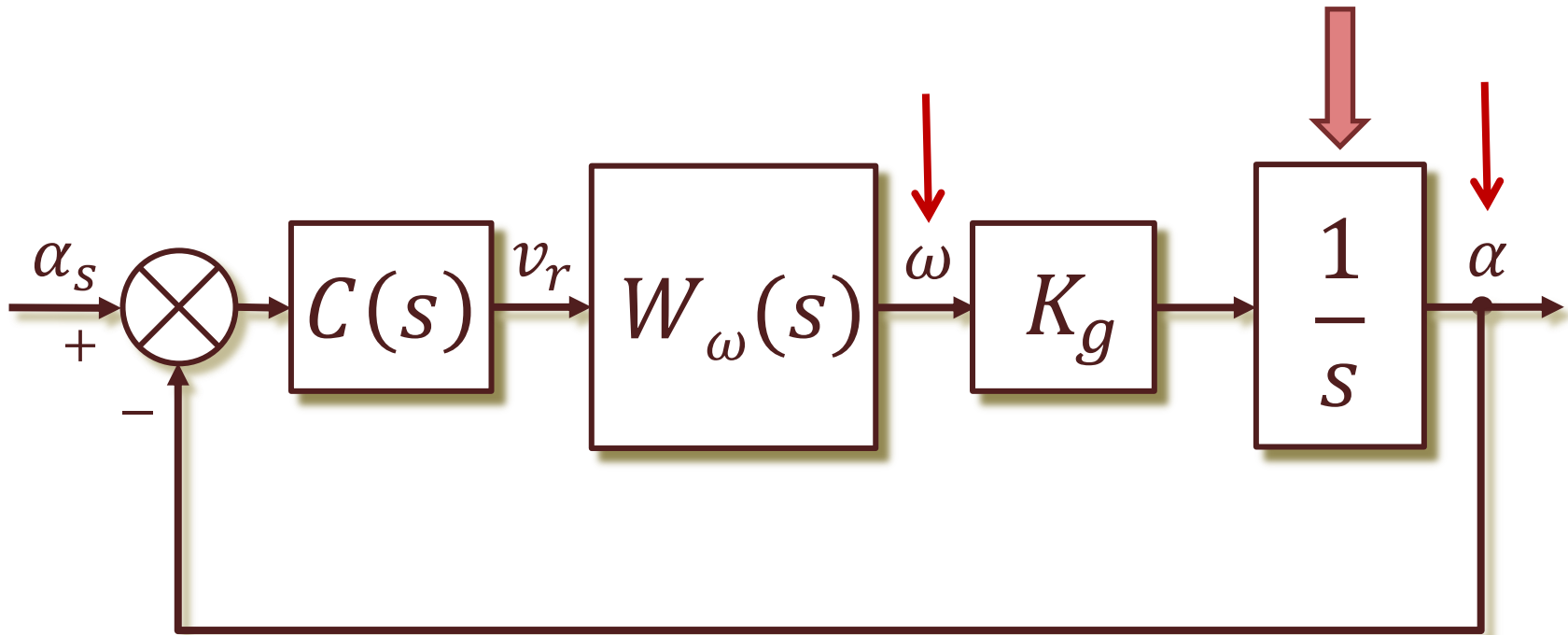
DC szervo szabályozás

Szervo szabályozás

$$\alpha = \int \omega(t) dt$$

a motor a kimeneti tengely szöghelyzetére nézve **integrátorként** viselkedik.

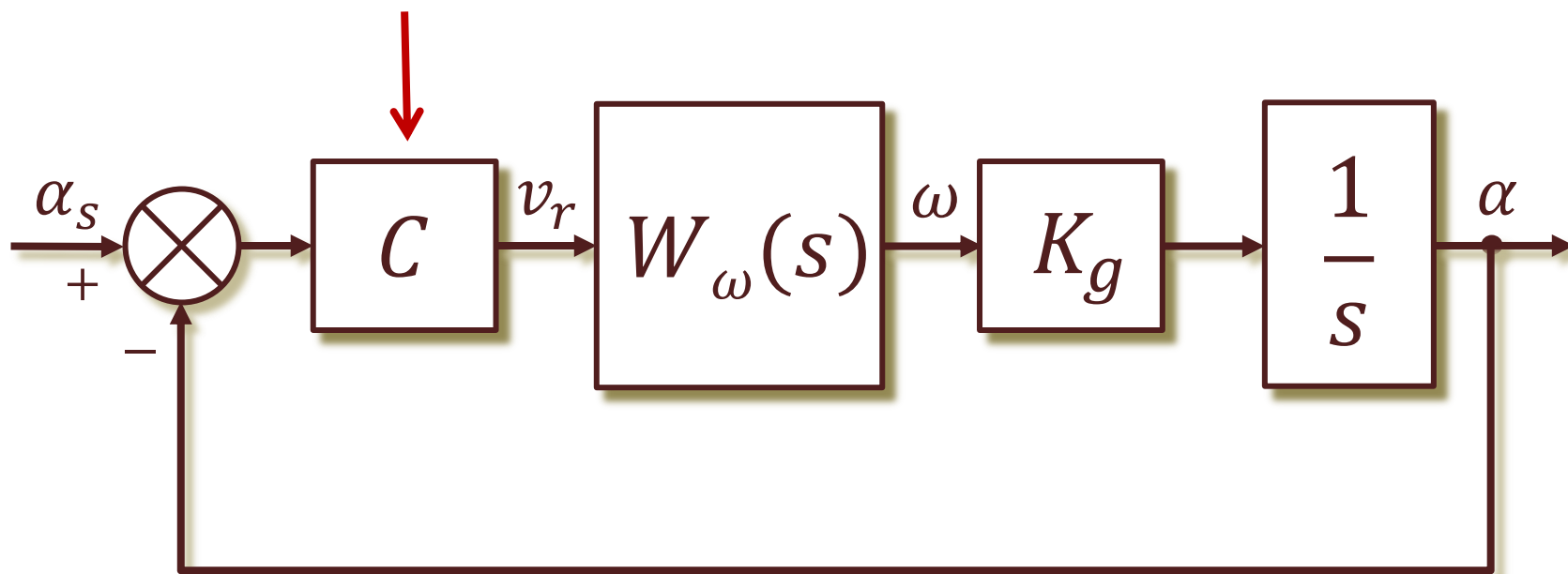
Integrátor



Arányos DC szervo szabályozás

Arányos szabályozás:

A szabályozó egy konstans C erősítésű tag.



Arányos DC szervo szabályozás

Arányos szabályozás:

$$W_c(s) = \frac{CW_\omega(s)K_g \frac{1}{s}}{1 + CW_\omega(s)K_g \frac{1}{s}} = \frac{CW_\omega(s)K_g}{s + CW_\omega(s)K_g}$$

$$W_\omega(s) = \frac{G}{1 + bs + as^2}$$

alkalmazásával

$$W_c(s) = \frac{\frac{CK_g G}{1 + bs + as^2}}{s + \frac{CK_g G}{1 + bs + as^2}} = \frac{CK_g G}{s + bs^2 + as^3 + CK_g G}$$

$$W_c(s) = \frac{1}{1 + \frac{1}{CK_g G} s + \frac{b}{CK_g G} s^2 + \frac{a}{CK_g G} s^3}$$

Harmadrendű rendszer

Statikus erősítése 1

Nincs beállási hiba

(a körben levő integrátor hatására).



Arányos DC szervo szabályozás

A gyakorlat bizonyítja: nem túl jó szabályozást eredményez.

A DC motor nemlineáris tulajdonságai miatt nem tudnak érvényesülni az integrátort tartalmazó szabályozó hurok előnyös tulajdonságai – a lineáris szabályozási elvekkel nem megmagyarázható statikus hiba, esetlegesen lengések alakulnak ki.

Megoldás:

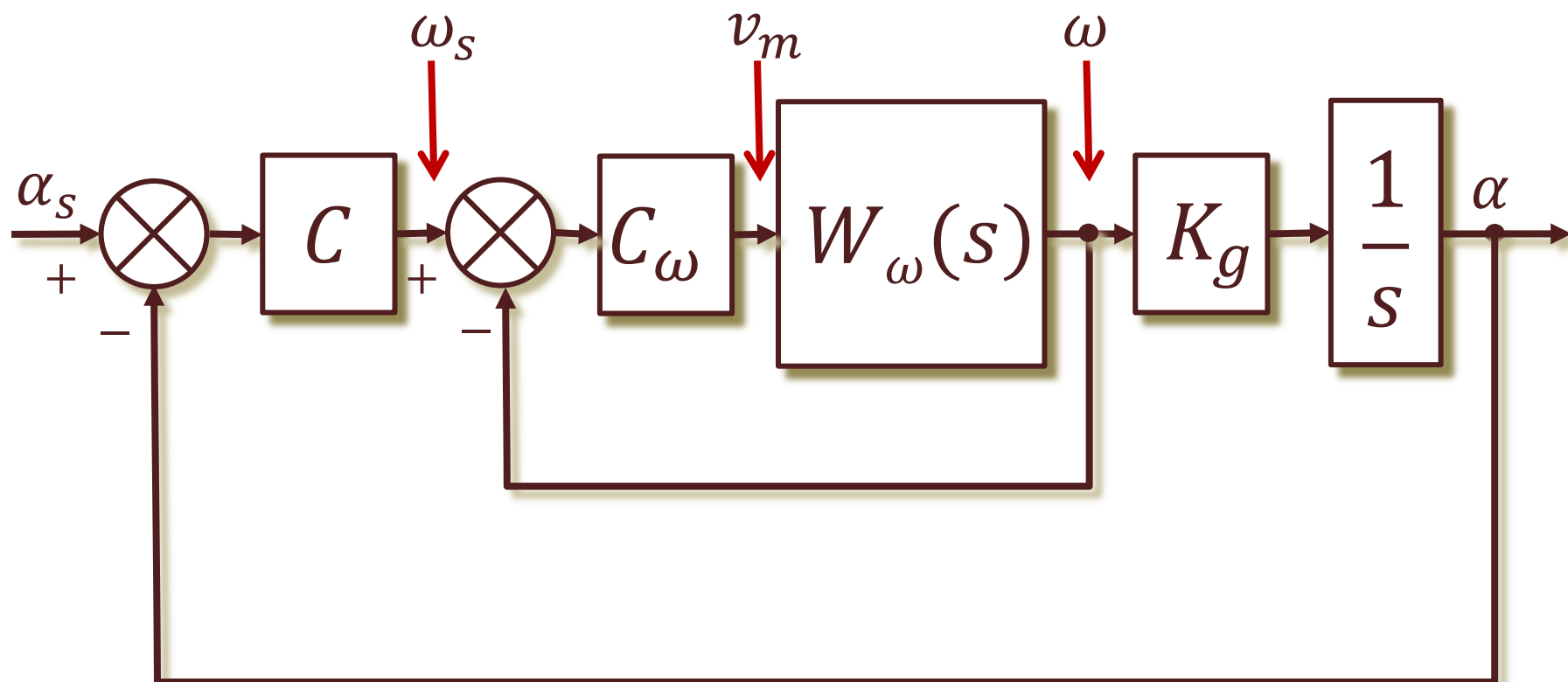
Alkalmazzunk a motorra lokális szabályozót a fordulatszám karakterisztika javítására – belső linearizáló hurok.

Ez lehet a korábban felvázolt PI fordulatszám szabályozás.



Arányos DC szervo szabályozás

Javított arányos szervo szabályozás:



Kaszád szabályozás: belső fordulatszám-szabályozó hurok.



Arányos/PI DC szervo szabályozás

A PI fordulatszám-szabályozó hurok átviteli függvénye:

A motor átviteli függvénye:

$$W_\omega(s) = \frac{1 + T_I s}{1 + \frac{1 + AG}{AG} T_I s + \frac{b}{AG} T_I s^2 + \frac{a}{AG} T_I s^3} \quad W_m(s) = \frac{G}{1 + bs + as^2}$$

$$\begin{aligned} W_\alpha(s) &= \frac{CW_\omega(s)K_g}{s + CW_\omega(s)K_g} = \frac{\frac{CK_g AG(1 + T_I s)}{AG + (1 + AG)T_I s + bT_I s^2 + aT_I s^3}}{s + \frac{CK_g AG(1 + T_I s)}{AG + (1 + AG)T_I s + bT_I s^2 + aT_I s^3}} = \\ &= \frac{CK_g AG(1 + T_I s)}{s[AG + (1 + AG)T_I s + bT_I s^2 + aT_I s^3] + CK_g AG(1 + T_I s)} = \\ &= \frac{CK_g AG(1 + T_I s)}{CK_g AG + AG(1 + CK_g T_I)s + (1 + AG)T_I s^2 + AGbT_I s^3 + AGaT_I s^4} \end{aligned}$$



Arányos/PI DC szervo szabályozás

A zárt hurok átviteli függvénye:

$$W_{\alpha}(s) = \frac{1 + T_I s}{1 + \frac{1 + CK_g T_I}{CK_g} s + \frac{(1 + AG) T_I}{CK_g AG} s^2 + \frac{b T_I}{CK_g} s^3 + \frac{a T_I}{CK_g} s^4}$$

4-rendű rendszer

Statikus erősítése 1, statikus hiba nincs.

Jó ötlet: a belső hurkot külön tervezni.

Általában elfogadott kritérium: a belső hurok legyen legalább egy nagyságrenddel gyorsabb (domináns időállandó kisebb).



Arányos/PI DC szervo szabályozás

Ha alkalmazzuk a p_2 pólusra a pólus-zérus eliminációt a PI szabályozóval ellátott rendszerre, az átviteli függvény:

$$W_\omega(s) = \frac{1}{1 + \frac{T_I}{AG}s - \frac{T_I}{p_1 AG}s^2}$$

$$p_1 = -\frac{b + \sqrt{b^2 - 4a}}{2a}$$

$$W_\alpha(s) = \frac{CW_\omega(s)K_g}{s + CW_\omega(s)K_g} = \frac{\frac{CK_gAG}{AG + T_I s - \frac{T_I}{p_1} s^2}}{s + \frac{CK_gAG}{AG + T_I s - \frac{T_I}{p_1} s^2}} =$$

$$= \frac{CK_gAG}{s \left(AG + T_I s - \frac{T_I}{p_1} s^2 \right) + CK_gAG} = \frac{CK_gAG}{CK_gAG + AGs + T_I s^2 - \frac{T_I}{p_1} s^3}$$

$$W_\alpha(s) = \frac{1}{1 + \frac{1}{CK_g}s + \frac{T_I}{CK_gAG}s^2 - \frac{T_I}{p_1 CK_gAG}s^3}$$

3-rendű rendszer
Statikus erősítése 1



Arányos/PI DC szervo szabályozás

$$W_\alpha(s) = \frac{1}{1 + \frac{1}{CK_g} s + \frac{T_I}{CK_g AG} s^2 - \frac{T_I}{p_1 CK_g AG} s^3}$$

Szabad paraméterek?

A lassú pólus eliminálása: rögzítésre kerül T_I .

A , a belső hurokban levő PI szabályozó arányos erősítési tényezőjének meghatározása:

A belső – fordulatszám szabályozó – hurok beállási idejének és fázistartalékának beállítása révén kerül rögzítésre.

C , a külső – szöghelyzet szabályozó – hurok arányos erősítési tényezője a szabad paraméter, meghatározása:

A szervo-szabályozás minőségi paramétereinek biztosítása alapján (stabilitás, beállítás alakja, beállási idő, fázistartalék).



Arányos/PI DC szervó szabályozás

Belső – fordulatszám-
szabályozó – hurok: PI

$\text{abs}(p_1) = 2.575 \leftarrow$ lassú pólus

$\text{abs}(p_2) = 97.425$

$$T_I = \frac{1}{\text{abs}(p_1)} \cong 388.35 [ms]$$

$A = 0.035$

Eredmény:

$T_{up} = 25.476 ms$

Enyhe túllövés: $PHM \approx 61.6^\circ$

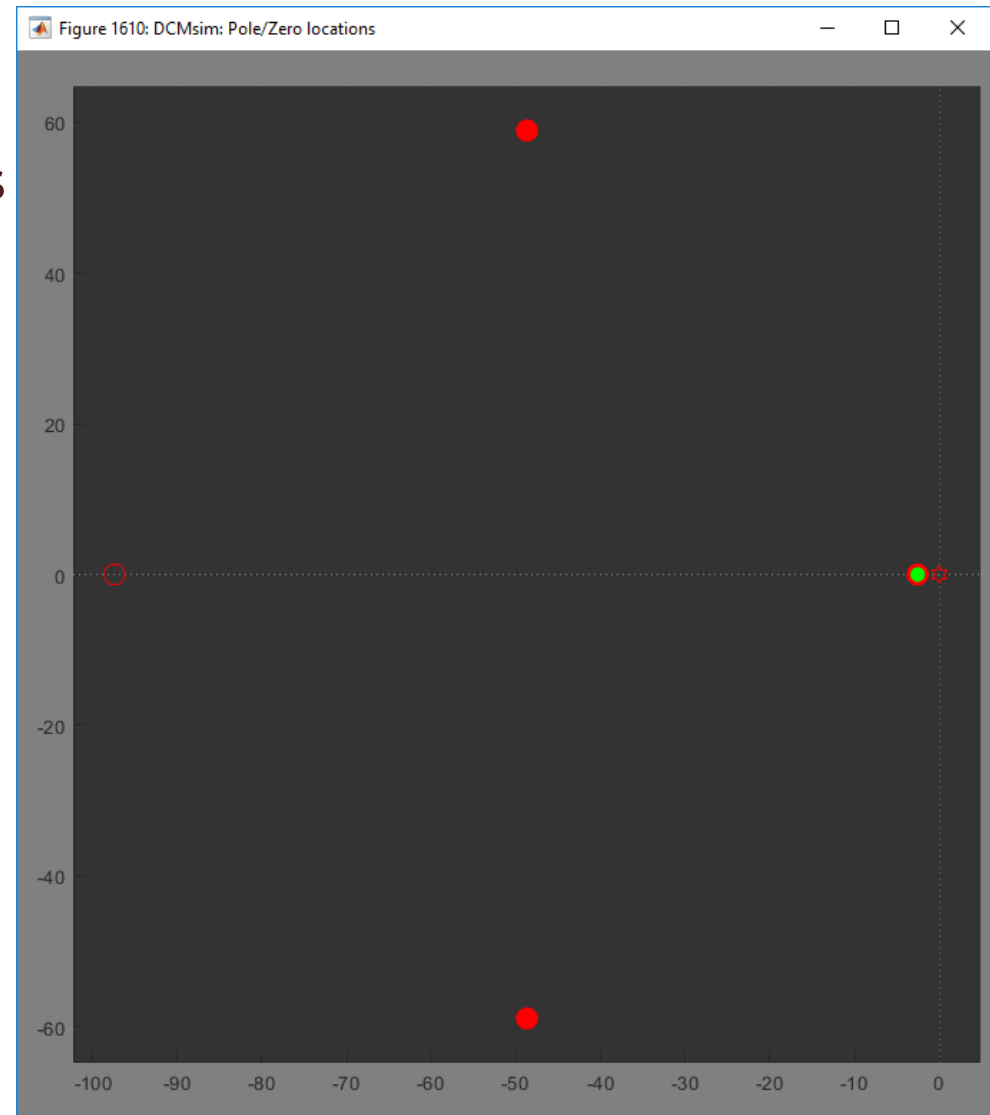
Eredeti rendszer pólusai ○

Zárt rendszer zérusai ●

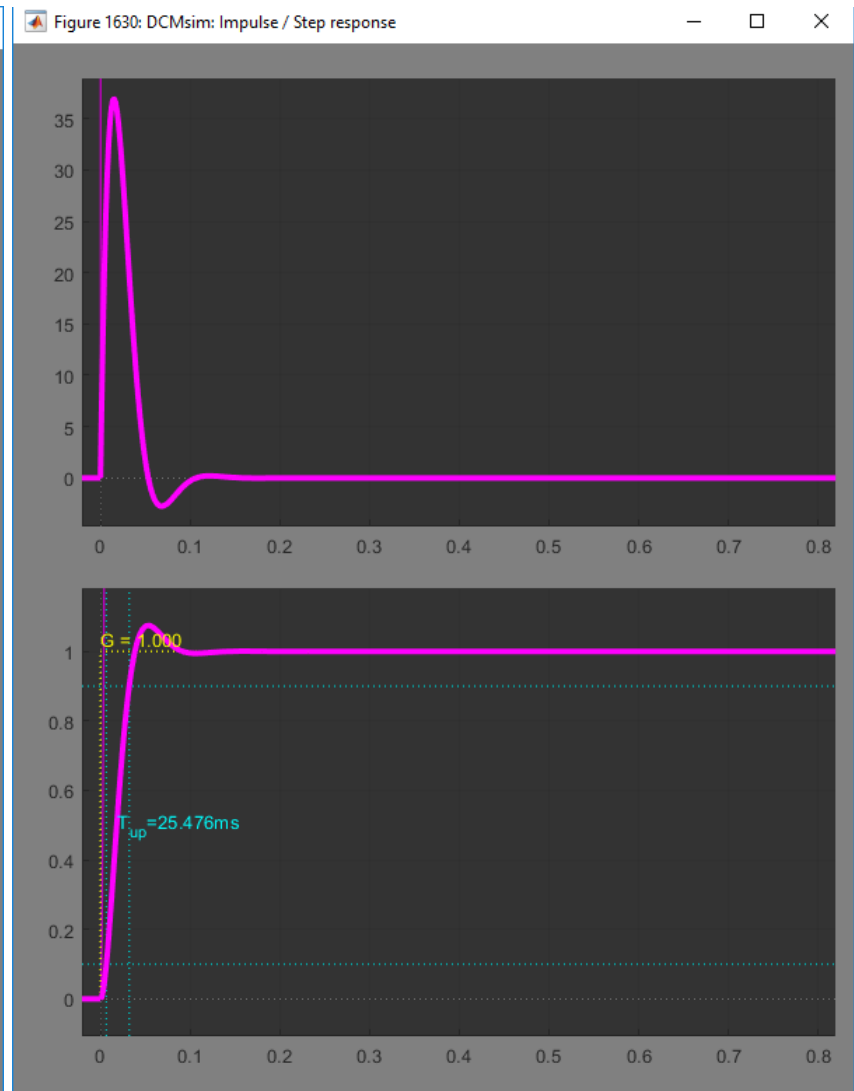
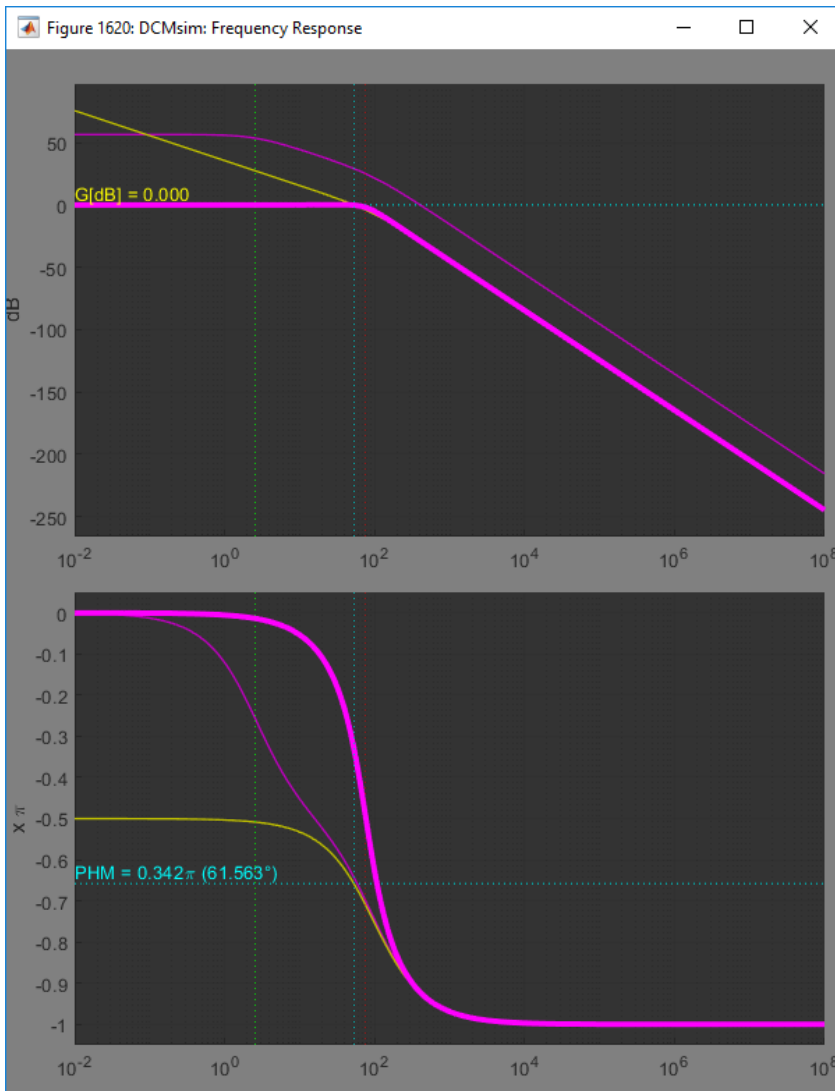
Zárt rendszer pólusai ●

Szabályozó pólusai ☆

Szabályozó zérusai ☆



DC motor PI fordulatszám-szabályozás



Arányos/PI DC szervo szabályozás

Külső – szöghelyzet-
szabályozó – hurok: P

$$C = 100$$

Eredmény:

$$T_{up} = 619.733 \text{ ms}$$

Aperiodikus beállítás,
túllövés nincs.

$$PHM \approx 86.8^\circ$$

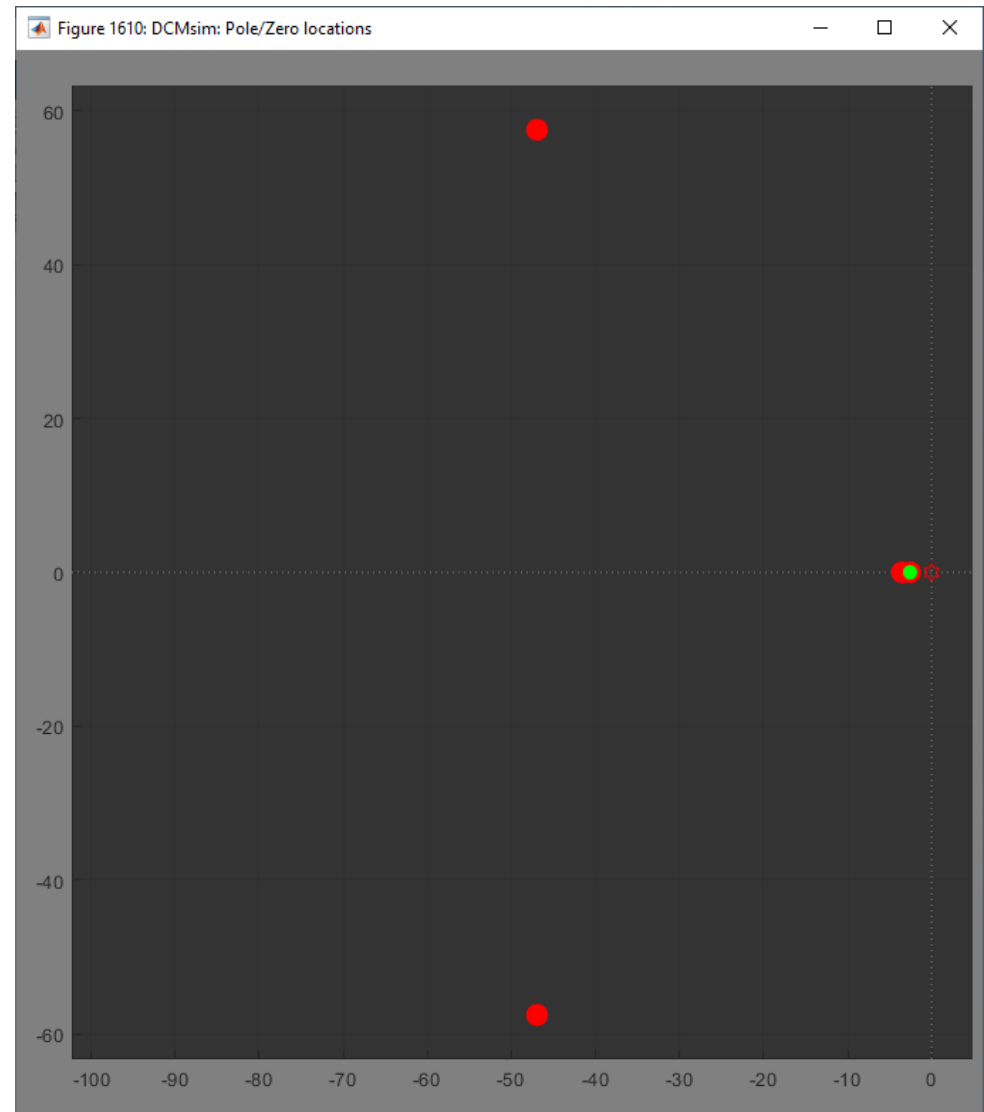
Eredeti rendszer pólusai ○

Zárt rendszer zérusai ●

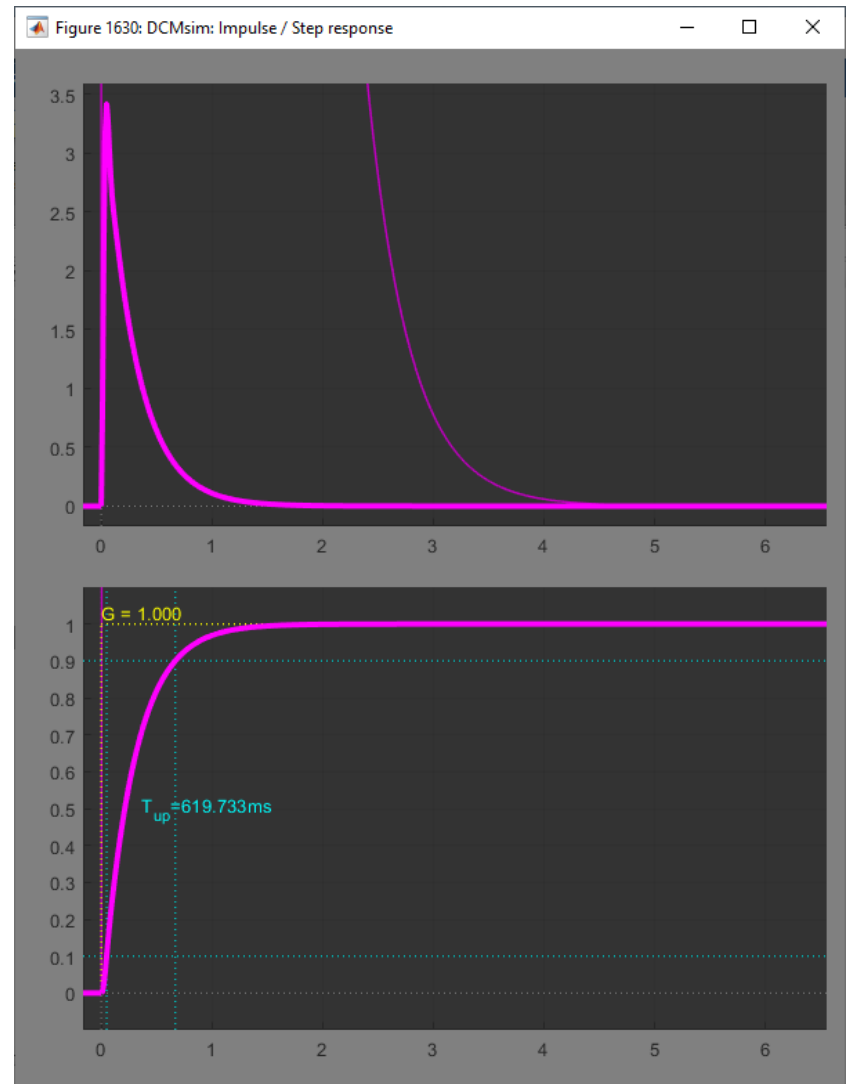
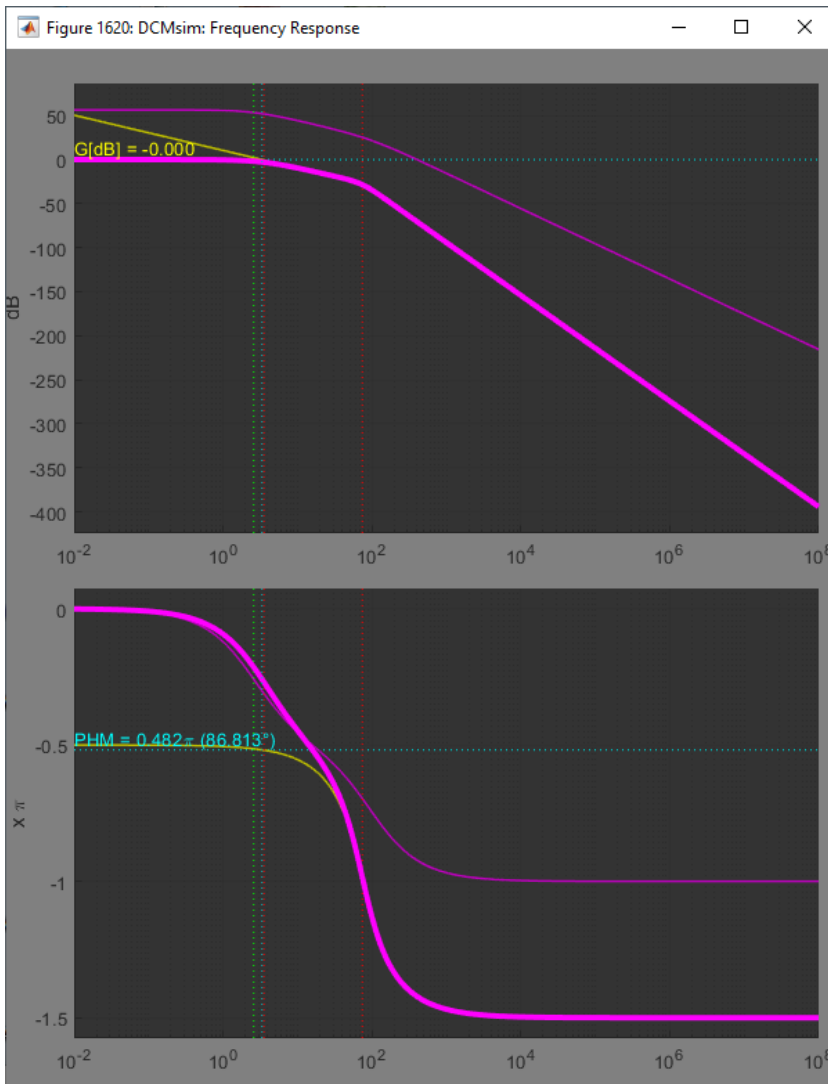
Zárt rendszer pólusai ●

Szabályozó pólusai ☆

Szabályozó zérusai ☆



Arányos/PI DC szervo szabályozás



Arányos/PI DC szervo szabályozás

Külső – szöghelyzet-
szabályozó – hurok: P

$$C = 665$$

Eredmény:

$$T_{up} = 51.132 \text{ ms}$$

Enyhén periodikus
beállítás, túllövés nincs.

$$PHM \approx 67.7^\circ$$

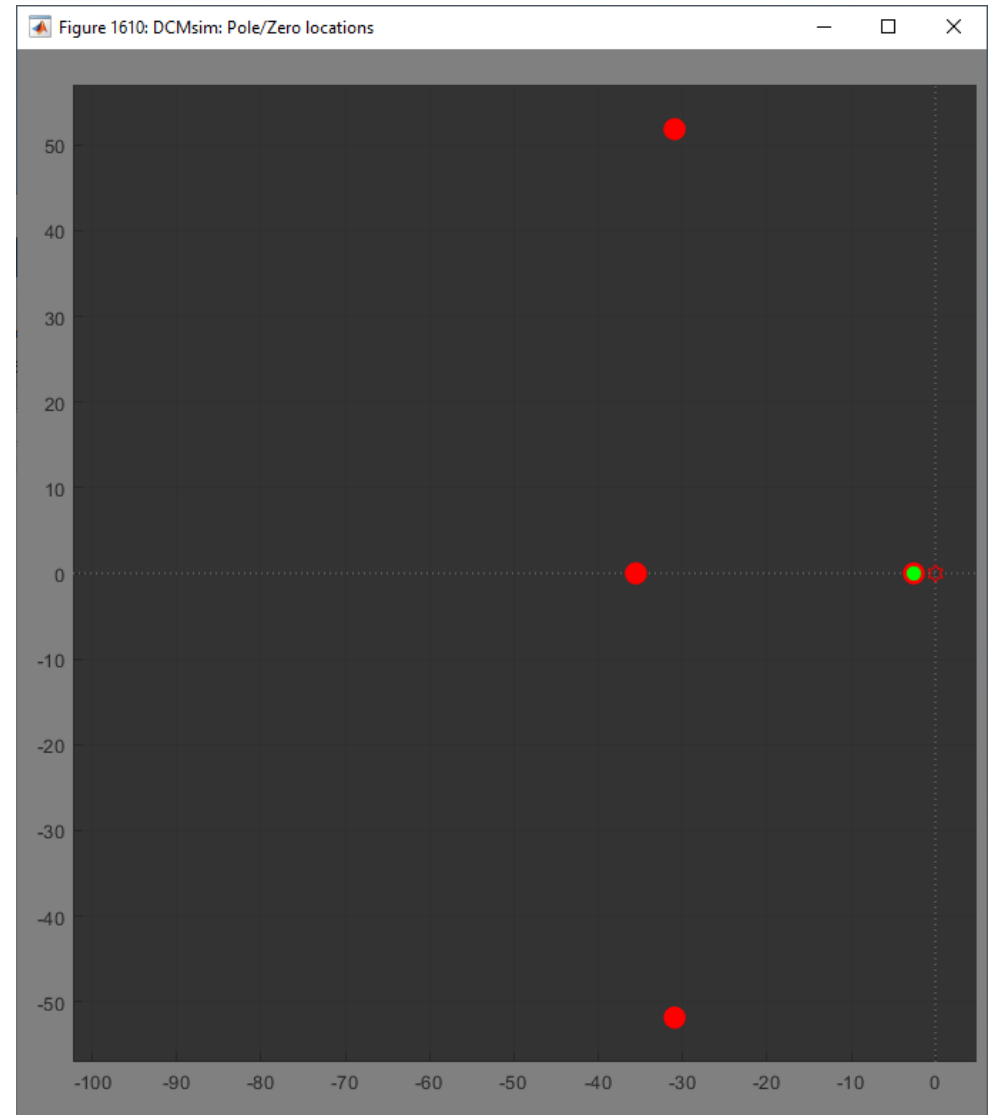
Eredeti rendszer pólusai ○

Zárt rendszer zérusai ●

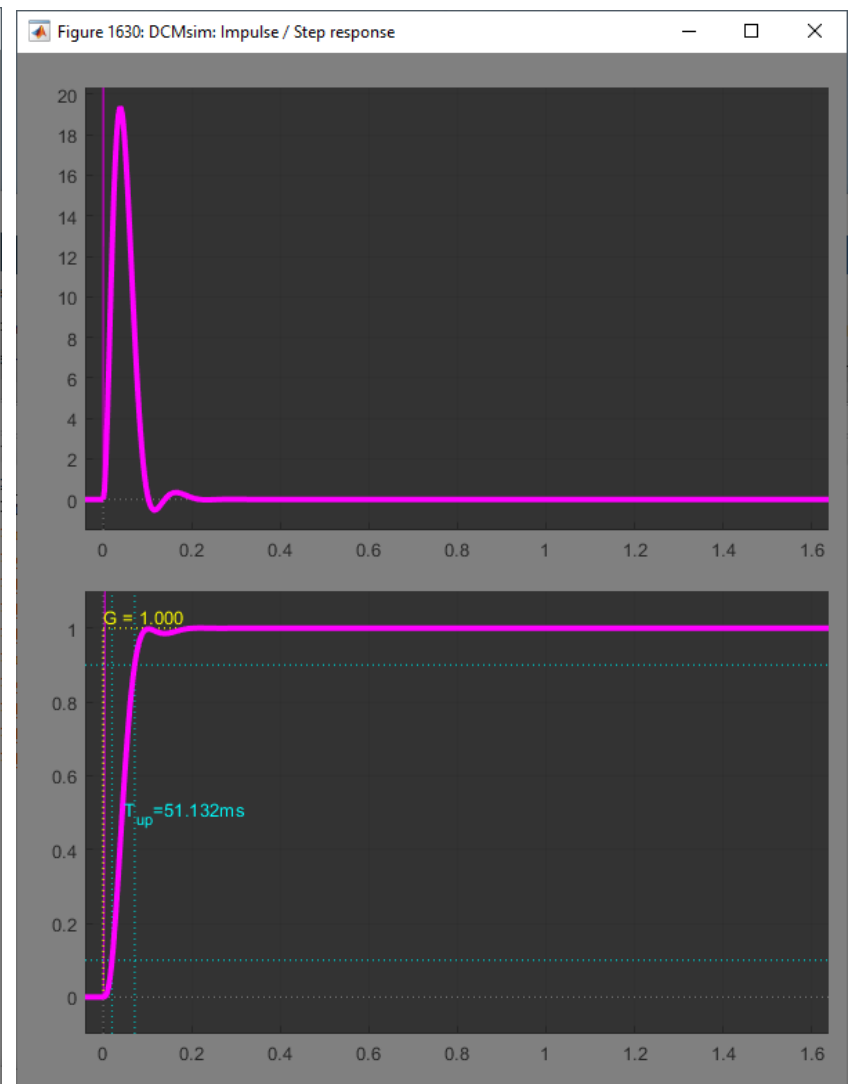
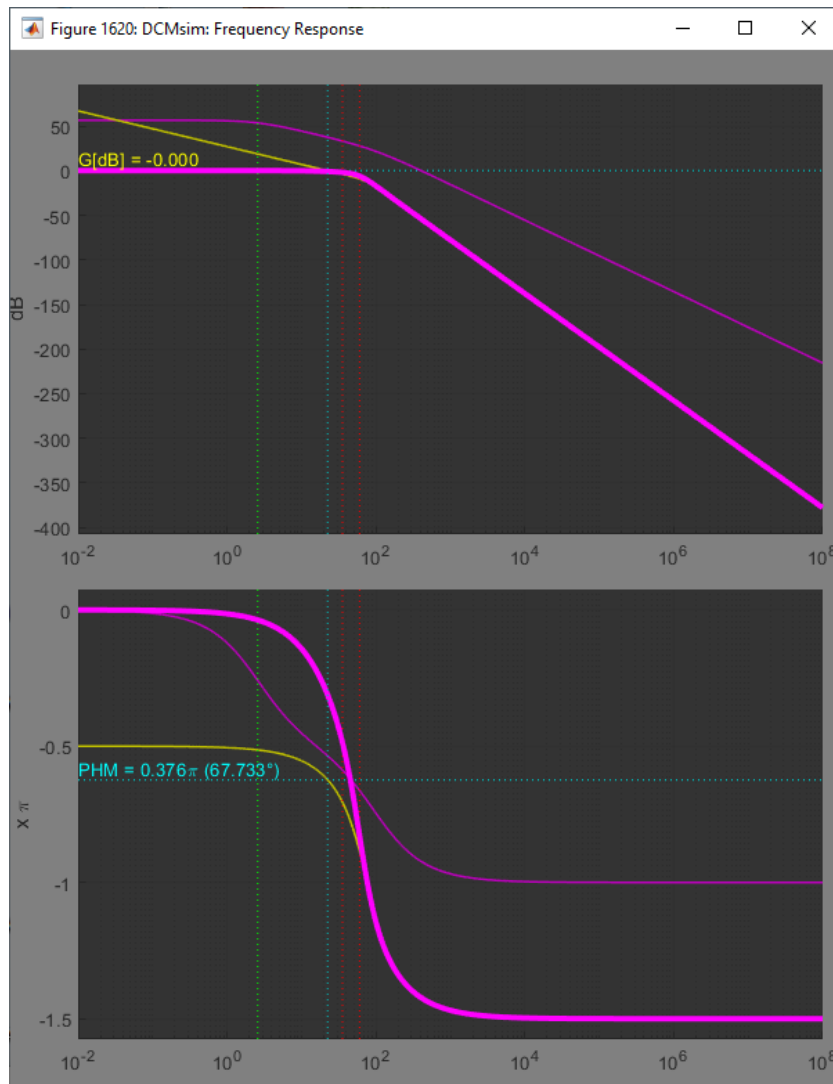
Zárt rendszer pólusai ●

Szabályozó pólusai ☆

Szabályozó zérusai ☆



Arányos/PI DC szervo szabályozás



Arányos/PI DC szervo szabályozás

Külső – szöghelyzet-
szabályozó – hurok: P

$$C = 1000$$

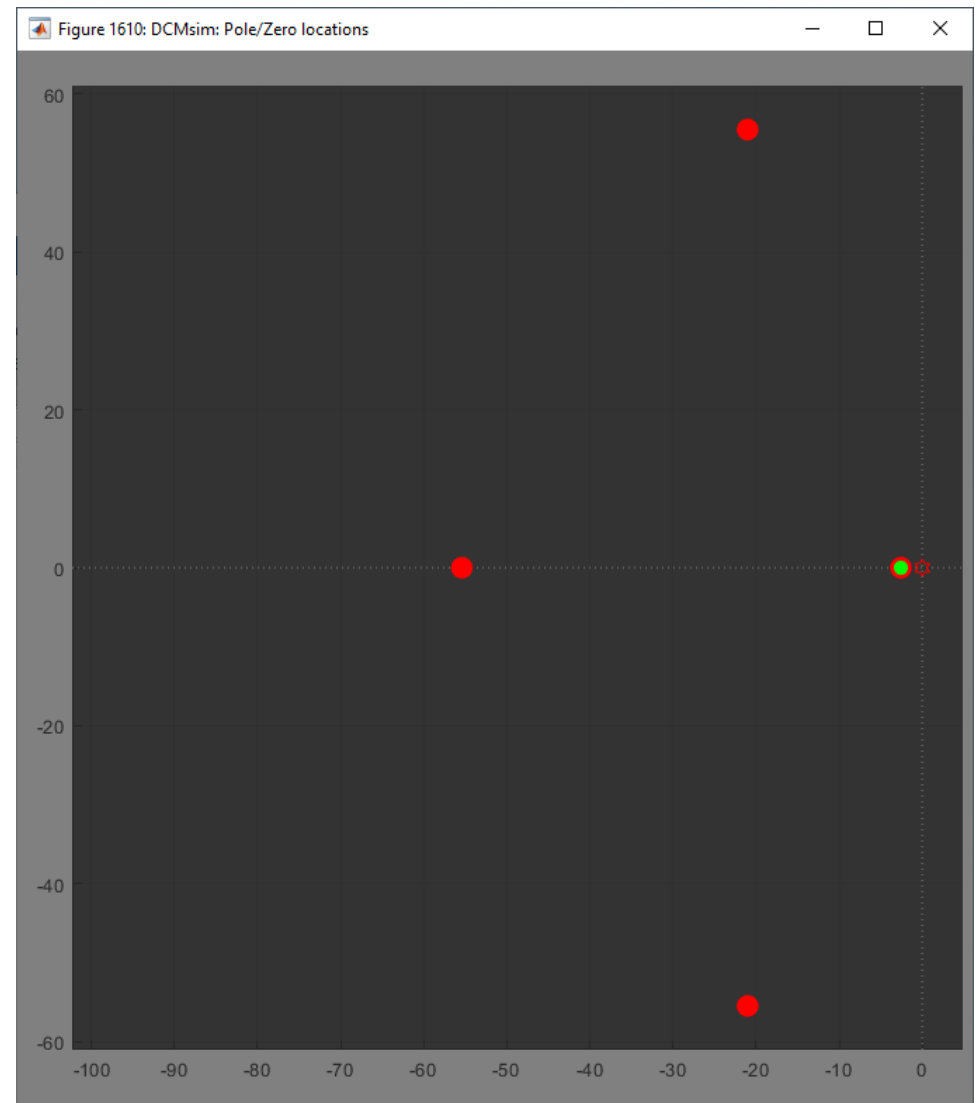
Eredmény:

$$T_{up} = 33.473 \text{ ms}$$

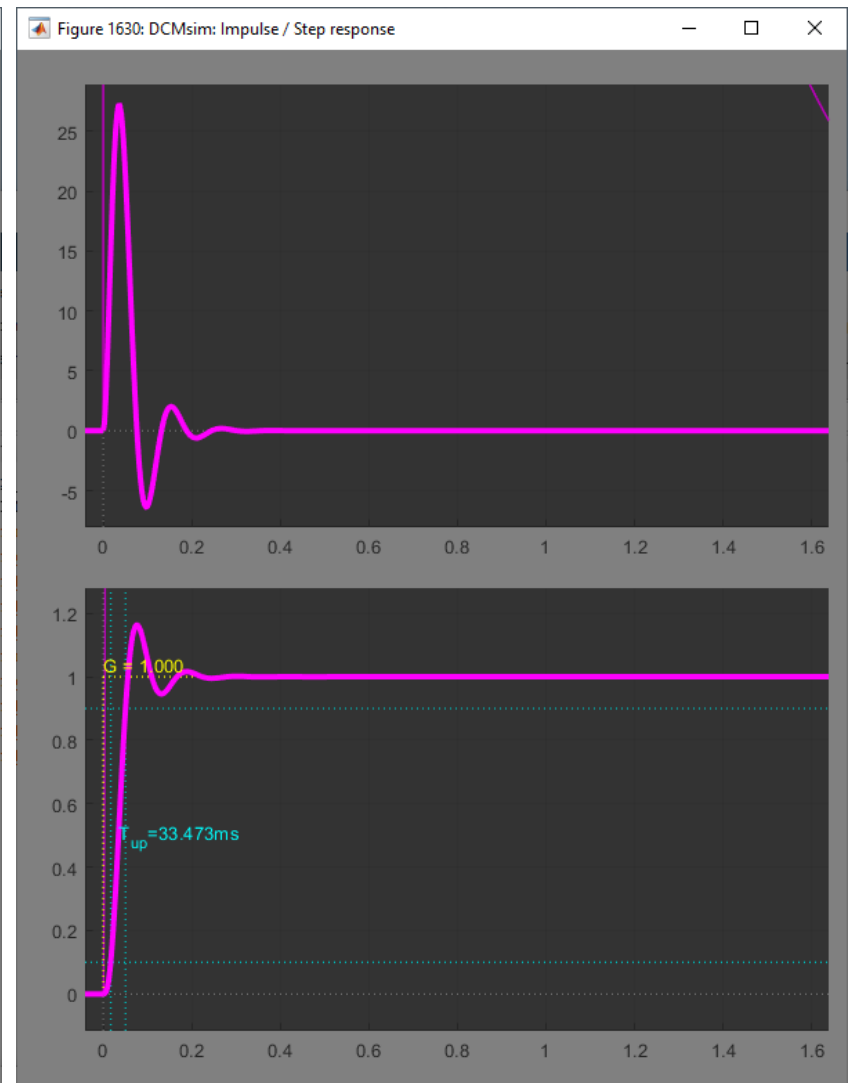
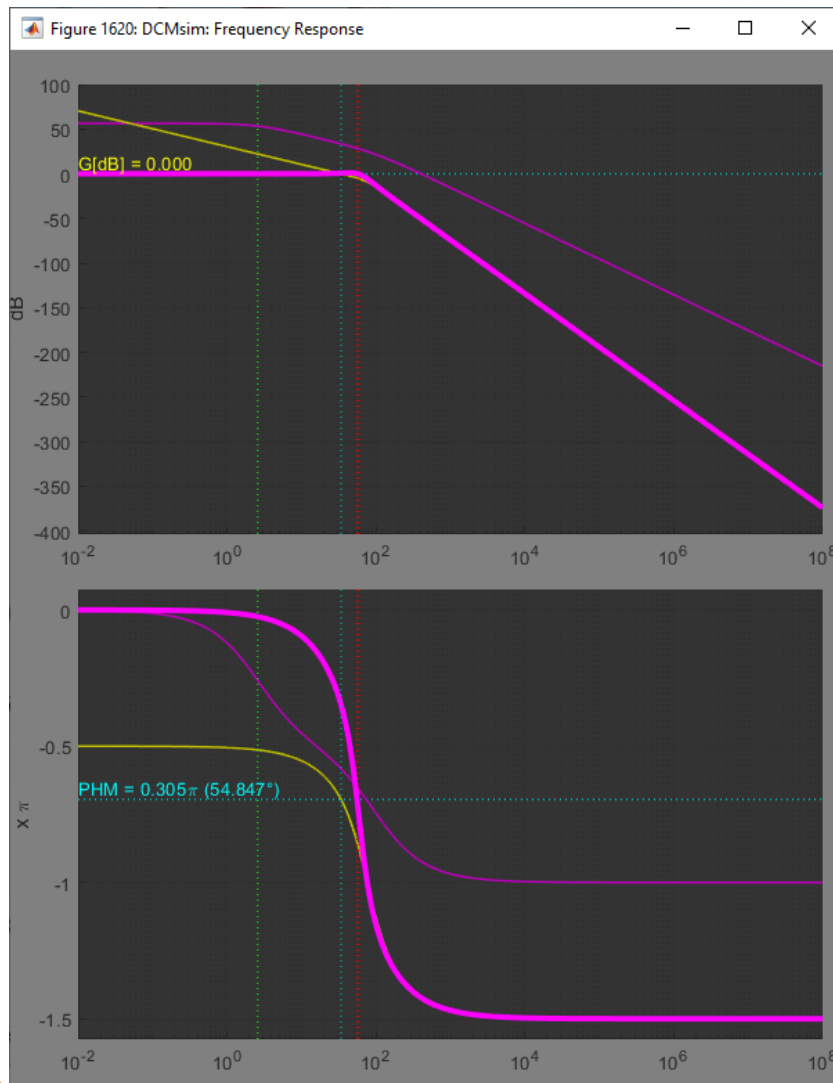
Enyhén periodikus
beállítás, túllövés $\approx 15\%$.

$$PHM \approx 54.8^\circ$$

- Eredeti rendszer pólusai ○
- Zárt rendszer zérusai ●
- Zárt rendszer pólusai ●
- Szabályozó pólusai ☆
- Szabályozó zérusai ☆



Arányos/PI DC szervo szabályozás



Arányos/PI DC szervo szabályozás

Külső – szöghelyzet-
szabályozó – hurok: P

$$C = 2500$$

Eredmény:

$$T_{up} = 18.255 \text{ ms}$$

Periodikus, labilitásba
hajló beállítás.

$$PHM \approx 7.36^\circ$$

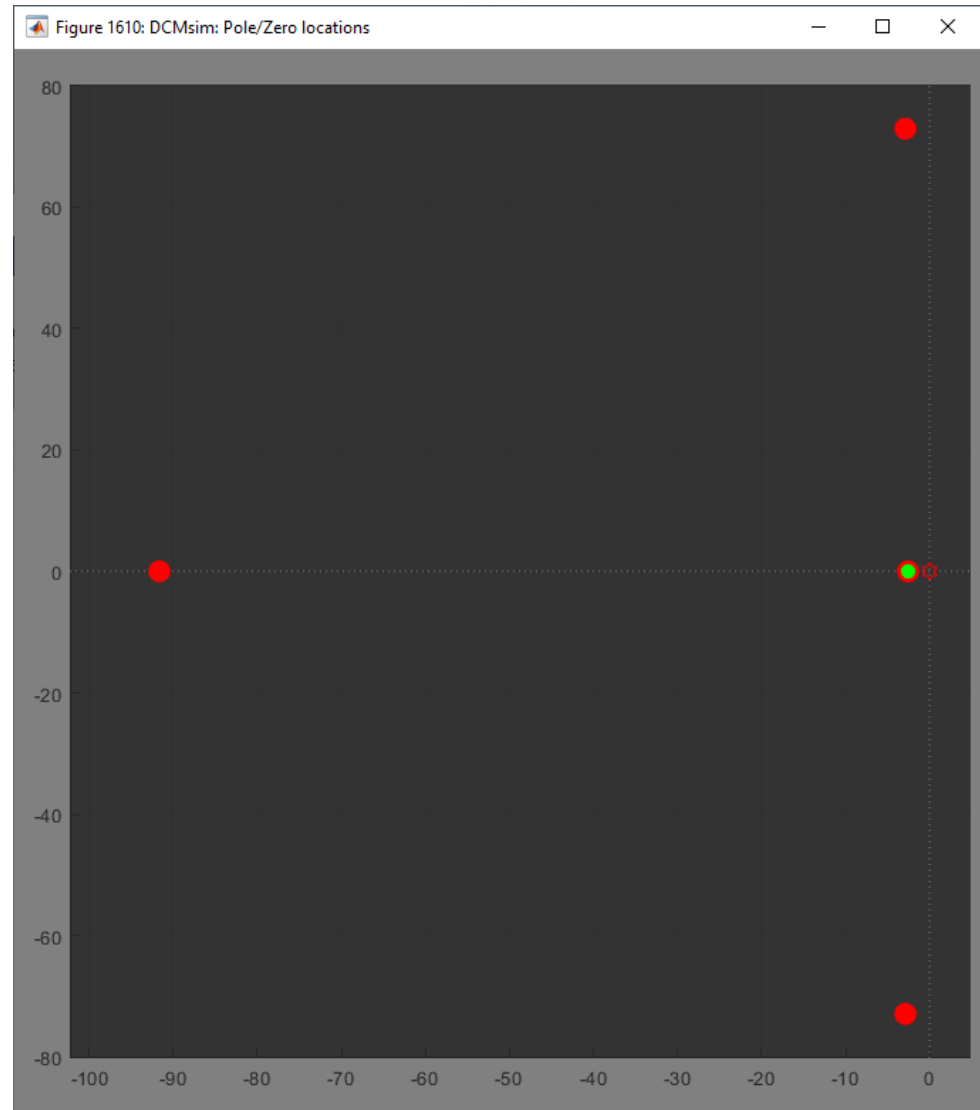
Eredeti rendszer pólusai ○

Zárt rendszer zérusai ●

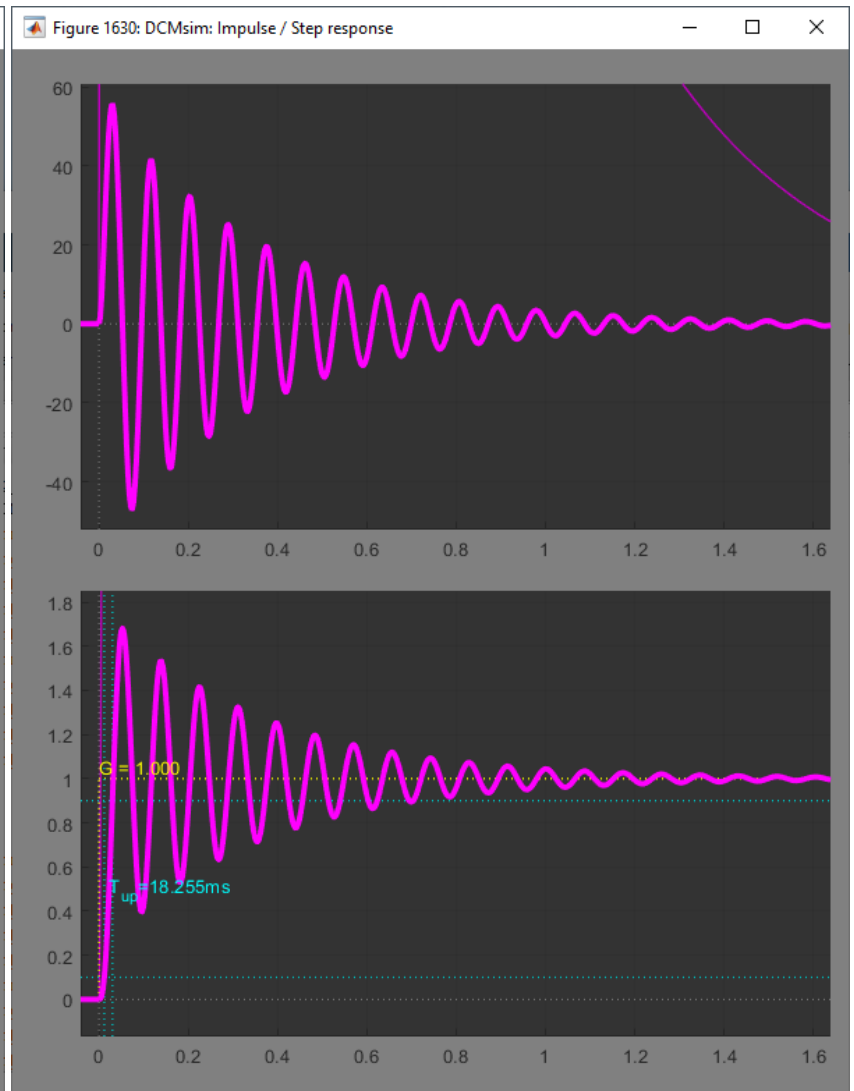
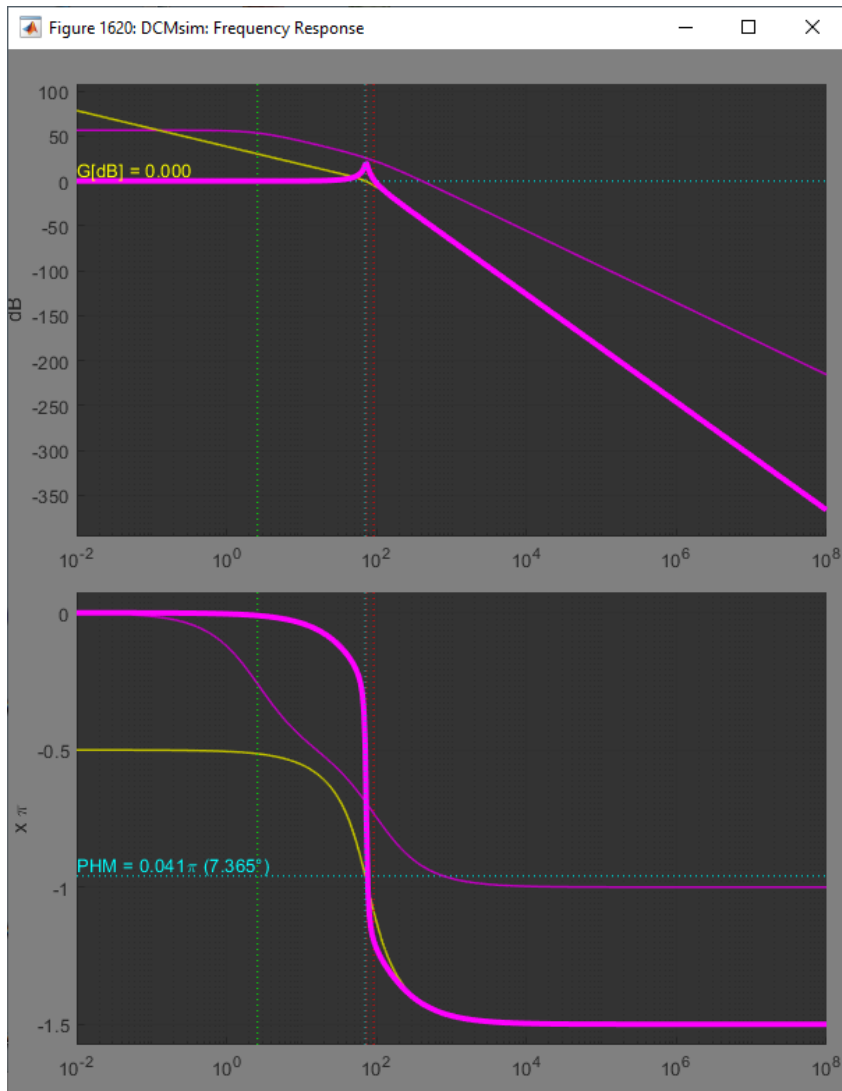
Zárt rendszer pólusai ●

Szabályozó pólusai ☆

Szabályozó zérusai ☆



Arányos/PI DC szervo szabályozás



Arányos/PI DC szervo szabályozás

Külső – szöghelyzet-
szabályozó – hurok: P

$$C = 2922.75$$

Eredmény:

$$T_{up} = 16.781 \text{ ms}$$

Periodikus kimenet, a
stabilitás határhelyzete.

$$PHM \approx 0^\circ$$

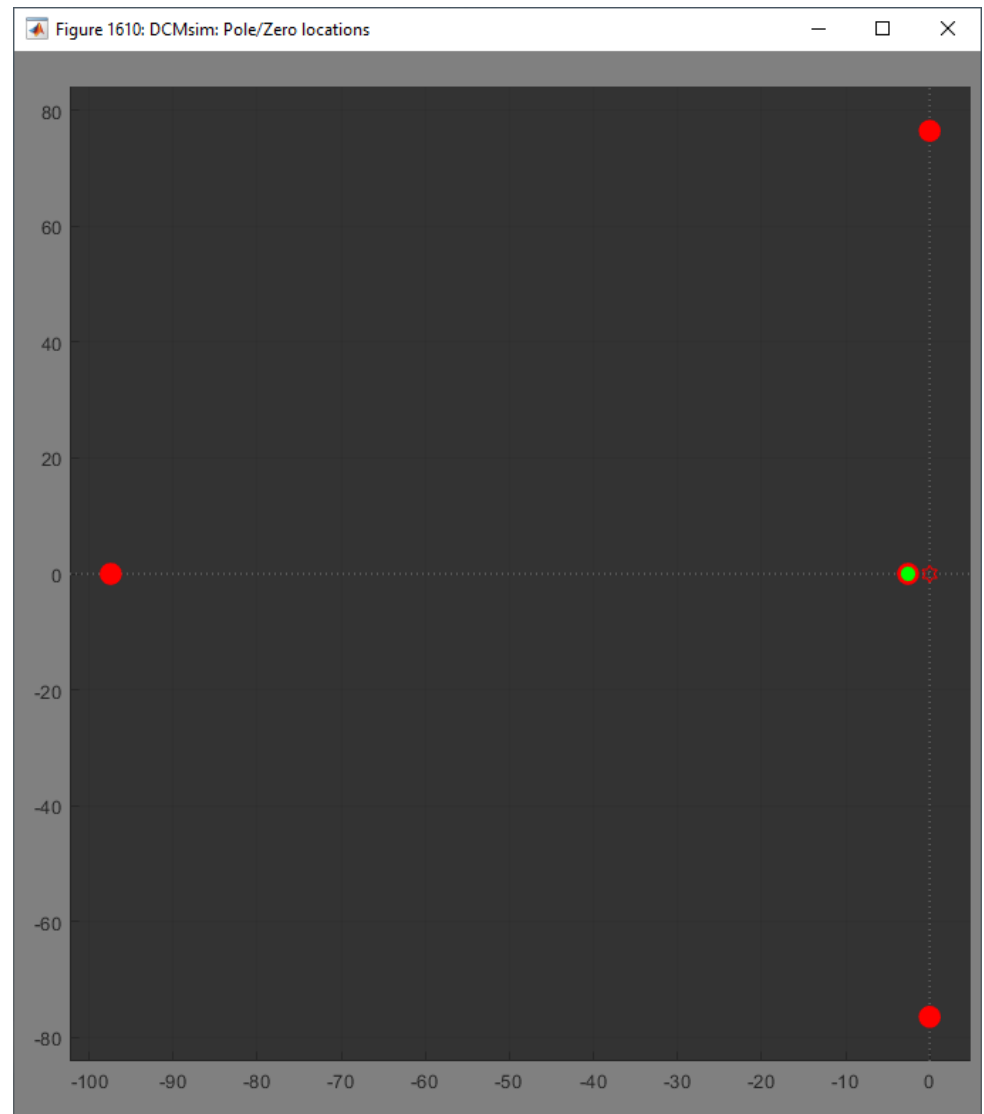
Eredeti rendszer pólusai ○

Zárt rendszer zérusai ●

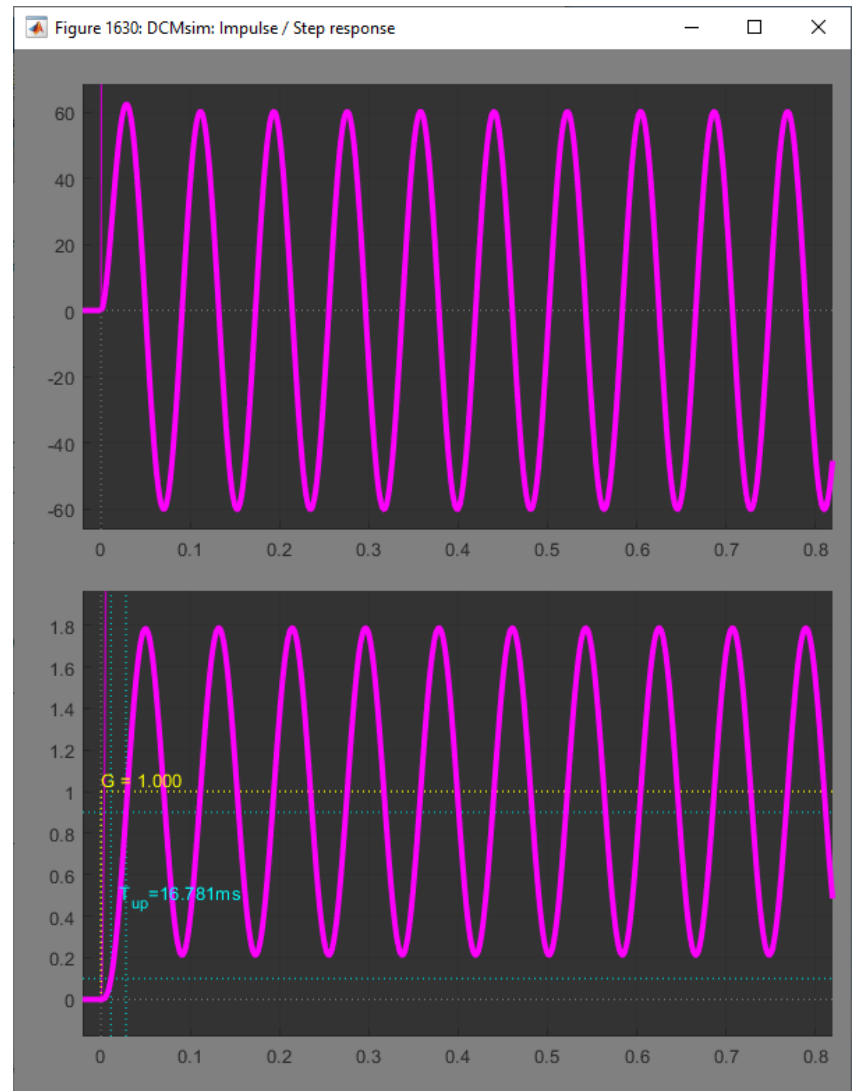
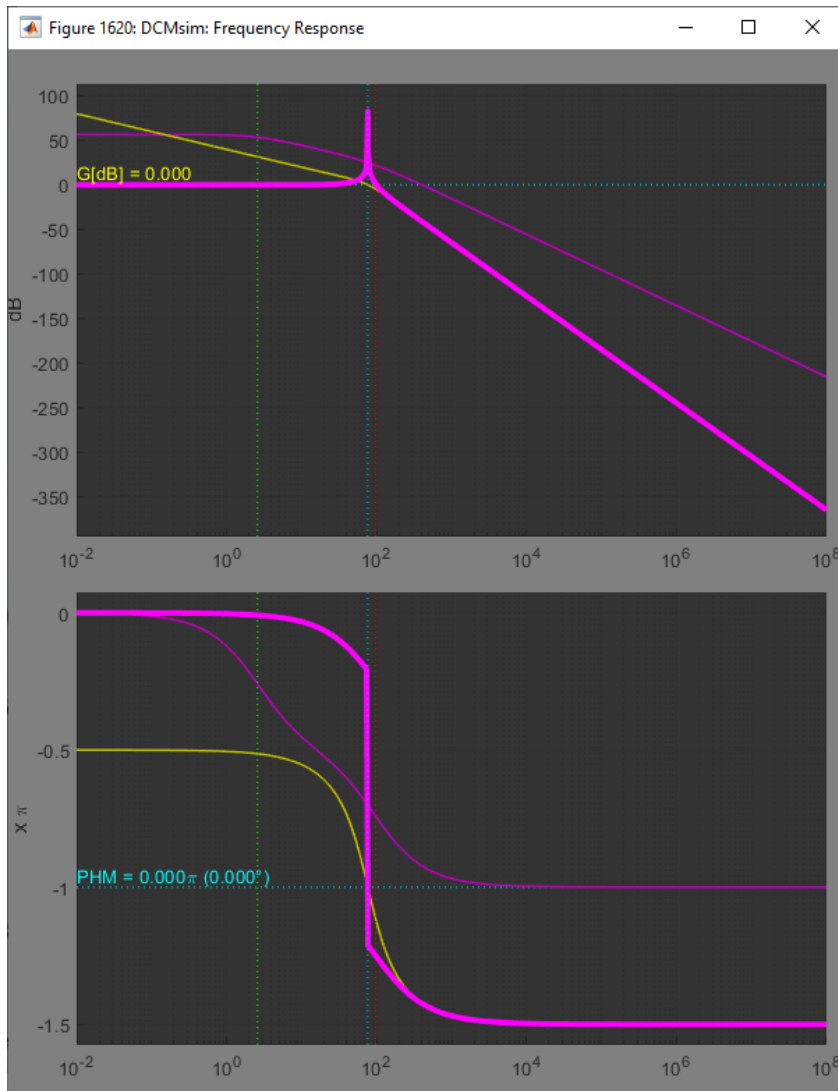
Zárt rendszer pólusai ●

Szabályozó pólusai ☆

Szabályozó zérusai ☆



Arányos/PI DC szervo szabályozás



DC szervo szabályozás

További lehetőségek a szabályozás tervezésére:

(... a teljesség igénye nélkül ...)

- PID szabályozás megvalósítása a külső szabályozási körben.
- Az integrátorok számának növelése – komplexebb szabályozó alkalmazása.
- Optimális szabályozó tervezése, pl. LQ – optimalizálás lineáris kvadratikus kritériumok alkalmazásával.
- A paraméterbizonytalanságok figyelembevételével robusztus szabályozási technikák alkalmazása.



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

Dr. Soumelidis Alexandros



email: soumelidis@sztaki.hu



BME KÖZLEKEDÉSMÉRNÖKI ÉS JÁRMŰMÉRNÖKI KAR
32708-2/2017/INTFIN SZÁMÚ EMMI ÁLTAL TÁMOGATOTT TANANYAG