ROBOTIRÁNYÍTÁS

8. előadás

Empirikus szabályzótervezés, a P és PI szabályozás

Dr. habil. Kovács Levente
egyetemi docens
kovacs.levente@nik.uni-obuda.hu

Dr. Haidegger Tamás
egyetemi adjunktus
haidegger@irob.uni-obuda.hu

EKIK Egyetemi Kutató és Innovációs Központ

Óbudai Egyetem Bejczy Antal iRobottechnikai Központ

Élettani Szabályozások Csoport Óbudai Egyetem

Az előadás témája és célja

Az eddig ismertetett irányítástechnikai alapfogalmak, rendszeranalízisek mind arra szolgáltak, hogy szabályozási vagy másképpen irányítási rendszereket tudjunk tervezni. Ideális esetben a szabályozandó rendszernek a matematikai modellje rendelkezésünkre áll, ekkor ebből kiindulva tudunk szabályozót tervezni. Ha azonban a modell nem áll rendelkezésünkre, vagy – a történeti okokra is gondolva – nincs számítógépes támogatásunk, a rendszert azonban mégis irányítani szeretnénk, olyan egyszerű számításokat alkalmazó, tapasztalati úton kifejlesztett irányításokat alkalmazhatunk, mint az empirikus szabályozások. Ezeknek két nagy csoportjával foglalkozunk az előadásban: a Ziegler-Nichols és a Kessler módszerekkel.

Az előadás célja, hogy a hallgatók képessé váljanak önállóan empirikus P és PI szabályozók tervezésére.

Kulcsszavak

empirikus szabályozás, P szabályozó, PI szabályozó, holtidő, Ziegler-Nichols stabilitás határának elérésén alapuló szabályozás, Ziegler-Nichols kísérleti identifikáción alapuló szabályozás, Kessler modulusz kritérium, Kessler szimmetrikus kritérium, kis időállandók tétele

Tartalomjegyzék

1. Szabályozások

1.1. Empirikus szabályozás

Manapság az iparban használt szabályozóknak több, mint a fele PID szabályozó. Korábban ezen szabályozók többsége analóg volt, azonban ma már ezen szabályozók digitálisak.

Amikor **a rendszer matematikai modellje elérhető**, a szabályozó paraméterei expliciten meghatározhatóak.

Amikor **a rendszer matematikai modellje nem érhető el**, két lehetőség adódik. Ha a paramétereket kísérleti úton határozzuk meg, akkor *empirikus szabályozó tervezés*ről beszélünk. Ebben az esetben a kívánt kimenet elérése érdekében kell hangolni a szabályozó paramétereit. A másik lehetőség egy matematikai modell készítése, ekkor *modell identifikáció*ról beszélünk.

1.2. P szabályozó tulajdonságai

A P szabályozó átviteli függvénye:

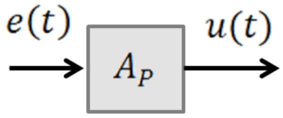
$$W_P(s) = A_P. \tag{1}$$

A szabályozónak tehát egyetlen paramétere van, az erősítés: $A_P > 0$.

A szabályzó **nem változtatja meg** a felnyitott kör átviteli függvényének *típusszámát* és *fázismenetét*. **Megváltoztatja** viszont a *körerősítést*, amit A_P-szeresére módosít. A körerősítése növelésének következtében

- a vágási frekvencia nő,
- a fázistartalék csökken, és
- a stabilitás határa felé haladunk.

A P szabályozó blokkdiagramját az 1. ábra mutatja.



1. ábra: A P szabályozó blokkdiagramja

1.3. PI szabályozó tulajdonságai

A PI szabályozó átviteli függvénye:

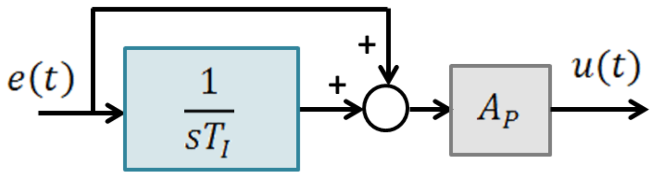
$$W_{PI}(s) = A_P\left(1 + \frac{1}{sT_I}\right) = \frac{A_P}{T_I} + \frac{1 + sT_I}{s} \qquad (2)$$

A szabályozónak két paramétere van, az erősítés: $A_P > 0$ és az integrálási idő (integrátor időállandója): $T_I > 0$.

A szabályzó **megváltoztatja**:

- a *körerősítést*, melyet $\frac{A_P}{T_I}$-szeresére módosít,
- a szabályozási kör *típusszámát* 1-el növeli,
- a felnyitott körben *új zérus* jelenik meg: $-\frac{1}{T_I}$,
- a felnyitott kör *fázismenetét* $\frac{1}{T_I}$ frekvenciánál kisebb értékeknél $-90°$-al csökkenti, annál nagyobb frekvenciáknál (közelítőleg) változatlanul hagyja

A PI szabályozó blokkdiagramját a 2. ábra mutatja.



2. ábra: A PI szabályozó blokkdiagramja

2. Ziegler-Nichols módszer

Az 1940-es években Ziegler és Nichols két empirikus módszert dolgozott ki szabályozók paramétereinek meghatározására.

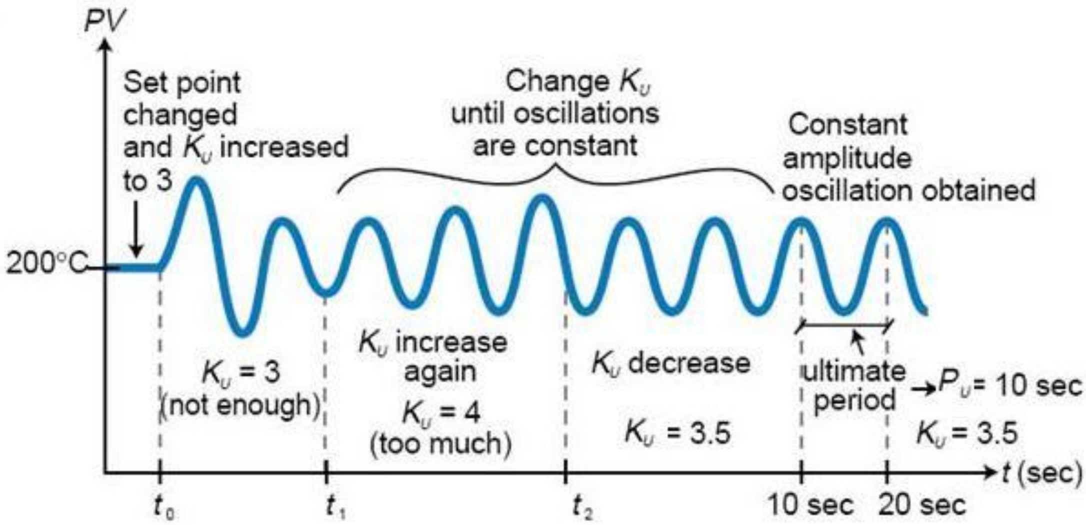
A módszerek jellemzői:

- *nem elsőfokú rendszerekre* lett kifejlesztve
- a rendszerek *tartalmaznak holtidőt*
- a tervezés számos manuális számítást tartalmaz

Az egyre fejlettebb optimalizáló szoftverek megjelenésével az ilyen manuális számításokat alkalmazó módszertanokat már nem igen használják. Számítógépes támogatással azonban a módszerek alkalmazhatók.

2.1. Stabilitás határának elérésén alapuló szabályozás

A **stabilitás határán lévő rendszer erősítésének (K_u) megtalálásához** egyetlen P erősítést használva keressük meg azt az erősítés értéket, amelynek hatására a rendszer *oszcillál*. Ennek megtalálásához az I és a D tagok erősítése nullára van állítva, így csak a P tag érvényesül. A másik paraméter, amely a csak P tagot tartalmazó szabályozásból meghatározható, a stabilitás határán lévő rendszer **lengési periódusa, P_u**, mely az az idő, amely ahhoz kell, hogy egy teljes oszcillációt elvégezzen a rendszer az állandósult állapotban. A szabályozás elméleti hátterének logikáját a 3. ábrán lévő példa illusztrálja. Ezen két paraméter (K_u és P_u) segítségével a szabályozó paraméterei (A_P, T_I) számíthatók, a számítások az 1. táblázat alapján végezhetők el.



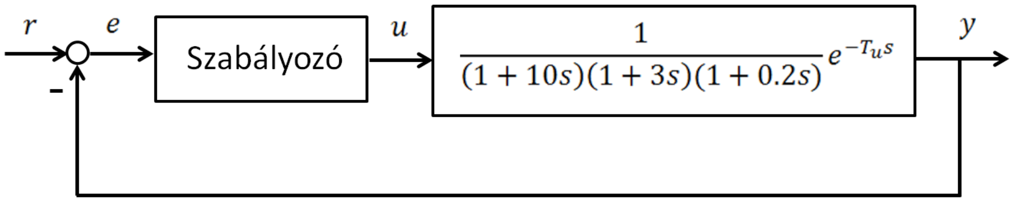
3. ábra: A Ziegler-Nichols stabilitás határának elérésén alapuló szabályozás elméleti háttere

Szabályozó típusa	A szabályozó paraméterei		
	A_P	T_I	T_D
P	$0.5\ K_U$	–	–
PI	$0.45\ K_U$	$0.85\ P_U$	–

1. táblázat: Segédtáblázat a Ziegler-Nichols stabilitás határának elérésén alapuló szabályozás tervezéséhez

2.1.1. Példa: PI szabályozó tervezése Ziegler-Nichols stabilitás határának elérésén alapuló szabályozási módszerrel

Tervezzünk PI szabályozót a Ziegler-Nichols stabilitás határának elérésén alapuló szabályozási módszerrel a 4. ábrán látható rendszerhez!



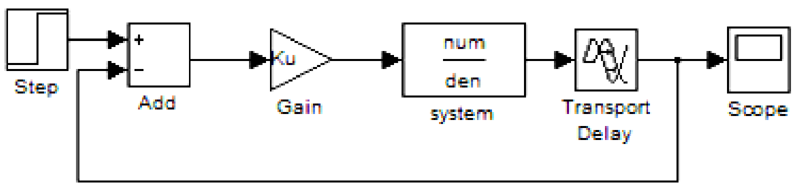
$T_u = 1$

4. ábra: PI szabályozó tervezése a Ziegler-Nichols stabilitás határának elérésén alapuló szabályozási módszerrel

1. A stabilitás határán lévő rendszer (erősítés) megtalálása

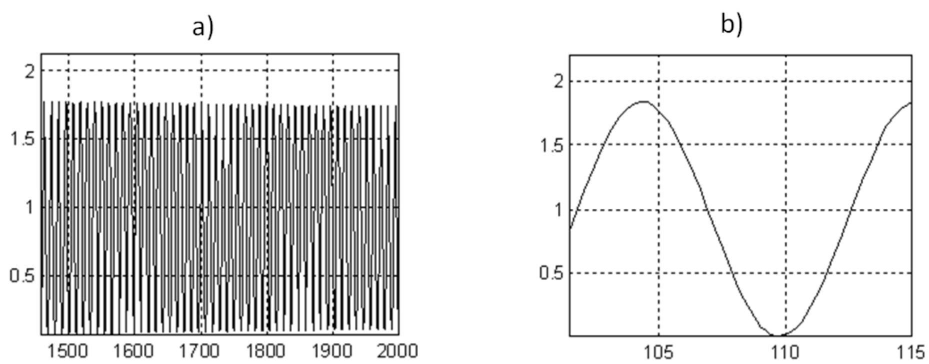
Először hozzuk létre a 4. ábrán látható rendszert Simulink alatt úgy (5. ábra), hogy a szabályozó csak egyetlen P tagból (tehát egy erősítésből, *gain*) áll. Az erősítés értékét először állítsuk $K = 1$-re és figyeljük a rendszer kimenetét (*scope*-ot).

1. **Ha a rendszer stabil**, azaz az ugrásválasz lecseng és a rendszer állandósult állapotba kerül, akkor *növeljük a K-t*.
2. **Ha a rendszer instabil**, azaz az ugrásválasz elszáll, akkor *csökkentsük a K-t*.



5. ábra: A stabilitás határán lévő erősítés megtalálásához szükséges rendszer implementációja Simulinkben

Ennek eredményeképpen meg kell kapnunk azt az állapotot, amikor a **rendszer a stabilitás határán van**, azaz *oszcillál*. Ekkor a scope-on a 6. ábra a) részéhez hasonlót fogunk látni, az ehhez tartozó K erősítés tehát a keresett K_u. Ezt kinagyítva (6. ábra b) rész) a stabilitás határán lévő rendszer lengési periódusa, P_u is leolvasható. A példánkban $K_u = 11{,}86$, míg $P_u = 11$.



6. ábra: A stabilitás határán lévő rendszer erősítésének (K_u) és lengési periódusának (P_u) leolvasása

2. PI szabályozó tervezés

A megtalált K_u és P_u értékek ismeretében az 1. táblázat 2. sorát kell figyelembe venni, lévén, hogy PI szabályozót tervezünk. Számítsuk ki először a szabályozó paramétereit (A_P, T_I):

$$K_u = 11{,}86 \Rightarrow A_P = 0{,}45\, K_u = 0{,}45 \cdot 11{,}86 = 5{,}337 \quad (3)$$

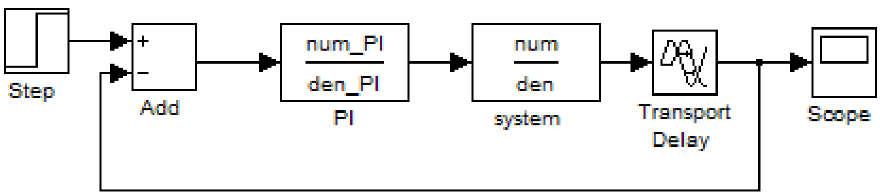
$$P_u = 11 \Rightarrow T_I = 0.85\, P_u = 0.85 \cdot 11 = 9.35 \quad (4)$$

Ezután már számítható a szabályozó átviteli függvénye:

$$W_{PI}(s) = A_P\left(1 + \frac{1}{sT_I}\right) = 5{,}337 \cdot \left(1 + \frac{1}{9{,}35s}\right) = \frac{49{,}9s + 5{,}337}{9{,}35s} \quad (5)$$

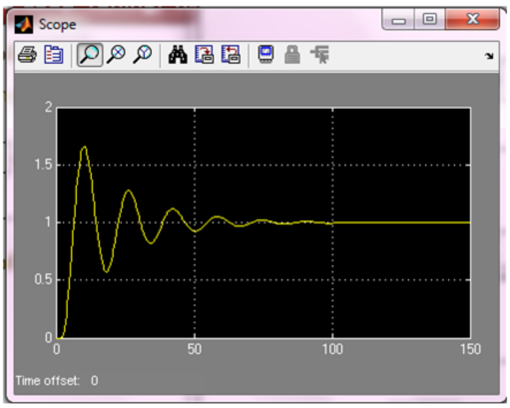
3. PI szabályozó tervezés – megvalósítás Simulink alatt

Ezek fényében az 5. ábrán látható Simulink implementáció úgy módosul, hogy a gain helyére bekerül a megtervezett, (5) egyenletben számított átviteli függvényű szabályozó (7. ábra).



7. ábra: Ziegler-Nichols stabilitás határának elérésén alapuló szabályozási módszerrel megtervezett PI szabályozó implementálása Simulinkben

A szabályozás eredménye a scope kimentén látható (8. ábra). Az első és legfontosabb megállapításunk, hogy a rendszer stabil, hiszen az ugrásválaszon megfigyelhető az állandósult állapot. Az ugrásválasz paraméterei a szabályozás minőségéről adnak tájékoztatást: a szabályozási idő $t_s = 100\, sec$, a túllövési idő $t_1 = 9\, sec$, míg a túllövés $\sigma_1 = 65\%$.



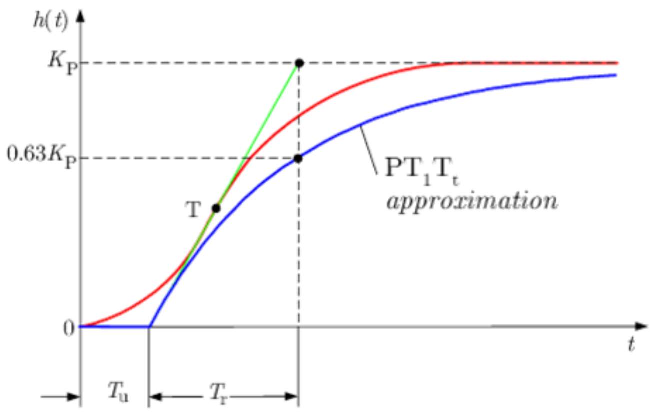
8. ábra: Ziegler-Nichols stabilitás határának elérésén alapuló PI szabályozás eredménye

2.2. Kísérleti identifikáción alapuló szabályozás

A gyakorlatban számos ipari folyamat ugrásválasza mutat tiszta aperiodikus viselkedést, ez az S-alakú görbe általában a magasabb rendű rendszerekre jellemző (9. ábra piros görbéje). A magasabb rendű rendszert szeretnénk közelíteni egy elsőfokú, holtidős rendszerrel (9. ábra kék görbe), melynek az átviteli függvénye *általános alakban*

$$W_P = \frac{K_P}{1+Ts} e^{-T_t s} \ . \qquad (6)$$

Ahhoz, hogy a (6) egyenletnek megfelelő átviteli függvényű rendszer paramétereinek értékeit meghatározzuk, az eredeti rendszer ugrásválaszához (9. ábra piros görbéje) a T inflexiós pontban tangenst szerkesztünk (9. ábra zöld érintője). Ez a tangensvonal kijelöli számunkra a szükséges paramétereket. A (6) egyenlet K_P erősítése az eredeti rendszer erősítése, azaz állandósult állapotbeli értéke. A (6) egyenlet holtidejének időállandóját (T_t) úgy számítjuk, hogy megnézzük, hol metszi a tangensvonal az időtengelyt, és a 0. időponttól eddig az időpontig terjedő szakaszt választjuk ki, ez lesz a közelítő rendszer T_u holtideje. Végül a (6) egyenlet pólusának T időállandójának azt a T_r felfutási időt választjuk meg, amelyet a tangens vonal kijelöl az időtengelyen az időtengely és a K_P konstans értékének metszésével.



9. ábra: A Ziegler-Nichols kísérleti identifikáción alapuló szabályozás elméleti háttere

Így tehát a közelítő elsőfokú, holtidős rendszer az eredeti rendszer ugrásválaszból leolvasott *konkrét paraméterekkel*:

$$W_P = \frac{K_P}{1+T_r s} e^{-T_u s}. \qquad (7)$$

Ezen három paraméter (K_P, T_u, T_r) segítségével a szabályozó paraméterei (A_P, T_I) számíthatók, a számítások a 2. táblázat alapján végezhetők el. A táblázatban szereplő ρ segédváltozó a *relatív holtidő*, $\rho = \frac{T_u}{T_r}$. Fontos megjegyezni, hogy – szemben a stabilitás határának elérésén alapuló szabályozással (1. táblázat) – itt nem egyenletek, hanem

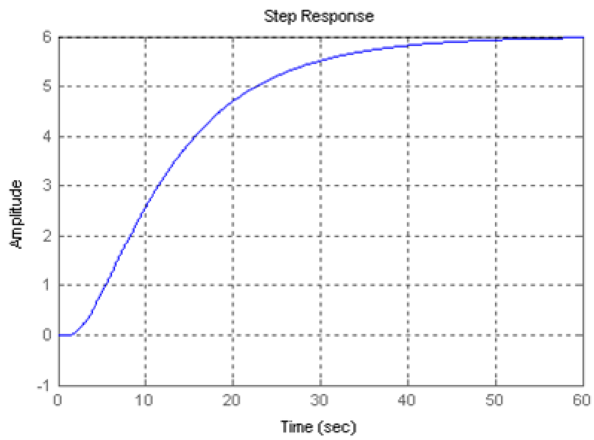
egyenlőtlenségek alakjában vannak megadva a táblázatban szereplő értékek. Következésképpen, ha a táblázatban szereplő értékkel tervezett szabályozó nem működik, próbáljunk meg kisebb értékkel számolni (pl. PI esetén 0,7-tel 0,9 helyett).

Szabályozó típusa	A szabályozó paraméterei		
	$A_P \cdot K_P \cdot \rho$	T_I	T_D
P	≤ 1	-	-
PI	≤ 0.9	$3\ T_u$	-

2. táblázat: Segédtáblázat a Ziegler-Nichols kísérleti identifikáción alapuló szabályozás tervezéséhez

2.2.1. Példa: PI szabályozó tervezése Ziegler-Nichols kísérleti identifikáción alapuló szabályozási módszerrel

Tervezzünk PI szabályozót a Ziegler-Nichols kísérleti identifikáción alapuló szabályozási módszerrel a 10. ábrán látható ugrásválasszal reprezentált rendszerhez!



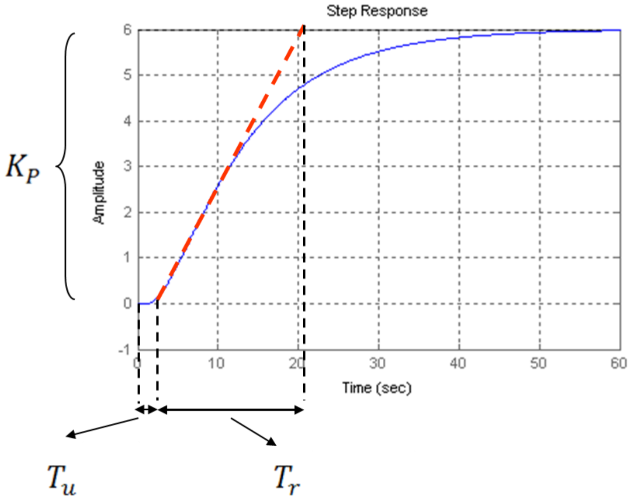
10. ábra: Ugrásválaszával reprezentált szabályozandó rendszer

Először is itt hadd hívjuk fel a figyelmet a két Ziegler-Nichols módszer közötti különbségre. A stabilitás határának elérésén alapuló szabályozás esetén feltételezzük, hogy a rendszer átviteli függvényét ismerjük és a rendszerre vizsgálójelet tudunk adni a K erősítés függvényében (5. ábra), tehát bele tudunk avatkozni a rendszerbe és nem is akárhogyan! A rendszert a stabilitás határára szeretnénk irányítani, ami – ha belegondolunk – igen kockázatos vállalkozás, különösen, ha kritikus rendszerről van szó, mint például egy sebészrobot vagy egy repülőt irányító robotpilóta. Egyértelmű, hogy ilyen esetekben ez a módszer nem használható. Mindemellett az sem mindig garantált, hogy ismerjük a rendszer átviteli függvényét. Ellenben, ha rendelkezésünkre áll a rendszer ugrásválasza (vagy mi magunk le tudjuk mérni), akkor ebből a grafikus időfüggvényből kiindulva elvégezhetjük a szükséges számításokat a szabályozótervezéshez: ez a kísérleti identifikáción alapuló módszer.

Jelen esetben tehát a 10. ábrán látható ugrásválaszunk van. Nincs meg a szakasz átviteli függvénye, csupán ez az ugrásválasz, így első lépésként a szakaszunkat kell közelíteni.

1. Szabályozandó szakasz meghatározása/közelítése

Célunk a (7) egyenletben szereplő átviteli függvény felírása a megadott ugrásválasz alapján. Ehhez szerkesszük meg a görbe tangensét és olvassuk le a megfelelő paramétereket (11. ábra).



11. ábra: Ugrásválaszával reprezentált szabályozandó rendszer paramétereinek számítása

A szakasz erősítése $K_P = 6$, holtideje $T_u = 3$, felfutási ideje pedig $T_r = 18$. Vegyük észre, hogy a tangens megszerkesztése az erősítésen kívül mind a két időállandót befolyásolja, így kulcsfontosságú (ha a számítások végén a szabályozó nem működik, érdemes lehet új tangensillesztéssel próbálkozni). Ezek fényében a szakaszunk átviteli függvénye:

$$W_P(s) = \frac{K_P}{1 + T_r s} e^{-T_u s} = \frac{6}{1 + 18s} e^{-3s} \tag{8}$$

2. PI szabályozó tervezés

A megtalált K_P, T_u és T_r értékek ismeretében a 2. táblázat 2. sorát kell figyelembe venni, lévén, hogy PI szabályozót tervezünk. Számítsuk ki először a relatív holtidőt (ρ):

$$\rho = \frac{T_u}{T_r} = \frac{3}{18} = \frac{1}{6} \tag{9}$$

A szabályozó integrátorának időállandója egy egyenlőséggel számítható:

$$T_I = 3T_u = 3 \cdot 3 = 9 \tag{10}$$

Végezetül a szabályozó A_P paraméterére egy egyenlőtlenséget tudunk felírni.

$$A_P \cdot K_P \cdot \rho \leq 0{,}9 \tag{11}$$

Tekintsük azt a speciális esetet, amikor éppen az egyenlőség teljesül:

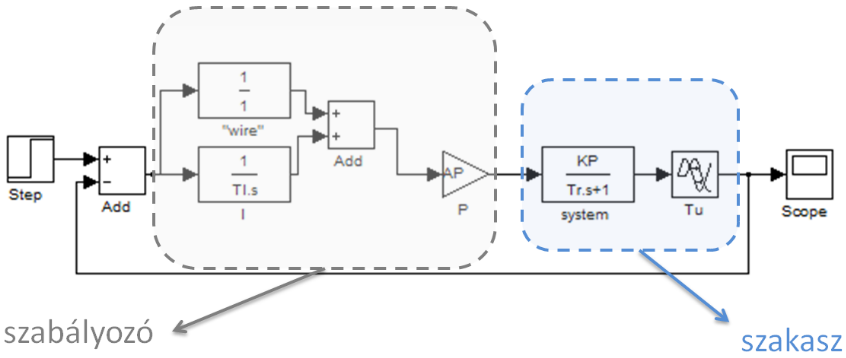
$$A_P \leq \frac{0{,}9}{6 \cdot \frac{1}{6}} = 0{,}9 \tag{12}$$

Ezután már számítható a szabályozó átviteli függvénye:

$$W_{PI}(s) = A_P \left(1 + \frac{1}{sT_I}\right) = 0{,}9 \cdot \left(1 + \frac{1}{9s}\right) = \frac{9s+1}{10s} \tag{13}$$

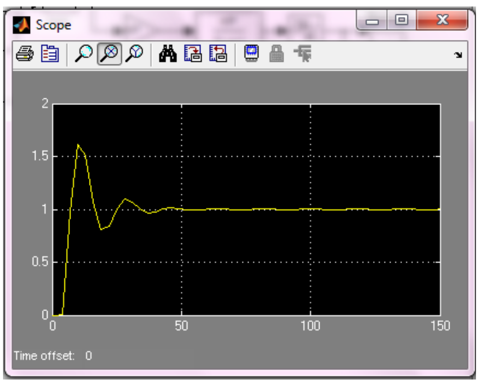
3. PI szabályozó tervezés – megvalósítás Simulink alatt

Végezetül implementáljuk a szabályozónkat Simunkben (12. ábra). Ebben az esetben az implementációt úgy végeztük el, hogy a PI szabályozót nem egyetlen átviteli függvénnyel adtuk meg, hanem külön implementáltuk tagonként.



12. ábra: Ziegler-Nichols kísérleti identifikáción alapuló szabályozási módszerrel megtervezett PI szabályozó implementálása Simulinkben

A szabályozás eredménye a scope kimentén látható (13. ábra). Az ugrásválasz paraméterei: a szabályozási idő $t_s = 50\ sec$, a túllövési idő $t_1 = 10\ sec$, míg a túllövés $\sigma_1 = 60\%$.



13. ábra: Ziegler-Nichols kísérleti identifikáción alapuló PI szabályozás eredménye

3. Kessler módszer

A Kessler módszer alkalmazásának feltétele, hogy a rendszer ne tartalmazzon holtidőt (ha igen, akkor közelíteni kell). További feltétel, hogy a folyamat átviteli függvénye relatív egyszerű legyen és a rendszer paraméterei ne változzanak túlzottan. Ezek fényében nem meglepő, hogy az elérhető minőségi követelmények relatív adottak.

A tervezéshez fel fogjuk használni a **kis időállandók tételét**. Ennek lényege, hogy egy átviteli függvény kis időállandós tagjai helyettesíthetőek egyetlen taggal, a kis időállandók összegével (vagy a legkisebb időállandóval):

$$T_\Sigma = \sum_n T_n \tag{14}$$

Ennek segítségével a rendszer leírására alacsonyrendű modell használható.

A Kessler módszer két különböző típust tartalmaz, melyek használata között a szabályozandó szakasz bizonyos tulajdonsága alapján kell döntenünk. Ez a tulajdonság a szabad integrátor megléte vagy hiánya, azaz meg kell vizsgálnunk, hogy a szabályozandó folyamat nevezőjében található-e egy időállandó nélküli, „szabad” s tag.

- A **szimmetrikus kritérium**ot kell használnunk, ha a folyamat *tartalmaz egy (szabad) integrátort*, pl. $W = \frac{K_P}{s(1+sT_\Sigma)}$.
- A **modulusz kritérium**ot kell használnunk, ha a folyamat *nem tartalmaz (szabad) integrátort*, pl. $W = \frac{K_P}{(1+sT_\Sigma)}$.

3.1. Modulusz kritérium

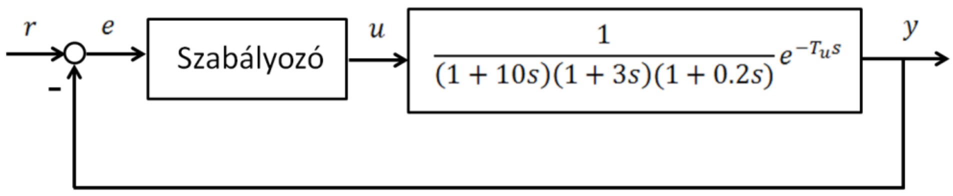
A Kessler módszer modulusz kritériuma alapján történő szabályozástervezés a 3. táblázat alapján történik.

Folyamat $W_P(s)$	Szabályozó típusa	Paraméterek relációi	Megjegy-zés
$\dfrac{K_P}{1+sT_\Sigma}$	$\dfrac{K_R}{s}$ or $\left(\dfrac{1}{sT_i}\right)$ **I**	$K_R = \dfrac{1}{2K_P T_\Sigma}$	$t_s = 8{,}4\ T_\Sigma$ $t_1 = 4{,}7\ T_\Sigma$ $\sigma_1 = 4{,}3\ \%$
$\dfrac{K_P}{(1+s\cdot T_1)(1+s\cdot T_\Sigma)}$ $T_1 \rangle T_2$	$\dfrac{K_R}{s}(1+s\cdot T_i)$ **PI**	$K_R = \dfrac{1}{2K_P T_\Sigma}$ $T_i = T_1$	

3. táblázat: Segédtáblázat a Kessler módszer modulusz kritériumán alapuló szabályozás tervezéséhez

3.1.1. Példa: PI szabályozó tervezése Kessler módszer modulusz kritériuma alapján

Tervezzünk PI szabályozót a Kessler módszer modulusz kritériuma alapján a 14. ábrán látható rendszerhez!



$T_u = 0$

14. ábra: PI szabályozó tervezése Kessler módszer modulusz kritériuma alapján

1. PI szabályozó tervezés

A 3. táblázat 2. sora értelmében a folyamatunknak egy másodrendű rendszernek kellene lennie, azonban a példában harmadrendű rendszerünk van. Amit tehetünk, hogy a szabályozást alkalmazhassuk, hogy használjuk a kis időállandók tételét.

Az eredeti harmadrendű rendszerünk tehát

$$W_P = \frac{1}{(1+10s)(1+3s)(1+0.2s)}, \tag{15}$$

ahol három időállandó van. A legnagyobb időállandót meghagyjuk, hiszen ez befolyásolja dominánsan a szakasz viselkedését:

$$T_i = T_1 = 10 \tag{16}$$

A két kis időállandót viszont összevonjuk:

$$T_\Sigma = T_2 + T_3 = 3 + 0{,}2 = 3{,}2 \tag{17}$$

Végezetül a szakaszból adódóan

$$K_P = 1 \tag{18}$$

A szabályozó átviteli függvényének számításához szükségünk van a K_R paraméterre:

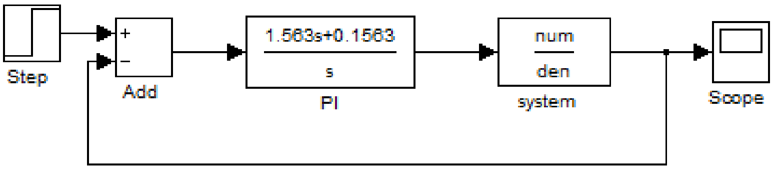
$$K_R = \frac{1}{2K_P T_\Sigma} = \frac{1}{2 \cdot 1 \cdot 3{,}2} = 0{,}156 \tag{19}$$

Ezután már számítható a szabályozó átviteli függvénye:

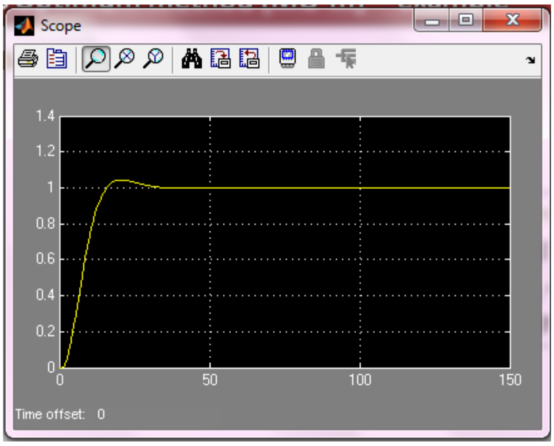
$$W_{PI}(s) = \frac{K_R}{s}(1 + sT_i) = \frac{0{,}156}{s}(1 + 10s) = \frac{1{,}56s + 0{,}156}{s} \tag{20}$$

2. PI szabályozó tervezés – megvalósítás Simulink alatt

A szabályozó implementálását Simulinkben a 15. ábra, a szabályozás kimenetét pedig a 16. ábra mutatja. Az ugrásválasz paraméterei: a szabályozási idő $t_s = 27\,sec$, a túllövési idő $t_1 = 25\,sec$, míg a túllövés $\sigma_1 = 4{,}3\%$.



15. ábra: A Kessler módszer modulusz kritériuma alapján megtervezett PI szabályozó implementálása Simulinkben



16. ábra: A Kessler módszer modulusz kritériuma alapján megtervezett PI szabályozás eredménye

3.2. Szimmetrikus kritérium

A Kessler módszer szimmetrikus kritériuma alapján történő szabályozástervezés a 4. táblázat alapján történik.

Folyamat $T_1 > T_\Sigma$	Szabályozó típusa		Paraméterek relációi	Észrevé-tel
$\frac{K_P}{s(1+sT_\Sigma)}$	$\frac{K_R}{s}(1+sT_r)$ $K_R = \frac{K_r}{T_r}$	PI	$K_R = \frac{1}{8T_\Sigma^2 K_P}$ $T_r = 4T_\Sigma$	$t_s = 16{,}5\ T_\Sigma$ $t_1 = 3{,}1\ T_\Sigma$ $\sigma_1 = 43{,}4\ \%$

4. táblázat: Segédtáblázat a Kessler módszer szimmetrikus kritériumán alapuló szabályozás tervezéséhez

A szabályozó tervezése a korábbi példákéhoz hasonlóan történik.

Az előadás összefoglalása

Az előadáson az empirikus, tehát tapasztalati úton kifejlesztett szabályozások két csoportjával foglalkoztunk: a Ziegler-Nichols és a Kessler módszerekkel. Az alapvető különbség közöttük az, hogy Ziegler-Nichols módszerekkel szabályozott rendszerek tartalmazhatnak holtidőt, míg a Kessler módszer ezt nem engedi meg. Ha mégis Kessler módszert szeretnénk alkalmazni holtidős rendszerek esetén, akkor előbb a holtidőt egy megfelelő átviteli függvénnyel közelíteni kell.

A Ziegler-Nichols módszernek két típusával foglalkoztunk. A stabilitás határának elérésén alapuló szabályozás esetén feltételeztük, hogy a rendszer átviteli függvényét ismerjük és a rendszerre vizsgálójelet tudunk adni. Itt külön megemlítettük, hogy kritikus rendszerek esetén nem alkalmazható a módszer. Ha azonban nem ismerjük a rendszer átviteli függvényét, de rendelkezésünkre áll a rendszer ugrásválasza (vagy mi magunk le tudjuk mérni), akkor alkalmazhatjuk a kísérleti identifikáción alapuló módszer.

A Kessler módszer esetén szintén két különböző típust különböztettünk meg az alapján, hogy a szabályozandó szakasz tartalmaz-e szabad integrátort. Ha tartalmaz, szimmetrikus kritériumot kell használnunk, ha nem tartalmaz szabad integrátort, akkor viszont a modulusz kritériumot kell használnunk.

Ellenőrző kérdések

1. Mi a Ziegler-Nichols stabilitás határának elérésén alapuló szabályozás lényege?

2. Mi a Ziegler-Nichols kísérleti identifikáción alapuló szabályozás lényege?

3. A Kessler módszer milyen rendszerek esetén alkalmazható? Mi van, ha nem teljesül a feltétel?

4. Mi a kis időállandók tétele, hol alkalmazzuk?

5. Mikor alkalmazzuk a Kessler szimmetrikus kritériumot, és mikor a modulusz kritériumot?