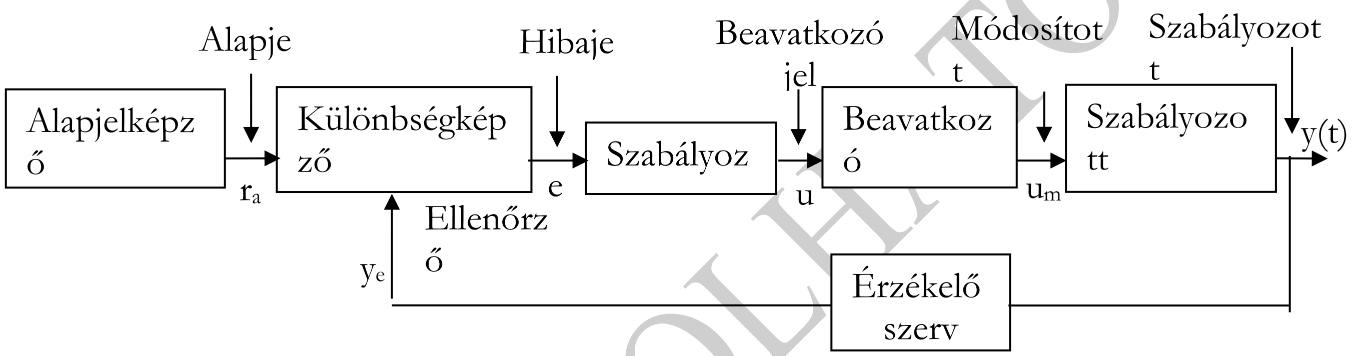
Hagyományos szabályozók tervezése

Szabályozók

Az irányítási rendszerek legjellegzetesebb információfeldolgozási feladatát a szabályozók végzik.

A szabályozó a szabályozási körnek az a része, amely összehasonlítja a szabályozott jellemzőből származó ellenőrző jelet az alapjellel, és a megállapított szabályozási eltéréstől (hibától) függően befolyásolja a beavatkozó, illetve a módosított jellemzőt. A szabályozó elhelyezését és feladatát a 0.2 -es ábra illusztrálja.



0.2 ábra – A szabályozási kör

A szabályozó tehát, a következő alapvető funkciókat látja el:

- fogadja az érzékelő szerv által szolgáltatott, és a szabályozott jellemzőtől függő ellenőrző jelet,
- létrehozza az alapjel, és az ellenőrző jel közötti különbséget,
- a hibajellel olyan jelformálást végez, hogy a módosított jellemző változását kiváltó, és a szabályozó kimenetén megjelenő beavatkozó jel, olyan módosítást eredményezzen, hogy a szabályozási rendszer az előírt minőségi követelményeknek megfeleljen.

Minden szabályozó legalább három funkcionális szerkezeti részből áll: alapjelképző-, különbségképző- és jelformáló szervből.

A különbségképző szerv, csak olyan jellemzőket tud egymással egybevetni, csak olyan jellemzők között tud különbséget képezni, amelyek fizikai szempontból azonosak tehát például hosszúságok, feszültségek, erők, azonosan kódolt digitális imformációk stb., különbségét képezheti.

A szabályozó jelformálását leíró u(e) függvénykapcsolat, általános esetben nemlineáris differenciálegyenlettel jellemezhető. A lineárisnak tekinthető szabályozott szakaszok szabályozására, többnyire relatív egyszerű felépítésű, folytonos vagy mintavételezett, lineáris vagy állásos jelátvitelű szabályozókat is alkalmazhatunk.

A folytonos szabályozókat, a szabályozástechnikai gyakorlatban, rendszerint az időkéséses a PID szabályozási algoritmus egyes változatainak megszerkesztésével szokták megvalósítani.
A PID szabályozási algoritmus differenciálegyenletéből:

$$\ldots A_3 \frac{d^2u(t)}{dt^2} + A_2 \frac{du(t)}{dt} + A_1u(t) = B_0 \int_0^t e(\tau)d\tau + B_1e(t) + B_2 \frac{de(t)}{dt}$$

kiolvasható, hogy a rendelkező jel a hibajellel, annak integráljával, és differenciálhányadosával arányos. A jelformálást több energiatároló is késleltetheti. Egyszerűbb esetekben az energiatárolók elhanyagolhatóak, így a PID szabályozási algoritmus leegyszerűsített differenciálegyenlete:

$$A_1u(t) = B_0 \int_0^t e(\tau)d\tau + B_2 \frac{de(t)}{dt}$$

Rendezés után felírható:

$$u(t) = \frac{B_1}{A_1}\left[e(t) + \frac{B_0}{B_1A_1}\int_0^t e(\tau)d\tau + \frac{B_2}{B_1A_1}\right]$$

és a:

$\frac{B_1}{A_1} = K_P$, szabályozó átviteli tényezője (erősítése)

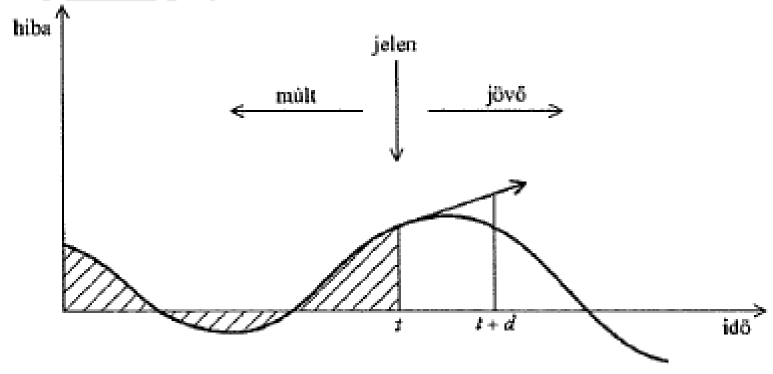
$\frac{B_0}{B_1A_1} = A_I = \frac{1}{T_I}$, integráló tag átviteli tényezője (T_I -integrálási idő),

$\frac{B_2}{B_1A_1} = A_0 = T_D$, differenciáló tag átviteli tényezője (T_D -differenciálási idő)

jelöléseket bevezetve, az energiatárolómentes PID szabályozó átviteli függvénye, a következő módon írható fel:

$$W_r(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_P\left[1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s\right]$$

Ideális PID szabályzó



$$C_{PID} = A_P\left(1+\frac{1}{sT_I}+sT_D\right)$$

A_P - arányos átviteli tényező

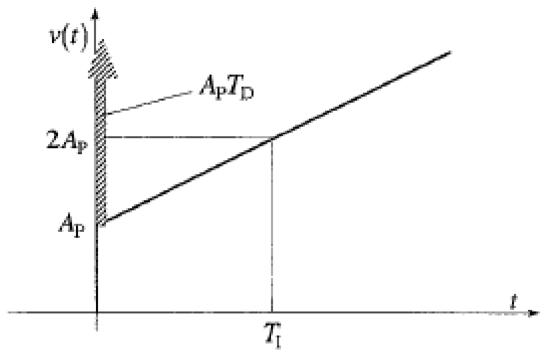
T_I - az integrálási idő

T_D - a differenciálási idő

$$C_{PID} = A_P + K_I\frac{1}{s}+K_D s$$

$$C_{PID} = \frac{A_P}{T_I}\frac{1+sT_I+s^2T_IT_D}{s}$$

$$u_{PID}(t) = \mathscr{L}^{-1}\left\{\frac{1}{s}C_{PID}(s)\right\} = A_P + \frac{A_P}{T_I}t + A_PT_D\delta(t)$$



$$u(t) = A_Pe(t)+K_I\int_0^t e(\tau)d\tau + K_D\frac{de(t)}{dt}$$

- P szabályozó átviteli függvénye $W_r(s)=K_p$

A legegyszerűbb szabályozó a P szabályozó. A szabályozó K_p erősítése állítható. A P szabályozó a hibával arányos irányító hatást a hiba fellépésének pillanatában megjeleníti. Arányos szabályozási szakaszok esetében a szabályozó csak állandósult állapoti hibával tud működni. Az erősítés növelésével csökken az állandósult állapoti hiba, növekszik a jel beállási sebessége ezért túllendülés vagy lengés állhat elő.

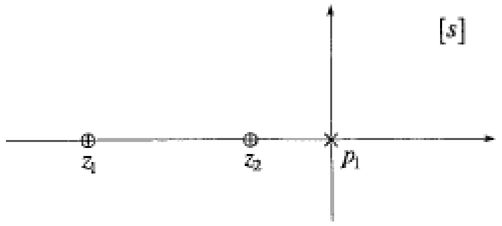
- PI szabályozó átviteli függvénye $W_r(s)=K_p\left(1+\frac{1}{T_is}\right)$

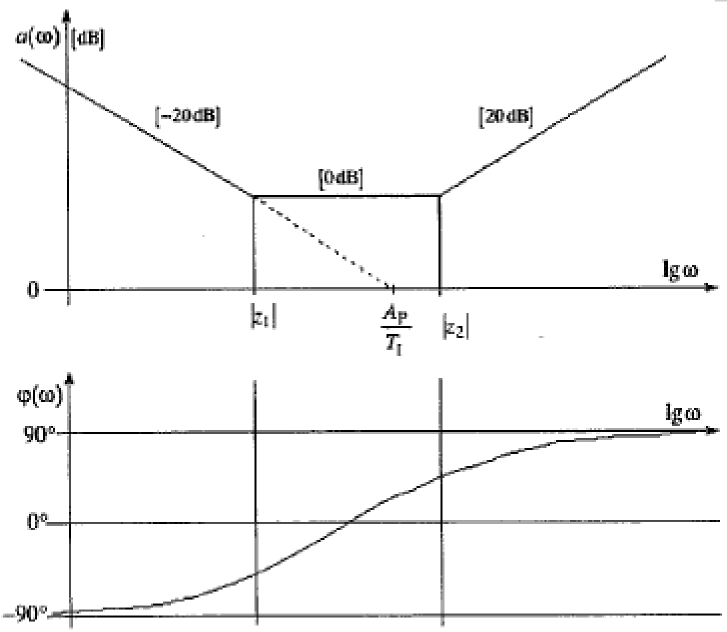
  A PI szabályozó esetében a K_p erősítés és a T_i integrálási idő állítható. A PI szabályozó az arányos szabályozási szakaszok esetében is állandósult hiba nélkül működik. Az erősítés növelése növeli a túllendülést vagy stabil illetve instabil lengést is előidézhet.

- PID szabályozó átviteli függvénye $W_r(s)=K_p\left(1+\frac{1}{T_is}+T_ds\right)$

A PID szabályozó esetében a K_p erősítés a T_i integrálási idő és a T_d differenciálási idő állítható. A kimenőjel a hibajel differenciálhányadosával is arányos, így gyorsan növekvő hibákra az arányos értéket meghaladó túlvezérléssel reagál, de ezt már a hiba változási sebességének csökkenésekor ill. megfordulásakor nagyrészt visszaveszi anélkül, hogy magának a hibának a csökkenését megvárná.

Amennyiben $T_I \geq 4T_D$, akkor a két zérus a valós tengely negatív részén találhatók.





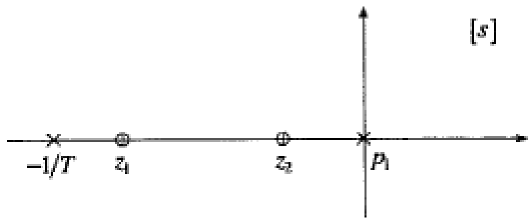
A közelítő PID szabályozó

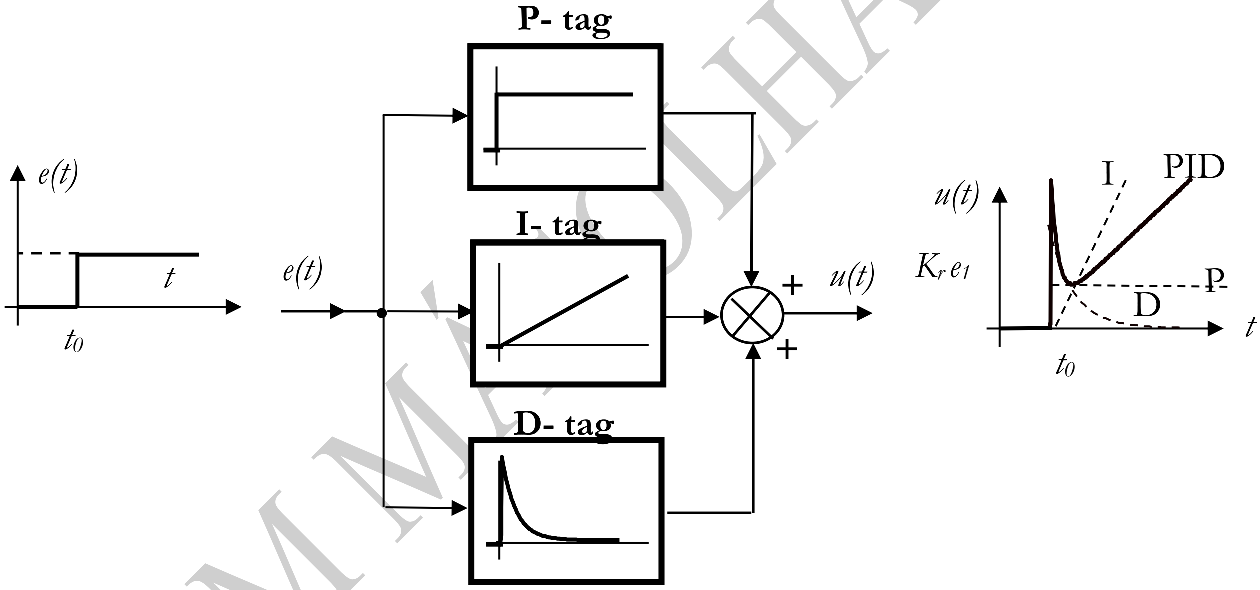
A D tagot egy kis időállandójú egytárolós taggal helyettesítjük.

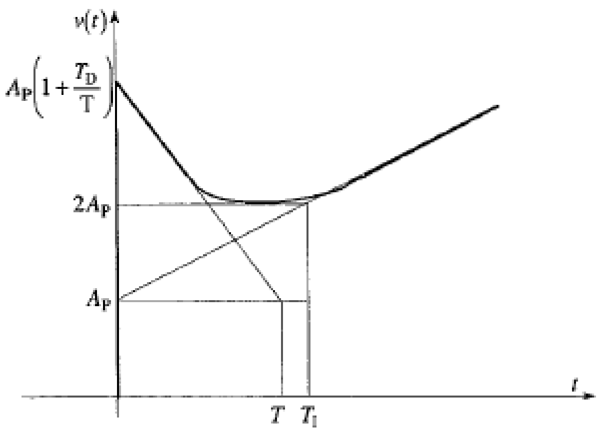
$$C_{PID} = A_P\left(1+\frac{1}{sT_I}+sT_D\right) \rightarrow \widehat{C}_{PID} = A_P\left(1+\frac{1}{sT_I}+\frac{sT_D}{1+sT}\right)$$

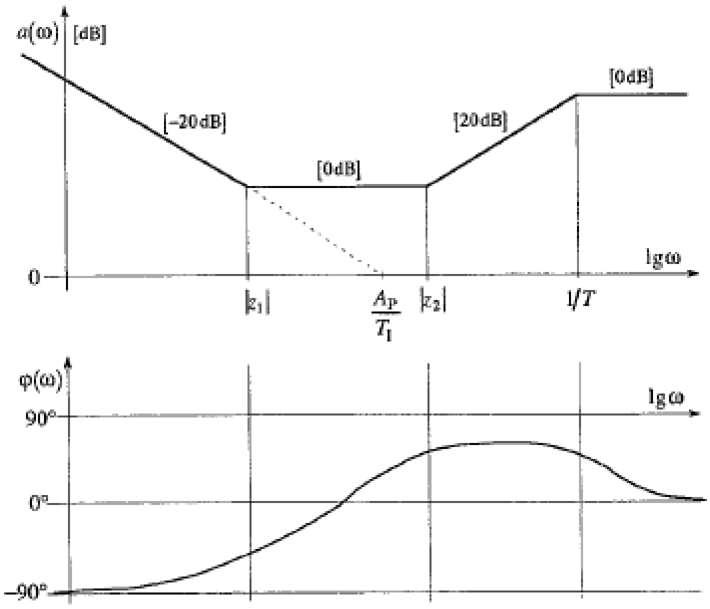
$$\widehat{C}_{PID} = \frac{A_P}{T_I}\frac{1+s\left(T_I+T\right)+s^2T_I\left(T_D+T\right)}{s\left(1+sT\right)}$$

Amennyiben $T_D \le \dfrac{(T_I - T)^2}{4T_I}$, akkor a két zérus a valós tengely negatív részén találhatók.









Matlabban több megadási mód lehetséges:

$$C = K_p\left(1+\frac{1}{T_i}\frac{1}{s}+\frac{T_d s}{\frac{T_d}{N}s+1}\right).$$

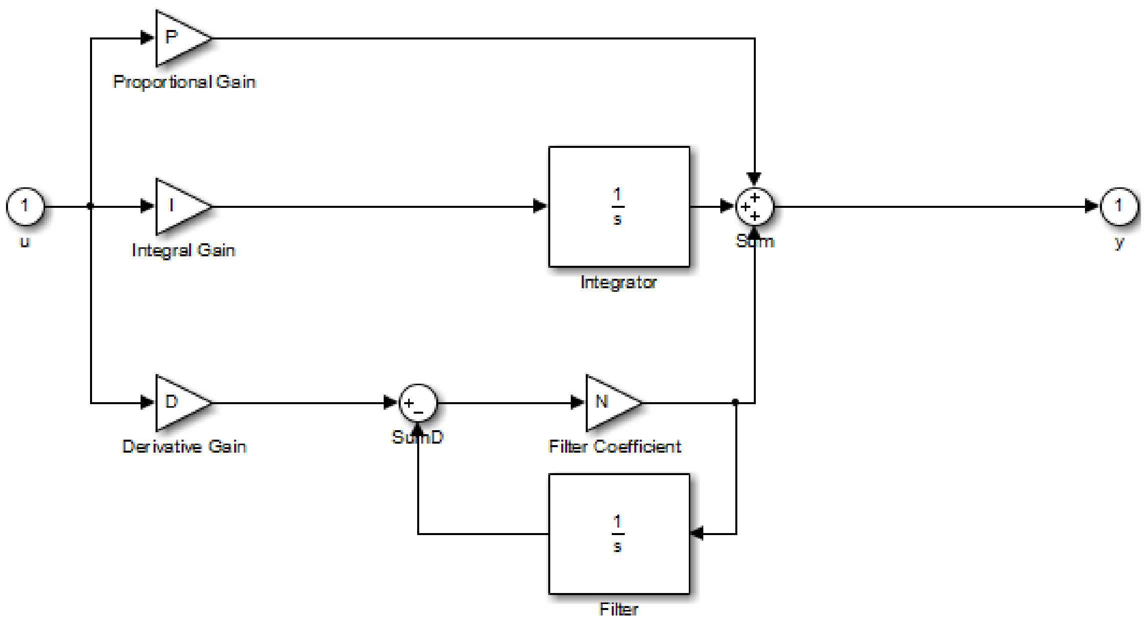
a valós : a megadás: pidstd(Kp,Ti,Td,N)

$$C = K_p + \frac{K_i}{s} + \frac{K_d s}{T_f s+1}.$$

megadása: pid(Kp,Ki,Kd,Tf)

Simulink:

$$C_{par}(s) = \left[P + I\left(\frac{1}{s}\right) + D\left(\frac{Ns}{s+N}\right)\right]$$



PID szabályozók hangolásának tapasztalati módszerei

A szabályozók beállítására több szerző tett közé általános szabályt. Néhány szabály beállítási viszonyai és alkalmazási lehetőségei a következők:

A rendszerátviteli függvénye	**A szabályzó beállítási módszer**
$W(s)=\dfrac{K_{ob}}{1+sT_{ob}}e^{-s\tau_{ob}}$	• Tapasztalati módszer • Oppelt módszer • Chien-Hrones-Reswick módszer • Kessler módszer • Samal módszer • Ziegler-Nichols módszer
$W(s)=\dfrac{K_{ob}}{(1+sT_1)(1+sT_2)}$	• Kessler módszer
$W(s)=\dfrac{K_{ob}}{1+2\xi Ts+T^2s^2}$	• Ziegler-Nichols módszer

A szabályozó matematikai modellje: $C_{PID}=A_P\left(1+\dfrac{1}{sT_I}+sT_D\right)$, $A_P=\dfrac{K_p}{K_{ob}}$

minden esetben az alábbi táblázatokbaól.

Tapasztalati módszer

Szabályozó tipusa	**A szabályozó paraméterei**		
	K_p	**T_i**	**T_d**
P	$\le\dfrac{T_{ob}}{\tau_{ob}}$	∞	0
PI	$\le 0.9\dfrac{T_{ob}}{\tau_{ob}}$	$>3.3\tau_{ob}$	0
PD	$\le 1.2\dfrac{T_{ob}}{\tau_{ob}}$	∞	$<0.25\tau_{ob}$
PID	$\le 1.2\dfrac{T_{ob}}{\tau_{ob}}$	$>2\tau_{ob}$	$<0.5\tau_{ob}$

Chien-Hrones-Reswick módszer

- Értéktartó szabályozás

Szabályozó tipusa	A szabályozó paraméterei			Az átmenet alakja
	K_p	**T_i**	**T_d**	
P	$0.3\dfrac{T_{ob}}{\tau_{ob}}$	∞	0	kúszó (aperiodikus) átmenet
	$0.7\dfrac{T_{ob}}{\tau_{ob}}$	∞	0	20% -os túllendülés
PI	$0.6\dfrac{T_{ob}}{\tau_{ob}}$	$4\tau_{ob}$	0	kúszó (aperiodikus) átmenet
	$0.7\dfrac{T_{ob}}{\tau_{ob}}$	$2.3\tau_{ob}$	0	20%-os túllendülés
PID	$0.95\dfrac{T_{ob}}{\tau_{ob}}$	$2.4\tau_{ob}$	$0.42\tau_{ob}$	kúszó (aperiodikus) átmenet
	$1.2\dfrac{T_{ob}}{\tau_{ob}}$	$2\tau_{ob}$	$0.42\tau_{ob}$	20%-os túllendülés

- Követő szabályozás

Szabályozó tipusa	A szabályozó paraméterei			Az átmenet alakja
	K_p	**T_i**	**T_d**	
P	$0.3\dfrac{T_{ob}}{\tau_{ob}}$	∞	0	kúszó (aperiodikus) átmenet
	$0.7\dfrac{T_{ob}}{\tau_{ob}}$	∞	0	20%-os túllendülés
PI	$0.35\dfrac{T_{ob}}{\tau_{ob}}$	$1.2T_{ob}$	0	kúszó (aperiodikus) átmenet
	$0.6\dfrac{T_{ob}}{\tau_{ob}}$	T_{ob}	0	20%-os túllendülés
PID	$0.6\dfrac{T_{ob}}{\tau_{ob}}$	T_{ob}	$0.5\tau_{ob}$	kúszó (aperiodikus) átmenet
	$0.95\dfrac{T_{ob}}{\tau_{ob}}$	$1.35T_{ob}$	$0.47\tau_{ob}$	20%-os túllendülés

Kessler módszere

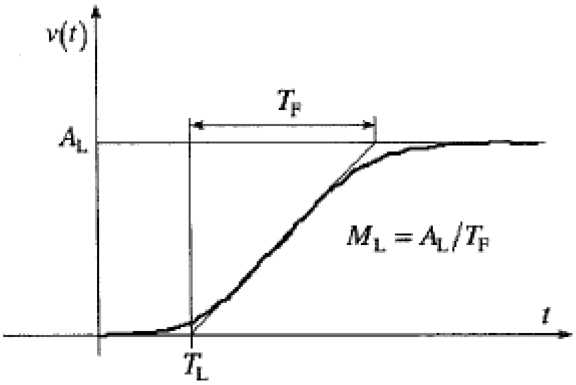
Szabályozó tipusa	A szabályozó paraméterei		
	K_p	T_i	T_d
P	$\approx \dfrac{\left(\dfrac{T_{ob}}{\tau_{ob}}\right)^2}{1+2\dfrac{T_{ob}}{\tau_{ob}}}$	∞	0
PI	$\approx \dfrac{1}{2}\dfrac{T_{ob}}{\tau_{ob}}+\dfrac{1}{12}\dfrac{\tau_{ob}}{T_{ob}}$	$\approx T_{ob}\left[1+\dfrac{1}{6}\left(\dfrac{\tau_{ob}}{T_{ob}}\right)^3\right]$	0
PID	$\approx \dfrac{3}{4}\dfrac{T_{ob}}{\tau_{ob}}+\dfrac{1}{4}+\dfrac{1}{80}\dfrac{\tau_{ob}}{T_{ob}}$	$\approx T_{ob}+\dfrac{1}{3}\tau_{ob}$	$\approx \dfrac{1}{4}T_{ob}\left[1+\dfrac{1}{20}\left(\dfrac{\tau_{ob}}{T_{ob}}\right)^2\right]$

Ziegler – Nichols módszer

A rendszer belengetésével:

Szabályozó tipusa	A szabályozó paraméterei		
	K_p	T_i	T_d
P	0.5 K_{krit}	∞	0
PI	0.45 K_{krit}	0.85 T_{krit}	0
PID	0.6 K_{krit}	0.5 T_{krit}	0.125 T_{krit}

Átmeneti függvény alapján:

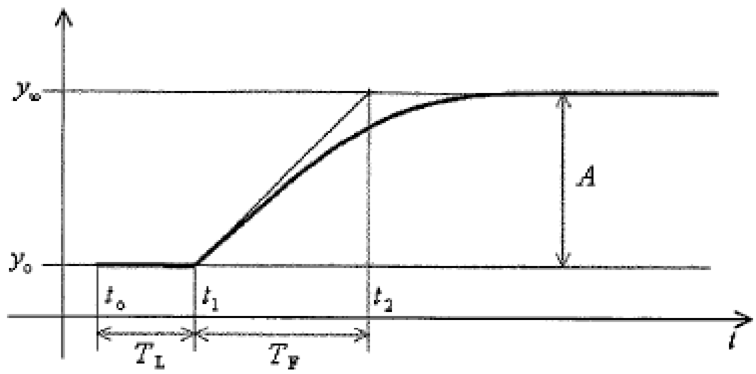


A ZIEGLER-NICHOLS féle szabályozó beállítás (II)

Szabályozó	T_I	T_D	A_P
P			$1/T_L M_L$
PI	$3T_L$		$0.9/T_L M_L$
PID	$2T_L$	$0.5T_L$	$1.2/T_L M_L$

Oppelt módszer

$$\hat{P}(s) = \frac{A_L}{1+sT_F} e^{-sT_L} \quad ; \quad A_L = \frac{y_\infty - y_o}{u_\infty - u_o} \quad , \quad T_L = t_1 - t_o \quad \text{és} \quad T_F = t_2 - t_1 .$$



Az OPPELT-féle szabályozó beállítás

Szabályozó	$A_P M_L T_L$	T_I/T_L	T_D/T_L
P	1		
PD	1.2		0.25
PI	0.8	3	
PID	1.2	2	0.42