

# Önhangoló PID irányítás

## 1. A gyakorlat célja

A Ziegler-Nichols hangolás és az önhangoló PID szabályozó elvének bemutatása. A hangolás elvégzése szimulációs környezetben. A módszer demonstrálása valós időben kemence hőmérsékletszabályozásának keretében.

## 2. Elméleti bevezető

### 2.1 A Ziegler-Nichols módszer

A Ziegler-Nichols módszert csak olyan folyamatoknál lehet alkalmazni, amelyeknél a technológia megengedi, hogy a szabályozási kört a stabilitás határán működtessük.

A hangolási módszernél nem szükséges ismerni a rendszer válaszát.

A hangoláshoz a szabályozási körből kiiktatjuk az integráló és deriváló csatornát a ( $T_i = \infty$ ,  $T_d = 0$  paraméterezéssel). Így a szabályozó egy erősítőre redukálódik (P szabályozó). A szabályozó  $K_p$  erősítését nulláról kell növelni addig, amíg a zárt rendszer eléri a stabilitás határát. A stabilitás határán állandósult állapotban a folyamat kimenete szinuszosan leng az alapjel körül. Jelölje  $K_{pkrit}$  a *kritikus erősítést*, vagyis a szabályozó erősítését a konstans amplitúdójú lengések bekövetkeztekor. Jelölje  $T_{krit}$  a *kritikus periódust*, a konstans amplitúdójú lengések periódusát. A szabályozó hangolása ezen értékek alapján történik.

1 Táblázat: Ziegler-Nichols módszer - hangolás

P	$K_p = 0.45 K_{pkrit}$	-	-
PI	$K_p = 0.45 K_{pkrit}$	$T_i = 0.85 T_{krit}$	-
PID	$K_p = 0.6 K_{pkrit}$	$T_i = 0.5 T_{krit}$	$T_D = 0.12 T_{krit}$

A szabályozási kör csillapítása az 1 Táblázat alapján is  $\zeta = 0.25$ , ami 40% körüli túllövést eredményez.

Mintavételes megvalósításnál a mintavételi periódust  $T \cong (0.1 \dots 0.3) T_{krit}$  körüli értékre kell választani.

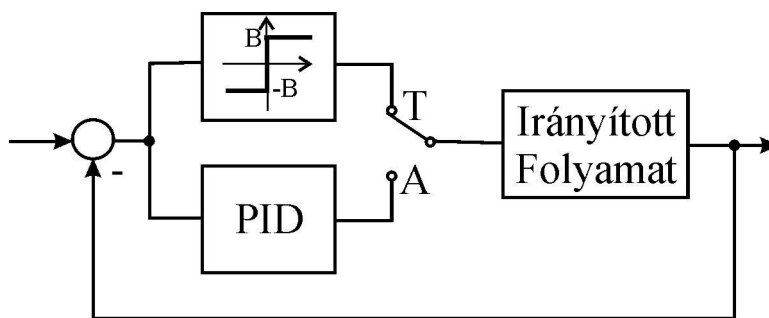
A hangolás előnye, hogy nincs szükség az egységugrásra adott válaszra, az egyetlen paraméter, amit a folyamatról ismerni kell a  $T_{krit}$ . A hátránya egyrészt hogy a szabályozási rendszert el kell vinni a stabilitás határára, másrészt, hogy ha az irányított folyamat lassú, a hangolás időigényes. Másik előnye, hogy a kidolgozott táblázat használható az önhangoló szabályozások megvalósításánál.

## 2.2 Önhangoló PID szabályozók

Az önhangoló szabályozók képesek a saját paramétereik meghatározására, ami jelentősen megkönnyíti használatukat. A szabályozó maga határozza meg azokat a folyamatra jellemző paramétereket, amelyek alapján a szabályozóparaméterek kiszámíthatóak. Így az önhangoló szabályozók esetében induláskor van egy úgynevezett *hangolási üzemmód* (*Tuning*) amikor a szabályozó megméri/kiszámítja a folyamat azon paramétereit, amelyek szükségesek a szabályozóparaméterek meghatározásához, majd meg is határozza ezeket. Ezután átkapcsol *önműködő üzemmódba* (*Automat*), amely során a felparaméterezett szabályozó irányítja a folyamatot zárt hurokban.

Az önhangoló PID szabályozók egy típusa a Ziegler-Nichols módszer alapján határozza meg a szabályozóparamétereket. E módszer esetében a hangolás is zárt rendszerben történik. A hangolás alatt egy P szabályozó erősítését kell növelni, amíg a folyamat kimenete leng, a zárt rendszer stabilitás határára jut, majd a szabályozó erősítése és a lengések periódusa alapján meghatározható.

Az önhangoló PID szabályozó ugyancsak a kritikus erősítés és periódus alapján számolja ki a szabályozóparamétereket, de anélkül, hogy eljuttatná a rendszert a stabilitás határára. Ehhez egy kétállású (*ON-OFF*) szabályozót alkalmaz. Így a szabályozóban párhuzamosan egy PID és egy kétállású szabályozó van (lásd 1. Ábra).



1. Ábra: Önhangoló PID szabályozó

A hangolás üzemmódban a kétállású szabályozó aktív. Ezzel a szabályozóval a folyamat kimenete állandósult állapotban is lengeni fog az előírt érték körül a nagyenergiájú kapcsoló üzemmódú szabályozás és a folyamat tehetetlensége miatt. Ugyanakkor a rendszer nincs a stabilitás határán, a kétállású szabályozó biztosítja, hogy a szabályozási kör ne váljon instabillá.

A hangoláshoz először meg kell határozni azt az *ekvivalens P szabályozót*, amely a stabilitás határán a kétállású szabályozó által generált lengéseket képes létrehozni. Feltételezzük, hogy a kétállású szabályozó kimenete  $\pm B$  értékeket vehet fel. A folyamat kimenetén az állandósult állapotbeli lengések amplitúdója  $a$ . A kritikus erősítés:

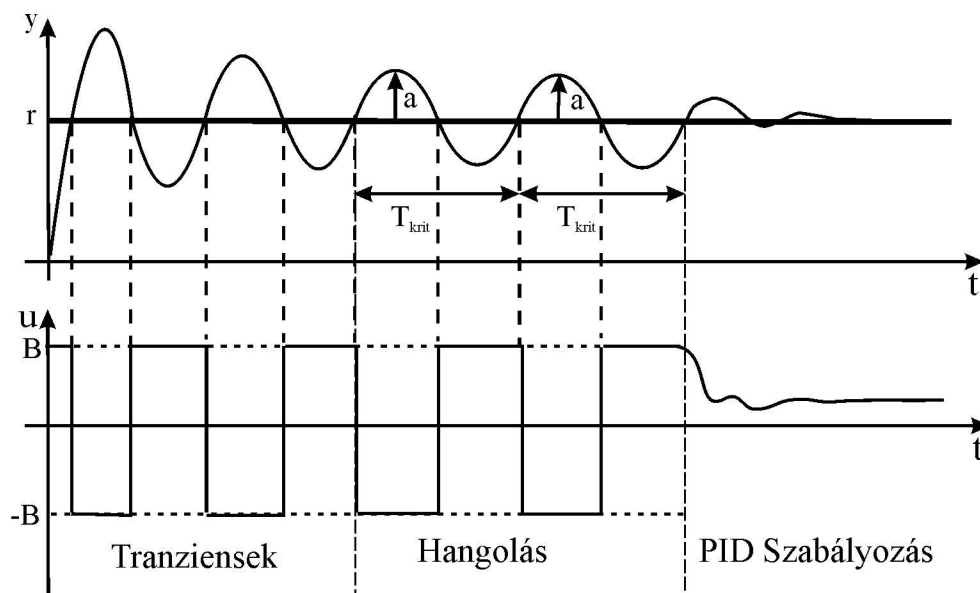
$$K_{pkrit} = \frac{4B}{a\pi}$$

Az önhangoló PID működése:

- A szabályozás kétállású szabályozóval indul.
- A tranziensek lecsengése után a szabályozó megméri a lengések periódusát ( $T_{krit}$ ) és a lengések amplitúdóját ( $a$ ).
- A (6.20) összefüggés alapján kiszámolja a kritikus erősítést ( $K_{pkrit}$ ).
- A kritikus erősítés és kritikus periódus alapján a 6.2 Táblázat felhasználásával meghatározza a PID szabályozó paramétereit.
- Átkapcsolás PID szabályozásra.

Mivel mérési zajokra számíthatunk, a lengések periódusának és amplitúdójának meghatározásánál fontos, hogy a mért jelet szűrjük, valamint a mérést több lengéscikluson keresztül ismételjük meg, az amplitúdót és periódust több mérés átlagaként számítsuk.

A 2 Ábrán az önhangoló PID szabályozó tipikus válasza látható.



2 Ábra: Önhangoló szabályozás (folyamat kimenete, beavatkozó jel)

### 3. A mérés menete

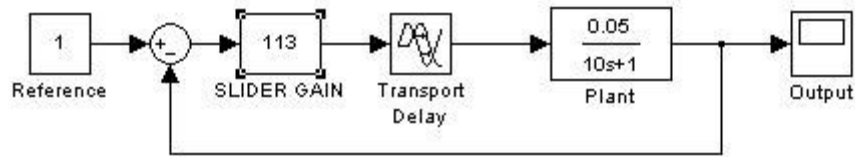
#### 3.1 Szimulációs feladatok:

Legyen az alábbi elsőfokú rendszer holtidős rendszer:

$$H_k(s) = \frac{K_k}{T_k s + 1} e^{-\tau s}$$

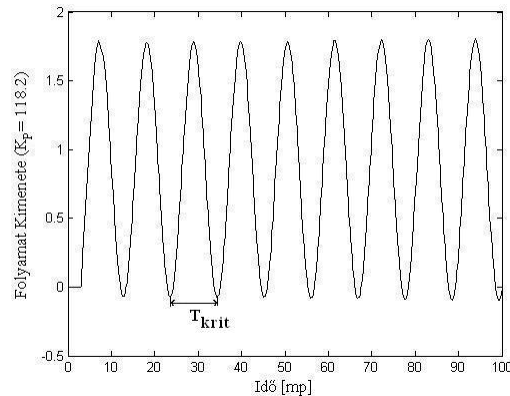
A rendszer paramétereit: A folyamat erősítése  $K_F=0.05$ , a folyamat időállandója  $T_F=10$  másodperc (mp) a folyamat holtideje  $\tau=3$  mp.

- Készítsük el a 3 Ábrán látható szimulációs blokkot. A *Slider Gain*-t állítható erősítésű P szabályozóként alkalmazzuk. A *Slider Gain* paramétereit az alábbi módon válasszuk meg: *MIN: 100, MAX: 120*. A szimuláció során állítsuk a szimulációs megállási időt végtelenre (*inf*).



3 Ábra: Szimulációs modell a Ziegler Nichols hangoláshoz

- Határozzuk meg a kritikus erősítést és periódust: folyamatosan növeljük az erősítést, és amikor azt tapasztaljuk, hogy a folyamat kimenete konstans amplitúdóval leng állítsuk meg a szimulációt. Olvassuk le a folyamat kimenetéről az amplitúdót és a periódust.



4. Ábra: P szabályozás – a folyamat válasza a stabilitás határán

- Szabályozó hangolása: A kritikus periódus és erősítés felhasználásával az 1. táblázat alapján hangoljuk be a PID szabályozót. Cseréljük le a *Slider Gain* blokkot PID szabályozóra és teszterjük a szabályozási rendszert P, PI PID szabályozóra.

### 3.2 Az önhangoló szabályozó vizsgálata valós időben

Az önhangoló szabályozást kemence hőmérséklet szabályozásának keretében vizsgáljuk. A kemence az 5. Ábrán látható. A kemencét a falában elhelyezett ellenállások melegítik. Az ellenállásra a feszültséget egy szilárdtest relével kapcsoljuk. A kapcsolást impulzus szélesség modulált jellel (PWM) végezzük, így analóg módon tudunk beavatkozni a kemence hőmérséklet szabályozásába. A hőmérsékletet egy K típusú hőelemmel végezzük.

A kemence szabályozását egy HAGA PID szabályozóval végezzük. A szabályozó egy PIC 16-os családjú mikrovezérlővel van megoldva: A mikrovezérlő szoftverében egy önhangoló PID algoritmus van leimplementálva ugyanakkor a szabályozó egy interaktív menürendszerrel is szolgál a felhasználónak.



5. Ábra: Kemence önhangoló szabályozás tesztelésére

Feladatok:

- A melléklet alapján kösse be a szabályozóba az érzékelőt (hőelem) és a beavatkozót (szilárdtest relé).
- Ismerkedjen meg a szabályozó menürendszerével. Állítsa be az érzékelő típusát (K hőelem). Olvassa ki az aktuális szabályozó paramétereit.
- Indítsa el az önhangolást a szabályozóval és figyelje meg az önhangolás folyamatát.

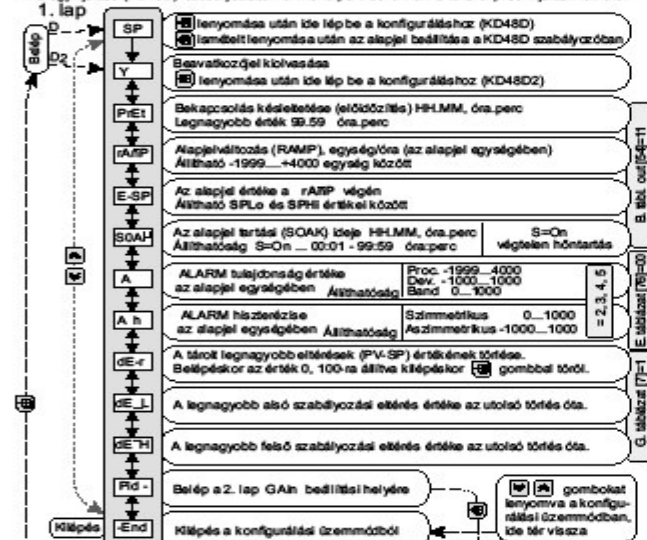
### 4. Kérdések és feladatok

1. Hasonlítsa össze a Ziegler Nichols módszerrel hangolt szabályozási rendszer válaszát az Opelt módszerrel hangolt szabályozási rendszer válaszával.
2. Dolgozza ki az önhangoló PID szabályozó algoritmusát, ha az önhangolás nem a Ziegler – Nichols, hanem az Opelt módszer alapján történik.
3. Milyen más hőmérséklet érzékelőt lehetne használnia 0-1000°C hőmérséklettartományban a kemence vezérléséhez?



Az egykijelző (KD48D) szabályozóban a [M] vagy a [A] lenyomása után az SP jelenik meg villogva és 5 másodpercig látható és állítható. A utolsó állításról 5 másodperc múlva visszatér PV-re.

lenyomása után belép a konfigurációba. A kétkijelzős (KD48D2) szabályozó előtáplálás a zóid kijelzőn a menü-port jelenik meg villogva és annak értéke a piros kijelzőn látható. A [M] lenyomása után a zóid kijelző villogása megszűnik és a piros kijelző állítható a [M] [A] gombokkal. A menü-pontok között a [M] [A] gombokkal mozoghat. Az egykijelzős (KD48D) szabályozóban a menü-port és annak értéke a piros kijelzőn látható.



**A. táblázat** INP kapcsolók

7	6	5	4	3	2	1	0	A. táblázat	INP kapcsolók
0	0	0	0	0	0	0	0	0	Előretöltés (PV) kerítés nélkül
0	0	0	0	0	0	0	1	0	Előretöltés kerítés 5-re
1	0	0	0	0	0	0	0	1	Előretöltés kerítés 10-re
1	1	0	0	0	0	0	0	1	Előretöltés kerítés 50-re
1	1	0	0	0	0	0	0	0	Hőmérséklet egység CELSIUS
1	1	0	0	0	0	0	0	1	Hőmérséklet egység FAHRENHEIT
0	0	0	0	0	0	0	0	0	Nincs üzemmód
0	0	0	0	0	0	0	0	1	Tízdecimális " " formában
1	0	0	0	0	0	0	0	1	Tízdecimális " " formában
1	1	0	0	0	0	0	0	1	Tízdecimális " " formában
1	1	0	0	0	0	0	0	0	Ajánlott bemeneti szűrő 14s EPID(7) = 1 esetén 0s
1	1	0	0	0	0	0	1	0	Erős bemeneti szűrő 24s EPID(7) = 1 esetén 7s
1	1	0	0	0	0	0	0	1	→ Hőmérő bemenetnek a jobb oldali táblázat érvényes
0	0	0	0	0	0	0	0	0	T hőelem (Cu-CuNi) -50...400 E hőelem (Ni-CuNi) -50...900
0	0	0	0	0	0	0	0	1	J hőelem (Fe-CuNi) -50...900 L hőelem (Ni-CuNi) -50...1000
0	0	0	0	0	0	0	1	0	K hőelem (NiCr-Ni) -50...1300 N hőelem (NiCr-Ni) -50...1300
0	0	0	0	0	0	0	1	1	S hőelem (PtRh10-Pt) -50...1600 R hőelem (PtRh10-Pt) -50...1600
1	0	0	0	0	0	0	0	0	Pt100/385 (DIN) -50...840 JP100/382 -50...840
1	0	0	0	0	0	0	1	0	KTY termisztor -40...150 NI100 -40...200
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0-20 mA 0-2000 Ohm 0-200 mV skálázható 0...2000
1	1	0	0	0	0	0	1	0	4-20 mA skálázható 0...2000

**B. táblázat** out kapcsolók

7	6	5	4	3	2	1	0	B. táblázat	out kapcsolók
1	0	0	0	0	0	0	0	0	Az alapelj (SP) állítás töltése
1	0	0	0	0	0	0	0	1	E-HL hibajelzés engedélyezése SPLO=5%, PV SPHI=5% szerint
0	0	0	0	0	0	0	0	0	Auto-lead (HAND) átkapcsolás
0	0	0	0	0	0	0	0	1	Ónhangolás időtusa (megjegyzés a lap alján)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	Üzem mód bemenet
1	0	0	0	0	0	0	0	1	Szabályozás be-kikapcsolása
1	0	0	0	0	0	0	0	1	Program szabályozás töltése és kiállítása
1	0	0	0	0	0	0	0	0	A beavatkozási (Y) korlátozása az ALARM3 állapota szerint
1	0	0	0	0	0	0	0	1	F töltés (fordított szabályozás)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	Hőmérséklet szabályozás
0	0	0	0	0	0	0	0	0	Jelzők szabályozás
0	0	0	0	0	0	0	0	1	Szabályozó jelzők cseréje 1 3 (STR-hez javasolt)
1	0	0	0	0	0	0	0	1	Szabályozás szelepszegítő motorral 1. típus
1	1	0	0	0	0	0	0	1	Szabályozás szelepszegítő motorral 2. típus

**C. táblázat** EPID kapcsolók

7	6	5	4	3	2	1	0	C. táblázat	EPID kapcsolók
0	0	0	0	0	0	0	0	0	PID-A a hibajelző képezi a D tagot $\chi_u = PV - SP$
0	0	0	0	0	0	0	0	1	PID-B az ellenőrzésből képezi a D tagot PV
1	0	0	0	0	0	0	0	1	PID-P automatikus átkapcsolás engedélyezése és hibajelzés
1	0	0	0	0	0	0	0	0	3.lap INP helyen kiválasztott szűrő hatás csökken
0	0	0	0	0	0	0	0	0	Normál broadcast kommunikáció többszorosítás masterhez
1	0	0	0	0	0	0	0	0	Kaszád szabályozó master
1	1	0	0	0	0	0	0	0	Delta T szabályozó master

**D. táblázat** dLin kapcsolók

7	6	5	4	3	2	1	0	D. táblázat	dLin kapcsolók
0	0	0	0	0	0	0	0	0	4-20 mA (1.5 V, 2-10 V) az analóg kimeneti jel értéke
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0-20 mA (0.5 V, 0-10 V) az analóg kimeneti jel értéke
0	0	0	0	0	0	0	0	0	Kaszád szabályozás master (külön ismertető szerint)
0	0	0	0	0	0	0	0	1	A vezetőjel (PV) értéke az analóg kimeneten
1	0	0	0	0	0	0	0	0	A beavatkozási (Y) értéke az analóg kimeneten
1	1	0	0	0	0	0	0	0	Az alapelj (SP) értéke az analóg kimeneten
1	1	0	0	0	0	0	0	1	A gyári adatok visszaillesztése, utána ismét 0000 -ra áll be

**E. táblázat** A d kapcsolók

7	6	5	4	3	2	1	0	E. táblázat	A d kapcsolók
1	0	0	0	0	0	0	0	0	Az 1. lapon az A. és A. h állítások nem láthatók, de működnek
1	0	0	0	0	0	0	0	1	Az 1. lapon az A. h állítások nem láthatók, de működnek
1	0	0	0	0	0	0	0	0	Az ALARM (jelző) alapjelzőkben van PV=SP első jeleszűrés
0	0	0	0	0	0	0	0	0	Szimmetrikus ALARM histerézis
1	0	0	0	0	0	0	0	1	Aszimmetrikus ALARM histerézis (+ felső, - alsó)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	Az ALARM fordított (inverz) üzemmódban működik
0	0	0	0	0	0	0	0	0	Riasztás (PROCESS) típusú ALARM
0	0	0	0	0	0	0	0	1	Ebénés (DEVIATION) típusú ALARM
0	0	0	0	0	0	0	0	1	Sáv (BAND) típusú ALARM
0	0	0	0	0	0	0	0	1	ALARM a hiba-kijelzés alatt aktív
1	0	0	0	0	0	0	0	0	ALARM bekapcsolás állapotban aktív (szabályozás üzemmódban)
1	0	0	0	0	0	0	0	1	ALARM az előidőzítés alatt aktív
1	1	0	0	0	0	0	0	0	ALARM a program "RAMP" ideje, vagy a hangolás alatt aktív
1	1	0	0	0	0	0	0	1	ALARM a program "SOAK" ideje, vagy a "HAND" alatt aktív

**F. táblázat** AL ALARM R2 2relé R3 3 relé

7	6	5	4	3	2	1	0	F. táblázat	AL ALARM R2 2relé R3 3 relé
000	000	000	000	000	000	000	000	000	R2 = AL2 logikai kapcsolat nélkül
001	001	001	001	001	001	001	001	001	R2 = AL2 vagy AL4
001	001	001	001	001	001	001	001	001	R2 = AL2 vagy AL4 vagy AL5
010	010	010	010	010	010	010	010	010	R2 = AL2 vagy AL4
011	011	011	011	011	011	011	011	011	R2 = AL2 vagy AL4
100	100	100	100	100	100	100	100	100	R2 = AL2 és AL4
101	101	101	101	101	101	101	101	101	R2 = AL2 és AL5
110	110	110	110	110	110	110	110	110	R2 = AL2 vagy (AL4 és AL5)
111	111	111	111	111	111	111	111	111	R2 = AL2 és (AL4 vagy AL5)

**G. táblázat** com kapcsolók (6543210 külön lapon)

7	6	5	4	3	2	1	0	G. táblázat	com kapcsolók (6543210 külön lapon)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	dE-r dE-L dE-H menüpontok engedélyezése az 1. lapon

**Műszaki adatok**

Tápl. adatok	85-265VAC, 48-400Hz, 120-375VDC
Teljesítményfelvétel	Egykijelzős (KD48D): 3 VA, kétkijelzős (KD48D2): 5 VA
Kijelző háttérvilágítás	Tápl. fesz: 7315mA Reléhez: 3A Biztosíték
Villamos szilárdság	Műsz. 61010-1, 2 szennyeződés-érf. fokozat, II. táblázatm. csop.
Szigetelés	A be- és kimenetek galvanikusan elválasztva. (STR kimenet nem)
Poroltóság	Jobb mint a mérési szobában 0.3%-ig
Hőmérséklet stabilitás	0.005%/K FS
Bemeneti felbontás	16 bit, 4 mbit/s
Relé kimenet	1 2 és 3 3A/230VAC 1 vagy 3A/30 VDC, 4 és 5 12V/10mA OPC
Védettség	Előtag: IP50, Hátag: IP20
Vezetékek megjelölése	Pt100 és KTY értékelőjelű automatikus 12 Ohm-ig (3 vezetékes)
Méret	Bőgő: 48x48 mm, mélység: 95 mm csatlakozóval
Tömeg	~100 g

**Tipusjel**

ALARM3	0	Kommunikáció	0	Egyéb	0
Nincs	0	Nincs	0	Nincs	0
Relé	1	RS-232	1	Tápl. fesz. tápl.	1
OPC	2	RS-485	2	Alapjelző	1
Armkimenet 0/4-20 mA	3	TTY	3	ALARM 4, 5	2
Feszültség kimenet 0/1-5 V	4			Működés	3
Feszültség kimenet 0/2-10 V	5				

Az ónhangolás lehetősége. A leggyerebb ónhangoláshoz egy impulzusos indítás el a hangolást. Olyan rendszerben ahol a tápellátás kár okozhat korlátozza a beavatkozási (Y) az Yd helyen belül értéke. Ehhez állítson out[3]=1-et. Az ALARM3 legyerebb tartomány az alapeljhez képest. Ezután hangoljon. A motoros szelepszegítő szabályozás ónhangoláshoz a szabályozó kéréseinek számolása ki a paramétereket. Y=15s esetén a hangolás a futási idő használatra nélkül töröltek. Y=15s esetén a hangolás a belül értéket figyelembe veszi.

**Jelnyelvényezés.** Hívkozási egy utasítás: 1.0/3.lap/LLO 1. oldalon, 3. lapon a LLO utasítás Hívkozási egy táblázat: 1.0/out[4]=01 1. oldalon, B. táblázatban (out), az 54 kapcsolók állása 01 A kapcsolók állásának jelzése: "0" "1" "00110011".

\*-gal jelöltek a több számról kettő helyre beállított helyeket és a táblázatban a beállítások helyének megjelölése megjegyzés menüpontban.



