Ipari kemencék PID irányítása

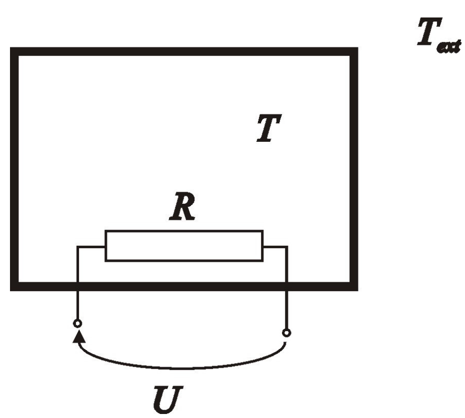
1. A gyakorlat célja:

Az ellenállással melegített ipari kemencék modelljének meghatározása. A Opelt PID tervezési módszer alkalmazása ipari kemencék irányítására. Az ipari kemencék szabályozási hurkának szimulációja.

2. Elméleti bevezető:

2.1. A kemence modellje

Ellenállással melegített kemencék egyszerűsített matematikai modelljét a kemence hőegyensúlya alapján lehet felírni: az ellenállás által termelt hő egy része eltárolódik a kemence tömegében, a többi pedig a hővezetés jelensége alapján átadódik a környezetnek.



1 Ábra: Ellenállással melegített kemence vázlata

Az ellenálláson termelődött hő *dt* idő alatt:

$$\Delta Q_i = \frac{U^2}{R} dt \qquad (1)$$

ahol *R* az ellenállás értéke, *U*- az ellenállásra kapcsolt feszültség.

A környezetnek leadott hő *dt* idő alatt:

$$\Delta Q_S = \lambda S(T - T_{ext})dt \tag{2}$$

ahol S a kemence felülete, λ a felület hővezetési állandója, T a hőmérséklet a kemencében, T_{ext} a környezet hőmérséklete.

A kemence által tárolt hőmennyiség:

$$\Delta Q_m = McdT \tag{3}$$

ahol M a kemence tömege, c a kemence fajhője.

Az (1), (2), (3) alapján a kemence működését az alábbi egyenlet írja le:

$$Mc\frac{dT}{dt} = -\lambda S(T - T_{ext}) + \frac{U^2}{R} \tag{4}$$

Amint látható a modell nemlineáris (a hőmérsékletváltozás négyzetesen függ a feszültségtől). Az ellenállás értéke a hőmérséklet függvényében változhat. Ugyanakkor ez az összefüggés nem veszi figyelembe a rendszer holtidejét, ami nagy kemencék esetében nem elhanyagolható.

Ezeket az érveket figyelembe véve a modell alapján végzett szabályozás nem biztosíthat megfelelő eredményeket igényesebb szabályozás esetén.

Az egyszerűbb modellezés érdekében a rendszert linearizáljuk. Feltételezzük, hogy a bemeneti feszültség egy négyzetgyök-vonó elemen keresztül éri el a kemencét, és tekintsük ezt a rendszer bemenetének:

$$U := \sqrt{U} \tag{5}$$

A megközelítő értéket behelyettesítve az (4) képletbe kapjuk a következő összefüggést:

$$Mc\frac{dT}{dt} = -\lambda S(T - T_{ext}) + \frac{U}{R} \tag{6}$$

Legyen a rendszer kimenete (T) a kemence és a környezet közötti hőmérsékletkülönbség:

$$T := T - T_{ext} \tag{7}$$

Feltételezve, hogy T_{ext} konstans, kapjuk:

$$\frac{Mc}{\lambda S}\frac{dT}{dt} + T = \frac{1}{R\lambda S}U \tag{8}$$

Vezessük be az alábbi paramétereket: T_k- a kemence időállandója, K_k - a rendszer erősítése:

$$T_k = \frac{Mc}{\lambda S} \tag{9}$$

$$K_k = \frac{1}{R\lambda S} \tag{10}$$

Figyelembe véve az (7), (8) jelöléseket, a következő egyenletet kapjuk:

$$T_k \frac{dT}{dt} + T = K_k U \tag{11}$$

Az (11) differenciálegyenletből következik, hogy:

$$H_k(s) = \frac{T(s)}{U(s)} = \frac{K_k}{T_k s + 1} \tag{12}$$

A kemence modellezésénél a holtidőt általában nem tudjuk elhanyagolni. A holtidő az alábbi módon jelenik meg a rendszer modelljébe

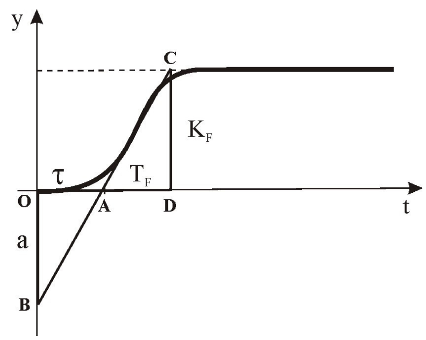
$$H_k(s) = \frac{K_k}{T_k s + 1} e^{-\tau s} \tag{13}$$

ahol τ a holtidő. Értékét mérésekkel állapíthatjuk meg.

2.2 Az Opelt tervezési módszer

Számos olyan módszer létezik, amely a rendszer egységugrásra adott válasza alapján adja meg a szabályozó paramétereit. Ilyen hangolási módszer az Oppelt módszer, amely feltételezi, hogy az irányított folyamat elsőfokú stabil rendszer, amely holtidővel is rendelkezik. Ebben az esetben az irányított folyamatot három paraméterrel jellemezhetjük: K_F erősítés, T_F időállandó, τ holtidő. Az Oppelt módszer lényege, hogy a folyamat egységugrásra adott válasza alapján határozzuk meg ezen paramétereket, majd a folyamat paramétereinek ismeretében hangoljuk be a PID szabályozót.
A stabil rendszer egységugrásra adott válaszát könnyen megkaphatjuk, hiszen ehhez csak arra van szükség, hogy a folyamatnak konstans egységnyi bemenetet biztosítsunk, miközben mérjük a kimenetet. Bizonyos folyamatoknál problémát jelenthet, hogy a K_F értéke túlságosan nagy, nem a mérhető tartományban van, az egységugrásra adott nominális kimenet, amely körül a szabályozás történik, sohasem éri el a K_F értékét. Ebben az esetben a K_F/T_F érték közelítőleges meghatározására a rendszer válaszát egyenesekkel közelítjük. A 2 Ábra alapján az OAB háromszög hasonló az ACD háromszöggel, tehát:

$$OAB_\Delta \approx ACD_\Delta \Rightarrow \frac{a}{K_F} = \frac{\tau}{T_F} \Rightarrow \frac{K_F}{T_F} = \frac{a}{\tau} \tag{6.15}$$



2. Ábra Egységugrásra adott válasz és approximációja egyenesekkel

Nagy K_F értékek esetén a válasz alapján legkönnyebb a τ és az *a* paramétereket mérni. Ezért az Oppelt módszer esetén ezeket a paramétereket használjuk a PID paraméterek meghatározására. A különböző struktúrájú szabályozók esetén az alábbi paraméterválasztások javasoltak:

1 Táblázat Oppelt módszer – hangolás

	K_P	T_i	T_D
P	$1/a$	-	-
PI	$0.8/a$	3τ	-
PID	$1.2/a$	2τ	0.42τ

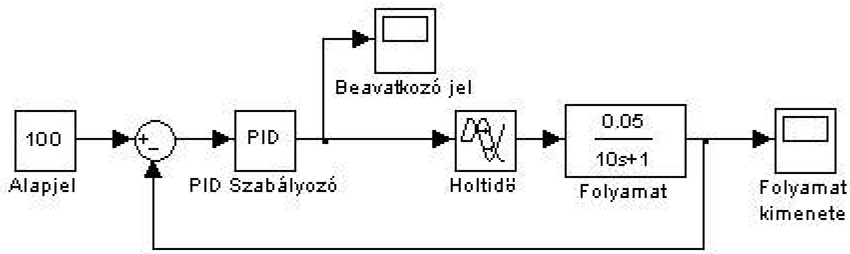
Csak a P szabályozó nem garantálja a zérus állandósult állapotbeli hibát egységugrás alapjelre, ezért ha nagy pontosságú szabályozást szeretnénk, integrátort kell elhelyezni a szabályozóba. A szabályozási kör csillapítása a 1 Táblázat alapján $\zeta=0.25$, ami miatt nagy túllövésre számíthatunk.

3. A *mérés menete*

Legyen a (13) modell által leírt folyamat az alábbi paraméterekkel:

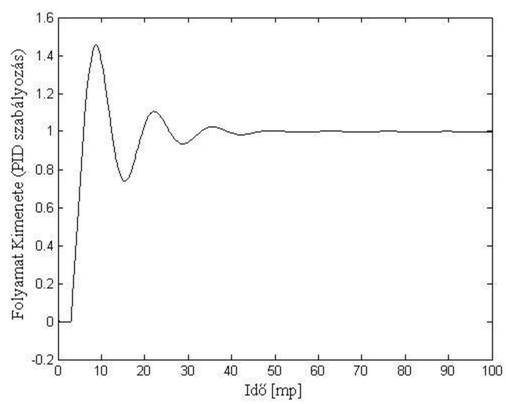
$K_F=0.05$
$T_F=10$ másodperc (mp)
$\tau=3$ mp.

Feladatok:
1 - Tervezzünk P folyamatnak az Oppelt módszer alapján (1. Táblázat)
2 - Tervezzünk PI folyamatnak az Oppelt módszer alapján (1. Táblázat)
3 - Tervezzünk P folyamatnak az Oppelt módszer alapján (1. Táblázat)
4. - Teszteljük a kapott szabályozási rendszert úgy, hogy az alapjel *100* legyen. A PID szabályozás Matlab/Simulink tömbrajzát a 3 Ábra mutatja. A holtidős rendszer viselkedését a sorban elhelyezett '*Transport Delay'* és '*Transfer Function*' blokkokkal szimuláljuk.



3 Ábra: Holtidős rendszer PID szabályozásának Simulink modellje

5. Számítsuk ki az állandósult állapotbeli hibát és a túllövést a három tervezési esetben. Látható, hogy P szabályozó esetén az állandósult állapotbeli hiba jelentős, tehát nem alkalmazható a feladat megoldására. A PID szabályozó garantálja a zérus állandósult állapotbeli hibát. Mindkét esetben jelentős, *40%* körüli túllövésre számíthatunk.
6 Ezt elkerülhetjük, ha az alapjelet nem egységugrásnak, hanem a szabályozás indításakor korlátosan növekvő sebesség ugrásnak választjuk, majd amikor elérjük az előírt értéket, az alapjelet konstans értéken tartjuk. Módosítsuk úgy az alapjelet, hogy, alapjel *25* másodperc alatt lineárisan növekedj az előírt értékig.



4. Ábra: Szimulációs eredmény PID szabályozóval

4. Kérdések és feladatok:

1. Változtassuk a szabályozó erősítését PID szabályozás esetén. Milyen hatással van a szabályozási kör stabilitására.
2. P szabályozás esetén változassuk a szabályozási kör erősítését. Milyen hatással van az állandósult állapotbeli hibára.
3. Hasonlítsuk össze a szabályozási minőségi jellemzőket holtidős és nem holtidős rendszer esetén ugyanazzal a PID szabályozóval.