

Automatika

Klasszikus szabályozás elmélet

VI.

Hibrid rendszerek



Óbudai Egyetem

Dr. Neszveda József

Hibrid rendszer

Manapság az irányító berendezések mikrokontrollert tartalmaznak, miközben a technológia folytonos és folyamatos jellemzőkkel működik.

Így a mért ellenőrző jel folytonos és folyamatos, amit ADC alakít át diszkrét jellé, és a kiadott végrehajtó jelnek folyamatosnak kell lennie, ami DAC és tartó szerv biztosít.

(Ha a jeleket a következő mintavételig regiszterben tároljuk, akkor az 0 típusú tartó szervnek felel meg.)

Az új mintavétel, és az előző mintából számolt érték kiadása egyszerre történik.

(A mintavételezés egy mintavételnyi idejű késleltetést okoz a szabályozási hurokban!)

Hibrid rendszer

A mintavétel okozta torzítás függ a jel kvantálásától, ami az ADC és a DAC felbontásától függ. Továbbá függ a T_s mintavételi időtől (sample time), illetve a körfrekvencia tartományban az ω_s mintavételi gyakoriságtól (sample rate).

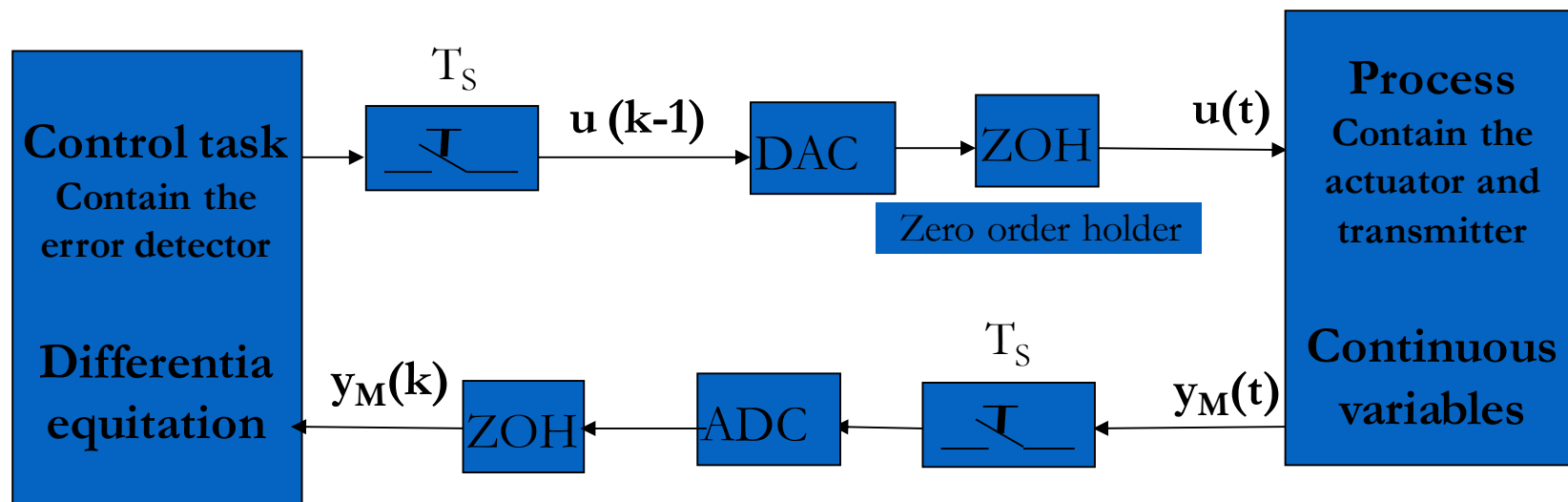
A mintavételezett ellenőrző jel $y_M(kT_s)$, valamint az ebből számolt $u(kT_s)$ végrehajtó jel diszkrét jelek sorozata, ahol „k” 0-tól az egész számok halmaza. Általánosan elfogadott egyszerűsítés, hogy a diszkrét jelekre $x(k)$ alakban hivatkoznak.

A kvantálás okozta hiba

A kvantálásból származó hiba egy, de minimum fél nagyságrenddel kisebb, mint a mérő és beavatkozó eszközeink pontossága!

Ha ipari eszközökbe tesznek 16 bites ADC és DAC átalakítót, akkor is a zaj és a monotonitás miatt legtöbbször csak 12 bitet használnak belőle!

Mintavételezés

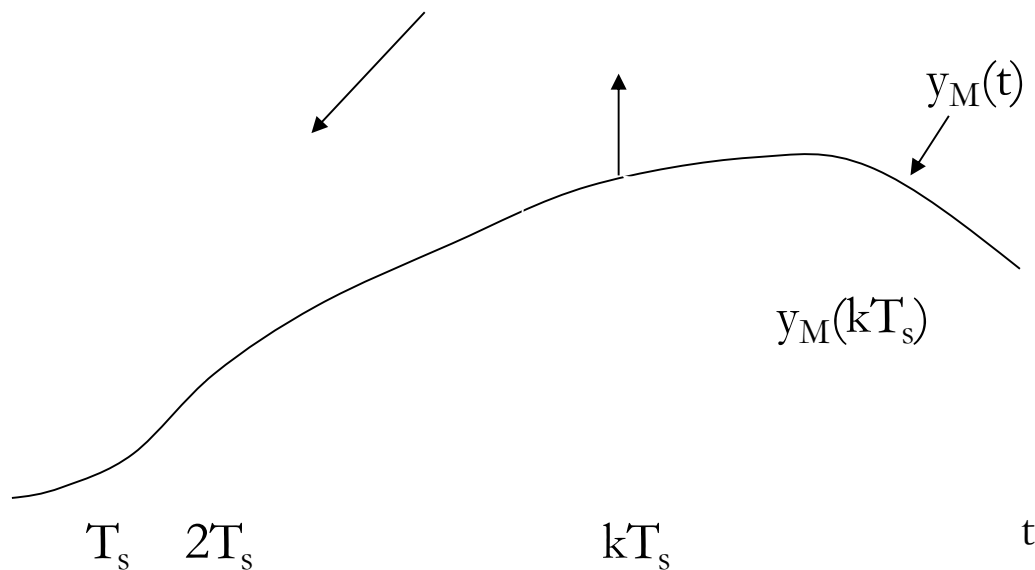


A ZOH (zero order holder) a következő mintavételig tartja az előző értéket, FOH (first order holder) interpolál az előző két mintavételi értékből.

Hibrid rendszerekben a FOH nem jár semmi előnnyel, mert kellően sűrű a mintavétel.

A mintavételezés hatása

Az ideális mintavétel Dirac impulzusok sorozataként definiálható.



A mintavételezett jel körfrekvencia átviteli függvénye

Az impulzus sorozat
Laplace transzformáltja:

Két jel szorzatának
Laplace transzformáltját
konvolucios integrál adja:

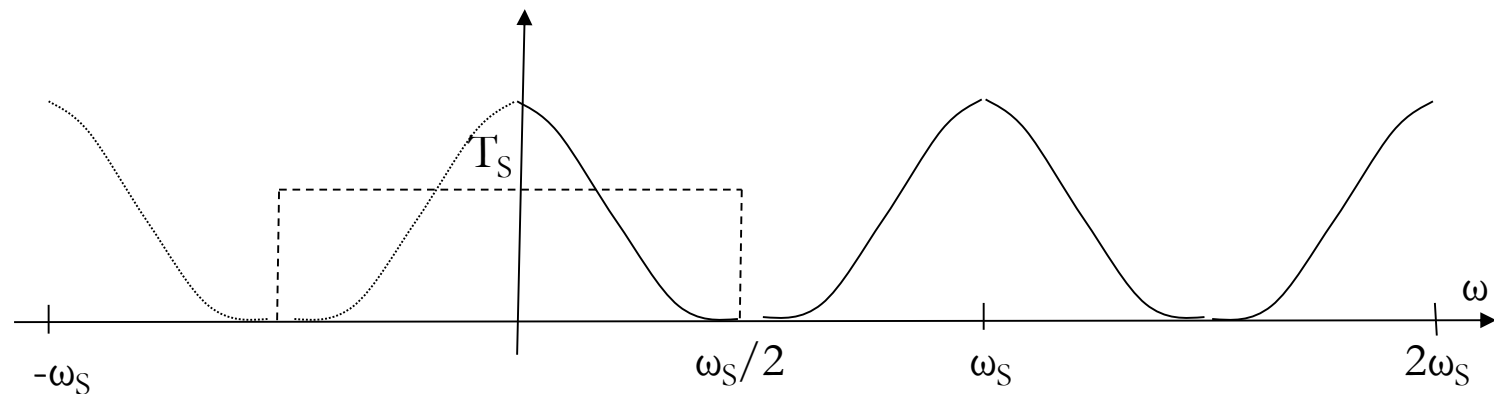
Az eredmény körfrekvencia
tartományban:

Az eredmény végtelen sok felharmonikus összetevőt tartalmaz,
ami torzítja az eredeti folytonos jel spektrumot!

Shannon mintavételi törvénye

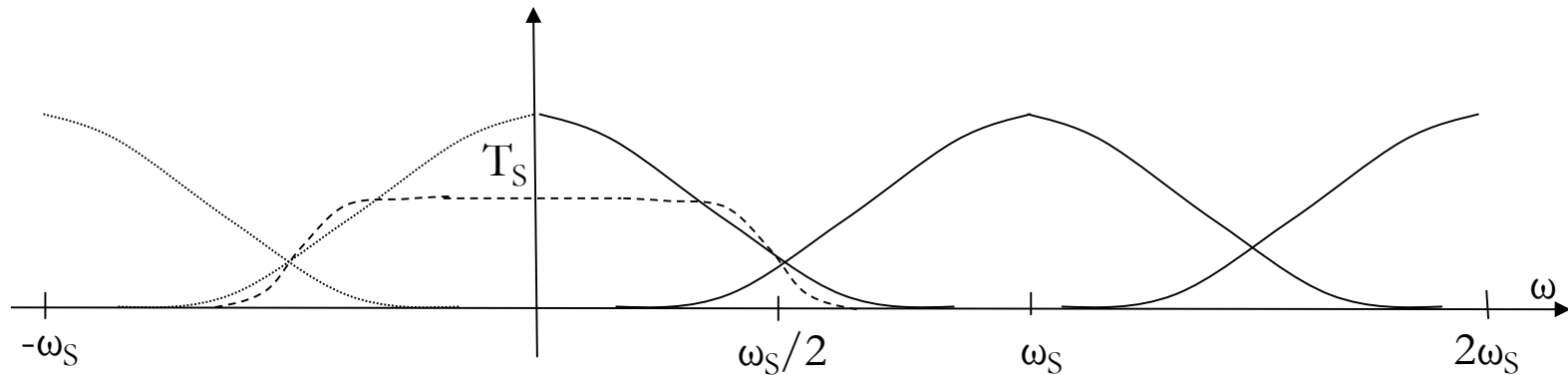
Az eredeti folytonos jelspektrum helyreállítható, ha az eredeti folytonos jel sávkorlátozott.

A mintavételi gyakoriság legalább a kétszerese kell, hogy legyen, mint a sávkorláti körfrekvencia és T_S erősítésű sáv-szűrőt kell alkalmazni.



A negatív körfrekvencia tartomány csak elméleti kiegészítés!

A valóságos folyamat



Egy valóságos fizikai, kémiai, stb. folyamat nem sávkorlátozott!

Jól látszik a fenti ábrából, hogy a szűrő által elveszített és az első felharmonikusból nyert értékek annál pontosabban kiejtik egymást, minél ideálisabb a szűrő karakterisztika.

A további felharmonikusok egyre kisebb és kisebb amplitúdóval, de végtelen sok összetevővel torzítást okoz!

Tapasztalati mintavételezési idő

Szürke doboz modell esetén ismertek az időállandók.
A javasolt mintavételi idő:

Szakasz modell közelítés esetén a közelítő időállandók az ismertek.
Mindig 100 feletti értékkel osszuk az időállandók összegét!

Fekete doboz modell esetén, feltételezzük, hogy a beállási idő nagyjából ötszöröse az idő állandók összegének.
A javasolt mintavételi idő:

A mintavételezés becsült hibája

Feltételezzük, hogy a mintavételezési körfrekvencia felénél az amplitúdó átvitel jóval kisebb, mint 1 és a szűrő ideális:

A fenti becslés figyelembe vette, hogy az amplitúdó összetevők nem azonos fázisban hatnak!

A jelspektrum alul áteresztő szűrő jellegű és az amplitúdó átvitel $e^{-\alpha}$ jellegűen csökken:

A mintavételezés okozta becsült amplitúdó hiba

Az amplitúdó átvitel integrál értéke a mintavételi körfrekvencia felétől az nagyobb, mint a háromketted, ötketted, stb. körfrekvenciáktól számított levő amplitúdó átvitel integrál értékek összege:

Így a hiba felső határa:

A becsléskor egységnyi erősítéssel számoltunk. Ha van az eredő szakasznak erősítése, akkor az arányosan növeli a hibát.

Becsült hiba

A módszer a várható hiba pontos meghatározására nem alkalmas, de ad egy felső becslést.

	$\frac{1}{10s+1} \cdot \frac{1}{0.1s+1}$	$\frac{1}{10s+1} \cdot \frac{1}{2s+1} \cdot \frac{1}{0.2s+1}$
$E_s \leq 5 \cdot \left y_M(j\frac{\omega_s}{2}) \right $	$\frac{\omega_s}{2}; E_s$	$\frac{\omega_s}{2}; E_s$
$\frac{\omega_s}{2} = \frac{\pi}{T_s} = \frac{\pi \cdot 150}{\sum T_j}$	$\frac{\omega_s}{2} = 46.7 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}; E_s = 0.18 \cdot 10^{-2}$	$\frac{\omega_s}{2} = 38.6 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}; E_s = 0.02 \cdot 10^{-3}$
$\frac{\omega_s}{2} = \frac{\pi}{T_s} = \frac{\pi \cdot 100}{\sum T_j}$	$\frac{\omega_s}{2} = 31.1 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}; E_s = 0.49 \cdot 10^{-2}$	$\frac{\omega_s}{2} = 25.8 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}; E_s = 0.07 \cdot 10^{-3}$
$\frac{\omega_s}{2} = \frac{\pi}{T_s} = \frac{\pi \cdot 50}{\sum T_j}$	$\frac{\omega_s}{2} = 15.6 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}; E_s = 1.73 \cdot 10^{-2}$	$\frac{\omega_s}{2} = 12.9 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}; E_s = 0.53 \cdot 10^{-3}$

A mintavételezésből származó hiba

- Amennyiben az eredő szakasz rendelkezik domináns (másfél vagy több nagyságrend) időállandóval, akkor 100, illetve 500 feletti számmal osszuk az időállandók összegét, illetve a beállási időt!
- A túl sűrű mintavétel feleslegesen terheli a CPU erőforrását. Természetesen minél sűrűbb a mintavétel, annál pontosabb. De túl sűrű mintavétel esetén csak dupla hosszú lebegőpontos számábrázolással biztosítható a megfelelő pontosság, ami szinten terheli az erőforrást!

Mintavételezési idő az eredő szakasz körfrekvencia függvényéből

A mintavételezés TS holtidőt generál a szabályozási körbe.

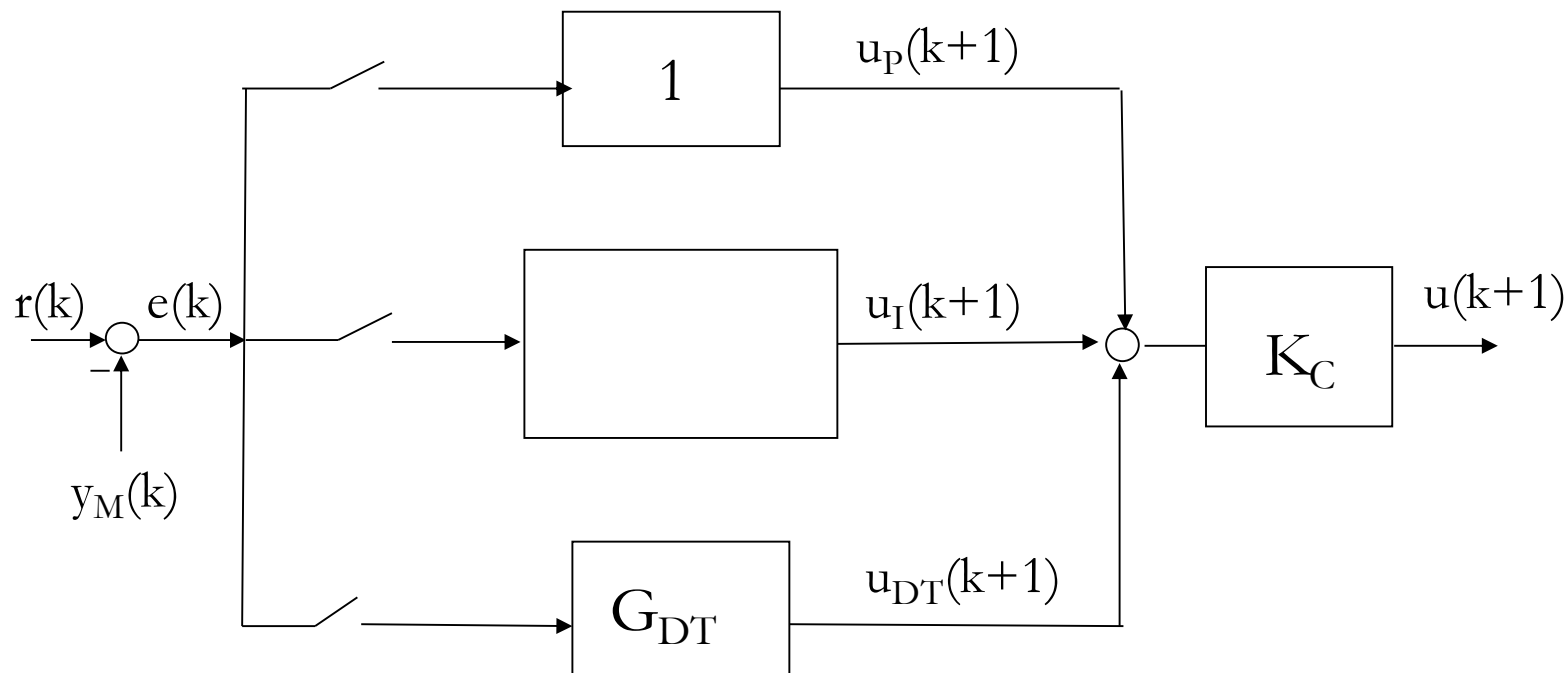
A holtidő az amplitúdó menetet nem befolyásolja, viszont lineárisan növekvő fázistolást eredményez. Ha a holtidős tag fázismenetén $2\omega_s$ körfrekvencián 1 [rad] fázistolást engedélyezünk, akkor az ω_c vágási körfrekvencián a fázistolás az alábbi aránypárral számítható 0.1° és 0.5° fok közötti fázistorzítást engedélyezve:



Az aránypár az alábbi alakba is átírható:

Ha nincs vágási körfrekvencia az eredő szakasz körfrekvencia függvényén, akkor az első törésponti körfrekvenciával kell a számítást elvégezni!

Mintavételes PIDT kompenzáló tag



Az integrál „windup” és a „bumpless”

Az $u(k+1)$ regiszter véges. Például $(0 - 4095)$ számértéket vehet csak fel ha a DAC 12 bites felbontású. Ha engedjük, hogy az $u_I(k+1)$ regiszter értéke bármennyit növekedjen vagy csökkenjen, akkor telítődés léphet fel (windup), és a hibajel előjelének megváltozása, bár változtatja az $u_I(k+1)$ regiszter tartalmát, hosszú ideig nem hat a kimeneten.

Kézi üzemmódban az $u(k+1)$ regiszter tartalmát a kezelő adja meg. Automata üzemmódba kapcsoláskor az algoritmus számol egy új $u(k+1)$ értéket, ami nagyon eltérhet az utolsó értéktől és így a végrehajtó jel ugrásszerűen felvesz egy új értéket. Űt egyet (bump) a végrehajtón.

Az integrál „windup” és a „bumpless”

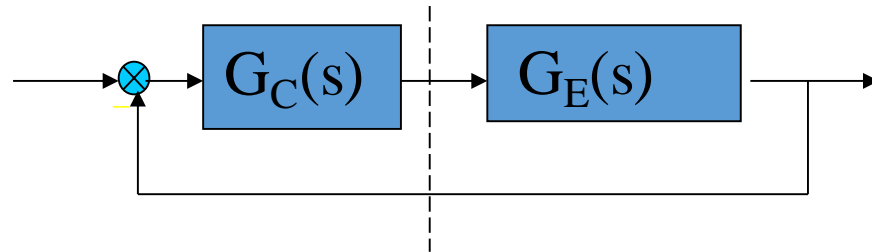
Ha a kiszámolt $u(k+1)$ érték túllép valamely határértéken, akkor az végrehajtó jelet valamely végértéken megfogjuk és az $u_I(k+1)$ regiszter tartalmát az előző $u_I(k)$ értékre célszerű visszaállítani. Így amint változik a hibajel tendenciája (elég, hogy csökken) változik a végrehajtó jel is.

Automata üzemmódba kapcsoláskor az új $u(k+1)$ azonos az $u(k)$ értékkel, és az $u_I(k+1) = u(k) - u_P(k) - u_{DT}(k)$ regiszter tartalmát számolja ki az algoritmus. Az $u(k+1)$ időpontban a végrehajtó jel a PIDT algoritmus szerint kap új értéket. Ha a hibajel keveset változik, akkor a végrehajtó jel is.

Kompenzáció pólus áthelyezéssel
Szürke doboz modell

Pólus áthelyezés

A legkisebb értékű pólusok
a legnagyobb idő állandók.



Az önbeálló jellegű eredő szakasz két legkisebb pólusát kiejtve a PIDT
kompenzáló tag két zérusával egyes típusúvá tesszük és gyorsítjuk a
szabályozási kört.

Három ismeretlen, két egyenlet!

Pólus áthelyezés

Együttható összehasonlítással

Az A_D differenciális erősítést értékét meg kell választani!

A T_I értékét kifejezve a második egyenletből és behelyettesítve az elsőbe:

$$\text{A két gyök } T_I \text{ és } T, \text{ és így } T_D = A_D * T$$

Mintafeladat

MATLAB „compPZR” könyvtár

Pólus áthelyezés

Integráló jellegű eredő szakasz esetén PIDT kompenzáló tag helyett PDT kompenzáló tagot alkalmaznak, és így csak a legkisebb pólust ejtik ki.

A módszer a K_C erősítés értékét nem szolgáltatja, az külön paraméterként használható a kívánt fázistartalék beállítására.

Példa: Legyen az eredő szakasz átviteli függvénye az alábbi:

Alkalmazva a MATLAB „pole” parancsát:

$$p_1 = -21.07; \quad p_2 = -2.88; \quad p_3 = -0.4; \quad p_4 = -0.049; \quad \tau_1 = 20.37; \quad \tau_2 = 2.48$$

Az A_D differenciálási erősítést meg kell választani!

Pólus áthelyezés

Együttható összehasonlítással

Az A_D differenciális erősítést értékét meg kell választani! Legyen 9!

A T_I értékét kifejezve a második egyenletből és behelyettesítve az elsőbe:

roots(1 -22.85 5.052) A két gyök $T_I = 22.63\text{sec.}$ és $T = 0.223\text{sec}$

Így $T_D = A_D * T = 2.07\text{sec}$

Beállított értékek: $T_I = 22.6\text{sec.}$, $T_D = 2.1\text{sec.}$ és $T = 0.23\text{sec.}$