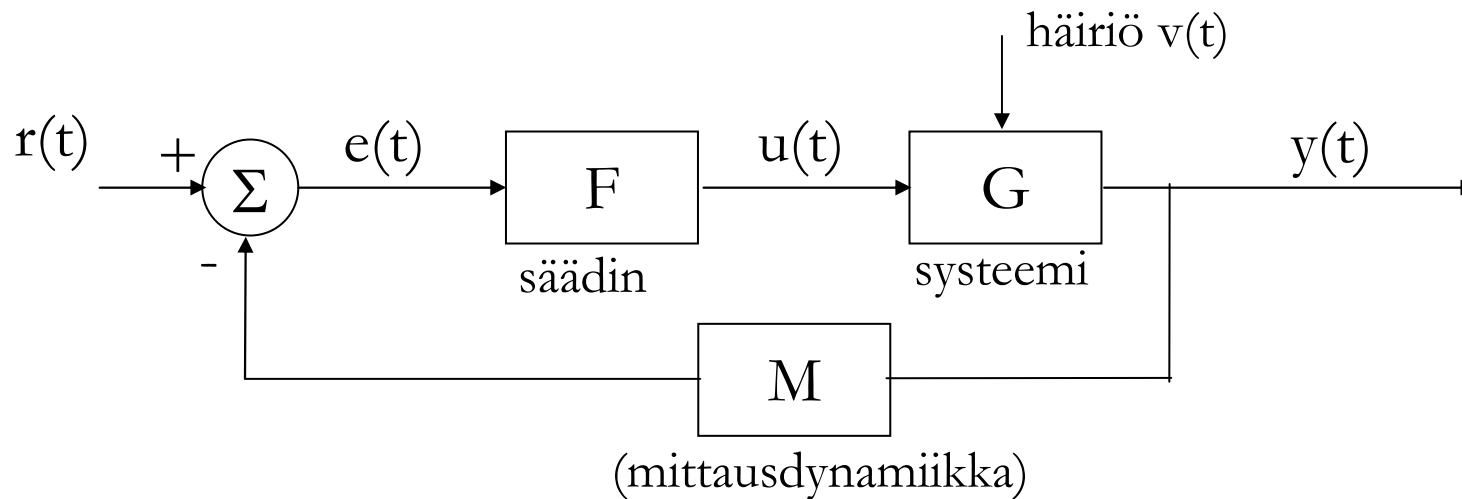


Säätötekniikkaa

- Säättöongelma: Hae (mahdollisesti ulostulon avulla) ohjaus, joka saa systeemin toimimaan halutulla tavalla
 - servo-ongelma: ulostulon seurattava referenssisignaalia mahdollisimman tarkasti, esim. teollisuusrobotin asennonsäätö
 - stabilointiongelma: ulostulon oltava vakio häiriöstä riippumatta, esim. pinnankorkeuden säätö, vaihtovirtageneraattorin kierrosluku
- Ei onnistu ilman että ulostuloa hyödynnetään => takaisinkytkentä

Takaisinkytkentä



- Takaisinkytkentä ulostulosta erosuureen $e(t)$ muodossa
 - $e(t)=0 \Rightarrow$ OK! muuten korjaa $u(t)$:tä kunnes $e(t)=0$
- Säättöongelma: valitse säädin
 - rakenne
 - parametrit

PID-säädin

- P=proportionaalinen, I=integroiva, D=derivoiva
- P-säädin: $u(t) = K_p e(t)$
 - *subteellinen* takaisinkytkentä
 - yksinkertaisin mahdollinen säädin
- Ongelma: P-säädin ei osaa kompensoida askelmaista häiriötä
 - syntyy pysyvä poikkeama ulostuloon
- Idea: kasvatetaan ohjausta kunnes $e(t) = 0$
 \Rightarrow asetetaan $u(t)$ riippumaan $e(t)$:n integraalista
- PI-säädin: $u(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau$

...PID-säädin...

- K_P kasvaa, K_I kasvaa \Rightarrow vaste nopeutuu MUTTA:
 - suljetun silmukan systeemi muuttuu eräällä parametriyhdistelmällä epästabiiliksi
 - syy: luotetaan liian vanhaan informaatioon (integrointi)
- (Eräs) ratkaisu: derivoiva takaisinkytkentä; perustetaan $u(t)$ $e(t)$:n derivaatalle (vrt. ennustaminen)
- PID-säädin:

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

...PID-säädin

- Huom. merkintä: $K_I \Leftrightarrow 1/T_D$, $K_D \Leftrightarrow T_D$
- K_P suuri \Rightarrow nopea vaste, mutta epästabiilisuus vaanii
- K_I suuri \Rightarrow nopea vaste, pysyvät poikkeamat kompensoituvat (epästabiilisuus!)
- K_D : käyttö esim. stabilointi (ongelma: kohina)

Säätimen virittäminen

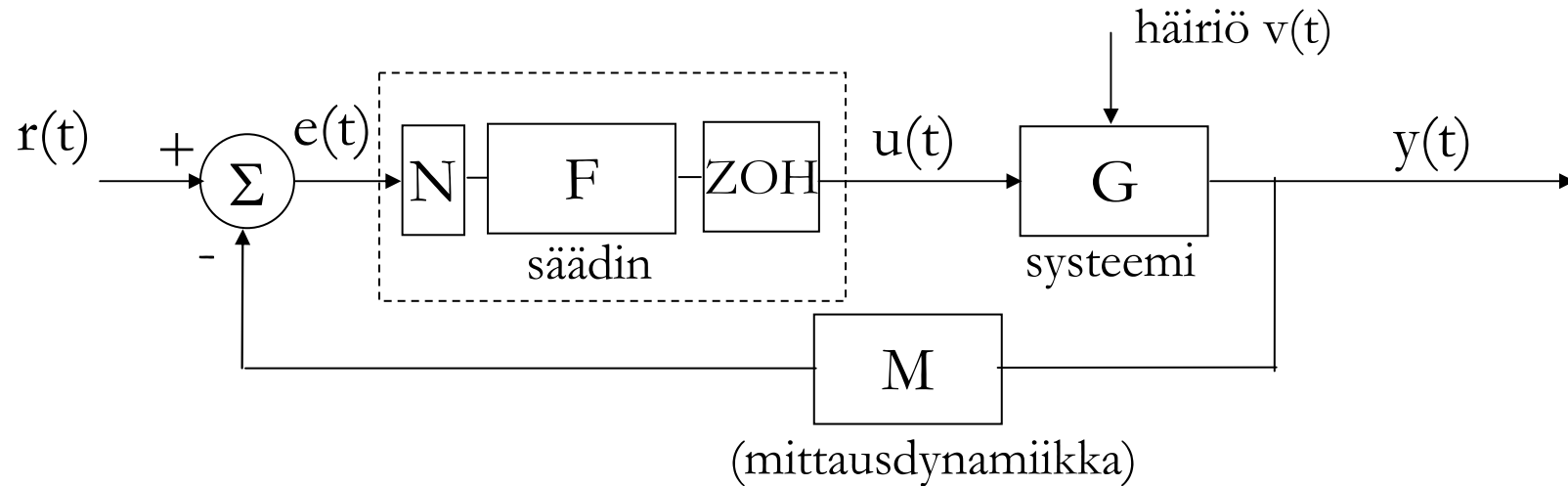
1. Systemin malli tunnetaan

- suljetun silmukan systeemin siirtofunktio
$$G_{CL}(s) = F(s)G(s) / (1 + F(s)G(s)M(s))$$
- lasketaan suljetun silmukan systeemin navat säätimen parametrien funktiona ("pole placement")
 - stabiilisuus: testit esim. juuriura, Nyquist-käyrä

2. Mallia ei tunneta

- kokeita systeemille => arvot parametreille
- erilaiset heuristiikat: Ziegler-Nichols, Coon,...

Diskreettiaikainen PID-säädin



- Näytteenotto N : poimitaan jatkuvasta signaalista arvo T :n välein kulmataajuudella $\omega_s = 2\pi/T \Rightarrow g(kT)$, $k=1,2,\dots$
- ZOH= zero order hold: pidetään signaali vakiona ajan T

Näytteenoton ongelma: laskostuminen

- Ongelma 1: ω_s :ää suurempia taajuuksia ei saada eroteltua ω_s :ää pienemmistä:
 - Olkoot $h_1(t) = \sin \omega t$, ω välillä $[0, \omega_s)$ ja
 $h_2(t) = \sin(\omega + m\omega_s)t$, $m = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$
 - Nyt $h_1(kT) = \sin(\omega kT + mk2\pi) = \sin(\omega + m2\pi/T)kT = h_2(kT)$
- Ongelma 2: taajuutta ω välillä $[\omega_s/2, \omega_s)$ ei pystytä erottamaan taajuudesta $\omega' = \omega_s - \omega$
 - $\omega_s/2$:a kutsutaan Nyquist-taajuudeksi
- Suuritaajuista kohinaa \Rightarrow alipäästösuodatus ennen näytteenottoa

Diskreettiaikainen PID

- Diskreettiaikainen PID:

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \sum_{j=0}^{t/T} e(jT) + K_D / T (e(t) - e(t - T))$$

- Viritys: valitse K_P, K_I, K_D ja T
- Periaatteessa diskreetti systeemi lähestyy jatkuvaa kun T lähestyy nollaa, mutta liian pieni T
 - rasittaa toimilaitteita
 - vaatii laskentakapasiteettia
 - aiheuttaa, että ohjaus on pelkkää kohinaa, jos systeemi ei ehdi reagoida

Tilatakaisinkytkentä

- Edellä tarkasteltu säätöä input-output -kuvausten pohjalta
 - Myös tilan takaisin kytkentä mahdollista => tilatakaisinkytkentä
- Tarkastellaan lineaarista järjestelmää $\dot{x}/dt=Ax+Bu$, $y=Cx+Du$
 - tavoitteena ohjata se origoon
 - ol. ulk. referenssisignaali = 0
- Valitaan ohjaus lineaarikombinaationa tilasta: $u(t)=-Kx(t)$
- Suljetun silmukan systeemin systeemimatriisi on $A-BK$
- Jos systemi on saavutettava, suljetun silmukan systeemille voidaan rakentaa mielivaltainen dynamiikka valitsemalla K sopivasti - vrt. tilahavaintsija
- Tilasäätimellä ei sellaisenaan ole välttämättä integroivaa ominaisuutta - järjestettävä erikseen jos tarpeen
- Suositeltava lähestymistapa erityisesti MIMO-malleilla

Optimaalinen tilatakaisinkytkentä 1/2

- Valitse u siten että funktionaali

$$J[u] = \frac{1}{2} \int_0^T x(t)^T R x(t) + u(t)^T Q u(t) dt + \frac{1}{2} x(T)^T P x(T)$$

minimoituu (lineaariseneliöllinen tehtävä)

- R sakottaa tilan poikkemista, Q liian suurista ohjauksista, P lopputilapoikkeamasta
- Takaisinkytketty ratkaisu saadaan johtamalla optimisäätötehtävän välttämättömät ehdot
 - tilayhtälö, liittotilayhtälö, optimaalinen ohjaus (ks. mat-2.4148 materiaali)

Optimaalinen tilatakaisinkytkentä 2/2

- Kun liittotilan oletetaan olevan muotoa $S(t)x(t)$, saadaan S:lle ns. Riccatin yhtälö
 - osoittautuu, että myös optimiohjaus on aikavariantti tilan lineaarikombinaatio: $u^* = -K^*(t)x(t)$
- ⇒ Ratkaisu: Integroi Riccatin yhtälö takaperin ⇒ $S(t)$ ⇒ optimaalinen takaisinkytkentävahvistus $K^*(t)$ ⇒ sovelta ohjausta $u(t) = -K^*(t)x(t)$
- S stabiloituu yleensä nopeasti ⇒ aikainvariantti (mutta suboptimaalinen) ratkaisu K^* saadaan ratkaisemalla algebrallinen Riccatin yhtälö (S :n derivaatat asetettu nolliksi)