



[B] (11) **KUULUTUSJULKAISU  
UTLÄGGNINGSSKRIFT**

71435

C (45) Patentti myönnetty  
Patent myöntöajankohta 10 10 1986

(51) Kv.lk.4/Int.Cl.4 G 05 B 11/42

**SUOMI—FINLAND**

**(FI)**

**Patentti- ja rekisterihallitus  
Patent- och registerstyrelsen**

|                                                                                              |                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| (21) Patenttihakemus — Patentansökning                                                       | 833323         |
| (22) Hakemispäivä — Ansökningsdag                                                            | 19.09.83       |
| (23) Alkupäivä — Giltighetsdag                                                               | 23.08.82       |
| (41) Tullut julkiseksi — Blivit offentlig                                                    | 19.09.83       |
| (44) Nähtäväksi panon ja kuul.julkaisun pvm. —<br>Ansökan utlagd och utl.skriften publicerad | 09.09.86       |
| (86) Kv. hakemus — Int. ansökan                                                              | PCT/SE82/00268 |
| (32)(33)(31) Pyydetty etuoikeus — Begärd prioritet                                           | 24.08.81       |
| Ruotsi-Sverige(SE)                                                                           | 8104989-2      |

(71) Naf Controls AB, Box 1084, 171 22 Solna, Ruotsi-Sverige(SE)

(72) Tore Hägglund, Lund, Karl Johan Åström, Lund, Ruotsi-Sverige(SE)

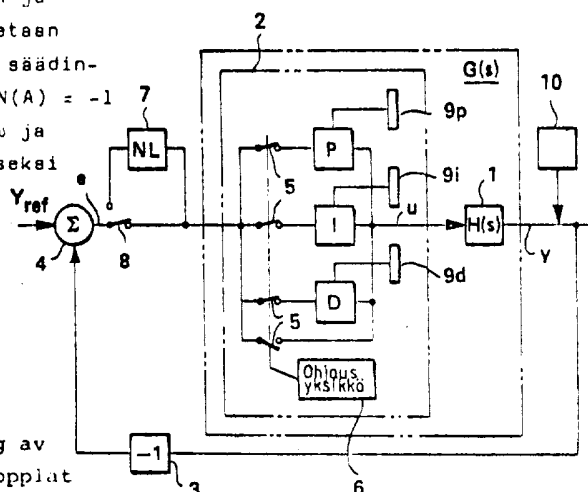
(74) Leitzinger Oy

(54) Menetelmä ja laite PID-säädintä viritettäessä - Förfarande och anordning  
för avstämning av en PID-reglerare

(57) Tiivistelmä

Prosessin PID-tyyppisen säätimen viritämiseen takaisinkytketyssä järjestelmässä, jossa prosessilla ja säätimellä on yhteinen siirtofunktio  $G(s)$  esitetään menetelmä järjestelmän saattamiseksi itsevärähtelyyn värähtelyn amplitudin ja taajuuden mittaamiseksi ja säätimen viritämiseksi riippuen säaduista mittauksista. Epälineaarisen ominaiskäyrän ja kuvausfunktion  $N(A)$  omaava piirifunktio (NL) sijoitetaan järjestelmään sarjaan prosessin kanssa vaikuttamaan säädinsignaaliin (e). Itsevärähtely saadaan, jos  $G(i\omega) \cdot N(A) = -1$  ainakin yhdelle säädinsignaalin (e) kulmataajuuden  $\omega$  ja amplitudin (A) arvolle. Laite menetelmän toteuttamiseksi esitetään.

FIG.1



(57) Sammandrag

Uppfinningen avser ett sätt att vid inställning av en PID-regulator (2) för en process (1) i ett återkopplat system, där processen och regulatorn har en gemensam överföringsfunktion  $G(s)$ , bringa systemet i självsvängning för mätning av självsvängningens amplitud och frekvens och inställning av regulatorn i beroende av de erhållna mätvärdena. En kretsfunktion (NL), som har olinjär karaktäristik och en beskrivande funktion  $N(A)$ , införes i systemet i serie med processen för att verka på regulatorsignalen (e). Självsvängning erhålles om  $G(i\omega) \cdot N(A) = -1$  för åtminstone ett värde för vinkelfrekvensen  $\omega$  och amplituden A för regulatorsignalen (e). Uppfinningen avser vidare en anordning för genomförande av detta sätt.

Menetelmä ja laite PID-säädintä viritettäessä. - Förfarande och anordning för avstämning av en PID-reglerare.

Esillä oleva keksintö liittyy PID-tyyppisen säätimen virittämi-  
seen prosessille ja tarkemmin sanoen määrittelee menetelmän  
ja laitteen prosessin saattamiseksi - askeleena säätimen  
viritysmenetelmässä - hallittuun itsevärähtelyyn säätimen  
virittämiselle olennaisten suureiden määrittämiseksi. Keksintö  
sisältää kaikki PID-säätimen säätöfunktioiden variaatiot  
ja yhdistelmät (P, PI, PD, PID jne.).

PID-säädin on hyvin yleinen teollisten prosessien säädössä  
ja mahdollistaa suhteellisen, integroivan ja derivoivan  
säädön. Suuremman luokan prosessi käyttää useita tällaisia  
säätimiä. PID-säätimiä valmistetaan suurissa sarjoissa stan-  
dardituotteina. On yhä yleisempää, että säätimet perustuvat  
mikrotietokoneisiin, ja monimutkaisempia säätöfunktioita  
voidaan silloin käyttää.

Vaikka säädin perustuu mikrotietokoneeseen, tavanomaisen  
PID-säätimen pääasiallinen rakenne säilytetään, koska teolli-  
suuden ammattimiehillä on pitkällinen ja koeteltu tieto  
ja tuntemus PID-säätimien virittämisestä.

On olemassa hyvin vakiintuneita menetelmiä PID-säätimen  
manuaaliselle virittämiselle riippuen prosessin parametreista,  
esim. Ziegler ja Nichols'in menetelmä. Tästä huolimatta  
monet teollisten prosessien säätimet ovat käytännössä huonosti  
viritettyjä. Tämä johtuu toisaalta siitä, että manuaalinen  
viritys, joka käsittää säätimen vahvistuksen manuaalisen  
muuttamisen, on vaivalloista ja toisaalta siitä, että prosessin  
parametrit/ominaisuudet muuttuvat ajan kuluessa.

On olemassa myös laitteisto PID-säätimien automaattiseen  
virittämiseen, mutta tällainen laitteisto on kallis eikä  
aivan yksinkertainen käyttää. Lisäksi on olemassa adaptiivisia

säätimiä, mutta sellaiset säätimet ovat paljon monimutkaisempia kuin yksinkertainen PID-säädin, eikä niitä ole vielä laajassa mitassa käytetty.

Täten on olemassa tarve PID-säätimien yksinkertaiselle automaattiselle viritysmenetelmälle, josta menetelmästä on tuloksena hinnaltaan edullinen säädin. Menetelmän tulisi olla niin yksinkertainen, että sitä voidaan soveltaa mikrotietokoneella toteutetuissa PID-säätimissä vain tekemällä yksinkertainen muutos tai pieni lisäys säätimen ohjelmaan.

Keksinnön tarkoituksena on mahdollistaa yksinkertainen PID-säätimen viritysmenetelmä ja askeleena siitä tuoda esille menetelmä ja laite PID-säätimen sisältävän järjestelmän saattamiseksi hallittuun itsevärähtelyyn. Kun järjestelmä värähtelee, prosessin virittämiselle oleelliset suureet voidaan mitata.

Tämä tarkoitus saavutetaan menetelmällä, jossa prosessilla ja säätimellä on yhteinen siirtofunktio  $G(s)$  takaisinkytketyssä järjestelmässä ja järjestelmä saatetaan hallittuun itsevärähtelyyn sanotun värähtelyn amplitudin ja taajuuden mittaamiseksi, jonka jälkeen säädin viritetään riippuen sanotun värähtelyn amplitudin ja taajuuden mitatuista arvoista. Keksinnön mukaisesti säätimeen syötettävä signaali saatetaan piirifunktion (NL), jolla on epälineaarinen ominaiskäyrä ja jolla on kuvausfunktio  $N(A)$ , vaikutuksen alaiseksi. Relaatio  $(Gi\omega) \cdot N(A) = -1$  on voimassa ainakin yhdelle sanotun signaalin kulmataajuuden ja amplitudin  $A$  arvolle.

Keksinnön mukaisen menetelmän tunnusmerkit on esitetty oheisissa patenttivaatimuksissa.

Menetelmä mahdollistaa PID-säätimien virityksen yksinkertaisen automatisoinnin erityisesti mikrotietokoneeseen perustuvilla säätimillä.

Keksintöä kuvataan yksityiskohtaisemmin alla ja viitaten oheisiin piirustuksiin.

Kuvio 1 on erään toteutusmuodon lohkokaavio kuvaten PID-säätimen säätöelimiä erillisinä yksikköinä.

Kuvio 2 on kaavio kompleksitasossa ja kuvaa prosessin siirtofunktiota Nyquistin käyränä, ja näyttää niin kutsutun kuvausfunktion negatiivisen käänteisarvon ideaalisen releen ominaiskäyrän omaavalle epälineaarille piirifunktiolle.

Kuvio 3 on lohkokaavio esittäen keksintöä toteutettuna mikrotietokoneeseen pohjautuvalla säätimellä.

Kuvio 4 on samanlainen kaavio kuin kuviossa 2, mutta siirtofunktion Nyquist-käyrän lisäksi se näyttää kuvausfunktion piirifunktiolle, jolla on ideaalisen releen ominaiskäyrä ja hystereesiä.

Kuvio 5 on kaavio, joka määrittelee prosessin siirtofunktion vaihevaran.

Kuvio 6 on kaavio, joka näyttää epälineaarisen piirifunktion esijännityksen ennalta määrättyyn toimintapisteeseen nähden.

Seuraava keksinnön kuvaus sisältää kaikki PID-säätimen säätöfunktioiden variaatiot ja yhdistelmät. Esimerkiksi säätimen derivoiva säätöfunktio voidaan jättää pois ja käyttää vain P- ja I-säätöfunktioita.

Ensin kuvataan tekniikan tason mukaista järjestelmää keksinnön ymmärtämisen helpottamiseksi. Kuviossa 1 lohkokaavio näyttää tekniikan tason mukaisen järjestelmän, joka perustuu analogiatekniikkaan, ja on varustettu keksinnön mukaisella laitteella järjestelmän saattamiseksi itsevärähtelyyn.

Siirtofunktiollaan  $H(s)$  kuvattua prosessia 1 säädetään PID-säätimen 2 avulla prosessimuuttujan suhteen. Muuttujan

todellinen arvo  $y$  saadaan prosessin 1 lähtönä ja syötetään negatiivisen takaisinkytkentäsilmaan 3 kautta takaisin summauspisteeseen 4 ja yhdistetään siellä ohjearvoon  $y_{ref}$  erosignaalin  $e$  tuottamiseksi, joka syötetään säätimeen 2.

Yleisesti seuraava yhteys pätee erosignaalin  $e$  ja säätimen säätösignaalin  $u$  välillä:

$$u = k(e + \frac{1}{T_I} \int e(t) dt + T_D \cdot \frac{de}{dt}),$$

missä  $k$ ,  $T_I$  ja  $T_D$  ovat vakioita.

Säätimen 2 nähdään sisältävän erilliset säätöfunktioyksiköt P, I ja D analogiasäätöä varten, mutta kuten alempana nähdään, se voidaan myös rakentaa mikrotietokoneen avulla. Lisäksi näytetään kytkimet 5 P-, I- ja D-säätöfunktioiden kytkemiseksi/poiskytkemiseksi, kuten myös ohitusta varten. Kytkimiä 5 ohjataan yksilöllisesti sopivan ohjausyksikön 6 avulla.

Säätimen 2 ja prosessin 1 yhteistä siirtofunktiota on merkitty  $G(s)$ .

Säätimen virittämiseksi Ziegler'in ja Nichols'in tekniikan tason mukaisella menetelmällä järjestelmä saatetaan hallittuun itsevärähtelyyn, jolloin samalla kun säätimen integroiva ja derivoiva yksikkö (I ja D) ovat poiskytketyt, suhteellisen säätöfunktioyksikön P vahvistusta lisätään itsevärähtelyyn asti manuaalisesti liikuttamalla asetustelintä  $q_p$ . Pitäen järjestelmää tässä tilassa itsevärähtelyn amplitudi ja taajuus määrätään mittaamalla mittaussyksikön 10 avulla järjestelmän lähtösignaali  $y$ . Sanotusta mittauksesta tuloksena saatuja arvoja käytetään parametrien  $k$ ,  $T_I$  ja  $T_D$  laskemiseksi, jotka asetetaan säätöfunktioyksiköiden P-, I- ja D-asetuselimien  $9_p$ ,  $9_i$  ja  $9_d$ , vastaavasti, avulla. PID-säätimen 2 parametrit lasketaan ja kiinnitetään alla olevassa taulukossa

annettujen kaavojen mukaan:

| Säädin | Vahvistus<br>(k) | Integrointi-<br>aika ( $T_I$ ) | Derivointi-<br>aika ( $T_D$ ) |
|--------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| P      | $0,5 k_c$        |                                |                               |
| PI     | $0,4 k_c$        | $0,8 T_c$                      |                               |
| PID    | $0,6 k_c$        | $0,5 T_c$                      | $0,12 T_c$                    |

missä  $k_c$  on kriittillinen vahvistus, ts. järjestelmän vahvistus itsevärähtelyssä ja  $T_c$  on itsevärähtelyn aikajakso. Kriittillinen vahvistus saadaan mitatuista arvoista tunnetulla tavalla.

Ziegler'in ja Nichols'in menetelmä PID-säätimen virittämiseksi on peukalosääntö, joka perustuu Nyquist-käyrän parametreihin kompleksitasossa, kun tämä käyrä kulkee pisteen (1;0) kautta. Nyquistin teoreeman mukaan prosessi on stabiili, jos Nyquistin käyrä ei ympäröi pistettä (-1;0). Kuvion 2 kaavio kuvaa Nyquistin käyrää  $G(i\omega)$  kulmataajuuden  $\omega$  positiivisille arvoille.

Sen varmistamiseksi, että itsevärähtely tapahtuu huolimatta pienistä epälineaarisuuksista, kuten kuollut väli ja/tai hystereesi, järjestelmän tulosignaali  $y_{ref}$  voidaan saattaa alttiiksi pienelle häiriölle.

Toistaiseksi kuvattu takaisinkytketty järjestelmä ja viritysmenetelmä ovat ennestään tunnettuja.

Yllä mainitun menetelmän itsevärähtelyn amplitudin ja taajuuden määrittämiseksi sijasta keksinnön mukaisesti on sijoitettu prosessin 1 kanssa sarjaan ja ennen sitä epälineaarinen piiri 7, jolla on kuvausfunktio  $N(A)$ , joka on määritetty alla. Täten epälineaarinen piirifunktio NL on sijoitettu säätimen 2 signaalitielle erosignaalin  $e$  käsittelyä varten, ennenkuin tämä signaali syötetään prosessiin 1. Tätä on

kuvattu kuviossa 1 kytkimen 8 avulla, joka kytkee piirin 7.

Sanotulla epälineaaraisella piirifunktiolla NL on releen ominaiskäyrä, mikä tarkoittaa, että piirin 7 lähdöllä on ensimmäinen alhainen arvo, kun piirin tulo  $e$  on alle ennalta määrätyn arvon ja toinen korkea arvo, kun tulosaati signaali ylittää sanotun ennalta määrätyn arvon. Täten lähtösignaali värähtelee kahden arvon välillä, esim. amplitudit  $+d$  ja  $-d$ . Sellainen piiri voidaan realisoida yksinkertaisen komparaattorin, jolla on suuri sisäinen vahvistus, avulla.

Vaikka parhaimpana pidetään ideaalisen releen ominaiskäyrää, siis suorakulmaisia siirtymiä, ja joka helposti voidaan toteuttaa mikrotietokoneeseen pohjautuvalla PID-säätimellä, keksintö toimii myös huonommin määritellyllä releen ominaiskäyrällä, jolla on kaltevuutta ja/tai ylilyöntejä.

Epälineaarinen piirifunktio voidaan esittää kuvausfunktiolla  $N(A)$ , joka on määritelty piirifunktion siirtofunktiona, kun tulosaati signaali on sinisignaali  $A \sin(\omega t)$ , missä  $A$  on amplitudi,  $\omega$  kulmataajuus ja  $t$  aika.

Kuvion 1 järjestelmän, johon on sijoitettu epälineaarinen piirifunktio NL, saattamiseksi itsevärähtelyyn, seuraavan yhtälöin on pädeittävä ainakin yhdelle parametrien  $A$  ja  $\omega$  arvolle:

$$G(i\omega) \cdot N(A) = -1$$

tai

$$G(i\omega) = -\frac{1}{N(A)}$$

Kuvion 2 kaaviossa funktiot  $G(i\omega)$  ja  $-\frac{1}{N(A)}$  on piirretty kompleksitasoon. Itsevärähtelyn amplitudi ja taajuus saadaan parametrien arvoista kuvattujen käyrien leikkauspisteessä p. Määräämällä itsevärähtelyn amplitudi ja taajuus säätöjär-

jestelmän (sisältäen PID-säätimen) siirtofunktion  $G(i\omega)$  arvo todellisessa leikkauspisteessä  $\underline{p}$  voidaan määrätä ja tätä informaatiota voidaan sitten käyttää säätimen viritykseen.

Epälineaaraisella piirifunktiolla NL, jolla on ideaalisen releen ominaiskäyrä, on kuvausfunktio  $N(A) = \frac{4d}{\pi A}$ , missä A on piirifunktion tulosignaalin  $\underline{e}$  amplitudi ja  $\underline{d}$  on lähtösignaalin amplitudi. Kuvausfunktion negatiivisesta käänteisarvosta  $-\frac{1}{N(A)}$  tulee kompleksitasoon piirrettynä suora viiva, joka yhtyy negatiiviseen reaaliakseliin -Re.

Epälineaaraisella piirillä, jolla on releen ominaiskäyrä, Zieglerin ja Nicholsin menetelmä soveltuu hyvin PID-säätimen viritykseen. Kun releen ominaiskäyrän omaava epälineaarinen piiri 7 on kytketty ja PID-säädin on kokonaan poiskytketty, ts. ohitettu, järjestelmä saatetaan itsevärähtelyyn. Mahdollisesti säätimen vertoyksikkö P voidaan kytkeä värähtelyn amplitudin rajoittamiseksi. Itsevärähtelyn amplitudi A, joka on mitta siirtofunktion  $G(i\omega)$  ja negatiivien reaaliakselin -Re leikkauspisteelle  $\underline{p}$ , määritetään mittaamalla prosessin jälkeinen signaali y mittausyksiköllä 10. Tunnettaessa tämä piste, siis amplitudi A, ja epälineaarisen piirin releen ominaiskäyrä (arvo d) järjestelmän kriittillinen vahvistus  $k_c$  voidaan laskea yhtälön  $k_c = \frac{4d}{\pi A}$  mukaisesti. Lisäksi itsevärähtelyn jaksoaika  $T_c$  määritetään mittaamalla.

Sen jälkeen lasketaan Zieglerin ja Nicholsin kaavojen mukaan vahvistus, integrointiaika ja derivointiaika, ja sitten säädin viritetään riippuen lasketuista parametreista.

Tässä yhteydessä on mainittava, että ei ainoastaan P-yksikkö voi olla kytketty värähtelyn ja mittauksen aikana. Myös I- ja D-yksiköt voidaan kytkeä yksittäin tai yhdessä - myös P-yksikön kanssa. Erityisesti on näin, jos toinen piste Nyquistin käyrällä kuin leikkauspiste negatiivisen reaaliakselin kanssa on identifioitava. Viitataan "Ziegler Nichols Auto-Tuners",

Karl Johan Åström, Department of Automatic, Lund Institute of Technology, May 1982.

Yllä oleva menetelmä voidaan suorittaa manuaalisesti tai automaattisesti riippuen siitä, miten säädin 2 ja epälineaarinen piirifunktio NL on toteutettu.

Keksinnöllä vältetään ongelma, jonka aiheuttavat pienet epälineaarisuudet järjestelmässä, mikä voi estää itsevärähtelyn, sillä asetettu epälineaarinen piirifunktio NL suurelta osalta peittää minkä tahansa pienen epälineaarisuuden.

Tämänpäivän PID-säätimet on tavallisesti rakennettu mikrotietokoneen pohjalle ja kuvio 3 lohkokaaavana näyttää kuvion 1 järjestelmän toteutettuna mikrotietokoneen sisältävällä säätimellä. Tulopuolellaan mikrotietokoneella on A/D-muunnin 11 ja lähtöpuolellaan D/A-muunnin 12. Lisäksi on mikroprosessori 13, ohjelmoitava lukumuisti 14 (PROM), joka toimii ohjelmavarastona 14 ja luku- ja kirjoitusmuisti 15 (RAM) datan puskuroimiseksi. Puskurimuistilla 15 on tulo- ja lähtörekisterit, kuten myös kello lähtösignaalien generoimiseksi pulsseina D/A-muuntimelle 12. Mikrotietokoneen yksiköt 13-15 on yhdistetty toimimaan yhdessä tunnetulla tavalla. Säätöfunktiot P-, I- ja D-säätöä varten on varastoitu ohjelmamuistiin 14 yhdessä kaiken muun tietokoneen toimiakseen tarvitseman ohjelmiston kanssa.

Kuviossa 1 näytettyjä analogisesti toimivia säätöfunktioyksiköitä voidaan kuvata piirifunktiolla  $k \cdot e$  vertoyksikölle P,  $k/T_I \cdot \int e dt$  integroivalle yksikölle I ja  $k \cdot T_D \frac{de}{dt}$  derivoivalle yksikölle D. Kuvion 3 mukaisessa toteutuksessa nämä piirifunktiot on varastoitu ohjelmamuistiin 14 algoritmeina kohdistamaan toimenpiteensä säätimen tulosaaliin tai erosaaliin  $e$  tai vielä täsmällisemmin niiden mitattuihin arvoihin tuottaakseen säätimen lähtöpuolella säätösignaalin  $u$ , joka syötetään prosessiin. Kuten kuvion 1 toteutuksessa

ohjearvo on  $y_{ref}$  ja prosessin todellinen arvo tai mitattu suure on  $y$ .

Tämä tunnettu PID-säädin viritetään ei-näytetyn asetuselimen avulla, kun vain vertosäätö on mukana, jolloin vahvistus lisääntyy manuaalisesti, kunnes saavutetaan itsevärähtely. Itsevärähtelyn vahvistus ja värähtelyjakso mitataan ja niitä käytetään säätimen parametrien laskentaan ja asettamiseen Zieglerin ja Nicholsin kaavojen mukaisesti.

Järjestelmän saattamiseksi itsevärähtelyyn tarkoituksena mitata itsevärähtelyn amplitudi ja taajuus, keksinnön mukaisesti on lisätty piirifunktio NL, jolla on epälineaarinen ominaiskäyrä säätimen signaalin käsittelyä. Tämä piirifunktio NL toteutetaan mikrotietokoneessa lisäalgoritmina ja se noudattaa myös aiemmin mainittua vaatimusta itsevärähtelylle. Täten kuvausfunktio  $N(A)$  pätee  $G(i\omega) \cdot N(A) = -1$ , missä  $G(s)$  ei sisällä NL:ää, joka on siksi esitetty suluissa kuviossa 3.

Kun PID-säädin on viritettävä, järjestelmä itsevärähtelyn amplitudin ja taajuuden mittaussuureiden määrittämiseksi saatetaan itsevärähtelyyn, jossa epälineaarinen piirifunktio NL on sijoitettu säätimen signaalin, siis erosignaalin  $e$  tai tarkemmin sanoen säätimen tulossignaalin  $e$  mitattujen arvojen signaalitielle sanottujen arvojen tullessa rekisteröidyksi tietokoneella. Täten säätimen tulossignaalia  $e$  käsitellään epälineaarisen piirifunktion NL avulla. Sitten määritetään itsevärähtelyn amplitudi ja taajuus sopivalla tavalla mittaamalla lähtösignaali  $y$ .

Itsevärähtelyn amplitudin ja taajuuden mittaaminen ei muodosta mitään osaa keksinnöstä, vaan mitä tahansa sopivaa mittausmenetelmää voidaan käyttää. Amplitudin mittaamiseksi mainitaan kolme menetelmää:

- 1) Toisiaan seuraavien värähdysten amplitudi mitataan ja amplitudiarvo hyväksytään, kun seuraava amplitudiarvo eroaa vähemmän kuin ennalta määrätty arvo, esim. 3 % amplitudista;
- 2) Rekursiivisen pienimmän neliösumman identifioimismenetelmää käytetään;
- 3) Käytetään Kalman-suodatinta.

Taajuus voidaan myös määrittää useilla tavoilla, joista kolme mainitaan tässä:

- 1) Yksinkertaisin menetelmä on mitata aika värähtelyn perättäisten nollan ylitysten välillä;
- 2) Pienimmän neliösumman menetelmää voidaan käyttää;
- 3) Niin kutsuttua laajennettua Kalman-suodatinta voidaan käyttää, mikä mahdollistaa sekä amplitudin ja taajuuden määrittämisen samasta suodattimesta.

Kuvion 3 lohkokaavio valaisee keksinnön toimintaa. Käytännössä kuitenkin erosignaali  $e$  generoidaan säätimessä itsessään ja niin takaisinkytkentäsignaali  $-y$  voidaan syöttää mikroprosessoriin 13 toisen A/D-muuntimen kautta. Kuitenkin yleensä käytetään multiplekseriä säätimen tulopuolella ennen A/D-muunninta 11. Nämä viimeksi mainitut toteutusmuodot myös auttavat lähtösignaalin  $y$  mittauksia itsevärähtelyn amplitudin ja taajuuden määrittämiseksi.

On kuvattu yksi sovellutus PID-säätimen virittämiseksi käyttämällä hyväksi releen ominaiskäyrän omaavaa epälineaarista piirifunktiota NL. Toisen sovellutuksen mukaan PID-säädin voidaan virittää antamaan prosessijärjestelmälle haluttu vaihevara. Kuviossa 5 on näytetty siritofunktion  $G(s)$  vaihevara

$\varphi_m$ . Sovellutus on erityisen sovelias, jos epälineaaraisella piirifunktiolla on releen ominaiskäyrä, mieluiten ideaalinen ominaiskäyrä hystereesillä. Piirifunktio, jolla on ideaalinen releen ominaiskäyrä ja hystereesiä, käsittelee tulosignaalia sillä tavalla, että tulosignaalin laskiessa alle ensimmäisen arvon  $-H$  se tuottaa matalan lähtösignaalin  $-d$  ja kun se nousee toisen arvon  $H$  yläpuolelle, se tuottaa korkean lähtösignaalin  $+d$ . Lähtösignaali on aina neliöaaltosignaali. Arvo  $H$  on mitta hystereesille. Ymmärretään, että tulosignaalin amplitudin  $A$  on ylitettävä hystereesi  $H$ , jotta toiminta tapahtuisi oikein.

Kuvausfunktio  $N'(A)$  piirifunktiolle, jolla on ideaalinen releen ominaiskäyrä ja hystereesiä, on:

$$N'(A) = \frac{4d}{\pi A} \cdot e^{-1} \varnothing; \varnothing = \arcsin \frac{H}{A}; A \geq H$$

missä  $A$  on, kuten ennen, epälineaarisen piirin tulosignaalin amplitudi,  $d$  on epälineaarisen piirin lähtösignaalin amplitudi,  $H$  on mitta hystereesille ja  $\varnothing$  on mitta aikaviiveelle tulon ja lähdön välillä. Kuvausfunktion negatiivisen käänteisarvon voidaan näyttää olevan:

$$-\frac{1}{N'(A)} = -\frac{\pi}{4d} \sqrt{A^2 - H^2} - i \frac{\pi \cdot H}{4d}$$

Koska imaginaarinen jäsen on riippumaton amplitudista  $A$ ,  $-\frac{1}{N'(A)}$ :n käyrästä kompleksitasossa, tulee negatiivisen

reaaliakselin kanssa yhdensuuntainen suora; vrt. kuvio 4.

Kuvioiden 1 ja 3 takaisinkytketyssä järjestelmässä itsevärähtely tapahtuu, jos käyrät  $G(i\omega)$  ja  $-1/N'(A)$  risteävät, kuten on näytetty kuviossa 4. Koska itsevärähtelyn amplitudi ja taajuus saadaan käyrien parametreista leikkauspisteessä  $p$ , siirtofunktio  $G(i\omega)$  voidaan määrittää itsevärähtelyn

taajuudella.

Täten, kun piirifunktio, jolla on releen ominaiskäyrä ja hystereesiä, tuodaan PID-säätimen signaalitielle, itsevärähtely saadaan tapahtumaan. Mittaamalla itsevärähtelyn amplitudi ja taajuus kyseessä olevan säätöjärjestelmän haluttu vaihevara voidaan asettaa. Viitatan "A PID Tuner based on Phase Margin Specification" Tore Hägglund, Department of Automatic Control, Lund institute of Technology, Sept 1981.

Kaksi toteutusmuotoa, jotka vaativat ideaalisen releen ominaiskäyrän omaavan piirifunktion mukaan tuomista, on tuotu esiin parametrien määrittämiseksi ja sen jälkeiseksi PID-säätimen virittämiseksi. Keksinnön menetelmä on yksinkertainen ja voidaan toteuttaa muutamana ohjelma-askeleena mikrotietokoneessa. Menetelmä voidaan myös suorittaa manuaalisesti tai kokonaan automaattisesti. Menetelmä vaatii sekaantumista prosessin normaaliin säätöön ja suoritetaan siksi ajoittain. Ohjelmakello voi aloittaa PID-säätimen virityksen ennalta määrättyinä aikaväleinä, kuten kerran joka vuorokausi tai kerran viikossa.

Yllä mainitun vaatimuksen epälineaarisen piirifunktion NL kuvausfunktiolelle mukaan kuvausfunktion tulossignaalin on oltava sinisignaali. Toisaalta sanotun kuvausfunktion lähtösignaali on neliöaaltosignaali. Kuitenkin useimmissa tapauksissa prosessin siirtofunktio on alipäästösuodatin, mistä seuraa, että prosessin lähtösignaali  $y$ , joka syötetään takaisin säätimen sisääntuloon, on suodatettu ja sisältää olennaisesti vain perustaajuuden, ts. harmoniset aallot on suodatettu pois.

Kokeet ovat osoittaneet, että prosessit, joilla on suhteellisen yksinkertainen tai "hyvä" siirtofunktio, joita normaalisti säädetään tavanomaisen PID-säätimen avulla, noudattavat erittäin hyvin yllä mainittua kaavaa. Koska keksinnön tarkoitus on tuoda esille yksinkertainen viritysmenetelmä käytettäväksi

yksinkertaisissa PID-säätimissä, tehdyllä approksimaatiolla on vähäinen merkitys.

Todellisuudessa epälineaarisen piirifunktion kuvausfunktio pätee myös sinimuodosta huomattavasti poikkeaville tulosignaaleille. Kuitenkin tulosignaalin on oltava melko symmetrinen. Symmetrian turvaamiseksi epälineaarinen piirifunktio esijännitetään sopivan toimintapisteen suhteen, kuten on näytetty kuviossa 6. Haluttu lähtösignaali  $y_{des}$  vastaa tulosignaalia  $u_{des}$ . Tulosignaali  $u_{des}$  voidaan määritellä tulosignaalina, jolle lähtösignaali ideaalisen releen ominaiskäyrän omaavasta epälineaarisesta piirifunktiosta on symmetrinen. Tämä vuorostaan voidaan määrätä mittaamalla epälineaarisesta piirifunktiosta NL lähtevän neliöaaltoisen lähtösignaalin positiiviset ja negatiiviset aikajaksot  $T_+$  ja  $T_-$ . Eri tulosignaalien peräkkäisten mittausten avulla  $u_{des}$  voidaan arvioida interpoloimalla. On ymmärrettävää, että epälineaarisen piirifunktion parametrit voidaan valita eri tavoin. Voi olla suotavaa kiinnittää tietyt parametrit toisten parametrien ollessa vapaasti valittavissa.

Keksintö ei ole rajoitettu kuvattuihin toteutusmuotoihin, vaan sitä voidaan muunnella oheisten patenttivaatimusten puitteissa.

Patenttivaatimukset

1. Menetelmä PID-tyyppisen säätimen (2) parametrien virittämiseksi takaisinkytketyssä järjestelmässä, jossa säädettävällä prosessilla (1) ja säätimellä (2) on yhteinen siirtofunktio  $G(s)$ , jossa menetelmässä ensimmäisessä vaiheessa takaisinkytketty säätöjärjestelmä saatetaan itsevärähtelyyn, toisessa vaiheessa määritetään itsevärähtelyn amplitudi ja taajuus ja kolmannessa vaiheessa käytetään määritettyjä itsevärähtelyn amplitudin ja taajuuden arvoja säätimen parametrien laskemiseksi, t u n n e t t u siitä, että mainitussa ensimmäisessä vaiheessa epälineaarinen piirifunktio (NL), jolla on sellainen kuvausfunktio  $N(A)$ , että  $G(i\omega) \cdot N(A) = -1$  ainakin yhdelle sanotun singaalin kulmataajuuden ( $\omega$ ) ja amplitudin ( $A$ ) arvolle, kytketään sarjaan säädettävän prosessin (1) kanssa ja että piirifunktio poistetaan mainitun toisen vaiheen jälkeen.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että piirifunktiolla (NL) on releen ominaiskäyrä.

3. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että piirifunktiolla (NL) on releen ominaiskäyrä ja hystereesi.

4. Väline, joka on tarkoitettu viritettäessä PID-säätimen (2) parametreja takaisinkytketyssä säätöjärjestelmässä, jossa säädettävällä prosessilla (1) ja säätimellä (2) on yhteinen siirtofunktio  $G(s)$ , saattamaan itsevärähtelyn amplitudin ja taajuuden mittaamiseksi, t u n n e t t u elimestä (7, 8; 13-15), joka on järjestetty toteuttamaan epälineaarinen piirifunktio (NL), jolla on sellainen kuvausfunktio  $N(A)$ , että  $G(i\omega) \cdot N(A) = -1$  ainakin yhdelle sanotun signaalin kulmataajuuden ( $\omega$ ) ja amplitudin ( $A$ ) arvolle, ja väliaikaisesti

kytkemään tämä piirifunktio (NL) sarjaan säädettävän prosessin (1) kanssa.

5. Patenttivaatimuksen 4 mukainen väline, t u n n e t t u siitä, että piirifunktiolla (NL) on releen ominaiskäyrä.

6. Patenttivaatimuksen 5 mukainen väline, t u n n e t t u siitä, että piirifunktiolla (NL) on releen ominaiskäyrä ja hystereesi.

7. Jonkin patenttivaatimuksen 4 - 6 mukainen väline, t u n n e t t u siitä, että mainittu elin käsittää sähköisen piirin (7) ja virtakytkimen (8) sähköisen piirin kytkemiseksi väliaikaisesti säätimeen (2).

8. Jonkin patenttivaatimuksen 4 - 6 mukainen väline, missä säädin (2) sisältää mikrotietokoneen, jossa säätimen säätöfunktiot toteutetaan algoritmeilla, t u n n e t t u siitä, että mainittu elin käsittää mainitun mikrotietokoneen (13-15), jolloin mainittu piirifunktio (NL) toteutetaan siinä olevalla algoritmilla.

Patentkrav

1. Sätt att inställa parametrarna för en PID-regulator (2) i ett återkopplat reglersystem, i vilket det reglerade systemet (1) och regulatorn (2) har en gemensam överföringsfunktion  $G(s)$ , vid vilket sätt i ett första steg det återkopplade reglersystemet bringas i självsvängning, i ett andra steg självsvängningens amplitud och frekvens bestämmes och i ett tredje steg de bestämda värdena för självsvängningens amplitud och frekvens bestämmes och i ett tredje steg de bestämda värdena för självsvängningens amplitud och frekvens utnyttjas för beräkning av regulatorns parametrar, k ä n n e t e c k n a t därav, att i nämnda första steg en olinjär krets-funktion (NL), som har en sådan beskrivande funktion  $N(A)$ , att  $G(i\omega) \cdot N(A) = -1$  för åtminstone ett värde för vinkel-frekvensen ( $\omega$ ) och amplituden ( $A$ ) för en insignal, anslutes i serie till det reglerade systemet (1) och att krets-funktionen avlägsnas efter nämnda andra steg.

2. Sätt enligt patentkravet 1, k ä n n e t e c k n a t därav, att kretsfunktionen (NL) har reläkaraktär.

3. Sätt enligt patentkravet 1, k ä n n e t e c k n a t därav, att kretsfunktionen (NL) har reläkaraktär och hysteres.

4. Anordning, vilken är inrättad att vid inställning av parametrarna för en PID-regulator (2) i ett återkopplat reglersystem, i vilket det reglerade systemet (1) och regulatorn (2) har en gemensam överföringsfunktion  $G(s)$ , bringa det återkopplade reglersystemet i självsvängning i syfte att mäta självsvängningens amplitud och frekvens, k ä n n e t e c k n a t därav att organ (7, 8; 13 - 15), vilket är anordnat att realisera en olinjär kretsfunktion (NL), som har en sådan

beskrivande funktion  $N(A)$ , att  $G(i\omega) \cdot N(A) = -1$  för åtminstone ett värde för vinkelfrekvensen ( $\omega$ ) och amplituden ( $A$ ) för en insignal, och att temporärt ansluta denna kretsfunktion (NL) i serie till det reglerade systemet (1).

5. Anordning enligt patentkravet 4, k ä n n e t e c k n a d därav, att krefsfunktionen (NL) har reläkaraktistik.

6. Anordning enligt patentkravet 4, k ä n n e t e c k n a d därav, att kretsfunktionen (NL) har reläkaraktistik och hysteres.

7. Anordning enligt något av patentkraven 4 - 6, k ä n n e t e c k n a d därav, att nämnda organ innefattar en elektrisk krets (7) och en strömställare (8) för temporär anslutning av den elektriska kretsen till regulatorn (2).

8. Anordning enligt något av patentkraven 4 - 6 vid vilken regulatorn (2) innefattar en mikrodator, i vilken regulatorns reglerfunktioner realiseras av algoritmer, k ä n n e t e c k n a d därav, att nämnda organ innefattar nämnda mikrodator (13 - 15), varvid nämnda kretsfunktion (NL) realiseras av en algoritm däri.

Viitejulkaisuja-Anförda publikationer

-



FIG. 4

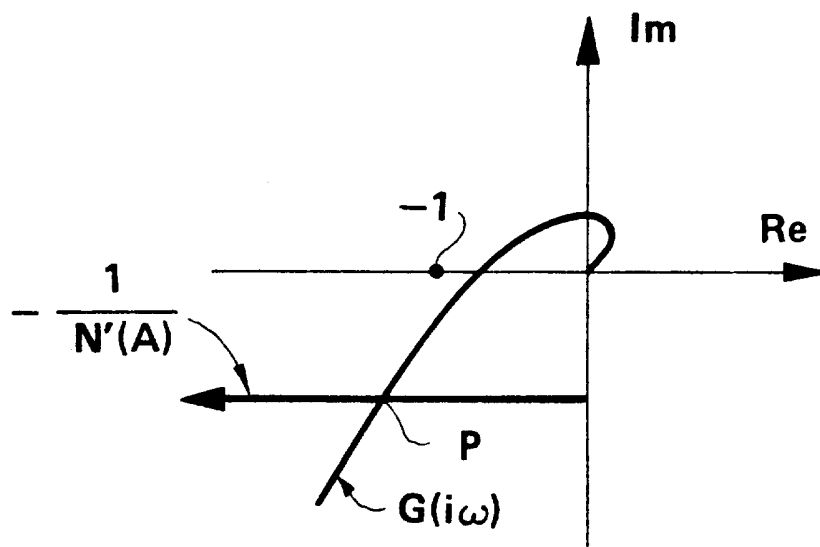


FIG. 2

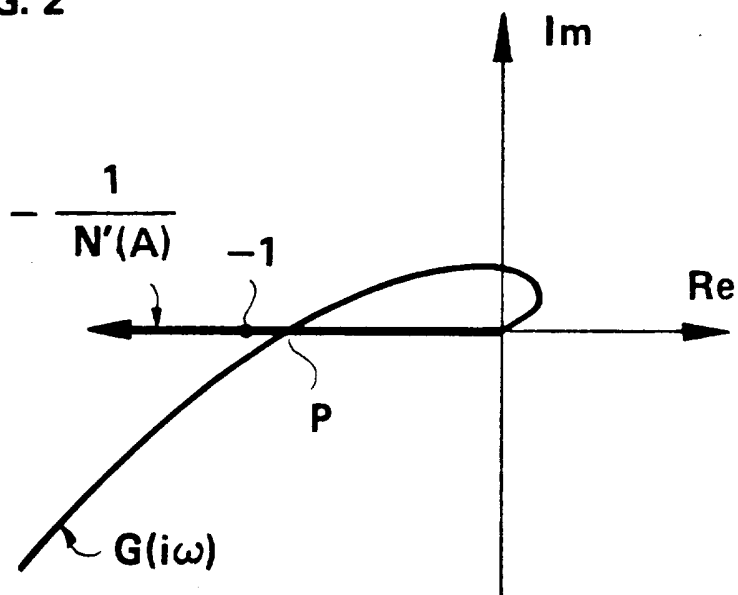


FIG.3

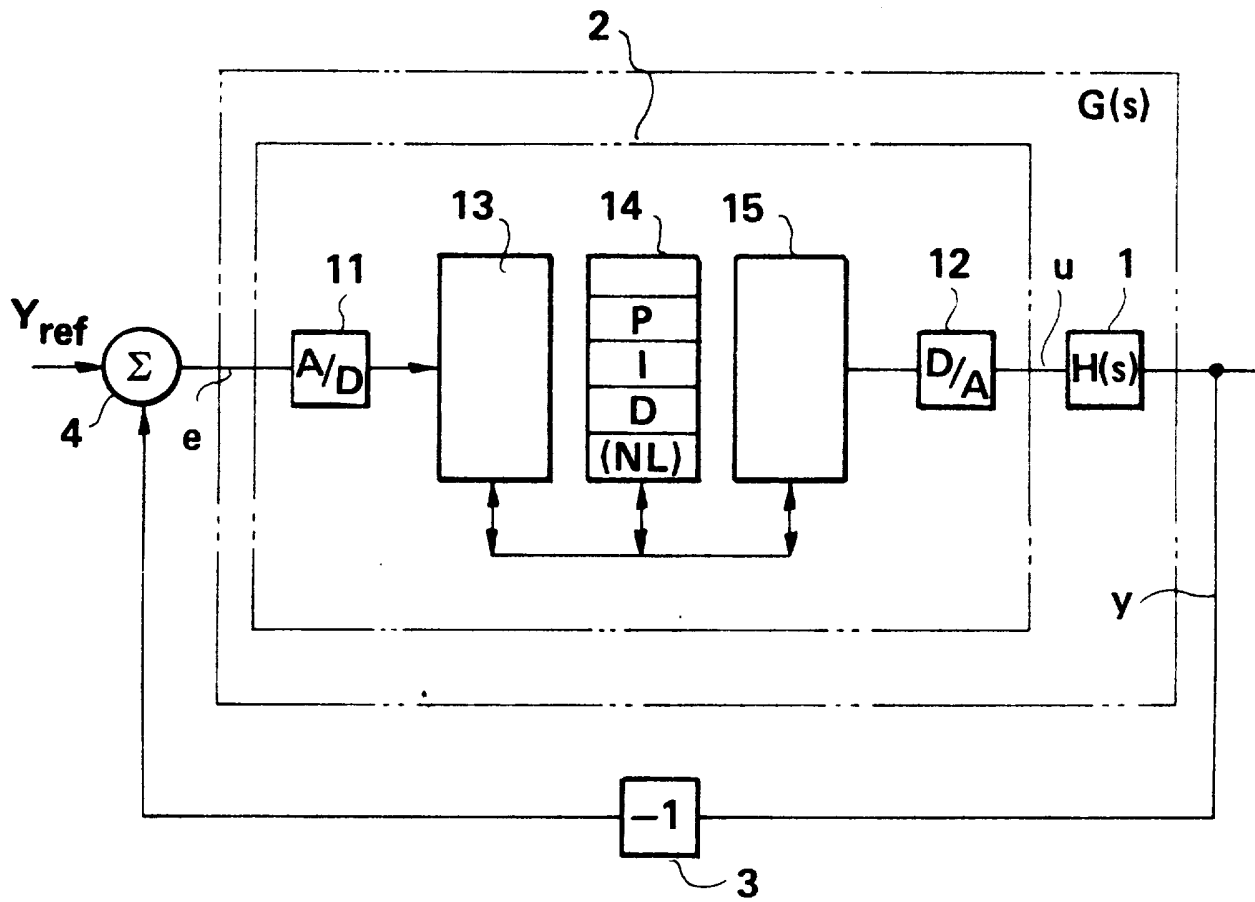


FIG. 5

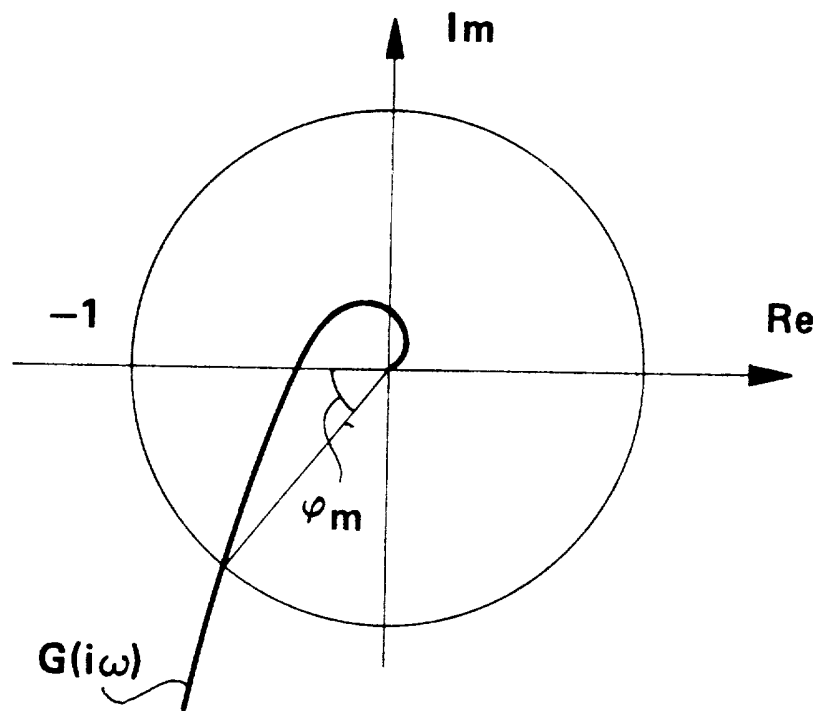


FIG. 6

