HU 0 0 0 2 2 5 5 7 1 B 1

(19) HU

MAGYAR KÖZTÁRSASÁG
Magyar Szabadalmi Hivatal

(11) Lajstromszám: 225 571 (13) B1

SZABADALMI LEÍRÁS

(21) A bejelentés ügyszáma: P 98 02089
(22) A bejelentés napja: 1996. 04. 26.

(40) A közzététel napja: 1998. 12. 28.
(45) A megadás meghirdetésének dátuma a Szabadalmi Közlöny és Védjegyértesítőben: 2007. 03. 28.

(51) Int. Cl.: *G05B 13/04* *(2006.01)*

(86) A nemzetközi (PCT) bejelentési szám:
PCT/US 96/05907
(87) A nemzetközi közzétételi szám: WO 9634324

(30) Elsőbbségi adatok:
08/431,244 1995. 04. 28. US

(72) Feltalálók:
Bartusiak, Raymond Donald, Houston, Texas (US);
Fontaine, Robert William, Houston, Texas (US)

(73) Jogosult:
ExxonMobil Chemical Patents Inc., Baytown, Texas (US)

(74) Képviselő:
Kovács Ivánné, DANUBIA Szabadalmi és Védjegy Iroda Kft., Budapest

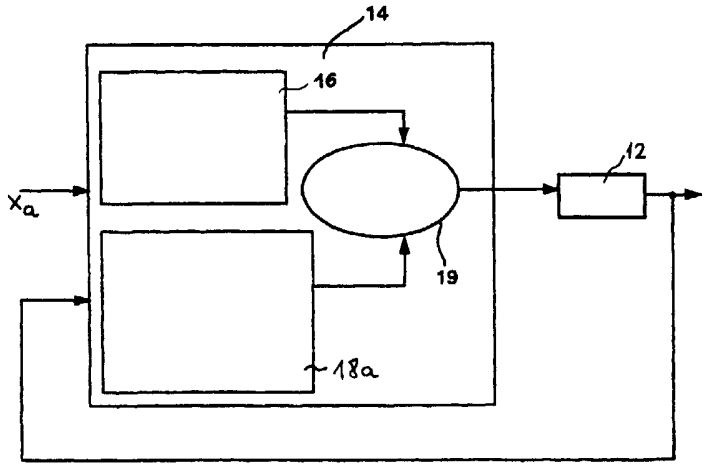
(54) **Folyamatszabályozó**

(57) Kivonat

A találmány olyan folyamatszabályozó, amely nemlineáris folyamatok szabályozására alkalmas modellalapú, visszacsatolást tartalmazó szabályozórendszereknél, és amely lehetővé teszi, hogy a szabályozott jellemzőt úgy lehessen állítani, hogy eközben a módosítottjellemző-ráfordítást minimális értéken tartják a kívánt szabályozott jellemzők egyidejű biztosításával.

A folyamatszabályozó tartalmaz a szabályozott jellemzőt mérő érzékelőelemet, a szabályozott jellemző felső és alsó határértékeit mint szabályozási tartományt, valamint a szabályozott jellemzőhöz rendelt korrekciós időállandót tároló memóriát. Az érzékelőelemhez és a memóriához egy processzor van csatlakoztatva, amely az adott szabályozott szakaszhoz tartozó folyamatmodellt (16) leíró adatokat tartalmaz. A folyamatmodell (16) a módosított jellemzők és a szabályozott jellemzők közötti költségviszonyt írja le, és ennek megoldásával a legalább egy szabályozott jellemző számára előre jelzett értéket hoz létre.

A találmány lényege, hogy a processzor olyan logikai egységet is tartalmaz, amely a szabályozott jellemzőnek az adott sávon kívül eső mért adatait dolgozza fel, és olyan szabályozójelet hoz létre, amellyel a módosított jellemzőt úgy változtatja, hogy minimális legyen a költségráfordítás, és ugyanakkor a szabályozott jellemző a felső és alsó határérték közötti sávba térjen vissza.



2. ábra

A leírás terjedelme 12 oldal (ezen belül 3 lap ábra)

HU 225 571 B1

A találmány tárgya folyamatszabályozó, elsődlegesen nemlineáris folyamatok szabályozására, modellalapú, visszacsatolást tartalmazó szabályozórendszerekhez, ahol a módosított jellemzők és az adott szabályozott szakaszhoz tartozó szabályozott jellemzők között nemlineáris kapcsolat van.

Az US 4,349,869 számú szabadalmi leírás, amelynek címe „Dinamikus mátrixszabályozási eljárás" egy olyan eljárást és berendezést ismertet, amely egy adott létesítményen belül az egymással összefüggő folyamatok működésének a szabályozására és optimalizálására szolgál. A szabályozáshoz a szabályozott szakasz bemeneti szabályozott jellemzőit mért zavarójelek hatásának vetik alá, a kimeneten pedig az ezek hatására jelentkező dinamikus paramétereket mérik, hogy meg lehessen állapítani, hogy on-line működés esetén az eljárás az adott zavarójelekre milyen válaszjelet hoz létre. Egy ilyen szabályozáshoz a fent említett szabadalmi leírás szerint egy értéktáblázatot hoznak létre, amelyet a kezdeti próbamérések során mért adatokból állítanak össze. A táblázatba különböző bemenőjelek és az ezek hatására létrejövő kimenőjelek vannak a felvéve. Ez a táblázat szolgál azután mint elvi referencia a létesítmény ezután következő működési viszonyaira.

Az US 4,349,869 számú szabadalmi leírásban ismertetett eljárás elsődlegesen lineáris rendszerek szabályozására van kialakítva, vagy olyan rendszereknél alkalmazható, amelyek működése lineáris rendszerként képezhető le. Ha azonban nemlineáris működésű szabályozott szakaszról van szó, úgy erre vonatkozóan a szóban forgó szabadalom nem ad megfelelő választ, különösen akkor nem, ha több szabályozott jellemzőről és módosított jellemzőről van szó. A szabályozott jellemző lényegében egy olyan üzemi kimenőjel, amely akkor fog változni, ha egy vagy több módosított jellemző, azaz a szabályozott szakasz bemenetére jutó jel változik.

Polimerizációs eljárásokhoz alkalmazható dinamikus mátrixszabályozási (DMC) eljárást ismertetnek Peterson és társai a „Nemlineáris DMC-algoritmus és ennek alkalmazása félfolyamatos működésű polimerizációs reaktorban" című cikkben, amely a Chem. Eng. Science 47. kötetében a 4. szám 737–753. oldalán (1992-ben) jelent meg. Peterson és társai olyan nemlineáris szabályozást és numerikus algoritmust alkalmaznak, amelyből eredményeket ugyan ki lehet venni, de nem alkalmazható az eljárás abban az esetben, ha egy adott szabályozási feladatnál a bemeneti állapotok ráfordításának a minimalizálását kívánják elérni. Brown és társai a „Korlátozott nemlineáris sokváltozós szabályozóalgoritmus" címmel írtak cikket 1990 szeptemberében a Trans I Chem. E. 68 (A) kötetének 464–476. oldalain. Ez a cikk olyan nemlineáris szabályozót ismertet, amely a kimenőjel azon értékeit adja meg, amelyekre a szabályozás le van tiltva. Brown és társai azonban nem vizsgálják meg azt, hogy melyek azok a bemeneti értékek, amelyek mellett minimális ráfordítással még megfelelő kimenőjeleket biztosító szabályozás valósítható meg.

Ismertek olyan megoldások is, amikor olyan modellalapú szabályozórendszert alkalmaznak, amely lineáris és nemlineáris kifejezéseket használ fel mind a szabályozott jellemzők, mind pedig a módosított jellemzők vonatkozásában. Az US 4,663,703 számú szabadalmi leírás egy olyan predikciós modellre épülő szabályozóra ismertet referenciamegoldást, amely egy alrendszer impulzusmodelljét használja fel arra, hogy leképezze és megadja a várható jövőbeni kimenőjeleket. Maga a rendszer állítható erősítésű visszacsatolást és olyan szabályozóhurkot tartalmaz, amely úgy van beállítva, hogy maga a dinamikus rendszer konstans paraméterekkel rendelkezzen, még akkor is, ha a dinamikus paraméterek változnak.

Az US 5,260,865 számú szabadalmi leírás nemlineáris modellalapú szabályozórendszert ismertet desztillációs folyamatokhoz, amelynél a nemlineáris modellt a folyamatban keletkező gőz és a desztillátum áramlási sebességeinek a kiszámítására használják. Az US 4,358,822 számú szabadalmi leírás pedig egy adaptív predikciós szabályozórendszert ismertet, ahol modell alapján határozzák meg azt a szabályozóvektort, amelyet a folyamathoz alkalmazni kell ahhoz, hogy az adott üzemi folyamat kimenőjelei egy adott kívánt értéken legyenek egy jövőbeni kiválasztott időpontban. A modell paramétereit valós idejű alapon frissítik fel, ily módon tehát a kimeneti vektor mindenkor a pillanatnyi folyamatvektort fogja közelíteni. Az US 5,268,834 számú szabadalmi leírás pedig olyan neuronhálózatot tartalmaz, amely az üzemi modellt képezi le szabályozási célokra.

A modellalapú szabályozórendszerek kiterjesztése nagyüzemi működéshez nem egyszerű visszacsatolási probléma akkor, ha az üzemi paraméterek dinamikusan nemlineáris módon változnak, és mind a módosított jellemzők, mind pedig a szabályozott jellemzők száma nagy. A legutóbbi időkig nem voltak olyan megfelelő méretű és árú számítógépes folyamatszabályozó rendszerek, amelyek az ilyen dinamikus üzemi folyamatok modellezéséből származó számos egyenlet szimultán kezelésére lettek volna alkalmazhatók.

Különféle szintéziseljárásokat fejlesztettek ki azokra a felhasználási területekre, ahol nemlineáris szabályozási problémák merülnek fel. Ilyen például a pH-érték szabályozása. Egy ilyen ismert szintézissel működő rendszerben szükség van arra, hogy legyen egy olyan nemlineáris szabályozott szakasz, amely egy adott referenciagörbe szerint működik, és az alapjelet egy elsőrendű vagy egy másodrendű görbe szerint éri el akkor, ha a rendszer késleltetési ideje letelt. Bartusiak és társai a „Referencia-rendszer szintézise alapján kialakított nemlineáris pozitív visszacsatolás/visszacsatolás-szabályozás" címmel írtak cikket 1989-ben a Chemical Engineering Science 44. kötete 9. számában az 1837–1851. oldalakon. A cikkben egy olyan folyamatszabályozót ismertetnek, amely az erősen nemlineáris szabályozott szakaszok működésének szabályozásánál használható. Bartusiak és társai alapvetően egy olyan szabályozott szakaszt írnak le, amely egy sor differenciálegyenlet segítségével szabályozha-

tó. A zárt hurkú szabályozórendszernek a kívánt viselkedését egy sor olyan integrál-differenciál egyenlet képezi le, amely nemlineáris is lehet. A kívánt viselkedéssel bíró rendszert hívják referencia-rendszernek.

Bartusiak és társai a kívánt zárt hurkú viselkedést azáltal érik el, hogy a módosított jellemzőket úgy állítják be, hogy a rendszer – amennyire csak lehet – úgy viselkedjen, mint a referencia-rendszer. A módosított jellemzők viselkedését azáltal határozzák meg, hogy kiegyenlítik vagy általánosságban minimalizálják a nyílt hurkú rendszer és a kívánt zárt hurkú rendszer közötti különbséget. A szabályozott szakasz viselkedését – amely az előírásoknak megfelel – ezután határozzák meg. A szabályozott jellemzőket úgy határozzák meg, hogy egy paramétert elhangolnak, és ez a paraméter változása szabályozza azt a változási sebességet, amellyel a szabályozott jellemző az alapjelet eléri. Még pontosabban, a rendszer kívánt kimeneti paraméterét beállítják, és azt a sebességet, amellyel a szabályozórendszer a kívánt kimeneti paramétert eléri a szabályozás során, ezen paraméter állításával érik el. Ily módon tehát a szabályozás úgy működik, hogy a kimenőjel egy adott névleges paraméterértéket fog elérni, függetlenül a módosított jellemzők költségfüggvényeitől. Ez a megoldás nem veszi figyelembe a módosított jellemzők variációinál a költségfüggvényt, amely nemcsak a jó hatásfokú szabályozást, de a költségek minimalizálását is lehetővé tenné.

A találmánnyal célul tűztük ki folyamatszabályozó megvalósítását nemlineáris folyamatok szabályozására, amely lehetővé teszi, hogy a szabályozott jellemzőkhöz alkalmazott paramétereket is állítani lehessen, és a szabályozás jellege lehetővé tegye, hogy a módosított jellemző ráfordítást minimális értéken tartsuk a kívánt szabályozott jellemzők egyidejű biztosításával.

A találmány tárgya folyamatszabályozó adott szabályozott szakasz szabályozására, a szabályozott szakasz bemeneti állapotaira vonatkozó módosított jellemzőkkel és a kimeneti állapotaira vonatkozó szabályozott jellemzőkkel van ellátva, a folyamatszabályozó tartalmaz:

legalább egy szabályozott jellemzőt mérő érzékelőelemet,

a szabályozott jellemző felső és az alsó határértékeinek és a legalább egy szabályozott jellemzőhöz rendelt korrekciós időállandó tárolására kiképezett memóriát, ahol a felső és az alsó határértékek olyan sávot fognak közre, amely a legalább egy szabályozott jellemző számára az elfogadható szabályozási tartományt jelöli.

A találmány lényege, hogy tartalmaz még egy processzort, amely az érzékelőelemhez és a memóriához van csatlakoztatva, és az adott szabályozott szakaszhoz tartozó folyamatmodellt leíró adatokat tartalmaz, a folyamatmodell a módosított jellemzők és a szabályozott jellemzők közötti költségviszonyt írja le, és ennek megoldásával a legalább egy szabályozott jellemző számára előre jelzett értéket létrehozóan van kiképezve, a processzor tartalmaz logikai egységet, amely a legalább egy szabályozott jellemző az adott sávon kívül eső mért adatait feldolgozza, és ennek hatására olyan szabályozójelet hoz létre, amellyel a módosított jellemzőt olyan irányban változtatja, hogy minimális legyen a költségráfordítás, és a módosított jellemző úgy változzon, hogy a legalább egy szabályozott jellemzőt az előre megadott felső és alsó határérték által határolt sávba vigye vissza,

szabályozójeleket létrehozó elemeket a szabályozott szakasz azon beavatkozóelemeinek a működtetésére, amelyeknek segítségével a módosított jellemzőket szabályozzák.

A folyamatszabályozóban lévő memória az adott folyamatmodellhez olyan válaszjelfüggvényt leíró adatokat tárol, amelyek a legalább egy szabályozott jellemzőnek azon visszatérési sebességét adják meg, amellyel abba a megadott sávba tud visszatérni, amely az elfogadható szabályozási tartományba esik, amikor a szabályozott jellemző a felső határértéket túllépi, és a memória az adott folyamatmodellhez olyan válaszjelfüggvényt leíró adatokat is tárol, amely a legalább egy szabályozott jellemző visszatérési sebességét adja meg, amellyel abba a megadott sávba tud visszatérni, amely az elfogadható szabályozási tartományba esik, amikor a szabályozott jellemző az alsó határértéket túllépi, mindkét válaszjelfüggvény tartalmaz egy korrekciós időállandót, és a legalább egy szabályozott jellemző mért és kívánt változási sebessége közötti viszonyt kifejező függvényt, és a logikai egység ezeket az adatokat a bemeneti állapotok minimális ráfordítással történő megváltoztatására felhasználóan van kiképezve.

A folyamatszabályozó által alkalmazott válaszjelfüggvények legalább egy szabályozott jellemzőnél a következők:

$$dy_k/dt=[SPH_k-(y_k+b)]/T+Vhp_k-Vhn_k$$

$$dy_k/dt=[SPL_k-(y_k+b)]/T+Vlp_k-Vln_k$$

k=1-től K-ig

Vlp>=0,0

Vln>=0,0

Vhp>=0,0

Vhn>=0,0

ahol

SPH = a szabályozott jellemző felső határértéke vagy korlátja;

SPL = a szabályozott jellemző alsó határértéke vagy korlátja;

y = az előre jelzett szabályozott jellemző;

b = az előre jelzett érték és a mért érték közötti névleges alaphiba;

Vhp = a szabályozott jellemző mért pozitív eltérése a felső határértéktől;

Vhn = a szabályozott jellemző mért negatív eltérése a felső határértéktől;

Vlp = a szabályozott jellemző mért pozitív eltérése az alsó határértéktől;

Vln = a szabályozott jellemző mért negatív eltérése az alsó határértéktől;

k = jövőbeni időlépés;

K = a jövőben használt futóindex;

T = a szabályozott jellemző zárt hurkú válaszsebességre vonatkozó időállandója.

A folyamatszabályozóban lévő logikai egység egy olyan összefüggés minimalizált megoldását végzi el, amelynek segítségével a módosított jellemzőket minimális ráfordítással lehet úgy változtatni, hogy a legalább egy szabályozott jellemző az elfogadható értékeket magában foglaló sávba visszatérjen, és a minimalizálás az alábbi függvény szerint történik:

$$\text{Min Sum } (Wh^{*}Vhp_k+Wl^{*}Vln_k)+C(x,u)$$

ahol

Wh, Wl=az optimalizálási-minimalizási súlyozási tényező;

Vhp_k, Vlp_k=a szabályozott jellemző határértéken kívül eső értékre történő változása;

C(x,u)=a büntetésfüggvény.

A találmányt a továbbiakban példakénti kiviteli alakjai segítségével, a mellékelt ábrákon ismertetjük részletesebben.

Az 1. ábrán a találmány szerinti folyamatszabályozó rendszer blokkvázlata látható,

a 2. ábrán a találmány szerinti nemlineáris szabályozónál alkalmazott függvények vázlatos rajza látható,

a 3. és a 4. ábrán pedig olyan folyamatábrák láthatók, amelyek a találmány szerinti folyamatszabályozó működésének megértéséhez szükségesek.

Az alábbiakban megadjuk azokat a kifejezéseket, amelyeket a találmány szerinti folyamatszabályozó rendszer ismertetésénél alkalmazunk, valamint az ezekhez tartozó magyarázatokat.

Folyamatmodell: a folyamatmodell egy folyamatos időtartományra meghatározza az adott üzem mint szabályozott szakasz működését algebrai és differenciálegyenletek formájában.

A módosított jellemzők diszkretizálása: a módosított jellemzők diszkrét értékek szerint változnak az idő függvényében. Egy nulla nagyságrendű tartófüggvényt alkalmazunk ahhoz, hogy a találmány szerinti folyamatmodellben a diszkrét módosítottjellemző-értékeket megadjuk.

Referenciagörbe: a referenciagörbe a szabályozóparamétereinek névleges értékeit a szabályozott jellemző válaszadási sebességeként adja meg.

Célfüggvény: a célfüggvény határozza meg az optimális szabályozási körülményeket és viszonyokat. A célfüggvény büntetésfüggvényeket tartalmaz az alapjelek és a költségek (profit) túllépéséért.

Módosítottjellemző-határértékek: a módosítottjellemző-határértékek úgy vannak beállítva, hogy másodlagos szabályozási határértékeket vagy állapotokat tükrözzenek, így tartomány-határértékeket, alapjel-határértékeket és a gerjedést megakadályozó viszonyokat.

Visszacsatolás: a visszacsatolás a referenciagörbébe van beépítve mint a mért értékek és a modell által megadott előre jelzett értékek közötti különbségi jel.

Becsült állapotok: a folyamatmodellre vonatkozó becsült állapotokat és kimeneteket az egyes szabályozók letapogatásával hozzuk létre a dinamikus modell integrálásával, a módosított jellemzők, a visszacsatolás pillanatnyi értékei, valamint a korábbi szabályozási ciklus során felvett értékekből származtatott becsült értékek alapján.

Inicializálás: a szabályozókimenetek inicializálása úgy történik, hogy a rendszer minden egyes letapogatásnál a módosított jellemző pillanatnyi értékeit kiolvassa, és a szabályozó értékeihez mint egy növekményt hozzáadja. Ha a szabályozás folyamatban van, akár zárt hurkú szabályozásról, akár nyílt hurkú szabályozásról van szó, a modell állapotértékei és a kimenetei olyan értékekre vannak kezdetben beállítva, amelyeket a korábbi szabályozási ciklus alapján lehetett előre megállapítani. Amikor a programot először indítjuk el, a modellállapotok és kimenetek oly módon vannak inicializálva, hogy olyan módosított jellemzőkből és a visszacsatolásból indulnak ki, amely a modell állandósult állapotbeli állapotára vonatkozik.

Visszatérve az 1. ábrához, itt látható egy számítógépes digitális 10 folyamatszabályozó, amely egy 12 szabályozott szakaszban végbemenő folyamatot szabályozza. A folyamatra vonatkozó értékeket egy, a digitális 10 folyamatszabályozón belül elhelyezett 14 nemlineáris szabályozóba tápláljuk be. A digitális 10 folyamatszabályozóban vannak tárolva egy dinamikus 16 folyamatmodell jellemzői egy sor nemlineáris egyenlet formájában, amelyek a 14 nemlineáris szabályozóhoz vannak hozzárendelve, és annak referencia-rendszerét képezik. A 14 nemlineáris szabályozóba még egy sor 18 szabályozási paraméter is be van táplálva, amelyek a 14 nemlineáris szabályozóból kapott értékekre vonatkozó korlátozásokat adják meg. A 14 nemlineáris szabályozó a 12 szabályozott szakaszban végbemenő folyamat paramétereinek pillanatnyi mért értékeit a 16 folyamatmodell egyenleteinek megoldásából származtatott várható értékekkel összehasonlítja, és a korrekciós értékek ezekből kerülnek megállapításra, majd a 12 szabályozott szakasz szabályozóbemeneteire vannak továbbítva.

A 2. ábrán látható kiviteli alaknál 14 nemlineáris szabályozó egyik bemenete az Xa alapjelbemenet, a másik az ellenőrzőjel-bemenet, és magában foglalja a dinamikus 16 folyamatmodellt, amely a rendszerhez tartozó módosított jellemzők változásához szükséges folyamatállapotok változási sebességét, az egymástól független változókat, valamint az alapértékeket tartalmazza. A 14 nemlineáris szabályozó tartalmazza még minden egyes folyamatra a zárt szabályozási hurok 18a válaszjel-karakterisztikáit. Még pontosabban, minden egyes folyamat 18a válaszjel-karakterisztikája meghatároz egy olyan görbét, amelyet a szabályozott jellemzőnek követnie kell akkor, ha a módosított jellemzők megváltoznak. A 16 folyamatmodellek és a 18a válaszjel-karakterisztikák egy optimalizálási függvényt tartalmazó 19 egységbe vannak betáplálva, amely meghatározza azokat a minimalizált módosítottjellemző-függvényeket, amelyek segítségével el lehet érni a kívánt válaszjel tulajdonságait, feltéve, ha a mért érték és az előre jelzett érték között – amelyet a dinamikus 16 folyamatmodell ad meg – különbség érzékelhető.

Ha egy adott szabályozott jellemzőre felső és alsó határérték kerül megállapításra, a 14 nemlineáris sza-

bályozó a szabályozást úgy végzi el, hogy összehasonlítja a szabályozott jellemzőre vonatkozóan mért és az adott szabályozott jellemzőre előírt változási sebességet legalább egy határérték viszonylatában. Ha a szabályozott jellemző értéke a felső és az alsó határértékek között van, úgy semmiféle szabályozási művelet nem történik. Ha a szabályozott jellemző értéke a határértékeken kívül van, akkor a mért dinamikus változás és a 16 folyamatmodell alapján leképezett dinamikus változás összehasonlításával a hibajel változási sebessége meghatározható. Ezt a hibajel-változási sebességet azután egy célfüggvény arra használja fel, hogy meghatározzon egy olyan szabályozott jellemzőkészletet, amely legalább azt teszi lehetővé, hogy a szabályozott jellemző a felső és az alsó határértéke közé kerüljön. Azáltal, hogy a szabályozott jellemzőnek a felső és alsó határértékek közötti, még elfogadható változási tartományát megadjuk, a különböző módosított jellemzők úgy vizsgálandók, hogy meghatározzuk azokat a kombinációkat, amelyek lehetővé teszik, hogy a szabályozott jellemző a megadott határérték közé térjen vissza, ugyanakkor azonban minimális beavatkozó jellemzőráfordítást kelljen alkalmazni.

A 3. és a 4. ábrán a 14 nemlineáris szabályozó működésének a folyamatábrája látható. A nemlineáris szabályozás számítógéppel van megvalósítva, amely általában a 12 szabályozott szakaszba van beépítve. A 14 nemlineáris szabályozó adott névleges frekvencián vagy névleges letapogatási sebességgel működik, például percenként egyszer végez letapogatást, a szabályozott jellemzőket folyamatosan figyeli és méri, és a módosított jellemzőket úgy számítja ki, hogy az egyes beavatkozóelemeket vagy -eszközöket megfelelően szabályozza egy-egy adott szabályozási művelet során.

A 3. ábrán látható folyamatábra szerint az eljárás első 30 lépésében a 12 szabályozott szakaszra vonatkozó adatokat beolvassuk a digitális 10 folyamatszabályozóba. Az adatok a szabályozott jellemzők, módosított jellemzők, egyéb segédjellemzők vagy visszacsatolás-jellemzők pillanatnyi értékeit tartalmazzák. A 12 szabályozott szakaszra vonatkozó adatokat vagy egyszerű műszerekkel, vagy pedig off-line laboratóriumi analizátorokkal mérjük meg. A következő, 32. lépésben a dinamikus 16 folyamatmodell és a 12 szabályozott szakasz paramétereinek az összehasonlítása történik minden egyes szabályozott jellemzőre. Ebben a lépésben rendszer összehasonlítja a pillanatnyi értékeket és a 16 folyamatmodell értékeit, és kiszámítja a hibajelet.

A következő, 34. lépésben a bemeneti adatok kiértékelése történik, például annak megfigyelése, hogy nem megfelelőek a viszonyok, vagy például a mért értékek nem értékelhetők, vagy nem megfelelőek, vagy az adott értékhatáron kívül esnek. Az adatok kondicionálása szintén rendkívül fontos, és ez önmagában magában foglalja egy módosítottjellemző-sorozatnak a megfelelő szűrését és beállítását. Ezen beállítás és szűrés alapja az operátor által megadott névleges határértékek alapján, valamint a 12 szabályozott szakaszhoz tartozó 10 folyamatszabályozó pillanatnyi értékeinek figyelembevételével történik.

Az operátortól függően a 14 nemlineáris szabályozó indulhat hidegindítással, ezt vizsgálja a rendszer a 36. lépésben. Ha a válasz igen, úgy a különböző független változókra vonatkozó értékek akár a módosított jellemzőre, akár a visszacsatolásra vonatkoznak, kiolvasásra kerülnek egy olyan adatbázisból, amely a digitális 10 folyamatszabályozó rendszerhez tartozik. Ez az eljárás 38. lépésében valósul meg. Az indítás során a 16 folyamatmodell-állapotok és a 12 szabályozott szakasz kimenőjelei, amelyek az adott 12 szabályozott szakasz viszonyait adják meg, vannak kiszámítva. Ilyen kimenőjel lehet a hőmérséklet, az összetétel vagy a termék valamely paramétere. A 16 folyamatmodell bármilyen matematikai formában megadható.

A továbbiakban állapot-tér modellt alkalmazunk az eljárás leírásához. Mindegyik állapotot egy x vektorral jelöljük, míg a 12 szabályozott szakasz kimenőjeleit y vektorral jelöljük. A független változókat pedig u betűvel jelöljük a következőképpen:

$$0=F(x,u) \quad (1)$$

$$y=H(x) \quad (2)$$

A fenti összefüggések az állandósult állapotra vonatkoznak.

A 12 szabályozott szakaszra vonatkozó mért értékeket használjuk fel mint kiindulási értékeket a 14 nemlineáris szabályozó számára. Az adatokat betápláljuk a 16 folyamatmodellbe, ez történik az eljárás 40. és 42. lépésében. Az állapotértéket azután megállapítjuk, és beírjuk egy memóriába (44. lépés). A 14 nemlineáris szabályozó folyamatszabályozó algoritmussal folytatja működését (46. lépés).

A 4. ábrán az előző lépések folytatásaként, tehát onnan indulunk ki, hogy a 14 nemlineáris szabályozó az adott szabályozóalgoritmussal megkezdi a működését (46. lépés). Az üzemi adatok kiolvasása a 48. lépésben történik, ekkor tehát a folyamat pillanatnyi állapota állapítható meg. Ezek az adatok a következők lehetnek:

- kezdeti értékek minden egyes modellállapotra,
- kezdeti értékek az előre jelzett üzemi kimenőjelekre,
- a 12 szabályozott szakasz és a 16 folyamatmodell hibajeleinek értéke,
- a 16 folyamatmodell paraméterei,
- a független változók pillanatnyi mért értékei,
- az egyes szabályozott jellemzőkre vonatkozó alapjelek, kívánt értékek és határértékek,
- a módosított jellemzők határértékei,
- bemeneti állapotok.

A 16 folyamatmodell-állapotokra, valamint a 12 szabályozott szakasz kimenőjeleire vonatkozó előre jelzett értékek vagy egy korábbi szabályozási folyamatból származnak, vagy pedig a hidegindítási értékek. A szabályozott jellemzőt (kimenőjelet), valamint az alapjel határértékeit az operátor állítja be. Az alapjelet mindig mint felső és egy alsó határértéket tápláljuk be. Ezen értékeknek az alkalmazása lehetővé teszi a módosított jellemzők (bemenőjelek) beállítását úgy, hogy minimális legyen az a ráfordítás, amelyet egy adott szabályozott jellemző eléréséhez be kell fektetni ah-

hoz, hogy annak az értékei a felső és az alsó határértékek között legyenek. A 16 folyamatmodell egyes paramétereinek az értékeit előre meghatározzuk. A független változók pillanatnyi mért értékeit különféle, a 12 szabályozott szakasznál elhelyezett mérőműszerekkel mérjük vagy laboratóriumi analízis során határozzuk meg. A módosított jellemzők határértékeit – ahogy erre már utaltunk – az operátor állítja be.

A következő lépés, ahogyan ez a 4. ábrán az 50. lépésben van feltüntetve, a szabályozási üzemmód beállítása. Az egyik szabályozási üzemmód lehetővé teszi, hogy a dinamikus 16 folyamatmodell jósolt értékeit kiszámítsuk, és a szabályozójeleket meghatározzuk anélkül, hogy a 12 szabályozott szakaszhoz szabályozójelet kellene továbbítani. Ha a digitális 10 folyamatszabályozó teljes üzemmódra van állítva, a módosított jellemzők, a dinamikus 16 folyamatmodell, valamint a rendszer mért értékei figyelembevételével, folyamatosan vannak szabályozva.

A bemeneti adatokat a következő, 52. lépésben oly módon alakítjuk át, hogy mind a dinamikus 16 folyamatmodellnél, mind pedig a 10 folyamatszabályozónál felhasználhatók legyenek, majd a következő, 54. lépésben az adatok kiértékelése, becslése történik. Mindegyik állapot kiértékelésre kerül úgy, hogy a dinamikus 16 folyamatmodellt alkalmazzuk. A dinamikus állapotra vonatkozó állapotmodell, amelyet az alábbiakban a (3) és (4) egyenletekkel írunk le, mutatja az x változóval jelölt állapotok és a 12 szabályozott szakasz y változóval jelölt kimenőjelei közötti összefüggést, ahol a független változókat u-val jelöltük.

$$dx/dt=f(x,u) \quad (3)$$

$$y=H(x) \quad (4)$$

A (3) egyenlet azt mutatja, hogy a dinamikus 16 folyamatmodell állapotainak a változási sebessége egyrészt a modellállapotok függvénye, másrészt pedig függvénye a független változóknak is. A (4) egyenlet azt mutatja, hogy a kimenőjel a modellállapotok függvénye. A 16 folyamatmodell kiértékelését a (3) és (4) egyenletek integrálásával kapjuk meg azon időtartamra, ami a 14 nemlineáris szabályozó utolsó szabályozása és a pillanatnyi figyelt időpont között eltelt. Az egyik előnyös számítási módszer az ortogonális kollokáció, ahol a (3) és (4) egyenleteket időintervallumokra osztjuk fel, ily módon lehetővé téve azt, hogy a differenciálegyenletek párhuzamosan oldhatók meg ugyanolyan hosszú időnövekmény alatt.

A szabályozás számítását a 14 nemlineáris szabályozó végzi el úgy, hogy szekvenciális kvadratikus programozási technikát alkalmaz (56. lépés). A számítás a független jellemzők jövőbeni változását oly módon határozza meg, hogy azok legkedvezőbben illeszkedjenek egy adott időszakra várható szabályozás paramétereihez. A 14 nemlineáris szabályozó felhasználja a 12 szabályozott szakaszhoz kiképezett dinamikus 16 folyamatmodellt, alkalmaz továbbá egy, az alábbiakban még részletesebben ismertetendő célfüggvényt, valamint felhasználja a módosított jellemzőkre vonatkozó határértékeket. A módosított jellemzők diszkrét értékekként változnak a szabályozás során.

A (3) és (4) egyenletekben bemutatott modell kerül a továbbiakban felhasználásra. Ahogyan erre már a korábbiakban is utaltunk, az u független változókat jelenti, és ezek egyik alkészlete képezi a módosított jellemzőket (azaz a bemeneteket). Az u független változók értékeit az U_k módosított jellemzők diszkrét értékekre bontott nullarendű tartófüggvényeivel valósítjuk meg minden egyes k futópontnál. A nullarendű tartófüggvény azt jelenti, hogy a módosított jellemző értéke a program két egymást követő lépése között állandó marad.

A referenciagörbe a 10 folyamatszabályozó viselkedését írja le akkor, amikor a szabályozott jellemzők az adott határok között változnak. Az alábbiakban megadott (5) és (6) egyenlet a referenciagörbére vonatkozik, és a szabályozott jellemzők változási sebességei és a szabályozott jellemző alapjele és a mért értéke közötti hiba közötti viszonyt fejezi ki.

$$dy_k/dt=[SPH_k-(y_k+b)]/T+Vhp_k-Vhn_k \quad (5)$$

$$dy_k/dt=[SPL_k-(y_k+b)]/T+Vlp_k-Vln_k \quad (6)$$

k=1-től K-ig

Vlp>=0,0

Vln>=0,0

Vhp>=0,0

Vhn>=0,0

Ahol SPH=a szabályozott jellemző felső határértéke vagy korlátja;

SPL=a szabályozott jellemző alsó határértéke vagy korlátja;

y=az előre jelzett szabályozott jellemző;

b=az előre megadott érték és a mért érték közötti névleges alaphiba;

Vhp=a mért változó pozitív eltérése a felső határértéktől;

Vhn=a mért változó negatív eltérése a felső határértéktől;

Vlp=a mért változó pozitív eltérése az alsó határértéktől;

Vln=a mért változó negatív eltérése az alsó határértéktől;

k=jövőbeni időlépés;

K=a jövőben használt futóindex a vízszintes időtengelyen;

T=a szabályozott jellemző zárt hurkú válaszjel sebességére vonatkozó időállandó.

A Vlp, Vhp, Vln és Vhn változók mindegyikét úgy tekintjük, mint olyan változót, amely a határértékeknél nagyobb mértékben változhat meg. Ezek a változók lehetővé teszik, hogy a megbomlott egyensúlyt visszaállítsuk, továbbá lehetővé teszik az egyes kényszerértékek és határértékek prioritásának a figyelembevételét azáltal, hogy a célfüggvényben súlyozást alkalmazunk. A szabályozás által kielégítendő összefüggéseket-arányokat az alábbiakban adjuk meg.

$$\text{Min Sum } (Wh*Vhp_k+Wl*Vln_k)+C(x,u) \quad (7)$$

ahol

Wh, Wl=az optimalizáláshoz-minimalizáláshoz szükséges súlyozás;

Vhp_k, Vlp_k=a fentiekben említett változók;

C(x,u)=büntetésfüggvény.

A (7) összefüggés a tagok összegének a minimalizálását foglalja magában arra az esetre, ha a szabályozottjellemző-változás akár az alsó, akár a felső határértéket túllépi. A (7) összefüggés olyan súlyozási tagokat alkalmaz, amelyek lehetővé teszik, hogy akár egy pozitív határértéken túli változás vagy egy negatív hirtelen határértéken túli változás kiemelésre kerüljön vagy háttérbe legyen szorítva. A (7) összefüggés tartalmaz egy olyan kifejezést is, ez a C(x,u) büntetésfüggvény, amely mind az u független változótól, itt módosított jellemzőtől, mind pedig a 16 folyamatmodell x állapotától függ.

A digitális 10 folyamatszabályozó a (7) összefüggést megoldja, és az egyes megoldásokból származó eredmények összességét kiértékeli abban az esetben, ha a módosított jellemzők közül többnél következett be változás. A cél az, hogy az y szabályozott jellemző visszatérjen a felső határérték és az alsó határérték között meghatározott sávba. Mivel a felső határérték és az alsó határérték egy tartományt határol, így a módosított jellemzőkben számos változtatás segítségével meg lehet határozni azt, hogy melyik az a kombináció, amely a módosított jellemzők változásánál a legkisebb ráfordítást igényli úgy, hogy a szabályozott jellemző visszatérjen az elfogadhatónak tartott tartományba. Amikor a módosított jellemzők szabályozásával lehetővé teszi a folyamatszabályozó, hogy a 12 szabályozott szakasz kimenőjele a felső határérték és az alsó határérték közötti tartományba visszatérjen, a (7) összefüggés első két kifejezése nullává válik, és a függvény megoldása kizárólag a módosított jellemzők által meghatározott ráfordításokra vonatkozik.

A (7) összefüggés optimalizálása során további módosított jellemző határértékeket is vihetünk be, amelyeket az alábbi (8) és (9) összefüggések adnak meg:

$$ulb<u_k<uhp \quad (8)$$

$$ABS(u_k-u_{k-1})<dub \quad (9)$$

ahol

uhb=módosított jellemző felső határértéke;

ulb=módosított jellemző alsó határértéke;

dub=a módosított jellemző változásának korlátja két egymás utáni időlépés között.

Abban az esetben, ha elfogadható megoldást találunk, úgy a kimenetek, amelyek a minden egyes időpontban a módosított jellemző jövőbeni értékeiből állnak, még egyszer ellenőrzésre kerülnek az 58. lépésben abból a szempontból, hogy a rendszer egészénél nem okoz-e ez valamilyen behatárolási problémát. A kimeneti adatok érvényességének ellenőrzése után ezeket az adatokat a 60. lépésben beírjuk a memóriába, és a kiszámolt módosítottjellemző-értékeket továbbítjuk a 12 szabályozott szakaszhoz a 62. lépésben, és ily módon működteti az a szabályozóelemeket, például szelepeket.

SZABADALMI IGÉNYPONTOK

1. Folyamatszabályozó adott szabályozott szakasz (12) szabályozására, a szabályozott szakasz (12) bemeneti állapotaira vonatkozó módosított jellemzőkkel és a kimeneti állapotaira vonatkozó szabályozott jellemzőkkel van ellátva, a folyamatszabályozó (10) tartalmaz:

legalább egy szabályozott jellemzőt mérő érzékelőelemet,

a szabályozott jellemző felső és alsó határértékeinek és a legalább egy szabályozott jellemzőhöz rendelt korrekciós időállandó tárolására kiképezett memóriát, ahol a felső és az alsó határértékek olyan sávot fognak közre, amely a legalább egy szabályozott jellemző számára az elfogadható szabályozási tartományt jelöli,

processzort, amely az érzékelőelemhez és a memóriához van csatlakoztatva, és az adott szabályozott szakaszhoz (12) tartozó folyamatmodellt (16) leíró adatokat tartalmaz, a folyamatmodell (16) a módosított jellemzők és a szabályozott jellemzők közötti költségviszonyt írja le, és ennek megoldásával a legalább egy szabályozott jellemző számára előre jelzett értéket létrehozóan van kiképezve, *azzal jellemezve,* hogy a processzor tartalmaz logikai egységet, amely a legalább egy szabályozott jellemző az adott sávon kívül eső mért adatait feldolgozza, és ennek hatására olyan szabályozójelet hoz létre, amellyel a módosított jellemzőt olyan irányban változtatja, hogy minimális legyen a költségráfordítás, és a módosított jellemző úgy változzon, hogy a legalább egy szabályozott jellemzőt az előre megadott felső és alsó határérték által határolt sávba vigye vissza,

szabályozójeleket létrehozó elemeket a szabályozott szakasz (12) azon beavatkozóelemeinek a működtetésére, amelyeknek segítségével a módosított jellemzőket szabályozzák.

2. Az 1. igénypont szerinti folyamatszabályozó, *azzal jellemezve,* hogy a memória az adott folyamatmodellhez (16) olyan válaszjelfüggvényt leíró adatokat tárol, amelyek a legalább egy szabályozott jellemzőnek azon visszatérési sebességét adják meg, amellyel abba a megadott sávba tud visszatérni, amely az elfogadható szabályozási tartományba esik, amikor a szabályozott jellemző a felső határértéket túllépi, és a memória az adott folyamatmodellhez (16) olyan válaszjelfüggvényt leíró adatokat is tárol, amely a legalább egy szabályozott jellemző visszatérési sebességét adja meg, amellyel abba a megadott sávba tud visszatérni, amely az elfogadható szabályozási tartományba esik, amikor a szabályozott jellemző az alsó határértéket túllépi, mindkét válaszjelfüggvény tartalmaz egy korrekciós időállandót, és a legalább egy szabályozott jellemző mért és kívánt változási sebessége közötti viszonyt kifejező függvényt, és a logikai egység ezeket az adatokat a bemeneti állapotok minimális ráfordítással történő megváltoztatására felhasználóan van kiképezve.

3. A 2. igénypont szerinti folyamatszabályozó, *azzal jellemezve,* hogy a válaszjelfüggvények legalább egy szabályozott jellemzőnél a következők:

$$dy_k/dt=[SPH_k-(y_k+b)]/T+Vhp_k-Vhn_k \quad (5)$$

$$dy_k/dt=[SPL_k-(y_k+b)]/T+Vlp_k-Vln_k \quad (6)$$

k=1-től K-ig

Vlp>=0,0

Vln>=0,0
Vhp>=0,0
Vhn>=0,0

ahol

SPH=a szabályozott jellemző felső határértéke vagy korlátja;

SPL=a szabályozott jellemző alsó határértéke vagy korlátja;

y=az előre jelzett szabályozott jellemző;

b=az előre jelzett érték és a mért érték közötti névleges alaphiba;

Vhp=a szabályozott jellemző mért pozitív eltérése a felső határértéktől;

Vhn=a szabályozott jellemző mért negatív eltérése a felső határértéktől;

Vlp=a szabályozott jellemző mért pozitív eltérése az alsó határértéktől;

Vln=a szabályozott jellemző mért negatív eltérése az alsó határértéktől;

k=jövőbeni időlépés;

K=a jövőben használt futóindex;

T=a szabályozott jellemző zárt hurkú válaszsebességre vonatkozó időállandója.

4. A 3. igénypont szerinti folyamatszabályozó, *azzal jellemezve*, hogy a logikai egység egy olyan összefüggés minimalizált megoldását végzi el, amelynek segítségével a módosított jellemzőket minimális ráfordítással lehet úgy változtatni, hogy a legalább egy szabályozott jellemző az elfogadható értékeket magában foglaló sávba visszatérjen, és a minimalizálás az alábbi függvény szerint történik:

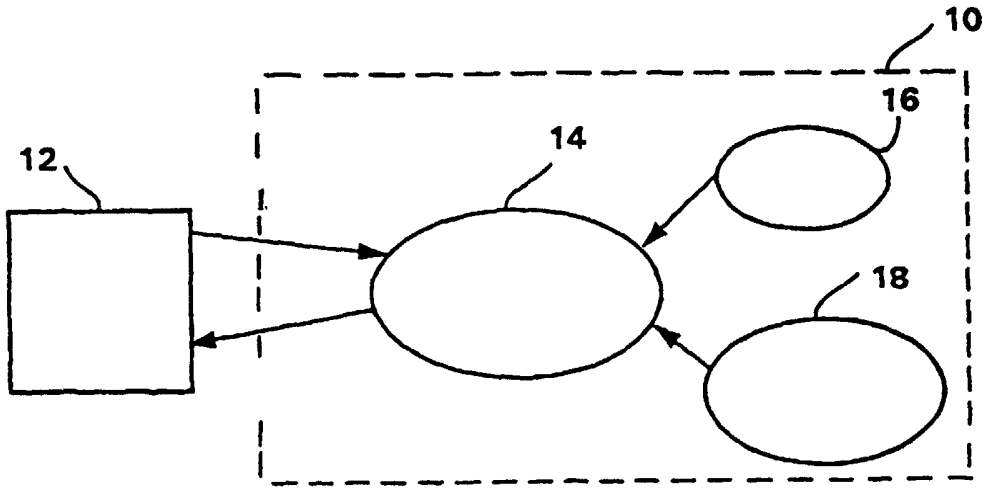
$$\text{Min Sum } (Wh^{*}Vhp_{k}+Wl^{*}Vln_{k})+C(x,u) \qquad (7)$$

ahol

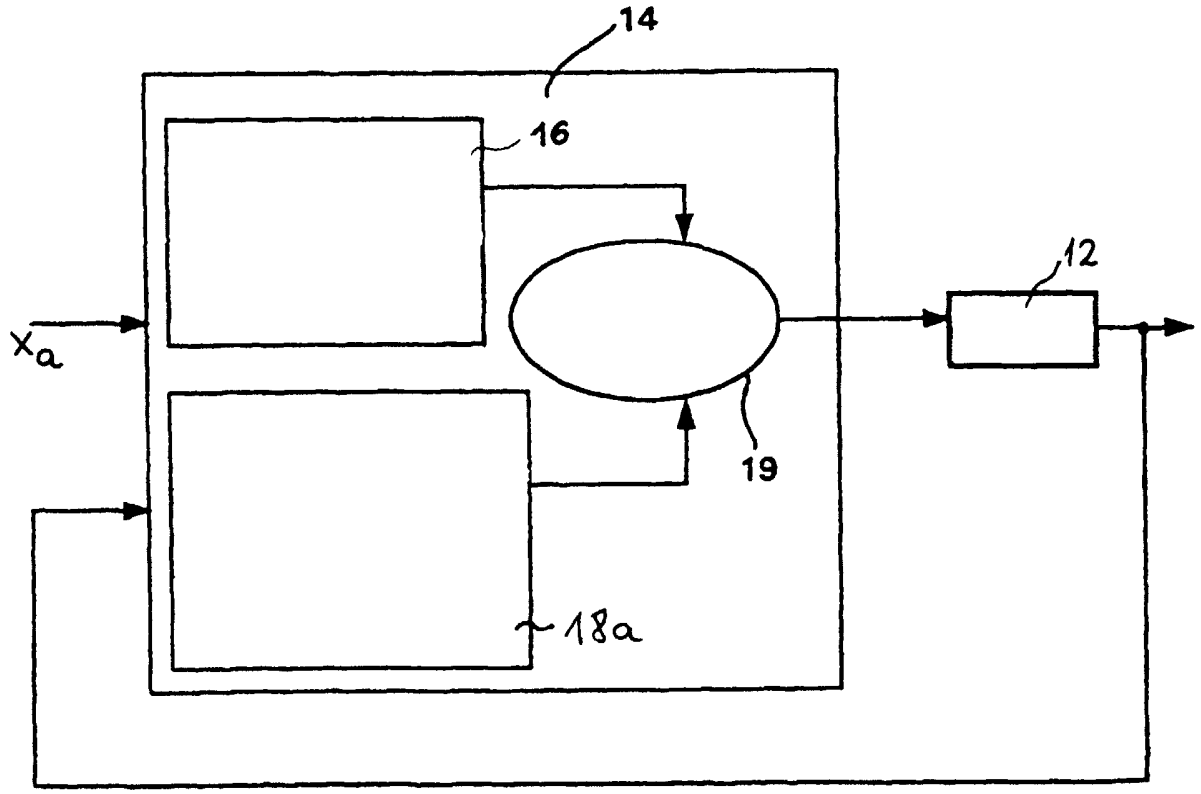
Wh, Wl=az optimalizálási-minimalizási súlyozási tényező;

Vhp_k, Vlp_k=a szabályozott jellemző határértéken kívül eső értékre történő változása;

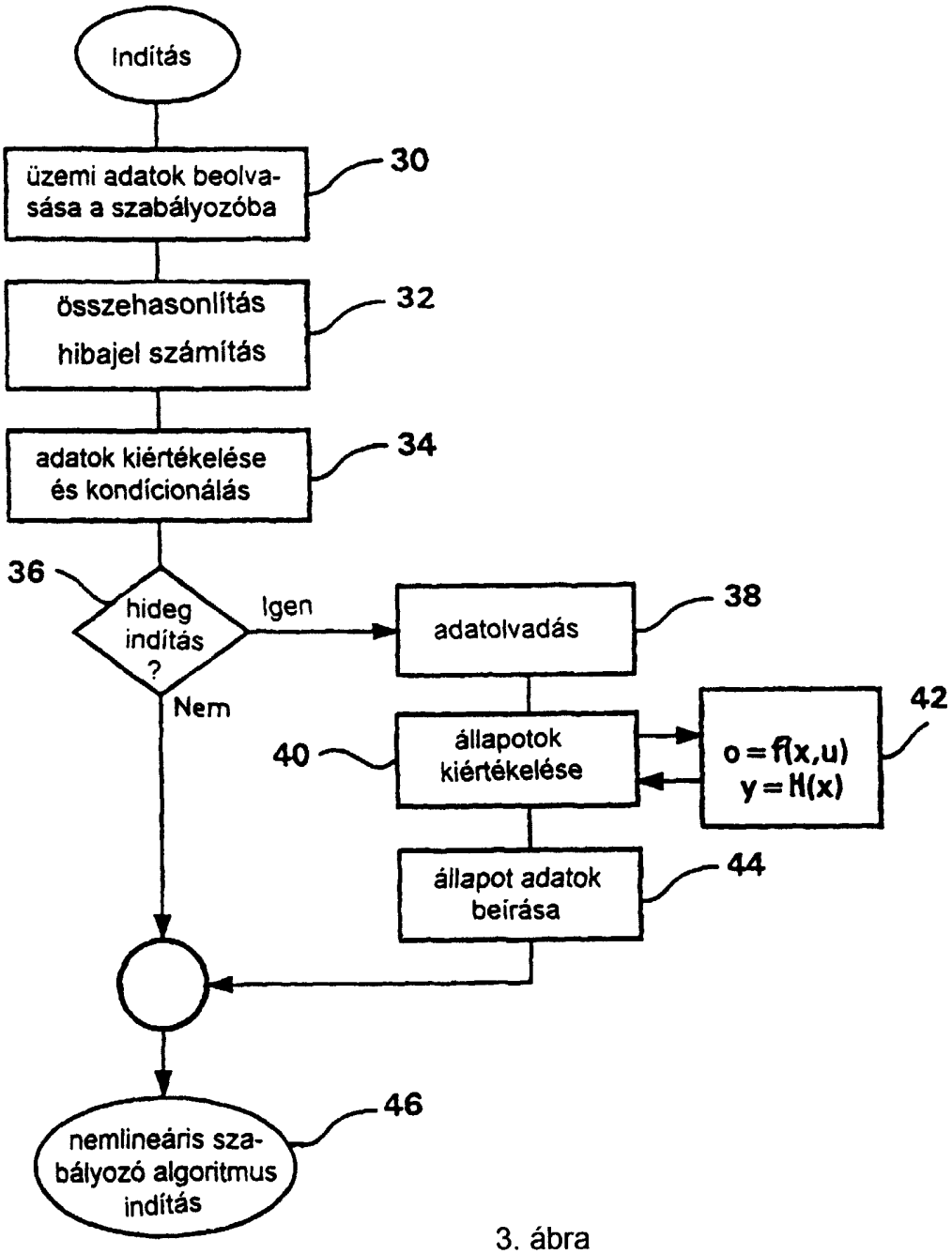
C(x,u)=a büntetésfüggvény.



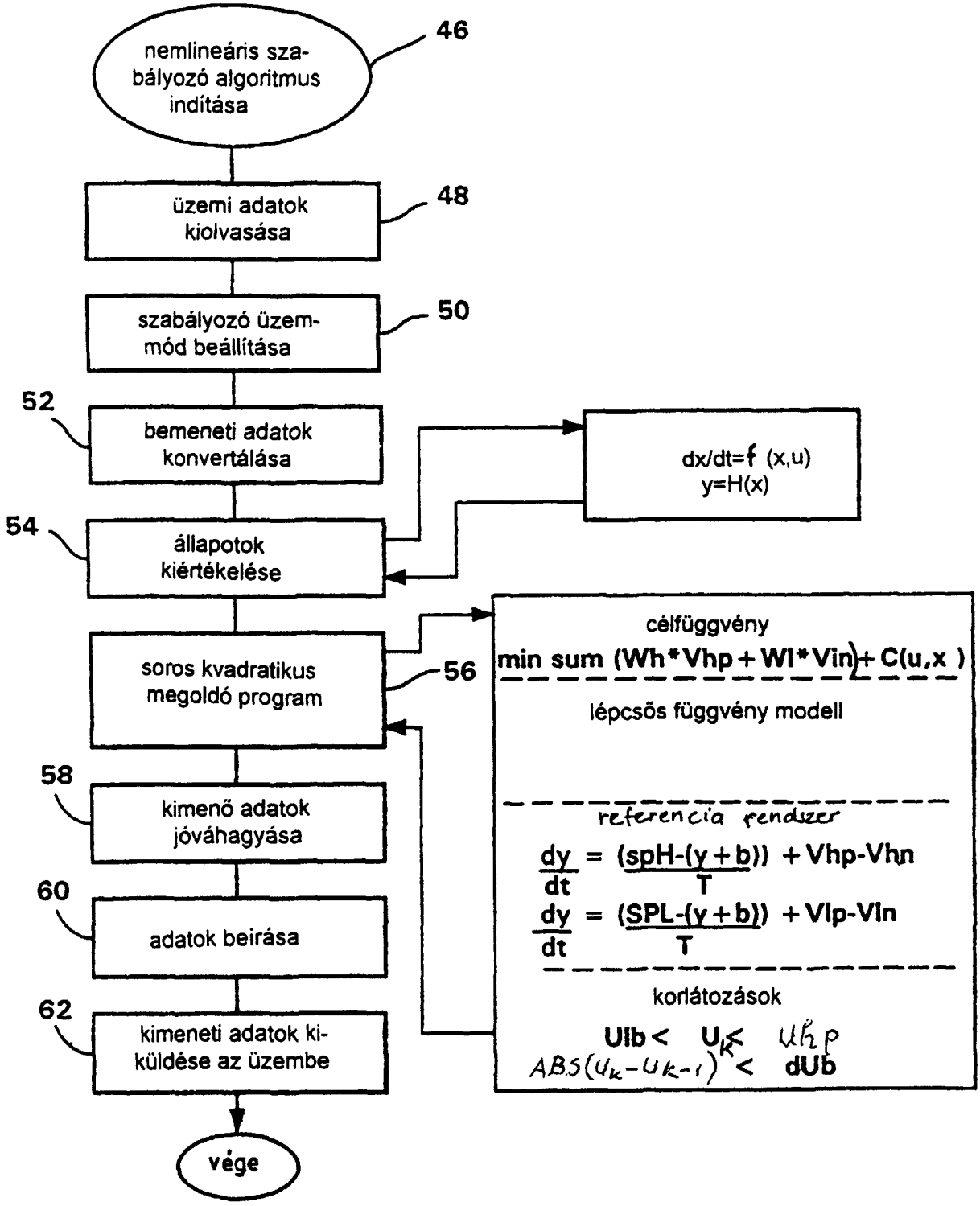
1. ábra



2. ábra


Indítás
üzemi adatok beolvasása a szabályozóba
30
összehasonlítás
hibajel számítás
32
adatok kiértékelése és kondícionálás
34
36
hideg indítás ?
Igen
Nem
adatolvadás
38
állapotok kiértékelése
40
o = f(x,u)
y = H(x)
42
állapot adatok beírása
44
nemlineáris szabályozó algoritmus indítás
46

3. ábra


nemlineáris szabályozó algoritmus indítása
46
üzemi adatok kiolvasása
48
szabályozó üzemmód beállítása
50
52
bemeneti adatok konvertálása
dx/dt=f (x,u)
y=H(x)
54
állapotok kiértékelése
célfüggvény
min sum (Wh*Vhp + Wl*Vln) + C(u,x)
soros kvadratikus megoldó program
56
lépcsős függvény modell
referencia rendszer
dy/dt = (spH-(y+b)) / T + Vhp-Vhn
dy/dt = (SPL-(y+b)) / T + Vlp-Vln
korlátozások
Ulb < Uk < Uhp
ABS(Uk-Uk-1) < dUb
58
kimenő adatok jóváhagyása
60
adatok beírása
62
kimeneti adatok kiküldése az üzembe
vége

4. ábra