

(19) DANMARK



(12) PATENTSKRIFT

(11) 171319 B1

Patentdirektoratet
TAASTRUP

(21) Patentansøgning nr.: 4110/87

(51) Int.Cl.6

F 27 B 7/42

(22) Indleveringsdag: 06 aug 1987

G 05 B 19/418

(41) Alm. tilgængelig: 16 maj 1989

(45) Patentets meddelelse bkg. den: 02 sep 1996

(86) International ansøgning nr.: -

(30) Prioritet: -

(73) Patenthaver: F.L. *Smidth & Co. A/S; Vigerslev Alle 77; 2500 Valby, DK

(72) Opfinder: Jens Jørgen *Østergaard; DK, Klaus *Gadeberg; DK

(74) Fuldmægtig: Hofman-Bang & Boutard, Lehmann & Ree A/S

(54) Fremgangsmåde til styring af en roterovn under opstart

(56) Fremdragne publikationer

EP off.g.skrift nr. 195866

(57) Sammendrag:

4110-87

For at lette en glat forløbende og hurtig opstart af en roterovn foreslås der et Fuzzy Logic-styresystem, hvis hovedtræk er, at det beordrer styreaktioner til formindskelse af det specifikke varmeforbrug efter en ret linie fra en høj begyndelsesværdi til en for ovnen etableret stabildriftsværdi, og derefter kobler over til et eksisterende Fuzzy Logic-styresystem for stabil drift. I opstartfasen sker der fortrinsvis en overvågning af yderligere procesvariable i sammenligning med referenceværdier for derved at beordre sideløbende kontrolaktioner, som påvirker Fuzzy Logic-styresystemet på vægtet måde.

DK 171319 B1

Opfindelsen angår en fremgangsmåde til styring af en roterovn navnlig til anvendelse i cementindustrien og beslægtede industrier under opstart efter en driftsstopperiode og vedrører mere specielt en udvikling af automatiske procedurer til lettere at opnå en glat forløbende og hurtig opstart.

Automatisk styring af roterovnsystemer har været en udfordring til ingeniører indenfor styreteknikken i cementindustrien, lige siden computerbaserede processtyresystemer vandt indpas i midten af 60'erne. De første forsøg var baseret på anvendelsen af multivariabel-styreteorien i forbindelse med matematiske modeller af ovnsystemerne. Resultaterne var ret skuffende, og systemerne nåede aldrig frem til et stade, hvor de blev anvendelige i praktisk drift.

Fra midten af 70'erne begyndte en nyudvikling fra en anden indgangsvinkel til computerstyring af cementovne. Et sådant styresystem blev kendt under navnet "FLS-SDR/Fuzzy computer control system". Baseret på begrebet Fuzzy Logic blev styrestrategien formuleret som et sæt sproglige styreregler, der omsatte menneskelige ovnoperatørers erfaring til et automatisk computerstyreprogram. FLS-SDR/Fuzzy computerstyresystemet har været markedsført siden 1980 og er i dag installeret i et betydeligt antal ovnanlæg. Disse systemer har klart godtgjort, at den "ekspertsystem-løsning", der er nedlagt i Fuzzy Logic-styreprincippet, er egnet til effektiv styring af forskellige ovnsystemer, og der kan i almindelighed opnås en on-line styretid på 85-90%.

Hidtil har automatisk styring kun været anvendt under mere eller mindre stabil drift, efter manuel opstart af ovnen. Styresystemet overtager som regel styringen, når produktionen er kommet op på 70-100% af normal belastning, alt efter driftsstoppets varighed. Jo kortere driftsstoppet har været, desto tidligere kan styresystemet i almindelighed indkobles.

Det er den foreliggende opfindelses formål at udvide anvendelsen af automatiske procedurer til også at omfatte opstartfasen, og dette opnås ved de i krav 1 angivne foranstaltninger. Ved anvendelse af den i krav 1 angivne fremgangsmåde har man fundet det muligt at indkoble det automatiske styreanlæg, umiddelbart efter at ovnfødningen er igangsat, i almindelighed ved 30-35% af den normerede belastning. Fra dette punkt vil styresystemet automatisk bringe ovnen op på det normale produktionsniveau ved gradvis koordineret forøgelse af ovnfødningen, ovnhastigheden, brændselstilførslen, køleristhastigheden og lufttilførslen til ovnsystemet. Når ovnen er kommet op på det normale produktionsniveau, omkobles styringen automatisk til stabildrifts-styresystemet. Ligesom styreplanen for stabil drift af ovnen er styrestrategien for opstarten formuleret som et sæt styreregler under anvendelse af Fuzzy Logic som evalueringsmetode, men både regelsættet og styreparametrene er specielt tilrettelagt med henblik på de for opstarten gældende vilkår.

Før der gås over til en detaljeret beskrivelse af styrestrategien for opstart, skal der gives en kort forklaring af de grundlæggende principper i SDR/Fuzzy-styresystemet.

I mange industrielle processer har problemer i henseende til et begrænset antal målelige variable, upålidelige målinger, tidsforsinkelser og ikke-lineariteter medført, at automatiseringsniveauet er lavt. Denne karakteristik gælder i høj grad cementindustrien. Cementfabrikation er en proces, der er kompleks og vanskelig at automatisere, og styrefunktionerne - specielt på overvågnings- og koordinationsniveauet - overlades i stort omfang til menneskelige operatørers dygtighed og erfaring.

Fuzzy Control, anvendelse af Fuzzy Logic-teknik til automatisk styring frembyder et interessant og attraktivt alternativ. For at lette forståelsen af begrebet Fuzzy Logic Control og dets anvendelse henvises der til de

litteratursteder, som er anført ved beskrivelsens slutning. Grundlæggende går teknikken ud på, at en operatørs "fuzzy", d.v.s. dårligt definerede bedømmelser og handlinger (lidt op, lidt ned), udtrykkes i form af præcis matematisk logik (ref. 1-2). Teknikken beskrives undertiden som "sproglig styring", og den er en form for "kunstig intelligens" eller "ekspertsystem" (ref. 3-4).

FLS-SDR/Fuzzy-systemet er et styresystem, som er baseret på denne metodik, d.v.s. et computersystem, som udnytter indkodet viden og ræsonnementsmodeller til at træffe reguleringsbeslutninger, der normalt kræver en dygtig menneskelig operatørs erfaring. I mange henseender kan systemet opfattes som en matematisk model af en erfaren ovnoperatør.

Styrestrategien formuleres som et sæt heuristiske regler i formen

IF <conditions> THEN <actions>.

Som et eksempel:

IF <burning zone is OK and back-end temperature is high>

THEN <close damper and reduce fuel a little>.

Fuzzy Logic er det matematiske værktøj, ved hjælp af hvilket regelsæt implementeres og behandles af computeren. SDR/Fuzzy-systemet omfatter et specielt programmeringssprog FCL (Fuzzy Control Language) for at lette formuleringen af styrestrategien. I FCL ville ovenstående regel udtrykkes således:

IF OK (burning_zone) AND HIGH (back_end_temp)
THEN MNEG (damper), SNEG (fuel).

Regelsættet for en given ovn etableres ud fra erfaringer indhøstet ved manuel betjening af ovnen. For et typisk ovnsystem benyttes der 5-8 nøgleværdimålinger til at indicere ovnens tilstand, og antallet af styreregler til håndtering af både normale tilstande og væsentlige for-

styrrelser i driftstilstanden (f.eks. nedfald af foringsmateriale, ustabilitet i brændezonen, CO etc.) vil som regel omfatte 150-200 regler. Målingerne og regelsættet evalueres hver 60 sekunder for at undersøge nødvendigheden af korrektive kontroljusteringer, der udføres med 5-20 minutters mellemrum.

Problemet i evalueringen af reglerne og anvendelsen af Fuzzy Logic i denne sammenhæng er, at der i et givet øjeblik er flere regler, der gælder i større eller mindre omfang, og at disse kan tilsige indbyrdes modstridende styreaktioner. Styreanlægget anvender Fuzzy Logic til at klare denne situation. Under evalueringen af regelsættet bestemmer styreanlægget under anvendelse af Fuzzy Logic-evalueringemetoder, i hvilket omfang hver enkelt regel skal anvendes, ved at bedømme, hvor godt de i hver enkelt regel nedlagte betingelser er opfyldt. Styresystemet vægter den af hver enkelt regel foreskrevne aktion i afhængighed af den grad, i hvilken de i den pågældende regel nedlagte betingelser er opfyldt. Aktionerne bestemmes derefter som et vægtet gennemsnit - beslutningsmekanismen eller consensus - af det ikke samsvarende område af aktioner, der foreskrives af hver enkelt af de i betragtning kommende regler.

Styrestrategien implementeres i en procescomputer, der også omfatter dataacquisition og rapporterings- og overvågningsfunktioner.

Det har længe været erkendt, at styringen af ovns opstart må angribes anderledes end styringen af ovnen under normal drift. Det er også blevet gjort gældende, at en automatisk ovnopstart måske er knap så interessant som automatisk styring af den stabile drift, da opstartperioderne gerne skulle være meget korte i sammenligning med perioderne med normal drift.

Det er imidlertid en kendsgerning, at ovnopstarten er en periode, hvor der er betydelig risiko for beskadigelse af ovnen, hvorfor der kræves en meget stor opmærksomhed og omhu af operatøren, og en glat forløbende og hurtig opstart kan medføre væsentlige besparelser i henseende til svigt af udstyr og produktionstab.

I det følgende skal der beskrives de grundlæggende ideer bag en ovnopstartstrategi, der er blevet afprøvet på en 2400 tons pr. døgn ovn med 4-trinsforvarmer, der i forvejen var udstyret med et Fuzzy Logic-styresystem, som var i stand til at styre ovnen under normal drift.

Formålet med ovnopstartstrategien var at kunne styre ovnen automatisk fra det tidspunkt, da fødningsen sættes i gang. I forvejen forudsattes operatøren at have forvarmet ovnen, indtil der opnås korrekte temperaturforhold i hele ovnsystemet. For meget korte driftsstop vil denne periode være praktisk taget nul, men efter længere driftsstop, f.eks. ved genopmuring eller omfattende reparationsarbejder, kan forvarmningsperioden være forholdsvis lang, op til 30 timer.

Under den automatiske opstartprocedure forøger computeren gradvis brændselstilførslen, ovnhastigheden, fødningsen og lufttilførslen til ovnen. Grundprincippet for timingen af forøgelsen af disse værdier er at bringe det specifikke varmeforbrug (kcal/kg clinker) til at følge en ret linie fra en høj begyndelsesværdi til en slutværdi lig med en værdi, ved hvilken ovnen arbejder i normal drift. Begyndelsesværdien bestemmes i afhængighed af varigheden af det forudgående driftsstop. Den måde, på hvilken driftsstoppets varighed bestemmes, skal beskrives nærmere nedenfor. I det betragtede tilfælde blev begyndelsesværdien sat til 1100 kcal/kg for et "stop" på 0 minutter op til en værdi på 1500 kcal/kg for et stop på 3 timer eller mere. Slutværdien "huskes" til stadighed af systemet fra normal drift.

Længden af opstartperioden bestemmes derefter ud fra den tilladte værdi af ændringen af brændselstilførslen pr. minut, en styreparameter, der fastsættes som en del af afstemningen af styrestrategien for ovnen. Denne værdi bestemmer sammen med begyndelsesværdien af kcal/kg clinker hældningen af den rampe, der udgør drivkraften i opstartperioden.

Under opstarten foretages der imidlertid også en overvågning af et antal yderligere målinger for at sikre en stabil drift af ovnen. Disse er navnlig ovnens drivmoment, O₂, NO og CO efter forvarmeren, og temperaturprofilen i forvarmningstårnet, først og fremmest i fjerdedetrinscyklonen og efter forvarmeren. Litervægtværdier modtages fra laboratoriet hver time. Målingerne overvåges ved sammenligning med referenceværdier, der er beregnet for gradvis ændring af de pågældende variable i løbet af opstartperioden fra målte begyndelsesværdier til tidligere "indlærte" slutværdier. Under opstarten bringes afvigelser mellem de målte faktiske værdier og referenceværdierne til at indvirke på styreaktionerne. Der udøves styreaktioner på brændselstilførslen til ovnen, røggasspjæld og ovnhastighed. Under hele opstarten holdes ovnfødningen og ovnhastigheden synkroniseret, så at der opretholdes en konstant materialefyldningsgrad i ovnen.

Den driftsstoptid for ovnen, der benyttes til bestemmelse af begyndelsesværdien af det specifikke varmeforbrug som begyndelsespunkt af kcal/kg-rampen, bestemmes som det tidsrum, i hvilket temperaturerne i udvalgte punkter af forvarmeren har ligget under visse forud fastsatte værdier. Den tidligere nævnte ovn, på hvilken ovnopstartstrategien blev afprøvet, ansås for "stoppet", når temperaturen i den fjerde cyklon faldt under 815°C, og først "startet", når temperaturen påny kom over denne værdi. Det ses således, at driftsstoptiden ikke blot er den tid, hvor ovnmotorerne har været ude af drift, men nærmere et mål for den tid, hvor ovnen har manglet tilstrækkelig varmetilførsel.

Hele opstartstyrestrategien indkodes i FCL-sproget i det til SDR/Fuzzy-systemet hørende styreprogram, hvilket resulterer i ca. 50% ekstra programlinier ud over dem, der benyttes alene til styring under normal drift.

5

Opfindelsen er ovenfor beskrevet under henvisning til en bestemt type af et konventionelt roterovnsystem, men det vil forstås, at opfindelsen med samme fordel kan anvendes til andre typer af roterovnsystemer til anvendelse i cementindustrien og beslægtede industrier, hvor en roterovn udgør hovedkomponenten i fremstillingsprocessen.

10

Referencer.

1. Zadeh L.A., "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes", IEEE Trans. on Systems, Man & Cybernetics, Bind SMC-3, nr. 1, 1973.
5
2. Mamdani E.H., "Application of fuzzy algorithms for the control of dynamic plant", Proc. IEE, bind 121, nr. 12, 1974.
10
3. Haspel D.W., "Application of rule-based control in the cement industry", Unicom Seminars, London, december 1985.
15
4. King R.E., "Expert Systems in the Cement Industry", ZKG nr. 4, 1987.
5. Holmblad L.P. & Østergaard J-J., "Control of a cement kiln by Fuzzy Logic", F.L.Smidth Review nr. 67, 1981.
20
6. Sheridan S. & Skjøth P., "Automatic Kiln Control at Oregon Portland Cement Company's Durkee Plant, utilizing Fuzzy Logic", IEEE Texas, maj 1983.
25

P a t e n t k r a v

1. Fremgangsmåde til styring af en roterovn under opstart efter en driftsstopperiode, k e n d e t e g n e t
5 ved, at den omfatter følgende trin:

at ovnen startes og styres manuelt, indtil der er opnået en tilstand, hvor ovnfødningen kan igangsættes,

10 at ovnfødningen sættes i gang på et forud fastlagt niveau,

at der indkobles et computerbaseret opstartstyresystem, der arbejder efter Fuzzy Logic-princippet og foreskriver koordinerede styreaktioner på brændseltilførslen, ovn-
15 hastigheden, ovnfødningen, køleristhastigheden og lufttilførslen til ovnen på en sådan måde, at det specifikke varmeforbrug bringes til at falde efter en ret linje fra en begyndelsesværdi i en forudberegnet højde over en stabil driftsværdi inden for ovnens normale driftsområde ned
20 til den nævnte stabil driftsværdi,

idet den nævnte højde beregnes ud fra driftsstoptiden på en sådan måde, at den varierer fra en forud fastsat højere værdi ved en driftsstoptid lig med eller ud over en forud
25 fastsat tidstærskel til en lavere værdi ved driftsstoptiden nul, og

idet driftsstoptiden måles som det tidsrum, i hvilket temperaturerne i udvalgte områder af roterovnanlægget har
30 ligget under forud fastsatte værdier, og

idet hældningen af den nævnte rette linje bestemmes af en forud fastsat tilladt værdi af ændringen i brændseltilførsel pr. minut,
35

og at hele styringen af ovnen kobles over til et forud eksisterende computerbaseret stabil driftssystem efter Fuzzy

Logic-princippet, når det specifikke varmeforbrug antager den nævnte stabildriftsværdi.

2. Fremgangsmåde ifølge krav 1, k e n d e t e g n e t
5 ved, at der under opstartens Fuzzy Logic-styrede fase fortløbende sker en måling af yderligere variable, der er karakteristiske for roterovnsanlæggets driftstilstand, såsom ovns drivmoment, O_2 , NO og CO efter forvarmeren, og temperaturprofilen i forvarmningstårnet, navnlig tempera-
10 turen i calcineringsstrinnet, og røggastemperaturen, og en overvågning af de målte værdier i sammenligning med referenceværdier, som er beregnet for en optimal udvikling af disse variable med henblik på at nærme dem fra deres målte begyndelsesværdier til hver sin stabildriftsværdi
15 inden for ovns normale driftsområde i samklang med det specifikke varmeforbrugs aftagen til den for dette gældende stabildriftsværdi, således at der ved denne overvågning udløses kommandoer, som foreskriver udførelse af styreak-
20 tioner på brændselstilførslen til ovnen, røggasspjæld, ovnfødning og køleristhastighed.